

TARIMDA İNOVASYON VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK: GÜNCEL YAKLAŞIMLAR VE UYGULAMALAR

EDİTÖRLER

Dr. Fatma Funda ÖZDÜVEN

Dr. Erhan KAHYA



TARIMDA İNOVASYON VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK: GÜNCEL YAKLAŞIMLAR VE UYGULAMALAR

EDİTÖRLER

Dr. Fatma Funda ÖZDÜVEN

Dr. Erhan KAHYA

YAZARLAR

Prof. Dr. Salih AYDEMİR

Prof. Dr. Damla BENDER ÖZENÇ

Prof. Dr. İsmail SEZER

Prof. Dr. Mustafa YILMAZ

Prof. Dr. İlknur DURSUN

Prof. Dr. Mehmet MAMAY

Doç. Dr. Hasan AKAY

Dr. Öğr. Gör. Mehmet Ali EMİNOĞLU

Dr. Öğr. Gör. Halime ÖZTÜRK

Arş. Gör. Dr. Selahattin AYGÜN

Dr. Halime ÖZTÜRK

Dr. Hasine KÜÇÜKYILDIRIM

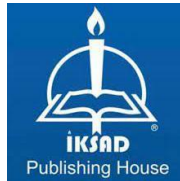
Dr. Mehmet Ali EMİNOĞLU

Arş. Gör. Elif Öztürk AY

Arş. Gör. Melike KÖSE

Batuhan KURT

Amna SAEED



Copyright © 2025 by iksad publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or
transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical
methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of
brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses
permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social
Researches Publications®

(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)

TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75

USA: +1 631 685 0 853

E mail: iksadyayinevi@gmail.com

www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.

Iksad Publications – 2025©

ISBN: 978-625-378-199-6

Cover Design: İbrahim KAYA

March / 2025

Ankara / Türkiye

Size: 16x24cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	1
------------	---

Bölüm 1

TARIM SEKTÖRÜNDE YAPAY ZEKÂ: UYGULAMA ALANLARI VE ETKİLERİ

Dr.Halime ÖZTÜRK

Dr. Mehmet Ali EMİNOĞLU

Dr. Hasine KÜÇÜKYILDIRIM.....3

Bölüm 2

NANO GÜBRELER VE TARIMSAL VERİMLİLİK: GELECEĞİN GÜBRE TEKNOLOJİSİ

Dr. Halime ÖZTÜRK

Dr. Hasine KÜÇÜKYILDIRIM

Prof. Dr. Salih AYDEMİR.....27

Bölüm 3

FINDIK ZURUFUNDAN ÜRETİLEN ALTERNATİF ÜRÜNLER: TOPRAĞIN BAZI FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Prof. Dr. Damla BENDER ÖZENÇ

Arş. Gör. Dr. Selahattin AYGÜN.....61

Bölüm 4

MISIR BİTKİSİNDE BAZI ABİYOTİK STRES FAKTÖRLERİ VE ETKİLERİ

Batuhan KURT

Prof.Dr.İsmail SEZER

Doç.Dr.Hasan AKAY

Araş.Gör.Elif Öztürk AY.....89

Bölüm 5

OMİK TEKNOLOJİLERİN YEMEKLİK TANE BAKLAGİL İSLAHINA ENTEGRASYONU

Prof. Dr. Mustafa YILMAZ

Arş. Gör. Melike KÖSE.....113

Bölüm 6

ORGANİK TARIMDA KORUYUCU TOPRAK İŞLEME

Prof. Dr. İlknur DURSUN.....135

Bölüm 7

FARKLI TOPRAK İŞLEME YÖNTEMLERİNİN RÜZGÂR EROZYONU SONUCUNDA OLUŞAN TOPRAK KAYIPLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Prof. Dr. İlknur DURSUN.....157

Bölüm 8

TÜRKİYE'DEKİ İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE BÖCEK TÜRLERİNİN MEKÂNSAL DAĞILIMI

Amna SAEED

Prof. Dr. Mehmet MAMAY.....195

Bölüm 9

İKLİM KRİZİ VE BÖCEKLER: FİZYOLOJİK VE FENOLOJİK ETKİLER

Amna SAEED

Prof. Dr. Mehmet MAMAY.....215

Bölüm 10

TOPRAK PLASTİK KİRLİLİĞİNİN KAYNAKLARI VE BELİRLEME YÖNTEMLERİ

Dr. Öğr. Gör.Mehmet Ali EMİNOĞLU

Dr. Öğr. Gör.Halime ÖZTÜRK.....257

ÖNSÖZ

Günümüzde tarımsal üretim, iklim değişikliği, gittikçe artan dünya nüfusu, bilinçsiz kimyasal kullanımının toprak yapısında değişikliğe yol açarak toprak verimliliğini ve çevreyi olumsuz etkilemesi gibi pek çok problemle karşı karşıyadır. Bu problemlerin üstesinden gelmek ve gelecek nesiller için güvenilir ve yeterli gıda üretimi sağlamak amacıyla, tarım alanında sürekli olarak yeni teknolojiler ve yaklaşımlar geliştirilmektedir. Bu kitap, tarım ve gıda alanındaki en güncel gelişmeleri ve yenilikçi yaklaşımları bir araya getirerek, okuyucularına kapsamlı bir bakış açısı sunmayı amaçlamaktadır.

Alanında uzman akademisyenler ve araştırmacılar tarafından hazırlanan bölümlerden oluşan kitaptaki her bir bölüm, ilgili konuyu en güncel bilimsel veriler ışığında ele almakta ve okuyucularına farklı bakış açıları sunmaktadır. Amacımız, tarım ve gıda sektöründe çalışan profesyonellerin, araştırmacıların, öğrencilerin ve bu alana ilgi duyan herkesin faydalanabileceği bir kaynak oluşturmaktır.

Kitaba katkılarından dolayı kıymetli yazarlarımıza, emeği geçen İksad Yayınevi çalışanlarına teşekkürlerimizi sunar, kitabın tarım ve gıda alanında sürdürülebilir ve yenilikçi çözümlerin geliştirilmesine katkı sağlamasını dileriz.

Saygılarımızla,

Dr. Fatma Funda ÖZDÜVEN

Dr. Erhan KAHYA

BÖLÜM 1

TARIM SEKTÖRÜNDE YAPAY ZEKÂ: UYGULAMA ALANLARI VE ETKİLERİ

Dr. Halime ÖZTÜRK¹

Dr. Mehmet Ali EMİNOĞLU²

Dr. Hasine KÜÇÜKYILDIRIM³

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15028272>

¹ Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü
Şanlıurfa, Türkiye. ho166832@gmail.com Orcid ID: 0000-0002-9251-1750

² Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki
Besleme Bölümü Aydın, Türkiye. eminoglumali@gmail.com,
Orcid ID: 0000-0002-8752-5736

³ Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü
Şanlıurfa, Türkiye. hasineelci7@gmail.com, Orcid ID: 0000-0001-5822-9439

1. GİRİŞ

İklim değışikliği, üretim maliyetlerindeki artış, sulama için azalan su temini ve çiftlik iş gücündeki kapsayıcı düşüş, son birkaç on yılda tarımsal üretim sistemlerinde bir dizi soruna neden olmuştur. Bu tür faktörler, çevrenin, şimdiki ve gelecekteki gıda kaynak zincirinin sürdürülebilirliği için bir tehdittir. Kalıcı iklim değışikliğinin önünde kalmak için önemli buluşlar her zaman bir zorunluluktur. Buradaki anlaşılabilir sorun, sürekli artan nüfus için yeterli miktarda gıdanın nasıl hasat edileceğidir. Tarım ve çiftçilik endüstrisinin geleceği, alışılmadık bilgi işlem araçlarının yardımıyla verimi yoğunlaştırmak ve kaynakların daha iyi kullanılmasını sağlamak için büyük ölçüde yaratıcı kavramlara ve teknolojik gelişmelere dayanmaktadır. Tarım alanında üretim ve kaynak kullanım verimliliğini artırmak için ürün modelleri ve karar alma araçları giderek daha fazla kullanılıyor, Yapay Zeka'nın tarımsal üretkenliği tahmin etmek için gelişmiş teknolojileri entegre ederek tarımı devrim niteliğinde değıştirmesi için muazzam bir kapsama sahiptir.

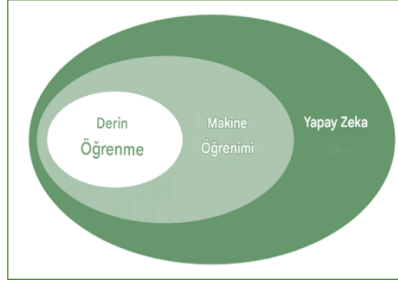
Tarımda, yapay zeka ve makine öğrenimine dayalı gözetim sistemleri, mahsulleri izlemek, zararlıları tespit etmek ve toprak hatalarını teşhis etmek için iç görüler sağlayarak çiftçilerin maksimum verim için en uygun zamanda tohum ekmelerine olanak tanır. Yabani otlar birçok tarımsal faaliyeti tehdit eder. Çiftlik üretimini düşürür, mahsulleri istila eder. Yapay zeka sensörleri, yabani otlarla dolu alanları tespit edebilir ve o konumda kullanılacak en iyi herbisiti belirleyebilir. Yapay zeka sistemleri hava modellerini tahmin edebilir, mahsul sağlığını değerlendirebilir ve hastalıkları, zararlıları veya yetersiz bitki beslenmesini tespit edebilir. Çiftçiler, yapay zeka destekli dronları kullanarak mahsullerinin sağlığını izleyebilir. Bu derlemenin temel odağı, tarımdaki sorunlarla yüzleşmek için kullanılan önemli Yapay Zeka (AI) tekniklerinin tarımda hangi alanlarda kullanıldığını ve tarımın geniş bir alt alanında, tarımsal-akıllı sistemlerin ölçülen büyümesini yakalamak için Yapay Zeka tekniklerinin kullanımını ele almaktadır.

2. YAPAY ZEKA

Yapay zeka adı verilen disiplinler arası bir çalışma alanı, öğrenme ve problem çözme dahil olmak üzere insan biliş ve davranışlarına benzeyen robotlarda insan zekasını kopyalamayı amaçlamaktadır. Araştırma bilim insanları ve uzatma uzmanları artık tarımsal üretkenlikteki sorunları ele almak için AI teknolojisini kullanıyor. AI teknolojisi, çiftçilere uygun ürün türlerini seçme, gelişmiş toprak ve besin yönetimi uygulamalarını benimseme, zararlıları ve hastalıkları yönetme, ürün üretimini tahmin etme ve emtia fiyatlarını öngörme konusunda yardımcı olarak verimi artırmalarına yardımcı olabilir. AI, tarımsal zorluklarla başa çıkmak için derin öğrenme, robotlar, Nesnelerin İnterneti, görüntü işleme, yapay sinir ağları, kablosuz sensör ağları (WSN), makine öğrenimi ve diğer son teknoloji yöntemleri kullanır. Bu AI teknolojileri artık çiftçilere, kararlarını daha iyi bilgilendirmek için hava durumu, sıcaklık, su kullanımı veya toprak koşulları gibi çiftliklerinden elde edilen çeşitli öğelerin gerçek zamanlı izlenmesinde yardımcı olabilir. AI, çiftçilere yüksek verim sağlarken kayıplarını azaltan akıllı çiftçilik uygulamaları geliştirmek için kullanılır (Liu., 2020; Talaviya ve ark., 2020; Ben Ayed ve Hanana., 2021).

Yapay zeka, insan zekasını taklit etmek için verilerden öğrenmek ve bunları interpolate etmek amacıyla makine ve derin öğrenme algoritmaları gibi yöntemleri kullanan bir bilgisayar bilimi dalıdır (Şekil 1). Bu ağlar, girdi ve çıktı değişkenlerini dinamik olarak birbirine bağlayarak tahminler sağlar. Bu tahminler, hem basit hem de karmaşık durumlara çeşitli çözümler oluşturmaya yardımcı olabilir. Günlük hayatımızda, yapay zeka destekli teknolojiler halihazırda yaygındır(Jung ve ark.,2021 ;Javaid ve ark., 2022) .Diğer endüstriler, yapay zeka sistemleri ve makine öğrenimi becerileri sayesinde önemli üretkenlik artışları görmüş olsa da, tarımın dijital bir dönüşüm yaşamasını öngörmek biraz daha zordur. Yapay zekanın şaşırtıcı sayıda tarımsal uygulaması vardır. Hassas tarım, yapay zeka sayesinde mümkün olmaktadır. Yapay zeka, makine öğreniminden elde edilen

verileri kullanarak çiftçilere sulama, ürün rotasyonu, hasat, ürün seçimi, ekim ve haşere kontrolü konusunda yardımcı olabilir (Shadrin ve ark., 2019; Linaza ve ark., 2021).



Şekil 1. Yapay Zeka Teknolojisi

Yapay zekanın temeli, insan zekasının bir bilgisayarın her boyuttaki aktiviteyi kopyalayıp gerçekleştirmesini kolaylaştıracak şekilde tanımlanabileceği varsayımdır. Öğrenme, muhakeme ve algılama, yapay zekanın hedefleridir. Yapay zeka, her alanda önemli bir etkiye sahiptir. Her sektör, belirli işleri otomatikleştirmek için akıllı makineler kullanmayı amaçlamaktadır. Bu, insan zekasının bir makinenin anlayabileceği şekilde tanımlanmasıyla gerçekleşir. Dahası, tarımdaki yapay zeka teknolojisi dünyayı iyileştirme potansiyeline sahiptir. Bu teknoloji, basit olandan karmaşığa kadar çeşitli görevleri yerine getirebilir. Bir makinenin amacı öğrenmek, muhakeme etmek ve algılamaktır. Çeşitli sektörlerde işlerin otomasyonuna yardımcı olur. Zeka makinelerinin kullanımı çeşitli görevleri basitleştirir (Sharma ve ark.,2022;Ampatzidis ve ark., 2020 ;Bolandnazar ve ark., 2020).

2.1. Tarımda Yapay Zeka Süreci

Genel olarak, yapay zekanın erişebildiği verilerin kalitesinin, tarımsal sorunları çözmede ne kadar etkili olacağını belirlediği bilinmektedir. Yapay zeka, önemli tarımsal çözümler sunabilecek gelecek vaat eden bir teknoloji olarak görülmektedir. Bu, özellikle çiftçi düzeyinde gerekli bilgileri edinmede ciddi bir zorluktur. Tarım makinelerinin kullanımı ve verimliliği, özellikle yabancı ot temizliği, erken hastalık teşhisi, ürün hasadı ve sınıflandırmada, görüntü

sınıflandırma tekniklerinin uzak ve yerel algılama verileriyle birleştirilmesiyle devrim yaratılabilir. (Perea ve ark., 2019 ; Choudhary ve ark.,2019 ;Spanaki ve ark.,2021).Bahçecilik uygulamaları, bitki büyümesinin tüm aşamalarında kapsamlı izleme gerektirir. Tarım Hassas tarım yazılımlarından, toprak sensörlerinden, toprak analiz dronlarından veya hatta akıllı telefon fotoğraflarından gelen bilgileri kullanan yapay zeka sistemleri, topraktaki besin seviyelerini sürekli olarak izleyebilir ve bunları tarihsel olarak belirli üründe en yüksek verimi üretenlerle karşılaştırabilir. Yapay zeka, üretimi en üst düzeye çıkarırken en az zararlı etkiye sahip olacak dozu bulmak için çeşitli dozaj ve gübre türlerinin uygulanmasının çevresel etkilerini incelemek için veri kümelerini kullanabilir. Bunlar, çiftçiliğin çevre dostu olmasına yardımcı olacaktır (Mkrttchian., 2021 ;Chen ve ark., 2021).

Zamanla, kirlilikte ve hava koşullarındaki öngörülemezlikte gözle görülür bir artış olmuştur. Çiftçiler, iklim değişikliği nedeniyle tohumların ne zaman ekileceğini belirlemede zorluk çekmektedir. Bu noktada yapay zeka devreye girerek havanın , mevsimsel güneş ışığının, rüzgarın ve yağmurun ürün ekim döngülerini nasıl etkileyeceğini ortaya koyar. Çiftçiler, tohumları ne zaman ekeceklerini analiz edip planlarken hava durumu tahminlerinden de faydalanacaklardır. Bilgisayar görüşü, mekatronik , yapay zeka ve makine öğrenimi gelişmeleri sayesinde bitkileri, yabancı otları, zararlıları ve hastalıkları tanımak ve yönetmek için uzaktan algılama teknolojileri artık mümkün. Ek olarak, tam gübreleme için akıllı tohum ekim teknikleri geliştirmek için benzersiz bir şans sunmaktadır. Yapay zeka araçları, çiftçilerin atığı ve hasada uzaktan izler ve ardından bilgileri iletirler (Drury ve ark., 2017; D.N. Swetha ve Balaji., 2021;Kugler., 2022).

Yapay zeka, çiftlikteki merkezi bitkiyi tanıır ve zararlı böcek kontrolüne yardımcı olur. Hangi pestisitlerin ne miktarda kullanılabileceğini belirleyerek. Ayrıca, drone teknolojisini kullanarak mahsullerin üzerine pestisit püskürtür ve zamandan tasarruf sağlar. Yağış ve buharlaşma, öngörücü analizler kullanılarak tahmin edilebilir.

Toprak örnekleri ve diğer verilerle birleştirildiğinde, ML modelleri toprak nemi, sıcaklığı ve genel durumu hakkında güçlü içgörüler sağlamak üzere eğitilebilir. Çiftçiler, verileri mahsullerini daha verimli bir şekilde sulamak için kullanabilir, böylece kar marjlarından ve çevreden yararlanabilirler (Katiyar.,2022; Jose ve ark.,2021). Bu tür sistemler, çiftlik koşullarını otomatik olarak izleyebilir ve bunun sonucunda daha az emek yoğun, daha kaynak verimli bir tarım biçimi elde edilebilir. Tarla değişkenliğini belirlemek ve yönetmek, mahsulün tam olarak ihtiyaç duyduğu şeyi aldığından emin olmaya yardımcı olur. Tarım arazisi ihtiyaçlarına hassas yanıt, mahsul verimini, gübre verimliliğini ve karlılığı artırır. Hassas tarım, sürdürülebilirlik , çevre koruma ve artan üretkenlik ve verimlilik sağlar (Chen ve Li., 2019 ;Dozono ve ark., 2022).

Dünya tarımdan kentsel bir yaşam tarzına geçerken, tarım sektörü bir işgücü sıkıntısıyla karşı karşıya kalmıştır. Geleneksel çiftlikler, tohum ekme, toprağı sulama, mahsul hasadı, yabancı otları temizleme ve çeşitli diğer görevleri yerine getirme için işçilere ihtiyaç duyar. Yapay zeka, otomasyon çözümleri sağlayarak bu tür sorunların çözümüne yardımcı olur. Birçok şirket, emek yoğun tarımsal süreçleri ele almak için kendi kendine giden robotlar geliştiriyor. Birçok kişi, yapay zekanın tarımsal karar alma sürecinin mümkün olduğunca etkili ve gelişmiş olmasını sağlamak için kullanılmasının gerekli olduğuna inanmaktadır çünkü çiftçilere mahsullerinin üretimi hakkında daha bilinçli seçimler yapma fırsatı sağlayabilir .Yapay zeka araçlarının verimli kullanımı ve veri toplamanın güvenilirliği, tarım sektörünün gelişiminin ve gelecekteki büyüme için alanın göstergeleri olarak hizmet eder (Chen ve ark., 2019 ;Kothari.,2018 ;Vazquez ve ark.,2021).

2.2. Yapay Zeka ile İzlenen Tarım Parametreleri

Tarım yoğun bir sektördür, bu nedenle emek kıtlığı şaşırtıcı değildir. Ancak otomasyon bu sorunu çözmeye yardımcı olabilir. Bazı örnekler otomatik sürücülü traktörler, akıllı sulama, ilaçlama, gübreleme sistemleri ve yapay zeka tabanlı hasat robotlarıdır. Yazılım şirketlerinin çiftçilerin tüm yapay zeka sistemini anlamasını sağlaması

zor olabilir. Yapay zeka tarımda tarla hasadı, sağlık izleme, haşere kontrolü ve eksiklik tespiti için kullanılır. Tarım sektöründe, ML ve yapay zeka eski tahmin ve istihbarat yöntemlerinin yerini almaktadır (Wongchai ve ark.,2022; Bu ve Wang 2019). Yapay zeka, tarlaya son teknoloji getirerek çiftlik sektörünü daha uyumlu hale getirir.



Şekil 2. Tarımda Yapay Zekanın Potansiyeli

Biyosensörler, toprak nemini ve verimliliğini izlemeyi bile mümkün kılmıştır. Temel doğrusal regresyon modelleri kullanmak yerine, ham veriler toplanır ve çeşitli yöntemler kullanılır. Sinir ağları, doğrusal olmayan bağımlılıklarla geçmiş hava eğilimlerini hesaplayabilir ve tahmin edebilir. Sonuç olarak, pirinç, buğday ve mısır gibi temel emtialar için, yapay zeka tohumları uygun zamanda ekmek için kullanılabilir çünkü bunlar öncelikle büyümek için yoğun yağış gerektirir ve genellikle yetiştirilir (Anitha ve ark., 2022;Gambhire ve ark., 2020 ;Chen ve Kuo ,2022).

2.2.1. Tarımda Yapay Zeka Uygulamaları

Tarımda yapay zeka çeşitli teknolojik gelişmeler için kullanılabilir. Bunlara danışmanlık hizmetleri, veri analitiği, nesnelerin interneti ve kameralar ile diğer sensörlerin kullanımı dahildir. Tarımda yapay zeka, hava durumu, toprak, ürün performansı ve sıcaklık gibi çeşitli veri kaynaklarını inceleyerek daha iyi tahmine dayalı içgörüler üretebilecek kadar yetkin hale gelecektir (Ramirez-Asis ve ark.,2022;Zhao., 2020).Yapay zeka , bitki hastalıklarını hızla belirleyerek ve tarımsal kimyasalları etkili bir şekilde uygulayarak ürün

yönetimini ve verimi iyileştirmek için tarımda kullanılabilir . ML, hızlı bitki fenotiplemesi, tarımsal izleme, toprak bileşimi değerlendirmesi, hava durumu tahmini ve verim tahmini konusunda yardımcı olabilir. Giderek artan sayıda çiftçi, arazilerinin verimliliğini artırmak için AI, IoT ve diğer teknolojik gelişmeleri benimsiyor (Lešić ve ark.,2021 ;Jia ve ark.,2020 ;Bruno ve ark., 2021).

2.2.2. Tarımsal Verimi ve Üretkenliği Artırma

Tarımda yapay zeka teknikleri tarımsal verimi ve üretkenliği artırabilir. Buna bağlı olarak , tarım işletmeleri öngörücü analizler yoluyla yapay zeka teknolojisini tarıma dahil ediyor. Tarımda yapay zeka teknolojisi, çiftçilere toprak izleme, haşere kontrolü, daha sağlıklı ürünler üretme, tedarik zincirlerini sürdürme ve çiftlik verilerini analiz etme konusunda yardımcı olabilir. Çiftçiler, ürünleri korumak için bu aşamada istenmeyen bitkileri ve haşereleri temizler. Çiftçiler, zaman içinde daha iyi ürün performansını ve yeni özelliklerin oluşumunu anlamak için büyük miktarda tarla verisini analiz etmek için makine öğrenimini kullanabilirler. Analiz edilen veriler, hangi genlerin bir bitkiye faydalı bir özellik katma olasılığının yüksek olduğunu tahmin etmek için bir olasılık modeli geliştirmeyi kolaylaştırır. Yaprak rengini ve şeklini karşılaştırmak, bitkileri sınıflandırmak için geleneksel yöntemdir. Ancak makine öğrenimi, yaprak özellikleri hakkında daha fazla bilgi içeren yaprak damar morfolojisini ve hatta bazen hava fotoğraflarını analiz ederek daha doğru ve daha hızlı bir sınıflandırma yöntemi sunar (Kushkhova ve ark., 2019;Kun, 2020; Abreu ve Van Deventer, 2021).

2.2.3. Tahmine Dayalı Analitiği

Yapay zeka, öncelikle tarımsal ekimde, ne zaman ve nasıl ekim yapılacağına karar vermek için tahmini analitiği yönlendirmek için kullanılır. İklim verileri, geçmiş koşullar, girdiler ve çıktılar için piyasa koşulları, bireysel bilgiler vb. temelinde ekim, gübre uygulama, hasat, balyalama, sürme ve diğer tarımsal faaliyetler için ideal zaman tahminleri oluşturmaya yardımcı olur. Yapay zeka destekli teknoloji

kullanılarak, mahsuller ideal derinliklerde ve eşit aralıklı aralıklarla da ekilebilir. Çiftçiler, yapay zeka, IoT, bağlantılı hizmetler ve otonom sistemler kullanarak tüm tarlalar veya tüm hayvanlar düzeyinde değil, metrekaşe veya bireysel bitki veya hayvan düzeyinde kararlar alabilirler. Bu hassasiyet, çiftçilerin daha az kaynakla daha fazla gıda üretmesine yardımcı olarak tarımsal sürdürülebilirliği artıran iyi bilgilendirilmiş çözümlere olanak tanır. Hassas çiftçiliğin bir diğer kritik yönü, o tarlada yetiştirilecek belirli mahsul için eğitilmiş bir yazılım modülüne sahip olmasıdır. Gübreler, sulama, tohum ekim teknolojisi ve diğer tarımsal görevlerin tümü modern teknoloji çiftçiliğinden etkilenir. Ortaya çıkan tarımsal mühendislik teknolojilerinin etkisi, mahsul verimliliğini ve zararlılara karşı direnci artırmaya yardımcı olmaktadır. Ayrıca modern tarım teknolojisi, emeği azaltmış ve mükemmel toprak işleme, ekim, hasat ve diğer tarım işlerini mümkün kılmıştır (Chukkapalli ve ark., 2020 ;Costa ve ark., 2021; Aitkenhead ve ark., 2003; Sowmya ve Anuradha., 2020).

2.2.4. Bitki Yetiştirme ve Hasadı

Yapay zeka tarafından oluşturulan robotlar ve dronlar çiftçilere ürün yetiştirme ve hasatta yardımcı olur. Hedefli sulama, yabancı ot kontrolü ve ürün yönetimi tarla verimliliğini artırır. Tahmini analiz, tarladaki sorunların erken tespit edilmesine yardımcı olur. Erken tespit, çiftçilere ve kuruluşlara sorunu belirlemede ve önemli ürün kaybını veya hasarını önlemede yardımcı olur. Yapay zeka, sel veya kuraklık koşullarını oluşmadan önce tespit etmek için kullanılabilir. Bu teknoloji, tarla için yabancı ot ilacı ve pestisit gereksinimlerinin analiz edilmesine yardımcı olur. Yapay zeka yazılımı, haşere saldırılarının ve bitki sağlığı sorunlarının tespitine yardımcı olur. Ayrıca toprak verimliliğinin korunmasını iyileştirir ve belirli tarlalarda pestisit ve herbisit kullanımını azaltır. Yapay zeka ayrıca tarlada pestisit ve yabancı ot ilacı püskürtmeye ve ürün izlemeye yardımcı olur.

Kimyasalların dronla püskürtülmesi bunu daha etkili hale getirir ve insan çabalarını ve iş gücündeki yükü azaltır. Tahmini analiz, robotik, insansız hava araçları ve otonom çiftlik araçları, yapay zekanın

tarımdaki popüler uygulamalarından bazılarıdır. Yapay zekanın başarıyla uygulandığı tarımsal uygulamalara örnek olarak bitki koruma, hava durumu tahmini, çiftlik makinelerinin otomasyonu ve hayvanların büyüme takibi verilebilir (Ennouri ve ark., 2021;Orchi ve ark., 2021;Chougule ve Mashalkar, 2022;Saheb ve ark., 2022;Sagan ve ark., 2021).

2.2.5. Su Yönetimi

Çiftçilere su yönetimi, ürün rotasyonu, zamanında hasat, optimum ekim, böcek istilası ve diğer konularda doğru tavsiyeler sağlayan uygulamalar, yapay zekanın tarımda uygulanmasının sonucudur. ML algoritmaları ve uydulardan ve dronlardan gelen fotoğrafları kullanarak, ürün sürdürülebilirliğini analiz edebilir, beslenmeyi düzenleyebilir ve hava koşullarını tahmin edebilir. Tarımsal verimi en üst düzeye çıkarmak için hassas tarım, doğru veri girişleri kullanır. Çiftçiler, akıllı telefonlar ve yapay zeka yazılımıyla özelleştirilmiş bir çiftlik planı alabilirler. Tasarım her zaman insan girdisi gerektirse de, çim bakımında yapay zekanın kullanılması fiziksel emeği önemli ölçüde azaltabilir. ML, yetiştiricilerin ve yetiştiricilerin bitki kök sistemlerindeki potansiyel hastalıkları ve zararlıları belirlemesine olanak tanır. Bitkiler, hastalıklı bitkileri ayıklayarak her bir nesilde daha sağlıklı hale gelir. Çiftçiler, iklim değişikliğinden dünya nüfusuna kadar sürekli büyüyen küresel bir nüfusu beslemede önemli bir rol oynarlar. Her gün iklim değişikliğinin etkileriyle karşı karşıya kalırlar ve gıdanın sürdürülebilir şekilde üretilmesini sağlamalıdır. En iyi ekonomik, çevresel ve yasal kararları almak için çok sayıda ihtiyaç ve parametrenin dikkate alınması gerekir. Dijital tarımın yardımcı olabileceği yer tam da burasıdır (Zhang, 2020 ;Hassan ve ark., 2016 ;Kumar ve ark.,2021; Kaur, 2019).

2.2.6. Bitki ve toprak izleme

Yapay zekanın tipik bir kullanımı mahsul ve toprak izlemesidir. İHA'lar, Nesnelerin İnterneti ve saha uydu görüntüleri, daha sonra en iyi cevapları belirlemek için yapay zeka tabanlı uygulamalar tarafından

takip edilebilecek ve analiz edilebilecek verileri toplamak için kullanılabilir. Yapay zeka içeren uygulamalar, toprak kusurları, bitki zararlıları ve hastalıklar hakkındaki bilgileri destekler. Veri analizi, ML algoritmalarının yardımıyla hızlı ve basit hale getirilir. Mobil tarım uygulamaları, çiftçilerin mahsul verilerini değerlendirmesine, operasyonlarını takip etmesine, hava değişikliklerini izlemesine ve çiftliklerini daha etkili bir şekilde yönetmesine yardımcı olabilir. Herbisit ve pestisit kullanımını optimize etmek, gıda güvenliğini sağlarken tarımsal verimliliği ve sürdürülebilirliği artırmayı amaçlar. Yapay zeka sistemleri, mevcut ot ve böcek aktivitesini izler ve prosedürleri belirli bir zaman çizelgesine göre yürütmek yerine herbisit ve pestisitlerin uygulamasını buna göre uyarlar. Bir zararlı saldırısı, uydu veya drone görüntülerini analiz ederek, zararlı aktivitesindeki eğilimleri belirleyerek ve yaklaşan bir saldırının uyarı göstergelerini tespit etmek için yeni verileri izleyerek tahmin edilebilir (Qazi ve ark.,2022 ; Lowe ve ark., 2022 ; Weng ve ark., 2019 ; Shelake ve ark., 2021 ;Marcu ve ark., 2019 ;Maraveas ve ark., 2021).

2.2.7. Bitki Hastalıklarını Tahmini

Yapay zeka yabancı otları tanımlayabilir ve ortadan kaldırabilir, bitki hastalıklarını tespit edebilir ve hatta tahmin edebilir ve etkili hasare kontrol önlemleri önerebilir. Yapay zeka, tarımsal ürünlerin en iyi kombinasyonunu tahmin etmeye, en iyi sulama programlarını bulmaya ve besin maddelerinin uygulanmasını zamanlamaya yardımcı olur. Yapay zeka ile hasat otomatikleştirilebilir ve bunun için ideal zaman bile tahmin edilebilir.

Tahmini analizlerin uygulanması endüstrileri tamamen değiştirebilir. Yapay zeka ile çiftçiler, onsuz olduğundan daha fazla veriyi işleyebilir ve toplayabilir. Çiftçiler, pazar talebi analizi, fiyat tahminleri ve mahsulün ne zaman ekileceğini ve hasat edileceğini belirleme gibi temel sorunları ele almak için yapay zekayı kullanabilir. Yetiştirme sırasında, yem haritaları ve tarla haritaları oluşturularak ve mahsulün daha fazla veya daha az su, gübre veya pestisit gerektirdiği alanlar belirlenerek tahminler yapılır. Bilişsel çözümler çiftçilere

toprağın durumu, hava durumu tahminleri, tohum türleri ve belirli bir bölgedeki istilalar hakkında değerli bilgiler sağlar (Partel ve ark., 2021;Singh., 2018 ;Klerkx ve ark., 2019 ;Papadimitriou., 2012).

2.2.8. Mahsul Hakkında Doğru Bilgi

Yapay zeka teknolojisi, toprak kalitesi, hava durumu ve yeraltı suyu seviyesi gibi hava ve diğer tarımsal koşulları tahmin etmeye yardımcı olur. Yapay zeka tabanlı uyarıların üretimi uzatmaya yardımcı olduğu düşünülmektedir. Zararlı böcek saldırıları da dahil olmak üzere çeşitli felaketlerin neden olduğu ürün hasarı, çiftçiler için en zorlu sorundur. Çoğu zaman, çiftçiler uygun bilgi eksikliğinden dolayı ürünlerini kaybederler. Bu gibi durumlarda, yapay zeka destekli görüntü tanıma işe yarayacaktır. Rapor ayrıca üretimi iyileştirmeye yardımcı olacaktır. Çiftçiler, doğal kaynaklarımızı tüketmeden artan gıda üretimi ve geliri gibi IoT ve yapay zeka destekli çözümlerle mevcut ve gelecekteki dünyamızın ihtiyaçlarını karşılayabilirler. Yapay zeka destekli şirketler, çeşitli çiftçilik görevlerini yerine getirebilen robotlar üretmektedir. Bu robotlar, yabani ot büyümesini kontrol etmek ve ürünleri hasat etmek üzere programlanacak. Ayrıca, ürünleri nasıl hasat edecekleri ve paketleyecekleri de öğretilecek. Tarımdaki yapay zeka teknolojisi, uydu görüntülerinin hayvan veya insan ihlallerini geçmiş verilerle karşılaştırarak tespit etmesini sağlar. Bu, herhangi bir evcil veya vahşi hayvanın ürünleri tahrip etme olasılığını azaltır (Vangala ve ark., 2020 ;Kawai ve Mineno, 2020 ;Li ve Liu, 2020 ;Tang ve ark., 2018).

3. SONUÇ

Yapay zeka, hassas tarım, ürün tarlalarının gerçek zamanlı izlenmesi ve yönetimi için yeni fırsatlar yaratacağı ve bu uygulamaların çevre üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indireceği için çiftlikten-çatala tüm değer zincirini etkileyecektir. Doğal kaynakları azaltmayan yapay zeka odaklı teknolojilerin kullanılmasıyla, sıfır açlık ve iklim eylemi için küresel ihtiyaç karşılanacaktır. Dahası, yapay zeka teknolojileri hava modellerini tahmin etmek ve çiftlikleri hastalık veya

zararlıların varlığı ve yetersiz bitki beslenmesi açısından değerlendirmek için kullanılacaktır . Verileri analiz etme ve karmaşık ilişkileri ve modelleri hesaplamalı olarak keşfetme konusunda olağanüstü bir yetenek sağlar ve böylece zaman kaybını azaltır. Yapay zeka, okul beslenme programları gibi sürdürülebilir ve iyileştirilmiş gıda sistemlerine geçişi sağlamak ve kolaylaştırmak için potansiyel bir araçtır. İdari süreçlerin yükünü hafifletmeye yardımcı olabilir.

Sürekli değişen iklim koşulları nedeniyle, talep ve arz rekabetinde sürekli bir artış olması muhtemeldir. Bu, daha yüksek üretkenliği teşvik etmek ve sürdürmek ve ürün kalitesini ve sürdürülebilirliği iyileştirmek için yapay zekanın uygulanmasıyla potansiyel olarak hafifletilebilir. Yapay zeka, optimum kaynak kullanımı için stratejileri ince ayarlamak üzere kritik veriler üretmek üzere tarımsal süreçlerin gerçek zamanlı izlenmesine ve analizine olanak tanır. Yapay zekanın geleceği, gıda üretimi, gıda tüketimi ve değer zincirlerinin optimizasyonunun yanı sıra olumsuz çevresel etkileri en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Bununla birlikte, gelişmekte olan ülkelerde yapay zekanın benimsenmesi, veri sahipliği, şeffaflık ele alan politika önerileri gerektirecektir.

KAYNAKÇA

- Aitkenhead, M. J., Dalgetty, I. A., Mullins, C. E., McDonald, A. J. S., & Strachan, N. J. C. (2003). Weed and crop discrimination using image analysis and artificial intelligence methods. *Computers and Electronics in Agriculture*, 39(3), 157–171.
- Ampatzidis, Y., Partel, V., & Costa, L. (2020). Agroviz: Cloud-based application to process, analyze, and visualize UAV-collected data for precision agriculture applications utilizing artificial intelligence. *Computers and Electronics in Agriculture*, 174, Article 105457.
- Anitha Mary, X., Popov, V., Raimond, K., Johnson, I., & Vijay, S. J. (2022). Scope and recent trends of artificial intelligence in Indian agriculture. In *Digital Agriculture Revolution: Innovations, Challenges, and Agricultural Technology Disruptions* (pp. 1–24).
- Ben Ayed, R., & Hanana, M. (2021). Artificial intelligence to improve the food and agriculture sector. *Journal of Food Quality*, 2021, Article 2021.
- Bolandnazar, E., Rohani, A., & Taki, M. (2020). Energy consumption forecasting in agriculture by artificial intelligence and mathematical models. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 42(13), 1618–1632.
- Bruno, C., Licciardello, A., Nastasi, G. A. M., et al. (2021). Embedded artificial intelligence approach for gas recognition in smart agriculture applications using low-cost MOX gas sensors. In *2021 Smart Systems Integration (SSI)*, IEEE (pp. 1–5).
- Bu, F., & Wang, X. (2019). A smart agriculture IoT system based on deep reinforcement learning. *Future Generation Computer Systems*, 99, 500–507.

- Chen, S. F., & Kuo, Y. F. (2022). Artificial intelligence for image processing in agriculture. In *Sensing, Data Managing, and Control Technologies for Agricultural Systems* (pp. 159–183). Springer, Cham.
- Chen, T. C., & Yu, S. Y. (2021). The review of food safety inspection system based on artificial intelligence, image processing, and robotics. *Food Science and Technology*, 42, 1–7.
- Chen, W. L., Lin, Y. B., Ng, F. L., Liu, C. Y., & Lin, Y. W. (2019). RiceTalk: Rice blast detection using Internet of Things and artificial intelligence technologies. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(2), 1001–1010
- Chen, Y., & Li, Y. (2019). Intelligent autonomous pollination for future farming—a micro air vehicle conceptual framework with artificial intelligence and human-in-the-loop. *IEEE Access*, 7, 119706–119717.
- Choudhary, S., Gaurav, V., Singh, A., & Agarwal, S. (2019). Autonomous crop irrigation system using artificial intelligence. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 8(5), 46–51.
- Chougule, M. A., & Mashalkar, A. S. (2022). A comprehensive review of agriculture irrigation using artificial intelligence for crop production. *Computational Intelligence in Manufacturing*, 187–200.
- Chukkapalli, S. S. L., Mittal, S., Gupta, M., et al. (2020). Ontologies and artificial intelligence systems for the cooperative smart farming ecosystem. *IEEE Access*, 8, 164045–164064.
- Costa, L., Archer, L., Ampatzidis, Y., Casteluci, L., Caurin, G. A., & Albrecht, U. (2021). Determining leaf stomatal properties in citrus trees utilizing machine vision and artificial intelligence. *Precision Agriculture*, 22(4), 1107–1119.

- de Abreu, C. L., & van Deventer, J. P. (2021). The application of artificial intelligence (AI) and the Internet of Things (IoT) in agriculture: A systematic literature review. In Southern African Conference for Artificial Intelligence Research (pp. 32–46). Springer, Cham.
- Dozono, K., Amalathas, S., & Saravanan, R. (2022). The impact of cloud computing and artificial intelligence in digital agriculture. In Proceedings of the Sixth International Congress on Information and Communication Technology (pp. 557–569). Springer.
- Drury, B., Valverde-Rebaza, J., Moura, M. F., & Lopes, A. D. A. (2017). A survey of the applications of Bayesian networks in agriculture. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 65, 29–42.
- Ennouri, K., Smaoui, S., Gharbi, Y., et al. (2021). Usage of artificial intelligence and remote sensing as efficient devices to increase agricultural system yields. *Journal of Food Quality*, 2021.
- Gambhire, A., & Shaikh Mohammad, B. N. (2020). Use of artificial intelligence in agriculture. In Proceedings of the 3rd International Conference on Advances in Science & Technology (ICAST), April.
- Hassan, M. U., Ullah, M., & Iqbal, J. (2016). Towards autonomy in agriculture: Design and prototyping of a robotic vehicle with seed selector. In 2nd International Conference on Robotics and Artificial Intelligence (ICRAI) (pp. 37–44). IEEE.
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Suman, R. (2022). Artificial intelligence applications for industry 4.0: A literature-based study. *Journal of Industrial Integration and Management*, 7, 83–111.
- Jia, L., Wang, J., Liu, Q., & Yan, Q. (2020). Application research of artificial intelligence technology in intelligent

- agriculture. In *International Conference on Computer Engineering and Networks* (pp. 219–225). Springer, Singapore.
- Jose, A., Nandagopalan, S., & Akana, C. M. V. S. (2021). Artificial intelligence techniques for agriculture revolution: A survey. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*, 2580–2597.
- Jung, J., Maeda, M., Chang, A., Bhandari, M., Ashapure, A., & Landivar-Bowles, J. (2021). The potential of remote sensing and artificial intelligence as tools to improve the resilience of agriculture production systems. *Current Opinion in Biotechnology*, 70, 15–22.
- Katiyar, S. (2022). The use of pesticide management using artificial intelligence. In *Artificial Intelligence Applications in Agriculture and Food Quality Improvement* (pp. 74–94). IGI Global.
- Kaur, S. (2019). Artificial intelligence and the Internet of Things in agriculture: A survey. *Think India Journal*, 22(30), 1410–1416.
- Kawai, T., & Mineno, H. (2020). Evaluation environment using edge computing for artificial intelligence-based irrigation system. In *16th International Conference on Mobility, Sensing and Networking (MSN)* (pp. 214–219). IEEE.
- Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2019). A review of social science on digital agriculture, smart farming, and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 90, Article 100315.
- Kothari, J. D. (2018). Plant disease identification using artificial intelligence: Machine learning approach. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 7(11), 11082–11085.

- Kugler, L. (2022). Artificial intelligence, machine learning, and the fight against world hunger. *Communications of the ACM*, 65(2), 17–19
- Kumar, S., Patil, R. R., Kumawat, V., Rai, Y., Krishnan, N., & Singh, S. K. (2021). A bibliometric analysis of plant disease classification with artificial intelligence using convolutional neural networks. *Library Philosophy and Practice*, 5777, 1–14.
- Kun, W. (2020). Design of multi-parameter monitoring system for intelligent agriculture greenhouse based on artificial intelligence. In *International Conference on Multimedia Technology and Enhanced Learning* (pp. 269–280). Springer, Cham.
- Kushkhova, B. A., Gazaeva, M. S., Gyatov, A. V., Ivanova, Z. M., & Eneeva, M. N. (2019). Artificial intelligence in agriculture of Kabardino-Balkaria: Current state, problems, and prospects. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 315(2), Article 022013.
- Lešić, V., Novak, H., Ratković, M., et al. (2021). Rapid plant development modelling system for predictive agriculture based on artificial intelligence. In *2021 16th International Conference on Telecommunications (ConTEL)*, IEEE (pp. 173–180).
- Li, D., & Liu, C. (2020). Recent advances and future outlook for artificial intelligence in aquaculture. *Smart Agriculture*, 2(3), 1.
- Linaza, M. T., Posada, J., Bund, J., et al. (2021). Data-driven artificial intelligence applications for sustainable precision agriculture. *Agronomy*, 11(6), 1227.
- Liu, S. Y. (2020). Artificial intelligence (AI) in agriculture. *IT Prof.*, 22(3), 14–15.

- Lowe, M., Qin, R., & Mao, X. (2022). A review on machine learning, artificial intelligence, and smart technology in water treatment and monitoring. *Water*, 14(9), 1384.
- Maraveas, C., Loukatos, D., Bartzanas, T., & Arvanitis, K. G. (2021). Applications of artificial intelligence in fire safety of agricultural structures. *Applied Sciences*, 11(16), 7716.
- Marcu, I. M., Suci, G., Balaceanu, C. M., & Banaru, A. (2019). IoT-based system for smart agriculture. In 11th International Conference on Electronics, Computers, and Artificial Intelligence (ECAI) (pp. 1–4). IEEE.
- Mkrtchian, V. (2021). Artificial and natural intelligence techniques as IoP-and IoT-based technologies for sustainable farming and smart agriculture. In *Artificial Intelligence and IoT-Based Technologies for Sustainable Farming and Smart Agriculture* (pp. 40–53). IGI Global.
- Orchi, H., Sadik, M., & Khaldoun, M. (2021). On using artificial intelligence and the Internet of Things for crop disease detection: A contemporary survey. *Agriculture*, 12(1), 9.
- Papadimitriou, F. (2012). Artificial intelligence in modelling the complexity of Mediterranean landscape transformations. *Computers and Electronics in Agriculture*, 81, 87–96.
- Partel, V., Costa, L., & Ampatzidis, Y. (2021). Smart tree crop sprayer utilizing sensor fusion and artificial intelligence. *Computers and Electronics in Agriculture*, 191, Article 106556.
- Perea, R. G., Poyato, E. C., Montesinos, P., & Díaz, J. A. R. (2019). Optimisation of water demand forecasting by artificial intelligence with short data sets. *Biosystems Engineering*, 177, 59–66.
- Qazi, A. M., Mahmood, S. H., Haleem, A., Bahl, S., Javaid, M., & Gopal, K. (2022). The impact of smart materials, digital twins (DTs), and the Internet of Things (IoT) in an

- Industry 4.0 integrated automation industry. Materials Today Proceedings.
- Ramirez-Asis, E., Bhanot, A., Jagota, V., et al. (2022). Smart logistic system for enhancing the farmer-customer corridor in the smart agriculture sector using artificial intelligence. *Journal of Food Quality*, 2022.
- Sagan, V., Maimaitijiang, M., Paheding, S., et al. (2021). Data-driven artificial intelligence for calibration of hyperspectral big data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 60, 1–20.
- Saheb, T., Dehghani, M., & Saheb, T. (2022). Artificial intelligence for sustainable energy: A contextual topic modeling and content analysis. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 35, Article 100699.
- Shadrin, D., Menshchikov, A., Somov, A., Bornemann, G., Hauslage, J., & Fedorov, M. (2019). Enabling precision agriculture through embedded sensing with artificial intelligence. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 69(7), 4103–4113.
- Sharma, A., Georgi, M., Tregubenko, M., Tselykh, A., & Tselykh, A. (2022). Enabling smart agriculture by implementing artificial intelligence and embedded sensing. *Computers and Industrial Engineering*, 165, Article 107936.
- Shelake, S., Sutar, S., Salunkher, A., et al. (2021). Design and implementation of artificial intelligence-powered agriculture multipurpose robot. *International Journal of Research in Engineering, Science and Management*, 4(8), 165–167.
- Singh, K. K. (2018). An artificial intelligence and cloud-based collaborative platform for plant disease identification, tracking, and forecasting for farmers. In *IEEE*

- International Conference on Cloud Computing in Emerging Markets (CCEM) (pp. 49–56). IEEE.
- Sowmya, K., & Anuradha, S. (2020). Era of artificial intelligence—prospects for Indian agriculture. *Think India Journal*, 22(44), 13–20.
- Spanaki, K., Karafili, E., Sivarajah, U., Despoudi, S., & Irani, Z. (2021). Artificial intelligence and food security: Swarm intelligence of AgriTech drones for smart AgriFood operations. *Production Planning and Control*, 1–19.
- Swetha, D. N., & Balaji, S. (2021). Agriculture cloud system based emphatic data analysis and crop yield prediction using hybrid artificial intelligence. *Journal of Physics: Conference Series*, 2040(1), 012010.
- Talaviya, T., Shah, D., Patel, N., Yagnik, H., & Shah, M. (2020). Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4, 58–73.
- Tang, D., Feng, Y., Gong, D., Hao, W., & Cui, N. (2018). Evaluation of artificial intelligence models for actual crop evapotranspiration modeling in mulched and non-mulched maize croplands. *Computers and Electronics in Agriculture*, 152, 375–384.
- Vangala, A., Das, A. K., Kumar, N., & Alazab, M. (2020). Smart, secure sensing for IoT-based agriculture: Blockchain perspective. *IEEE Sensor Journal*, 21(16), 17591–17607.
- Vazquez, J. P. G., Torres, R. S., Perez, D. B. P., et al. (2021). Scientometric analysis of the application of artificial intelligence in agriculture. *Journal of Scientometrics and Research*, 10(1), 55–62.
- Weng, S., Zhu, W., Zhang, X., et al. (2019). Recent advances in Raman technology with applications in agriculture, food,

- and biosystems: A review. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 3, 1–10.
- Wongchai, A., Shukla, S. K., Ahmed, M. A., Sakthi, U., & Jagdish, M. (2022). Artificial intelligence-enabled soft sensor and Internet of Things for sustainable agriculture using ensemble deep learning architecture. *Computers and Electrical Engineering*, 102, Article 108128.
- Zhang, J. (2020). Research on digital image processing and recognition technology of weeds in maize seedling stage based on artificial intelligence. *Journal of Physics: Conference Series*, 1648(4), Article 042058.
- Zhao, B. (2020). The application of artificial intelligence in agriculture. *Journal of Physics: Conference Series*, 1574, Article 012139.

BÖLÜM 2

NANO GÜBRELER VE TARIMSAL VERİMLİLİK: GELECEĞİN GÜBRE TEKNOLOJİSİ

Dr. Halime ÖZTÜRK¹
Dr. Hasine KÜÇÜKYILDIRIM²
Prof. Dr. Salih AYDEMİR³

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15028284>

¹ Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye. ho166832@gmail.com Orcid ID: 0000-0002-9251-1750

²Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye. hasineelci7@gmail.com, Orcid ID: 0000-0001-5822-9439

³Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye. salihaydemir@harran.edu.tr Orcid ID: 0000-0002-3236-8438

GİRİŞ

Dünya çapındaki tarımsal uygulamalar, daha yüksek gıda üretimi gerçekleştirmek için çok sayıda tarımsal girdiyi yoğun bir şekilde kullanmaktadır. Gübreler, esas olarak tarımsal ürün verimini ve kalitesini artırmada önemli tarımsal girdilerdir. Mevcut tarımsal sistemler, gübrelerin yaygın kullanımı olmadan artan gıda talebini karşılayamaz (Bakker ve ark., 2023; El-Henawy ve ark., 2018). Ancak, geleneksel gübreler bitkilerin besinleri etkili bir şekilde alması ve kullanması için doğası gereği yetersizdir. Son 60 yılda, geleneksel gübrelerin kullanımı, kümülatif ürün veriminde ve sürekli yeterli gıda kaynaklarında evrensel olarak temel bir işlevi tasvir etmiştir. Kimyasal gübrelerin uzun süreli kullanımı ve bunların tarımsal ekolojik teknikler üzerindeki etkileriyle ilgili çok sayıda bulgu kolayca belgelenmiştir (El-Ramady ve ark., 2018).

Günümüzde tarım, topraktaki besin eksikliği, ürün hasatındaki durgunluk, azalan toprak organik maddesi, azalan su elde edilebilirliği ve arazi bozulması nedeniyle azalan ekilebilir arazi ve istihdam eksiklikleri gibi dünya çapında geniş bir çağrı yelpazesıyla karşı karşıyadır (El-Ramady ve ark., 2018). Nano gübreler, gübrelerin önem oranlarını artırma ve onu başlatan besin eksikliğini giderme varsayımına sahip çevre dostu gübrelerdir (Dimkpa ve Bindraban 2017). Besinlerin belirli yerlere düzenli ve izlenen bir şekilde iletilmesini sağlar, su kaynaklarının ve atmosferin kirlenmesini durdurmaya yardımcı olurlar (Dwivedi ve ark., 2016). Nano gübreler, geleneksel gübrelerden veya nano ölçekli (1-100 nm) malzeme kullanılarak endüstrileştirilen toplu malzemelerden entegre edilen veya yeniden oluşturulan en önemli mahsul üretim girdilerinden biridir. Nanopartikülün geniş yüzey alanı, besin maddelerini

verimli bir şekilde tutar ve besin maddelerinin mahsul esaslarına karşılık gelen şekilde gerçekleştirilmesini sağlamak için kademeli salınım sağlar. Nano gübreler, farklı metabolik aktiviteyi geliştirmek ve su gibi diğer çözücülerdeki ek kompleksler ve çözünürlükle tepkisini artırmak için bitkilerin daha geniş bölgelerine veya hedef bölgelerine ulaşmaya yardımcı olan küçük bir boyuta ve yüksek bir yüzey alanına sahiptir. Azaltılmış boyut nedeniyle, nano malzemelerin hem fiziksel hem de kimyasal özellikleri benzer maddelerdeki toplu veya geleneksel olanlardan farklıdır. Nano gübre parçacıkları, bitki köklerinin veya yapraklarının gözeneklerine kıyasla daha küçük boyuttadır, bitkilere kolayca nüfuz etmeye yardımcı olur, besin kullanım verimliliğini artırır (Claudia ve ark., 2014).

Nano Teknolojinin tarımdaki odak rolü, üretim ihtiyaçlarına göre besin maddelerinin düzenlenmesi ve salınması için gübreler formüle etmek ve tasarlamaktır. Bunun yanı sıra Nano gübre, optimum besin yönetimi yoluyla bitki ürünlerinin verimini artırarak tam gıda üretiminde doğru besin maddesi yönetimi için son derece etkilidir. Nano teknoloji ayrıca, yalnızca gübre kullanımını azaltarak değil, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını azaltarak ve nanopartiküller (NP) ve nano kapsül kullanarak pestisit ve geleneksel gübrelerin üretiminden sonra yaygın kirleticileri temizleyerek çevre kirliliğini azaltarak tarıma yardımcı olur (Claudia ve ark.,2014; Kumar ve ark.,2018). Bu derlemede nano gübrelerin, avantajları göz önünde bulundurularak nano gübreler, bitki beslenmesinde rolü gibi farklı yönlerle ilişkin veriler sunulmaya çalışılmış, Nano gübrelerin durumu özetlenmiştir. Nano gübrelerin kullanımından kaynaklanan daha yüksek üretim maliyetleri ve potansiyel çevresel ve güvenlik endişeleri de dahil olmak üzere,

bunların toprak sağlığı, ürün büyümesi ve çevre üzerindeki uzun vadeli etkilerinin tam olarak anlaşılması için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır

Nano Gübre

Nano gübreler, bitkilerin alabileceği ve mahsulü zenginleştirebileceği nano boyutlu elementler içerir. Nano gübreler, çoğunlukla taşıdıkları besin maddelerine, gerçekleştirdikleri eylemlere ve tutarlılıklarına göre kategorize edilir. Nano gübrenin doğası hakkında bilgi, en iyi uygulama yaklaşımını elde etmek için temeldir. Bu gübreler, yaprak, su ve toprak uygulaması yoluyla bitkilere uygulanabilir (Saraiva ve ark., 2022). Nano gübreler; kontrollü salınım, hedefli taşıma, bitki büyümesini teşvik etme ve su ve besin kaybını düzenleme olarak ayrılmıştır. Besin bazlı nano gübreler ise hibrit, besin kaplamalı, inorganik ve organik olarak sınıflandırılır. Bu çığır açan nano gübreler, geliştirilmiş besin kullanımı, kontrollü besin salınımı, sorunlu besin dağıtımı, iyileştirilmiş bitki büyümesi ve daha düşük besin kaybı gibi bir dizi yardım pazarlığı yapar ve bunları sürdürülebilir tarım üretimi için değerli hale getirir (Muhammad ve ark.,2020). Besinlere göre aşağıdaki türlere ayrılır.

Nano Gübre Çeşitleri

Azot Nano Gübreler

Azot (N), bitkilerin hayatta kalması için gerekli olan ve çeşitli koşullarda bitkilerle sınırlı olan kritik bir bileşendir ve diğer kimyasal maddelerle (örneğin, NH_3 , HNO_3 , siyanürler ve organik nitratlar) oldukça reaktiftir .Azot , mahsul üretimini iyileştirmek için tarım arazisine uygulanması gereken bir

besindir. Piyasada hem katı hem de sıvı halde NH_3 , $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ve NH_4NO_3 olarak mevcuttur (Monreal ve ark.,2016). Atmosferden N kullanamayan bitkiler için, bu besin maddesi NH_3 , HNO_3 ve $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ formunda toprağa uygulamalıdır , bu bileşiklerin toprağa eklenmesiyle H_2O ile reaksiyona girer ve gübreyi NH_3 iyonları şeklinde serbest bırakır Bu, mahsuller için gerekli olan iyonları nitratlamak için bakterilerin etkisiyle daha da nitrifiye edilir (Monreal ve ark., 2016).

Çiftçiler, hasadın daha yüksek miktarlarını bekleyerek belirli durumlarda gübrelerin aşırı dozunu kullanırlar. Ancak, bu uygulamalar toprağa risk yükler, toprağın organizasyonunu ve bileşimini değiştirir (Rech ve ark., 2017). Sızan gübreler su kütlelerinde ötrofikasyona ilerler. Bazı araştırmacılar, gübrelerin toprak ve H_2O ile sonucu oluşan NH_3 kaybını azaltmak için N gübreleriyle birlikte nitrifikasyon inhibitörleri, stabilizatörler, katkı maddeleri önermişlerdir (Rech ve ark., 2017). Bu yaklaşım, gübrelerin toprağa daha iyi girişini kolaylaştırır ve uygun H_2O ile reaksiyona girmesi için yeterli zaman sağlar (Yang ve ark., 2020). Araştırmacılar ayrıca, uygun toprak emilimi için N gübresinin amonyum iyonları şeklinde uygulanması gerektiğini bildirmişlerdir. Amonyak durumunda, çevredeki atmosfere kolayca karışırlar ve özel çiftlik uygulamalarına ihtiyaç duyarlar (Diatta ve ark.,2018). Bu nedenle araştırmacılara, uygulama öncesinde toprak işlemeyi uygulamaları ve benzer şekilde bu kısmı yeterli suyla iç katmanlara uygulamaları önermektedir. Üre, daha yüksek N konsantrasyonları içerdiği, diğer mikro veya makro besin maddeleriyle oldukça uyumlu olduğu, için en çok kullanılan N gübresidir (Diatta ve ark., 2018)

Azot, negatif yüklü oldukları için erişilebilir değildir. Nitrat genellikle toprak parçacıklarının yüzeylerine çok zayıf bir etki gösterir, bu nedenle N gübresiyle ilgili sorunları ele almak için araştırmacılar, N salınımının kademeli olarak salınması için poliolefin reçenesi, neem, kükürt ile üre kaplaması ile çalışmalar yapmışlardır (Morales-Díaz ve ark.,2017). Bununla birlikte, gübrelerin sınırlı salınımı sıklıkla maliyetlidir ve bitkilere ulaşması daha fazla zaman alır. Azot azaltımı, NH_4^+ salınımını kademeli olarak yapmak için pozitif iyon değiştiricilerin uygulanmasıyla da azaltılabilir (Rech ve ark., 2017).

Fosfor Nano Gübreler

Fosfor, bitki yapısındaki birincil bir bileşiktir ve bitkilerde çok sayıda hayati biyokimyasal tepkide katalitik bir role sahiptir. Bu mineral, hücre bölünmesinde, yeni doku oluşumunda ve bitkilerde enerji transferi ve depolanmasında belirgin bir role sahiptir. P bazlı kompleksler enerji havuzunun bir parçasıdır, fotosentez ve karbonhidrat bazlı enerji sentezinin bir parçası olarak oluşurlar. Daha sonra bitki büyümesi ve üremesi için kullanılırlar (Monostori.,2014). Topraktaki uygun P konsantrasyonu, daha hızlı kök büyümesi gelişimini ve bitkilerin daha hızlı olgunlaşmasını destekler. Tersine, zayıf P bitkilerde şeker oluşumunu artırabilir ve antosiyaninler gibi kırmızımsı mor pigmentler geliştirebilir (Monostori.,2014). Farklı yazarlar, çözünme ve iyon değişim mekanizması ile P'nin kademeli olarak salınması için kaya P, NH_4^+ ve K^+ doymuş klinoptilolit karışımındaki katyon çözünürlüğünü ve değişimini gözlemlemişlerdir (Morales-Díaz ve ark., 2017).

NH_4^+ ve K^+ (tek değerlikli katyonlar) ile doymuş klinoptilolit, kaya P'nin çözünürlüğünü yoğunlaştırdı. P'nin

yeterliliği bir yılda %18 ila %20 arasında değişir, kalan %78-80'i daha sonra bitkiler tarafından kullanılacak olan toprak P havuzuna dönüşür (Diatta ve ark.,2018). Araştırmacılar, gübre yüklü değiştirilmemiş zeolit, SMZ ve katı KH_2PO_4 ten P'nin serbestleştiğini bildirmişlerdir. Bildirilen sonuçlar, SMZ'nin P'nin (H_2PO_4) kademeli salınımı için en iyi gübre taşıyıcı özelliklerini göstermiştir. Esasen, prosedür bir çözünme ve iyon değişim reaksiyonlarıdır. Besinlerin topraktan bitkiye asimilasyonu, süspansiyon ve iyon değişim reaksiyonlarının oluşumuna yol açarak gerekli olan besinleri uzaklaştırır. Zeoponik yaklaşımlar, bitki kök bölgesinde makul besin dağılımını kanıtlayarak besin korunmasını artırır, çevresel besin tükenmesini azaltır ve gübre ihtiyacını azaltır (Diatta ve ark.,2018). Nano gübreler, yüzey modifiye zeolitin, geleneksel sistemde %18-20'yi neredeyse hiç aşmayan fosfor kullanımını verimli bir şekilde teşvik etmek için potansiyel bir strateji olabileceğini öne sürmektedir (Selva ve Balakrishnan 2017).

Potasyum Nano Gübreler

K, fotosentez, protein sentezi, iyonik denge, bitki stomalarının ve su kullanımının düzenlenmesi, bitki enzimlerinin aktivasyonu ve diğer birçok süreç gibi bitki metabolik aktiviteleri için hayati öneme sahiptir. Duan ve ark.(2023), zeolitte hapsolmuş K'nin kademeli olarak salındığını bildirmişlerdir. Benzer şekilde, diğer bilim insanları, Si_4^+ ve Al_3^+ ile yer değiştirdikleri zaman nano killerin katyon değişim yeteneğini geliştirdiler , bu çalışma ; amonyum, sodyum, kalsiyum ve potasyumun diğer iyonlarla değiştirilmesi nedeniyle katman kafesinin negatif iyonik doğasını artırmıştır . K gübresi fotosentezde rol oynar, stomaların düzenlenmesine katkıda bulunur. Poliakrilamid bazlı peletlerin, K gübresinin daha yavaş

salınması ve ürün verimliliğinin %35-40'ı için mevcut olduğu bildirilmektedir. N, P ve K'nin etkinliği sırasıyla %30-35, %18-20, %35-40 oranında sabit kalmıştır. Çoklu besin eksikliğini, fazla gübrelemeyi, asgari gübre kullanımını ve toprak organik gübresinin azaltılmasını önlemek amacıyla, besin maddelerinin yönlendirilmiş alanlara akıllıca sağlanması için nano bazlı bir gübre geliştirilmesine destek sağlanmaktadır.

Yaprak spreyinde nano K kullanımı (640 mg/ha (40 ppm konsantrasyon)) kurak iklimlerde küme fasulyesi ve darı veriminin daha yüksek olmasına sağlar. Araştırma verileri, ürün talebini karşılamak için nanoteknolojik bir yaklaşımla istikrarlı gübrelemenin de sağlanabileceğini ve nanopartiküller içinde kapsüllenmiş gübrelerin besin maddelerinin emilimini artıracaklarını ileri sürmektedir (Pickering ve ark.,2002).

Kalsiyum Nano Gübreler

Ca, hücre duvarı sentezinde ve bitki büyüme düzenlemesinde rol oynayan bir diğer kritik bitki besinidir. Ca, hücre duvarının yapısal bir parçasıdır ve pektin-polisakkarit matrisindeki çapraz bağları kolaylaştırarak yapısal sertlik sağlar. Ca, bitkilerde hastalıklara (bakteriyel ve viral) karşı koruma ve direnci kolaylaştırır. Nano-Ca uygulaması, bitkinin gelişimini ve fiziksel büyümesini başarıyla artırmıştır. Nano-Ca'nın bitkiler üzerindeki etkilerine ilişkin çok sınırlı sayıda çalışma bildirilmiştir ve gübre olarak muazzam bir potansiyel göstermiştir (El-Ramady ve ark., 2018).

Magnezyum Nano Gübreler

Mg, ATPaz, RNA polimerazları gibi bitki enzimlerinde önemli bir rol oynayan bir mikro besindir. Mg eksikliği

fotosentez hızını önemli ölçüde etkiler. Araştırmacılar, Mg'nin yaprak uygulamasının bitkilerdeki tohum verimini ve protein içeriğini artırdığını bildirmişlerdir. Ek olarak, domateslere % 0,1–1,0 oranında (0,5 mg. L⁻¹) Nano-Mg uygulaması, fotosentez hızını, büyümeyi ve verimi artırmıştır ve benzer sonuçlar bakladada gözlenmiştir. Bu Nano-Mg ayrıca farklı tohum ağırlığında, plazma membran stabilitesinde ve klorofilde artışlar sağlamıştır. Diğer raporlar , kontrollerle paralel olarak 0,5 g L⁻¹ Fe tuzu ve 0,5 g L⁻¹ Mg-NP uygulamasıyla % 13,4 daha fazla bezelye verimi olduğunu belirtmiştir (El-Ramady ve ark., 2018).

Çinko Nano Gübreler

Çinko, triptofan oluşumunda ve fotosentezde özel sorumluluğu olan, dehidrogenazlarda, aldolazlarda, izomerazlar da kofaktör olan bir mikro besindir. Araştırmalar, 60 ve 120 mg/L'de çinko-bor NP (Zn-B-NP) sonuçlarını, meyve veriminin kontrol (ağaç başına 51 meyve) ile karşılaştırıldığında belirgin şekilde daha yüksek (ağaç başına 63-66 meyve) olduğunu göstermiştir. Zn besinleri polen oluşumunda, tüp büyümesinde ve gelişmiş çiçeklenme ve daha büyük boyutlu meyvelerde özel bir role sahiptir (Vázquez-Núñez ve ark.,2018).

Nanogübre Uygulama Yöntemleri

Nano gübre uygulamasının üç temel yöntemi vardır: yaprak, tohum nanoprimer ve toprak işleme. Yaprak uygulaması, nano gübrelerin doğrudan bitkilerin yapraklarına püskürtülmesini içerir ve yaprak yüzeyinden hızlı besin emilimine olanak tanır(Liu ve Lal ,2015). Bu yöntem, besinlerin hızlı bir şekilde veya düşük toprak verimliliğine sahip bölgelerde gerekli olduğu durumlarda özellikle etkilidir. Ancak, yaprak uygulaması sıcaklık, nem ve rüzgar gibi çevresel

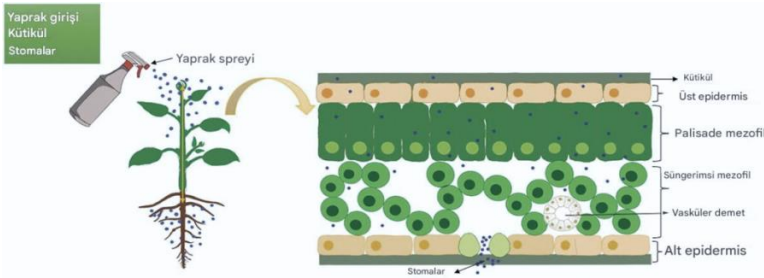
faktörlere duyarlıdır ve besin alım verimliliğini etkiler (Eichert ve ark.,2008). Tohum nanoprimering, ekimden önce tohumların nano gübre içeren bir solüsyonda kaplanmasını veya ıslatılmasını gerektirir (Adisa ve ark., 2019). Bu yöntem, hızlı çimlenmeyi, daha güçlü fideleri ve bitkinin ömrü boyunca gelişmiş besin alımını teşvik eder. Özellikle toprak kalitesinin düşük olduğu veya hızlı bitki yerleşiminin gerekli olduğu alanlarda faydalıdır. Ancak, fitotoksisteden kaçınmak için nano gübrelerin optimum konsantrasyonu belirlenmelidir (Kottogoda ve ark., 2011). Toprak işleme, nano gübrelerin doğrudan toprağa yayılarak, bantlanarak veya lokalize yerleştirilerek dahil edilmesini içerir (Subramanian ve ark., 2015). Yöntem, besin maddelerinin yavaş ve kontrollü bir şekilde salınmasını sağlayarak, sızma veya buharlaşma yoluyla besin maddesi kaybını azaltır. Toprak işleme, yüksek besin maddesi tutma kapasitesine sahip bölgeler ve tutarlı yağış desenlerine sahip iklimler için en uygundur. Ancak, besin maddesi dengesizliklerini veya çevre kirliliğini önlemek için uygulama dikkatli bir şekilde yönetilmelidir (DeRosa ve ark., 2010).

Bu faktörleri anlamak ve uygun yöntemi seçmek, ürün verimini artırabilir, çevresel etkiyi azaltabilir ve daha sürdürülebilir tarım uygulamaları sağlar.

Yaprak Spreyi

Yaprak spreyi, sıvı gübreleri doğrudan bitkilerin yapraklarına veya yeşilliklerine uygulayan ve besin maddelerinin yaprak yüzeyinden hızla emilmesini sağlayan gelişmiş bir yöntemdir. Yöntem, bitkiye hedeflenen, optimum, hızlı ve doğru bir şekilde aktarılması için nano gübrenin yaprak yüzeyine iletilmesini kullanır. Yaprak uygulaması, nano

gübreler, mantar ilaçları, herbisitler ve koruyucular gibi temel elementlerin bitkilere iletilmesi için umut verici bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır. Bu yaklaşım, bu maddelerin etkinliğini artırmak için gecikmeli salınım mekanizmalarından yararlanır. Yapraklara uygulanan NP'lerin emilimi, stomalar, endositoz ve doğrudan emilim yoluyla gerçekleşebilir, ancak süreç büyük ölçüde parçacık boyutuna bağlıdır. Yaprak mumu ve hücre duvarları, bu parçacıkların emilimini engelleyen bariyer görevi görebilir. Emildikten sonra, nano partiküllerin çoğu vakuollerde birikir. Ancak, bitki özellikleri, nano partiküllerin fiziksel özellikleri ve çevre koşulları dahil olmak üzere çeşitli faktörler, emilimini ve taşınmasını etkiler. Yaprak spreyi, geleneksel toprak uygulamalarına kıyasla daha hızlı tepki, iyileştirilmiş besin kullanımı ve azaltılmış sızıntı ve akış dahil olmak üzere çeşitli avantajlar sunar (Hong ve ark., 2021).



Şekil 1. Nano Gübrenin yaprak boyunca kütikül ve stomalar yoluyla alımı ve taşınması

Birçok çalışma, nano gübrelerin yaprak uygulamasının besin emilimini önemli ölçüde iyileştirebileceğini, bitki büyümesini teşvik edebileceğini ve ürün verimini artırabileceğini göstermiştir. CeO ve karbon bazlı nano partiküllerin yaprak uygulaması buğday verimini %36,6 (Rico ve ark., 2014) ve acı kavun verimini %28 (Kole ve ark., 2013)

oranında artırmıştır. Başka bir çalışma, domates bitkilerinde bakır nano partiküllerinin yaprak uygulamasının, geleneksel bakır bazlı fungusitlere kıyasla gereken bakır konsantrasyonunda %30'luk bir azalma ile meyve verimini %80 artırdığını bildirmiştir (Lopez-Lima ve ark., 2021)

Tohum Nanoprimering

Tohum astarlama, tohumlarda fizyolojik değişikliklere neden olan, daha hızlı çimlenmeyi sağlayan ve metabolik ve sinyalleme basamaklarını düzenleyerek bitki büyümesini ve gelişimini destekleyen bir ekim öncesi işlemdir. Yöntem, tohumları nano gübrelere batırmayı içerir ve bunun mükemmel sonuçlar elde ederken gübre uygulamasını yarı yarıya azalttığı gösterilmiştir (D.Espirito Santo Pereira ve ark., 2021). Nano gübreler uyarıcı görevi görür, tohum gözeneklerine nüfuz ederek, içinde dağılarak ve büyümeyi destekleyen bitki hormonlarını aktive ederek çimlenmeyi ve gelişimi artırır.

Nano gübrenin tohum astarına uygulanması, reaktif oksijen türlerini ortadan kaldırarak ve bitki gelişim hormonlarını düzenleyerek tohum çimlenmesini artırır (Sharma ve ark., 2023). Tohum astarı ayrıca çimlenme sırasında, özellikle bitki dayanıklılığıyla ilgili olanlar olmak üzere, birden fazla genin ifadesini uyarır ve bu da gelişmiş dirençle sonuçlanır (Liu ve ark., 2015). Geleneksel tohum astarlama yöntemleri, bir tohum kabuğunu çözmek için su, besin maddeleri veya hormonlar kullanır. Buna karşılık, gelişmiş tohum nano astarlama teknikleri, patojen penetrasyonunu engelleyen önemli bir kısım bırakarak nano gübrelerin doğrudan tohum yüzeyine uygulanmasını içerir.

Hücreseel düzeyde nano bileşik emilimi girdiyi azaltır ve moleküler etkileşimleri önler, özellikle stres altında gelişmiş çimlenme ve fide büyümesine sahip oldukça dirençli tohumların üretilmesine olanak tanır. Çalışmalar, kitosan nano partikülleri (0,1, 0,2 ve 0,3%) ile fasulye tohumu astarlamasının ve ardından 100 mM NaCl uygulamasının tohum çimlenmesini ve kökçük uzunluğunu artırdığını göstermiştir (Zayed ve ark., 2017). Tuz stresi altında, %0,1 kitosan nano partikülleri ile muamele edilen fasulye fidelerinin prolin, klorofil a ve antioksidan enzim etkinlikleri, uygulama yapılmamış, tuz stresi altındaki fidelere kıyasla önemli ölçüde artmıştır (Zayed ve ark., 2017).

Toprak İşleme

Nano gübreler, toprağa, yayma, yan gübreleme veya fertigasyon yöntemleri gibi geleneksel teknikler kullanılarak uygulanabilir. Toprağa girdikten sonra, nano partiküller kök yüzeyine adsorpsiyon yoluyla veya endositoz yoluyla kök hücrelerine nüfuz ederek bitki kökleriyle etkileşime girer (Miralles ve ark., 2012; Ahmed ve ark., 2021) . Toprağa uygulandığında, nano gübreler bitkilerle, toprak parçacıklarıyla ve mikroorganizmalarla etkileşime girebilir ve bu da bunların davranışlarını ve işlevlerini değiştirebilir. Nano partiküllerden besinlerin kontrollü salımı, bitki büyümesini ve üretkenliğini artıran temel elementlerin sabit bir şekilde tedarik edilmesini sağlar (Madzokere ve ark., 2021).

Nano Gübrenin Bitki Beslenmesindeki Rolü

Sürdürülebilir tarım için, yenilikçi besin veya gübre türlerinin uygulanması teşvik edici yöntemlerden biridir. Bu yeni gübreler, gıda talebini ve çevresel endişeleri karşılamak için bitki büyümesini artırmada faydalıdır. Geleneksel gübrelerle

kıyasla bitki büyümesini iyileştirmek için tarımda tek veya kombine besin sağlayabilir (Salam ve ark., 2022)

Nano gübreler, bitki üretiminin çeşitli stres türleriyle (biyotik ve abiyotik) mücadele etmesine yardımcı olabilir ve herhangi bir yan etki olmaksızın besin verimliliğinin iyileştirilmesini destekler (DeRosa ve ark., 2010). Bitkilerin belirli strese karşı besin kalitesi ve toleransı, gerekli mineral elementlerin mevcudiyetinden doğrudan etkilenir. Strese dayanıklı bitkiler, antioksidanlar için belirli reaksiyon veya farklı çevre koşullarına karşı ozmotik toleransla bağlantılı belirli biyoaktif bileşikler sentezler (Raimondi ve ark.,2021).

Nano gübrelerin minimum yoğunluklardaki özellikleri genellikle iyimserdir, bu da abiyotik streslere, çeşitli patojenlere veya zararlılara karşı bitki toleransının artması, metabolik reaksiyon hızı, antioksidan miktarı ve hasatların kalitesi veya miktarıdır. Metaller tarafından hazırlanan NP'nin uygulanan doza göre bakteri, mantar, alg ve su ve kara bitkilerinde oksidatif stresi gösterdiği bildirilmiştir. Ancak bitkilerdeki bu oksidatif stres toksik eşiği aşmaz ve hücre ölümüne yol açmaz. Aynı zamanda savunma mekanizması da aktive edilmiştir. Taşıma ve saha uygulamasının maliyetini düşürmenin yanı sıra, az miktarda NF'nin topraktaki tuz birikimini en aza indirme ve nem içeriğini optimize etme gibi kendi avantajı vardır ve bitkilerin birçok biyotik ve abiyotik stresle savaşmasını sağlar (Monreal ve ark., 2016).

Nanogübrelerin Geleneksel Kimyasal Gübrelere Göre Avantajları

Nano gübreler, bitkilere temel besin maddelerinin doğrudan iletilmesi nedeniyle artan verimlilik ve gerekli gübre

miktarlarının azaltılmasıyla azalan çevresel etkiler dahil olmak üzere geleneksel gübrelerle kıyasla çeşitli avantajlar göstermektedir. Bu teknoloji, yalnızca ürün verimini en üst düzeye çıkarmakla kalmayıp aynı zamanda gübrelerin çevresel etkilerini de azaltma potansiyeline sahiptir. Bitkiler tarafından besinlerin daha iyi alınması, artan büyümeye ve verime ve çevreye daha az besin kaybına yol açabilir. Nano gübreler gübre verimliliğini artırmaya yardımcı olabilir ve bunların kullanımı genel çevresel etkiyi azaltabilir.

Daha Büyük Yüzey Alanı

Nano gübrelerin parçacık boyutu 100 nm'den küçüktür, bu da toprak veya yapraklar gibi uygulanan yüzeylerden bitkilere nüfuz etme kapasitelerini artırarak bitki besin alımını artırır (Liscano ve ark., 2000). Bu da bitki sistemlerinde daha geniş bir alan yelpazesini ve çeşitli metabolik işlevleri destekler ve daha fazla fotosentez ürünü üretimine yol açar. Artan yüzey alanı besin alımını ve kullanım verimliliğini artırırken nano gübrelerin diğer maddelerle tepkime etkinliğini artırır (Singh ve ark., 2017).

Yüksek Çözünürlük

Bir maddenin çözünürlüğü, belirli bir sıcaklık ve basınçta belirli bir çözücünde çözülebilen maksimum miktarı ifade eder. Nano gübreler, azaltılmış parçacık boyutları ve daha büyük yüzey alanları nedeniyle artan çözünürlük sergiler ve bu da toprak çözeltisinde çözünmeyi destekler (Kottagoda ve ark., 2011). Nano gübreler, su gibi birçok çözücünde kolayca çözünebilir, bunun sonucunda topraktaki çözünmeyen besin maddelerinin çözünürlüğü artar ve besinlerin çevredeki organizmalar için daha iyi kullanılabilirliği sağlanır (Butt ve

Naseer ,2020). Fosfor bazlı bir nano gübre olan nano-hidroksiapatitin yüksek çözünürlüğü, geleneksel fosfor gübrelerine kıyasla ortaya konulmuştur (Elsayed ve ark., 2022). Çinko bazlı bir nano gübre olan nano-çinko oksidin çözünürlüğü, toplu çinko oksitten önemli ölçüde daha yüksektir (Reed ve ark., 2012).

Gübrelerin Kolay Nüfuz Etmesi ve Kontrollü Salınımı

Nano gübreler, gübrelerin bitki dokularına nüfuz etmesini önemli ölçüde kolaylaştırır ve bitkilerin besin alımını ve kullanımını artırır (DeRosa ve ark., 2010). Gelişmiş nüfuz, öncelikle nano gübreleri oluşturan ve yüksek yüzey alanı-hacim oranına sahip nano boyutlu parçacıklara atfedilir. Daha küçük parçacıklar, bitki hücre duvarları ve zarlarından hızla yayılabilir (Liu ve Lal 2015). Dahası, bu NP'lerin belirli hedefleme molekülleriyle işlevselleştirilmesi, bitki dokuları tarafından seçici olarak alınmalarını sağlayarak temel besin maddelerinin hassas bir şekilde iletilmesini sağlar (Wang ve ark., 2016). Nano gübrelerin gelişmiş nüfuzu, gereken gübre miktarını azaltır ve besin maddelerinin sızmasını ve akmasını en aza indirir, böylece çevre kirliliğini azaltır (Ghormade ve ark., 2011).

Sonuç olarak, nano gübrelerin bitki dokularına etkili bir şekilde nüfuz etmesi için kullanılması daha iyi ürün verimine, iyileştirilmiş besin kalitesine ve genel tarımsal sürdürülebilirliğe katkıda bulunur (Nair ve ark., 2010).

Yüksek Besin Emilim Verimliliği

Nano gübreler gübre etkinliğini ve ürün verimindeki toprak besin emilimi oranını artırarak gübre kullanımını azaltır. Ek olarak, nano gübreler gübre sızıntı kaybını önler (Cui ve ark.,

2010). Bir çalışmada, çinko oksit NP'lerinin uygulanması buğday bitkilerinin çinko alımını, kök uzunluğunu ve sürgün kuru ağırlığını geleneksel çinko sülfat gübrelemesine kıyasla önemli ölçüde artırmıştır (Munir ve ark., 2018). Başka bir çalışmada, demir oksit NP'lerinin kullanımı buğday bitkilerinde demir alımını ve klorofil içeriğini artırarak geleneksel demir gübrelerinden daha yüksek verim elde edilmesini sağlamıştır (Feng ve ark., 2022). Hem asidik hem de nötr topraklarda azot salınımı testi, nano-üre-HAP karışımının 60 günlük çalışmada pH 7'de normal üreye kıyasla %44 daha düşük oranlarda üre salıdığını ortaya koymuştur (Dimkpa ve ark., 2020).

Mikrobiyal Aktivitenin İyileştirilmesi

NP'ler ve mikroorganizmalar arasındaki etkileşim, biyogübrelerin raf ömrü ve nanogübrelerin yayılması, bitki büyümesindeki en önemli değişkenler arasındadır. Nanobiyogübreler, besin alımını ve toprak verimliliğini artırarak bitki büyümesini ve verimini iyileştirmek için tasarlanmış NP'leri ve canlı mikroorganizmaları bir araya getirir. Toprağın yapısını ve işlevini ve bitkilerin morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal ve verim özelliklerini iyileştirir. Nanogübrenin oluşumu ve uygulanması, büyümeyi artıran ve mahsul verimini artıran akıllı gübreye doğru pratik bir adımdır. Altın NP'leri ile bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler arasındaki etkileşim bitkiler için avantajlıdır (Shukla ve ark., 2015; Malusá ve ark., 2012). Başka bir çalışmada, azot sabitleyici bakterileri bitkilere ulaştırmak için kitosan bazlı NP'ler kullanılmıştır. Azot sabitleyici bakterilerin kitosan NP'leri ile kaplanması, bitki köklerine etkili bir şekilde nüfuz etmeyi kolaylaştırır (Panichikkal ve ark., 2021). Bu gelişmiş sızma, bitkilere azot teminini artırarak gelişmiş büyüme ve artan verimle sonuçlanır

(Akhtar ve ark., 2022). Sonuç olarak, bu yaklaşım mikrobiyal biyolojik süreçler üzerindeki olumsuz etkileri azaltır ve hücre zarı yapısı ve işlevlerindeki bozulmaları en aza indirir.

Ancak, biyogübre raf ömrü bu formülasyonlarda sınırlayıcı bir faktördür ve nanomalzemeler bunu uzatmak için kullanılabilir. Nanoformülasyonlar biyogübrenin kurumaya, ısıya ve UV hasarına karşı dayanıklılığını artırabilir. Araştırmalar, NP'lerin rizobakteriyel metabolit değişiklikleri yoluyla abiyotik ve biyotik stres koşullarında bitki sağlığını iyileştirebileceğini göstermektedir (Sambangi ve ark., 2023).

İyileştirilmiş Toprak Su Tutma Kapasitesi

Nano gübreler toprak yapısını ve su tutma kapasitesini iyileştirir, organik maddeyi artırır ve faydalı mikroorganizmalar için elverişli koşullar yaratır. Ayrıca toprak parçacıklarını bağlayan ve akış ve buharlaşma yoluyla su kaybını azaltan humik asit ve kil içerirler, bu da daha iyi ürün verimi ve iyileştirilmiş toprak sağlığı ile sonuçlanır (Mastronardi ve ark., 2015). Dahası, özellikle kil ve karbon NP'lerine dayalı olan bazı nano gübreler toprak parçacıklarını birbirine bağlayarak daha büyük agregalar oluşturabilir (Duhan ve ark., 2017). İyileştirilmiş toprak agregasyonu daha iyi toprak yapısına yol açar, su tutma kapasitesini artırır ve toprak erozyonunu azaltır (Raliya ve ark., 2018).

Çevre Dostu Doğa

Nano gübreler daha verimli olmalarının yanı sıra çevre için de çok daha güvenlidir (DeRosa ve ark.,2010; Fatima ve ark.,2021). Geleneksel gübreler toprağa büyük miktarda azot ve fosfor salar, bu da yakındaki su kütlelerinde ötrofikasyona ve

yosun oluşumuna neden olabilir (Carpenter ve ark. 1998). Öte yandan nano gübreler besinlerini zamanla yavaşça salmak üzere tasarlanmıştır, bu da topraktaki besin dengesinin daha ayrıntılı bir şekilde kontrol edilmesine ve besin maddesi akışından kaynaklanan çevresel hasar riskinin azaltılmasına olanak tanır (DeRosa ve ark., 2010). Geleneksel gübrelerden daha verimli oldukları için daha az girdi gerektirirler, bu da çiftçilerin gübre maliyetlerinden tasarruf edebileceği anlamına gelir. Dahası, nano gübrelerin sağladığı besin maddelerinin yavaş salınması sık uygulama ihtiyacını ve işçilik maliyetlerini azaltır (Kah ve ark., 2013). Nanoteknoloji gelişmeye devam ettikçe, bu gübreler daha da verimli ve uygun maliyetli hale gelecek ve çiftçilerin daha azıyla daha fazlasını üretmesine olanak tanıyacaktır.

Düşük Üretim Maliyeti

Nano gübreler, geliştirilmiş besin kullanım verimliliği, kontrollü salınım ve hedefli teslimat sayesinde daha düşük üretim maliyetlerine ulaşabilir ve tarlada gübre israfını azaltabilir. Nano gübreler, daha az emek yoğun oldukları, uygulama başına daha az gübreye ihtiyaç duydukları ve geleneksel gübrelerden daha yüksek emilim oranlarına sahip oldukları için genellikle geleneksel gübrelerden çok daha ucuzdur. Dahası, nano gübreler toprakta uzun süre kalabilir ve bu da daha az uygulama ve daha düşük maliyetlerle sonuçlanır (Gehlout ve ark., 2022).

Hassas Tarım

Hassas tarım, gübreler, pestisitler ve su gibi mahsul üretim girdilerini ölçmek ve yönetmek için bilgi teknolojisini kullanan bir tarımsal üretim yönetim sistemidir. Nanoteknolojideki son gelişmeler, hassas tarım uygulamalarını iyileştirmek için

kullanılabilen nanogübrelerin geliştirilmesine olanak tanımıştır (Raliya ve ark., 2018). Hassas tarımda nanogübrelerin kullanımı çeşitli potansiyel faydalar sunmaktadır. İlk olarak, nanogübreler doğrudan bitkiye uygulanabilir ve bu da geleneksel gübrelere göre daha hassas bir uygulama sağlar. Bu, daha düşük maliyetler, daha düşük gübre girdisi ve çevreye girebilecek daha az akış hacmi ile sonuçlanır. Ek olarak, nanogübreler bitkiye belirli besinleri iletebilir ve bu da daha hassas mahsul beslenme yönetimine olanak tanır.

Bitki Stres Toleransını İyileştirir

Bitkiler yaşam döngüleri boyunca çok sayıda çevresel stresten etkilenirler. Sonuç olarak, çeşitli evrelerde çevresel streslere karşı savunmalarını güçlendirmek için genetik, biyokimyasal ve fizyolojik yolları değiştirirler. Bitkiler bu tür abiyotik strese moleküler düzeyde gen ifadesini değiştirerek yanıt verirler. Birçok çalışma, NP'lerin bitki büyümesi ve gelişimi üzerindeki etkisinin doza bağlı olduğunu göstermektedir. Bitkilerde, sinyal sistemi savunma mekanizmasını harekete geçirir ve bu da çeşitli stres koşullarına yanıt vermek için moleküler mekanizmaları harekete geçirir. Nano gübrelerin bitki stres toleransını çeşitli şekillerde iyileştirdiği bulunmuştur (Davarpanah ve ark., 2016). Gübrelerin nano ölçekli parçacıkları bitkilerin hücre duvarlarına nüfuz ederek besin maddelerinin kök sistemine ve bitkinin diğer kısımlarına daha hızlı ulaşmasını sağlar. Ek olarak, nano gübreler bitkilerin kuraklık veya aşırı sıcaklıklar gibi çevresel stres faktörlerine daha iyi tolerans göstermesine de yardımcı olabilir. Örneğin, nano gübreler bitkilerin su kıtlığına veya sıcak hava dalgalarına rağmen sağlıklı kalmasına yardımcı olan temel besinleri sağlayabilir.

Bitki Büyümesini Teşvik Eder

NP'ler, bitkilerin büyümesi ve gelişmesi için gerekli olan azot, fosfor ve potasyum gibi temel besin maddelerinin bulunabilirliğini artırır. NP'ler ayrıca bu temel besin maddelerinin alımına yardımcı olarak bitkilerin bunları daha verimli bir şekilde kullanmasını sağlar (Subramanian ve ark., 2015). Nano gübreler ayrıca toprak yapısını ve dokusunu iyileştirir ve su tutulmasını iyileştirir. Nano gübreler, toprak yüzeyinde temel besin maddelerinin kaybını azaltmaya yardımcı olabilecek koruyucu bir tabaka oluşturur. Ek olarak, nano gübreler toprak pH dengesinin korunmasına yardımcı olarak bitki büyümesini olumlu yönde etkileyebilir (Solanki ve ark.,2015). Nano gübreler besin maddelerini bitki kök bölgesine daha verimli bir şekilde iletebilir ve toprak yüzeyine daha etkili bir şekilde nüfuz ederek daha iyi besin emilimine olanak tanır. Dahası, nano gübreler çevreye zarar verebilecek gübre akış miktarını azaltır (Verma ve ark., 2022). Tüm bu faktörler bitki büyümesini teşvik etmeye yardımcı olur.

Sonuç

Nano gübrelerin sürdürülebilir tarıma entegrasyonu ve küresel çapta benimsenmesi, çeşitli teknik ve düzenleyici faktörlere bağlıdır. NF'nin etkinliğini artırmak ve çevresel etkilerini minimize etmek için uygun düzenlemelerin geliştirilmesi ve yeni nano gübre sentezine yönelik yenilikçi yaklaşımlar benimsenmelidir. Ancak, yüksek konsantrasyonlarda nano boyutlu malzemelerin bilinçli bir şekilde çevreye ve tarım sistemlerine dahil edilmesi, nano-gıdanın güvenliği ve özellikle insan sağlığı üzerindeki potansiyel riskleri gündeme getirmektedir. Nano malzemelerin

bitkiler tarafından emilimi ve gıda zincirine giriş süreci halen tam olarak anlaşılmış değildir.

Nano gübrelerin yaygın kullanımının önündeki bir diğer engel ise üretim süreçlerinin yüksek maliyetli olmasıdır. Nano gübre üretimi, ileri düzey laboratuvar teknolojileri, yüksek nitelikli profesyonellerin istihdamı ve özel üretim tesislerinin kurulmasını gerektirmektedir.

Tarımda nano gübreler yaratmak ve kullanmak için önemli araştırma ve geliştirme alanlarına öncelik vermek gerekir. Nano gübrelerin tarımdaki beklentileri, çok sayıda avantajı nedeniyle umut vericidir. Ancak, nano gübreler üzerine gelecekteki araştırmalar, çeşitli nanomalzemeler için çevre dostu ve uygun maliyetli sentez yöntemleri geliştirmeye, fizikokimyasal özelliklerini optimize etmeye ve kullanımlarıyla ilişkili potansiyel riskleri en aza indirmeye odaklanmalıdır. Gelecek için uzun ömürlü, biyolojik olarak parçalanabilir ve sürdürülebilir ürünler yaratmak için yeşil teknoloji inovasyonuna (GTI) ve Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojilerine ihtiyacımız var. Doğal kaynak kullanımını önemli ölçüde iyileştiren ve çevresel zararı, etkiyi ve kötüleşmeyi azaltan tüm yenilikler GTI'nin bir parçası olarak kabul edilir. pH veya sıcaklık gibi belirli çevresel ipuçlarına yanıt verebilen ve besinleri ihtiyaç duyuldukları zaman ve yerde serbest bırakabilen "akıllı" nano gübreler kullanarak besinlerin kontrollü salınımını ve hedeflenen iletimini sağlayan formülasyonlar tasarlamak için çaba gösterilmelidir. Bu yaklaşım, besin kayıplarını azaltmaya ve bitki besin kullanım verimliliğini artırmaya yardımcı olarak sürdürülebilir tarım uygulamalarını teşvik edebilir.

KAYNAKÇA

- Adisa, I.O.; Pullagurala, V.L.R.; Peralta-Videa, J.R.; Dimkpa, C.O.; Elmer, W.H.; Gardea-Torresdey, J.L.; White, J.C. Recent advances in nano-enabled fertilizers and pesticides: A critical review of mechanisms of action. *Environ. Sci. Nano* 2019, 6, 2002–2030.
- Ahmed, B.; Rizvi, A.; Ali, K.; Lee, J.; Zaidi, A.; Khan, M.S.; Musarrat, J. Nanoparticles in the soil–plant system: A review. *Environ. Chem. Lett.* 2021, 19, 1545–1609.
- Akhtar, N.; Ilyas, N.; Meraj, T.A.; Pour-Aboughadareh, A.; Sayyed, R.Z.; Mashwani, Z.U.; Pocza, P. Improvement of Plant Responses by Nanobiofertilizer: A Step towards Sustainable Agriculture. *Nanomaterials* 2022, 12, 965.
- Bakker, T., Brauers, E., van der Elst, G., & Wangari, E. (2023). Nanotechnology in agricultural production: A policy brief commissioned by the UN policy analysis branch Division for Sustainable Development. Retrieved February 10, 2024.
- Butt, B.Z.; Naseer, I. Nanofertilizers. In *Nanoagronomy*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2020; pp. 125–152.
- Carpenter, S.R.; Caraco, N.F.; Correll, D.L.; Howarth, R.W.; Sharpley, A.N.; Smith, V.H. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecol. Appl.* 1998, 8, 559–568.
- Claudia, P., Mauro, V., & Emilio, R. C. (2014). Proceedings of a workshop on "Nanotechnology for the agricultural sector: From research to the field". JRC Research Reports JRC89736. Joint Research Centre.
- Cui, H.X.; Sun, C.J.; Liu, Q.; Jiang, J.; Gu, W. Applications of nanotechnology in agrochemical formulation. In *Proceedings of the International Conference on Nanoagri*, Sao Pedro, Brazil, 20–25 June 2010; pp. 28–33.
- Davarpanah, S.; Tehranifar, A.; Davarynejad, G.; Abadía, J.; Khorasani, R. Effects of foliar applications of zinc and boron nano-fertilizers on pomegranate (*Punica granatum* cv. Ardestani) fruit yield and quality. *Sci. Hortic.* 2016, 210, 57–64.

- DeRosa, M.C.; Monreal, C.; Schnitzer, M.; Walsh, R.; Sultan, Y. Nanotechnology in fertilizers. *Nat. Nanotechnol.* 2010, 5, 91.
- DeRosa, M.C.; Monreal, C.; Schnitzer, M.; Walsh, R.; Sultan, Y. Nanotechnology in fertilizers. *Nat. Nanotechnol.* 2010, 5, 91.
- DeRosa, M.C.; Monreal, C.; Schnitzer, M.; Walsh, R.; Sultan, Y. Nanotechnology in fertilizers. *Nat. Nanotechnol.* 2010, 5, 91.
- Diatta, J., Borowiak, K., & Szczepaniak, W. (2018). Evaluation of fertilizers solubility and phosphate release in slightly acidic arable soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(8), 1131–1141.
- Dimkpa, C. O., & Bindraban, P. S. (2017). Nanofertilizers: New products for the industry? *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66, 6462–6473.
- Dimkpa, C.O.; Fugice, J.; Singh, U.; Lewis, T.D. Development of fertilizers for enhanced nitrogen use efficiency—Trends and perspectives. *Sci. Total Environ.* 2020, 731, 139113.
- Do Espirito Santo Pereira, A.; Caixeta Oliveira, H.; Fernandes Fraceto, L.; Santaella, C. Nanotechnology potential in seed priming for sustainable agriculture. *Nanomaterials* 2021, 11, 267.
- Duan, Q., Jiang, S., Chen, F., Li, Z., Ma, L., Song, Y., Xuejun, Y., Yongxin, C., Hongsheng, L., & Yu, L. (2023). Fabrication, evaluation methodologies and models of slow-release fertilizers: A review. *Industrial Crops and Products*, 192, Article 116075.
- Duhan, J.S.; Kumar, R.; Kumar, N.; Kaur, P.; Nehra, K.; Duhan, S. Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture. *Biotechnol. Rep.* 2017, 15, 11–23.
- Dwivedi, S., Saquib, Q., Al-Khedhairi, A. A., & Musarrat, J. (2016). Understanding the role of nanomaterials in agriculture. In S. Dwivedi et al. (Eds.), *Microbial inoculants in sustainable agricultural productivity* (pp. 271–288). Springer.
- Eichert, T.; Kurtz, A.; Steiner, U.; Goldbach, H.E. Size exclusion limits and lateral heterogeneity of the stomatal foliar

- uptake pathway for aqueous solutes and water-suspended nanoparticles. *Physiol. Plant.* 2008, 134, 151–160.
- El-Henawy, A., El-Sheikh, I., Hassan, A., Madein, A., El-Sheikh, A., El-Yamany, A., Radwan, A., Mohamed, F., Khamees, M., Ramadan, M., Abdelhamid, M., Khaled, H., El-Faramawy, H., Ayoub, Y., Youssef, S., & Faizy, S. E.-D. (2018). Response of cultivated broccoli and red cabbage crops to mineral, organic and nano-fertilizers. *Environment, Biodiversity and Soil Security*, 2, 1–25.
- El-Ramady, H., El-Ghamry, A., Mosa, A., & Alshaal, T. (2018). Nanofertilizers vs. biofertilizers: New insights. *Environment, Biodiversity and Soil Security*, 2(1), 40–50.
- Elsayed, A.A.A.; El-Gohary, A.; Taha, Z.K.; Farag, H.M.; Hussein, M.S.; AbouAitah, K. Hydroxyapatite nanoparticles as novel nano-fertilizer for production of rosemary plants. *Sci. Hortic.* 2022, 295, 110851.
- Eroglu, N., Emekci, M., & Athanassiou, C. G. (2017). Applications of natural zeolites on agriculture and food production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(11), 3487–3499.
- Fatima, F.; Hashim, A.; Anees, S. Efficacy of nanoparticles as nanofertilizer production: A review. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2021, 28, 1292–1303.
- Feng, Y.; Kreslavski, V.D.; Shmarev, A.N.; Ivanov, A.A.; Zharmukhamedov, S.K.; Kosobryukhov, A.; Yu, M.; Allakhverdiev, S.I.; Shabala, S. Effects of iron oxide nanoparticles (Fe₃O₄) on growth, photosynthesis, antioxidant activity and distribution of mineral elements in wheat (*Triticum aestivum*) plants. *Plants* 2022, 11, 1894.
- Gehlout, S.; Priyam, A.; Afonso, L.; Schultze, G.A.; Singh, P.P. Application of metallic nanoparticles as agri inputs: Modulation in nanoparticle design and application dosage needed. In *Nanotechnology in Agriculture and Environmental Science*; Deshmukh, S.K., Kochar, M., Kaur, P., Singh, P.P., Eds.; Taylor & Francis Group: Boca Raton, FL, USA, 2022; pp. 16–54.

- Ghormade, V.; Deshpande, M.V.; Paknikar, K.M. Perspectives for nano-biotechnology enabled protection and nutrition of plants. *Biotechnol. Adv.* 2011, 29, 792–803.
- Hong, J.; Wang, C.; Wagner, D.C.; Gardea-Torresdey, J.L.; He, F.; Rico, C.M. Foliar application of nanoparticles: Mechanisms of absorption, transfer, and multiple impacts. *Environ. Sci. Nano* 2021, 8, 1196–1210.
- Hossain, A., Kerry, R. G., Farooq, M., Abdullah, N., & Islam, M. T. (2020). Application of nanotechnology for sustainable crop production systems. In Devarajan et al. (Eds.), *Nanotechnology for food, agriculture, and environment* (pp. 135–159). Springer, India.
- Ijaz, I., Gilani, E., Nazir, A., & Bukhari, A. (2020). Detail review on chemical, physical and green synthesis, classification, characterizations and applications of nanoparticles. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 13(3), 59–81.
- Kah, M.; Beulke, S.; Tiede, K.; Hofmann, T. Nanopesticides: State of knowledge, environmental fate, and exposure modeling. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 2013.
- Kalra, T., Tomar, P. C., & Arora, K. (2020). Micronutrient encapsulation using nanotechnology: Nanofertilizers. *Plant Archives*, 20(2), 1748–1753.
- Kim, M. J., McNally, B., Murata, K., & Meller, A. (2007). Characteristics of solid-state nanometre pores fabricated using a transmission electron microscope. *Nanotechnology*, 18, Article 205302.
- Kole, C.; Kole, P.; Randunu, K.M.; Choudhary, P.; Podila, R.; Ke, P.C.; Rao, A.M.; Marcus, R.K. Nanobiotechnology can boost crop production and quality: First evidence from increased plant biomass, fruit yield and phytomedicine content in bitter melon (*Momordica charantia*). *BMC Biotechnol.* 2013, 13, 1–10.
- Kookana, R. S., Boxall, A. B. A., Reeves, P. T., Ashauer, R., Beulke, S., Chaudhry, Q., Cornelis, G., Fernandes, T. F., Gan, J., Kah, M., Lynch, I., Ranville, J., Sinclair, C., Spurgeon, D., Tiede, K., & Van Den Brink, P. J. (2014). Nanopesticides: Guiding principles for regulatory

- evaluation of environmental risks. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(19), 4227–4240.
- Kottegoda, N.; Munaweera, I.; Madusanka, N.; Karunaratne, V. A green slow-release fertilizer composition based on urea-modified hydroxyapatite nanoparticles encapsulated wood. *Curr. Sci.* 2011, 101, 73–78.
- Kottegoda, N.; Munaweera, I.; Madusanka, N.; Karunaratne, V. A green slow-release fertilizer composition based on urea-modified hydroxyapatite nanoparticles encapsulated wood. *Curr. Sci.* 2011, 101, 73–78.
- Kumar, S., Jasmin, L., & Saravaiya, S. (2018). Technologies and sustainability of protected cultivation for high-valued vegetable crops. Navsari Agricultural University.
- Kumar, Y. (2020). Nanofertilizers for enhancing nutrient use efficiency, crop productivity and economic returns in winter season crops of Rajasthan. *Annals of Plant and Soil Research*, 22(4), 324–335.
- Li, W.-Q., Qing, T., Li, C.-C., Li, F., Ge, F., Fei, J.-J., Willie, J., & Peijnenburg, G. M. (2020). Integration of subcellular partitioning and chemical forms to understand silver nanoparticles toxicity to lettuce (*Lactuca sativa* L.) under different exposure pathways. *Chemosphere*, 258, Article 127349.
- Liscano, J.; Wilson, C.; Norman, R., Jr.; Slaton, N. Zinc Availability to Rice from Seven Granular Fertilizers; Arkansas Agricultural Experiment Station Fayetteville: Fayetteville, CA, USA, 2000; p. 963.,
- Liu, R.; Lal, R. Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Sci. Total Environ.* 2015, 514, 131–139.
- Liu, R.; Lal, R. Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Sci. Total Environ.* 2015, 514, 131–139.
- Liu, R.; Lal, R. Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Sci. Total Environ.* 2015, 514, 131–139.
- Lopez-Lima, D.; Mtz-Enriquez, A.I.; Carrión, G.; Basurto-Cereceda, S.; Pariona, N. The bifunctional role of copper

- nanoparticles in tomato: Effective treatment for Fusarium wilt and plant growth promoter. *Sci. Hortic.* 2021, 277, 109810.
- Madzokere, T.C.; Murombo, L.T.; Chiririwa, H. Nano-based slow releasing fertilizers for enhanced agricultural productivity. *Mater. Today Proc.* 2021, 45, 3709–3715.
- Malusá, E.; Sas-Paszt, L.; Ciesielska, J. Technologies for beneficial microorganisms inocula used as biofertilizers. *Sci. World J.* 2012, 2012, 491206.
- Mastronardi, E.; Tsae, P.; Zhang, X.; Monreal, C.; DeRosa, M.C. Strategic role of nanotechnology in fertilizers: Potential and limitations. In *Nanotechnologies in Food and Agriculture*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2015; pp. 25–67.
- Miralles, P.; Church, T.L.; Harris, A.T. Toxicity, uptake, and translocation of engineered nanomaterials in vascular plants. *Environ. Sci. Technol.* 2012, 46, 9224–9239.
- Monostori, T. (2014). Crop production. University of Szeged Faculty of Agriculture.
- Monreal, C. M., Derosa, M., Mallubhotla, S. C., Bindraban, P. S., & Dimkpa, C. (2016). Nanotechnologies for increasing the crop use efficiency of fertilizer-micronutrients. *Biology and Fertility of Soils*, 52, 423–437.
- Monreal, C.; DeRosa, M.; Mallubhotla, S.; Bindraban, P.; Dimkpa, C. Nanotechnologies for increasing the crop use efficiency of fertilizer-micronutrients. *Biol. Fertil. Soils* 2016, 52, 423–437.
- Morales-Díaz, A. B., Ortega-Ortíz, H., Juárez-Maldonado, A., Cadenas-Pliego, G., González-Morales, S., & Benavides-Mendoza, A. (2017). Application of nanoelements in plant nutrition and its impact in ecosystems. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 8, Article 013001.
- Muhammad, M., Khalid, M. K., Marcela, C. C., Lucas, B. C., Leonardo, F. F., Rania, E. M., Maher, Z. E., Murat, K., Jalel, L., Hidayat, U., & Depeng, W. (2020). Chitosan-based delivery systems for plants: A brief overview of

- recent advances and future directions. *International Journal of Biological Macromolecules*, 154(1), 683–697.
- Munir, T.; Rizwan, M.; Kashif, M.; Shahzad, A.; Ali, S.; Amin, N.; Zahid, R.; Alam, M.; Imran, M. Effect of zinc oxide nanoparticles on the growth and Zn uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) by seed priming method. *Dig. J. Nanomater. Biostructures* 2018, 13, 315–323.
- Nair, R.; Varghese, S.H.; Nair, B.G.; Maekawa, T.; Yoshida, Y.; Kumar, D.S. Nanoparticulate material delivery to plants. *Plant Sci.* 2010, 179, 154–163.
- Panichikkal, J.; Puthiyattil, N.; Raveendran, A.; Nair, R.A.; Krishnankutty, R.E. Application of encapsulated *Bacillus licheniformis* supplemented with chitosan nanoparticles and rice starch for the control of *Sclerotium rolfsii* in *Capsicum annuum* (L.) seedlings. *Curr. Microbiol.* 2021, 78, 911–919. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]
- Pickering, H. W., Menzies, N. W., & Hunter, M. N. (2002). Zeolite/rock phosphate—A novel slow-release phosphorus fertilizer for potted plant production. *Scientia Horticulturae*, 94(3–4), 333–343.
- Polat, E., Karaca, M., Demir, H., & Onus, N. (2004). Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 12, 183–189.
- Raimondi, G.; Maucieri, C.; Toffanin, A.; Renella, G.; Borin, M. Smart fertilizers: What should we mean and where should we go? *Ital. J. Agron.* 2021, 16.
- Raliya, R.; Saharan, V.; Dimkpa, C.; Biswas, P. Nanofertilizer for precision and sustainable agriculture: Current state and future perspectives. *J. Agric. Food Chem.* 2018, 66, 6487–6503.
- Raliya, R.; Saharan, V.; Dimkpa, C.; Biswas, P. Nanofertilizer for precision and sustainable agriculture: Current state and future perspectives. *J. Agric. Food Chem.* 2018, 66, 6487–6503.
- Rech, I., Polidoro, J. C., & Pavinato, P. S. (2017). Additives incorporated into urea to reduce nitrogen losses after application to the soil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52(3), 194–204.

- Reed, R.B.; Ladner, D.A.; Higgins, C.P.; Westerhoff, P.; Ranville, J.F. Solubility of nano-zinc oxide in environmentally and biologically important matrices. *Environ. Toxicol Chem.* 2012, 31, 93–99.
- Rico, C.M.; Lee, S.C.; Rubenecia, R.; Mukherjee, A.; Hong, J.; Peralta-Videa, J.R.; Gardea-Torresdey, J.L. Cerium oxide nanoparticles impact yield and modify nutritional parameters in wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Agric. Food Chem.* 2014, 62, 9669–9675.
- Salam, A.; Khan, A.R.; Liu, L.; Yang, S.; Azhar, W.; Ulhassan, Z.; Zeeshan, M.; Wu, J.; Fan, X.; Gan, Y. Seed priming with zinc oxide nanoparticles downplayed ultrastructural damage and improved photosynthetic apparatus in maize under cobalt stress. *J. Hazard. Mater.* 2022, 423, 127021.
- Sambangi, P.; Srinivas, V.; Gopalakrishnan, S. Crop Microbiome for Sustainable Agriculture in Special Reference to Nanobiology. In *Plant Microbiome for Plant Productivity and Sustainable Agriculture*; Chhabra, S., Prasad, R., Maddela, N.R., Tuteja, N., Eds.; Microorganisms for Sustainability; Springer: Singapore, 2023; pp. 81–97.
- Saraiva, R., Ferreira, Q., Rodrigues, G. C., & Oliveira, M. (2022). Phosphorous nanofertilizers for precise application in rice cultivation as an adaptation to climate change. *Climate*, 10(11), 183.
- Savci, S. (2012). Investigation of effect of chemical fertilizers on environment. *APCBEE Procedia*, 1, 287–292.
- Selva, P., & Balakrishnan, N. (2017). A review of nano fertilizers and their use and functions in soil. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(12), 3117–3133.
- Sharma, B.; Tiwari, S.; Kumawat, K.C.; Cardinale, M. Nano-biofertilizers as bio-emerging strategies for sustainable agriculture development: Potentiality and their limitations. *Sci. Total Environ.* 2023, 860, 160476.
- Shukla, S.K.; Kumar, R.; Mishra, R.K.; Pandey, A.; Pathak, A.; Zaidi, M.; Srivastava, S.K.; Dikshit, A. Prediction and validation of gold nanoparticles (GNPs) on plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A step toward

- development of nano-biofertilizers. *Nanotechnol. Rev.* 2015, 4, 439–448.
- Siddiqui, M. H., Al-Whaibi, M. H., & Mohammad, F. (2015). *Nanotechnology and plant sciences: Nanoparticles and their impact on plants.* Springer.
- Singh, A.; Singh, N.; Hussain, I.; Singh, H. Effect of biologically synthesized copper oxide nanoparticles on metabolism and antioxidant activity to the crop plants *Solanum lycopersicum* and *Brassica oleracea* var. botrytis. *J. Biotechnol.* 2017, 262, 11–27.
- Smith, L. E., & Siciliano, G. (2015). A comprehensive review of constraints to improved management of fertilizers in China and mitigation of diffuse water pollution from agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 209, 15–25.
- Solanki, P.; Bhargava, A.; Chhipa, H.; Jain, N.; Panwar, J. Nano-fertilizers and their smart delivery system. In *Nanotechnologies in Food and Agriculture*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2015; pp. 81–101.
- Subramanian, K.S.; Manikandan, A.; Thirunavukkarasu, M.; Rahale, C.S. Nano-fertilizers for balanced crop nutrition. In *Nanotechnologies in Food and Agriculture*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2015; pp. 69–80.
- Subramanian, K.S.; Manikandan, A.; Thirunavukkarasu, M.; Rahale, C.S. Nano-fertilizers for balanced crop nutrition. In *Nanotechnologies in Food and Agriculture*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2015; pp. 69–80.
- Suppan, S. (2017, October). Applying nanotechnology to fertilizer. Institute for Agriculture and Trade Policy. Retrieved January 23, 2024, from iatp.org
- Vázquez-Núñez, E., López-Moreno, M. L., de la Rosa Álvarez, G., & Fernández-Luqueño, F. (2018). Incorporation of nanoparticles into plant nutrients: The real benefits. In *Agricultural Nanobiotechnology: Modern Agriculture for a Sustainable Future* (pp. 49–76). Springer.
- Verma, K.K.; Song, X.P.; Joshi, A.; Tian, D.D.; Rajput, V.D.; Singh, M.; Arora, J.; Minkina, T.; Li, Y.R. Recent Trends in Nano-Fertilizers for Sustainable Agriculture under

- Climate Change for Global Food Security. *Nanomaterials* 2022, 12, 173.
- Wang, P.; Lombi, E.; Zhao, F.-J.; Kopittke, P.M. Nanotechnology: A new opportunity in plant sciences. *Trends Plant Sci.* 2016, 21, 699–712.
- Yang, M., Fang, Y., Sun, D., & Shi, Y. (2020). Efficiency of two nitrification inhibitors (dicyandiamide and 3,4-dimethylpyrazole phosphate) on soil nitrogen transformations and plant productivity: A meta-analysis. *Scientific Reports*, 6, 1–10.
- Zayed, M.; Elkafafi, S.; Zedan, A.M.; Dawoud, S.F. Effect of nano chitosan on growth, physiological and biochemical parameters of *Phaseolus vulgaris* under salt stress. *J. Plant Prod.* 2017, 8, 577–585

BÖLÜM 3

FINDIK ZURUFUNDAN ÜRETİLEN ALTERNATİF ÜRÜNLER: TOPRAĞIN BAZI FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Prof. Dr. Damla BENDER ÖZENÇ¹

Arş. Gör. Dr. Selahattin AYGÜN²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15028289>

¹ Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Blm, Ordu, Türkiye.damlabender@hotmail.com, Orcid ID: 0000-0002-7839-3153

² Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Blm, Ordu, Türkiye.selahattinaygun@odu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-6845-3140

*Bu çalışma Doktora tezinden hazırlanmıştır.

1. GİRİŞ

Dünya genelinde toprağa dayalı üretim sistemleri, üretim yoğunluğuna olan gereksinim nedeniyle gittikçe artan bir tükenme eğilimi göstermektedir; çünkü tarımsal üretimdeki büyümenin çoğu var olan ya da daralan tarımsal arazi kaynaklarındaki üretkenliğin artmasından meydana gelmektedir (Shah ve Wu, 2019). Toprak, yaşamın kaynağını oluşturması, beslenme için temel kaynak olması ve ekolojik denge sağlamadaki yeri dikkate alındığında ekosistemin en önemli öğelerinden biridir. Bu nedenle toprak verimliliğinin korunması, artırılması ve sürdürülebilir olması için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Bunlardan birisi temel toprak bileşenlerinden olan toprak organik maddesidir. Organik madde, toprak verimliliğinin tanımlayıcıları olan fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine çok sayıda olumlu katkıları nedeniyle diğer verimlilik bileşenlerinin önünde yer almaktadır. Yüksek organik madde içeriği toprağın fiziksel özelliklerini geliştirir (Uehara ve Gilman, 1981), toprak gözenekliliğini artırır (Bauer ve Black, 1994), strüktürel gelişime katkı sağlayarak toprak erozyonunu azaltır, yüksek katyon değişim kapasitesi sağlar, toprak çözeltisinden besinlerin yıkanmasını azaltır (Duxbury ve ark., 1989), enzim aktivitesi ve mikroorganizma sayısını artırır. Dolayısıyla hem besin elementi sağlaması hem de toprağın birçok özelliği üzerine olumlu katkı yapması nedeniyle, toprakta bulunmalı yoksa mutlaka ilave edilmesi gereklidir. Genellikle topraklardaki yapısal bozulmalar çok yoğun bir şekilde işlenen topraklarda toprak organik maddesinin azalmasından dolayı meydana gelmektedir (Grandy ve ark., 2002). Günümüzde toprağın organik madde miktarını artırmaya yönelik organik materyallerin zengin besin içeriği ve toprak

özellikleri üzerine sağladığı faydalar nedeniyle birçok çalışma yürütülmüştür (Khai ve ark., 2008; González ve ark., 2010; De Lucia ve Cristiano, 2015). Özellikle, bitkisel kökenli hasat artıklarının topraklara uygulanarak değerlendirilmesi hem toprakların kaybettiği organik madde kaynaklarının karşılanması hem de üreticinin atık sorununun bertarafı için tercih edilen yollardan biri olmaktadır.

Toprakların sürdürülebilirliğini ve iklimsel değişimler sonucunda topraklarda karbon tutunumu artırmak amacıyla son yıllarda biyokömür kullanımı, karbon döngüsünde rol alması, biyoremediasyon, toprak verimliliği, atık su ve tarımdaki tüm çevresel yönetim araçlarında potansiyel rol alması nedeniyle dikkate değer önem kazanmıştır (Diatta ve ark., 2020). Siyah karbon ya da biyomasın karbonlaştırılması olarak bilinen biyokömür, geniş sıcaklık aralığında (300-1000 °C), az oksijenli ya da oksijensiz koşullarda piroliz işlemi ile ağaç, bitki atıkları, hayvan gübreleri, algler, şehir ve sanayi atıkları gibi organik kütlenin farklı formlarından kaynaklanan bir organik materyaldir (Kavitha ve ark., 2018; Weber ve Quicker, 2018; Diatta ve ark., 2020). Biyokömürler toprağa ilave edildiğinde porozite, yüzey alanı, hacim ağırlığı, su tutma kapasitesi, pH, adsorpsiyon kapasitesi, besin kullanım etkinliği, yarayışlı fosfor ve potasyum ve toplam azot gibi fizikokimyasal toprak özelliklerini değiştirmektedir (Weber ve Quicker, 2018; Seleiman ve ark., 2020; Wang ve ark., 2020); bu değişimlerin boyutu farklı besin kaynaklarından üretilen biyokömürler arasında geniş ölçüde değişiklik göstermektedir (Rawat ve ark., 2019; Tomczyk ve ark., 2020). Pariyar ve ark. (2020) ve Abujabhah (2017), biyokömür uygulamalarının toprakta mikrobiyal popülasyonu ve besin döngüsünü pozitif yönde etkileyerek toprak sıkışmasını

azalttığı ve poroziteyi artırdığı bildirilmiştir. Tarakçıoğlu ve ark. (2019) fındık kabuğundan üretilen biyokömür ile diğer atıkların toprak pH'sı, organik madde, toplam azot, bitkiye yararışlı fosfor ve potasyum içeriğini arttırdığı, demir ve bakır miktarını azalttığını; Özenç ve ark. (2023), fındık kabuğundan üretilen biyokömürün kumlu tın toprağın fizikokimyasal özellikleri olumlu olarak etkilediği, biyokömürün tane büyüklüğüne bağlı olarak etki düzeylerinin değiştiğini belirtmişlerdir. Diğer yandan, organik materyallerden ekstraksiyon yapılarak elde edilen sıvı ürünlerin tarımda kullanımı üzerine çalışmalar da oldukça artış göstermektedir. Hasat sonrası meydana gelen atık kütleleri, ilerleyen teknoloji ile olabildiğince küçültmeye yönelik kullanılmaktadır. Ekstraksiyon işlemi kısaca tanımlanırsa, özellikle kompost ürünlerinin havalı ve havasız koşullarda su ile belirli sürelerde karıştırılıp, filtre edilmesi şeklindedir. Karışım süresine bağlı olarak elde edilen materyal; ekstraksiyon ya da çay olarak isimlendirilmektedir (Da-Bing ve ark., 2012; Marin ve ark., 2014; Din ve ark., 2017).

Dünya'nın en önemli fındık üreticisi olan ülkemiz, başta Karadeniz Bölgesi olmak üzere ülkemizde 39 ilde fındık üretilmekte, özellikle Ordu, Giresun, Trabzon ve Samsun'da en önemli geçim kaynağıdır. Fındık yetiştiriciliğinde hasat sonunda 1 kg yaş fındıktan yaklaşık 1/5 oranında da kuru zuruf arta kalmakta, yıllara göre ürün verimi ve buna bağlı olarak atık miktarı değişmekle beraber, her yıl ortalama 500.000 ton civarında tarımsal atık olarak ortaya fındık zurufu çıkmaktadır ve çoğu zaman hasat sonunda atık olarak yığın halinde harman yerlerinde bırakılmaktadır. Büyük bir atık potansiyeli olan fındık zurufunun bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri, onun organik bir materyal olarak kullanımı bakımından değerlendirilebilecek

değerlere sahip olduğunu göstermektedir. Yüksek organik madde içeriği, uygun pH ve EC içeriğine sahip, besin değerleri bakımından azot ve fosfor düşük, potasyum ve mikro elementler yeter ve fazla düzeydedir (Kacar ve Katkat, 1998). Doğada kendi halinde yaklaşık iki yıl gibi bir sürede ayrışmaya başlaması nedeniyle tekrar topraklara organik madde ve besin maddesi kaynağı olarak geri dönüşümünün sağlanabileceği belirtilmektedir (Bender Özenç, 2005; Yılmaz ve Bender Özenç, 2012; Aygün, 2015, Özenç ve ark., 2019).

Bu çalışma ile fındık zurufundan üretilen alternatif ürünlerin öncelikle toprakların temel olan fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine olan etkilerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Fındığın her türlü yan ürününün kullanılması yetersiz olan organik madde kaynağı oluşturulmasına katkı sağlamasını teşvik edeceği, doğal dengeyi koruma ve çevresel katkıları dikkate alındığında, kaynak arama sorununa çözüm olabileceği, bununla birlikte ekonomik katkı da sağlayacağı düşünülmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyal

Deneme alanı toprağı % 64 kum, % 12 kil ve % 24 silt içeriğine sahip olup kumlu tın tekstür sınıfında, 1.33 g/cm^3 hacim ağırlığında, tarla kapasitesi (% 19.94) ve solma noktasında (% 10.36) tutulan su içerikleri düşük, suya dayanıklı agregat düzeyi (% 36.55) zayıf, hidrolik iletkenliği orta düzeyde (4.23 cm/h), hafif alkalın ($\text{pH}=7.8$), tuzsuz, organik madde içeriği (%0.49) ve toplam azot içeriği (% 0.023) çok az, alınabilir fosfor içeriği (10.12 ppm) yeterli, alınabilir potasyum içeriği (104.2 ppm) bakımından az düzeydedir.

Denemede, fındık zurufu, fındık zurufu biyokömürü ve bu iki materyalden elde edilen ekstraktlar kullanılmıştır. Fındık zurufu, fındık üretimi yapılan bir bahçedeki yığından 4 mm'lik elekten elenerek temin edilmiştir. Zuruf materyali kuvvetli asit (pH=4.55), % 92.19 organik madde, % 1.24 azot, % 0.065 fosfor, 5232 ppm potasyum içermektedir. Fındık zuruf biyokömürü, zuruf materyalinin 13 L kapasiteli biyokömür fırınında 350 °C'de 3.5 saat yakılarak üretilmiştir. Biyokömür materyali hafif alkalın (pH=7.45), % 82.41 organik madde, % 1.70 azot, % 0.124 fosfor, 6749 ppm potasyum içermektedir. Zuruf ve zuruf biyokömürü ekstraktları, 1:10'luk zuruf - biyokömür / saf su karışımı 24 saat 100 dev/dk mekanik çalkalayıcıda çalkalanıp süzülerek hazırlanmıştır. Zuruf ekstraktı orta derecede asit (pH=5.87), % 0.833 fosfor, 592 ppm potasyum; biyokömür ekstraktı, hafif alkalın (pH=7.54), % 0.199 fosfor, 577 ppm potasyum içermektedirler.

Çalışmada, buğday bitkisi yetiştirmek için 310 m² alanda kurulan (herbiri 2x1 m² olacak şekilde net 96 m² alanda 48 parsel) çakılı deneme alanı kullanılmıştır. Deneme, tesadüf bloklarında faktöriyel deneme desenine göre 4 materyal (zuruf, zuruf çayı, zuruf biyokömürü, zuruf biyokömürü çayı), 4 doz (0-1-2-3 t da⁻¹) ve 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Deneme alanında hazırlanan parsellere ilk yıl, belirlenen oranlarda fındık zurufu, zuruf biyokömürü, zurufu ve zuruf biyokömürü ekstraktları toprak yüzeyine çapa ile karıştırılarak uygulanmıştır. 2. yıl sonunda, bitki hasadı sonrası her parselden yüzey toprak örnekleri (0-30 cm) alınarak laboratuvara getirilerek kurutulmuş, içerisindeki ot ve kökler ayıklanmış ve dövülerek 2 mm'lik elekten elenerek analize hazır hale getirilmiştir.

2.2 Yöntem

Toprak örneklerinin bazı fiziksel özellikleri için yapılan analizler: Hacim ağırlığı, hacmi bilinen örnek kabına alınan bozulmamış materyallerin fırın kuru ağırlıklarının toplam hacme bölünmesiyle Blake ve Hartge (1986)'a göre hesaplanmıştır. Agregat stabilitesi, ıslak eleme yöntemi ile Hidrolik iletkenlik, doymuş koşullarda sabit su seviyeli permeabilite yöntemi ile Demiralay (1993)' e göre belirlenmiştir. Tarla kapasitesi ve Solma noktası, basınç tablalı toprak nemi tayin cihazı ile 1/3 atmosfer ve 15 atmosfer basınç altında toprağın nem içerikleri Çepel (1985) ve Kantarcı (2000)'ya göre belirlenmiştir. Makro por yüzdesi toplam poroziteden 50 cm tansiyonda tutulan hacimsel su miktarının çıkarılması ile mikro por yüzdesi, toplam poroziteden makro por miktarının çıkarılması ile hesaplanmıştır (Munsuz, 1982).

Toprak örneklerinin bazı kimyasal özellikleri için yapılan analizler: Toprak reaksiyonu (pH) ve Elektriksel iletkenlik (EC), 1:2.5 oranındaki toprak:saf su karışımında Bayraklı (1987)'ya göre ölçülmüştür. Organik madde miktarı, Walkley-Black yaş yakma yöntemiyle titrimetrik olarak Kacar (1994)' a göre hesaplanmıştır. Toplam azot (N), Kjeldahl yaş yakma yöntemiyle belirlenmiştir (Bremner, 1965). Değişebilir fosfor (P) ve potasyum (K), 1 N nötr NH₄OAc ile ekstrakte edilerek, değişebilir K fleymfotometre, P ise spektrofotometre cihazında belirlenmiştir (Sağlam, 1997).

2.3 İstatistiksel Analizler

Denemeden elde edilen veriler Minitab 21 istatistik paket programında tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre değerlendirilmiş, ortalamaların karşılaştırılmasında %5

önem seviyesinde Tukey çoklu karşılaştırma metodu kullanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Toprağa farklı uygulama dozlarında uygulanan zuruf, zuruf ekstraktı, zuruf biyokömürü ve biyokömür ekstraktı uygulamalarının toprağın bazı fiziko-kimyasal özelliklerine ait ortalama veriler Tablo 1’de sunulmuştur.

3.1. Fiziksel Özellikler

Kumlu tın toprağın hacim ağırlığı üzerine uygulama ve dozların etkisi birbirinden bağımsız olmayıp uygulama x doz interaksyonu istatistiksel olarak ($p<0.01$) önemli bulunmuştur. Kumlu tın toprağa yapılan uygulamalar toprak hacim ağırlığını düşürmüştür. En düşük hacim ağırlığı biyokömür uygulaması 3 t/da dozunda 1.13 g/cm^3 , en yüksek hacim ağırlığı zuruf ekstraktının 2 t/da uygulama dozunda 1.26 g/cm^3 bulunmuştur (Tablo 1). Toprağın hacim ağırlığı, toprak bünyesi yapısı, toprak işleme ve organik madde miktarı gibi birçok faktörden etkilenen bir özelliktir. Organik madde miktarı arttıkça toprak hacim ağırlığının azalması beklenen bir sonuçtur. Organik maddenin yoğunluğunun mineral maddelerden çok daha az olması nedeniyle toprak içindeki organik madde miktarı arttıkça toprağın özgül ağırlığı ve hacim ağırlığı düşmektedir. Denemede kullanılan organik materyallerin düşük hacim ağırlıklarına bağlı olarak toprakların hacim ağırlığı da azalmıştır. Gülser ve ark., (2015) fındık zurufu ve kompostun toprak organik karbon içeriğini artırırken hacim ağırlığını istatistiksel olarak önemli derecede azalttığını tespit etmişlerdir.

Tablo 1: Toprakların hacim ağırlığı (HA), agregat stabilitesi (AS), yarıyışlı su içeriği (YSİ), makropor (MAP), mikropor (MİP), hidrolik iletkenlik (Hİ), toprak reaksiyonu (pH), organik madde (OM), toplam azot (TN) yarıyışlı fosfor (P) ve alınabilir potasyuma (K) ait ortalama değerleri

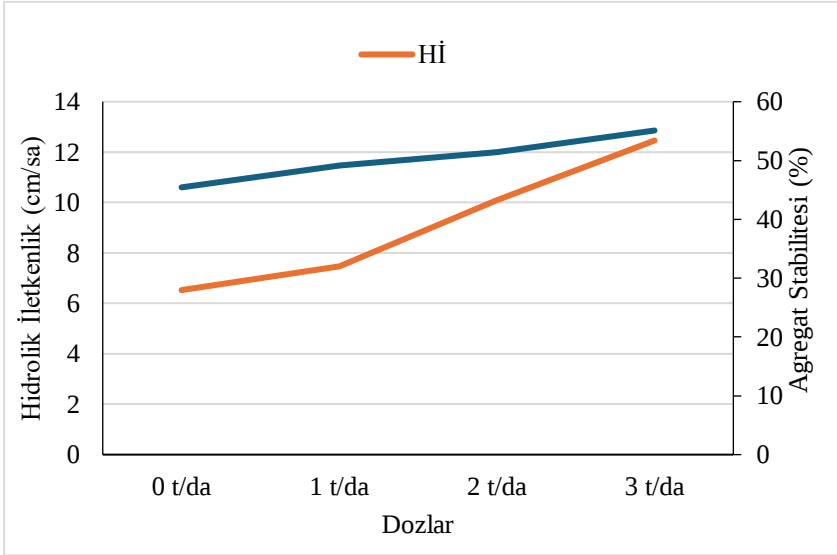
Uygulamalar	HA (g/cm ³)	AS (%)	YSİ (%)	MAP (%)	MİP (%)	Hİ (cm/h)	pH	OM (%)	TN (%)	P (ppm)	K (ppm)
Kontrol	1.20 a-d	45.44	7.13	16.58	47.35 ab	6.53	7.81	1.19 d	0.072	5.49 b	123.6 d
Z-1 t/da	1.22 ab	49.81	6.70	17.29	48.95 ab	7.38	7.79	1.42 b-d	0.100	5.22 b	155.7 cd
Z-2 t/da	1.14 cd	52.40	9.61	19.14	45.20 b	10.38	7.69	1.45 b-d	0.105	5.05 b	163.9 c
Z-3 t/da	1.18 a-d	52.78	6.67	21.31	50.79 a	13.49	7.55	1.54 bc	0.110	5.68 b	205.3 b
ZÇ-1 t/da	1.25 a	48.35	6.52	16.89	46.57 ab	7.60	7.72	1.27 cd	0.077	5.53 b	126.0 d
ZÇ-2 t/da	1.26 a	51.22	8.58	20.42	45.54 b	9.05	7.74	1.33 cd	0.090	5.72 b	128.3 cd
ZÇ-3 t/da	1.21 a-c	58.98	6.31	21.60	45.23 b	11.88	7.60	1.53 bc	0.103	6.56 b	138.9 cd
B-1 t/da	1.21 a-c	49.36	6.33	17.79	48.43 ab	7.79	7.81	1.55 bc	0.077	6.11 b	155.9 cd
B-2 t/da	1.17 b-d	50.40	8.91	19.02	47.46 ab	9.72	7.73	1.72 b	0.105	7.70 ab	157.2 cd
B-3 t/da	1.13 d	52.75	7.00	21.45	46.06 ab	12.30	7.65	2.18 a	0.124	10.56 a	246.0 a
BÇ-1 t/da	1.22 ab	49.24	7.63	18.13	48.95ab	7.12	7.64	1.30 cd	0.088	5.52 b	125.4 d
BÇ-2 t/da	1.21 a-c	51.54	8.16	19.20	45.20 b	11.20	7.54	1.33 cd	0.100	5.91 b	125.6 d
BÇ-3 t/da	1.22 ab	55.88	6.82	22.09	50.79 a	12.15	7.58	1.45 b-d	0.101	7.61 ab	127.9 cd

Her bir özelliğe ait aynı sütun içerisinde harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark kendi grubu içerisinde uygulama x doz etkileşimini istatistiksel olarak önemsizdir. (Z: Fındık zırfu, ZÇ: Zırfu ekstraktı, B: Biyokömür, BÇ: Biyokömür ekstraktı)

Birol (2020) killi topraklara çeltik kavuzu ve tavuk gübresi uygulamışlardır. Biyokömür dozu artışı ile toprak hacim ağırlığı azalmış, toprakta toplam gözeneklilik, tarla kapasitesi, solma noktası yarayışlı su içeriği, toplam karbon miktarı ve toprakta potasyum konsantrasyonu artmıştır. Biyokömür topraklara uygulandığında diğer toprak düzenleyiciler ile birlikte toprakta organik karbon, pH, porozite, hacim ağırlığı, su tutma kapasitesi, yarayışlı P ve toplam N gibi fizikokimyasal toprak özelliklerini değiştirmektedir (Weber ve Quicker, 2018; Seleiman ve ark., 2020; Wang ve ark., 2020). Negiş ve ark., (2020) farklı organik materyal uygulamalarının (sığır gübresi, biyokömür, kompost) kontrole göre hacim ağırlığını azalttığını tespit etmişlerdir. Devereux ve ark., (2012) topraklarda artan biyokömür uygulamalarının hacim ağırlığını, doymun hidrolik iletkenliği azaltırken, toprakta su geçirgenliğini önemli derecede artırdığını tespit etmişlerdir. Mukherjee ve Lal (2013) biyokömür uygulaması ile toprakların hacim ağırlığı azalırken, su tutma kapasitesi, agregatlaşma ve toprak havalanmasını artırdığını bildirmişlerdir. Yan ve ark., (2019) mısır sapından üretilen biyokömürün uygulama dozları ile toprak hacim ağırlığı azaldığını bildirmişlerdir. Organik karbon ve toprakların hacim ağırlığı arasındaki ilişki birçok araştırmacı tarafından incelenmiş, toprak organik karbonundaki % 1 'lik artışın orta tekstüre sahip topraklarda en yüksek etkiyi gösterdiğini tespit etmişlerdir (Hakansson, 1990; Da Silva ve Kay, 1997).

Kumlu tın tektüre sahip toprağın agregat stabilitesi ve hidrolik iletkenlik özelliği üzerine uygulamaların etkisi önemli bulunmazken sadece uygulama dozlarının etkisi istatistiksel olarak önemli ($p<0.01$) bulunmuştur (Şekil 1). Uygulama dozu arttıkça, kontrole göre toprakların hidrolik iletkenlik ve agregat

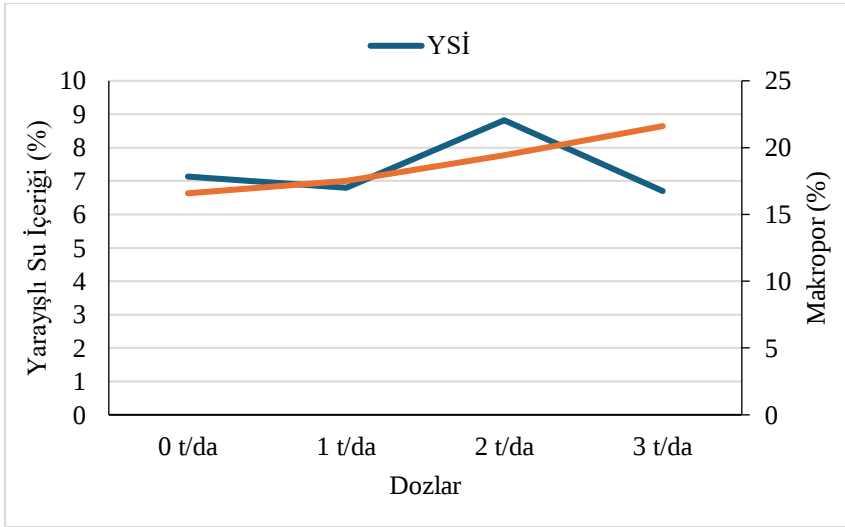
stabilitesi artış göstermiştir. Kontrol dozunda (0 t/da) en düşük hidrolik iletkenlik 6.53 cm/h ve agregat stabilitesi % 45.44 elde edilmiştir. 1 t/da dozunda hidrolik iletkenlik 7.47 cm/h, agregat stabilitesi % 49.18 elde edilmiş, kontrole göre sırasıyla % 14 ve % 8 artmıştır. 2 t/da dozunda hidrolik iletkenlik 10.08 cm/h, agregat stabilitesi % 51.39 bulunmuş, sırasıyla % 35 ve % 4 artmıştır. 3 t/da dozunda en yüksek hidrolik iletkenlik 12.45 cm/h ve agregat stabilitesi % 55.09 elde edilmiş, sırasıyla % 24 ve % 7 artmıştır. Agregat oluşumu ve dayanıklılığı, organik maddenin varlığının bir sonucudur. Organik materyallerin ayrışma ürünlerinin bağlayıcı ve çimentolayıcı etkileri ile agregat oluşumu ve dayanıklılığı artar. Dolayısıyla, toprağa organik materyal ilavesi ile bu sonuç görülür düzeyde meydana gelmiştir. Materyallerin zırf kaynağından üretilmiş olması, materyaller arasında istatistiksel bir fark çıkmamasının nedeni olarak düşünülmektedir. Özenç ve ark., (2019) fındık zırfu ve kabuğundan üretilen biyokömürün topraklara uygulama dozu arttıkça toprakların hidrolik iletkenlik ve agregat stabilitesinin arttığını tespit etmişlerdir. Sari (2018), yaptıkları çalışmada farklı biyokömür materyallerinin toprakların hidrolik iletkenlik ve agregat stabilitesini artırdığını tespit etmişlerdir. Yapılan diğer çalışmalarda biyokömür uygulaması ile toprakların agregat stabilitesi artmıştır (Ajayi ve Horn 2016; Lei ve Zhang 2013).



Şekil 1. Uygulama dozlarının toprakların hidrolik iletkenlik ve agregat stabilitesine etkisi

Yine, kumlu tın tektüre sahip toprağın yarayışlı su içeriği ve makropor yüzdesi üzerine uygulamaların etkisi önemli bulunmazken sadece uygulama dozlarının etkisi istatistiksel olarak önemli ($p < 0.01$) bulunmuştur (Şekil 2). Artan doz uygulamaları toprağın makropor içeriğini artırmıştır. En düşük makropor içeriği (% 16.58) kontrol dozunda, en yüksek makropor içeriği 3 t/da dozunda (% 21.61) elde edilmiştir. Sun ve ark., (2013), biyokömür uygulaması ile makropor içeriğinin arttığını bildirmiştir. Toprakların yarayışlı su içeriği en düşük 3 t/da dozunda (% 6.70), en yüksek 2 t/da dozunda elde edilmiştir. Bu bize makroporun yanında mikropor yüzdesinde de artış sağladığını yani makropor-mikropor dengesinin korunduğunun bir göstergesidir. Yapılan çalışmalarda kumlu topraklara biyokömür uygulaması ile su tutma kapasitesi ve yarayışlı su içeriği artmıştır. (Busscher ve ark., 2010; Novak ve ark., 2009; Pereira ve ark., 2012; Tryon, 1948). Tokova ve ark., (2020)

yaptıkları çalışmada biyokömür uygulamasının önemli derecede bitkiye yararışlı su içeriğini artırdığını tespit etmişlerdir. Biyokömür uygulaması ile toprak strüktüründeki değişimin bunun temel nedenlerinden biri olduğunu öne sürmüşlerdir. Makropor, topraktaki büyük boşlukları ifade eder ki bunlar su geçirgenliği ve havalandırma etkili olan boşluklardır. Uygulama dozlarındaki artışla birlikte toprak geçirgenliğinin artması, makropor yüzdesindeki artışı da desteklemektedir.



Şekil 2. Uygulama dozlarının toprakların yararışlı su içeriği ve makropor oranına etkisi

Kumlu tın toprağın mikropor yüzdesi üzerine uygulama ve dozların etkisi birbirinden bağımsız olmayıp uygulama x doz interaksyonu istatistiksel olarak ($p<0.01$) önemli bulunmuştur (Tablo 1). Mikroporlar, kapillar olmayan boşlukları ifade eder ki bu boşluklar toprakta suyun tutulmasında görev alırlar. Kaba bünyeli bir toprak olan kumlu topraklarda küçük boşluklar miktarının az olması suyun tutulmasında önemli bir sorun oluşturur. Dolayısıyla, kumlu tın tekstürlü deneme toprağına organik materyallerin uygulanması, mikropor yüzdesinin

artmasını desteklemektedir. Tablo 1’de görüldüğü gibi, toprağın mikropor yüzdesi biyokömür ekstraktının 2 t/da doz uygulamasında % 45.20 ile en düşük, zurufun 3 t/da doz uygulamasında % 50.79 ile en yüksek bulunmuştur. Bender Özenç ve Özenç (2008), fındık zurufu kompostunun uzun süre uygulandığı toprakların mikropor özelliklerinin ilk yılda değiştiğini bildirmişlerdir. Biyokömürlerin çoğu yüksek miktarda mikropor içermektedir (Downie ve ark., 2012; Kookana, 2010; Major ve ark., 2012; Hardie ve ark., 2014) ancak toprak mikroporları üzerine biyokömür uygulamasının etkilerinin araştırıldığı çok az çalışma bildirilmiştir.

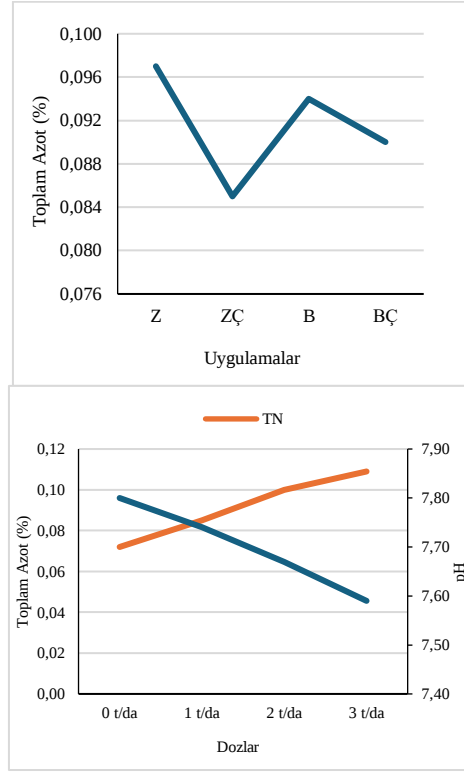
3.2. Kimyasal Özellikler

pH ve Toplam Azot

Uygulama dozlarının toprağın toplam azot ve pH’sı üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli ($p<0.01$) bulunmuştur (Şekil 3). Uygulama dozu arttıkça kumlu tın tekstüre sahip toprakların pH içerikleri azalırken toplam azot konsantrasyonları artış göstermiştir. En düşük pH değeri 3 t/da uygulama dozunda 7.59, en yüksek pH değeri kontrol dozunda 7.80 bulunmuştur. Liu ve Zhang (2012), alkaline topraklara uyguladıkları biyokömür dozu arttıkça toprak pH’sının azaldığını ve organik madde ve biyokömürün oksidasyonu ile üretilen asit materyallerin toprakların pH değerlerinin azalmasına neden olabileceğini öne sürmüşlerdir. 7-9 pH’ya sahip biyokömür asidik topraklara ($pH<7$) uygulandığında, toprak pH’sını artırmaktadır ve kation değişimi için metal iyonları ve H^+ iyonları arasındaki rekabet daha da düştüğü için Cu, Zn, Cd, Hg gibi kationların toprakta taşınabilirliğini azaltmaktadır (Novotny ve ark., 2015; Aller, 2016). Diğer yandan, toprakların

en düşük toplam azot konsantrasyonu kontrol dozunda % 0.072 en yüksek toplam azot konsantrasyonu 3 t/da dozunda % 0.109 bulunmuştur. Toplam azot konsantrasyonu dozlardaki artışa bağlı olarak birbirleriyle karşılaştırıldığında sırasıyla % 18, % 18, % 9 artış sağlamıştır. Korai ve ark., (2021) biyokömür uygulaması ile toprakların toplam azot, yarıyışlı fosfor ve alınabilir potasyum konsantrasyonunun istatistiksel olarak önemli derecede ($p<0.05$) arttığını tespit etmişlerdir.

Diğer yandan, toprağın toplam azot konsantrasyonu üzerine uygulamaların etkisi de istatistiksel olarak önemli ($p<0.01$) bulunmuştur (Şekil 3). En yüksek toplam azot konsantrasyonu zuruf uygulamasında % 0.097, ikinci sırada biyokömür uygulamasında % 0.094 olurken, en düşük zuruf ekstraktı uygulamasında % 0.085 bulunmuştur. Bayraklı ve ark., (2023) fındık zurufu uygulamasının toprakların toplam azot konsantrasyonunu önemli derecede etkilediğini belirlemişlerdir. Tarakçıoğlu ve ark., (2019) fındık kabuğundan üretilen biyokömür ile diğer atıkların kumlu tınlı toprağın besin kapsamı üzerine etkilerini araştırıldığı çalışmada, biyokömür ve hayvan gübresinin toprak pH'sı, organik madde, toplam azot, bitkiye yarıyışlı fosfor ve potasyum içeriğini arttırdığını tespit etmişlerdir. Bizim bulgularımız (Zhang ve ark., 2017; Mehmood ve ark., 2020) biyokömür ve kimyasal gübre uygulamaları ile toprak organik karbonu, toplam azot, yarıyışlı fosfor ve potasyumun yalnızca kimyasal gübre uygulamalarına göre atış gösterdiği sonucuyla benzerlik göstermektedir.



Şekil 3.Uygulamalar ve dozların toprakların pH ve toplam azot konsantrasyonu üzerine etkisi

Organik madde, toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirdiği bilinen en temel etmendir. Toprak organik madde miktarını artırmak için kaynağına göre etkileri farklılık göstermekle birlikte, organik materyallerin topraklara uygulanması en kısa ve etkili yoldur. Denemede uygulanan zuruf ve zuruf biyokömürü yüksek organik madde içerikleri ile etkili iki materyaldir. Uygulamaların etkisi dikkate alındığında en düşük organik madde kontrol uygulamasında % 1.19 en yüksek organik madde biyokömür uygulaması 3 t/da dozunda % 2.18 bulunmuştur (Tablo 1). Yapılan çalışmalarda topraklara uygulanan organik maddenin toprak organik karbon miktarında iyileşmelere neden olduğu ifade edilmiştir (Manirakiza ve ark.,

2021; Gümüş ve ark., 2022). Mahmoud ve ark., (2015) yaptıkları çalışmada azotlu gübre ve kompost ekstraktı uygulamalarının toprakların yarayışlı besin içeriğini (N, P, K) ve organik madde içeriğini artırdığını tespit etmişlerdir.

En düşük yarayışlı fosfor konsantrasyonu zuruf uygulaması 2 t/da dozunda 5.05 ppm en yüksek yarayışlı fosfor konsantrasyonu biyokömür uygulaması 3 t/da dozunda 10.56 ppm bulunmuştur (Tablo 1). Özenç ve ark., (2019) fındık zurufu ve fındık kabuğundan üretilen biyokömürün toprakların yarayışlı fosfor içeriğini ve toprak organik madde miktarını artırdığını tespit etmişlerdir. Biyokömür uygulama dozu arttıkça toprakların bitkiye yarayışlı fosfor içerikleri artmıştır. Toprakta yarayışlı fosfor kaynaklarının başında organik materyaller yer almaktadır. Toprakta organik maddesinin humuslaşması sırasında ortaya çıkan yan ürünlere humin maddeleri denilmektedir. Humin maddeleri toprakta yarayışlı fosfor miktarının artmasına neden olmaktadır (Karaçal ve Tüfenkçi, 2010).

En düşük alınabilir potasyum konsantrasyonu kontrol uygulamasında 123.6 ppm en yüksek potasyum konsantrasyonu biyokömür uygulaması 3 t/da dozunda 246 ppm bulunmuştur (Tablo 1). Tarakçıoğlu ve ark., 2019 topraklara organik materyal uygulamalarının (fındık zurufu, fındık kabuğu biyokömürü ve ahır gübresi) toprak organik maddesi, yarayışlı potasyum ve ekstrakte edilebilir potasyum konsantrasyonunu artırdığını tespit etmişlerdir. Dong ve ark., (2022), aynı miktarda uygulanan azot dozuna karşı, artan biyokömür uygulamalarının toprak organik karbon içeriğini ve 30 t/ha biyokömür uygulama dozunda alınabilir potasyumun istatistiksel olarak önemli derecede arttığını bildirmişlerdir. Topraklara uygulanan organik maddenin

dozu arttıkça organik materyallerin ayrışması sonucu toprakta yayılsı fosfor ve ekstrakte edilebilir potasyum konsantrasyonunu artırmıştır. Toprağın dağılıp parçalanma derecesi, toprakta değışebilir şekilde bulunan diğerkatyonların türü ve miktarı, toprak pH'sı, toprak su tutma kapasitesi, toprak havalanması ve sıcaklığı potasyumun yayılsılığını etkilemektedir (Kacar ve Katkat, 2015).

4. SONUÇ

Bir findık atık ürünü olan findık zurufundan elde edilen, findık zurufu, zuruf ekstraktı, zuruf biyokömürü ve zuruf biyokömürü ekstraktları topraklara uygulanarak toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Uygulamalar toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinde önemli etkilere neden olmuştur. Uygulamaların toprakların hacim ağırlığı, mikropor, pH, organik madde, yayılsı fosfor ve alınabilir potasyum üzerine; dozların hacim ağırlığı, agregat stabilitesi, yayılsı su içeriğı, makropor, mikropor, hidrolik iletkenlik, pH, organik madde, toplam azot, yayılsı fosfor ve alınabilir potasyum üzerine etkisi önemli bulunmuştur. Toprakların hacim ağırlığı, yayılsı su içeriğı ve pH hariç diğerk fiziko-kimyasal özellikleri üzerine 3 t/da uygulama dozu en etkili doz olarak bulunmuştur. Diğerk yandan, hacim ağırlığı, mikropor, organik madde, yayılsı fosfor ve alınabilir potasyum üzerine uygulama x doz interaksyonunun etkileri önemli olmuştur. Toprakların fiziksel özelliklerinden hacim ağırlığı üzerine zuruf ekstraktı uygulamasının 2 t/da dozu, agregat stabilitesi ve makropor yüzdesi üzerine zuruf ekstraktının 3 t/da dozu, yayılsı su içeriğine zuruf uygulamasının 2 t/da dozu, hidrolik iletkenlik üzerine zuruf uygulamasının 3 t/da dozu en etkili bulunmuştur. Toprakların kimyasal özelliklerinden organik

madde, toplam azot, yarayışlı fosfor ve alınabilir potasyum üzerine biyokömür uygulamasının 3 t/da dozu en etkili bulunmuştur.

Tüm bulgular değerlendirildiğinde, organik madde kaynağı olarak kullanılan tüm materyaller toprak düzenleyicisi olup toprakların fiziko-kimyasal özelliklerinin düzenlenmesinde etkili olduğu görülmüştür. Önemli bir atık kaynağı potansiyeli olan zurufun tarım topraklarında değerlendirilmesine yönelik zuruf ve zuruftan elde edilen biyokömür ve ekstraktlarla ilgili çalışmalara ağırlık verilmesi gerektiği düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Selahattin AYGÜN'ün doktora tezinin bir kısmından üretilmiştir. Bu çalışmada, Ordu Üniversitesi'nce finansal destek verilen B-2014 kodlu BAP Projesinin verilerinden yararlanılmıştır.

KAYNAKÇA

- Abujabhah, ISD. (2017). Investigating the effect of biochar on microbial activities and biological processes in soil. Master of Sciences Thesis, University of Tasmania, Hobart, Australia.
- Ajayi, A. E., & Horn, R. (2016). Modification of chemical and hydrophysical properties of two texturally differentiated soils due to varying magnitudes of added biochar. *Soil and Tillage Research*, 164, 34-44.
- Aller, M. F. (2016). Biochar properties: Transport, fate, and impact. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 46(14-15), 1183-1296.
- Aygün, S. (2015). Fındık zurufu kompostunun toprak kalitesi üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Ordu.
- Bauer, A. & Black, AL. (1994). Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. *Soil Science Society of America Journal*, 58, 185-193.
- Bayraklı, F. (1987). Toprak ve bitki analizleri. O.M.Ü Yayınları. No:17. Samsun
- Bayraklı, B., Gülser, C., Özyazıcı, G., Özyazıcı, M. A., & Kesim, E. (2023). The effect of hazelnut husk applications on some properties of hazelnut orchard soil and hazelnut yield. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 60(3), 437-449.
- Bender Özenç, D. (2005). Usage of hazelnut husk compost as growing medium. *Proceedings of the Sixth International Congress on Hazelnut, Tarragona-Reus, Spain. Acta Horticulturae*, 686, 309-319.
- Bender Özenç, D., & Özenç, N. (2008, June). Determination of hazelnut husk decomposition level and of the content of some plant nutrient elements under natural conditions. In *VII International Congress on Hazelnut* 845 (pp. 323-330).
- Biröl, M. (2020). İki Farklı Biyokömür Uygulamasının Bitki Verimine ve Toprak Kalitesine Etkisinin Belirlenmesi.

- Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü (Doctoral dissertation, Doktora Tezi).
- Blake, GR. & Hartge, KH. (1986). Bulk density, particle density. in: methods of soil analysis. Part I, ASA-SSSA, Madison, WI, 363-382.
- Bremner, JM. (1965). Methods of Soil Analysis Part II. Chemical and microbiological properties. In.ed. C.A.Balack. American Society of Agronomy, Inc.Pub.Agron Series, No:9, Madison, USA.
- Busscher, W. J., Novak, J. M., Evans, D. E., Watts, D. W., Niandou, M. A. S., & Ahmedna, M. (2010). Influence of pecan biochar on physical properties of a Norfolk loamy sand. Soil Science, 175(1), 10-14.
- Çepel, N. (1985). Toprak Fiziği. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No: 3313, O.F. Yayın No: 374, İstanbul.
- Da Silva, A. P., & Kay, B. D. (1997). Effect of soil water content variation on the least limiting water range. Soil Science Society of America Journal, 61(3), 884-888.
- Da-Bing, X., Qiu-Jun, W., Yun-Cheng, W., Guang-Hui, Y., Qi-Rong, S. & Qi-Wei, H. (2012). Humic-like substances from different compost extracts could significantly promote cucumber growth. Pedosphere, 22(6), 815-824.
- De Lucia, B. & Cristiano, G. (2015). Composted amendment affects soil quality and hedges performance in the Mediterranean urban landscape. Compost Science & Utilization, 23, 48–57.
- Demiralay, İ. (1993). Toprak fiziksel analizleri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. No.143. Erzurum.
- Devereux, R. C., Sturrock, C. J., & Mooney, S. J. (2012). The effects of biochar on soil physical properties and winter wheat growth. Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh, 103(1), 13-18.
- Diatta, AA., Thomason,WE., Abaye, O., Thompson, TL., Battaglia, ML., Vaughan, LJ., Lo, M. & Leme, JFDC. (2020). Assessment of nitrogen fixation by mungbean genotypes in different soil textures using 15N natural

- abundance method. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20, 2230–2240.
- Din, ARJM., Cheng, KK. & Sarmidi, MR. (2017). Assessment of compost extract on yield and phytochemical contents of Pak Choi (*Brassica rapa* cv. *chinensis*) grown under different fertilizer strategies. *Communications in Soil Science And Plant Analysis*, 48(3), 274–284.
- Dong, L., Wang, J., Shen, M., Zhang, H., Wang, L., Li, C., & Lu, C. (2022). Biochar combined with nitrogen fertilizer affects soil properties and wheat yield in medium-low-yield farmland. *Soil Use and Management*, 38(1), 584-595.
- Downie, A., Crosky, A., & Munroe, P. (2012). Physical properties of biochar. In *Biochar for environmental management* (pp. 45-64). Routledge.
- Duxbury, JM., Smith, MS. & Doran, JW. (1989). Organic matter as a source and sink of plant nutrients. In: (eds. Coleman, D.C., Oades, J.M., Uehara, G.) *dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Honolulu, University of Hawaii Press, p.33-68.
- González, M., Gomez, E., Comese, R., Quesada, M., Conti, M. (2010). Influence of organic amendments on soil quality potential indicators in an urban horticultural system. *Bioresource Technology*, 101, 8897–8901.
- Grandy, A. S., Porter, G. A., & Erich, M. S. (2002). Organic amendment and rotation crop effects on the recovery of soil organic matter and aggregation in potato cropping systems. *Soil Science Society of America Journal*, 66(4), 1311-1319.
- Gülser, C., Kızılkaya, R., Askın, T., & Ekberli, I. (2015). Changes in soil quality by compost and hazelnut husk applications in a hazelnut orchard. *Compost Science & Utilization*, 23(3), 135-141.
- Gümüş, İ., Negiş, H., & Şeker, C. (2022). Ahır gübresi biyokömürünün bazı toprak özellikleri ve mısır bitkisinin gelişimi üzerine etkisi. *Ziraat Mühendisliği*, (374), 24-33.

- Håkansson, I. (1990). A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. *Soil and tillage research*, 16(1-2), 105-120.
- Hardie, M., Clothier, B., Bound, S., Oliver, G., & Close, D. (2014). Does biochar influence soil physical properties and soil water availability?. *Plant and soil*, 376, 347-361.
- Kacar, B. & Katkat, AV. (1998). *Bitki Besleme*. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın No:127, VİPAŞ Yayınları: 3, 595 s., Bursa.
- Kacar, B., & Katkat, A. V. (2015). *Bitki besleme*. Nobel Yayıncılık, Ankara, 678.
- Kacar, B. (1994). *Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri III. Toprak analizleri*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi. Eğitim Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları No. 3. Ankara.
- Karaçal, İ., & Tüfenkçi, Ş. (2010). Bitki beslemede yeni yaklaşımlar ve gübre-çevre ilişkisi.
- Kavitha, B., Reddy, PVL., Kim, B., Lee, SS., Pandey, SK. & Kim, KH. (2018). Benefits and limitations of biochar amendment in agricultural soils: A review. *Journal of Environmental Management*, 227, 146–154.
- Khai, NM., Ha, PQ., Vinh, NC., Gustafsson, JP. & Öborn, I. (2008). Effects of biosolids application on soil chemical properties in peri-urban agricultural systems. *VNU Journal of Science Earth and Environmental Sciences*, 24, 202–212.
- Kookana, R. S. (2010). The role of biochar in modifying the environmental fate, bioavailability, and efficacy of pesticides in soils: a review. *Soil Research*, 48(7), 627-637.
- Korai, PK., Sial, TA., Pan, G., Abdelrahman, H., Sikdar, A., Kumbhar, F., Channa, SA., Ali, EF., Zhang, J., Rinklebe, J. & Shaheen, SM. (2021). Wheat and maize-derived water-washed and unwashed biochar improved the nutrients phytoavailability and the grain and straw yield of rice and wheat: A field trial for sustainable management of paddy soils. *Journal of Environmental Management*, 297, 113250.

- Lei, O., & Zhang, R. (2013). Effects of biochars derived from different feedstocks and pyrolysis temperatures on soil physical and hydraulic properties. *Journal of Soils and Sediments*, 13, 1561-1572.
- Liu, X. H., & Zhang, X. C. (2012). Effect of biochar on pH of alkaline soils in the loess plateau: results from incubation experiments. *International Journal of Agriculture & Biology*, 14(5).
- Major, J., Steiner, C., Downie, A., & Lehmann, J. (2012). Biochar effects on nutrient leaching. In *Biochar for environmental management* (pp. 303-320). Routledge.
- Manirakiza, N., Şeker, C., & Negiş, H. (2021). Effects of woody compost and biochar amendments on biochemical properties of the wind erosion afflicted a calcareous and alkaline sandy clay loam soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(5), 487-498.
- Marin, F., Dianez F., Santos M., Carretero F., Gea FJ. Castaneda C., Navarro, MJ. & Yau, JA. (2014). Control of phytophthora capsici and phytophthora parasitica on pepper (*Capsicum annuum* L.) with compost teas from different sources, and their effects on plant growth promotion. *Phytopathologia Mediterranea*, 53(2), 216-228.
- Mahmoud, E., El-Gizawy, E. & Geries, L. (2015). Effect of compost extract, N2-fixing bacteria and nitrogen levels applications on soil properties and onion crop. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 61, 185-201.
- Mehmood, I., Qiao, L., Chen, H., Tang, Q., Woolf, D., & Fan, M. (2020). Biochar addition leads to more soil organic carbon sequestration under a maize-rice cropping system than continuous flooded rice. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 298, 106965.
- Mukherjee, A., & Lal, R. (2013). Biochar impacts on soil physical properties and greenhouse gas emissions. *Agronomy*, 3(2), 313-339.
- Munsuz, N. (1982). Toprak-Su İlişkileri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:798, Ders Kitabı:221, 241 s.

- Negiş, H., Şeker, C., & Çetin, A. (2020). Toprak sıkışması ve sınırlayıcı su aralığı üzerine farklı organik materyallerin etkileri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 8(2), 118-127.
- Novak, J. M., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J. W., Steiner, C., Das, K. Ahmedna, M.,Rehrah, D., Watts, D., BUsscher, W., & Schomberg, H. (2009). Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. *Annals of environmental science*.
- Novotny, E. H., Maia, C. M. B. D. F., Carvalho, M. T. D. M., & Madari, B. E. (2015). Biochar: pyrogenic carbon for agricultural use-a critical review. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39(2), 321-344.
- Özenç, D. B., Tarakçıoğlu, C., Yilmaz, F. I., & Aygun, S. (2023). Changes in Physico-Chemical Properties of a Sandy Loam Soil Depending on the Particle Size of Hazelnut Shell-Derived Biochar. *The Philippine Agricultural Scientist*, 106(4), 6.
- Özenç, DB., Yılmaz, FI., Tarakçıoğlu, C. & Aygün, S. (2019). Fındıktan üretilen atıkların toprağın fiziko-kimyasal ve biyolojik özelliklerine etkileri. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 32(Özel Sayı):7-13.
- Pariyar, P., Kumari, K., Jain, MK. & Jadhao, PS. (2020). Evaluation of change in biochar properties derived from different feedstock and pyrolysis temperature for environmental and agricultural application. *Science of The Total Environment*, 713, 136433.
- Pereira, R. G., Heinemann, A. B., Madari, B. E., Carvalho, M. T. D. M., Kliemann, H. J., & Santos, A. P. D. (2012). Transpiration response of upland rice to water deficit changed by different levels of eucalyptus biochar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47, 716-721.
- Rawat, J., Saxena, J. & Sanwal, P. (2019). Biochar: A sustainable approach for improving plant growth and soil properties. In *Biochar—An Imperative Amendment for Soil and the Environment*, IntechOpen: London, UK.

- Sağlam, T. (1997). Toprak ve Suyun Kimyasal Analizleri. Trakya Üniversitesi, Tekirdağ Ziraat Fakültesi, Yayın No:189 Sayfa:1-164.
- Sari, R. (2018). Farklı biochar (biyokömür) materyallerinin toprak kalitesi üzerine etkisinin parsel bazında araştırılması/Investigate the effect of different biocahar types on soil quality at parcel (Doctoral dissertation).
- Seleiman, MF., Alotaibi, MA., Alhammad, BA., Alharbi, BM., Refay, Y. & Badawy, SA. (2020). Effects of ZnO nanoparticles and biochar of rice straw and cow manure on characteristics of contaminated soil and sunflower productivity, oil quality, and heavy metals uptake. *Agronomy*, 10, 790.
- Shah, F., & Wu, W. (2019). Soil and crop management strategies to ensure higher crop productivity within sustainable environments. *Sustainability*, 11, 1485. doi:10.3390/su11051485.
- Sun, Z., Moldrup, P., Elsgaard, L., Arthur, E., Bruun, E. W., Hauggaard-Nielsen, H., & de Jonge, L. W. (2013). Direct and indirect short-term effects of biochar on physical characteristics of an arable sandy loam. *Soil Science*, 178(9), 465-473.
- Tarakçıoğlu, C., Özenç, DB., Yılmaz, FI., Kulaç, S. & Aygün, S. (2019). Fındık kabuğundan üretilen biyokömürün toprağın besin maddesi kapsamı üzerine etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 34, 107-117
- Toková, L., Igaz, D., Horák, J., & Aydin, E. (2020). Effect of biochar application and re-application on soil bulk density, porosity, saturated hydraulic conductivity, water content and soil water availability in a silty loam Haplic Luvisol. *Agronomy*, 10(7), 1005.
- Tomczyk, A., Sokołowska, Z. & Boguta, P. (2020). Biochar physicochemical properties: Pyrolysis temperature and feedstock kind effects. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 19, 191–215.
- Tryon, E. H. (1948). Effect of charcoal on certain physical, chemical, and biological properties of forest soils. *Ecological Monographs*, 18(1), 81-115.

- Uehara, G. & Gillman, G. (1981). The Mineralogy, Chemistry, and Physics of Tropical Soils with Variable-Charge Clays. West-View Press, Boulder.
- Wang, D., Jiang, P., Zhang, H. & Yuan, W. (2020). Biochar production and applications in agro and forestry systems: A review. *Science of The Total Environment*, 723, 137775.
- Weber, K. & Quicker, P. (2018). Properties of biochar. *Fuel*, 217, 240–261.
- Yan, Q., Dong, F., Li, J., Duan, Z., Yang, F., Li, X., Lu, J. & Li, F. (2019). Effects of maize straw-derived biochar application on soil temperature, water conditions and growth of winter wheat. *European Journal of Soil Science*, 70, 1280–1289.
- Yılmaz, S. & Bender Özenç, D. (2012). Effects of hazelnut husk compost and tea waste compost on growth of corn plant (*zea mays L.*). 8th International Soil Science Congress on "Land Degradation and Challenges in Sustainable Soil Management". Volume V, pp.620-626. May 15-17, Çeşme-İzmir, Turkey, 2012.
- Zhang, A., Cheng, G., Hussain, Q., Zhang, M., Feng, H., Dyck, M., Sun, B., Zhao, Y., Chen, H., Chen, J. & Wang, X. (2017). Contrasting effects of straw and straw-derived biochar application on net global warming potential in the Loess Plateau of China. *Field Crops Research*, 205, 45-54.

BÖLÜM 4

MISIR BİTKİSİNDE BAZI ABİYOTİK STRES FAKTÖRLERİ VE ETKİLERİ

Batuhan KURT¹

Prof.Dr.İsmail SEZER²

Doç.Dr.Hasan AKAY³

Araş.Gör.Elif Öztürk AY⁴

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15028296>

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Atakum 55200, Samsun, Türkiye, Email: batuhank199@gmail.com <https://orcid.org/0009-0006-1096-4825>

² Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Atakum 55200, Samsun, Türkiye, Email: isezer@omu.edu.tr <https://orcid.org/0000-0002-8407-7448>

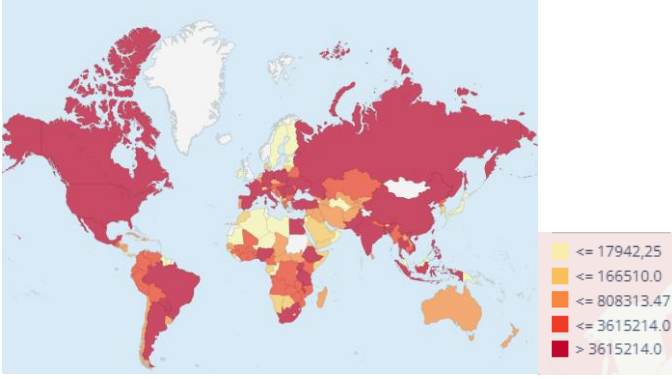
³ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Atakum 55200, Samsun, Türkiye, Email: hasan.akay@omu.edu.tr <https://orcid.org/0000-0003-1198-8686>

⁴ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Atakum 55200, Samsun, Türkiye, Email: elif.ozturk@omu.edu.tr <https://orcid.org/0000-0001-9723-6092>

1. GİRİŞ

Mısır bitkisinin kökeni arkeolojik bulgulara, genetik araştırmalara, bu araştırmalar sonucu elde edilen verilere ve botanik bağlantılar sonucu ortaya çıkan bulgulara göre yaklaşık 8.000 ila 10.000 yıl öncesine dayanmaktadır. Christopher Columbus'un, Amerika'dan getirdiği mısır materyalleriyle İspanya'ya dönmesiyle bitkinin Avrupa'ya taşınmasına vesile olmuştur. Mısır bitkisinin Türkiye'ye gelişi ise kuzey Afrika ülkelerinden gerçekleşmiştir. Ülkemizde bitkiye “mısır” isminin verilmesinin sebeplerinden biri olarak da bitkinin Anadolu'ya Mısır ve Suriye üzerinden gelmesi neden olmuştur. Mısır bitkisi ılıman, tropik, subtropik iklim kuşaklarında yani aslında dünyanın Antarktika harici hemen hemen her bölgesinde yetiştirilebildiği için her ülkede mısır tarımı görmek mümkün olmaktadır. Dünya üzerinde 58° kuzey ve 40° güney enlemleri arasında kalan alanlarda, deniz seviyesinden 4000 m'ye kadar ulaşan yerlerde mısır yetiştirme imkânı bulunmaktadır.

Mısır bitkisi, yetiştirildiği bölgelerin olanağı dolayısıyla dünyada buğday ve çeltikten sonra en fazla tarımı yapılan tahıl bitkisidir. Dünya üzerinde 70 milyon çiftçi mısır tarımıyla uğraşmakta ve bunun yaklaşık %80'ini ise geliştirmekte olan ülkeler oluşturmaktadır (Şekil 1).



Şekil.1 2020-2023 yılları ülkelere göre mısır bitkisi ortalama üretim miktarları (ton). (Faostat, 2023).

Ülkemizde mısır bitkisi iklim faktörleri ve abiyotik streslerden kaynaklanan ve insan gücünün etki edemediği zararların yanı sıra, teknolojinin gelişmesiyle ve sulama imkanlarının artışıyla, uygun ekim nöbeti ve bilinçli tarım uygulamaları sonrasında ekim alanlarındaki artış tabloda da belirtildiği üzere 2023 yılı verilerine göre 940 kg/da alınmasını sağlamıştır (Tablo.1).

Tablo 1. 2020-2023 yılı mısır bitkisi Türkiye verileri (Tarım Orman Bakanlığı 2023)

Yıl	Ekilen Alan(dekar)	Üretim (Ton)	Verim(kg/da)
2020	6.916.324	6.500.000	940
2021	7.582.370	6.750.000	890
2022	9.118.849	8.500.000	932
2023	9.580.171	9.000.000	939

Mısır bitkisinin 7 alt varyetesi bulunmaktadır. Bunlar; at dişi mısır (*Zea mays indentata* Sturt.), sert mısır (*Zea mays indurata* Sturt.), unlu mısır (*Zea mays amylaceae* Sturt.), patlak mısır (Cin mısır) (*Zea mays everta* Sturt.), mumsu mısır (*Zea mays ceratina* Kulesch.), tatlı mısır (*Zea mays sacharata* Sturt.), kavuzlu mısır (*Zea mays tunicata* Sturt.)’dır.

Tablo 2. Mısır bitkisinin sistematigi.

Alem:	Plantae
Bölüm:	Magnoliophyta (kapalı tohumlu)
Sınıf:	Liliopsida (Tek Çenekli)
Takım:	Poales
Familya:	Gramineae / Poaceae
Cins:	<i>Zea</i>
Tür:	<i>Z. mays</i>

Mısır bitkisi optimum gelişimi için yetiştirildiği toprağın derin, drenajlı, havalanması uygun, organik madde ve bitki besin elementi bakımından zengin, tınlı ve pH’sı 6-7 arasında olması gerekmektedir. (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023).

Mısır bitkisinde abiyotik stres faktörlerinin başında yüksek ve düşük sıcaklıklar, toprak tuzluluğu ve su stresi (eksikliği veya fazlalığı) gelmekte olup bu gibi durumlar mısır bitkisinin büyüme ve gelişimini, verim ve tane kalitesini olumsuz etkilemektedir.

1.1 Mısır Bitkisinde Stres

Mısır bitkisi günümüz dünyası ve değişikliklerinden kaynaklı stres faktörlerine maruz kalmaktadır. Mısır bitkisinde stres, bitkide büyüme ve gelişmeyi yavaşlatan veya durdurabilen, ürünün miktarı, içeriği ve kalitesinde önemli

ölçülerde azalmalara hatta tamamen kayıplara sebep olabilen canlı veya cansız faktörlerdir. Stres faktörleri, biyotik ve abiyotik olmak üzere 2 şekilde bitkiye etki etmektedir.

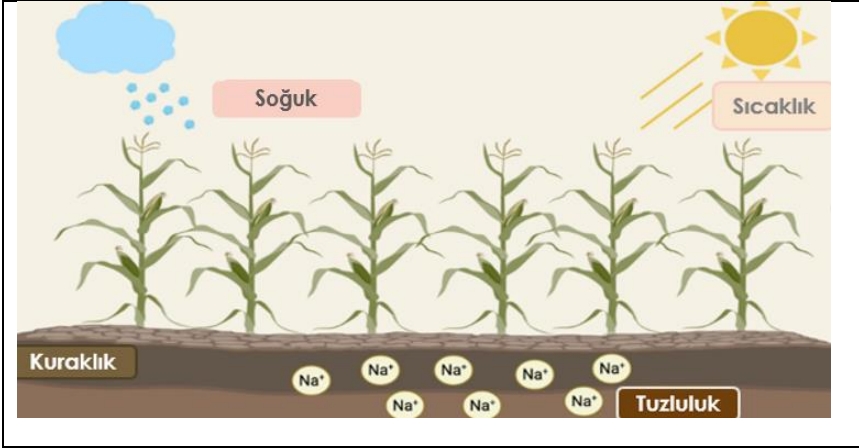
Biyotik stres, canlı varlıklar olarak tanımlanabilen, bitkiye mekanik veya kimyasal zarar sağlayan patojenler, yabancı otlar, hayvanlar ve böcekler (zararlılar) olarak tanımlanmaktadır.

Abiyotik stres, cansız varlıklar olarak tanımlanabilen yüksek ve düşük sıcaklıklar, kuraklık, tuzluluk gibi faktörlerden oluşmaktadır.

Abiyotik stres faktörleri cansız varlıklara bağlı olsa da çevreye ve bölgeye bağlı olarak da bitkilerin büyüme, gelişme, kaliteli üretim ve üretkenliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Tuzluluk, düşük ve yüksek sıcaklık, kuraklık gibi abiyotik stresler, tarımda hasat sonrası yer altı sularının toprak yüzeyine çıkması, tarıma elverişli olmayan alanlarda tarım uygulamaları ve tuzluluğa etken olan kimyasal kullanımı gibi yapay sebepler sonucu ortaya çıkan ve tarım faaliyetlerini de önemli ölçüde kısıtlayan çevresel faktörlerdir (Culha ve ark., 2012; Yetişsin ve ark., 2022).

Bitkiler üzerinde meydana gelen strese bağlı zararlar ve kayıplar, bitkinin türüne, tolere edebilme yeteneğine ve adaptasyon yeteneğine bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Dinler ve ark., 2022). Mısır bitkisinde abiyotik strese bağlı olarak gelişen tepkileri anlamak ve yorumlamak önemli ve zordur. Çünkü bitkinin strese olan cevabı veya tepkisi yaşadığı stresin yoğunluğuna ve süresine göre değişiklik gösterebilmektedir (Kosová ve ark., 2011). Dünya üzerinde ekim için kullanılan alanlar göz önüne alındığında ve stres faktörlerinden etkilenme durumlarını sınıflandırdığımızda

kuraklık stresi %26, tuzluluk stresi %20, yüksek ve düşük sıcaklık stresi %15, bunların dışında kalan stres faktörleri %29'luk bir pay alırken, sadece %10'luk kısım stres faktörlerinden önemli sayılabilecek ölçüde etkilenmemektedir (Öztürk ve ark., 2022).



Şekil 2. Mısırdaki verimliliği etkileyen abiyotik stres faktörleri (Farooqi, M. 2022).

Buna bağlı olarak bu çalışmada, mısır bitkisi için abiyotik stres faktörlerinin bitki içeriğinde morfolojik ve fizyolojik şekilde ne tür zararlar içerdiğini verimi ne kadar etkilediğini görmek amaçlı son yıllar içerisinde yapılmış “mısır bitkisi ve abiyotik stresi” konu alan çalışmaların derlemesi yapılacaktır.

1.2 Mısırdaki tuzluluk stresi

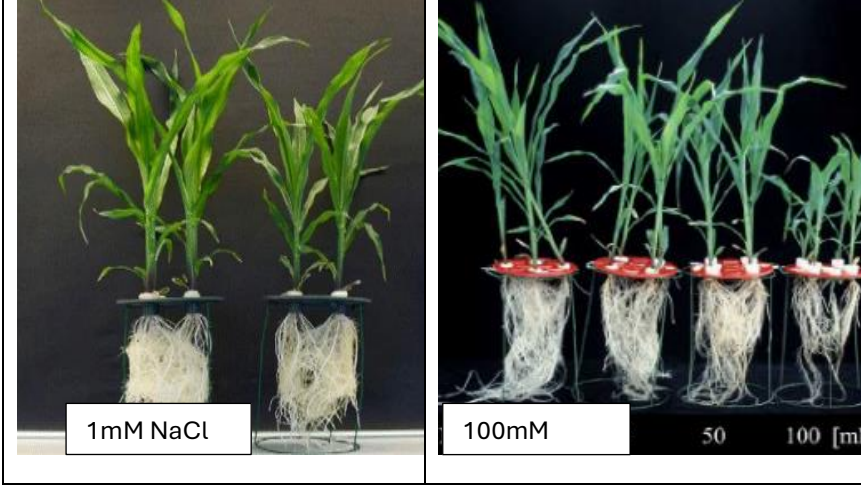
Toprak tuzluluğu oluşumunda, doğal ve insan kaynaklı iki temel sebep bulunmaktadır. Doğal tuzluluk, doğal yaşamın sonucunda meydana gelirken, insan kaynaklı tuzluluk insan aktiviteleri sonucu ortaya çıkmaktadır. Toprak minerallerinin ayrışması, gübre kullanımı ve pestisit kullanımı, endüstriyel atıklar, yağmur ve sulama yolu gibi unsurlar toprak

tuzluluğunun değişmesine yönelik etkenlerdendir (Hasanuzzaman ve ark., 2013; Corwin, 2021; Koç ve ark., 2022). Toprak tuzluluğu veya tuzluluk stresi, bitkinin yaşamını ve ürün kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Dünya’da, toplam arazilerin %7’si, tarım arazilerinin %20’si ve sulanmakta olan arazilerin ise yarısı tuzluluktan etkilenmektedir (Kibria ve Hoque,2019).

Tuz stresi durumunda bitkilerde, yapraklardaki tuz konsantrasyonunun arttığı ve toksik seviyeye gelmesi halinde, tuzluluğun miktarına bağlı olarak bu etki aylar boyunca sürebilmektedir (Munns ve ark., 1995; Doğru ve ark., 2020). Bitkiler tuz stresinden ozmotik ve iyona özgü toksik etki olmak üzere iki şekilde etkilenmektedirler. Topraktaki tuzun artması ozmotik basıncı ve köklerin su alımını etkileyerek ozmotik etkiye sebep olmaktadır. İyona özgü etkide ise Na^+ iyonlarının bitkiye fazla alınması durumunda meydana gelmektedir. Buna bağlı olarak bitkide, mitoz bölünmede azalma, bazı enzim aktivitelerinde toksik etkilerin görülmesi gibi durumlar söz konusu olmaktadır (Munns ve ark., 2008). Bu etkilere bağlı olarak stresin nasıl ve hangi sebeple ortaya çıktığını bilmek ve buna çözüm üretme ve bitkinin neye ihtiyacı olduğunu anlama durumu tarımsal faaliyetlerde önemli bir rol oynamaktadır.

Mısır bitkisinin tuzluluk eşik değeri 1.7 dS m^{-1} olup, bu değerin üzerindeki her birim artışta tane veriminde yaklaşık %12 oranında azalmalar meydana gelmektedir (Chinnusamy ve ark., 2010). Bu eşik değerini ve her birim artışındaki verim kaybını dikkate alırsak, mısır bitkisinde de tuz stresi sonucu oluşan bazı morfolojik zararları irdelediğimizde bitki boyunda ve kök büyümesinde azalmalar, gövde yaş ağırlığında azalmalar, köklerde sararma, yaprak alanında düşüşler gibi bitkinin

morfolojik özelliklerini düşüren etkilerini gözlemlemek mümkündür (Farooq ve ark., 2015).



Şekil 3. Farklı dozlarda uygulanan tuz stresinin morfolojik özelliklere etkisi
(Zörb ve ark., 2004; Farooq., 2015).

Şekil 3 incelendiğinde, artan tuz stresine bağlı olarak, bitki boyu ve kök büyümesi azalmakta, köklerde sararma meydana gelmekte ve yaprak alanı azalmaktadır. Tuzluluk stresi sonucunda mısır bitkisinde, köklerde Na^+ içeriği artmakta, klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil oranı, karotenoid miktarı, peroksidaz ve glutatyon redüktaz aktivitesinde azalmalar, fotosentetik pigment miktarı, antioksidan enzimler gibi kimyasal parametrelerde olumsuz yönde etkiler olduğu belirlenmiştir (Doğru ve ark., 2020).

Tuzluluk stresi, mısır bitkisinin yaş ve kuru biyokütlesinde, yaprak su potansiyelinde ve yaprak içeriğinde Ca, K, P ve N konsantrasyonlarında azalmalara neden olurken, yaprak ozmolaritesinde, prolin, malondialdehit, Na^+ konsantrasyonu ve süperoksit dismutaz gibi enzimatik

antioksidan aktivitelerinde artışa sebep olmaktadır (Kaya ve ark., 2018).

Mısır bitkisi, tuz stresi bakımından glikofit bitkiler grubunda yani tuzluluğa dayanıklı olmayan grupta yer almaktadır. Çevresel ve yapay faktörler dolayısıyla tuz stresini tamamen ortadan kaldırmak mümkün olmadığı gibi bu duruma adapte olmak, bazı uygulamalarla etkisini hafifletmek veya en aza indirmek mümkündür. Bu yönde yapılan çalışmalardan bazıları ise şunlardır;

Mısır bitkisinde tuz stresi faktörünün etkilerini azaltmak amacıyla, yeşil ceviz kabuğu kompostu uygulaması ile bitkide turgor kaybı, yaprak oransal su içeriği, klorofil içeriği gibi parametrelerde azalmaların önüne geçilmiş, stresin etkisi hafifletilmiş ve etkilerinde azalmalar meydana gelmiştir (Coskun ve ark., 2024).

Bir başka çalışmada, tuz stresine karşı yapılan salisilik asit uygulamasında, kök uzunluğu, gövde uzunluğu, kök ve gövde yaş ağırlığında ve kuru madde içeriği gibi bitkinin gelişimini ve kalitesini etkileyen parametrelerde tuzluluğun etkilerini azalttığı gözlemlenmiştir (Öztürk ve ark., 2021).

Çalışmalar sonucunda kullanılan bazı amino asitler, hormonlar vb. ürünleri ele aldığımızda yapılan çalışmaların sonuçları olumlu etki göstermiştir.

Bu çalışmalardan biri olan melatonin hormonu uygulamasının, bitki büyüme gelişmesinde ve stres faktörlerine karşı bitki direncini artırdığını bildirmektedir (Yakupoglu ve ark., 2018). Bu bilgidен yola çıkarak Sezer ve ark., (2022), mısır bitkisinde melatonin uygulamasının kök uzunluğu, bitki kuru ve

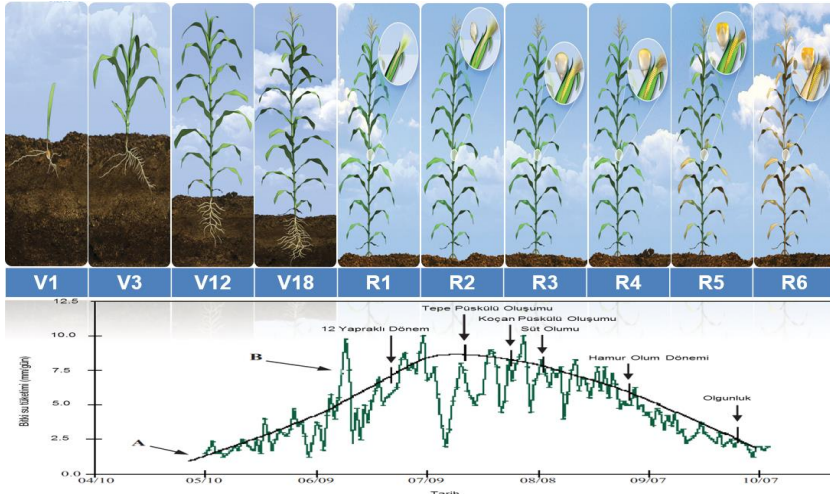
yaş biyokütlesi, yaprak sayısı, stoma iletkenliği, klorofil oranı gibi parametrelerde önemli ölçüde tuz stresini bağlı düşüşleri azalttığını ve tuz stresinin etkisini hafiflettiğini belirtmiştir.

Başka çalışmalarda ise, askorbik asit, brasinolid, strigolaktonlar gibi uygulamaların da mısır bitkisinde tuz stresine karşı direnci arttırdığı, bitkinin morfolojik (bitki boyu, yaprak sayısı, kök uzunluğu, yaprak alanı, vb.) ve fizyolojik (klorofil içeriği, klorofil a, klorofil b, kuru madde içeriği vb.) parametrelerinin olumlu yönde etkilediği görülmüştür (Wang ve ark., 2024; Doğru ve ark., 2020).

1.3 Mısırdaki kuraklık stresi

Abiyotik stres faktörlerinden biri olan, günümüz şartlarıyla birlikte küresel ısınanında etkisinden ve iklim değişikliğinden kaynaklanan, tüm dünyayı etkilemekle beraber ülkemizde de tarımsal faaliyetlerinin sürdürülebilirliğini azaltan ve verimliliğin azalmasına sebebiyet veren stres faktörüne kuraklık stresi denir (Chopra ve ark., 2007). Kuraklık stresinin etkisi bölgelere ve bitkinin yetiştiği çevre şartları ve imkanlara göre değişkenlik gösterebilir.

Kutup bölgelerinde düşük yağış ve evaporasyonun (buharlaşıma) az olmasıyla kuraklıktan korunma sağlanabilmektedir. Kuru bölgelerde ise seyrek vejetasyonlu ortamda yetişen bitki kökleri taban suyu veya çeşitli su birikintilerinin çevresindeki katmanlara ulaşabilmekte ve bu su ihtiyacını yine karşılayabilmektedir (Özer ve ark., 1997; Gül ve ark., 2022).



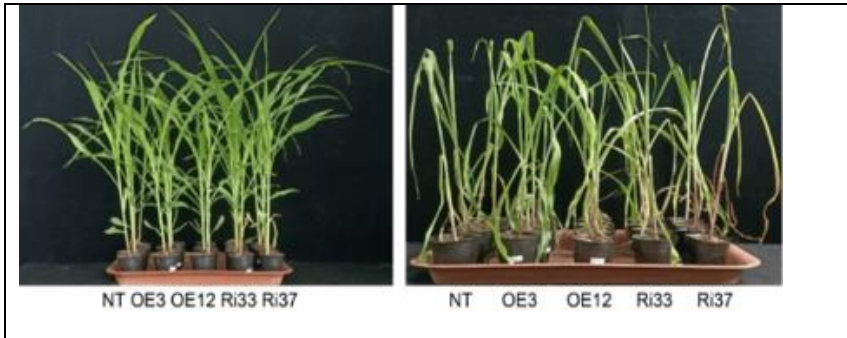
Şekil 4. Mısır bitkisi gelişme dönemleri ve buna bağlı olarak bitki su tüketimi (Liu ve ark., 2022).

Tablo 3. Mısır bitkisinin kuraklık stresine karşı en hassas olduğu dönemler ve etkileri (Campus vd.,2010).

Aşamalar	Etkileri
Fide dönemi (V1, V3) (Vejetatif Dönem)	Kök büyümesinde azalma, bitki gücünde azalmalar, biyokütle, bitki boyunda azalma, yaprak alanında azalmalar.
Çiçeklenme dönemi (R1, R2)	Polen üretimi ve canlılığında azalma, püskül patlatma, verimde %80lere kadar düşüş.
Tane dolum dönemi (R3, R4, R5, R6)	Küçülmüş tohum boyutu, koçanların dolmaması, %20-50 arasında tohum oluşturmada azalma.

Kuraklık stresinin, mısır bitkisine etki ettiği dönemlere ve su tüketimine göre değişkenlik göstermektedir (Tablo 3 ve Şekil 4). Mısır bitkisinde vejetatif ve generatif gelişimi içerisinde kuraklığın yaşanması durumunda, eğer tepe püskülü oluşumundan önce ise %10-20, tepe püskülü ve süt olum dönemi arasında ise %20-60, süt olum ve tam olum dönemi arasında ise %10-35 arasında verim açısından azalmalara ve kalitesinde bozulmalara neden olmaktadır. Çiçeklenme döneminde oluşan kuraklık sonucu hektar başına tane verimi ve tanelerin ağırlığında azalmalar, kuru madde birikiminde azalmalar oluşturmuştur (Ferreira ve ark., 2016). Bitkinin vejetatif döneminde meydana gelen kuraklık stresi, verim ve tane kalitesini olumsuz etkilemekle birlikte bitkinin morfolojik görünümünü de etkilemektedir. Mısır bitkisinin V1 ile V5 gelişme dönemleri arasında yaşanan kuraklık stresinin, bitkinin morfolojik olarak büyümesinin azalmasına ve vejetatif dönemin uzamasına neden olmaktadır (Aslam ve ark., 2015).

Morfolojik gözlemlerde bitkide kuraklık stresi sonucu, yaprakların buruşması, yaprak alanında azalma, yapraklarda kıvrılma oluştuğu ve aynı zamanda taze ve kuru biyokütlesi arasında da farkların oluştuğu belirtilmiştir (Li ve ark., 2022).



Şekil 5. Kuraklık stresine maruz bırakılmış 5 farklı mısır genotipi (Zhao ve ark., 2022).

Mısır bitkisinde V3 gelişme evresinden itibaren 8 gün boyunca kuraklık stresine maruz bırakılmış 5 farklı mısır genotipinin, kuraklık stresi sonucu yaprak alanındaki azalmalar sırasıyla %16.15, %5.86, %8.20, %16.59 ve %14.14 olarak belirlenmiştir (Şekil 5).

Yapılan farklı bir çalışmada ise tam sulamanın kısıtlı sulamaya oranla bitkide tane veriminde %16.7, bin tane ağırlığında %14.3, koçan tane ağırlığının %11,6, hektolitreye ağırlığının %10,2 ve bitki boyunda %2.5 oranında artış olduğunu göstermektedir (Gönülal ve ark., 2015). Mısır bitkisinin gelişme dönemlerine göre kuraklık stresinin etkileri değişkenlik gösterirken aynı zamanda da kuraklığa karşı birtakım tolerans ve kendini kurtarma durumlarını ortaya çıkarmaktadır. Bitkilerde kuraklığı önleme stratejisi bitkilerde su alımını artırma ve su kaybını en aza indirmekle ilişkilendirilebilir.



Şekil 6. Yaprakları dikme ve derin kök sistemi (Campus ve ark., 2010).

Bu stratejiler ve kuraklığa karşı direnci artırma durumunda bitkiler, osmotik ayar, antioksidan kapasitesini genişletme, kurumaya tolerans, daha derin kök sistemi oluşturma, yaprakları dikme (Şekil.6) erkencilik, yüksek klorofil stabilitesi gibi kuraklığa adapte olmaya ve direnç göstermeye

dayalı bitkinin geliştirdiği yöntemleri oluşturmaktadır (Campus ve ark.,2010; Osmolovskaya ve ark., 2018).

1.4 Mısırdaki yüksek ve düşük sıcaklık stresi

Sıcak iklim bitkisi olması, ılıman, tropik ve subtropik iklim koşullarına yatkın olması dolayısıyla sıcaklık stresi mısır için önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Çevreye ve bölgeye göre değişiklik gösterebilmekle beraber bölgedeki optimum sıcaklıkların altında ve üstünde olması durumuna yüksek veya düşük sıcaklık stresi denmektedir. Çevre ve bölge faktörünün önemli olduğu gibi mısırdaki gelişim dönemleri de sıcaklık stresine maruz kalması durumunda verim ve tane kalitesinde azalmalara sebebiyet verebilmektedir.

Yapılan bazı tahminlere göre 2050 yılına kadar ki sürede küresel ısınma ve iklim şartları ve sıcaklıkların değişmesiyle birlikte, mısır üretimi yapılan alanlarda mısır ekim ve hasat tarihlerini de göz önünde bulundurarak %45'inin generatif dönemi aşamasında ortalama 5 gün boyunca 35°C sıcaklığın etkisinde olacağı söylenmektedir (Gourdji ve ark., 2013). Mevsimsel olarak ortalama sıcaklıklardaki 1°C'lik artış, mısır üretim ve hasat tarafındaki ekonomik veriminde %3-13 gibi önemli bir oranda düşüş yaşanabileceği yönündedir (Ízaurrealde., 2013).

Tablo 4. Mısırdaki farklı büyüme aşamaları için eşik sıcaklıkları (Waqas M., 2021).

Büyüme Aşamaları	Eşik min. Sıcaklık(°C)	Eşik max. sıcaklık (°C)	Belirtiler
Ekim-Çıkış dönemi	$10 \pm 2,2$	$40 \pm 2,1$	Büyüme hızında azalmalar.
Ekim-püsküllenme	$9 \pm 2,7$	$39 \pm 0,6$	Anormal püskül büyümesi.
Antez (çiçek açma dönemi veya başlangıcı)	$8 \pm 0,5$	$37 \pm 1,4$	Tozlaşmanın azalması.
Süt olum dönemi	$8 \pm 2,0$	$36 \pm 1,4$	Nişasta ve sakkaroz üretiminde önemli azalmalar.
Koçan (Tane dolum dönemi)	$6 \pm 1,1$	$42 \pm 3,3$	Koçan doluluğunda azlık/ düzensizlik.

Mısır bitkisinin büyüme ve gelişme dönemlerinde ihtiyaç duyduğu sıcaklık istekleri değişkenlik göstermektedir (Tablo 4). Bitkinin sıcaklık stresinden en çok etkilendiği dönem tepe püskülü çıkışından sonra döllenmenin başladığı dönemdir. Bu süreçte bitkinin sıcaklık stresinden etkilenmesi sonucunda koçan tane dolumunda önemli azalmalara neden olur ve verim önemli ölçüde düşer.

Mısır bitkisinde yüksek ve düşük sıcaklık stresi yaşanması durumunda bitkide gözlemlenen bazı morfolojik ve fizyolojik değişiklikler ve bitki bütünlüğünü, koçan kalitesini etkileyen sorunların başında, fotosentez hızında azalmalar, transpirasyon hızında artış, yaprak kıvrılması, polen ve tohum oluşumunda azalmalar gelmektedir (Campus ve ark.,2010).

Yapılan çalışmalarda da bitkinin optimum sıcaklığın üstünde kalması durumunda büyüme hızı ve tane veriminde önemli ölçüde azalmalar meydana gelmiştir (Waqas ve ark., 2021). 35°C’de yetiştirilmeye çalışılan mısır bitkisinde verim kaybı ve tane doluluğunda, optimum sıcaklıkta yetişen bitkiye oranla %42 oranında azalmalar olduğu bildirilmiştir (Ahmad ve ark., 2022). Büyüme döneminde mısıra etki eden yüksek ve düşük sıcaklık stresi verim ve verim komponentlerini olumsuz yönde etkilemektedir. Yapılan çalışmalardaki örneklerden yola çıkarak gündüz optimum sıcaklık 25-33°C, gece optimum sıcaklığının 17-23°C olduğu söylenebilmektedir. Yüksek sıcaklık stresine maruz bırakılan mısırdaki tohum bağlama oranında azalma, büyüme oranı ve tane veriminde azalmalar gözlemlenebilir (Şekil.7).



Şekil 7. Tozlanma sırasında yüksek sıcaklık (35°C+) maruz kalan mısır bitkisinin koçan görüntüsü (Waqas ve ark., 2021).

Yüksek sıcaklığın etkilerinin yanı sıra düşük sıcaklık stresi sonucunda da bitkide, boyda azalmalar, sararma ve yaprak renk değişimi, koçan boyunda azalmalar, polen oluşumunda azalmalar ve döllenmenin olumsuz etkilenmesi sonucu koçan doluluğunda azalmalar gibi problemler görülmektedir (Campus ve ark., 2010).

Çimlenme dönemindeki ilk sıcaklıklar da bitkinin gelişimini etkiler hatta çıkışın hiç olmamasına ve canlılığını yitirmesine sebebiyet verebilir.

Buna örnek olarak yapılan bir çalışmada çimlenme sıcaklığının 10-11°C olduğunu kabul ederek 6°C, 8°C, 10°C sıcaklıklarda çimlendirme sonucu bitkide 1 hafta sonunda 6°C olan uygulamada çimlenme hiç gözlemlenmemiştir. Çimlenme süresi, çıkış oranı, çıkış sayısı, kök uzunluğu, tohum canlılık indeksi gibi parametreler incelendiğinde 8-10°C harici düşük ve yüksek sıcaklıklarda çimlenme optimumun altında kalarak olumlu sonuç vermemektedir (Müştak ve ark.,2023).

Düşük ve yüksek sıcaklıklara karşı koyabilmenin bir yolu da mısır bitkisi için düşük ve yüksek sıcaklığa dirençli çeşitlerin yetiştirilmesidir. Sıcaklık stresi durumunda kendi adaptasyon ve genetik özellikleri dolayısıyla uyum sağlayan mısır bitkisinde olumlu sonuçlar görülebilmektedir. Bu bilgilere bağlı olarak sıcaklığa toleransı yüksek olan çeşitlerin ve toleransı az olan çeşitlerin kullanıldığı bir çalışma da dirençli çeşitlerdeki parametrelerde B6 vitamini içeriği, ribozom ve peroksidaz artışı toplam antioksidan kapasitesi, malondialdehit içeriği gibi kimyasal parametreler, sıcaklık stresine dayanıklı olmayan çeşitlere göre daha olumlu sonuçlar vermiştir (Meng ve ark., 2022).

2. Sonuç ve Öneriler

Tarımsal kaynaklarımızın korunması, sürdürülebilir tarım, yeterli ve kaliteli gıda maddesi elde edebilme, uygun maliyetlerde üretim, tarım yapılan arazilerin, çiftçilerin, çevrenin ve doğal tarım kaynaklarının korunmasını geliştirecek sistem ve uygulamalar sürdürülebilirlik açısından önemlilik göstermektedir.

Tarım faaliyetlerin yürütüldüğü alanlarda çevresel ve yapay faktörler dolayısıyla abiyotik stres faktörlerinin etkisini görmezden gelmek doğru bir bakış açısı olmayacaktır. Bitkinin neye ihtiyacını olduğunu anlamak ve bu bağlamda doğru uygulamaları yaparak stres faktörlerinden etkilenmesinin en aza indirilmesini, verim ve kalite unsurlarının optimum seviyede kalmasını sağlamak daha sağlıklı bir yöntem olmalıdır.

Mısır bitkisi tarımsal üretimde önemli bir yere sahip olmakla birlikte gıda sanayinin önemli ham madde kaynağını oluşturmaktadır. Küresel iklim değişikliğine bağlı olarak yaşanan ekolojik sorunlar, kullanılabilir tarım arazilerinin azalması, artan dünya nüfusu gibi sorunlar gelecekte de devam edecektir. Bu nedenle mısır bitkisinin farklı abiyotik stres koşulları altında yetiştirilmesi ve optimum düzeyde verim sağlanabilmesi için, stres koşullarına dayanaklı mısır ıslah çeşitlerinin ve ıslah programlarının geliştirmesi gerekmektedir.

Abiyotik streslerin negatif etkilerini hafifletmek ve gelecekteki zorlu ortamlarda tarım üretimini sürdürmek ve artırmak için stres toleranslı bitki çeşitlerinin geliştirilmesi, piyasaya sürülmesi ve doğru tarımsal uygulamaların yapılması esastır.

KAYNAKÇA

- Ahmad, M., Imtiaz, M., Shoib Nawaz, M., Mubeen, F., & Imran, A. (2022). What Did We Learn From Current Progress in Heat Stress Tolerance in Plants? Can Microbes Be a Solution?. *Frontiers in Plant Science*, 13, 794782.
- Aslam M, Maqbool MA, Cengiz R. (2015). Drought stress in maize (*Zea mays* L.) Effects, resistance mechanisms, global achievements and Springer \$ briefs in Agriculture.
- Campus, P. (2010). Abiotic Stresses in Maize: Some Issues and Solutions.
- Chinnusamy, V., Jagendorf, A., and Zhu, J.- K., “Understanding and improving salt tolerance in plants”, *Crop Science*, 45: 437-448 (2005).
- Coşkun, E., & Aksu, G. (2024). Kuraklık ve Tuz Stresi Altında Yeşil Ceviz Kabuğu Kompostu Uygulanan Mısır Bitkisinin Fizyolojisi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12(1), 78-88.
- Doğru, A., & Torlak, E. (2020). Tuz stresi altındaki mısır bitkilerinde eksojen askorbik asit uygulamasının etkileri. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 30(Ek sayı (Additional issue)), 919-927.
- Ecem, N. (2010). Farklı mısır (*zea mays* L.) çeşit ve hatlarında kuraklık stresi etkilerinin fizyolojik olarak incelenmesi.
- Erdal, Ş. (2019). Kendilenmiş Mısır Hatlarının Kuraklık Stresine Tolerans Düzeylerinin Belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(2), 178-189.
- Farooq, M., Hussain, M., Wakeel, A., & Siddique, K. H. (2015). Salt stress in maize: effects, resistance mechanisms, and management. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 461-481.
- Farooqi, M. Q. U., Nawaz, G., Wani, S. H., Choudhary, J. R., Rana, M., Sah, R. P., ... & Siddique, K. H. (2022). Recent developments in multi-omics and breeding strategies for abiotic stress tolerance in maize (*Zea mays* L.). *Frontiers in Plant Science*, 13, 965878.
- Ferreira, N. C. R., Rötter, R. P., Bracho-Mujica, G., Nelson, W. C., Lam, Q. D., Recktenwald, C., ... & Foord, S. (2023).

- Drought patterns: their spatiotemporal variability and impacts on maize production in Limpopo province, South Africa. *International Journal of Biometeorology*, 67(1), 133-148.
- Gourdji, S.M.; Sibley, A.M.; Lobell, D.B. Global crop exposure to critical high temperatures in the reproductive period: Historical trends and future projections. *Environ. Res. Lett.* 2013, 8, 024041.
- Gönülal, E., Güngör, H., & Soylu, S. (2015). Mısırdada (*Zea mays* L.) kısıtlı sulama ile farklı tane şekil ve iriliklerinin verim ve bazı verim unsurları üzerine etkisi. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG)*, 32(2), 24-31.
- Gul, Z., Tang, Z. H., Arif, M., & Ye, Z. (2022). An insight into abiotic stress and influx tolerance mechanisms in plants to cope in saline environments. *Biology*, 11(4), 597.
- Hirayama, T., & Shinozaki, K. (2010). Research on plant abiotic stress responses in the post-genome era: past, present and future. *The plant journal*, 61(6), 1041-1052.
- Izaurrealde, R.C.; Thomson, A.M.; Morgan, J.; Fay, P.; Polley, H.; Hatfield, J.L. Climate impacts on agriculture: Implications for forage and rangeland production. *Agron. J.* 2011, 103, 371–381.
- Kaya, C., Akram, N. A., Ashraf, M., & Sonmez, O. (2018). Exogenous application of humic acid mitigates salinity stress in maize (*Zea mays* L.) plants by improving some key physico-biochemical attributes. *Cereal Research Communications*, 46, 67-78.
- Khanna-Chopra, R., & Selote, D. S. (2007). Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought-resistant than-susceptible wheat cultivar under field conditions. *Environmental and experimental botany*, 60(2), 276-283.
- Koç, F., Çetinkaya, H., & Dinler, B. S. (2022). Bölüm 4 Bitkilerde Tuz Stresinin Etkileri, Savunma Cevapları Ve Sinyal İletim Yolu. *Bitkilerde Abiyotik Ve Biyotik*, 83.
- Kosová, K., Vítámvás, P., Prášil, I. T., & Renaut, J. (2011). Plant proteome changes under abiotic stress—contribution of

- proteomics studies to understanding plant stress response. *Journal of proteomics*, 74(8), 1301-1322.
- Li, E., Zhao, J., Pullens, J. W., & Yang, X. (2022). The compound effects of drought and high temperature stresses will be the main constraints on maize yield in Northeast China. *Science of the Total Environment*, 812, 152461.
- Liu, S., & Qin, F. (2021). Genetic dissection of maize drought tolerance for trait improvement. *Molecular Breeding*, 41, 1-13.
- Liu, X., Yu, Y., Huang, S., Xu, C., Wang, X., Gao, J., ... & Wang, P. (2022). The impact of drought and heat stress at flowering on maize kernel filling: Insights from the field and laboratory. *Agricultural and Forest Meteorology*, 312, 108733.
- Meng, A., Wen, D., & Zhang, C. (2022). Dynamic changes in seed germination under low-temperature stress in maize. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(10), 5495.
- Munns R, Tester M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. Jun 2 ;59:651-681
- Müştak, Ş. (2023). Mısır (*Zea mays* L.) bitkisinin çimlenme ve fide döneminde düşük sıcaklık stresine toleransı (Master's thesis).
- Osmolovskaya N, Shumilina J, Kim A, Didio A, Grishina T, Bilova T,. (2018). Methodology of drought stress research: Experimental setup and physiological characterization. *International Journal of Molecular Sciences*. Dec ;19(12):4089
- Öztürk, E., & Sefaoğlu, F. (2022). Kuraklık (Su) Stresi. *Bitkilerde Abiyotik ve Biyotik*, 57.
- Öztürk, E., Akay, H., & Sezer, İ. (2021). Şeker mısırdaki çimlenme ve erken fide gelişimi döneminde tuz stresine karşı salisilik asit ön uygulamasının etkisi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(4), 3213-3221.
- Subrata, B. A. G., Kiremit, M., Öztürk, E., Arslan, H., Sezer, İ., & Akay, H. (2022). Evaluation of the Directly and Indirectly Effects of the Morpho-Physiological Traits of

- Sweet Corn Seedlings on Yield with Structural Equation Modeling Partial Least Square (SEM-PLS) Approach. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 8(1), 79-91.
- Wang, X., Qi, X., Zhuang, Z., Bian, J., Li, J., Chen, J., ... & Peng, Y. (2024). Interactions between Brassinosteroids and Strigolactones in Alleviating Salt Stress in Maize. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(19), 10505.
- Waqas, M. A., Wang, X., Zafar, S. A., Noor, M. A., Hussain, H. A., Azher Nawaz, M., & Farooq, M. (2021). Thermal stresses in maize: effects and management strategies. *Plants*, 10(2), 293.
- Yakupoglu, G., Köklü, Ş., & Korkmaz, A. (2018). Bitkilerde melatonin ve üstlendiği görevler. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(2), 264-276.
- Yetişsin, F., & Karakaya, A. (2022). Tuz stresi altındaki mısır fidelerine aseton o-(4 klorofenilsülfonil) oksim ön uygulamasının biyokimyasal parametreler üzerine etkilerinin araştırılması.
- Zhao, J., Marek, T. H., Liu, K., Harrison, M. T., & Xue, Q. (2022). Drought tolerant maize hybrids have higher yields and lower water use under drought conditions at a regional scale. *Agricultural Water Management*, 274, 107978.
- Zörb, C., Schmitt, S., Neeb, A., Karl, S., Linder, M., & Schubert, S. (2004). The biochemical reaction of maize (*Zea mays* L.) to salt stress is characterized by a mitigation of symptoms and not by a specific adaptation. *Plant Science*, 167(1), 91-100.

BÖLÜM 5

OMİK TEKNOLOJİLERİN YEMEKLİK TANE BAKLAGİL ISLAHINA ENTEGRASYONU

Prof. Dr. Mustafa YILMAZ¹

Arş. Gör. Melike KÖSE²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15028311>

¹ Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Sakarya, Türkiye. mustafayilmaz@subu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5256-245X

² Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Sakarya, Türkiye. melikek@subu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5061-2441

GİRİŞ

Yemeklik tane baklagiller, Dünya çapında pek çok insan için temel protein kaynağıdır. Tarımsal üretimde, toprak verimliliğini artırmak için kullanılan döngüsel ekosistemlerin önemli bileşenleridir. Baklagillerin, tarımsal ekosistemlerde azot fiksasyonu yoluyla toprağa katkı sağlaması, onları sürdürülebilir tarımda vazgeçilmez bir unsur haline getirmektedir. Ayrıca, baklagiller besin değeri açısından zengin olmakla birlikte, lif, mineraller protein ve vitaminler açısından da büyük bir potansiyele sahiptirler (Peoples ve ark., 2009; Adak ve ark., 2015).

Önemli özelliklerine karşın yemeklik tane baklagillerin ıslahı, geleneksel yöntemlerle sınırlı kalmaktadır. Uzun süreli seleksiyon süreçleri, çevresel streslerin karmaşıklığı ve antinutrisyonel faktörler gibi engeller, bu ıslah süreçlerini zorlaştırmaktadır (Nadeem ve ark., 2019). Baklagillerdeki fitatlar ve lektinler gibi antinutrisyonel bileşiklerin varlığı, besin değerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bilhassa gelişmekte olan ülkelerde beslenme sorunlarına yol açmaktadır (Raboy, 2009). Bunun yanı sıra; kuraklık, tuzluluk ve hastalıklar gibi çevresel stresler, üretimi olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Beebe ve ark., 2009).

Omik teknolojiler, yemeklik tane baklagillerin ıslahına yönelik güçlü araçlar sunar. Bu teknolojiler, bitkilerin genetik yapısını, çevresel koşullara verdikleri yanıtları ve besin içeriklerini iyileştirmek için kritik öneme sahiptir (Graham ve ark., 2003; Stacey ve ark., 2006).

Omik teknolojiler; fenomik, genomik, proteomik ve transkriptomik gibi araçlarla bu zorlukları aşmaya yardımcı

olabilmektedir. Genetik çeşitliliği ve çevresel streslere karşı verilen yanıtları daha iyi anlayarak, yemeklik tane baklagillerin ıslah süreçlerini hızlandırmak mümkündür. Bu teknolojiler, aynı zamanda kuraklık toleransı, besin kalitesinin iyileştirilmesi ve iklim değişikliği gibi önemli konulardaki sorunlara çözüm sunabilmek için kullanılmaktadır (Singh ve ark., 2020; Kılıç, 2024).

1. OMİK TEKNOLOJİLER

1.1. Genomik

Genomik, modern bitki ıslahının temelini oluşturur ve önemli özelliklerin genetik temeline dair içgörüler sunar. Genomların dizilenmesi; kuraklığa tolerans, hastalıklara direnç ve besin içeriği gibi özelliklerle bağlantılı genlerin ve Kantitatif özellik lokuslarının (QTL) tanımlanmasını mümkün kılarak dönüm noktası olmuştur (Schmutz ve ark., 2014; Nabateregga ve ark., 2019). Son gelişmeler şunları içermektedir:

- *Pangenomik analizler*: Bu analizler; farklı kültürler, yerel ırklar ve yabani akrabaların genomik verilerini birleştirerek gizli genetik çeşitliliği ortaya çıkarır. Bu yaklaşım, kuraklık toleransı ve hastalık direnci ile ilişkili nadir alelleri belirlemede kritik öneme sahiptir (Bertioli ve ark., 2019).
- *Genom çapında ilişkilendirme çalışmaları (GWAS)*: Genetik işaretçilerin fenotipik varyasyonla korelasyonunu analiz ederek karmaşık özelliklerle ilişkili lokusları tanımlar. GWAS; tohum boyutu, besin içeriği ve patojen direnci gibi özelliklerle bağlantılı QTL'leri haritalamak için kullanılabilmektedir (Zhu ve ark., 2023).

1.2. Transkriptomik

Transkriptomik, gen ekspresyonunun anlık görüntüsünü sağlayarak bitki tepkilerini yöneten moleküler mekanizmalara ışık tutar. RNA dizileme (RNA-seq), abiyotik ve biyotik stresler altında gen ekspresyon değişikliklerinin incelenmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır (Ku ve ark., 2015). Başlıca bulgular şunlardır:

- *Kuraklıkta transkripsiyon faktörleri:* DREB, NAC ve MYB genleri gibi transkripsiyon faktörleri, su kullanımı verimliliğini ve stomatal iletkenliği düzenler. Kuraklığa yanıt veren bu faktörlerin tanımlanması önemlidir (Seki ve ark., 2002; Zhu, 2017).
- *Sıcaklık stresi toleransı:* Artan sıcaklıklarda gelişebilen çeşitlerin geliştirilmesinde büyük önem arz etmektedir (Bashir ve ark., 2019).

1.3. Proteomik

Proteomik, proteinlerin işlevlerini ve etkileşimlerini geniş ölçekte incelemeyi içerir. Yemelik tane baklagil ıslahında proteomik:

- Tohum kalitesini ve besin içeriğini belirleyen tohum depolama proteinleri, özellikle fazeolinlerin analiz edilmesinde kullanılmıştır (Montoya ve ark., 2010; Orona-Tamayo ve ark., 2019).
- Kuraklık, tuzluluk ve zararlılara karşı toleransı artıran stresle ilişkili proteinlerin tanımlanmasında katkı sağlamıştır (Priya ve ark., 2019).

1.4. Metabolomik

Metabolomik, protein analizini tamamlayarak bitki metabolizmasında kritik roller oynayan küçük moleküller (metabolitler) hakkında bilgi sağlar.

- *Fenolikler, flavonoidler ve alkaloidler:* Hastalıklara direnç ve besin değeri sağlayan bu biyoaktif bileşiklerin profillemesi önemlidir (Fiehn, 2002; Stracke ve ark., 2010).
- *Fitik asit:* Mineral biyoyararlanımının artırılabilmesi için fitik asit gibi antinutrisyonel faktörlerin azaltılması bu alanda önemli katkılar sağlamıştır (Raboy, 2001; Warkentin ve ark., 2012).

1.5. Fenomik

Fenomik, genotip ve fenotip arasındaki bağı kurarak bitki özelliklerinin yüksek verimli ve gerçek zamanlı değerlendirmesini sağlar. İHA tabanlı görüntüleme ve hiperspektral sensörler gibi gelişmiş fenotipleme teknolojileri, farklı ortamlar arasında bitki performansını değerlendirmeyi mümkün kılar (Araus ve Cairns, 2014).

2. ISLAH PROGRAMLARINDA OMİKLERİN ENTEGRASYONU

2.1. Markör Destekli Seleksiyon (MAS)

MAS, belirli genetik lokuslarla bağlantılı moleküler işaretçileri kullanarak istenen özelliklerin seçimini kolaylaştırır:

- **Hastalık Direnci:** MAS, yemeklik tane baklagillerin verimini etkileyen fungal hastalık olan antraknoza karşı

direnç geliştirilmesinde başarıyla uygulanmıştır (Kelly ve Miklas, 1998; Zuiderveen ve ark., 2016).

- **Kuraklık Toleransı:** MAS ayrıca, kök mimarisi ve su kullanımı verimliliği ile ilişkili QTL'lerin tanımlanması ve kullanılması yoluyla kuraklığa dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesine yardımcı olmuştur (Acquaah, 2007; Collard ve Mackill, 2008).

2.2. Genomik Seleksiyon (GS)

GS, genom çapında işaretçi verilerini kullanarak bireylerin ıslah değerlerini fenotiplerini ölçmeden tahmin eder.

- **Makine öğrenimi modelleri:** Karmaşık özellikler için tahmin doğruluğunu artırır (Desta ve Ortiz, 2014; Hickey ve ark., 2017).
- **Islah döngüleri:** Genomik verilerden elde edilen tahminler, üstün hatların erken seçilmesini sağlar (Heffner ve ark., 2009).

2.3. CRISPR-Cas9 teknolojisi ile Islah

CRISPR-Cas9 teknolojisi, genetik materyali istenen şekilde değiştirme kabiliyeti sayesinde, özellikle fasulye gibi tarımsal açıdan önemli türlerde; daha yüksek verim, hastalık direnci ve stres toleransı sağlayacak düzenlemeler yapmayı mümkün kılmıştır (Bortesi ve Fischer, 2015; Haque ve ark., 2018).

- **Besin İyileştirme:** CRISPR teknolojisi, antinutrisyonel bileşiklerin azaltılması ve besin içeriklerinin iyileştirilmesi için kritik bir araçtır (Jaganathan ve ark., 2018).

- **Hastalık Direnci:** Fungal ve bakteriyel patojenlere karşı bağışıklığı artırır (Pradhan ve ark., 2021).

3. ENTEGRE OMİK PLATFORMLAR

Çoklu omik teknolojilerin gerçek potansiyeli, birleşik ıslah hatlarına entegrasyonlarında yatmaktadır (Mahmood ve ark., 2022).

- **Genotip-Fenotip Haritalama:** Genomik, transkriptomik ve fenotipik verileri birleştiren entegre platformlar, ıslahçılara sağlam genotip-fenotip ilişkileri kurma imkânı tanıyarak daha hedefe yönelik seçim yapılmasını sağlar (Raza ve ark., 2023).
- **Yapay Zekâ (AI):** AI tabanlı araçlar, karmaşık veri setlerini analiz etmek ve manuel yollarla tespit edilebilmesi zor olan desenleri belirlemek amacıyla kullanılmaktadır (Özer ve ark, 2022).

Omik verilerinin entegrasyonu genetik ve çevresel değişkenleri dikkate alan bütüncül özellik geliştirme stratejilerini mümkün kılarak, yemeklik tane baklagillerin ıslahını dönüştürme potansiyeline sahiptir.

4. OMİK TEKNOLOJİLERİN UYGULANMASINDAKİ ZORLUKLAR

Omik teknolojilerin muazzam potansiyeline rağmen, bunların yemeklik tane baklagillerin ıslahında yaygın olarak benimsenmesi önemli zorluklarla karşı karşıyadır. Bu engellerin aşılması, çoklu omik stratejilerinin optimum seviyede uygulanabilmesi için esastır.

4.1. Veri Yönetimi ve Entegrasyon

Omik teknolojilerin ürettiği veri hacmi, büyük zorluklar meydana getirmektedir.

- **Yüksek Verimli Veri:** Genomik, transkriptomik ve fenomik teknolojiler, depolama, yönetim ve analiz için ileri düzey hesaplama araçları gerektiren büyük veri setleri üretir (Ko ve ark., 2020).
- **Standart Eksikliği:** Standart veri formatlarının ve iş akışlarının eksikliği, çoklu omik veri setlerinin entegrasyonunu zorlaştırır (Jendoubi, 2021).

4.2. Maliyet Kısıtlamaları

Yeni nesil dizileme (NGS), proteomik analiz ve gelişmiş fenotipleme teknolojileri ile ilişkili maliyetlerin yüksek olması, bilhassa gelişmekte olan ülkelerde tarımsal araştırma ve uygulamaları önemli ölçüde sınırlamaktadır (Kelly ve Miklas, 1998; Graham ve Vance, 2003). Omik teknolojilerin başlangıç maliyetleri, bu araçların birçok tarımsal araştırma programına dahil edilmesini zorlaştırmaktadır. Ayrıca, bu teknolojilerin uygulanmasında gerekli olan ileri düzey ekipman ve yazılım altyapısı, sınırlı kaynaklara sahip araştırma enstitüleri için ek bir engel teşkil etmektedir (Collard ve Mackill, 2008).

4.3. Düzenleyici ve Etik Engeller

CRISPR-Cas9 ve diğer genom düzenleyiciler, bitki ıslahı süreçlerini hızlandırma ve tarımsal üretkenliği artırma özelliğine sahiptir. Ancak, bu teknolojilerin uygulanması, düzenleyici ve etik engeller nedeniyle sınırlı kalmaktadır (Bortesi ve Fischer, 2015; Hickey ve ark., 2017). Gen düzenleme teknolojilerine

yönelik düzenlemeler, ülkeler arasında yüksek oranda farklılıklar göstermektedir. Ülkelerin bazıları, CRISPR teknolojisi ile üretilen ürünlere daha esnek yaklaşımlar benimserken, bazıları da bu ürünleri Genetiği Değiştirilmiş Organizmalar (GDO) düzenlemelerine tabi tutmaktadır (Haque ve ark., 2018). Bunun yanında, toplumda genetik düzenleme teknolojilerinin güvenliği ve etik etkileri konusundaki kaygılar, bu teknolojilerin benimsenme hızını olumsuz etkileyebilmektedir (Desta ve Ortiz, 2014).

4.4. Omik Teknolojilerine Erişim Sınırlamaları

Geliştirilmiş yemeklik tane baklagil çeşitlerinden en fazla fayda sağlayacak olan küçük çiftçiler, gelişmiş ıslah çıktılarından yoksun kalmaktadır (Kelly ve Miklas, 1998; Raboy, 2001).

4.5. Çevresel Zorluklar

İklim değişikliğinin öngörülemezliği, ıslah programlarına başka bir karmaşıklık eklemektedir. Çevresel stres faktörleri genellikle tahmin edilemez şekillerde etkileşim göstererek dayanıklı özelliklerin seçimini zorlaştırmaktadır (Zhu, 2017).

5. STRATEJİK YAKLAŞIMLAR

Omik teknolojilerin yemeklik tane baklagillerin ıslahına entegre edilmesi için, çeşitli çözümler önerilmektedir. Büyük veri yönetimi için biyoinformatik platformlarının geliştirilmesi ve araştırmacıların yüksek performanslı bilgi işlem becerileriyle donatılması önemlidir (Graham ve ark., 2003). Kamu-özel ortaklıkları, maliyetlerin azaltılmasını sağlayabilirken, bölgesel mükemmeliyet merkezleri altyapı maliyetlerini paylaşabilir (Haque ve ark., 2018). Düzenleyici unsurların birbirleriyle

uyumlu hale getirilmesi ve toplumu bilgilendirme kampanyaları, gen düzenleme teknolojilerinin benimsenmesini hızlandırabilir (Bortesi ve Fischer, 2015; Zhu, 2017). Ayrıca, eğitim programları ve tohum dağıtım programları, teknolojilere erişimi artırabilir (Stacey ve ark., 2006; Akpo ve ark., 2021). Bu çözümler, omik teknolojilerin yaygın benimsenmesine yönelik mevcut engellerin aşılmasına katkı sağlayacaktır.

6. GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Çoklu omik teknolojileri, bitki ıslahında devrim yaratma potansiyeline sahip ve gelecekte bu alanın ana dayanaklarından biri olması beklenmektedir. Tarımsal açıdan önemli bitkilerde, bu teknolojilerin entegre kullanımıyla daha verimli, dayanıklı ve besin açısından zengin çeşitlerin geliştirilmesi mümkündür. Gelecekte omik teknolojilerin ıslah programlarında oynayacağı role ilişkin perspektifler aşağıda sıralanmıştır:

6.1. Gelişmiş Veri Entegrasyonu ve Yapay Zekâ Tabanlı Modeller

Omik teknolojilerden (genomik, transkriptomik, proteomik, metabolomik ve fenomik) elde edilen verilerin tek bir platformda toplanması, ıslah çalışmalarını optimum düzeye getirebilmek için son derece önem arz etmektedir. Bu tür platformlar, genetik bilginin entegre bir şekilde kullanılmasını sağlayarak genotip-fenotip ilişkilerinin daha sağlam bir şekilde kurulmasına olanak tanır (Ritchie ve ark., 2015). Yapay zekâ algoritmaları, büyük veri setlerini analiz etme ve karmaşık özellikleri tahmin etme yetenekleriyle ıslah süreçlerini dönüştürmektedir. Bu araçlar, çevresel streslere adaptasyon ve ürün verimliliği gibi kritik özelliklerin iyileştirilmesinde önemli rol oynar (Hickey ve ark., 2017).

6.2. Hassas Islah Yöntemlerinin Yaygınlaşması

CRISPR-Cas9 gibi gen düzenleme teknolojilerinin yanı sıra CRISPR-Cas12 ve CRISPR-Cas13 gibi yeni araçlar, genetik düzenlemelerde daha fazla doğruluk ve esneklik sağlar (Jaganathan ve ark., 2018). Gelecekte, epigenetik düzenlemeler gibi yeni teknolojilerin ıslah programlarında yer alması beklenmektedir (Fleury ve Langridge, 2014). Ayrıca, genomik seleksiyon (GS) teknolojisi, omik veri ile desteklenerek karmaşık poligenik özelliklerin daha hızlı ve doğru bir şekilde tahmin edilmesine imkân sağlayabilmektedir (Crossa ve ark., 2017). GS'nin yaygınlaşması, ıslah döngülerinin kısalmasına ve çevresel streslere dayanıklı bitkilerin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

6.3. Sürdürülebilir Tarım

Omik teknolojiler, sürdürülebilir tarım uygulamalarında kritik bir rol oynayabilir. Genetik olarak dayanıklı hale getirilmiş bitkiler, çevresel stres faktörlere karşılık yüksek adaptasyon kapasitesi sunar. Düşük karbon ayak izi sağlayan çeşitler, kaynakların daha fazla verimli kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Stagnari ve ark., 2017).

6.4. Bölgesel ve Küresel İşbirliklerinin Artması

Omik teknolojilerin etkin kullanımı, bölgesel ve uluslararası iş birliğini gerektirir. Bölgesel araştırma merkezleri, yerel bilim insanlarının bu teknolojilere erişimini kolaylaştırırken, uluslararası veri paylaşımı daha etkili çözümler sunabilir (Haque ve ark., 2018).

6.5. Ekonomik ve Sosyal Katkılar

Yeni nesil dizileme ve fenotipleme teknolojilerinin maliyetlerinin düşmesiyle, omik teknolojiler daha geniş kitlelerin erişilebilmesine olanak sağlamaktadır (Heffner ve ark., 2010).

6.6. Etik ve Düzenleyici Altyapıların Geliştirilmesi

Omik teknolojilerin uygulanabilirliği, etik ve düzenleyici engellerin aşılmasına bağlıdır (Bortesi ve Fischer, 2015). Genetik düzenleme teknolojilerine yönelik daha uyumlu küresel politikaların oluşturulması, CRISPR-Cas9 gibi araçların tarımsal uygulamalarını hızlandırabilir (Haque ve ark., 2018). Kamu farkındalığının artırılması ise bu teknolojilerin güvenliği ve faydaları konusundaki yanlış algıların giderilmesine yardımcı olacaktır (Desta ve Ortiz, 2014).

7. SONUÇ

Omik teknolojiler, yemeklik tane baklagillerin ıslahında devrim niteliğinde bir potansiyel sunarak, tarımsal verimliliği artırma, çevresel streslere dayanıklılığı güçlendirme ve besin kalitesini iyileştirme hedeflerine ulaşmada benzersiz bir araç sağlamaktadır. Bu teknolojiler, genetik bilginin daha derinlemesine anlaşılmasını mümkün kılarken, geleneksel ıslah yöntemlerinin aşmakta zorlandığı birçok engelin üstesinden gelmektedir. Özellikle; genomik, transkriptomik, proteomik ve fenomik alanlarında sağlanan ilerlemeler; baklagillerin hastalık, kuraklık ve tuzluluk gibi çevresel stres faktörlerine karşı dayanıklılık geliştirmesi için önemli bir zemin oluşturmuştur. Ayrıca bu teknolojiler, antinutrisyonel bileşiklerin azaltılması ve besin değerinin artırılması yoluyla, baklagillerin insan ve

hayvan beslenmesindeki rolünü güçlendirme potansiyeline sahiptir.

Yemeklik tane baklagiller, sadece küresel gıda güvenliğinin sağlanmasında değil, aynı zamanda sürdürülebilir tarım sistemlerinin geliştirilmesinde de stratejik bir öneme sahiptir. Azot fiksasyonu gibi çevresel katkıları, bu bitkileri iklim değişikliğiyle mücadelede kritik bir unsur haline getirmektedir. Bununla birlikte, omik teknolojilerin uygulanmasında veri entegrasyonu, yüksek maliyetler ve düzenleyici belirsizlikler gibi önemli zorluklar bulunmaktadır. Bu engellerin aşılması; biyoinformatik altyapısının güçlendirilmesi, yapay zekâ tabanlı araçların kullanımı ve kamu-özel sektör iş birliklerinin teşviki gibi stratejik yaklaşımları gerektirmektedir.

Gelecekte, omik teknolojilerin entegre bir şekilde kullanımı, daha hızlı, verimli ve hedef odaklı ıslah süreçlerini mümkün kılacaktır. CRISPR-Cas9 gibi hassas gen düzenleme araçları, dayanıklı ve besin açısından zengin yeni çeşitlerin geliştirilmesini hızlandırırken, iş birlikleri bu teknolojilere erişimi artıracaktır. Ayrıca, sürdürülebilir tarım uygulamalarının geliştirilmesi, düşük karbon ayak izine sahip çeşitlerin yaygınlaştırılması ve küçük çiftçilerin bu yeniliklerden faydalanması, tarımsal kalkınmayı destekleyecektir. Omik teknolojilerin geniş ölçekli benimsenmesi, yalnızca tarımsal üretkenliği artırmakla kalmayacak, aynı zamanda küresel gıda güvenliğinin sağlanabilmesi ve iklim değişikliğine adaptasyonunun desteklenebilmesi açısından kritik rol oynayacaktır. Bu doğrultuda, omik teknolojilerin sunduğu fırsatların en üst düzeye çıkarılması, bilimsel araştırmaların yanı sıra düzenleyici altyapıların geliştirilmesi ve kamu

farkındalığının artırılması ile mümkün olacaktır. Küresel düzeyde atılacak bu adımlar, tarım sistemlerini daha dirençli, verimli ve sürdürülebilir hale dönüştürmek için kritik öneme sahiptir.

KAYNAKÇA

- Acquaah, G. (2007). *Principles of Plant Genetics and Breeding*. Blackwell Publishing, s 569. ISBN 1-4051-3646-4.
- Adak, M.S., Kayan, N., Benlioğlu, B. (2015). Yemeklik Tane Baklagiller Üretiminde Değişimler ve Yeni Arayışlar. *TMMOB Ziraat Müh. Odası VIII. Teknik Kongresi*, 387-400. 12-16 Ocak 2015, Çankaya, Ankara.
- Akpo, E., Ojiewo, C., Kapran, I., Omoigui, L., Diamo, A., Varshney, R. (2021). *Enhancing Smallholder Farmers' Access to Seed of Improved Legume Varieties Through Multi-stakeholder Platforms*. Springer Publishing, s 205. ISBN:978-981-15-8014-7.
- Araus, J.L., Cairns, J.E. (2014). Field high-throughput phenotyping: The new crop breeding frontier. *Trends in Plant Science*, 19(1), 52-61. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.09.008>
- Bashir, K., Matsui, A., Rasheed, S., Seki, M. (2019). Recent advances in the characterization of plant transcriptomes in response to drought, salinity, heat, and cold stress. *F1000 Research*, 8. <https://doi.org/10.12688/f1000research.18424.1>
- Beebe, S.E., Rao, I.M., Blair, M.W., Butare L. (2009). Breeding for abiotic stress tolerance in common bean: present and future challenges. *Proceedings of the 14th Australian plant breeding and 11th SABRAO conference*, pp 10-14. Brisbane, Avustralya.
- Bertioli, D., Jenkins, J., Clevenger, J., Dudchenko, O., Gao, D., Seijo, G., Leal-Bertioli, S., Schmutz, J. (2019). The genome sequence of segmental allotetraploid peanut

- (*Arachis hypogaea*). *Nature Genetics*, 51, 877-884.
<https://doi.org/10.1038/s41588-019-0405-z>
- Bortesi, L., Fischer, R. (2015). The CRISPR/Cas9 system for plant genome editing and beyond. *Biotechnology Advances*, 33(1), 41-52.
<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2014.12.006>
- Collard, B.C.Y., Mackill, D.J. (2008). Marker-assisted selection: An approach for precision plant breeding in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363(1491), 557-572.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2170>
- Crossa, J., Pérez-Rodríguez, P., Cuevas, J., Montesinos-López, O., Jarquín, D., De Los Campos, G., Varshney, R.K. (2017). Genomic selection in plant breeding: methods, models, and perspectives. *Trends in plant science*, 22(11), 961-975. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2017.08.011>
- Desta, Z. A., Ortiz, R. (2014). Genomic selection: Genome-wide prediction in plant improvement. *Trends in Plant Science*, 19(9), 592-601.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2014.05.006>
- Fiehn, O. (2002). Metabolomics-the link between genotypes and phenotypes. *Plant Molecular Biology*, 48(1-2), 155-171.
<https://doi.org/10.1023/A:1013713905833>
- Fleury, D., Langridge, P. (2014). 10 QTL and association mapping for plant abiotic stress tolerance: trait characterization and introgression for crop improvement. *LSU Scholarly Repository*, 1, 257.
- Graham, P.H., Vance, C.P. (2003). Legumes: Importance and constraints to greater use. *Plant Physiology*, 131(3), 872-877. <https://doi.org/10.1104/pp.017004>

- Haque, E., Taniguchi, H., Hassan, M.M., Bhowmik, P., Karim, M.R., Śmiech, M., Islam, T. (2018). Application of CRISPR/Cas9 genome editing technology for the improvement of crops cultivated in tropical climates: recent progress, prospects, and challenges. *Frontiers in plant science*, 9, 617. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00617>
- Heffner, E.L., Sorrells, M.E., Jannink, J.L. (2009). Genomic selection for crop improvement. *Crop Science*, 49(1), 1-12. <https://doi.org/10.2135/cropsci2008.08.0512>
- Heffner, E.L, Lorenz, A., Jannink, J., Sorrells, M. (2010). Plant Breeding with genomic selection: gain per unit time and cost. *Crop Science*, 50, 1681-1690. <https://doi.org/10.2135/CROPSCI2009.11.0662>
- Hickey, J.M., Chiurugwi, T., Mackay, I., Powell, W. (2017). Genomic prediction unifies animal and plant breeding programs to form platforms for biological discovery. *Nature Genetics*, 49(9), 1297-1303. <https://doi.org/10.1038/ng.3920>
- Jaganathan, D., Ramasamy, K., Sellamuthu, G., Jayabalan, S., Venkataraman, G. (2018). CRISPR for crop improvement: an update review. *Frontiers in Plant Science*, 9, 985. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00985>
- Jendoubi, T. (2021). Approaches to integrating metabolomics and multi-omics data: a primer. *Metabolites*, 11(3), 184. <https://doi.org/10.3390/metabo11030184>
- Kelly, J.D., Miklas, P.N. (1998). The role of RAPD markers in breeding for disease resistance in common bean. *Molecular Breeding*, 4(1), 1-11. <https://doi.org/10.1023/A:1009612002144>

- Kılıç, T. (2024). *Bitki Islahında Yapay Zekâ Uygulamaları*. Bahçe Bitkilerinde İnovasyon ve Sürdürülebilirlik Yaklaşımları, 53-72. İKSAD Yayıncılık, Ankara, Türkiye. ISBN: 978-625-378-069-2.
- Ko, G., Kim, P., Cho, Y., Jeong, S., Kim, J., Kim, K., Lee, B. (2020). Bioinformatics services for analyzing massive genomic datasets. *Genomics & Informatics*, 18. <https://doi.org/10.5808/GI.2020.18.1.e8>
- Ku, Y., Wong, J., Mui, Z., Liu, X., Hui, J., Chan, T., Lam, H. (2015). Small RNAs in Plant Responses to Abiotic Stresses: Regulatory Roles and Study Methods. *International Journal of Molecular Sciences*, 16, 24532-24554. <https://doi.org/10.3390/ijms161024532>
- Mahmood, U., Li, X., Fan, Y., Chang, W., Niu, Y., Li, J., Qu, C. Lu, K. (2022). Multi-omics revolution to promote plant breeding efficiency. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1062952>
- Montoya, C.A., Lallès, J.P., Beebe, S., Leterme, P. (2010). Phaseolin diversity as a possible strategy to improve the nutritional value of common beans (*Phaseolus vulgaris*). *Food Research International*, 43(2), 443-449. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.040>
- Nabateregga, M., Mukankusi, C., Raatz, B., Edema, R., Nkalubo, S., Alladassi, B.M.E. (2019). Quantitative trait loci (QTL) mapping for intermittent drought tolerance in BRB 191× SEQ 1027 Andean Intragene cross recombinant inbred line population of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *African Journal of Biotechnology*, 18(21).
- Nadeem, M., Li, J., Yahya, M., Sher, A., Ma, C., Wang, X., Qiu, L. (2019). Research progress and perspective on drought stress in legumes: A review. *International journal of*

- molecular sciences*, 20(10), 2541.
<https://doi.org/10.3390/ijms20102541>
- Orona-Tamayo, D., Valverde, M.E., Paredes-López, O. (2019). Bioactive peptides from selected latin american food crops-A nutraceutical and molecular approach. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(12), 1949-1975. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1434480>
- Özer, B., Kuş, S., Yıldız, O. (2022). Veri madenciliği yöntemleri ile tarımsal veri analizi: Bir akıllı tarım sistemi önerisi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 10(4), 1417-29. <https://doi.org/10.21923/jesd.1081814>
- Peoples, M.B., Brockwell, J., Herridge, D.F., Rochester, I.J., Alves, B.J.R., Urquiaga, S., Jensen, E.S. (2009). The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. *Symbiosis*, 48, 1-17. ISSN 0334-5114.
- Pradhan, A., Ghosh, S., Sahoo, D., Jha, G. (2021). Fungal effectors, the double edge sword of phytopathogens. *Current Genetics*, 67, 27-40. <https://doi.org/10.1007/s00294-020-01118-3>
- Priya, M., Dhanker, O.P., Siddique, K.H., HanumanthaRao, B., Nair, R.M., Pandey, S., Nayyar, H. (2019). Drought and heat stress-related proteins: an update about their functional relevance in imparting stress tolerance in agricultural crops. *Theoretical and Applied Genetics*, 132, 1607-1638. <https://doi.org/10.1007/s00122-019-03331-2>
- Raboy, V. (2001). Seeds for a better future: 'low phytate' grains help to overcome malnutrition and reduce pollution. *Trends in Plant Science*, (6) 10, 458-62. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(01\)02104-5](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(01)02104-5)

- Raboy, V. (2009). Approaches and challenges to engineering seed phytate and total phosphorus. *Plant Science*, 177(4), 281-296. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2009.06.012>
- Raza, A., Tabassum, J., Fakhar, A.Z., Sharif, R., Chen, H., Zhang, C., Varshney, R.K. (2023). Smart reprogramming of plants against salinity stress using modern biotechnological tools. *Critical Reviews in Biotechnology*, 43(7), 1035-1062. <https://doi.org/10.1080/07388551.2022.2093695>
- Ritchie, M., Holzinger, E., Li, R., Pendergrass, S., Kim, D. (2015). Methods of integrating data to uncover genotype–phenotype interactions. *Nature Reviews Genetics*, 16, 85-97. <https://doi.org/10.1038/nrg3868>
- Schmutz, J., McClean, P. E., Mamidi, S., Wu, G. A., Cannon, S. B., Grimwood, J., Jackson, S. A. (2014). A reference genome for common bean and genome-wide analysis of dual domestications. *Nature Genetics*, 46(7), 707-713. <https://doi.org/10.1038/ng.3008>
- Seki, M., Narusaka, M., Ishida, J., Nanjo, T., Fujita, M., Oono, Y., Shinozaki, K. (2002). Monitoring the expression profiles of 7000 Arabidopsis genes under drought, cold and high-salinity stresses using a full-length cDNA microarray. *The Plant Journal*, 31(3), 279-292. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313X.2002.01359.x>
- Singh, N., Rai, V., Singh, N.K. (2020). Multi-omics strategies and prospects to enhance seed quality and nutritional traits in pigeonpea. *The Nucleus*, 63(3), 249-256. <https://doi.org/10.1007/s13237-020-00341-0>
- Stacey, G., Libault, M., Brechenmacher, L., Wan, J., May, G.D. (2006). Genetics and functional genomics of legume

- nodulation. *Current Opinion in Plant Biology*, 9(2), 110-121. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2006.01.005>
- Stagnari, F., Maggio, A., Galieni, A., Pisante, M. (2017). Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability: an overview. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4. <https://doi.org/10.1186/s40538-016-0085-1>
- Stracke, R., Jahns, O., Keck, M., Tohge, T., Niehaus, K., Fernie, A.R., Weisshaar, B. (2010). Analysis of production of flavonol glycosides-dependent flavonol glycoside accumulation in *Arabidopsis thaliana* plants reveals MYB11-, MYB12- and MYB111-independent flavonol glycoside accumulation. *New Phytologist*, 188(4), 985-1000. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03421.x>
- Warkentin, T.D., Delgerjav, O., Arganosa, G., Rehman, A.U., Bett, K.E., Anbessa, Y., Raboy, V. (2012). Development and characterization of low-phytate pea. *Crop Science*, 52(1), 74-78. <https://doi.org/10.2135/cropsci2011.05.0285>
- Zhu, J.K. (2017). Abiotic stress signaling and responses in plants. *Cell*, 167(2), 313-324. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.08.029>
- Zhu, X., Chen, L., Zhang, Z., Li, J., Zhang, H., Li, Z., Wang, X. (2023). Genetic-based dissection of resistance to bacterial leaf streak in rice by GWAS. *BMC Plant Biology*, 23(1), 396. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04412-7>
- Zuiderveen, G.H., Padder, B.A., Kamfwa, K., Song, Q., Kelly, J.D. (2016). Genome-wide association study of anthracnose resistance in Andean beans (*Phaseolus vulgaris*). *PloS One*, 11(6), 1-17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156391>

BÖLÜM 6

ORGANİK TARIMDA KORUYUCU TOPRAK İŞLEME

Prof. Dr. İlknur DURSUN¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15028326>

¹ Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri
Mühendisliği Bölümü, Ankara, TÜRKİYE, dursun@agri.ankara.edu.tr, ORCID ID:
0000-0002-1957-718X

1. GİRİŞ

Bitkisel üretimde; yoğun tarım, sürdürülebilir tarım, organik tarım, iyi tarım, hassas tarım, topraksız tarım, toprak işlemez tarım ve iklim dostu tarım gibi çeşitli tarım teknikleri uygulanır. Sürdürülebilir tarımda, mevcut kaynakların gelecek nesillere kayıpsız olarak aktarılması amaçlanır (Kuşat, 2013; Eryılmaz ve Kılıç, 2018).

Organik tarım, sürdürülebilir tarım yöntemlerini içermekle birlikte sürdürülebilir tarımdan farklıdır (Yılmaz ve Yücel, 2017). Sentetik gübre ve pestisitlerin kullanılması yasaktır. Toprağın daha az işlenmesi veya hiç işlenmemesi, sentetik kimyasal gübre yerine organik gübre kullanılması, yeşil gübreleme yapılması, biyolojik mücadelenin tercih edilmesi, ekim nöbetinin uygulanması ve bitki direncinin artırılması önerilir (Turhan, 2005; Luna ve ark., 2012; Carr, 2017). Organik tarım sayesinde bitki besin maddeleri muhafaza edilmesi, su kalitesinin korunması ve biyolojik çeşitliliğin artması sağlanır (Chandran ve ark., 2019). Organik tarımda, öngörülen hedeflere ulaşılmasında koruyucu toprak işlemeden yararlanılması oldukça önemlidir.

Toprak işleme yöntemleri; geleneksel, azaltılmış ve koruyucu toprak işleme olmak üzere üçe ayrılır (Dursun, İ. ve Dursun, E., 2018a). Geleneksel toprak işlemede, toprak işleme ve ekimden sonra toprak yüzeyinin $< \% 15'$ i, azaltılmış toprak işlemede $\% 15-30'$ u, koruyucu toprak işlemede ise $\geq \% 30'$ u önceki bitkinin yüzey artıklarıyla kaplanmalıdır (Dursun, 2018). Bir diğer sınıflamaya göre ise toprak işleme yöntemleri; geleneksel toprak işleme, azaltılmış (koruyucu) toprak işleme ve toprak işlemez tarım şeklinde üçe ayrılır (Tebrügge ve

Düring, 1999). Bu sınıflamaya göre geleneksel toprak işlemede, toprağı deviren kulaklı pulluklar kullanılır. Azaltılmış toprak işleme veya koruyucu toprak işlemede, toprak düşey yönde devrilmeden işlenir. Toprak işlemez tarımda ise toprak, ekim dışında mekanik olarak hareketlendirilemez.

Geleneksel toprak işleminin temel ekipmanı, kulaklı pulluktur. Kulaklı pulluğun teorik bitki yüzey artışı gömme yüzdesi, % 90-100 arasında değişir. Ancak bu değer; pulluğun yapısal özelliğı, önceki bitki cinsi, yüzey artışı konumu ve ilerleme hızı gibi faktörlere göre değişir. Kulaklı pullukla sürümden sonra toprak yüzeyi koruyucu örtüden yoksun kalır. Toprağın yoğun olarak işlenmesi, erozyona ve toprak nem kaybına yol açar. Geleneksel toprak işleminin başlıca sakıncaları; organik madde içeriğinin azalması, yüzey akışlarıyla toprak kaybının artması, artan tarla trafiğine bağlı olarak toprağın sıkışması, yakıt tüketiminin ve maliyetin artması, zararlı sera gazlarının atmosfere salınması, organik karbon içeriğinin ve ürün veriminin azalmasıdır (Kay ve VandenBygaart, 2002; Morris ve ark., 2010; Sorensen ve Nielsen, 2005; Tebrügge ve Düring, 1999; West ve Marland 2002; Luna ve ark., 2012; AKC, 2019). Ancak kulaklı pullukla sürümün toprağın organik madde içeriğinin artması, hacim ağırlığının azalması, porozitesinin ve toprak havasındaki oksijen miktarının artması gibi yararları da bulunmaktadır.

Koruyucu toprak işleminin temel amacı; toprak yüzeyinin bizzat kaba işlenmiş bir toprak tabakasıyla, önceki bitkinin yüzey artıklarıyla veya örtü bitkileriyle kaplanmasıdır. Oluşturulan malç ya da koruyucu örtü sayesinde su ve rüzgâr erozyonunun önlenmesi, yüzey akışlarının azalması, toprak nem içeriğinin ve sıcaklığının korunması; organik madde içeriğı,

organik karbon içeriği ve ürün veriminin artması; atmosfere salınan CO₂ miktarının azalması, yabancı otun baskılanması ve toprağın mikrobiyal aktivitesinin artması sağlanır (Tebrügge ve Düring, 1999; West ve Marland, 2002; Chandran ve ark., 2019). Koruyucu toprak işlemenin başlıca tipleri; malçlı toprak işleme, sırta ekime yönelik toprak işleme, şeritsel toprak işleme, doğrudan ekim ve toprak işlemesiz tarımdır (Sorensen ve Nielsen, 2005; Sandretto ve Payne, 2006; Mitchel ve ark., 2009; Dursun, 2018; Murrel, 2021).

Organik tarımda; geleneksel, azaltılmış ve koruyucu toprak işleme gibi tüm toprak işleme yöntemlerinden yararlanılabilir. Ancak organik tarıma en uygun yöntem, koruyucu toprak işlemedir. Çünkü koruyucu toprak işlemede toprak devrilmeden işlenir ya da hiç işlenmez. Toprak ve nem kaybı önlenir. Organik tarımda; malçlı toprak işleme, sırta ekime yönelik toprak işleme, şeritsel toprak işleme ve örtü bitkili toprak işlemesiz tarım gibi koruyucu toprak işleme teknikleri kullanılabilir (Luna ve ark., 2012; Vincent-Caboud ve ark., 2017; Carr, 2017; Chandran ve ark., 2019).

Bu çalışmada; organik tarımda kullanılan koruyucu toprak işleme teknikleri hakkında bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

2. MALÇLI TOPRAK İŞLEME

Malçlı toprak işlemede, toprağı devirmeden işleyen çizel, uzun kanatlı uç demirli kazayaklı kùltivatör, diskli tırmık gibi ekipmanlar kullanılır. Ekipmanın iş genişliği boyunca toprak işlenir. Toprak işlemeden sonra bitki yüzey artıklarının büyük bir kısmı toprak yüzeyinde kalır, diğerleri toprağı karıştırılır. Yüzey artıkları, aerobik olarak ayrıştırılır. Malç tabakası sayesinde erozyon ve nem kaybı önlenir. Malçlı toprak işleme,

birçok bahçe bitkileri ile diğer bitkilerin organik tarımına uygundur (Kuepper, 2001).

3. SIRTA EKİME YÖNELİK TOPRAK İŞLEME

Sırt ekime yönelik toprak işlemede, tarlada kalıcı ya da yarı kalıcı sırtlar ve karıklar oluşturulur (Kuepper, 2001). Özellikle mısır, soya fasulyesi, pamuk, sorgum, ayçiçeği gibi çapa bitkilerinin tarımında uygulanır. Sırt genişlikleri ve sıralar arası uzaklıklar, farklı çalışma koşullarına göre ayarlanır (Zikeli ve Gruber, 2017). Sırtlar, yetiştirme dönemi boyunca korunur ve yeniden şekillendirilir. Sırt bakımı, kanatlı uç demirli kültivatörlerle yapılır (Kuepper, 2001). Toprak yüzeyindeki yoğun malç tabakası, yabancı otu baskıladığından herbisit kullanılmasına gerek yoktur. Malçlı toprak işlemenin aksine sırta ekim yönelik toprak işlemede; bitki yüzey artıkları, ürün yetiştirme döneminin büyük bir kısmında toprak yüzeyinde kalır (Kuepper, 2001). Meyilli alanlarda kontur boyunca oluşturulan sırtlar, terasa benzer şekilde toprağı erozyona karşı korur. Sırt ve karıkların oluşturulması ve yeniden şekillendirilmesinde yoğun yüzey artıklı koşullarda çalışan lister benzeri kültivatörlerden yararlanılır (Kuepper, 2001; Zikeli ve Gruber, 2017). Bu kültivatörler, yapısal olarak genellikle ön sırada bulunan geniş keski demirli ayak ile bunun arkasında yer alan kanatlı uç demirli sabit ayaktan oluşur. Keski demirleri, karığın orta kısmındaki bitki artıklarını keserler. Ayaklar, bu nedenle tıkanmazlar. Uç demirleri, toprağı yüzeysel olarak işlerler. Toprak işlemedeki toprak akışı sayesinde bitki artıkları, uç demirinin üzerinde taşınırlar (Kuepper, 2001). Tohumlar, ekim makinasıyla oluşturulan sırtların üzerlerine ekilirler. Toprak işleme ve ekim, tek geçişte yapılır.

4. ŞERİTSEL TOPRAK İŞLEME

Şeritsel toprak işleme, “bölgesel toprak işleme” olarak da adlandırılır. Bu teknik, geleneksel toprak işleme ile toprak işlemez tarımın yararlı yönlerini içerir. Bitki yetiştirme bölgesi ve sıralar arasında kalan bölge olmak üzere başlıca iki bölge bulunur. Bitki yetiştirme bölgesi, tohum yatağının hazırlanması için toprağın 15-30 cm’ lik dar şeritler halinde 10-20 cm derinlikten gevşetildiği, gübreleme ve yabancı ot kontrolünün yapıldığı kısımdır (Kuepper, 2001; Licht ve Al-Kaisi, 2005; Luna ve ark., 2012). Bitki yetiştirme bölgeleri arasında yüzeysel olarak işlenmiş veya hiç işlenmemiş bitki artıklarıyla kaplı alanlar bulunur (Licht ve Al-Kaisi, 2005). Sıralar arası uzaklık, 75-90 cm arasında değişir (Kuepper, 2001; Luna ve ark., 2012). Tarla yüzeyinin % 35-40’ ı ya da $<1/3$ ’ ü işlenir (Luna ve ark., 2012; Jarvis ve Woolford, 2017). Şeritsel toprak işlemenin en önemli yararı, tohum yatağı hemen ısınıp kurduğundan ekimin erken yapılması sayesinde hasadın gecikmemesidir. Tohum yatağının hemen ısınıp kurumaması, özellikle soğuk ve yağışlı geçen ilkbahar aylarında daha fazla yararlıdır.

Toprak işlemez tarımda, dar bir yarığa ekim yapıldığından hasat 2-3 hafta gecikir. Şeritsel toprak işlemede ise işlenen şerit genişliği bundan daha fazla olduğu için sorun yoktur. Ancak şerit genişliğinin çok fazla olması durumunda, bitki yetiştirme dönemi boyunca toprağın çapa veya tırmıkla işlenmesi veya malçla kaplanması gerekir (Kuepper, 2001).

Organik tarımda uygulanan şeritsel toprak işlemede, sıralar arasında kalan bölge, canlı ve sonlandırılmış örtü bitkileriyle kaplanabilir. Örneğin, sonbaharda aynı cins veya farklı cinslerdeki örtü bitkilerinin tohumları tarlaya ekilir. Örtü

bitkileri, sonbahar ile ilkbahar arasındaki süre boyunca gelişimlerini sürdürürler. İlkbaharda, işlenen şeritlere ticari bitkinin tohumları ekilirler. Bitki yetiştirme bölgesindeki yabancı otların kontrol edilmesi, mekanik olarak yapılır. 90-95 cm boya ulaşan örtü bitkileri, genellikle üçgen yapraklı bıçaklı çayır biçme makineleriyle biçilerek sonlandırılır. Biçilmiş bitki artıkları, bitki yetiştirme bölgesinin üzerine yayılır (Kuepper, 2001).

5. ÖRTÜ BİTKİLİ TOPRAK İŞLEMESİZ TARIM

Toprak işlemesiz tarım, 1940' lı yıllarda ortaya çıkmıştır. İlk olarak 1960' lı yıllarda ABD' de, 1970' li yıllarda ise Brezilya' da uygulanmıştır (Tekin ve ark., 2017). Önceki bitkinin hasadından sonra hiçbir toprak işleme yapılmadan ticari bitki tohumları, doğrudan ekim makineleriyle ekilirler. Sıra genişliğinin en fazla 1/3' ü hareketlendirilebilir (Dursun, 2018). Erozyonun önlenmesi, toprağın su geçirgenliğinin artması, buharlaşmanın azalması, toprağın organik madde içeriğinin artması, strüktürün iyileşmesi, biyolojik aktivitenin artması, yakıt tüketiminin ve işgücü ihtiyacının azalması gibi birçok yararı vardır (Dursun, İ. ve Dursun, E. 2018b; Dursun Göknur, 2002).

Toprak işlemesiz tarım;

1. Bitki yüzey artıklı toprak işlemesiz tarım,
2. Örtü bitkili toprak işlemesiz tarım,
 - Canlı örtü bitkili toprak işlemesiz tarım,
 - Sonlandırılmış örtü bitkili toprak işlemesiz tarım şeklinde sınıflandırılır (Vincent-Caboud ve ark., 2017).

Bitki yüzey artıklı toprak işlemez tarımda, önceki bitkinin hasadından sonra toprak yüzeyinde kalan bitki yüzey artıklarının aralarına ekim yapılır. Toprak yüzeyi, yoğun olarak ($\geq \% 50$) bitki yüzey artıklarıyla kaplıdır. Ticari bitki tohumları, doğrudan ekim makinasının keski demirleri ve gömücü ayakları tarafından açılan dar şeritlere ya da yarıklara yerleştirilerek üzerleri bitki artıklarıyla kapatılır. Sentetik kimyasal gübreler ile organik gübreler kullanılabilir. Yabancı ot kontrolünde herbisit etkili maddelerden ya da bu tarım tekniğine uygun olan toprakta kalıcılığı sınırlı sentetik herbisitlerden yararlanılır. Ekim ile hasat arasındaki süre boyunca, sıvı ahır gübresi ve susuz amonyağın toprağa enjekte edilmesi dışında toprak işlenmez. Bitki yüzey artıklarının yıl boyunca toprak yüzeyinde korunması esastır. Herbisitlere olan bağımlılık ile yabancı otların herbisitlere gösterdiği direnç artar. Geleneksel toprak işlemeye göre çok daha az olmakla birlikte pestisitlerin bir kısmı yeraltı sularına karışır (RI, 2011).

Örtü bitkili toprak işlemez tarımda, toprak yüzeyi canlı örtü bitkisi veya sonlandırılmış örtü bitkisinin kalın malç tabakasıyla kaplıdır. Örtü bitkili toprak işlemez tarımda yabancı otlar, örtü bitkileri tarafından baskılanarak kontrol edilirler (Halde, 2014; Chandran ve ark., 2019).

Örtü bitkili toprak işlemez tarımda, ticari bitki tohumlarının ekilmesinden daha önce tarlada örtü bitkileri yetiştirilir. Bunların belirli bir boya ulaşmasından sonra tohumlar, canlı veya sonlandırılmış örtü bitkilerinin üzerine doğrudan ekim makinasıyla ekilirler. Örtü bitkili toprak işlemez tarımın sentetik kimyasalların çevreye verdiği zararın önlenmesi, erozyonun kontrol edilmesi, nem içeriğinin korunması; tarla trafiğinin, yakıt tüketiminin ve masrafların

azalması; zamandan tasarruf edilmesi ve yazın toprak sıcaklığının düşük olması gibi üstünlükleri vardır (RI, 2011; Dursun, İ. ve Dursun, E., 2019). Ancak ilkbaharda toprak sıcaklığının düşmesi, suyun büyük bir kısmının örtü bitkileri tarafından kullanması, örtü bitkilerini ezerek toprak yüzeyine yayan merdanelerle çalışıldığında ekim tarihinin gecikmesi, toprak yüzeyinin yoğun şekilde örtü bitkileriyle kaplaması durumunda ekim sırasında doğrudan ekim makinasının gömücü ayaklarının zorlanması ve buna bağlı olarak çimlenme yüzdesinin azalması, zararlı böcekler için uygun bir ekosistem oluşması, örtü bitkisi standının zayıf kalması halinde yabancı otların iyi kontrol edilememesi gibi sakıncaları da söz konusudur (RI, 2011; Zikeli ve Gruber, 2017).

Örtü bitkilerinin en önemli sakıncaları; ilkbaharda toprak sıcaklığının azalması, ticari ve örtü bitkileri arasındaki su rekabeti, ekim sırasında gömücü ayakların tıkanması ve yabancı ot kontrolünün yeterli düzeyde yapılamamasıdır. Bu sakıncaların giderilmesi için örtü bitkilerinin erken dönemde baskılanması ya da sonlandırılması, ticari bitkilerle daha az su rekabeti eden veya gevrek ve kolay parçalanan örtü bitkilerinin tercih edilmesi, toprak yüzeyinde kalın bir örtü bitkisi malç tabakası oluşumunun önlenmesi önerilebilir. Ayrıca doğrudan ekim makinalarının bu ortamlarda çalışabilecek tek diskli gömücü ayak gibi uygun tiplerinin seçilmesi ve keski demiri kullanılması da yararlı olacaktır.

Örtü bitkileri, özellikle toprak verimliliğini artırmak ve erozyonu önlenmesi amacıyla yetiştirilen buğday, yulaf, arpa, çavdar, yonca, kırmızı üçgül, tüylü fiğ, korunga, tarla bezelyesi, sudan otu, soya fasulyesi gibi tek veya çok yıllık bitkilerdir. Bu bitkiler; toprağın organik madde içeriğini artırır, nitrat kirliliğini

azaltır, yabancı otlarla rekabet eder, ürün verimini yükseltir, toprak sıkışmasını önler. Ek olarak toprak solucanı sayısını artırır, hastalık ve zararlıları kontrol eder, toprağın mikrobiyolojik aktivitesini artırır ve toprak kalitesini iyileştirir (RI, 2011; Zikeli ve Gruber, 2017).

RI (2011) tarafından yapılan bir araştırmada, örtü bitkisi olarak tüylü fiğ, ticari bitki olarak ise mısır seçilmiş ve dört farklı toprak işleme tekniği karşılaştırılmıştır. Seçilen toprak işleme yöntemleri; geleneksel toprak işleme, geleneksel toprak işlemez tarım, organik toprak işleme ve organik toprak işlemez tarımdır. Geleneksel toprak işlemede, tüylü fiğ ekilmemiştir. Geleneksel toprak işleme tekniklerinde N, P, K içeren kimyasal gübreler ve herbisitler kullanılmış, organik tarımda ise yalnızca fosforlu kimyasal gübre kullanılmış, ancak herbisit kullanılmamıştır.

Araştırma sonucunda, organik toprak işleme tekniklerinde bütçenin büyük bir kısmının tohum, yakıt ve işçilik giderlerinden; geleneksel toprak işlemede ise kimyasal gübre, herbisit ve tohum giderlerinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Örtü bitkili toprak işlemez tarımdaki işçilik, yakıt ve ekipman giderlerinin organik toprak işlemeden % 20 daha az olduğu bulunmuştur. Geleneksel toprak işlemez tarımda ise herbisit ve tohum giderlerinin, geleneksel toprak işlemeye kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ancak geleneksel toprak işlemez tarım tekniğinde örtü bitkisinin sağladığı yararın göz ardı edilmemesi gerektiği vurgulanmıştır. Geleneksel toprak işlemede toplam enerji ihtiyacının organik toprak işlemeye göre, geleneksel toprak işlemez tarımda ise toplam enerji ihtiyacının organik toprak işlemez tarıma kıyasla % 70 daha fazla olduğu belirtilmiştir. Bu sonucun, geleneksel toprak işleme

tekniklerinde kullanılan azotlu kimyasal gübreler ile herbisitlerin enerji ihtiyaçlarının yüksek olmasından kaynaklandığı bildirilmiştir. Ayrıca, organik toprak işlemez tarımda yakıt tüketiminin organik toprak işlemeye kıyasla % 30 daha az olduğu da bulunmuştur.

Halde ve ark. (2015) tarafından yapılan araştırmada; organik tarımda toprak işlemez tarım ve koruyucu toprak işleme uygulamaları ile geleneksel tarımda toprak işlemez tarım ve koruyucu toprak işleme uygulamaları malç biyokütlesi, yabancı ot kontrolü ve ürün verimi yönünden karşılaştırılmıştır. Araştırma sonucunda; organik tarımda, sentetik herbisit kullanımı yasak olduğundan toprak işlemenin azaltılmasının zorunlu hale geldiği belirtilmiştir.

5.1. Canlı Örtü Bitkili Toprak İşlemez Tarım

Canlı örtü bitkili toprak işlemez tarım tekniği, ticari bitki tohumlarının örtü bitkileri içerisine doğrudan ekim makinalarıyla ekilmesi olarak tanımlanabilir (Kuepper, 2001; Vincent-Caboud ve ark., 2017). Canlı örtü bitkisi; ticari bitkiyle birlikte gelişen, gelişme döneminin bir kısmında ya da tamamında canlı kalan, tek veya çok yıllık bir baklagil veya buğdaygildir (Kuepper, 2001; Carof ve ark., 2007; Canali ve ark., 2017). Canlı örtü bitkisi olarak fiğ, tarla bezelyesi, kırmızı üçgül, yonca, çavdar, yulaf ve buğday tercih edilir. Bunlar, tüm tarla yüzeyinde veya yalnızca sıralar arasında yetiştirilebilir. Ticari bitki hasat edilmiş olsa bile canlı malç, gelişme dönemi dışında dahi tarlada kalır (Carof ve ark., 2007). Canlı örtü bitkisinin yabancı otları baskılaması, erozyonu azaltması, toprak sıcaklığını ayarlaması, çeşitli canlılara doğal yaşam alanı oluşturması, yararlı böcek sayısını artırması, biyolojik

mücadeleyi desteklemesi, toprak verimliliğini iyileştirmesi ve toprağın fiziksel özelliklerini geliştirmesi gibi birçok yararı vardır (Kuepper, 2001; Carof ve ark., 2007; Dursun, İ. ve Dursun, E., 2017).

Örtü bitkisi ve ticari bitki aynı ortamı paylaştığından, ticari bitkiyle uyumlu ancak agresif olmayan örtü bitkileri tercih edilmelidir. İyi bir örtü bitkisinin erozyonu önleyebilmesi ve yabancı otları erkenden kontrol edebilmesi için hızla büyümesi, tarla trafiğine, verimsiz toprağa ve kuraklığa karşı dayanıklı olması ve bakım giderlerinin düşük olması gerekir. Tercih edilen örtü bitkileri, yere yatarak gelişen ve genellikle uzun ömürlü bitkilerdir (Kuepper, 2001).

Canlı örtü bitkilerinin çoğu, gelişme dönemleri boyunca baskılanmaya ihtiyaç duyarlar. Geleneksel tarımda, örtü bitkisinin baskılanmasında sentetik kimyasal herbisitlerden yararlanılır. Organik tarımda ise bu amaçla en çok tercih edilen yöntem, örtü bitkisinin biçilmesidir. Biçilmiş bitki artıkları, ticari bitki diplerine malç olarak serilir. Diğer bir yöntem ise motorlu çapayla toprağın kısmi olarak işlenmesidir. Bu yöntemde, toprak kısmi olarak işlendiğinden örtü bitkileri yeniden gelişebilir (Kuepper, 2001).

5.2. Sonlandırılmış Örtü Bitkili Toprak İşlemesiz Tarım

“Örtü bitkisi malçlı toprak işlemesiz tarım” olarak da adlandırılır. “Sonlandırılmış örtü bitkisi” yerine “öldürülmüş örtü bitkisi” kavramı da kullanılabilir. Örtü bitkileri; doğal, mekanik, kimyasal ve kombine olmak üzere dört farklı yöntemle sonlandırılabilir. Kombine yöntem, mekanik ve kimyasal yöntemin birlikte uygulanmasından oluşur.

Doğal ya da iklim etkisiyle sonlandırmada, örtü bitkisinin ekim tarihi, ileride bitki geliştiği zaman, mevsim değişiklikleri nedeniyle oluşan sıcaklık farkından etkilenecek ölmesine göre planlanır. Don, doğal sonlandırma yöntemlerinden birisidir. Örneğin; darı, börülce, karabuğday, yonca gibi tek veya çok yıllık örtü bitkilerinin ekim tarihleri, bitkilerin hafif kış soğuklarından dahi etkilenecek donmalarına göre düzenlenir. Donan örtü bitkisi, toprak yüzeyinde kalın bir malç tabakası oluşturur. Kışın öldürülen örtü bitkileri, terleme yapmazlar. Bu durum, toprak nem içeriğinin az olduğu kuru tarım alanları için bir üstünlüktür. Ancak nemli tarım alanlarında ise canlı örtü bitkilerinin bulunması daha iyidir. Çünkü canlı örtü bitkileri, tarla operasyonlarının daha erken yapılmasını ve aşırı suyun azaltılmasını sağlarlar. Örtü bitkilerinin iklim etkisiyle öldürülmelerinde nem içeriği önemli rol oynar. Yaz sonlarında oluşan bir kuraklık, örtü bitkilerinin yeterince gelişmemelerine, malcın yetersiz kalmasına ve yabancı otların yeterince baskılanmamalarına neden olabilir (Kuepper, 2001).

Mekanik sonlandırmada; parmaklı ve üçgen yaprak bıçaklı biçme makinaları, diskli biçme makinaları, döner bıçaklı çayır biçme makinaları (Bush Hog rotary mower), sap parçalama makinaları, V tipi uç demirli tarla kültivatörleri (Noble plow) ve örtü bitkilerini ezerek toprak yüzeyine seren merdaneler kullanılır (Kuepper, 2001; Luna ve ark., 2012; Chandran ve ark., 2019).

Parmaklı ve üçgen yaprak bıçaklı biçme makinaları, örtü bitkilerini toprak yüzeyine yakın biçerler. Öldürme etkileri yüksektir. Biçilmiş otları tekdüze olarak toprak yüzeyine serdiklerinden yabancı otları baskırlar. En önemli üstünlükleri, örtü bitkisinin üst kısımlarını parçalamamalarıdır. Ancak tüylü

fiğ, yem bezelyesi gibi börülceye benzeyen birbirine girmiş ve kolayca yere yatan yem bitkilerinin biçilmeleri sırasında bazı bitki parçaları makinaya takılabilir. Bu koşulda, ilerleme hızı azalır. Toprak yüzeyinde düzensiz bir malç tabakası oluşur.

Diskli biçme makinaları, börülceye benzeyen örtü bitkilerinin biçilmesinde ve toprak yüzeyine yakından biçmede daha başarılıdır. Ancak malç tabakası düzensizdir. Toprak yüzeyinde şeritler halinde çıplak yerler kalır.

Döner bıçaklı çayır biçme makinasının yatay düzlemde dönü hareketi yapan bir diskin alt tarafına yerleştirilen bıçağı vardır. Diskler, yan yana birbirlerine göre ters yönde dönü hareketi yaparlar. Döner çayır biçme makinası, parmaklı ve üçgen yaprak bıçaklı biçme makinasına göre örtü bitkilerini daha yüksekte biçer. Örtü bitkilerini parçalayarak düzensiz şekilde toprak yüzeyine yayar. Parçalanan örtü bitkileri, kısa sürede ayrışır. Malç tabakasının koruyucu etkisi, kısa sürelidir (Kuepper, 2001).

Sap parçalama makinaları, örtü bitkilerini alçaktan biçerek parçalarlar. Malç tabakası düzenlidir. Örtü bitkileri çok fazla parçalandıklarından hızla ayrışır. Malç tabakasının koruyucu etkisi, kısa sürelidir (Kuepper, 2001).

Organik tarımda 1980' li yılların sonlarından itibaren örtü bitkilerinin öldürülmesinde V tipi uç demirli ağır kültivatörler kullanılmaya başlanmıştır. V tipi uç demirinin iş genişliği, 1.5-2 m' dir. Bazı tiplerinde uç demirinin arka kısmına, iş derinliğinin ayarlanması ve kesilen bitki artıklarının yassılaştırılarak yayılması için kafes ya da parmaklı merdane yerleştirilir. Bu ekipmanlar, toprağı alttan gevşeterek bitki köklerini keserler. Öldürme etkileri, çok iyidir. Örtü bitkilerini parçalamadan

toprak yüzeyine yaydıklarından yabancı otları daha iyi baskırlar (Dursun, İ. ve Dursun, E., 2019). Oluşan malç tabakası, kalıcıdır. Nem içeriği yüksek olan ağır toprak koşullarında iyi çalışmazlar (Kuepper, 2001).

Örtü bitkilerini ezerek toprak yüzeyine seren merdaneler, örtü bitkilerinin dallarını, saplarını veya yapraklarını ezerek tekdüze ve kalın bir malç tabakası halinde toprak yüzeyine sererler (Kuepper, 2001). Bu sırada yabancı otlar da öldürülür. Ticari bitki tohumları, malç tabakasının içerisine doğrudan ekim makinalarıyla ekilir (Luna ve ark., 2012). Bu merdanelerin oldukça farklı tipleri vardır. Sonlandırılmış örtü bitkisinin toprak yüzeyinde oluşturduğu yoğun malç tabakası, yalnızca toprak bünyesini iyileştirmek ve toprağı korumakla kalmaz aynı zamanda yabancı otların baskılanmasını da sağlar (Luna ve ark., 2012).

Kimyasal yöntemlerle örtü bitkilerinin sonlandırılmasında, sentetik herbisitler kullanılır. Ancak organik tarımda, sentetik kimyasal kullanımı yasaktır.

3. SONUÇ

Sonuç olarak organik tarımda; tohumların canlı veya ölü örtü bitkisi malç tabakasına ekilmeleri, ekim nöbeti yapılması ve toprak işleme yoğunluğunun azaltılması önerilmektedir. Organik tarımda uygulanan koruyucu toprak işleme teknikleri arasında özellikle örtü bitkili toprak işlemesiz tarım tekniğı, ekolojik ve ekonomik açıdan birçok üstünlük sunarak ön plana çıkmaktadır. Bitkisel üretimde organik tarımın uygulanması ve bu koşulda örtü bitkili toprak işlemesiz tarımdan yararlanılması, toprağın biyolojik aktivitesini artırarak uzun dönemde verimliliğın korunmasına katkı sağlar. Aynı zamanda doğal kaynakların

sürdürülebilir kullanımına olanak sağlayarak kimyasal gübre ve bitki koruma ilaçlarına duyulan gereksinimi azaltır. Çevreye zarar vermeden sürdürülebilir tarım yapılmasını sağlar. Bu yöntem; erozyonu önleme, toprak sıkışmasını azaltma, toprak nem içeriğini koruma, organik madde içeriğini artırma ve toprak yapısını iyileştirme gibi çevre ve toprak yönünden önemli üstünlükler sunmaktadır. Ayrıca, toprak işlemez tarımın organik tarımda yaygınlaştırılması sayesinde girdi maliyetleri düşürüldüğünden ekonomik olarak da önemli kazanımlar elde edilecektir. Sağlıklı ve kaliteli ürün elde etmeye olanak tanıyan bu yöntem, tüketicilere daha güvenilir gıda sunulmasını desteklerken, tarımsal üretimde iklim değişikliğine dayanıklılığı artırma potansiyeline de sahiptir. Örtü bitkili toprak işlemez tarımın organik tarımla bütünleşerek yaygınlaştırılmasının hem çevre hem de ekonomik açıdan sürdürülebilir tarıma önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- AKC (2019). Organic Crop Production Soil Conservation Practices. Organic Crops, Government of Saskatchewan, Agriculture Knowledge Centre.
- Chandran, C. S., Thomas, S., & Unni, M. R. (Eds.). (2019). *Organic Farming: New Advances Towards Sustainable Agricultural Systems*. Springer.
- Canali, S., Diacono, M., Montemurro, F., & Delate, K. (2017). Enhancing multifunctional benefits of living mulch in organic vegetable cropping systems. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 32(3), 197-199.
- Carof, M., De Tourdonnet, S., Saulas, P., Le Floch, D., & Roger-Estrade, J. (2007). Undersowing wheat with different living mulches in a no-till system. I. Yield analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 27, 347-356.
- Carr, P. M. (2017). Guest editorial: conservation tillage for organic farming. *Agriculture*, 7(3), 19.
- Dursun Gökür, İ. (2002). Yüzey artıklarıyla erozyon kontrolüne uygun toprak işleme ve ekim alet-makina setlerinin hesaplama yöntemiyle belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 8 (2): 149-156, Ankara.
- Dursun, İ. (2018). Toprak İşleme Alet ve Makinaları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayın No: 1644, Ders Kitabı: 595, Ankara: Ankara Üniversitesi Yayınları, No: 591, 584 s.
- Dursun, İ., & Dursun, E., (2017). Evaluation of Various Soil Tillage Methods in Terms of Percent Crop Residue Cover and Erosion Control. AgroSym 2017, VIII. International

- Agriculture Symposium (pp.903). Sarajevo, Bosnia And Herzegovina.
- Dursun, İ., & Dursun, E., (2018a). A New Approach to Reduce Runoff and In-Situ Water Harvesting: Reservoir Tillage Technique . International Eurasian Congress on 'Natural Nutrition and Healthy Life' 2018, Ankara, Turkey
- Dursun, İ., & Dursun, E. (2018b). Evaluation of Various Soil Tillage Methods in Terms of Percent Crop Residue Cover and Erosion Control. *Gaziosmanpasa Journal of Scientific Research*, 7(1), 69-76.
- Dursun, İ., & Dursun, E., (2019). *Cover Crop Rollers* . Hasat International Agriculture and Forest Congress, Ankara, Turkey.
- Eryılmaz, G. A., & Kılıç, O. (2018). Türkiye’de sürdürülebilir tarım ve iyi tarım uygulamaları. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(4), 624-631.
- Halde, C., (2014). Organic Rotational No-Till System Adapted for Manitoba, Canada. Faculty of Graduate Studies of The University of Manitoba, Doctorate of Philosophy, 229 s.
- Jarvis, P. E., & Woolford, A. E. (2017). Economic and ecological benefits of reduced tillage in the UK. *Frank Parkinson Agricultural Trust, Game & Wildlife Conservation Trust*, 1-13.
- Kay, B. D., & VandenBygaart, A. J. (2002). Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil and Tillage Research*, 66(2), 107-118.
- Kuepper, G. (2001). Pursuing Conservation Tillage Systems for Organic Crop Production. Organic Matters. ATTRAA’s Organic Matters Series. ATTRAA’s Organic Matters/Conservation Tillage for Organic Crop Production, USDA.

- Kuşat, N. (2013). Yeşil sürdürülebilirlik için yeşil ekonomi: avantaj ve dezavantajları-Türkiye incelemesi. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 8(29), 4896-4916.
- Licht, M. A., & Al-Kaisi, M. (2005). Strip-tillage effect on seedbed soil temperature and other soil physical properties. *Soil and Tillage research*, 80(1-2), 233-249.
- Luna, J. M., Mitchell, J. P., & Shrestha, A. (2012). Conservation tillage for organic agriculture: Evolution toward hybrid systems in the western USA. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 27(1), 21-30.
- Mitchell, J. P., Pettygrove, G. S., & Upadhyaya, S. (2009). Classification of Conservation Tillage Practices in California Irrigated Row Crop Systems. UC ANR Publication 8364, 8 p., Oakland.
- Morris, N. L., Miller, P. C. H., Orson, J. H., & Froud-Williams, R. J. (2010). The adoption of non-inversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment—A review. *Soil and Tillage Research*, 108(1-2), 1-15.
- Murrel, S., 2012. Defining Tillage Systems. Efficient Fertilizer Use Tillage and Fertilizer, default/files/reference_attachments/MURRELL%20ny %20 Tillage%20Systems.pdf, Erişim Tarihi: 01.07.2014.
- RI, 2011. Cover crops and no-till management for organic systems. Rodale Institute, 20636.
- Sandretto, C. & Payne, J. (2006). Soil Management and Conservation. In: Agricultural Resources and Environmental Indicators. 2006 Edition/EIB-16. Wiebe K. Gollehon, N. 8eds), Economic Research Service/USDA, 101-103.

- Sorensen, C. & Nielsen, V. (2005). Operational analyses and model comparison of machinery systems for reduced tillage. *Biosystems Engineering*, 92 (2): 143-155.
- Tebrügge, F., & Düring, R. A. (1999). Reducing tillage intensity—a review of results from a long-term study in Germany. *Soil and tillage research*, 53(1), 15-28.
- Turhan, Ş. (2005). Tarımda sürdürülebilirlik ve organik tarım. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 11(1 ve 2), 13-24.
- West, T. O., & Marland, G. (2002). A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 91(1-3), 217-232.
- Vincent-Caboud, L., Peigné, J., Casagrande, M., & Silva, E. M. (2017). Overview of organic cover crop-based no-tillage technique in Europe: Farmers' practices and research challenges. *Agriculture*, 7(5), 42.
- Yılmaz, Ö. ve Yücel, G. E. 2017. Sürdürülebilir kalkınma sürecinde Türkiye' nin tarımda yaşadığı dönüşüm. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(1):179-199.
- Zikeli, S., & Gruber, S. (2017). Reduced tillage and no-till in organic farming systems, Germany-Status quo, potentials and challenges. *Agriculture*, 7(4), 35.

BÖLÜM 7

FARKLI TOPRAK İŞLEME YÖNTEMLERİNİN RÜZGÂR EROZYONU SONUCUNDA OLUŞAN TOPRAK KAYIPLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Prof. Dr. İlknur DURSUN¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15028332>

¹ Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri
Mühendisliği Bölümü, Ankara, TÜRKİYE, dursun@agri.ankara.edu.tr, ORCID ID:
0000-0002-1957-718X

1. GİRİŞ

Toprak erozyonu, toprağın ve suyun korunması yönünden oldukça önemli bir sorundur. Yüzey akışları, rüzgar, eğim, iklim koşulları, anız yakma, arazi açma ve hayvaların aşırı otlatılması gibi faktörler erozyona yol açarlar. Bu faktörlerden birisi de erozyon sorunu olan yerlerdeki koşullara uygun olmayacak şekilde yapılan hatalı toprak işleme uygulamalarıdır. Toprağın yoğun olarak işlenmesi, erozyona ve toprak nem kaybına neden olmaktadır. Özellikle toprağı alt üst etme yeteneğı yükske olan tipteki kulaklı pullukların aynı tarlada birkaç yıl üst üste kullanılmaları ya da toprağın aşırı derecede parçalanması erozyona uygun bir ortamın oluşmasına yol açar. Çünkü toprak koruyucu örtüden yoksundur.

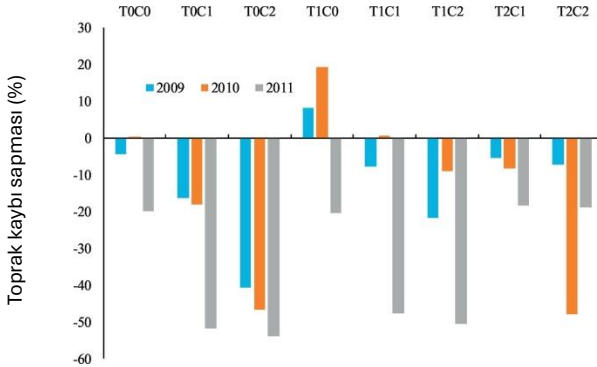
Bitki yüzey artığı, örtü bitkisi, odun yongası gibi organik malçlar ile şeffaf plastik, sentetik liftten üretilen kumaş örtü ve kırma taş gibi inorganik malçlar, toprak yüzeyini örterek toprağın erozyona ve nem kaybına karşı korunmasında çok etkilidirler (Smets ve ark., 2008; Kavian ve ark., 2018). Erozyonun ve toprak nem kaybının önlenmesi için geleneksel toprak işlemeye alternatif olarak maçlı toprak işleme, şeritsel toprak işleme ve toprak işlemesiz tarım gibi çeşitli toprak işleme yöntemleri geliştirilmiştir. Toprak ve suyu korumaya yönelik toprak işleme yöntemlerinde, toprak işleme ve ekimden sonra toprak yüzeyinin % 30 ve daha fazla düzeyde ($\geq$ % 30) bitki yüzey artıklarıyla kaplanması gerekir (CTIC, 1990; Zheng ve ark., 2014; Dursun, 2018). Toprak yüzeyindeki koruyucu örtü ya da malç, hem erozyonun hem de nem kaybının önlenmesini sağlar (Dursun, İ. & Dursun, E. 2018; Hayes, 2018).

Dünyada her yıl 35.9×10^9 t toprak su erozyonuna, 58.3×10^9 t toprak ise rüzgâr erozyonuna maruz kalmaktadır (Borrelli ve ark., 2017; Yang ve ark., 2022; Han ve ark., 2023). Ortalama olarak sürüm derinliğinde ya da 0-20 cm derinlikteki verimli toprak tabakasının erozyonla aşınıp taşınmasının, hem toprağa hem bitkilere hem de çevreye birçok zararı vardır. Bunların başlıcaları; bitki besin maddelerinin taşınması, kimyasal gübre ve pestisitlerin sulama sularına karışması, su kalitesinin azalması, toprak strüktürünün bozulması, topraktaki canlıların zarar görmesi, topraktaki suyun buharlaşarak kaybolması ve ürün veriminin azalmasıdır. Bitkisel üretimde tarlada bulunan önceki ürünün hasadından sonra ve yeni ticari bitkinin toprak işlenmesi ile ekiminden sonra, toprak yüzeyindeki bitki yüzey artığı kaplama yüzdesinin önemi oldukça fazladır (Streck ve ark., 2002; Nearing ve ark., 2005; Dursun, 2012; Spalevic ve ark., 2017; Dursun, 2018; Kavian ve ark., 2019; Langdale ve ark., 2018).

McCool ve ark. (1995) tarafından su erozyonunun neden olduğu toprak kaybı oranının bitki yüzey artığı kaplama yüzdesinin % 10 olması koşulunda 0.64, % 20 olması koşulunda 0.37, % 60 olması koşulunda <0.1 olduğu bildirilmiştir. Rüzgâr erozyonunun neden olduğu toprak kaybı oranının ise bitki yüzey artığı kaplama yüzdesinin % 10 olması koşulunda 0.84, % 20 olması koşulunda 0.47, % 60 olması koşulunda <0.1 olduğu belirtilmiştir. Bu değerlere göre bitki yüzey artığı kaplama yüzdesinin sırasıyla % 10' dan % 20' ye, % 20' den % 60' a ve % 10' dan % 60' a çıkması halinde su erozyonun neden olduğu toprak kayıpları sırasıyla % 42, % 73 ve % 84 düzeyinde azalmaktadır. Benzer şekilde bitki yüzey artığı kaplama yüzdesinin sırasıyla % 10' dan % 20' ye, % 20' den % 60' a ve

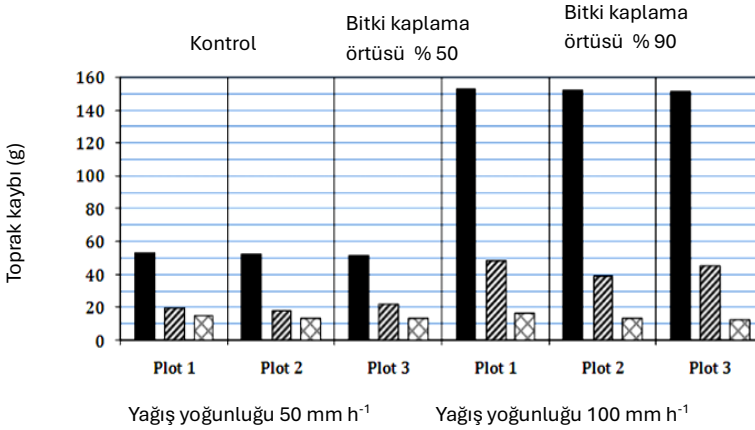
% 10' dan % 60' a çıkması halinde ise rüzgâr erozyonunun neden olduğu toprak kaybı oranları sırasıyla % 44, % 79 ve % 88 düzeyinde azalmaktadır.

Adimassu ve ark. (2019) tarafından, Şekil 1' de görüldüğü gibi ilk dört toprak işleme ve malç yönteminden (T0C0, T0C1, T0C2 ve T1C0) elde edilen toprak kaybındaki pozitif sapmaların, bitki yüzey artışı örtüsünün olmamasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Bu koşulda, toprak işlemez tarım ile minimum toprak işleme yöntemleri dahi toprak kaybını azaltmada yeterli düzeyde etkili değildir. Ancak, ikinci dört toprak işleme ve malç yönteminden (T1C1, T1C2, T2C1, T2C2) elde ettikleri negatif yöndeki toprak kaybı sapmaları ise bitki yüzey artışı örtüsünün toprak kaybını azaltmada kritik bir rol oynadığını ifade etmektedir. Bunun başlıca nedeni; bitki artışı yüzey artışı yoğunluğu arttıkça, infiltrasyonun artması ve buna bağlı olarak yüzey akışının dolayısıyla toprak parçacıklarının ayrışma ve taşınmalarının azalmasıdır (Temesgen ve ark., 2008; Guzha, 2004; Adimassu ve ark., 2019).



Şekil 1. 2009-2011 yılları arasındaki toprak kayıplarındaki sapmalar (%) (T0= Toprak işlemez tarım, T1 = Minimum toprak işleme, T2 = Geleneksel toprak işleme, C0 = Kontrol (Bitki yüzey artıksız), C1 = 1 t ha⁻¹yıl⁻¹ bitki yüzey artışı, C2 = 2 t ha⁻¹yıl⁻¹ bitki yüzey artışı) (Adimassu ve ark., 2019).

Kavian ve ark. (2018) tarafından laboratuvar koşullarında yapılan bir araştırma; 50 mm h⁻¹ ve 100 mm h⁻¹ saatlik yağış yoğunluklarında, çıplak toprak koşulundaki (kontrol) toprak kaybının, bitki yüzey artığı kaplama yüzdesi % 50 ve % 90 olan tarla koşulundaki toprak kaybindan daha fazla olduğu şeklinde sonuçlanmıştır. Şekil 2’ den anlaşılabacağı gibi kontrol grubundan elde edilen toprak kayıpları, tüm koşullarda diğerlerindeki toprak kayıplarından daha fazladır. Ancak saatlik yağış yoğunluğunun 100 mm h⁻¹ olduğu koşuldaki toprak kayıpları, kontrol grubu ile bitki yüzey artığı kaplama yüzdesinin % 50 olduğu koşuldaki toprak kayıplarından daha fazladır. Buna göre saatlik yağış miktarının 50 mm h⁻¹’ den ve 100 mm h⁻¹’ e çıkması halinde, bitki yüzey artığı kaplama yüzdesinin % 50’ den % 90’ a çıkması durumunda dahi toprak kayıpları artmaktadır. Bitki yüzey artığı kaplama yüzdesinin % 90 olduğu koşuldaki toprak kayıpları, 50 mm h⁻¹ ile 100 mm h⁻¹’ lik saatlik yağış miktarlarında benzer değerdedir.



Şekil 2. Çıplak toprak koşulu (kontrol grubu) ile bitki yüzey artığı kaplama yüzdesi % 50 ve % 90 olan buğdayın yüzey artıklarıyla kaplı toprak koşullarında, farklı saatlik yağış yoğunluğuna göre toprak kaybı (g) değişimi (Kavian ve ark., 2018).

Önceki ürünün hasadından sonra toprak yüzeyinde kalan bitki yüzey artıklarının toprak işleme ve ekimden sonra önemli bir kısmının toprak yüzeyinde bırakılması, su ve rüzgâr erozyonunun önlenmesinin pratik, düşük maliyetli ve doğa dostu

en etkili yöntemdir (Dursun ve ark., 2017). Shelton ve ark. (1995), ABD’ de yaptıkları araştırma sonucunda, toprak yüzeyinin sadece % 20’ sinin bitki yüzey artıklarıyla kaplı olmasının, yağmur ve akarsulardan kaynaklanan su erozyonunun, artık bırakılmayan çıplak toprak koşuluna göre yaklaşık % 50 düzeyinde azalttığını açıklamıştır. Erozyonun önlenmesi ve toprak kayıplarının azaltılması için toprak işleme ve ekimden sonra toprak yüzeyinde bulunan bitki yüzeyi artığı kaplama yüzdesinin genel olarak %20-65 arasında değişmesi önerilmektedir (Shelton ve ark., 1995). Erozyonun önlenmesi için gereken bitki yüzeyi artığı kaplama yüzdesi, su erozyonu olan düz tarlalarda % 12-20 arasında değişirken daha dik ve uzun eğimli tarlalarda ise en az % 50-60 arasında değişmektedir (Al-Kaisi, 2002).

Bu çalışmada; mısır ve soyanın yüzey artıklarıyla kaplı olan tarlalarda, 5 farklı toprak işleme ve ekim yöntemiyle çalışmaların ardından bitki yüzeyi kaplama yüzdelere bağlı olarak rüzgâr erozyonu sonucunda oluşan toprak kaybı oranlarının tahmin edilmesi ve bu değerlere göre seçilen yöntemlerin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada; orta ağır toprak tip, önceki ürünü mısır ve soya olan iki tarla koşulu dikkate alınmıştır. Mısır ve soyanın seçilmesinin başlıca nedeni, mısırın yüzey artıklarının esnek ve zor parçalanabilir yapıda olması, soyanın yüzey artıklarının ise gevrek ve kolayca parçalanabilir yapıda olmasıdır.

Erozyonun neden olduğu toprak kaybı üzerinde toprak işlemeden önce tarlada yüzey artığı bulunan bitki çeşidi, bitki yüzey artıklarının yapıları, dik veya yatık oluşları, birim alan

başına düşen artık miktarı gibi faktörler etkilidir. Toprak işlemeden önce ve sonra tarlada kalan bitki yüzey artığı miktarı üzerinde ise önceki bitki çeşidi, bitki yüzey artıklarının parçalanmış olup olmadıkları, hasattan sonra hayvanların otlatılma düzeyi, uygulanan toprak işleme ve ekim yöntemleri, toprağın nem içeriği ve iklim koşulları etki etmektedir (Al-Kaisi, 2002). Önceki bitkinin ya da ticari bitkinin ürün verimi arttıkça, hasattan sonra toprak yüzeyinde kalan bitki yüzey artığı miktarı da artar (Anonymous, 2015; Reddy ve ark., 2003). Bu nedenle, ürün verimi yüksek olan bitkilerin erozyona karşı koruyucu etkileri daha yüksektir (Dickey ve ark., 1981; Dickey & Havlin, 1985).

Toprak işlemeden önceki bitki yüzey artığı kaplama yüzdesi; ürün verimi 4035-8070 kg ha⁻¹ olan danelik mısırdaki % 80, ürün verimi 8070 -13450 kg ha⁻¹ olan danelik mısırdaki % 95, silajlık mısırdaki % 15 ve soyada ise % 70’ dir (Al-Kaisi, 2002). Çalışmada, toprak işlemeden önce danelik mısırın ve soyanın bitki yüzey artıklarıyla kaplı farklı tarla koşulları değerlendirilmiştir. Bu amaçla % 10 - 90 mısırın yüzey artıklarıyla kaplı olan 9 farklı tarla koşulu ile % 10-70 soyanın yüzey artıklarıyla kaplı 7 farklı tarla koşulu seçilmiştir. Her bir aralık 10’ ar kademe olacak şekilde belirlenmiştir.

Toprak işlemeden önceki bitki yüzey artığı kaplama yüzdelere (FC) karşı gelen birim alana düşen bitki yüzey artığı miktarı (M) aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır:

$$FC = 1 - e^{(-A_c \cdot M)} \quad (1)$$

Burada;

FC : Toprak işlemeden önceki bitki yüzey artığı kaplama yüzdesi (%),

A_c : Bitki yüzey artığı başına düşen alan ($ha\ kg^{-1}$),

M : Bitki yüzey artığı miktarı ($kg\ ha^{-1}$)' dır (Gregory, 1982).

Eşitlik 1' de verilen bitki yüzey artığı miktarı başına düşen alan (A_c), mısır için $0.00040\ ha\ kg^{-1}$, soya için ise $0.00072\ ha\ kg^{-1}$ alınmıştır (Sloneker ve Moldenhauer, 1977; Wischmeier ve Smith, 1978; Gregory, 1982).

Tablo 1' de, seçilen 5 farklı toprak işleme ve ekim yöntemi ile bu yöntemlerde kullanılan ekipmanlar verilmiştir. Kulaklı pulluğun iş derinliği $\geq 20\ cm$ 'dir. Diskli tırmık, çift etkili tip olup ikincil toprak işlemeye uygundur. Çizelin uç demiri, uzun kanatlı kazayağı tiptedir. Birincil toprak işlemede kullanılan rototillerin iş derinliği $15\ cm$ ' dir. Tahıl ekim makinası, çift diskli gömücü ayaklara sahiptir. Doğrudan ekim makinasının düz keski demirleri bulunmaktadır.

Tablo 1. Seçilen toprak işleme ve ekim yöntemleri

Yöntem	Kullanılan Ekipmanlar
Yöntem 1	Kulaklı pulluk + Diskli tırmık (2 kez) + Sürgü + Tahıl ekim makinası
Yöntem 2	Çizel + Sürgü + Tahıl ekim makinası
Yöntem 3	Rototiller + Sürgü + Tahıl ekim makinası,
Yöntem 4	Parabolik pulluk + Doğrudan ekim makinası
Yöntem 5	Doğrudan ekim makinası

Toprak işleme ve ekimden sonra toprak yüzeyinde kalan bitki yüzey artığı kaplama yüzdesi (SC), hesaplama yöntemiyle tahmin edilmiştir Hesaplama yöntemi, toprak işlemeden önce tarla yüzeyindeki bitki yüzey artığı kaplama yüzdesi (FC) ile kullanılan her bir ekipmanla çalışmadan sonraki bitki yüzey artığı kaplama oranlarının (RRO) çarpılması esasına dayanmaktadır (Hickman ve Schoenberger, 1989; Shelton ve ark., 1995; Dursun Göknur, 2002; Al-Kaisi ve Hanna, 2009). Toprak işleme ve ekimden sonra toprak yüzeyinde kalan bitki yüzey artığı kaplama yüzdesi (SC), aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır:

$$SC = FC \cdot RRO \quad (2)$$

Burada;

SC : Toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artığı kaplama yüzdesi (%),

FC : Toprak işlemeden önceki bitki yüzey artığı kaplama yüzdesi (%),

RRO : Her bir ekipmanla çalışmadan sonra toprak yüzeyinde kalan bitki yüzey artığı kaplama oranı (ondalık)' dır.

Al-Kaisi (2002) tarafından, her bir ekipmanla toprak işlemeden sonra toprak yüzeyinde kalan bitki yüzey artığı kaplama oranlarının (RRO); ekipman tipi, işletme koşulları ve yüzey artıklarının kırılğan olup olmamaları gibi faktörlere göre belirlendiği açıklanmıştır. Mısır, gevrek olmayan yüzey artıklarıyla, soya ise gevrek yüzey artıklarıyla karakterizedir (Anonymous, 1992). Tablo 1' de verilen ekipmanlara ilişkin RRO değerleri, aşağıda açıklanan kriterler dikkate alınarak belirlenmiştir:

- Kulaklı pulluğun iş derinliği ≥ 20 cm olduğundan mısırdaki toprak işlemeden sonra toprak yüzeyinde kalan bitki yüzey artığı kaplama oranı (RRO) 0-0.10, soyada ise % 0-0.05' dir. RRO mısırdaki 0.10, soyada ise 0.05 olarak seçilmiştir.
- Diskli tırmık, çift etkili tip olup ikincil toprak işlemeye uygundur. Bu nedenle mısır için RRO 0.40-0.70, soya için ise 0.25-0.40' dır. RRO, mısırdaki 0.70, soyada ise 0.40 alınmıştır.
- Çizelin uç demiri, uzun kanatlı kazayağı tiptir. Buna göre RRO mısırdaki 0.70-0.85, soyada ise 0.30-0.50' dir. RRO, mısır için 0.85, soya için ise 0.60 olarak seçilmiştir.
- Birincil toprak işlemede kullanılan rototillerin iş derinliği, 15 cm' dir. Bu koşulda rototiller için RRO mısırdaki 0.15-0.35, soyada ise 0.05-0.15' dir. Mısır için RRO 0.35, soya için ise 0.15 olarak alınmıştır.
- Parabolik pullukta mısırdaki RRO 0.70-0.90, soyada ise 0.60-0.85' dir. Buna göre mısırdaki RRO 0.90, soyada RRO 0.85 olarak seçilmiştir.
- Sürgüyle çalışmada mısırdaki RRO 0.50-0.70, soyada ise 0.30-0.50' dir. Buna bağlı olarak mısır için RRO 0.70, soya için ise 0.50 alınmıştır.
- Tahıl ekim makinası, çift diskli gömücü ayaklara sahip olduğundan mısırdaki RRO 0.85-0.95, soyada ise 0.75-

0.85' dir. Mısır için RRO 0.95, soya için ise 0.80 olarak seçilmiştir.

- Doğrudan ekim makinasının düz keski demirleri vardır. Bu koşulda mısırdan RRO 0.85-0.95, soyada ise 0.70-0.85' dir. RRO, mısır için 0.95, soya için ise 0.85 alınmıştır.

Kullanılması öngörülen ekipmanlara ilişkin olarak seçilen, toprak işleme veya ekimden sonra toprak yüzeyinde kalan bitki yüzey artığı kaplama oranları (RRO), Tablo 2' de verilmiştir. Tablo 2' den anlaşılabacağı gibi toprak işlemeden sonra bitki yüzey artıklarını en fazla gömen ekipman, kulaklı pulluktur. Kulaklı pulluktan sonra rototiller yüzey artıklarını diğerlerine göre oldukça yüksek oranda toprağın işleme derinliğine karıştırmaktadır. Parabolik pulluk, diğer toprak işleme ekipmanlarına göre çok daha yüksek oranda bitki yüzey artıklarını toprak yüzeyinde bırakmaktadır. Bu sonuç üzerinde parabolik pulluğun toprak işlemez tarım ya da doğrudan ekime uygun olarak tasarlanmasının etkili olduğu düşünülmektedir (Dursun, 2018).

Tablo 2. Toprak işleme veya ekimden sonra toprak yüzeyinde kalan bitki yüzey artığı kaplama oranlarına ilişkin seçilen değerler (RRO)

Ekipman	RRO (Ondalık)	
	Mısır	Soya
Kulaklı pulluk	0.10	0.05
Çizel	0.85	0.60
Rototiller	0.35	0.15
Parabolik pulluk	0.90	0.85
Diskli tırmık	0.70	0.40
Sürgü	0.70	0.50
Tahıl ekim makinası	0.95	0.80
Doğrudan ekim makinası	0.95	0.85

Toprak kaybı oranı (SLR) aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır (Laflen ve Colvin, 1981; Fryrear, 1985):

$$SLR = SLCS / SLS \quad (3)$$

Burada;

SLR : Toprak kaybı oranı (ondalık),

SLCS : Malçla kaplı toprak yüzeyindeki toprak kaybı (ondalık),

SLS : Düz ve çıplak toprak yüzeyindeki toprak kaybı (ondalık)' dır.

Rüzgâr erozyonu sebebiyle oluşan toprak kaybı oranının tahmin edilebilmesi için iki farklı eşitlikten yararlanılmıştır. Bunlardan birincisi Fryrear (1985), ikincisi ise Reeder (2000) tarafından geliştirilmiştir. Her iki eşitlik, toprak işleme ve ekimden sonra toprak yüzeyinde kalan bitki yüzey artığı kaplama yüzdesine göre toprak kaybı oranının tahmin edilmesi ilkesine dayanmaktadır. Fryrear (1985) tarafından geliştirilen birinci tahmin eşitliği için toprak kaybı oranı ile bitki yüzey artığı kaplama yüzdesi arasındaki ilişkiye ait korelasyon katsayısı (r) ve tahminin standart hatası (SE), $r \pm SE = -0.94 \pm 0.50$ ' dir. Bu eşitlik birçok faktör göz önünde bulundurularak geliştirilmiştir. Reeder (2000) tarafından geliştirilen ikinci eşitlik ise bir grafik üzerinden online olarak toprak kaybı oranının tahmin edilmesi esasına dayanmaktadır. İkinci tahmin eşitliğinin korelasyon katsayısı (r) - 1' dir. Hesaplamalarda kullanılan birinci ve ikinci tahmin eşitlikleri aşağıda verilmiştir:

$$SLR = (1.81) \cdot e^{(-0.072) \cdot SC} \quad (4)$$

$$SLR = (1.0001) \cdot e^{(-0.043) \cdot SC} \quad (5)$$

Eşitliklerde;

SLR : Toprak kaybı oranı (ondalık),

SC :Toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artığı kaplama yüzdesi (%)’ dir.

Çalışmada, online istatistik hesaplayıcıları kullanılarak birinci ve ikinci tahmin eşitliklerinden bulunan toprak kaybı oranları arasındaki ilişkilere ait Pearson korelasyon katsayıları, tahminin standart hatası ve P değerleri hesaplanmıştır (Lowry, 2018; Stangroom, 2018). Yöntem 1’ e göre Yöntem 2-5’ in toprak kaybı oranlarındaki azalma miktarları hesaplanarak yöntemler karşılaştırılmıştır.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1.Toprak İşlemeden Önceki Bitki Yüzey Artığı Miktarlarına İlişkin Sonuçlar

Tablo 3’ te mısır yüzey artıklı, Tablo 4’ te ise soya yüzey artıklı koşullarda toprak işlemeden önceki olası bitki yüzey artığı kaplama yüzdelere (FC) göre 1 numaralı eşitlikten hesaplanan bitki yüzey artığı miktarlarına (M) ilişkin sonuçlar verilmiştir.

Tablo 3. Mısır yüzey artığında toprak işlemeden önceki bitki yüzey artığı kaplama yüzdelere (FC) göre hesaplanan bitki yüzey artığı miktarları (M) (kg ha⁻¹)

FC (%)	M (kg ha ⁻¹)
10	263.50
20	557.75
30	891.75
40	1277.00
50	1732.75
60	2290.75
70	3009.75
80	4023.50
90	5756.50

Tablo 4. Soya yüzey artığında toprak işlemeden önceki bitki yüzey artığı kaplama yüzdelere (FC) göre hesaplanan bitki yüzey artığı miktarları (M) (kg ha⁻¹)

FC (%)	M (kg ha ⁻¹)
10	146.39
20	310.14
30	495.21
40	709.72
50	962.64
60	1272.36
70	1672.71

Tablo 3 ve Tablo 4’ ten anlaşılacağı gibi eşdeğer bitki yüzey artığı kaplama yüzdesinin elde edilebilmesi için önceki

ürünü mısır olan tarlaya göre önceki ürünü soya olan tarlada toprak yüzeyinde daha fazla yüzey artığının bırakılması gerekmektedir. Örneğin; toprak işlemeden önceki bitki yüzey artığı kaplama yüzdesinin % 50 olması koşulunda; mısırdaki toprak yüzeyinde $1732.75 \text{ kg ha}^{-1}$, soyada ise $962.64 \text{ kg ha}^{-1}$ yüzey artığı bırakılmalıdır. Bu durum, soya yüzey artıklarının toprak yüzeyini daha iyi kaplamasından kaynaklanmaktadır. Önceki üründen sonra toprak yüzeyinde kalan bitki yüzey artığı miktarı, ürün verimiyle de ilişkilidir. Ürün verimi arttıkça yüzey artığı miktarı artmaktadır. Koruyucu toprak işlemede önceki ürünün ürün veriminin yüksek olması, toprak kaybının azaltılması yönünden önemlidir (Dursun, 2017).

Krall ve ark. (1986), toprak tipine göre rüzgâr erozyonunun önlenmesi için toprak yüzeyinde bırakılması gereken en düşük bitki yüzey artığı miktarının kumlu topraklarda 1680 kg ha^{-1} , siltli ve siltli killi humuslu topraklarda ise 672 kg ha^{-1} olması gerektiğini belirtmiştir. Tablo 3 ve Tablo 4' den anlaşılacağı gibi orta ağır toprak koşulunda önceki ürünü mısır olan koşulunda toprak işlemeden önceki bitki yüzey artığı miktarı $557.75 \text{ kg ha}^{-1}$ ve altında olan % 10-20' lik bitki yüzey artığı kaplama yüzdeleri ile önceki ürünü soya olan koşulda ise toprak işlemeden önceki bitki yüzey artığı miktarı $495.21 \text{ kg ha}^{-1}$ ve altında olan % 10-30' luk bitki yüzey artığı kaplama yüzdeleri rüzgâr erozyonunun önlenmesi yönünden yetersizdir. Rüzgâr erozyonunun önlenmesi için hafif toprak koşulunda, orta ağır toprak koşuluna göre toprak yüzeyinde daha fazla bitki yüzey artığının bırakılması gerekir. Buna göre önceki ürünü mısır olan hafif toprak koşulunda, toprak işlemeden önceki bitki yüzey artığı miktarları 1277 kg ha^{-1} ve altında olan % 10-40' lık bitki yüzey artığı kaplama yüzdeleri rüzgâr erozyonunun

önlenmesi yönünden yetersizdir. Önceki ürünü soya olan hafif toprak koşulunda ise toprak işlemeden önceki tüm bitki yüzey artığı miktarları $672.71 \text{ kg ha}^{-1}$ ve altında olduğundan tüm yüzey artığı kaplama yüzdeleri rüzgâr erozyonunun önlenmesi yönünden yeterli değildir. Çalışmada, toprak tipinin orta ağır olması kabullenildiğinden gerek mısır gerekse de soyanın bitki yüzey artıklarında belirtilen koşullar, rüzgâr erozyonunun önlenmesi yönünden yeterlidir. Bu değerler, mısır için % 30-90, soya için ise % 40-70' dir.

3.2. Mısırdaki Toprak İşleme ve Ekimden Sonraki Bitki Yüzey Artığı Kapsama Yüzdeleri ve Toprak Kaybı Oranlarına İlişkin Sonuçlar

Tablo 5-Tablo 9' da, önceki ürünü mısır olan ve toprak işlemeden önceki bitki yüzey artığı yüzdesi (FC) % 10-90 arasında değişen koşullara göre yapılan hesaplamalar sonucunda bulunan toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artığı kaplama yüzdeleri (SC), toprak kaybı oranları, 1. ve 2. tahmin eşitliklerinden bulunan toprak kayıpları arasındaki ilişkilere ait Pearson korelasyon katsayıları (r), tahminin standart hatası (SE) ve korelasyon katsayısının P değerleri verilmiştir.

Tablo 5. Yöntem 1 için önceki ürünü mısırdaki olan tarlada toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artışı kaplama yüzdeleri (SC) ile tahmin edilen toprak kaybı oranları*

FC (%)	SC (%)	Toprak Kaybı Oranı (Ondalık)	
		1. Tahmin Eşitliğinden	2. Tahmin Eşitliğinden
10	0.46	1.75	0.98
20	0.93	1.69	0.96
30	1.40	1.64	0.94
40	1.86	1.58	0.92
50	2.33	1.53	0.90
60	2.79	1.48	0.89
70	3.26	1.43	0.87
80	3.72	1.38	0.85
90	4.19	1.34	0.83
$r \pm SE = 0.9982 \pm 0.032, (P<0.01)$			

* Pearson korelasyon katsayısı (r) ve tahminin standart hatası (SE)

Tablo 6. Yöntem 2 için önceki ürünü mısırdaki olan tarlada toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artışı kaplama yüzdeleri (SC) ile tahmin edilen toprak kaybı oranları

FC (%)	SC (%)	Toprak Kaybı Oranı (Ondalık)	
		1. Tahmin Eşitliğinden	2. Tahmin Eşitliğinden
10	8.08	1.01	0.71
20	16.15	0.56	0.50
30	24.20	0.32	0.35
40	32.30	0.18	0.25
50	40.38	0.09	0.18
60	48.45	0.06	0.12
70	56.52	0.03	0.09
80	64.60	0.02	0.06
90	72.68	0.01	0.04
$r \pm SE = 0.9824 \pm 0.0453, (P<0.01)$			

Tablo 7. Yöntem 3 için önceki ürünü mısırdaki olan tarlada toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artışı kaplama yüzdeleri (SC) ile tahmin edilen toprak kaybı oranları

FC (%)	SC (%)	Toprak Kaybı Oranı (Ondalık)	
		1. Tahmin Eşitliğinden	2. Tahmin Eşitliğinden
10	2.33	1.53	0.90
20	4.66	1.29	0.82
30	6.98	1.09	0.74
40	9.31	0.92	0.67
50	11.64	0.78	0.61
60	13.96	0.66	0.55
70	16.29	0.56	0.50
80	18.62	0.47	0.45
90	20.95	0.40	0.41
$r \pm SE = 0.9966 \pm 0.0148, (P<0.01)$			

Tablo 8. Yöntem 4 için önceki ürünü mısırdaki olan tarlada toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artışı kaplama yüzdeleri (SC) ile tahmin edilen toprak kaybı oranları

FC (%)	SC (%)	Toprak Kaybı Oranı (Ondalık)	
		1. Tahmin Eşitliğinden	2. Tahmin Eşitliğinden
10	8.55	0.978	0.69
20	17.10	0.528	0.48
30	25.65	0.286	0.33
40	34.20	0.154	0.23
50	42.75	0.083	0.16
60	51.30	0.045	0.11
70	59.85	0.024	0.08
80	68.40	0.013	0.05
90	76.95	0.007	0.04
$r \pm SE = 0.982 \pm 0.0448, (P<0.01)$			

Tablo 9. Yöntem 5 için önceki ürünü mısırdaki olan tarlada toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artışı kaplama yüzdeleri (SC) ile tahmin edilen toprak kaybı oranları

FC (%)	SC (%)	Toprak Kaybı Oranı (Ondalık)	
		1. Tahmin Eşitliğinden	2. Tahmin Eşitliğinden
10	9.50	0.913	0.66
20	19.00	0.461	0.44
30	28.50	0.232	0.29
40	38.00	0.117	0.20
50	47.50	0.059	0.13
60	57.00	0.030	0.09
70	66.50	0.015	0.06
80	76.00	0.008	0.04
90	85.50	0.004	0.02
$r \pm SE = 0.9795 \text{ ve } \pm 0.0463, (P<0.01)$			

Önceki ürünü mısır olan tarla koşulunda incelenen tüm yöntemler için 1. ve 2. tahmin eşitliğinden bulunan toprak kaybı oranları arasında çok yüksek korelasyon (r) (0.9795-0.9982) olduğu bulunmuştur (Tablo 5-9). Buna göre toprak kaybı oranının tahmin edilmesinde her iki tahmin eşitliğinden de başarıyla yararlanılabileceği anlaşılmaktadır.

Tablo 5' e göre Yöntem 1' deki tüm koşullardaki toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artışı kaplama yüzdeleri (% 0.46-4.19) % 30' un altındadır. Bu sonuç üzerinde Yöntem 1' de devirme etkisi yüksek olan kulaklı pulluğun kullanılması etkili olmuştur. Yöntem 1, geleneksel toprak işleme yöntemidir.

Tablo 6' ya göre Yöntem 2' deki yalnızca % 30 ve altındaki toprak işlemeden önceki bitki yüzey artışı kaplama yüzdelere karşı gelen toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artışı kaplama yüzdeleri (% 8.08-24.20) % 30' un altındadır. Yöntem 2 ve Yöntem 1' deki kulaklı pulluğun yerini çizel almış ve diskli tırmık çıkartılmıştır. Buna bağlı olarak

toprak işlemeden sonraki bitki yüzey artışı % 30' un üzerinde olan koşulları koruyucu toprak işlemeye uygundur. Bu yöntemde malçlı toprak işleme yapılmaktadır (Khan, 2019).

Tablo 7' den anlaşılacağı üzere Yöntem 3' deki tüm koşullardaki toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artışı kaplama yüzdeleri (% 2.33-20.95) % 30' dan daha azdır. Bu sonuç üzerinde rototillerin bitki yüzey artıklarını iş derinliği boyunca düşey düzlemede toprağa karıştırması etkili olmuştur. Rototiller ve kulaklı pulluğun toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artışı kaplama yüzdeleri (% 10 ve % 35) olarak seçilmiştir. İki ekipman arasındaki en önemli fark, kulaklı pulluğun toprak işlemeden önceki bitki yüzey artıklarını pulluk çizi tabanına gömmesi, rototillerin ise iş derinliği boyunca düşey düzlemde tekdüze olarak toprağa karıştırmasıdır.

Tablo 8' e göre Yöntem 4' teki yalnızca % 30 ve altındaki toprak işlemeden önceki bitki yüzey artışı kaplama yüzdelerine karşı gelen toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artışı kaplama yüzdeleri (% 8.55-25.65) % 30' un altındadır. Parabolik pulluğun ve doğrudan ekim makinasının kullanıldığı bu yöntem, koruyucu toprak işlemeye çok uygundur. Yöntem 4 ve Yöntem 5' ten bulunan toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artışı kaplama yüzdeleri (FC) birbirlerine oldukça yakındır (r = 0.9993).

Tablo 9' a göre Yöntem 5' deki yalnızca % 30 ve altındaki toprak işlemeden önceki bitki yüzey artışı kaplama yüzdelerine karşı gelen toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artışı kaplama yüzdeleri (% 9.50-28.50) % 30' dan daha azdır. Doğrudan ekim yöntemi, erozyonun ve nem kaybının önlenmesi

yönünden en uygun olan yöntemdir (Verhulst ve ark., 2010; Merten ve ark., 2015).

3.3. Soyada Toprak İşlemeden Sonraki Bitki Yüzey Artığı Kaplama Yüzdeleri ve Toprak Kaybı Oranlarına İlişkin Sonuçlar

Tablo 10-Tablo 14' te, önceki ürünü soya olan ve toprak işlemeden önceki bitki yüzey artığı yüzdesi (FC) % 10-70 arasında değişen koşullara göre yapılan hesaplamalar sonucunda bulunan toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artığı kaplama yüzdeleri (SC), toprak kaybı oranları, 1. ve 2. tahmin eşitliklerinden bulunan toprak kayıpları arasındaki ilişkilere ait Pearson korelasyon katsayıları (r), tahminin standart hatası (SE) ve korelasyon katsayısının P değerleri verilmiştir.

Tablo 10. Yöntem 1 için önceki ürünü soya olan tarlada toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artığı kaplama yüzdeleri (SC) ile tahmin edilen toprak kaybı oranları*

FC (%)	SC (%)	Toprak Kaybı Oranı (Ondalık)	
		1. Tahmin Eşitliğinden	2. Tahmin Eşitliğinden
10	0.06	1.80*	0.06
20	0.13	1.79	0.13
30	0.19	1.78	0.19
40	0.26	1.78	0.26
50	0.32	1.77	0.32
60	0.38	1.76	0.38
70	0.45	1.75	0.45
$r \pm SE = 0.983 \text{ ve } \pm 0.0012, (P<0.01)$			

* Pearson korelasyon katsayısı (r) ve tahminin standart hatası (SE)

Tablo 11. Yöntem 2 için önceki ürünü soya olan tarlada toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artığı kaplama yüzdeleri (SC) ile tahmin edilen toprak kaybı oranları

FC (%)	SC (%)	Toprak Kaybı Oranı (Ondalık)	
		1. Tahmin Eşitliğinden	2. Tahmin Eşitliğinden
10	4.80	1.28	0.81
20	9.60	0.91	0.66
30	14.40	0.64	0.54
40	19.20	0.45	0.44
50	24.00	0.32	0.36
60	28.80	0.23	0.29
70	33.60	0.16	0.24
$r \pm SE = 0.9935 \text{ ve } \pm 0.0258, (P<0.01)$			

Tablo 12. Yöntem 3 için önceki ürünü soya olan tarlada toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artığı kaplama yüzdeleri (SC) ile tahmin edilen toprak kaybı oranları

FC (%)	SC (%)	Toprak Kaybı Oranı (Ondalık)	
		1. Tahmin Eşitliğinden	2. Tahmin Eşitliğinden
10	0.60	1.73	0.97
20	1.20	1.66	0.95
30	1.80	1.59	0.92
40	2.40	1.52	0.90
50	3.00	1.46	0.88
60	3.60	1.40	0.86
70	4.20	1.34	0.83
$r \pm SE = 0.9976 \text{ ve } \pm 0.0037, (P<0.01)$			

Tablo 13. Yöntem 4 için önceki ürünü soya olan tarlada toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artışı kaplama yüzdeleri (SC) ile tahmin edilen toprak kaybı oranları

FC (%)	SC (%)	Toprak Kaybı Oranı (Ondalık)	
		1. Tahmin Eşitliğinden	2. Tahmin Eşitliğinden
10	7.22	1.08	0.73
20	14.45	0.64	0.54
30	21.68	0.38	0.39
40	28.90	0.22	0.29
50	36.12	0.13	0.21
60	43.35	0.08	0.16
70	50.58	0.05	0.11
$r \pm SE = 0.9873 \text{ ve } \pm 0.0384, (P<0.01)$			

Tablo 14. Yöntem 5 için önceki ürünü soya olan tarlada toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artışı kaplama yüzdeleri (SC) ile tahmin edilen toprak kaybı oranları

FC (%)	SC (%)	Toprak Kaybı Oranı (Ondalık)	
		1. Tahmin Eşitliğinden	2. Tahmin Eşitliğinden
10	8.50	0.98	0.69
20	17.00	0.53	0.48
30	25.50	0.29	0.33
40	34.00	0.16	0.23
50	42.50	0.08	0.16
60	51.00	0.05	0.11
70	59.50	0.02	0.08
$r \pm SE = 0.9877 \text{ ve } \pm 0.038, (P<0.01)$			

Önceki ürünün soya olması koşulunda, oluşturulan tüm yöntemler için 1. ve 2. tahmin eşitliklerinden bulunan toprak kaybı oranları arasında çok yüksek bir korelasyon ($r = 0.980\text{-}0.9976$) olduğu belirlenmiştir (Tablo 10-15). Buna göre, toprak kaybı oranının tahmin edilmesinde her iki tahmin eşitliği de başarıyla kullanılabilir.

Tablo 10'a göre geleneksel toprak işleme yöntemi olan Yöntem 1'deki tüm koşullarda toprak işleme ve ekim sonrası bitki yüzey artığı kaplama yüzdeleri (% 0.06-1.45) % 30' un altında kalmıştır. Bu sonuca, Yöntem 1' de toprağı devirme etkisi oldukça yüksek olan kulaklı pulluğun kullanılması etkili olmuştur.

Tablo 11'e göre Yöntem 2' de, önceki bitki yüzey artığı kaplama yüzdesi % 60 ve altındaki bitki yüzey artığı kaplama yüzdelere sahip tarlalarda, toprak işleme ve ekim sonrası bitki yüzey artığı kaplama oranı % 4.80-28.80 arasında değişmiştir. Burada çizel kullanılmıştır. Sonuç olarak, toprak işleme sonrası bitki yüzey artığı kaplama yüzdesi % 70 olan koşul, koruyucu toprak işleme için uygun hale gelmiştir. Bu yöntem, malçlı toprak işleme tekniğini içermektedir. Malçlı toprak işlemede yüzeyde daha fazla miktarda bitki artığının kalması, erozyonun ve toprak neminin korumaya yardımcı olmaktadır (Van Muysen ve ark., 2000; Barzegar ve ark., 2003). Hayes (2018) tarafından da birincisi toprak işlemez tarım, sıfır toprak işleme ya da yarığa ekim, ikincisi şeritsel toprak işleme ve üçüncüsü ise toprağın devrilmeden işlenmesi olmak üzere üç farklı temel koruyucu toprak işleme tekniğı vardır. Bunlardan üçüncü yöntem toprağın çizel, diskli aletler ve dönü hareketli makinalarla işlenmesini içermektedir.

Tablo 12' den anlaşılacağı üzere Yöntem 3' deki tüm koşullardaki toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artığı kaplama yüzdeleri (% 0.60-4.20) % 30' dan daha azdır. Bu sonuca, toprağı düşey düzlemde karıştıran rototillerin kullanılması etkili olmuştur. Hafif rotovatorle 7-8 cm' den yüzeysel toprak işleme yapılması koşulunda ise önceki ürünün mısır olması halinde toprak işlemeden sonraki bitki yüzey artığı

kaplama yüzdesi % 40-60' a, soyada ise % 20-40' a çıkmaktadır (Shelton ve ark., 1995). Rototiller ile 15 cm' den birincil toprak işleme yapılması sonuç üzerinde etkili olmuştur.

Tablo 13' e göre Yöntem 4' teki yalnızca % 40 ve altındaki toprak işlemeden önceki bitki yüzey artışı kaplama yüzdelere karşı gelen toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artışı kaplama yüzdeleri (% 7.22-28.90) % 30' un altındadır. Parabolik pulluğun ve doğrudan ekim makinasının kullanıldığı bu yöntemden bulunan toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artışı kaplama yüzdeleri değerler ile Yöntem 5' den elde edilen değerler birbirine çok yakındır ($r = 0.9999$). Erbach ve ark. (1992), yaptıkları araştırmalar sonucunda toprak işlemez tarım tekniğinde toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artışı kaplama yüzdesini ortalama % 82, parabolik pullukla çalışmada % 67, çizel kullanımında % 36 ve kulaklı pullukla çalışmada ise % 8 olarak bulmuşlardır. Parabolik pullukla toprak işleme ve toprak işlemez tarım tekniği, birçok açıdan birbirine benzemektedir. Parabolik pullukla çalışmanın, toprak işlemez tarım tekniğinde kısmi genişlikte rotasyonlu toprak işleme olarak kullanılma potansiyeli yüksektir (López-Fando ve Pardo, 2012).

Tablo 14' e göre Yöntem 5' teki yalnızca % 30 ve altındaki toprak işlemeden önceki bitki yüzey artışı kaplama yüzdelere karşı gelen toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artışı kaplama yüzdeleri (% 8.50-25.50) % 30' dan daha azdır. Doğrudan ekim yöntemi, erozyonun ve nem kaybının önlenmesi yönünden en uygun olan yöntemdir (Douzet ve ark., 2010; Razafindramananana ve ark., 2015).

3.4. Mısır ve Soyada Geleneksel Toprak İşlemeye Göre Diğer Toprak İşleme Yöntemlerinin Toprak Kayıplarındaki Azalma Yüzdelerine İlişkin Sonuçlar

Yöntem 1, “kulaklı pulluk + diskli tırmık (2 kez) + sürgü + tahıl ekim makinası” şeklinde olduğundan geleneksel toprak işlemeye örnektir. Bu nedenle geleneksel toprak işlemeye (Yöntem 1) göre diğer yöntemlerin toprak kayıplarındaki azalma yüzdeleri hesaplanmıştır. Tablo 15’ te mısır, Tablo 16’ da ise soya yüzey artıklı tarlalarda hesaplanan toprak kayıplarındaki azalma yüzdeleri verilmiştir. Hesaplamalar sırasında 1. tahmin eşitliğinden bulunan toprak kayıpları kullanılmıştır.

Tablo 15. Mısır yüzey artıklı tarla için Yöntem 1’ e göre diğer yöntemlerin toprak kayıplarındaki azalma yüzdeleri (%)

FC (%)	Yöntem 1’ e göre Toprak Kaybındaki Azalma Yüzdesi (%)			
	Yöntem 2’ de	Yöntem 3’ te	Yöntem 4’ te	Yöntem 5’ te
10	42.28	12.57	44.11	47.83
20	66.86	23.67	68.76	72.72
30	80.49	33.54	82.56	85.85
40	88.61	41.77	90.25	92.59
50	94.12	49.02	94.58	96.14
60	95.94	55.40	96.96	97.97
70	97.90	60.84	98.32	98.95
80	98.55	65.94	99.06	99.42
90	99.25	70.15	99.48	99.70

Tablo 16. Soya yüzey artıklı tarla için Yöntem 1' e göre diğer yöntemlerin toprak kayıplarındaki azalma yüzdeleri (%)

FC (%)	Yöntem 1' e göre Toprak Kaybındaki Azalma Yüzdesi (%)			
	Yöntem 2' de	Yöntem 3' te	Yöntem 4' te	Yöntem 5' te
10	28.89	3.89	40.00	45.56
20	49.16	7.26	64.24	70.39
30	64.04	10.67	78.65	83.71
40	74.72	14.61	87.64	91.01
50	81.92	17.51	92.66	95.48
60	86.93	20.45	95.45	97.16
70	90.86	23.43	97.14	98.86

Önceki ürünü mısır olan koşulda, toprak işleme ve ekimden sonraki toprak kayıpları; Yöntem 1' de 1.34-1.75, Yöntem 2' de 0.01-1.01, Yöntem 3' te 0.40-1.53, Yöntem 4' te 0.007-0.978 ve Yöntem 5' te ise 0.004-0.913 arasında değişmektedir. Yöntem 1' deki toprak kaybı, diğer tüm yöntemlerden daha fazladır. Benzer şekilde önceki ürünü soya olan koşulda, toprak işleme ve ekimden sonraki toprak kayıpları; Yöntem 1' de 1.75-1.80, Yöntem 2' de 0.16-1.28 Yöntem 3' te 1.34-1.73, Yöntem 4' te 0.05-1.08 ve Yöntem 5' te ise 0.02-0.98 arasında değişmektedir.

Gerek mısır gerekse de soya yüzey artıklarında Yöntem 1' deki toprak kayıpları, diğer tüm yöntemlerden daha fazladır. Bunun başlıca nedeni, yüzey artığı gömme yeteneği yüksek olan orta dik kulaklı pullukla sürüm yapılması sonucunda toprak yüzeyinin koruyucu örtüden yoksun kalmasıdır (Dickey ve ark., 1981; Meijer ve ark., 2013; Dursun, 2017; Dursun, 2024).

Ayrıca, önceki ürünü soya olan tüm koşullardaki toprak kayıpları, önceki ürünü mısır olan koşullardan daha yüksektir. Çünkü soyanın yüzey artıkları gevrek yapılıdır. Dickey ve ark. (1981) tarafından yapılan bir çalışmada, mısır yüzey artıklarına göre soya yüzey artıklarıyla kaplı tarlada çalışıldığında, geleneksel toprak işlemeye göre toprak kaybındaki azalma yüzdelерinin sırasıyla % 72-92 ve % 26-64 arasında azaldığı belirtilmiştir.

Tablo 15' e göre, mısır yüzey artıklarındaki toprak kaybındaki en yüksek azalma yüzdesi Yöntem 5' ten elde edilmiştir. Bunu sırasıyla Yöntem 4 ve Yöntem 2 izlemektedir. En düşük değerler ise Yöntem 3'ten elde edilmiştir. Benzer şekilde, Tablo 16'ya göre de soya yüzey artıklarındaki toprak kaybındaki azalma yüzdeleri, en yüksekten başlayarak Yöntem 5, Yöntem 4, Yöntem 2 ve Yöntem 3 şeklinde sıralanmaktadır. Jacobs ve ark. (2020) tarafından yapılan araştırma, tüm toprak işleme yöntemlerinde en yüksek toprak kaybının ortalama 19.6 t ha⁻¹ ile soyanın yüzey artıklarıyla kaplı koşuldan elde edildiği şeklinde sonuçlanmıştır. Önceki ürünün mısır olması durumunda ise toprak kayıplarının ortalama 8.96 t ha⁻¹ ile 10.6 t ha⁻¹ oldukları belirlenmiştir.

4. SONUÇ

Sonuç olarak, birinci ve ikinci tahmin eşitlikleri arasında çok yüksek bir korelasyon olduğu, bu eşitliklerden ikisinin de rüzgâr erozyonunun yol açtığı toprak kaybının tahmin edilmesinde kullanılabileceği anlaşılmıştır. Tüm yöntemler arasında en düşük toprak kaybı oranları, mısır ve soyanın yüzey artıklarıyla kaplı koşullarda, Yöntem 5 ile çalışmadan yani doğrudan ekimden elde edilmiştir. En yüksek toprak kaybı

oranları ise her iki önceki üründe de geleneksel toprak işlemeden (Yöntem 1) elde edilmiştir.

En düşük toprak kaybı oranı (0.004), mısır yüzey artıklarında Yöntem 5' ten bulunmuştur. Sonuç üzerinde mısır yüzey artığının gevrek olmaması ve Yöntem 5' te toprağın işlenmemesi etkili olmuştur. Bu koşulda, toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artığı kaplama yüzdesi % 85.50' dir. Birinci ve ikinci tahmin eşitliklerinden bulunan en yüksek toprak kaybı oranı ise 1.80 ile soyanın yüzey artıklarıyla kaplı tarlada, Yöntem 1 ile çalışmadan elde edilmiştir. Bu koşulda, toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artığı kaplama yüzdesi % 59.50' dir. Soya yüzey artığının gevrek olması ve Yöntem 1' de kulaklı pulluk kullanılması sonuç üzerinde etkili olmuştur.

KAYNAKÇA

- Adimassu, Z., Alemu, G., & Tamene, L. (2019). Effects of tillage and crop residue management on runoff, soil loss and crop yield in the Humid Highlands of Ethiopia. *Agricultural systems*, 168, 11-18.
- Al-Kaisi, M. M. (2002). Residue management & cultural practices. PM 1901a, University Extension, Iowa State University, Iowa.'
- Al-Kaisi, M., Hanna, H. M., & Licht, M. A. (2009). Resource conservation practices: Soil erosion and water quality. *Agriculture and Natural Resources*, 155.
- Anonymous, 1992. Estimates of Residue Cover Remaining After Single Operation of Selected Tillage Machines. Developed Jointly by the Soil Conservation Service, USDA and the Equipment Manufacturers Institute.
- Anonymous, 2015. Estimating Crop Residue Cover for Soil Erosion Control. Soil Factsheet, Order No: 641.220-1, British Columbia, Ministry of Agriculture.
- Barzegar, A. R., Asoodar, M. A., Khadish, A., Hashemi, A. M., & Herbert, S. J. (2003). Soil physical characteristics and chickpea yield responses to tillage treatments. *Soil and tillage research*, 71(1), 49-57.
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Fleischer, L. R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., ... & Panagos, P. (2017). An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature communications*, 8(1), 1-13.
- CTIC. (1990). National survey of conservation tillage practices.
- Dickey, E. C., Harlan, P. W., & Vokal, D. (1981). Crop residue management for water erosion control. University of

- Nebraska-Lincoln, DigitalCommons@ University of Nebraska-Lincoln, Biological Systems Engineering.
- Dickey, E. C., & Havlin, J. (1985). Estimating Crop Residue Using Residue to Help Control Wind and Water Erosion. University of Nebraska-Lincoln, Biological Systems Engineering, Lincoln, NE Leaflet No: 3.
- Dickey, E. C., D. P. Shelton ve Jasa, P. J. (1986). G18-544 Residue Management for Soil Erosion Control. University of Nebraska-Lincoln, Lincoln Extension, 1-1-1981, Nebraska.
- Douzet, J. M., Scopel, E., Muller, B., Rakotoarisoa, J., Albrecht, A., & Razafindramanana, N. C. (2010). Effets des systèmes de cultures en semis direct avec couverture végétale sur le ruissellement et l'érosion des cultures pluviales des Hautes Terres de Madagascar. *Étude et gestion des sols*, 17(2), 131-142.
- Dursun Gökür, İ. (2002). Yüzey artıklarıyla erozyon kontrolüne uygun toprak işleme ve ekim alet-makina setlerinin hesaplama yöntemiyle belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 8 (2): 149-156, Ankara.
- Dursun, İ. (2012). Toprak ve suyu korumaya yönelik toprak işleme teknikleri. *Türk Tarım Dergisi, Tarım Makinaları Tarım Türk*, (36), 87-90.
- Dursun, İ. (2017). Farklı Toprak İşleme Yöntemlerinin Erozyon Yönünden Karşılaştırılması. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG)*, 34(2), 128-137.
- Dursun, İ., Dursun, E., & Beyaz, A., (2017). Comparison of different methods used for determination of percent crop residue cover. *Yüzüncü Yıl University Journal of*

Agricultural Sciences , *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 27(4).

Dursun, İ. 2018. Toprak İşleme Alet ve Makinaları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayın No: 1644, Ders Kitabı: 595, Ankara Üniversitesi Basımevi. ISBN: 978-605-136-371-4, 584 s., Ankara.

Dursun, İ., & Dursun, E. (2018). Evaluation of Various Soil Tillage Methods in Terms of Percent Crop Residue Cover and Erosion Control. *Gaziosmanpasa Journal of Scientific Research*, 7(1), 69-76.

Dursun, İ. (2024). Effects of No-Tillage Technique on Runoff and Soil Loss. AGRO International Conference on Agriculture-II (pp.146-151). Ganca, Azerbaijan

Erbach, D. C., Benjamin, J. G., Cruse, R. M., Elamin, M. A., Mukhtar, S., & Choi, C. H. (1992). Soil and corn response to tillage with paraplow. *Transactions of the ASAE*, 35(5), 1347-1354.

Fryrear, D. W. (1985). Soil cover and wind erosion. *Transactions of the ASAE*, 28(3), 781-0784.

Gregory, J. M. (1982). Soil cover prediction with various amounts and types of crop residue. *Transactions of the ASAE*, 25(5), 1333-1337.

Guzha, A. C. (2004). Effects of tillage on soil microrelief, surface depression storage and soil water storage. *Soil and Tillage Research*, 76(2), 105-114.

Han, Y., Zhao, W., Ding, J., & Ferreira, C. S. S. (2023). Soil erodibility for water and wind erosion and its relationship to vegetation and soil properties in China's drylands. *Science of the Total Environment*, 903, 166639.

- Hayes, W. A. (2018). Conservation tillage systems and equipment requirements. In *A Systems Approach to Conservation Tillage* (pp. 21-40). CRC Press.
- Hickman, J. S., & Schoenberger, D. L. (1989). *Estimating wheat residue*. Cooperative Extension Service, Kansas State University.
- Jacobs, A. A., Evans, R. S., Allison, J. K., Garner, E. R., Kingery, W. L., & McCulley, R. L. (2022). Cover crops and no-tillage reduce crop production costs and soil loss, compensating for lack of short-term soil quality improvement in a maize and soybean production system. *Soil and Tillage Research*, 218, 105310.
- Kavian, A., Gholami, L., Mohammadi, M., Spalevic, V., & Soraki, M. F. (2018). Impact of wheat residue on soil erosion processes. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 46(2), 553-562.
- Khan, A. (2019). Tillage and crop production. *Agronomic Crops: Volume 1: Production Technologies*, 115-129.
- Krall, J., Cross, E., & Hogelin, C. (1986). Residue management to control wind and water erosion. *Science monograph SM-University of Wyoming, Agricultural Experiment Station (USA)*.
- Langdale, G. W., Alberts, E. E., Bruce, R. R., Edwards, W. M., & McGregor, K. C. (2018). Concepts of residue management: infiltration, runoff, and erosion. In *Crops Residue Management* (pp. 109-124). CRC Press.
- Laflen, J. M., & Colvin, T. S. (1981). Effect of crop residue on soil loss from continuous row cropping. *Transactions of the ASAE*, 24(3), 605-0609.
- López-Fando, C., & Pardo, M. T. (2012). Use of a partial-width tillage system maintains benefits of no-tillage in

- increasing total soil nitrogen. *Soil and Tillage Research*, 118, 32-39.
- Lowry, R. (2023). VassarStats: Website for Statistical Computation. <http://vassarstats.net/index.html> (Erişim Tarihi: 16.10.2024).
- McCool, D. K., I. E. Hammel ve Papendick, R.L. (1995). Surface Residue Management. Crop Residue Management To Reduce Erosion and Improve Soil Quality Northwest. United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service Conservation Research Report Number: 40.
- Meijer, A. D., Heitman, J. L., White, J. G. ve Austin, R. E. (2013). Measuring erosion in long-term tillage plots using ground-based lidar. *Soil & Tillage Research*, 126: 1-10.
- Merten, G. H., Araújo, A. G., Biscaia, R. C. M., Barbosa, G. M. C., & Conte, O. (2015). No-till surface runoff and soil losses in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, 152, 85-93.
- Nearing, M. A., Jetten, V., Baffaut, C., Cerdan, O., Couturier, A., Hernandez, M., ... & Van Oost, K. (2005). Modeling response of soil erosion and runoff to changes in precipitation and cover. *Catena*, 61(2-3), 131-154.
- Razafindramananana, N. C., Rakotoalibera, M. H., Remamy, R. R. N., Andriamaniraka, H., & Douzet, J. M. (2015). Effets des systèmes en semis direct sur l'érosion hydrique et les rendements des cultures pluviales sur les Hautes Terres centrales malgaches.
- Reddy, B. V. S., Sanjana Reddy, P., Bidinger, F. ve Blümmel, M. (2003). Crop Management Factors Influencing Yield and Quality of Crop Residues. *Field Crop Research*, 84 (1-2): 57-77.

- Reeder, R. (2000). *Conservation Tillage Systems and Management: MWPS-45*. Iowa State University.
- Shelton, D. P., Smith, J. A., Jasa, P. J., & Kanable, R. (1995). G95-1135 Estimating Percent Residue Cover Using the Calculation Method.
- Sloneker, L. L., & Moldenhauer, W. C. (1977). Measuring the amounts of crop residue remaining after tillage.
- Smets, T., Poesen, J., & Bochet, E. (2008). Impact of plot length on the effectiveness of different soil-surface covers in reducing runoff and soil loss by water. *Progress in Physical Geography*, 32(6), 654-677.
- Spalevic, V., Lakicevic, M., Radanovic, D., Billi, P., Barovic, G., Vujacic, D., ... & Darvishan, A. K. (2017). Ecological-economic (Eco-Eco) modelling in the River Basins of Mountainous Regions: Impact of land cover changes on sediment yield in the Velicka Rijeka, Montenegro. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 45(2), 602-610.
- Stangroom, J. (2025). Social Science Statistics. Single Sample Confidence Interval Calculator. <http://www.socscistatistics.com/pvalues/pearsondistribution.aspx> (Erişim Tarihi: 10.02.2025).
- Streck, N. A., Rundquist, D., & Connot, J. (2002). Estimating residual wheat dry matter from remote sensing measurements. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68(11), 1193-1202.
- Temesgen, M., Rockstrom, J., Savenije, H. H. G., Hoogmoed, W. B., & Alemu, D. (2008). Determinants of tillage frequency among smallholder farmers in two semi-arid areas in Ethiopia. *Physics and chemistry of the earth, parts A/B/C*, 33(1-2), 183-191.

- Van Muysen, W., Govers, G., Van Oost, K., & Van Rompaey, A. (2000). The effect of tillage depth, tillage speed, and soil condition on chisel tillage erosivity. *Journal of Soil and Water conservation*, 55(3), 355-364.
- Verhulst, N., Govaerts, B., Verachtert, E., Castellanos-Navarrete, A., Mezzalama, M., Wall, P. C., ... & Sayre, K. D. (2010). Conservation agriculture, improving soil quality for sustainable production systems. *Advances in soil science: food security and soil quality*, 1799267585, 137-208.
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning* (No. 537). Department of Agriculture, Science and Education Administration.
- Yang, G., Sun, R., Jing, Y., Xiong, M., Li, J., & Chen, L. (2022). Global assessment of wind erosion based on a spatially distributed RWEQ model. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 46(1), 28-42.
- Zheng, B., Campbell, J. B., Serbin, G., & Galbraith, J. M. (2014). Remote sensing of crop residue and tillage practices: Present capabilities and future prospects. *Soil and Tillage Research*, 138, 26-34.

BÖLÜM 8

TÜRKİYE'DEKİ İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE BÖCEK TÜRLERİNİN MEKÂNSAL DAĞILIMI

Amna SAEED¹

Prof. Dr. Mehmet MAMAY²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15028418>

¹ Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye.Email: amnasaeed067@yahoo.com

² Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye.Email: mehmetmamay@harran.edu.tr,
<https://orcid.org/0000-0003-3723-5228>

Türkiye’de İklim Değişikliği

Avrupa, Asya ve Orta Doğu'nun kesişim noktasında yer alan Türkiye, Akdeniz'den kara iklimine kadar uzanan farklı topoğrafya ve iklim bölgelerine sahiptir (Çalışkan, 2024). Türkiye, Akdeniz, kara ve yarı kurak iklim bölgelerinin kesişim noktasında yer aldığı için önemli iklim değişikliği etkileriyle karşı karşıyadır (Ustaoglu ve ark., 2023). Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle iklim değişikliğine karşı oldukça savunmasızdır (Türkes, 2020). Son yıllarda, ülkede artan sıcaklıklar, uzun süren kuraklıklar ve düzensiz yağış desenleri gözlemlenmiştir (Tokuşlu, 2022). Son yüzyılda ortalama sıcaklıklar 1,5°C artmış ve son birkaç on yılda ısınma hızlanmıştır. Nitekim Türkiye, çölleşme riski (Bayram ve Öztürk, 2021) ve özellikle Orta ve Güneydoğu bölgelerinde, tarımsal verimliliğin azalması (Pilevneli ve ark., 2023), ve su kıtlığı (Aktaş, 2014) gibi sorunlarla karşı karşıya kalınmaktadır. Kıyı şehirleri, deniz seviyelerinin yükselmesi nedeniyle de risk altındadır. Ayrıca, batı bölgelerinde yıllık yağışların azalırken, kuzey bölgelerinde ise yağışların artması ve sel risklerinin yükselmesi gözlemlenmektedir.

İklim modelleri, Türkiye'nin önümüzdeki on yıllarda önemli iklim zorluklarıyla karşılaşacağını öngörmektedir (Chandio ve ark., 2021). Ortalama sıcaklıkların 2050 yılına kadar 3°C ila 4°C arasında artması beklenmekte, bu da ekosistemler ve biyolojik çeşitlilik üzerinde önemli sonuçlar doğuracaktır (Ustaoglu ve ark., 2023). Bu, özellikle ekolojik toleransın sınırına gelmiş olan ve soğuk dağlık bölgeler veya yüksek nemli kıyı alanlarına uyum sağlamış türler için endişe vericidir (Bayram ve Öztürk, 2021).

Türkiye, iklim değişikliğini hafifletmek için uluslararası anlaşmalara katılarak ve yenilenebilir enerjiye yatırım yaparak adımlar atmıştır, ancak iklim dirençliliğini artırmak ve uyum stratejilerini geliştirmek için daha fazla eyleme ihtiyaç duyulmaktadır (Gül ve ark., 2025). Ülkenin, yüzyılın sonuna kadar 2-4°C arasında bir sıcaklık artışı yaşaması beklenmektedir. Bu, özellikle iç bölgelerde ve güneydoğu bölgelerinde daha sık ve şiddetli sıcak hava dalgalarına yol açacaktır (Zittis ve ark., 2022). Orta Anadolu, Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgeleri, azalan yağışlar, uzun süren kuraklıklar ve artan su kıtlığı ile karşı karşıya kalacağı öngörülmektedir (Kartal ve ark., 2024). Bu değişiklikler, toprak neminin azalması ve tarım arazilerinin verimsizleşmesi nedeniyle çölleşme riski oluşturmaktadır. İklim değişikliği, Türkiye'deki tozlayıcı böceklerin popülasyonlarını bozarak, tozlaşma hizmetlerini ve verimliliği tehdit etmektedir (Lanuza ve ark., 2025). Ayrıca değişen iklim koşulları Türkiye'de böcek dağılımlarını da önemli ölçüde etkilemektedir.

Türkiye'de böcek dağılımları

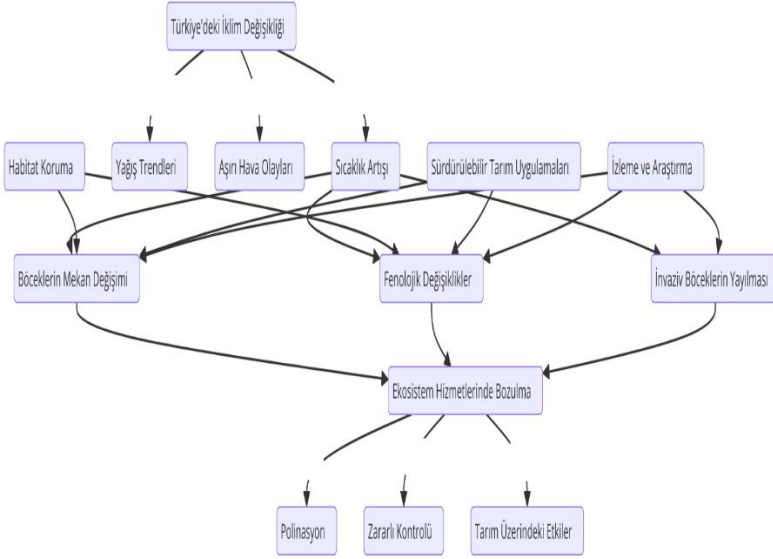
Türkiye, çeşitli iklim koşulları ve peyzajları sayesinde zengin bir böcek çeşitliliğine ev sahipliği yapmaktadır (Şekercioğlu ve ark., 2011). Ülkenin böcekleri, kurak bozkırlar ve dağlık bölgelerden ılıman ormanlar ve Akdeniz kıyı bölgelerine kadar geniş bir habitat yelpazesinde dağılmıştır (Sevgili, 2023). Türkiye'deki böcekler, tozlaşma ve ayrışma gibi ekosistem hizmetlerinin sürdürülmesinde hayati öneme sahiptir (Sevgili, 2023). Türkiye, çeşitlilik gösteren coğrafyası ve üç kıtanın kesişim noktasında yer alması nedeniyle son derece zengin bir böcek faunasına ev sahipliği yapmaktadır (Dönmez ve ark., 2018). Türkiye'de kaydedilen 30.000'den fazla böcek

türü bulunmaktadır ve bunların birçoğu Türkiye'ye özgü endemik türlerdendir (Kızıroğlu ve ark., 2013). Akdeniz, Karadeniz ve Orta Anadolu farklı bölgelerde belirgin böcek toplulukları bulunmaktadır (Konstantinov ve ark., 2009). Türlerden oluşan kompozisyon, alçak bölgelerden yüksek dağ alanlarına doğru değişir. Önemli tarım zararlıları olan yaprak bitleri, güveler ve böcekler, belirli bölgesel dağılımlara sahiptir.

Türkiye'nin coğrafi ve iklimsel çeşitliliği, farklı böcek türlerinin belirli habitat türlerine uyum sağlamasına neden olmaktadır (Konstantinov ve ark., 2009). Örneğin, Akdeniz bölgesi ılıman iklimi sayesinde birçok endemik kelebek türü başta olmak üzere farklı böcek türler ile yüksek böcek çeşitliliğine ev sahipliği yapmaktadır (Korotyaev ve ark., 2016). Doğudaki dağlık alanlar, örneğin Toros ve Pontus dağları, daha serin ve istikrarlı iklimlere uyum sağlamış böcek türlerine ev sahipliği yaparken (Yetkin ve Atakan, 2022) Orta ve Doğu Anadolu, daha aşırı karasal iklimleriyle sıcaklık uçlarına ve su kıtlığına karşı dayanıklı türlere ev sahipliği yapmaktadır (Yavaşlı ve Erilat, 2023).

İklim değişikliğinin Türkiye'deki böcek dağılımları üzerindeki etkileri

İklim değişikliği, Türkiye'deki böcek dağılımlarını çeşitli şekillerde etkilemektedir (Duyar ve ark., 2025). Bu etkiler, türlerin coğrafi dağılımlarındaki değişiklikler, fenolojik değişiklikler ve istilacı türlerin yayılması olarak kategorize edilebilir. İklim değişikliğinin Türkiye'deki böcek türlerinin dağılımı üzerindeki etkileri ve sonuçları Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. İklim değişikliğinin Türkiye’deki böcek dağılımı üzerindeki etkisi ve ilgili sonuçlar

Coğrafi Dağılımdaki Değişiklikler

İklim değişikliği, Türkiye'deki böcek türlerinin coğrafi dağılımları üzerinde olumlu veya olumsuz etkiler yaratmaktadır. Genel olarak, sıcaklıklar arttıkça birçok böcek türü, uygun habitatlar arayarak dağılımlarını daha yüksek rakımlara veya enlemlere doğru kaydırmaktadır (Lancaster, 2016). Artan sıcaklıklar, *Dryocosmus kuriphilus* ve *Leptoglossus occidentalis* gibi zararlılar için Türkiye ormanlarına yönelik tehditleri artırabilir. Bu, biyolojik kontrol mekanizmalarını bozarak ve zararlıların üreme oranlarını artırarak daha büyük zararlara yol açabileceği rapor edilmiştir (Ipekdağ, 2022). Değişen iklim koşulları Türkiye’nin birçok bölgelerini *Ips mannsfeldi* dağılımı için uygun hale getirebileceğini göstermektedir (Sarıkaya ve ark., 2018). Yeni bir çalışmada, *Anoplophora chinensis*'in ülke içindeki yeni alanlara yayılma riskinin arttığı bildirilmiştir.

(Alramadan ve ark., 2025). İklim değişikliğine bağlı olarak *Calomicrus apicalis*'in dağılımının Sivas iline doğru genişlemesi beklenmektedir. Ancak, değişen iklim koşulları nedeniyle dağılımda önemli bir daralma öngörülmektedir (Şen ve ark., 2022). *Pityogenes calcaratus*'un potansiyel dağılımının, diğer çam türlerinin yaşadığı alanlara, kuzey bölgeler ve Karadeniz Bölgesi'ne doğru genişlemesi beklenmektedir. Bu durum, *P. calcaratus*'un gelecekte Türkiye'nin çam ormanları için artan bir tehdit oluşturabileceğini göstermektedir (Sarıkaya ve Şen, 2020).

Sonuç olarak, iklim değişikliği, Türkiye'deki birçok böcek türünün coğrafi dağılımlarında önemli değişikliklere yol açacağı öngörülmektedir. Sıcaklıklar arttıkça, zararlılar yeni bölgelere doğru hareket edip doğal kontrol mekanizmalarını bozarak ve daha yüksek üreme oranlarını teşvik ederek ormanlara artan tehditler oluşturmaktadır. Bu değişiklikler, yerli bitki türlerini de etkileyerek, özellikle dağlık bölgelerde bazı türlerin uygun habitatlarında azalmalarla karşı karşıya kalmasına neden olmaktadır (Mamay ve Şimşek, 2017; Özgen ve Mamay, 2016).

Fenolojik Değişiklikler

Fenoloji, üreme, göç ve ortaya çıkma gibi yaşam döngüsü olaylarının zamanlamasını ifade eder (Hodgson ve ark., 2011). İklim ısınması, birçok böcek türünün fenolojilerini değiştirmelerine neden olmaktadır (Ellwood ve ark., 2012; Forrest, 2016; Renner ve Zohner, 2018). Örneğin, Türkiye'deki yaban arıları (*Bombus* spp.) baharda daha erken ortaya çıkmaktadır, bu eğilim diğer ılıman bölgelerde de gözlemlenmiştir (Aslan, 2008; Özenirler, 2023). Bu erken ortaya çıkış, böcek faaliyetinin zamanlaması ile yiyecek kaynaklarının,

örneğin çiçek açan bitkilerin, mevcudiyeti arasında uyumsuzluklara yol açabilir (Abarca ve Spahn, 2021; Renner ve Zohner, 2018). Bal arısı popülasyonları da çiçeklenme zamanlarındaki değişiklikler nedeniyle besin arama davranışlarında değişiklikler yaşamaktadır, bu da tozlaşma hizmetlerini etkileyebilmektedir (Abbas Ali ve ark., 2023).

İklim ısınması, birçok böcek türünün fenolojisinde önemli değişikliklere yol açmakta ve bu da onların kritik yaşam olaylarının değiştirmelerine neden olmaktadır. Bu değişiklikler, böcek faaliyetleri ile çiçek açan bitkiler gibi yiyecek kaynaklarının mevcudiyeti arasında uyumsuzluklara yol açabilir ve bu da ekolojik etkileşimleri bozabilir. Ayrıca, çiçeklenme zamanlarındaki değişiklikler nedeniyle besin arama davranışlarındaki değişiklikler, tozlaşma hizmetlerini etkileyebilir ve bu durum ekosistemler ile tarım üzerinde potansiyel sonuçlar doğurabilir. Bu eğilimler, iklim değişikliğinin böcek fenolojisi üzerindeki etkilerini daha iyi anlamanın ve bu etkileri hafifletmek için stratejiler geliştirilmesinin önemini vurgulamaktadır.

İstilacı Türlerin Yayılması

Daha sıcak iklim, aynı zamanda daha sıcak ve nemli koşullara uyum sağlamış olan birçok istilacı türün yayılmasını kolaylaştırmaktadır (Harvey ve ark., 2023; Pyšek ve ark., 2020). Asya Kaplan Sivrisineği (*Aedes albopictus*), Dang Humması ve Zika virüsü gibi hastalıkların bilinen vektörü, son yıllarda sıcaklıkların artması ve yağış düzenlerindeki değişiklikler sayesinde Türkiye'ye yayılmaya başlamıştır (Demirci ve ark., 2021). Diğer istilacı türler, örneğin Akdeniz'in önemli tarım zararlısı olan Zeytin Meyve Sineği (*Bactrocera oleae*), iklim

değişikliği nedeniyle dağılımlarını genişleterek ürünlere tehdit oluşturmaktadır (Abacıgil, 2023).

Sıcaklıklar arttıkça ve yağış düzenleri değiştikçe, bu türler, hastalık taşıyıcıları veya tarım zararlıları gibi, Türkiye gibi yeni alanlara yayılmaktadır. Bu durum, sadece halk sağlığı için doğrudan bir tehdit oluşturmakla kalmayıp, aynı zamanda tarımsal verimliliği de riske atmaktadır. Bu da iklim değişikliği karşısında istilacı türlerin yayılmasını izlemek ve yönetmek için proaktif önlemler almanın önemini vurgulamaktadır.

Ekosistem Hizmetleri Üzerindeki Etkiler

Böcekler, tozlaşma ve ayrışma gibi önemli ekosistem hizmetleri sağlamaktadırlar (Jankielsohn, 2018; Verma ve ark., 2023; Yang ve Gratton, 2014). İklim değişikliği nedeniyle yerli böcek türlerinin kaybı ve bu türlerin sağladığı hizmetlerin bozulması, tarım ve doğal ekosistemler için önemli sonuçlar doğurabilir (Raven ve Wagner, 2021). Örneğin, tozlaşmada önemli bir rol oynayan yabani arı popülasyonları, habitat kaybı ve iklim kaynaklı fenolojik değişiklikler nedeniyle azalmaktadır (Potts ve ark., 2010; Schweiger ve ark., 2010). Türkiye'de, bu durum özellikle Akdeniz bölgesi gibi, tarımın büyük ölçüde böcek polinasyonuna dayandığı alanlarda ürün verimliliğini etkileyebilir (Potts ve ark., 2006).

Yerli böcek türlerinin kaybı ve iklim değişikliği nedeniyle bu türlerin sağladığı hizmetlerdeki bozulmalar, ürün verimliliği ve ekosistem sağlığı üzerinde ciddi sonuçlara yol açabilir. Türkiye'nin Akdeniz bölgesi gibi, tarımın büyük ölçüde böcek polinasyonuna dayandığı alanlarda, bu değişiklikler gıda üretimi ve biyolojik çeşitliliği tehdit edebilir. Bu zorluklarla başa çıkabilmek için, böcek popülasyonlarını korumaya ve

sağladıkları hayati hizmetleri güvence altına almaya yönelik odaklanmış koruma çabaları gerekmektedir.

Hafifletme Stratejileri

Doğal habitatların korunması ve yeniden eski haline getirilmesi, iklim değişikliğinin böcek popülasyonları üzerindeki etkilerini hafifletmek için hayati öneme sahiptir (Samways ve ark., 2020). Habitat parçalanması, böcek biyolojik çeşitliliği için büyük bir tehdit oluşturmaktadır ve ekolojik koridorların oluşturulması, iklim koşulları değiştikçe türlerin daha uygun habitatlara göç etmelerini kolaylaştırabilir (Tuanmu ve ark., 2013). Korunan alanlar, özellikle Toros Dağları gibi yüksek rakımlı bölgelerde, endemik türlerin korunmasına yardımcı olabilir.

Sürdürülebilir tarım uygulamaları ve entegre zararlı yönetimi (IPM) gibi yaklaşımlarla ve pestisit kullanımının azaltılması sayesinde iklim değişikliğinin böcekler üzerindeki olumsuz etkilerini hafifletmeye yardımcı olunabilir. Tarım alanlarında yerli bitkilerin kullanımının teşvik edilmesi ve ürün rotasyon sistemlerinin uygulanması, tozlayıcılar ve doğal zararlı avcıları da dahil olmak üzere faydalı böcekler için habitat ve besin sağlayabilir. Böcek popülasyonlarının sürekli izlenmesi, iklim değişikliğinin dağılımlarını nasıl etkilediğini anlamak için kritik öneme sahiptir. Bu, risk altındaki türlerin belirlenmesini ve hedeflenmiş koruma önlemlerinin geliştirilmesini sağlayacaktır. Böceklerin önemi hakkında kamuoyunun bilincini artırmak, koruma çabalarına destek toplamak için hayati önem taşır.

Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 223O260 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, sağladığı destekler için TÜBİTAK'a teşekkür eder.

KAYNAKÇA

- Abacıgil, T. Ö. (2023). Modeling and optimizing the changes in physical properties of olives in response to attacks of olive fruit fly (*Bactrocera oleae* (Gmelin)). *International Journal of Tropical Insect Science*, 43(3). <https://doi.org/10.1007/s42690-023-01001-x>
- Abarca, M., ve Spahn, R. (2021). Direct and indirect effects of altered temperature regimes and phenological mismatches on insect populations. In *Current Opinion in Insect Science* (Vol. 47). <https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.04.008>
- Abbas Ali, M., Abdellah, I. M., ve Eletmany, M. R. (2023). Climate Change Impacts on Honeybee Spread and Activity: a Scientific Review. *Chelonian Research Foundation*, 18(2).
- Aktaş, Ö. (2014). Impacts of climate change on water resources in Turkey. *Environmental Engineering and Management Journal*, 13(4). <https://doi.org/10.30638/eeemj.2014.092>
- Alramadan, Y., Mamay, M., ve Farooq, S. (2025). Increased spread risk of citrus long-horned beetle [*Anoplophora chinensis* (Coleoptera: Cerambycidae)] under climate change in Türkiye: Implications for management. *Crop Protection*, 190, 107090. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.107090>
- Aslan, M. M. (2008). Seasonal activity of *Bombus terrestris* L. in east Mediterranean region, Turkey. *Journal of Environmental Biology*, 29(2).
- Bayram, H., ve Öztürk, A. B. (2021). *Global Climate Change, Desertification, and Its Consequences in Turkey and the Middle East*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54746-2_21
- Çalışkan, O. (2024). *GEOGRAPHY of TURKEY: Physical Geography*. Onur ÇALIŞKAN.

- Chandio, A. A., Gokmenoglu, K. K., ve Ahmad, F. (2021). Addressing the long- and short-run effects of climate change on major food crops production in Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(37). <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14358-8>
- Çobanoğlu, H., Cantürk, U., Koç, İ., Kulaç, Ş., ve Sevik, H. (2023). Climate Change Effect on Potential Distribution of Anatolian Chestnut (*Castanea sativa* Mill.) in the Upcoming Century in Türkiye. *Forestist*, 73(3). <https://doi.org/10.5152/forestist.2023.22065>
- Demirci, B., Bedir, H., Öztürk, M., ve Akiner, M. M. (2021). Status of the invasive mosquito species *Aedes aegypti* (L., 1762) and *Aedes albopictus* (Skuse, 1895) (Diptera: Culicidae) in Turkey1. In *Türkiye Entomoloji Dergisi* (Vol. 45, Issue 2). <https://doi.org/10.16970/ENTOTED.879297>
- Dönmez, A. A., Yerli, S. V, ve Pullaiah, T. (2018). Biodiversity in Turkey. *Global Biodiversity*, 2, 397–442.
- Duyar, A., Demir, M. A., ve Kabalak, M. (2025). Prediction of Current and Future Distributions of *Chalcophora detrita* (Coleoptera: Buprestidae) Under Climate Change Scenarios. *Ecology and Evolution*, 15(1). <https://doi.org/10.1002/ece3.70693>
- Ellwood, E. R., Diez, J. M., Ibáñez, I., Primack, R. B., Koberi, H., Higuchi, H., ve Silander, J. A. (2012). Disentangling the paradox of insect phenology: are temporal trends reflecting the response to warming? *Oecologia*, 168(4), 1161–1171. <https://doi.org/10.1007/s00442-011-2160-4>
- Forrest, J. R. (2016). Complex responses of insect phenology to climate change. In *Current Opinion in Insect Science* (Vol. 17). <https://doi.org/10.1016/j.cois.2016.07.002>
- Gül, H. H. M., Ercan, H., Akinoğlu, B., ve Açıkgöz, Ş. (2025). A Retrospective Assessment of Türkiye's Recent Energy Policy in Terms of Energy Security and Climate Change

- Mitigation. *Energies*, 18(4), 951.
<https://doi.org/10.3390/en18040951>
- Harvey, J. A., Tougeron, K., Gols, R., Heinen, R., Abarca, M., Abram, P. K., Basset, Y., Berg, M., Boggs, C., Brodeur, J., Cardoso, P., de Boer, J. G., De Snoo, G. R., Deacon, C., Dell, J. E., Desneux, N., Dillon, M. E., Duffy, G. A., Dyer, L. A., ... Chown, S. L. (2023). Scientists' warning on climate change and insects. In *Ecological Monographs* (Vol. 93, Issue 1). <https://doi.org/10.1002/ecm.1553>
- Hodgson, J. A., Thomas, C. D., Oliver, T. H., Anderson, B. J., Brereton, T. M., ve Crone, E. E. (2011). Predicting insect phenology across space and time. *Global Change Biology*, 17(3). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02308.x>
- İpekdağ, K. (2022). Estimating the potential threat of increasing temperature to the forests of Turkey: a focus on two invasive alien insect pests. *IForest*, 15(6). <https://doi.org/10.3832/for3960-015>
- Jankielsohn, A. (2018). The Importance of Insects in Agricultural Ecosystems. *Advances in Entomology*, 06(02). <https://doi.org/10.4236/ae.2018.62006>
- Kartal, V., Yavuz, V. S., Arıman, S., Kaya, K., Alkanjo, S., ve Simsek, O. (2024). Climate change trends in the Southeastern Anatolia region of Türkiye: precipitation and drought. *Journal of Water and Climate Change*, 15(12), 5893–5919. <https://doi.org/10.2166/wcc.2024.503>
- Kızıroğlu, I., Erdogan, A., ve Turan, L. (2013). Biological diversity and its threats in Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 22(3).
- Konstantinov, A. S., Korotyaev, B. A., ve Volkovitsh, M. G. (2009). Insect Biodiversity in the Palearctic Region. In *Insect Biodiversity: Science and Society*. <https://doi.org/10.1002/9781444308211.ch7>

- Korotyaev, B. A., Gültekin, L., Volkovitsh, M. G., Dorofeyev, V. I., ve Konstantinov, A. S. (2016). Bioindicator beetles and plants in desertified and eroded lands in Turkey. *Journal of Insect Biodiversity*, 4(1). <https://doi.org/10.12976/jib/2016.4.1>
- Lancaster, L. T. (2016). Widespread range expansions shape latitudinal variation in insect thermal limits. *Nature Climate Change*, 6(6). <https://doi.org/10.1038/nclimate2945>
- Lanuza, J. B., Knight, T. M., Montes-Perez, N., Glenney, W., Acuña, P., Albrecht, M., Artamendi, M., Badenhauer, I., Bennett, J. M., Biella, P., Bommarco, R., Cappellari, A., Castro, S., Clough, Y., Colom, P., Costa, J., Cyrille, N., de Manincor, N., Dominguez-Lapido, P., ... Bartomeus, I. (2025). <sc>EuPPollNet</sc>: A European Database of Plant-Pollinator Networks. *Global Ecology and Biogeography*, 34(2). <https://doi.org/10.1111/geb.70000>
- Mamay, M., & Şimşek, E. (2017). The expected impact of global warming and climate change on insect biodiversity. The 3rd International Symposium on EuroAsian Biodiversity, 05-08 July 2017, Minsk/Belarus, s. 173.
- Özenirler, Ç. (2023). Observations on the Foraging Behaviors of Commercial Bumble Bee Colonies in Prunus avium Orchards. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 23(4). <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1269156>
- Özgen, İ., Mamay, M. (2016). Küresel ısınmanın zararlı ve faydalı böcek potansiyeline olası etkileri: Şanlıurfa örneği. Uluslararası Katılımlı 2. İklim Değişimi ve Tarım Etkileşimi Çalıştayı, 08-09 Kasım 2016, Şanlıurfa, 41-48.
- Pilevneli, T., Capar, G., ve Sánchez-Cerdà, C. (2023). Investigation of climate change impacts on agricultural production in Turkey using volumetric water footprint

- approach. *Sustainable Production and Consumption*, 35.
<https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.12.013>
- Potts, S. G., Petanidou, T., Roberts, S., O'Toole, C., Hulbert, A.,
ve Willmer, P. (2006). Plant-pollinator biodiversity and
pollination services in a complex Mediterranean landscape.
Biological Conservation, 129(4).
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.11.019>
- Potts, S. G., Roberts, S. P. M., Dean, R., Marris, G., Brown, M.
A., Jones, R., Neumann, P., ve Settele, J. (2010). Declines
of managed honey bees and beekeepers in Europe. *Journal
of Apicultural Research*, 49(1), 15–22.
<https://doi.org/10.3896/IBRA.1.49.1.02>
- Pyšek, P., Hulme, P. E., Simberloff, D., Bacher, S., Blackburn, T.
M., Carlton, J. T., Dawson, W., Essl, F., Foxcroft, L. C.,
Genovesi, P., Jeschke, J. M., Kühn, I., Liebhold, A. M.,
Mandrak, N. E., Meyerson, L. A., Pauchard, A., Pergl, J.,
Roy, H. E., Seebens, H., ... Richardson, D. M. (2020).
Scientists' warning on invasive alien species. *Biological
Reviews*, 95(6), 1511–1534.
<https://doi.org/10.1111/brv.12627>
- Raven, P. H., ve Wagner, D. L. (2021). Agricultural
intensification and climate change are rapidly decreasing
insect biodiversity. In *Proceedings of the National
Academy of Sciences of the United States of America* (Vol.
118, Issue 2). <https://doi.org/10.1073/PNAS.2002548117>
- Renner, S. S., ve Zohner, C. M. (2018). Climate change and
phenological mismatch in trophic interactions among
plants, insects, and vertebrates. In *Annual Review of
Ecology, Evolution, and Systematics* (Vol. 49).
<https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110617-062535>
- Samways, M. J., Barton, P. S., Birkhofer, K., Chichorro, F.,
Deacon, C., Fartmann, T., Fukushima, C. S., Gaigher, R.,
Habel, J. C., Hallmann, C. A., Hill, M. J., Hochkirch, A.,

- Kaila, L., Kwak, M. L., Maes, D., Mammola, S., Noriega, J. A., Orfinger, A. B., Pedraza, F., ... Cardoso, P. (2020). Solutions for humanity on how to conserve insects. In *Biological Conservation* (Vol. 242). <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108427>
- Sarikaya, O., Karaceylan, I. B., ve Sen, I. (2018). Maximum entropy modeling (maxent) of current and future distributions of *Ips mannsfeldi* (Wachtl, 1879) (Curculionidae: Scolytinae) in Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(3). https://doi.org/10.15666/aer/1603_25272535
- Sarikaya, O., ve Şen, İ. (2020). Estimation to current and future potential distribution areas of *Pityogenes calcaratus* (Eichhoff) in Turkish Forests. *International Journal of Agriculture, Forestry and Fisheries*, 8(4), 118–122.
- Schweiger, O., Biesmeijer, J. C., Bommarco, R., Hickler, T., Hulme, P. E., Klotz, S., Kühn, I., Moora, M., Nielsen, A., Ohlemüller, R., Petanidou, T., Potts, S. G., Pyšek, P., Stout, J. C., Sykes, M. T., Tscheulin, T., Vilà, M., Walther, G. R., Westphal, C., ... Settele, J. (2010). Multiple stressors on biotic interactions: How climate change and alien species interact to affect pollination. In *Biological Reviews* (Vol. 85, Issue 4, pp. 777–795). <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2010.00125.x>
- Şekercioğlu, Ç. H., Anderson, S., Akçay, E., Bilgin, R., Can, Ö. E., Semiz, G., Tavşanoğlu, Ç., Yokeş, M. B., Soyumert, A., Ipekdağ, K., Sağlam, I. K., Yücel, M., ve Nüzhet Dalfes, H. (2011). Turkey's globally important biodiversity in crisis. In *Biological Conservation* (Vol. 144, Issue 12, pp. 2752–2769). <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.06.025>
- Şen, İ., Sarikaya, O., ve Özüçü, Ö. K. (2022). Predicting the future distributions of *Calomicrus apicalis* Demaison, 1891 (Coleoptera: Chrysomelidae) under climate change.

- Journal of Plant Diseases and Protection*, 129(2).
<https://doi.org/10.1007/s41348-022-00579-7>
- Sevgili, H. (2023). Insect biodiversity of Turkey: Perspectives and future directions. In *Perspectives on Global Biodiversity Scenarios and Environmental Services in the 21st Century*. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-9034-1.ch004>
- Tokuşlu, A. (2022). Assessing the Impact of Climate Change on Turkish Basins. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 9(4).
<https://doi.org/10.30897/ijegeo.1066840>
- Tuanmu, M. N., Viña, A., Winkler, J. A., Li, Y., Xu, W., Ouyang, Z., ve Liu, J. (2013). Climate-change impacts on understorey bamboo species and giant pandas in China's Qinling Mountains. *Nature Climate Change*, 3(3).
<https://doi.org/10.1038/nclimate1727>
- Turantepe, E., ve Şen, İ. (2022). Predicting Present and Future Distribution Ranges of an Endemic Flea Beetle, *Psylliodes anatolicus* Gök and Çilbıroğlu 2004 (Coleoptera: Chrysomelidae) in Türkiye. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(2).
<https://doi.org/10.19113/sdufenbed.1060349>
- Turkes, M. (2020). *Climate and Drought in Turkey*.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-11729-0_4
- Ustaoglu, B., Tunçat, K. A., ve Koç, D. E. (2023). Impacts of Climate Change on Precipitation and Temperature Climatology in Türkiye from Present to Future Perspective. In *Springer Geography* (pp. 403–426).
https://doi.org/10.1007/978-3-031-24767-5_18
- Verma, R. C., Waseem, M. A., Sharma, N., Bharathi, K., Singh, S., Anto Rashwin A., Pandey, S. K., ve Singh, B. V. (2023). The Role of Insects in Ecosystems, an in-depth Review of Entomological Research. *International Journal of*

- Environment and Climate Change*, 13(10).
<https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i103110>
- Yang, L. H., ve Gratton, C. (2014). Insects as drivers of ecosystem processes. In *Current Opinion in Insect Science* (Vol. 2). <https://doi.org/10.1016/j.cois.2014.06.004>
- Yavaşlı, D. D., ve Erilat, E. (2023). Climate model projections of aridity patterns in Türkiye: A comprehensive analysis using CMIP6 models and three aridity indices. *International Journal of Climatology*, 43(13).
<https://doi.org/10.1002/joc.8201>
- Yetkin, M. S., ve Atakan, E. (2022). Determination of pests in stored wheat and corn in Tarsus and Akdeniz districts of Mersin Province, Turkey. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, 59(3).
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1071199>
- Zittis, G., Almazroui, M., Alpert, P., Ciais, P., Cramer, W., Dahdal, Y., Fnais, M., Francis, D., Hadjinicolaou, P., Howari, F., Jrrar, A., Kaskaoutis, D. G., Kulmala, M., Lazoglou, G., Mihalopoulos, N., Lin, X., Rudich, Y., Sciare, J., Stenchikov, G., ... Lelieveld, J. (2022). Climate Change and Weather Extremes in the Eastern Mediterranean and Middle East. *Reviews of Geophysics*, 60(3), 1–48. <https://doi.org/10.1029/2021RG000762>

BÖLÜM 9

İKLİM KRİZİ VE BÖCEKLER: FİZYOLOJİK VE FENOLOJİK ETKİLER

Amna SAEED¹

Prof. Dr. Mehmet MAMAY²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15028426>

¹ Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye.Email:amnasaeed067@yahoo.com

² Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye.Email: mehmetmamay@harran.edu.tr,
<https://orcid.org/0000-0003-3723-5228>

Giriş

İklim değışikliğı, genellikle fosil yakıt tüketimi, ormansızlaşma ve sanayi kirliliğı gibi insan faaliyetleri nedeniyle ortaya çıkan sıcaklık, yağış ve hava durumu desenlerindeki uzun vadeli değışiklikleri ifade eder (Ahmed ve ark., 2023). Bu faaliyetler, atmosferdeki sera gazı seviyelerini yükselterek, küresel sıcaklıkların artmasına, buzulların erimesine, deniz seviyelerinin yükselmesine ve şiddetli hava olaylarının meydana gelmesine neden olmaktadır (Trenberth, 2018). Değışen iklim koşulların sonuçlar arasında biyoçeşitliliğın azalması, gıda ve su kıtlıkları, ayrıca insan sağlığı ve ekonomik istikrar için riskler bulunmaktadır (Muluneh, 2021). Dünyada, iklim değışikliğının önümüzdeki on yıllarda önemli çevresel ve sosyo-ekonomik zorluklar getirmesi beklenmektedir (Fischer ve ark., 2005). Sıcaklıkların ve sera gazı emisyonlarının yüksek kalmaya devam etmesi halinde, yüzyılın ortalarına kadar ortalama sıcaklığın 1.5–2 °C artması ve yüzyıl sonuna kadar daha fazla artması beklenmektedir (Seneviratne ve ark., 2018). Bu ısınma, kutup buzullarının ve buzulların erimesine sebep olacak ve deniz seviyesinin yükselmesine yol açacaktır. Bu da dünya çapında kıyılarda yaşayan toplulukları ve ekosistemleri tehdit etmektedir (Hansen ve ark., 2016). Aşırı hava olayları, kasırgalar, seller, kuraklıklar ve sıcak hava dalgaları gibi, daha sık ve şiddetli hale gelecek, bu da altyapıya (Palin ve ark., 2021), tarıma (Cogato ve ark., 2019; Furtak ve Wolińska, 2023), ve insan sağlığına (Bell ve ark., 2018) ciddi zararlar verecektir.

Böcekler, ekosistem işleyişı için hayati öneme sahip olup; tozlayıcılar, ayrıştırıcılar ve diğerk canlılar için bir besin kaynağı olarak görev yapmaktadırlar (Noriega ve Schowalter, 2024; Raj,

2024). İklim değişikliği, böcek popülasyonlarını önemli ölçüde tehdit etmekte ve bu da biyoçeşitlilik, ekolojik süreçler ve türler arası etkileşimlerde değişikliklere yol açmaktadır (Harvey ve ark., 2023). Ayrıca iklim değişikliği, böceklerin üreme biyolojisini ve doğurganlıklarını derinden değiştirmekte; bu da ekosistemler, tarım ve biyoçeşitlilik üzerinde geniş kapsamlı etkiler yaratmaktadır (Lakhnarayan Kumar ve Gyanpriya, 2023). Artan sıcaklıklar, aşırı iklim olayları ve diğer iklim kaynaklı stres faktörleri zincirleme ekolojik etkiler yoluyla doğrudan böceklerin fizyolojisini etkileyerek onların üremesini bozar ve davranış değişikliklerine yol açar. İklim değişikliğinin böcekler üzerindeki etkileri, Şekil 1’de özetlenmiştir.



Şekil 1. İklim değişikliğinin böcekler ve onların sağladığı ekosistem hizmetlerine etkisi

Ekosistemler ve insan hayatı açısından böceklerin önemi

Böcekler, sağlıklı ekosistemlerin korunmasında ve insan refahının desteklenmesinde vazgeçilmez roller oynayarak Dünya'daki yaşamın belkemiğini oluşturur (Dangles ve Casas, 2019). Böcekler, en çeşitli hayvan grubu olup, tozlaşma, ayrışma ve besin döngüsü gibi temel süreçlere katkıda bulunurlar (Jankielsohn, 2018). Örneğin, birçok bitki türünün tozlaşması arılar ve kelebekler gibi böceklere dayanmakta; bu da bitki üremesinin ve meyve, sebze ve kuru yemişlerin üretiminin devamını sağlamaktadır (Millard ve ark., 2023; Picanço ve ark., 2017; Rader ve ark., 2016). Buna karşılık, bu tozlaşma hizmetlerinin dünya çapında milyarlarca dolar değerinde olduğu tahmin edilmektedir ve gıda güvenliği için kritik öneme sahiptir (FAO, 2016; López-Urbe, 2018; Winfree ve ark., 2011). Ayrıca, böcekler ölü organik maddeleri parçalayarak (Benbow ve ark., 2019), besin maddelerini toprağa geri kazandırır ve bitki büyümesini desteklemektedir (Hartley ve Jones, 2008). Bunun yanı sıra, kuşlar ve amfibilerden memelilere kadar birçok hayvan için hayati bir besin kaynağı sağlarlar (de Carvalho ve ark., 2020; Gravel ve Doyen, 2020).

Ekolojik işlevlerinin ötesinde, böcekler doğrudan insan toplumuna birçok fayda sağlar. Böcekler, bal (Crane, 1991), ipek (Sutherland ve ark., 2010) ve doğal boyalar (Cooksey, 2019) gibi ürünler sunarak çeşitli endüstriler için hayati öneme sahiptirler ve bilimsel araştırmalarda önemli roller oynarlar. Örneğin, meyve sinekleri, genetik ve gelişim biyolojisi alanındaki önemli keşiflerde merkezi bir rol oynamıştır (Prokop, 2016). Birçok kültürde böcekler, daha düşük kaynak gereksinimleri ve azaltılmış sera gazı emisyonları nedeniyle

geleneksel hayvancılığa uygun bir alternatif olarak giderek daha fazla kabul gören sürdürülebilir bir protein kaynağıdır (Liceaga ve ark., 2022). Böceklerin bu çok yönlü önemi, onların korunmasının gerekliliğini vurgulamaktadır, çünkü böcek popülasyonlarındaki düşüşler ekosistem istikrarı ve insan yaşamı üzerinde zincirleme etkilere yol açabilir (Verma ve ark., 2023).

Böcek popülasyonlarını korumak için habitat kaybını önleyen sürdürülebilir tarım ve arazi kullanımı uygulamalarına öncelik verilmelidir. Pestisit kullanımını azaltmak, biyolojik çeşitliliği destekleyen ekolojik yöntemler benimsemek ve doğal yaşam alanlarını korumak büyük önem taşır. Ayrıca, toplumun bilinçlendirilmesi ve böceklerin ekosistemlerdeki kritik rolüne dair farkındalığın artırılması gerekmektedir.

İklim Değişikliğinin Böcekler Üzerindeki Fizyolojik Etkileri

Böceklerin Sıcaklık Hassasiyeti

Böcekler ektoterm olarak bilinmekte, yani vücut sıcaklıkları ve dolayısıyla metabolik süreçleri doğrudan çevresel koşullara bağlıdır (Carlson, 1986). Böceklerin fizyolojileri, davranışları, gelişimleri ve üremeleri sıcaklık değişimlerine karşı son derece hassastır (González-Tokman ve ark., 2020). Daha düşük sıcaklıklarda, böcekler genellikle daha düşük metabolik hızına sahiptir ve bu yüzden daha yavaş gelişim gösterirler. Hatta elverişsiz koşullarda hayatta kalmak için gelişimlerinin durduğu bir durum olan diyapoza girebilirler (Harsimran Kaur Gill ve ark., 2017). Sıcaklıklar optimum düzeye doğru yükseldikçe, genellikle böceklerin büyüme ve üremelerinde hızlanma görülür; ancak sıcaklıklar bu optimum

aralığı aşarsa, sıcaklık stresiyle karşılaşır. Bu durum, enzim fonksiyonlarını bozabilir, hücresel süreçleri istikrarsızlaştırabilir ve nihayetinde ölüm oranlarının artmasına yol açabilir (Bodlah ve ark., 2023). Bu ilişki genellikle, her iki tarafta keskin bir düşüş olmadan önce optimum bir sıcaklıkta zirve yapan termal performans eğrileriyle gösterilir (Sinclair ve ark., 2012). İklim değişikliği nedeniyle küresel sıcaklıklar yükseldikçe, birçok böcek türü risk altındadır, çünkü sıcaklıkta meydana gelecek küçük değişiklikler bile böceklerin yaşam döngülerini bozabilir, coğrafi dağılımlarını değiştirebilir ve tozlaşma ve ayrışma gibi ekosistem hizmetlerini etkileyebilir (Pyšek ve ark., 2020). Bazı türler, uyum sağlama (Sørensen ve ark., 2016) veya evrimsel değişiklikler (Garnas, 2018), yoluyla uyum sağlayabilir, ancak dar termal toleranslara sahip olanlar, devam eden iklim dalgalanmalarına karşı özellikle savunmasız kalmaktadır.

Böceklerin fizyolojisi, davranışları, gelişimleri, üremeleri ve hayatta kalmaları sıcaklık hassasiyetinden derinden etkilenmektedir (Bodlah ve ark., 2023; Sinclair ve ark., 2012). İklim değişikliği, küresel sıcaklık desenlerini değiştirirken aşırı iklim olaylarının sıklığını artırdıkça, birçok böcek türü popülasyon düşüşü veya soyu tükenme riskiyle karşı karşıyadır (Raven ve Wagner, 2021). Bazı türler, fizyolojik veya davranışsal adaptasyonlar yoluyla dikkat çekici bir termal esneklik sergilerken, diğerleri daha az dayanıklı olup hızla değişen çevrelerle başa çıkmakta zorlanmaktadır (Bodlah ve ark., 2023). Bu dinamikleri anlamak, iklim değişikliğinin ekolojik sonuçlarını tahmin etmek ve koruma ile zararlılarla mücadele stratejileri geliştirmek için kritik öneme sahiptir (Harvey ve ark., 2023).

Böcekler genellikle soğuğa daha hassastır, yani düşük sıcaklıklara maruz kalmak, kritik fizyolojik süreçleri bozabilir. (Ullah ve ark., 2024). Sıcaklıklar düştüğünde, hücre zarları üzerinden iyon taşınımı engellenir, bu da nöromüsküler arızaya ve "soğuk koması"na (soğuk maruziyeti nedeniyle geçici felç) yol açar (Overgaard ve Macmillan, 2017). Uzun süreli maruz kalma, hücresel düzeyde iyon ve su dengesinin kaybı nedeniyle 'soğuk ölümü 'ne' yol açabilir (Ullah ve ark., 2024). Ilıman iklimlerdeki bazı böcekler, soğuk koşullarda hayatta kalmak için evrimsel mekanizmalar geliştirmiştir. Bunlar arasında donmaktan kaçınma: vücutlarında buz oluşumunu engelleme veya donma toleransı: hücrelerarası alanlarda kontrollü buz oluşumuna izin verme gibi stratejiler bulunmaktadır (Toxopeus ve Sinclair, 2018). Bu adaptasyonlar, biyokimyasal değişikliklerle desteklenmektedir. Örneğin, hücresel yapıları stres altında stabilize eden glikol ve sorbitol benzeri koruyucuların ve ısı şok proteinlerinin (HSP'ler) artan sentezi gibi biyokimyasal değişiklikler meydana gelmektedir (Overgaard ve Macmillan, 2017).

Artan sıcaklıklar, metabolik hızları artırmakta; bu da aktivite seviyelerini yükseltmekte, ancak aynı zamanda fizyolojik sistemler üzerinde önemli bir stres oluşturmaktadır (Abram ve ark., 2017). Mitozondrial oksijen tüketimi, artan enerji talebini karşılamak için yükselir, ancak bu durum, aşırı sıcaklıklarda mitokondriyal arızaya yol açabilir (Menail ve ark., 2022). Isı stresi, hücresel yapıları termal hasardan korumak için moleküler şaplonlar olarak görev yapan ısı şok proteinlerinin (örneğin, HSP70) üretimini tetiklemektedir (King ve Macrae, 2015). Yüksek sıcaklık, böceklerde üremeyi bozmakta ve hayatta kalma oranlarını düşürmektedir. Örneğin,

yaprak bitleri (*Sitobion miscanthi*), orta sıcaklıklarda (18–26 °C) optimal üreme gösterirken, 27 °C'nin üzerinde doğurganlıkları keskin bir şekilde düşmekte ve 30 °C'yi aşan sıcaklıklarda üreme tamamen başarısız olmaktadır (Sun ve ark., 2022).

Böcekler, sıcaklık uçlarının etkilerini azaltmak için çeşitli davranışsal stratejiler kullanmaktadırlar. Örneğin, termal kaçınma: aşırı sıcaklıklara karşı koruma sağlayan mikrohabitatlar, örneğin gölgeli alanlar veya yuvalar arayarak. Termoregülasyon davranışı: en yüksek sıcaklık veya soğuk dönemlerden kaçınmak için aktivite desenlerini ayarlamak. Örneğin, sıcak iklimlerde birçok böcek, günün daha serin saatlerinde daha aktif olurlar (González-Tokman ve ark., 2020; Ma ve ark., 2021).

Sıcaklık, böceklerin büyüme hızlarını, gelişim sürelerini ve üreme başarılarını doğrudan etkilemektedir (Damos ve Savopoulou-Soultani, 2012). Artan sıcaklıklar, gelişimi optimum bir eşiğe kadar hızlandırır. Bu eşik aşıldığında, termal stres nedeniyle gelişim yavaşlar veya tamamen durur. Ilımlı sıcaklık artışları, bazı türlerde üreme kapasitesini artırarak döl sürelerini kısaltabilir (Dixon ve ark., 2009). Ancak, yüksek sıcaklıklara uzun süreli maruz kalma, doğurganlık ve yavru canlılığını azaltmaktadır. Örneğin, buğday yaprak biti (*S. miscanthi*), optimum sıcaklıklarda (21–22 °C) daha yüksek üreme oranları sergilerken, 27 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda termal stres nedeniyle üreme keskin bir şekilde düşmektedir (Sun ve ark., 2022).

Termal reaksiyon normları, bir böceğin uygunluğunun farklı sıcaklık aralıklarında nasıl değiştiğini tanımlar (Kingsolver ve Huey, 2008). Böceklerin, fizyolojik süreçlerinin

en verimli şekilde çalıştığı bir "optimal sıcaklık aralığı" bulunmaktadır. Bu aralığın dışında, düşük sıcaklıklar metabolizmayı yavaşlatır ve hayatta kalmayı azaltır. Yüksek sıcaklıklar ise metabolik talebi artırır, ancak termal tolerans sınırlarını aşarak uygunluğu azaltabilir veya ölüme yol açabilir. Günlük sıcaklık dalgalanmaları, termal hassasiyeti daha da etkilemektedir (Damos ve Savopoulou-Soultani, 2012; Dixon ve ark., 2009). Örneğin, dalgalanan sıcak koşullar, sabit sıcak koşullara kıyasla gelişim hızlarını azaltır. Benzer şekilde, dalgalanan serin koşullar, sabit serin koşullara kıyasla gelişim hızlarını artırır (Colinet ve ark., 2015). Sıcaklık değişimlerinin farklı böcek türlerinin davranışsal özellikleri üzerindeki etkileri Tablo 1’de detaylı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 1. Sıcaklık değişimlerinin farklı böcek türlerinin davranışsal özellikleri üzerindeki etkisi

Böcekler	Deneme Koşulları	Ölçülen Etkiler	Ana Bulgular	Kaynaklar
<i>Drosophila</i> spp.	15°C ile 35°C arasındaki sıcaklıklar	Metabolik hız, hayatta kalma, üreme	Zirve performans 25°C; yaklaşık 30°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda hayatta kalma ve üremede keskin düşüşler	(Hoekstra ve ark., 2013)
Kelebekler (örneğin, <i>Pieris rapae</i>)	Simüle edilen ısınma senaryoları	Gelişim süresi, kanat morfolojisi, uçuş	Daha yüksek sıcaklıklarda hızlanan gelişim	(Kellermann ve ark., 2012)
<i>Drosophila melanogaster</i>	Akut ısı şoku	Gen ifadesi, HSP seviyeleri,	Stres proteinlerinin artmasını; uzun süreli maruziyet hayatta kalmayı	(Colinet ve ark., 2010)

		hayatta kalma	azaltır	
<i>Drosophila subobscura</i>	Değişen sıcaklıkları	Gelişim hızı, uzun ömürlülük, üreme	Azalan üreme başarı	(Santos ve ark., 2021)
Genel böcekler	Değişen sıcaklıkları	Termal performans eğrileri, enerji bütçeleri	Böcek performansı, belirgin bir optimumla çan şeklinde bir eğriyi takip eder	(Angilletta ve ark., 2010)
<i>Drosophila</i> spp.	Kronik sıcaklık dalgalanma	Termal tolerans esneklik	Hızlı evrimsel adaptasyonu ve esneklik	(Hoffmann ve Sgró, 2011)
Çeşitli böcek taksonları	Enlemsel sıcaklık gradyanları	Termal sınırlar, vücut boyutu korelasyonları	Daha sıcak bölgelerden gelen böcekler, daha düşük kritik termal sınır gösterir	(Addo-Bediako ve ark., 2000)
Birçok tür (tropikal dahil)	İklim ısınma projeksiyonları	Üreme, hayatta kalma	Tropikal böceklerde uygunluk azalmasına yol açabilir	(Deutsch ve ark., 2008)
Antartik böcekler	Simüle edilen ısınma	Metabolik hızı, aktivite seviyesi	Isınma da küçük artışlar bile metabolizma ve davranışı değiştirebilir.	(Chown ve ark., 2007)
Kelebekler	Mevsimsel sıcaklık değişimi	Yaşam öyküsü özellikleri	Sıcaklık değişimi gelişim hızlarını ve hayatta kalmayı güçlü bir şekilde etkiler	(Kingsolver ve ark., 2015)
Karasal	Sabit ve	Performans	Dalgalanan	(Gunderson

böcekler	dalgalandan sıcaklık	değişikliği, termal sınırı	sıcaklıklar performans değişkenliğini ve aşırı olaylara karşı duyarlılığı artırabilir.	ve Stillman, 2015)
Tropikal kelebekler	Kontrollü ısınma	Uçuş performans	İlımlı ısınma, uçuş dayanıklılığını azaltır	(Piyaphongkul ve ark., 2012)
Sivrisinek türleri	Değişken sıcaklık rejimleri	Gelişme hızı, Vektör yetkinliği	Daha yüksek sıcaklıklar, gelişim süresini kısaltır ve sivrisinek vektörleri arasında hastalık iletim potansiyelini artırabilir	(Couret ve ark., 2014)
Tırtıllar	Değişken sıcaklık rejimleri	Gelişme hızı, Vücut boyutu	Sıcaklık değişkenliği, büyümeyi ve olgunlukta boyutu etkiler	(Kingsolver, 2000)
<i>Drosophila buzzatii</i>	Aşırı sıcaklık	Gen ifade değişikliği, hayatta kalma	Isı stres altında önemli genetik ifade değişiklikleri gösterir, bu da adaptif yanıtlar için potansiyeli gösterir.	(Hoffmann ve ark., 2003)
<i>Drosophila</i> spp.	Soğuk şok ve iyileşme	İyileşme süresi, hayatta kalma oranları	Hızlı soğuk sertleşmesi, dalgalandan soğuk ortamlarda hayatta kalmak için çok önemlidir	(Overgaard ve ark., 2011)
Kın kanatlı	Sabit ve dalgalandan	Gelişim süresi, hayatta	Dalgalandan sıcaklıklar, bazı	(Frazier ve

Böcekler	sıcaklıkları	kalma oranları	böcek türlerinde sabit koşullara göre hayatta kalmayı genellikle azaltır	ark., 2006)
Güveler	Artan gece sıcaklıkları	Üreme çıktı, doğurganlık	Daha yüksek gece sıcaklıkları, güvelerde doğurganlığı azaltır	(Klockmann ve Fischer, 2019)
Cırcır böcekleri	Aşamalı uyum sağlama ısınma deneyleri	Performans eğrileri, enerji kullanımı	Uyum, termal performans eğrilerini değiştirir	(Angilletta, 2006)
Sucul böcekler	Akarsu sıcaklık değişkenliği	Ortaya çıkış senkronisi, toplum değişimleri	Artan sıcaklık değişkenliği, sucul böceklerin ortaya çıkış senkronizasyonunu bozarak, avcı-av ilişkilerini değiştirebilir.	(Vasseur ve ark., 2014)

Fenolojik Değişimler

Böcek fenolojisi, böceklerdeki mevsimsel biyolojik olayların zamanlamasını inceleyen bir çalışma dalıdır; bu olaylar arasında ortaya çıkış, üreme, göç ve diapoz (bir tür dinlenme dönemi) yer almaktadır (Harsimran Kaur Gill ve ark., 2017; Tougeron, 2019). Bu olaylar genellikle sıcaklık, gün uzunluğu ve kaynakların varlığı gibi çevresel ipuçlarıyla tetiklenir (Harsimran Kaur Gill ve ark., 2017). Fenoloji, böcek ekolojisinin kritik bir yönüdür çünkü böceklerin çevreleriyle, diğer türlerle ve yaşadıkları ekosistemlerle nasıl etkileşime

girdiğini belirler (Hodgson ve ark., 2011). Böcek fenolojisi, ekosistem işleyişinin temel taşlarından biri olup tozlaşma, otçulluk, avcı-av etkileşimleri, besin döngüsü ve besin ağı stabilitesi gibi süreçleri etkiler. Ancak, çevresel değişikliklere, özellikle iklim değişikliği tarafından tetiklenen değişikliklere son derece duyarlıdır. Böcek fenolojisindeki aksaklıklar, biyoçeşitlilik ve ekosistem hizmetleri üzerinde zincirleme etkiler yaratabilir (Lakshnarayan Kumar ve Gyanpriya, 2023).

Fenolojik değişimler, mevsimsel biyolojik olayların zamanlamasında meydana gelen değişiklikler olarak tanımlanır ve iklim değişikliğinin en belirgin ve iyi belgelenmiş sonuçlarından biridir (Chmura ve ark., 2019). Böcekler için bu değişimler genellikle daha erken ortaya çıkış, uzamış aktivite dönemleri veya ekolojik ortaklarla senkronizasyonun değişmesi şeklinde görülür (Renner ve Zohner, 2018). Bazı türler bu değişimlerden fayda sağlarken, diğerleri kaynaklar veya çevresel koşullarla uyumsuzluk nedeniyle önemli zorluklarla karşılaşır (Renner ve Zohner, 2018).

Artan küresel sıcaklıklar, böceklerde metabolik ve gelişimsel süreçleri hızlandırarak, ilkbaharda daha erken ortaya çıkışa ve daha sıcak aylarda uzamış aktivite dönemlerine yol açmaktadır (Ma ve ark., 2021). Birçok tür için fenoloji, sıcaklık dalgalanmalarına karşı son derece hassastır (Chmura ve ark., 2019). Örneğin, daha sıcak kışlar, kış güvesi (*Operophtera brumata*) gibi türlerde erken yumurta çatlamasına neden olabilir (Peterson ve Nilssen, 1998). Bu durumda, yumurtalar meşe yaprakları erişilebilir olmadan önce çatlar, bu da yüksek larval ölüm oranlarına yol açar. Daha yüksek enlemlerdeki böcekler, sıcaklık altında zirve bolluklarını erken yaşarken, mevsimsel sıcaklık dalgalanmaları arttığında gecikmelerle karşılaşabilirler.

Sıra dışı iklim olayları (örneğin, mevsim dışı soğuk hava dalgaları veya sıcak hava dalgaları), böcek fenolojisini kademeli iklim eğilimlerinden daha fazla bozabilir (Hodgson ve ark., 2011; Li ve ark., 2025). Örneğin, Lepidoptera (güveler ve kelebekler) üzerinde, sıra dışı sıcak günler, yetişkinlerin uçuş başlangıcını erkene alabilirken, soğuk günler uçuşun bitişini geciktirerek toplam uçuş süresini uzatabilir (Chapman ve ark., 2015). Birçok böcek, artan sıcaklıklar nedeniyle ilkbaharda daha erken ortaya çıkmaktadır. Örneğin, Avrupa'daki kelebekler ve güveler uçuş dönemlerinde önemli ilerlemeler göstermiştir ve bazı türler, tarihsel ortalamalardan haftalarca daha erken ortaya çıkmaktadır (Habel ve ark., 2024). Benzer şekilde, sivrisinekler (*Aedes* türleri) ve keneler (*Ixodes* türleri), daha ılıman kışlar nedeniyle artık yılın daha erken dönemlerinde ortaya çıkmaktadır (Yi ve ark., 2014).

İklim değişikliğinden kaynaklanan fenolojik değişimler, genellikle böcekler ile ekolojik ortakları arasındaki uyumsuzluklara yol açmaktadır (Renner ve Zohner, 2018). Arılar ve kelebekler gibi tozlayıcılar, fenolojilerini böceklerden dört kat daha hızlı ileriye taşıyan çiçek açan bitkilerle senkronize olmakta zorlanmaktadırlar (Singer ve Parmesan, 2010). Belirli konukçu bitkilere bağımlı otçul böcekler, ortaya çıkışları bitki bulunabilirliğiyle artık uyumlu olmadığında ağırlık kaybı yaşamaktadır. Böcek fenolojisindeki değişiklikler, avcı-av ve karşılıklı yarar sağlayan ilişkileri bozmaktadır (Abarca ve Spahn, 2021). Konukçu böcekleriyle senkronize bir şekilde ortaya çıkmaya bağımlı olan parazit yaban arıları, konukçuların beklenenden daha erken veya daha geç ortaya çıkarsa üreme başarılarında azalma yaşayabilirler. (Price, 1973). Zararlılar için uzamış aktivite dönemleri, ürün hasarının

artmasına ve yırtıcı böcekler veya kuşlar gibi biyolojik kontrol ajanlarının etkinliğinin azalmasına yol açabilir (Skendžić ve ark., 2021).

Böceklerdeki fenolojik değişimler, iklim değişikliğinin ekosistemler üzerindeki etkilerini gösteren net göstergelerden biridir. Bazı türler yaşam döngülerini ileriye alarak veya aktivite dönemlerini uzatarak uyum sağlarken, diğerleri kaynaklar veya ekolojik ortaklarla uyumsuzluklar nedeniyle ciddi zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu aksaklıklar, biyolojik çeşitliliği, tozlaşma ve zararlı kontrolü gibi ekosistem hizmetlerini ve tarımsal verimliliği etkileyerek zincirleme etkilere yol açmaktadır. Gelecekteki araştırmalar, iklim etmenleri, böcek fenolojisi ve ekosistem dinamikleri arasındaki karmaşık etkileşimleri anlamaya odaklanmalı ve bu etkileri hafifleten uyumlu yönetim stratejileri geliştirmelidir. İklim değişikliğine bağlı olarak böceklerdeki fenolojik değişimler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. İklim değişikliğine bağlı olarak böceklerdeki fenolojik değişimler

Böcek Grubu	Ana Bulgular	Reference
Ektotermeler	Yüksek enlem ektotermeleri, ısınma ile erken çıkış gösterirken, artan mevsimsel dalgalanmalar zirve bolluğunu geciktirmektedir	(Scranton ve Amarasekare, 2017)
Bitkiler ve böceklerin senkronize olmaları	Bitkiler, böceklerden dört kat daha hızlı fenolojilerini ilerletiyor, bu da tozlaşma uyumsuzluklarına yol açmaktadır	(Renner ve Zohner, 2018)
Yabani	Artan sıcaklıklar, kelebeklerin ortaya çıkışını erkene alırken,	(Davies, 2019)

kelebekler	ev sahibi bitkilerle uyumsuzluklara yol açabilmektedir.	
Lepidoptera	Aşırı sıcak ve soğuk günler, Lepidoptera'nın uçuş sürelerini önemli ölçüde uzatmaktadır	(Guralnick ve ark., 2023)
Bitkiler ve doğal düşmanlar	Değişen sıcaklık rejimleri, konukçu bitkiler ve doğal düşmanlarla fenolojik uyumsuzluklara neden olmaktadır	(Abarca ve Spahn, 2021)
Dağ çamı böceği	Isınma, dağ çamı böceği gibi zararlıları, yaşam döngülerini değiştirecek şekilde dağılımlarını genişletmesine olanak tanımaktadır	(Régnière ve ark., 2013)
Orman böcekleri	Artan sıcaklıklar, birçok orman türünde daha erken ilkbahar etkinliği ve daha uzun aktif dönemlere yol açmaktadır.	(Jaworski ve Hilszczański, 2014)
Avrupa kelebekleri	Kelebekler, ısınma ile daha erken çıkış yapmakta ancak aşırı iklim olayları sırasında nektar kaynaklarıyla uyumsuzluk yaşanmaktadır.	(Larsen ve ark., 2022)
Pireler ve parazitler	Isınma, pireler ve parazit yaban arıları arasındaki senkronizmayı bozmakta ve bu da zararlı kontrol etkinliğini azaltmaktadır	(Macgregor ve ark., 2019)
Otçul böcekler	Orta düzeyde ısınma, bazı	(Martén-Rodríguez ve

	otçul böcekler ve konukçu bitkileri arasındaki senkronizmayı iyileştirmektedir	ark., 2025)
İklim değişikliğinin böcek fenolojisi üzerindeki etkileri	Erken ilkbahar çıkışı ve gecikmiş kış diapausu voltinizmde farklılıklara neden olmakta; uyumsuzluklar, tozlaşma ve biyolojik kontrol gibi ekosistem hizmetlerini değiştirmektedir	(Kratina ve ark., 2022)
Sıcaklık bağımlı yaşam tablosu verilerini böcek modellerine entegre edilmesi	Artan sıcaklıklar, gelişim süresini kısaltmakta, ergin olmayan evrelerin hayatta kalma oranlarını artırır ancak uçuş aktivite desenlerini değiştirmektedir	(Adan ve ark., 2024)
İklim değişikliği böcek ve bitki fenolojilerini senkronize	Bitkiler, böceklerden dört kat daha hızlı ilerlemekte; bitki-böcek etkileşimlerinin %61'inden fazlası senkronize değildir	(Tobin ve ark., 2008)
Fenolojik yanıt, ilkbahar ısınma hızına bağlıdır	Sezon başında daha erken etkinlik gösteren türlerde en güçlü duyarlılık gözlemleniyor; kuzey bölgelerinde hızlı ısınma oranları nedeniyle en büyük değişimler yaşanmaktadır	(Uphus ve ark., 2023)
Lepidoptera'da ki fenolojik	Avrupa genelinde gelişen uçuş dönemleri; konukçu bitkilerle uyumsuzluklar, tırtılın hayatta	(Hällfors ve ark., 2021)

değişimler	kalma oranlarını azaltmaktadır	
İklim değişikliğinin tropikal tozlayıcılar üzerindeki etkileri	Tropikal tozlayıcılar, ısı stresi nedeniyle daha kısa etkinlik pencereleri göstermektedir	(Reddy ve ark., 2013)
Sıcaklık kaynaklı senkronizasyon bozuklukları, avcı-av etkileşimlerini etkiler	Isınma koşullarında, avcılar avlarından daha geç ortaya çıkmakta, bu da otçul zararlılara karşı avcı oranlarını azaltmaktadır	(Damien ve Tougeron, 2019)

Böcek biyoçeşitliliği üzerinde uzun vadeli etkiler

İklim değişikliği, böcek biyoçeşitliliği üzerinde önemli uzun vadeli tehditler oluşturmakta ve bu tehditler ekosistemler, tarım ve insan refahı üzerinde zincirleme etkiler yaratmaktadır (Pech ve ark., 2017). Bu sonuçlar, artan küresel sıcaklıklar, değişen yağış desenleri ve aşırı iklim olaylarının artan sıklığı gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır. Bu faktörler, habitat kaybı, kirlilik ve tarımsal genişleme gibi diğer insan kaynaklı stresörlerle etkileşime girerek biyolojik çeşitlilik üzerinde ciddi tehditler oluşturmaktadır (Pech ve ark., 2017).

Birçok böcek türü, sıcaklıkların termal tolerans sınırlarının ötesine geçmesiyle daha serin bölgelere göç etmeye zorlanmaktadır (Sujayanand ve Karuppaiah, 2016). Ancak, tüm türler uyum sağlayamaz veya başarılı bir şekilde yer

değiştiremez (Minteer ve Collins, 2010). Bir araştırma, küresel ısınma 3.2°C'ye ulaşırsa, tüm böcek türlerinin neredeyse yarısının coğrafi alanlarının %50'sinden fazlasını kaybedebileceğini rapor etmiştir (Harvey ve ark., 2023). Alp ve dağlık alan türleri, özellikle yukarıya göç etme seçenekleri sınırlı olduğundan ve habitat daralmasıyla karşılaştığından daha savunmasızdır. Dağılım değişiklikleri, popülasyon parçalanmasına yol açarak genetik çeşitliliği ve adaptasyon potansiyelini azaltabilir (Arenas ve ark., 2012). Bu durum, türleri daha da savunmasız hale getirir ve daha fazla çevresel değişiklik karşısında soyu tükenme riskini artırır (Raven ve Wagner, 2021). Böcekler için sığınak işlevi görebilecek doğal alanlar, giderek daha fazla tarım arazisine veya kentsel gelişimlere dönüştürülmekte, bu da türlerin ısınan koşullardan kaçma yeteneklerini daha da sınırlamaktadır (Harvey ve ark., 2023). Araştırmalar, küresel ısınması ve yüksek yoğunluklu tarımın etkisi altındaki bölgelerde böcek sayılarının önemli ölçüde daha düşük olduğunu göstermektedir. Bu tür bölgelerde, böcek bolluğu, ısınma geçmişi olmayan doğal habitatlarla kıyaslandığında %49 daha düşüktür. Aşırı hava olayları, sıcak hava dalgaları, sel ve kuraklık gibi, yaşam döngülerini ve habitatları bozarak popülasyon düşüşlerini şiddetlendirir. Tozlayıcı popülasyonları, özellikle arılar ve kelebekler, özellikle tehlike altındadır. Azalan tozlaşma verimliliği, küresel gıda güvenliğini ve ekosistem verimliliğini tehdit etmektedir. Kuzey Amerika'nın batısındaki son büyük kuraklık, dağ kelebekleri topluluklarında uzun süreli azalmaya yol açmıştır.

Isınan iklimler, çeşitli kaynakları kullanabilen genel zararlıları destekler (Quarles, 2001). Tarım zararlısı *Callosobruchus maculatus* gibi türler, deneysel ısınma koşulları

altında üreme oranlarında artış göstermiş ve beş yıl içinde tarım üzerindeki etkilerini iki katına çıkarmıştır (Daglish ve ark., 2021). Dağ çamı böceği (*Dendroctonus ponderosae*), daha ılıman kışlar nedeniyle dağılımını genişleterek Kuzey Amerika'da geniş çaplı orman hasarına yol açmıştır (Zhou ve ark., 2019). Yükselen sıcaklıklar, sıtma taşıyan sivrisinekler (*Aedes aegypti*) (Kraemer ve ark., 2019) ve keneler (*Ixodes scapularis*) gibi hastalık taşıyan böceklerin coğrafi dağılımlarını genişletmektedir (Khatchikian ve ark., 2015). Bu durum, sıtma, dang humması ve Lyme hastalığı gibi vektör kaynaklı hastalıkların daha önce etkilenmeyen bölgelerde yayılma sıklığını artırmaktadır.

İklim değişikliğinin böcek biyoçeşitliliği üzerindeki uzun vadeli sonuçları derin ve çok yönlüdür. Dağılım değişiklikleri, popülasyon düşüşleri, neslin tükenme riskleri, değişen ekosistem dinamikleri, zararlıların yayılması ve ekosistem hizmetlerindeki aksaklıklar, küresel biyoçeşitliliği ve insan refahını tehdit etmektedir. Bazı genel zararlılar ısınma koşullarında gelişebilirken, genel eğilimler böcek çeşitliliğinde önemli kayıplara işaret etmektedir.

Gelecekteki Perspektifler

İklim değişikliğinin gelecekteki seyri, böcek popülasyonları üzerinde derin ve çok yönlü etkiler yaratmaya devam edecek, bu da böceklerin dağılımını, fizyolojisini ve ekolojik rollerini etkileyecek. Bu olasılıkları anlamak, koruma stratejileri geliştirmek, tarımsal riskleri azaltmak ve halk sağlığı sorunlarını yönetmek için çok önemlidir. Mevcut eğilimlere dayanarak, gelecekteki etkilerin birkaç önemli alanı tahmin edilebilir. İklim değişikliği, böceklerin coğrafik dağılımlarını

değiştirmeye devam edecek; türler, uygun termal ortamlar arayarak daha yüksek enlemler ve rakımlara göç edecektir. Ancak, habitat parçalanması ve şehirleşme, bu türlerin uyum sağlama kapasitesini sınırlayabilir. Bazı genel türler (örneğin, tarım zararlıları ve bazı hastalık vektörleri) yeni iklim koşullarında gelişebilirken, özellikle belirli konukçu bitkiler veya mikroiklimlere bağımlı olan spesifik türlerin soyu tükenme riskiyle karşı karşıya kalacaktır. Böcek biyoçeşitliliğinin kaybı, ekosistemler üzerinde zincirleme etkiler yaratacak; bu da besin ağlarının, besin döngüsünün ve ekosistem dayanıklılığının bozulmasına yol açacaktır.

Tozlayıcılar, arılar ve kelebekler, çiçek açan bitkilerle fenolojik uyumsuzluklar yaşamaya devam edecek ve bu da tozlaşma verimliliğini ve ürün verimliliğini azaltacaktır. İklim değişikliği sıcak mevsimleri uzattıkça, bazı böcek zararlıları her yıl ek üreme döngüleri tamamlayacak, bu da daha fazla ürün hasarına ve artan pestisit kullanımına yol açarak tozlayıcıları daha da tehdit edecektir. Aşırı iklim olaylarının (sıcak hava dalgaları, kuraklıklar ve aşırı yağışlar) artan öngörülemezliği, tarımsal stresi şiddetlendirerek böcek popülasyonları ve ekosistem istikrarı üzerinde daha fazla etki yaratacaktır. Artan sıcaklıklar ve değişen yağış rejimleri, vektör kaynaklı hastalıkların (örneğin, sıtma, dang humması, Lyme hastalığı) daha önce etkilenmeyen bölgelere yayılmasına olanak tanıyacaktır. Daha sıcak kışlar ve artan nem oranları, sivrisinek ve kenelerin hayatta kalmasını artırarak, daha yüksek taşınma ve yayılma oranlarına yol açacaktır. Ilıman iklim bölgelerindeki ülkeler, vektör kaynaklı enfeksiyonların artan riskine karşı halk sağlığı izlemelerini güçlendirmek zorunda kalabilir. Hastalık taşıyan türlerdeki böcek ilaçlarına karşı direnç artabilir, bu da

vektör kontrolü için genetik modifikasyon veya çevre dostu zararlı yönetim teknikleri gibi yeni stratejiler gerektirebilir.

Bazı böcekler, daha yüksek sıcaklıklara uyum sağlamak için metabolizma hızlarında değişiklikler, davranışsal değişiklikler (örneğin, beslenme veya üreme zamanlamasında değişiklikler) ve artan sıcaklık toleransı gibi fizyolojik adaptasyonlar evrimleşebilir. Ancak, iklim değişikliğinin hızı, özellikle uzun yaşam döngülerine sahip veya sınırlı genetik çeşitliliğe sahip türler için uyum sağlama kapasitesini aşabilir. Araştırmacılar, evrimsel eğilimleri tahmin etmek ve koruma müdahaleleri geliştirmek için öngörücü modellemeye odaklanmak zorunda kalacaklardır. Uzaktan algılama, makine öğrenimi ve ekolojik modelleme alanlarındaki gelişmeler, böcek popülasyonlarının ve iklim kaynaklı değişimlerin izlenmesini geliştirecektir. Habitat restorasyonu ve koruma koridorları, böcek popülasyonlarını iklim değişikliğine yanıt olarak göç ederken desteklemede önemli bir rol oynayacaktır. Entegre zararlı yönetimi (IPM) ve agrofarming gibi sürdürülebilir tarım uygulamaları, ürün direncini korurken pestisit kullanımını en aza indirmek için gerekli olacaktır. Politika müdahaleleri, daha sıkı iklim eylem planları ve biyolojik çeşitlilik koruma yasaları gibi, böcek türlerini korumak ve ekosistem hizmetlerini sürdürmek için gerekli olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 223O260 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, sağladığı destekler için TÜBİTAK'a teşekkür eder.

KAYNAKÇA

- Abarca, M., ve Spahn, R. (2021). Direct and indirect effects of altered temperature regimes and phenological mismatches on insect populations. In *Current Opinion in Insect Science* (Vol. 47). <https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.04.008>
- Abram, P. K., Boivin, G., Moiroux, J., ve Brodeur, J. (2017). Behavioural effects of temperature on ectothermic animals: unifying thermal physiology and behavioural plasticity. *Biological Reviews*, 92(4). <https://doi.org/10.1111/brv.12312>
- Adan, M., Tonnang, H. E. Z., Kassa, C. E. F., Greve, K., Borgemeister, C., ve Goergen, G. (2024). Combining temperature-dependent life table data into Insect Life Cycle Model to forecast fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) distribution in maize agro-ecological zones in Africa. *PLOS ONE*, 19(5), e0299154. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299154>
- Addo-Bediako, A., Chown, S. L., ve Gaston, K. J. (2000). Thermal tolerance, climatic variability and latitude. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 267(1445). <https://doi.org/10.1098/rspb.2000.1065>
- Ahmed, M., Ahmad, S., ve Kheir, A. M. S. (2023). Climate Change: An Overview. In *Global Agricultural Production: Resilience to Climate Change*. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14973-3_1
- Angilletta, M. J. (2006). Estimating and comparing thermal performance curves. *Journal of Thermal Biology*, 31(7). <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2006.06.002>
- Angilletta, M. J., Huey, R. B., ve Frazier, M. R. (2010). Thermodynamic effects on organismal performance: Is

- hotter better? *Physiological and Biochemical Zoology*, 83(2). <https://doi.org/10.1086/648567>
- Arenas, M., Ray, N., Currat, M., ve Excoffier, L. (2012). Consequences of range contractions and range shifts on molecular diversity. *Molecular Biology and Evolution*, 29(1). <https://doi.org/10.1093/molbev/msr187>
- Bell, J. E., Brown, C. L., Conlon, K., Herring, S., Kunkel, K. E., Lawrimore, J., Lubner, G., Schreck, C., Smith, A., ve Uejio, C. (2018). Changes in extreme events and the potential impacts on human health. In *Journal of the Air and Waste Management Association* (Vol. 68, Issue 4). <https://doi.org/10.1080/10962247.2017.1401017>
- Benbow, M. E., Barton, P. S., Ulyshen, M. D., Beasley, J. C., DeVault, T. L., Strickland, M. S., Tomberlin, J. K., Jordan, H. R., ve Pechal, J. L. (2019). Necrobiome framework for bridging decomposition ecology of autotrophically and heterotrophically derived organic matter. *Ecological Monographs*, 89(1). <https://doi.org/10.1002/ecm.1331>
- Bodlah, M. A., Iqbal, J., Ashiq, A., Bodlah, I., Jiang, S., Mudassir, M. A., Rasheed, M. T., ve Fareen, A. G. E. (2023). Insect behavioral restraint and adaptation strategies under heat stress: An inclusive review. In *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* (Vol. 22, Issue 6). <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2023.02.004>
- Carlson, A. D. (1986). Environmental Physiology and Biochemistry of Insects. Klaus H. Hoffmann . *The Quarterly Review of Biology*, 61(1). <https://doi.org/10.1086/414804>
- Chapman, J. W., Reynolds, D. R., ve Wilson, K. (2015). Long-range seasonal migration in insects: Mechanisms, evolutionary drivers and ecological consequences. In

- Ecology Letters* (Vol. 18, Issue 3).
<https://doi.org/10.1111/ele.12407>
- Chmura, H. E., Kharouba, H. M., Ashander, J., Ehlman, S. M., Rivest, E. B., ve Yang, L. H. (2019). The mechanisms of phenology: the patterns and processes of phenological shifts. In *Ecological Monographs* (Vol. 89, Issue 1).
<https://doi.org/10.1002/ecm.1337>
- Chown, S. L., Slabber, S., McGeoch, M. A., Janion, C., ve Leinaas, H. P. (2007). Phenotypic plasticity mediates climate change responses among invasive and indigenous arthropods. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1625).
<https://doi.org/10.1098/rspb.2007.0772>
- Cogato, A., Meggio, F., Migliorati, M. D. A., ve Marinello, F. (2019). Extreme weather events in agriculture: A systematic review. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 9). <https://doi.org/10.3390/su11092547>
- Colinet, H., Lee, S. F., ve Hoffmann, A. (2010). Temporal expression of heat shock genes during cold stress and recovery from chill coma in adult *Drosophila melanogaster*. *FEBS Journal*, 277(1). <https://doi.org/10.1111/j.1742-4658.2009.07470.x>
- Colinet, H., Sinclair, B. J., Vernon, P., ve Renault, D. (2015). Insects in fluctuating thermal environments. In *Annual Review of Entomology* (Vol. 60).
<https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010814-021017>
- Cooksey, C. J. (2019). The red insect dyes: carminic, kermesic and laccaic acids and their derivatives. In *Biotechnic and Histochemistry* (Vol. 94, Issue 2).
<https://doi.org/10.1080/10520295.2018.1511065>

- Couret, J., Dotson, E., ve Benedict, M. Q. (2014). Temperature, larval diet, and density effects on development rate and survival of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *PLoS ONE*, 9(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0087468>
- Crane, E. (1991). Honey from honeybees and other insects. *Ethology Ecology and Evolution*, 3. <https://doi.org/10.1080/03949370.1991.10721919>
- Daglish, G. J., Jagadeesan, R., ve Nayak, M. K. (2021). Temperature-dependent development and reproduction of the cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus* F., in mungbean: Estimating a target temperature for its control using aeration cooling. *Journal of Stored Products Research*, 92. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2021.101815>
- Damien, M., ve Tougeron, K. (2019). Prey–predator phenological mismatch under climate change. In *Current Opinion in Insect Science* (Vol. 35). <https://doi.org/10.1016/j.cois.2019.07.002>
- Damos, P., ve Savopoulou-Soultani, M. (2012). Temperature-driven models for insect development and vital thermal requirements. In *Psyche (London)*. <https://doi.org/10.1155/2012/123405>
- Dangles, O., ve Casas, J. (2019). Ecosystem services provided by insects for achieving sustainable development goals. In *Ecosystem Services* (Vol. 35). <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.12.002>
- Davies, W. J. (2019). Multiple temperature effects on phenology and body size in wild butterflies predict a complex response to climate change. *Ecology*, 100(4). <https://doi.org/10.1002/ecy.2612>
- de Carvalho, N. M., Madureira, A. R., ve Pintado, M. E. (2020). The potential of insects as food sources—a review. In

- Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Vol. 60, Issue 21). <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1703170>
- Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Huey, R. B., Sheldon, K. S., Ghalambor, C. K., Haak, D. C., ve Martin, P. R. (2008). Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(18), 6668–6672.
- Dixon, A. F. G., Honěk, A., Keil, P., Kotela, M. A. A., Šizling, A. L., ve Jarošík, V. (2009). Relationship between the minimum and maximum temperature thresholds for development in insects. *Functional Ecology*, 23(2). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2008.01489.x>
- FAO. (2016). Pollination services for sustainable agriculture. *Food and Agriculture Organisation of the United Nations*.
- Fischer, G., Shah, M., Tubiello, F. N., ve Van Velhuizen, H. (2005). Socio-economic and climate change impacts on agriculture: An integrated assessment, 1990-2080. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1463). <https://doi.org/10.1098/rstb.2005.1744>
- Frazier, M. R., Huey, R. B., ve Berrigan, D. (2006). Thermodynamics constrains the evolution of insect population growth rates: “Warmer is better.” *American Naturalist*, 168(4). <https://doi.org/10.1086/506977>
- Furtak, K., ve Wolińska, A. (2023). The impact of extreme weather events as a consequence of climate change on the soil moisture and on the quality of the soil environment and agriculture – A review. In *Catena* (Vol. 231). <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107378>
- Garnas, J. R. (2018). Rapid evolution of insects to global environmental change: conceptual issues and empirical

- gaps. In *Current Opinion in Insect Science* (Vol. 29).
<https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.07.013>
- González-Tokman, D., Córdoba-Aguilar, A., Dáttilo, W., Lira-Noriega, A., Sánchez-Guillén, R. A., ve Villalobos, F. (2020). Insect responses to heat: physiological mechanisms, evolution and ecological implications in a warming world. *Biological Reviews*, 95(3).
<https://doi.org/10.1111/brv.12588>
- Gravel, A., ve Doyen, A. (2020). The use of edible insect proteins in food: Challenges and issues related to their functional properties. In *Innovative Food Science and Emerging Technologies* (Vol. 59).
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102272>
- Gunderson, A. R., ve Stillman, J. H. (2015). Plasticity in thermal tolerance has limited potential to buffer ectotherms from global warming. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1808).
<https://doi.org/10.1098/rspb.2015.0401>
- Guralnick, R. P., Campbell, L. P., ve Belitz, M. W. (2023). Weather anomalies more important than climate means in driving insect phenology. *Communications Biology*, 6(1).
<https://doi.org/10.1038/s42003-023-04873-4>
- Habel, J. C., Schmitt, T., Gros, P., ve Ulrich, W. (2024). Active around the year: Butterflies and moths adapt their life cycles to a warming world. *Global Change Biology*, 30(1).
<https://doi.org/10.1111/gcb.17103>
- Hällfors, M. H., Pöyry, J., Heliölä, J., Kohonen, I., Kuussaari, M., Leinonen, R., Schmucki, R., Sihvonen, P., ve Saastamoinen, M. (2021). Combining range and phenology shifts offers a winning strategy for boreal Lepidoptera. In

Ecology Letters (Vol. 24, Issue 8).
<https://doi.org/10.1111/ele.13774>

Hansen, J., Sato, M., Hearty, P., Ruedy, R., Kelley, M., Masson-Delmotte, V., Russell, G., Tselioudis, G., Cao, J., Rignot, E., Velicogna, I., Tormey, B., Donovan, B., Kandiano, E., Von Schuckmann, K., Kharecha, P., Legrande, A. N., ve Bauer, M. (2016). Ice melt, sea level rise and superstorms: Evidence from paleoclimate data, climate modeling, and modern observations that 2 °c global warming could be dangerous. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(6).
<https://doi.org/10.5194/acp-16-3761-2016>

Harsimran Kaur Gill, Gaurav Goyal, ve Gurminder Chahil. (2017). Insect Diapause: A Review. *Journal of Agricultural Science and Technology A*, 7(7).
<https://doi.org/10.17265/2161-6256/2017.07.002>

Hartley, S. E., ve Jones, T. H. (2008). *Insect Herbivores, Nutrient Cycling and Plant Productivity*.
https://doi.org/10.1007/978-3-540-74004-9_2

Harvey, J. A., Tougeron, K., Gols, R., Heinen, R., Abarca, M., Abram, P. K., Basset, Y., Berg, M., Boggs, C., Brodeur, J., Cardoso, P., de Boer, J. G., De Snoo, G. R., Deacon, C., Dell, J. E., Desneux, N., Dillon, M. E., Duffy, G. A., Dyer, L. A., ... Chown, S. L. (2023). Scientists' warning on climate change and insects. In *Ecological Monographs* (Vol. 93, Issue 1). <https://doi.org/10.1002/ecm.1553>

Hodgson, J. A., Thomas, C. D., Oliver, T. H., Anderson, B. J., Brereton, T. M., ve Crone, E. E. (2011). Predicting insect phenology across space and time. *Global Change Biology*, 17(3). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02308.x>

Hoekstra, L. A., Siddiq, M. A., ve Montooth, K. L. (2013). Pleiotropic effects of a mitochondrial-nuclear

- incompatibility depend upon the accelerating effect of temperature in *Drosophila*. *Genetics*, 195(3).
<https://doi.org/10.1534/genetics.113.154914>
- Hoffmann, A. A., ve Sgró, C. M. (2011). Climate change and evolutionary adaptation. In *Nature* (Vol. 470, Issue 7335).
<https://doi.org/10.1038/nature09670>
- Hoffmann, A. A., Sørensen, J. G., ve Loeschcke, V. (2003). Adaptation of *Drosophila* to temperature extremes: Bringing together quantitative and molecular approaches. In *Journal of Thermal Biology* (Vol. 28, Issue 3).
[https://doi.org/10.1016/S0306-4565\(02\)00057-8](https://doi.org/10.1016/S0306-4565(02)00057-8)
- Jankielsohn, A. (2018). The Importance of Insects in Agricultural Ecosystems. *Advances in Entomology*, 06(02).
<https://doi.org/10.4236/ae.2018.62006>
- Jaworski, T., ve Hilszczański, J. (2014). The effect of temperature and humidity changes on insects development their impact on forest ecosystems in the expected climate change. *Forest Research Papers*, 74(4).
<https://doi.org/10.2478/frp-2013-0033>
- Kellermann, V., Overgaard, J., Hoffmann, A. A., Fljøgaaard, C., Svenning, J. C., ve Loeschcke, V. (2012). Upper thermal limits of *Drosophila* are linked to species distributions and strongly constrained phylogenetically. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(40).
<https://doi.org/10.1073/pnas.1207553109>
- Khatchikian, C. E., Prusinski, M. A., Stone, M., Backenson, P. B., Wang, I. N., Foley, E., Seifert, S. N., Levy, M. Z., ve Brisson, D. (2015). Recent and rapid population growth and range expansion of the Lyme disease tick vector,

- Ixodes scapularis*, in North America. *Evolution*, 69(7).
<https://doi.org/10.1111/evo.12690>
- King, A. M., ve Macrae, T. H. (2015). Insect heat shock proteins during stress and diapause. In *Annual Review of Entomology* (Vol. 60). <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011613-162107>
- Kingsolver, J. G. (2000). Feeding, growth, and the thermal environment of cabbage white caterpillars, *Pieris rapae* L. *Physiological and Biochemical Zoology*, 73(5).
<https://doi.org/10.1086/317758>
- Kingsolver, J. G., Higgins, J. K., ve Augustine, K. E. (2015). Fluctuating temperatures and ectotherm growth: Distinguishing non-linear and time-dependent effects. *Journal of Experimental Biology*, 218(14).
<https://doi.org/10.1242/jeb.120733>
- Kingsolver, J. G., ve Huey, R. B. (2008). Size, temperature, and fitness: Three rules. *Evolutionary Ecology Research*, 10(2).
- Klockmann, M., ve Fischer, K. (2019). Strong reduction in diapause survival under warm and humid overwintering conditions in a temperate-zone butterfly. *Population Ecology*, 61(2). <https://doi.org/10.1002/1438-390X.1016>
- Kratina, P., Rosenbaum, B., Gallo, B., Horas, E. L., ve O’Gorman, E. J. (2022). The Combined Effects of Warming and Body Size on the Stability of Predator-Prey Interactions. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9.
<https://doi.org/10.3389/fevo.2021.772078>
- Lakshnarayan Kumar, B., ve Gyanpriya, M. (2023). Impact of climate change on insect biology, ecology, population dynamics, and pest management: A critical review. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 19(3), 541–568. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.19.3.1843>

- Larsen, E. A., Belitz, M. W., Guralnick, R. P., ve Ries, L. (2022). Consistent trait-temperature interactions drive butterfly phenology in both incidental and survey data. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16104-7>
- Li, D., Belitz, M., Campbell, L., ve Guralnick, R. (2025). Extreme weather events have strong but different impacts on plant and insect phenology. *Nature Climate Change*. <https://doi.org/10.1038/s41558-025-02248-7>
- Liceaga, A. M., Aguilar-Toalá, J. E., Vallejo-Cordoba, B., González-Córdova, A. F., ve Hernández-Mendoza, A. (2022). Insects as an Alternative Protein Source. In *Annual Review of Food Science and Technology* (Vol. 13). <https://doi.org/10.1146/annurev-food-052720-112443>
- López-Urbe, M. M. (2018). Pollination Services to Agriculture: Sustaining and Enhancing a Key Ecosystem Service. *American Entomologist*, 64(1). <https://doi.org/10.1093/ae/tmx070>
- Ma, C. Sen, Ma, G., ve Pincebourde, S. (2021). Survive a Warming Climate: Insect Responses to Extreme High Temperatures. In *Annual Review of Entomology* (Vol. 66). <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-041520-074454>
- Macgregor, C. J., Thomas, C. D., Roy, D. B., Beaumont, M. A., Bell, J. R., Brereton, T., Bridle, J. R., Dytham, C., Fox, R., Gotthard, K., Hoffmann, A. A., Martin, G., Middlebrook, I., Nylin, S., Platts, P. J., Rasteiro, R., Saccheri, I. J., Villoutreix, R., Wheat, C. W., ve Hill, J. K. (2019). Climate-induced phenology shifts linked to range expansions in species with multiple reproductive cycles per year. *Nature Communications*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12479-w>

- Martén-Rodríguez, S., Cristobal-Pérez, E. J., de Santiago-Hernández, M. H., Huerta-Ramos, G., Clemente-Martínez, L., Krupnick, G., Taylor, O., Lopezaraiza-Mikel, M., Balvino-Olvera, F. J., Senties-Aguilar, E. M., Díaz-Infante, S., Aguirre Jaimes, A., Novais, S., Cortés-Flores, J., Lobo-Segura, J., Fuchs, E. J., Delgado-Carrillo, O., Ruiz-Mercado, I., Sáyago-Lorezana, R., ... Quesada, M. (2025). Untangling the Complexity of Climate Change Effects on Plant Reproductive Traits and Pollinators: A Systematic Global Synthesis. *Global Change Biology*, 31(2). <https://doi.org/10.1111/gcb.70081>
- Menail, H. A., Cormier, S. B., Ben Youssef, M., Jørgensen, L. B., Vickruck, J. L., Morin, P., Boudreau, L. H., ve Pichaud, N. (2022). Flexible Thermal Sensitivity of Mitochondrial Oxygen Consumption and Substrate Oxidation in Flying Insect Species. *Frontiers in Physiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.897174>
- Millard, J., Outhwaite, C. L., Ceaşu, S., Carvalho, L. G., da Silva e Silva, F. D., Dicks, L. V., Ollerton, J., ve Newbold, T. (2023). Key tropical crops at risk from pollinator loss due to climate change and land use. *Science Advances*, 9(41). <https://doi.org/10.1126/SCIADV.ADH0756>
- Minteer, B. A., ve Collins, J. P. (2010). Move it or lose it? the ecological ethics of relocating species under climate change. *Ecological Applications*, 20(7). <https://doi.org/10.1890/10-0318.1>
- Muluneh, M. G. (2021). Impact of climate change on biodiversity and food security: a global perspective—a review article. In *Agriculture and Food Security* (Vol. 10, Issue 1). <https://doi.org/10.1186/s40066-021-00318-5>

- Noriega, J. A., ve Schowalter, T. D. (2024). Insects as functional components of communities and ecosystems. In *Routledge Handbook of Insect Conservation* (pp. 35–52). Routledge.
- Overgaard, J., Kristensen, T. N., Mitchell, K. A., ve Hoffmann, A. A. (2011). Thermal tolerance in widespread and tropical *Drosophila* species: Does phenotypic plasticity increase with latitude? *American Naturalist*, 178(SUPPL. 1). <https://doi.org/10.1086/661780>
- Overgaard, J., ve Macmillan, H. A. (2017). The Integrative Physiology of Insect Chill Tolerance. In *Annual Review of Physiology* (Vol. 79). <https://doi.org/10.1146/annurev-physiol-022516-034142>
- Palin, E. J., Stipanovic Oslakovic, I., Gavin, K., ve Quinn, A. (2021). Implications of climate change for railway infrastructure. In *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* (Vol. 12, Issue 5). <https://doi.org/10.1002/wcc.728>
- Pecl, G. T., Araújo, M. B., Bell, J. D., Blanchard, J., Bonebrake, T. C., Chen, I.-C., Clark, T. D., Colwell, R. K., Danielsen, F., Evengård, B., Falconi, L., Ferrier, S., Frusher, S., Garcia, R. A., Griffis, R. B., Hobday, A. J., Janion-Scheepers, C., Jarzyna, M. A., Jennings, S., ... Williams, S. E. (2017). Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science*, 355(6332), eaai9214. <https://doi.org/10.1126/science.aai9214>
- Peterson, N. A., ve Nilssen, A. C. (1998). Late autumn eclosion in the winter moth *Operophtera brumata*: Compromise of selective forces in life-cycle timing. *Ecological Entomology*, 23(4). <https://doi.org/10.1046/j.1365-2311.1998.00155.x>

- Picanço, A., Gil, A., Rigal, F., ve Borges, P. A. V. (2017). Pollination services mapping and economic valuation from insect communities: A case study in the Azores (Terceira Island). In *Nature Conservation* (Vol. 18). <https://doi.org/10.3897/natureconservation.18.11523>
- Piyaphongkul, J., Pritchard, J., ve Bale, J. (2012). Can tropical insects stand the heat? A case study with the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål). *PLoS ONE*, 7(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029409>
- Price, P. W. (1973). Reproductive Strategies in Parasitoid Wasps. *The American Naturalist*, 107(957). <https://doi.org/10.1086/282867>
- Prokop, A. (2016). Fruit flies in biological research. *Biological Sciences Review*, 28(4).
- Pyšek, P., Hulme, P. E., Simberloff, D., Bacher, S., Blackburn, T. M., Carlton, J. T., Dawson, W., Essl, F., Foxcroft, L. C., Genovesi, P., Jeschke, J. M., Kühn, I., Liebhold, A. M., Mandrak, N. E., Meyerson, L. A., Pauchard, A., Pergl, J., Roy, H. E., Seebens, H., ... Richardson, D. M. (2020). Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews*, 95(6), 1511–1534. <https://doi.org/10.1111/brv.12627>
- Quarles, W. (2001). Global warming means more pests. In *The IPM Practitioner*.
- Rader, R., Bartomeus, I., Garibaldi, L. A., Garratt, M. P. D., Howlett, B. G., Winfree, R., Cunningham, S. A., Mayfield, M. M., Arthur, A. D., Andersson, G. K. S., Bommarco, R., Brittain, C., Carnevali, L. G., Chacoff, N. P., Entling, M. H., Foully, B., Freitas, B. M., Gemmill-Herren, B., Ghazoul, J., ... Woyciechowski, M. (2016). Non-bee insects are important contributors to global crop

- pollination. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(1). <https://doi.org/10.1073/pnas.1517092112>
- Raj, N. G. (2024). Insect Ecological Interactions: From Trophic Cascades to Ecosystem Services. In *Entomology Redefined* (pp. 220–232). CRC Press.
- Raven, P. H., ve Wagner, D. L. (2021). Agricultural intensification and climate change are rapidly decreasing insect biodiversity. In *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (Vol. 118, Issue 2). <https://doi.org/10.1073/PNAS.2002548117>
- Reddy, P. V. R., Verghese, A., ve Rajan, V. V. (2013). Potential impact of climate change on honeybees (*Apis* spp.) and their pollination services. *Pest Management In Horticultural Ecosystems*, 18(2).
- Régnière, J., Logan, J. A., Carroll, A., ve Safranyik, L. (2013). Phenological modelling of climate change impacts on North American forest insects. *Proceedings of the XII World Forestry Congress Proceedings Synthesis, Quebec, QC, Canada*, 21–28.
- Renner, S. S., ve Zohner, C. M. (2018). Climate change and phenological mismatch in trophic interactions among plants, insects, and vertebrates. In *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* (Vol. 49). <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110617-062535>
- Santos, M. A., Carromeu-Santos, A., Quina, A. S., Santos, M., Matos, M., ve Simões, P. (2021). High developmental temperature leads to low reproduction despite adult temperature. *Journal of Thermal Biology*, 95. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102794>

- Scranton, K., ve Amarasekare, P. (2017). Predicting phenological shifts in a changing climate. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(50). <https://doi.org/10.1073/pnas.1711221114>
- Seneviratne, S. I., Rogelj, J., Séférian, R., Wartenburger, R., Allen, M. R., Cain, M., Millar, R. J., Ebi, K. L., Ellis, N., Hoegh-Guldberg, O., Payne, A. J., Schleussner, C. F., Tschakert, P., ve Warren, R. F. (2018). The many possible climates from the Paris Agreement's aim of 1.5 °C warming. *Nature*, 558(7708). <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0181-4>
- Sinclair, B. J., Williams, C. M., ve Terblanche, J. S. (2012). Variation in thermal performance among insect populations. *Physiological and Biochemical Zoology*, 85(6). <https://doi.org/10.1086/665388>
- Singer, M. C., ve Parmesan, C. (2010). Phenological asynchrony between herbivorous insects and their hosts: Signal of climate change or pre-existing adaptive strategy? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1555). <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0144>
- Skendžić, S., Zovko, M., Živković, I. P., Lešić, V., ve Lemić, D. (2021). The impact of climate change on agricultural insect pests. In *Insects* (Vol. 12, Issue 5). <https://doi.org/10.3390/insects12050440>
- Sørensen, J. G., Kristensen, T. N., ve Overgaard, J. (2016). Evolutionary and ecological patterns of thermal acclimation capacity in *Drosophila*: is it important for keeping up with climate change? In *Current Opinion in Insect Science* (Vol. 17). <https://doi.org/10.1016/j.cois.2016.08.003>

- Sujayanand, G. K., ve Karuppaiah, V. (2016). Aftermath of climate change on insect migration: A review. *Agricultural Reviews*, 37(3). <https://doi.org/10.18805/ag.v37i3.3537>
- Sun, J., Tan, X., Li, Q., Francis, F., ve Chen, J. (2022). Effects of Different Temperatures on the Development and Reproduction of *Sitobion miscanthi* From Six Different Regions in China. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.794495>
- Sutherland, T. D., Young, J. H., Weisman, S., Hayashi, C. Y., ve Merritt, D. J. (2010). Insect silk: One name, many materials. In *Annual Review of Entomology* (Vol. 55). <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-112408-085401>
- Tobin, P. C., Nagarkatti, S., Loeb, G., ve Saunders, M. C. (2008). Historical and projected interactions between climate change and insect voltinism in a multivoltine species. *Global Change Biology*, 14(5). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01561.x>
- Tougeron, K. (2019). Diapause research in insects: historical review and recent work perspectives. In *Entomologia Experimentalis et Applicata* (Vol. 167, Issue 1). <https://doi.org/10.1111/eea.12753>
- Toxopeus, J., ve Sinclair, B. J. (2018). Mechanisms underlying insect freeze tolerance. *Biological Reviews*, 93(4). <https://doi.org/10.1111/brv.12425>
- Trenberth, K. E. (2018). Climate change caused by human activities is happening and it already has major consequences. In *Journal of Energy and Natural Resources Law* (Vol. 36, Issue 4). <https://doi.org/10.1080/02646811.2018.1450895>
- Ullah, F., Abbas, A., Gul, H., Güncan, A., Hafeez, M., Gadratagi, B. G., Cicero, L., Ramirez-Romero, R.,

- Desneux, N., ve Li, Z. (2024). Insect resilience: unraveling responses and adaptations to cold temperatures. In *Journal of Pest Science* (Vol. 97, Issue 3). <https://doi.org/10.1007/s10340-023-01741-2>
- Uphus, L., Uhler, J., Tobisch, C., Rojas-Botero, S., Lüpke, M., Benjamin, C., Englmeier, J., Fricke, U., Ganuza, C., Haensel, M., Redlich, S., Zhang, J., Müller, J., ve Menzel, A. (2023). Earlier and more uniform spring green-up linked to lower insect richness and biomass in temperate forests. *Communications Biology*, 6(1). <https://doi.org/10.1038/s42003-023-05422-9>
- Vasseur, D. A., DeLong, J. P., Gilbert, B., Greig, H. S., Harley, C. D. G., McCann, K. S., Savage, V., Tunney, T. D., ve O'Connor, M. I. (2014). Increased temperature variation poses a greater risk to species than climate warming. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1779). <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2612>
- Verma, R. C., Waseem, M. A., Sharma, N., Bharathi, K., Singh, S., Anto Rashwin A., Pandey, S. K., ve Singh, B. V. (2023). The Role of Insects in Ecosystems, an in-depth Review of Entomological Research. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(10). <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i103110>
- Winfree, R., Gross, B. J., ve Kremen, C. (2011). Valuing pollination services to agriculture. *Ecological Economics*, 71(1). <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.08.001>
- Yi, H., Devkota, B. R., Yu, J. seung, Oh, K. cheol, Kim, J., ve Kim, H. J. (2014). Effects of global warming on mosquitoes ve mosquito-borne diseases and the new strategies for mosquito control. In *Entomological Research* (Vol. 44, Issue 6). <https://doi.org/10.1111/1748-5967.12084>

Zhou, Y., Ge, X., Zou, Y., Guo, S., Wang, T., ve Zong, S. (2019).
Climate change impacts on the potential distribution and
range shift of *Dendroctonus ponderosae* (Coleoptera:
Scolytidae). *Forests*, 10(10).
<https://doi.org/10.3390/f10100860>

BÖLÜM 10

TOPRAK PLASTİK KİRLİLİĞİNİN KAYNAKLARI VE BELİRLEME YÖNTEMLERİ

Dr. Öğr. Gör. Mehmet Ali EMİNOĞLU¹
Dr. Öğr. Gör. Halime ÖZTÜRK²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15028444>

¹Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Aydın, Türkiye. eminoglumali@gmail.com,
Orcid ID: 0000-0002-8752-5736

²Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye. ho166832@gmail.com Orcid ID: 0000-0002-9251-1750

1.GİRİŞ

Plastikler, düşük maliyetleri, dayanıklılıkları, esneklikleri ve suya karşı yüksek dirençleri nedeniyle sanayi, tarım ve günlük yaşamda yaygın olarak kullanılan malzemelerdir (Li ve ark., 2022). Küresel plastik üretimi, son 50 yılda %8,7'lik bir büyüme oranıyla 9,1 milyar tona ulaşmış olup, 2050 yılına kadar 33 milyar tona çıkacağı öngörülmektedir (Plastics Europe, 2017; Sharma ve ark., 2020). Ancak, büyük ölçekli üretim, hızlı tüketim, yetersiz geri kazanım ve plastiklerin doğada yavaş bozunması nedeniyle plastik atıklar ciddi bir çevresel sorun haline gelmiştir (Ng ve Obbard, 2006). 2015 yılında tahmini 250 milyon ton plastik atık okyanuslara ulaşmış, ancak büyük bir kısmı karasal ekosistemlerde birikmeye devam etmiştir (Plastics Europe, 2017).

Çevreye salınan plastikler, ultraviyole (UV) radyasyonu, rüzgâr, su erozyonu ve çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler nedeniyle daha küçük parçacıklara ayrılarak mikroplastiklere (MP) dönüşmektedir (Ng ve Obbard, 2006; Li ve ark., 2022). MP'ler, genellikle plastik parçacıkları, lifler ve filmler gibi formlarda bulunmakta olup, birincil ve ikincil mikroplastikler olarak sınıflandırılmaktadır (Luo ve ark., 2018). Birincil MP'ler, kişisel bakım ürünleri ve kozmetikler gibi endüstriyel ürünlerden kaynaklanırken (Ng ve Obbard, 2006), ikincil MP'ler plastiklerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik yollarla parçalanmasıyla oluşmaktadır (Conkle ve ark., 2018; Nabi ve ark., 2021).

MP'ler, 5 mm'den küçük çaplara sahip olup, polietilen (PE), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), polietilen tereftalat (PET), polivinil klorür

(PVC), polipropilen (PP) ve polistiren (PS) gibi farklı polimerlerden oluşmaktadır (Arthur ve ark., 2009; Elkhatib ve Oyanedel-Craver, 2020). Küçük boyutları, geniş yüzey alanları ve hidrofobiklikleri nedeniyle MP'ler, ağır metaller ve hidrofobik organik kirleticiler gibi toksik bileşikleri adsorbe edebilmekte ve ekosistemler üzerinde ciddi olumsuz etkilere yol açabilmektedir (Luo ve ark., 2018).

MP kirliliği ilk olarak deniz ortamlarında tespit edilmiş ve yapılan çalışmalar genellikle sucul ekosistemlerde MP'lerin kökeni, yayılımı ve canlılar üzerindeki etkileri üzerine yoğunlaşmıştır (Colton ve ark., 1974; Sharma ve ark., 2020). Ancak plastik atıkların büyük bir kısmı kara kaynaklıdır ve tarımsal alanlarda yoğun olarak birikmektedir (Rillig, 2012; He ve ark., 2018a). Karasal ortamda MP'ler, özellikle tarım arazilerinde uzun vadeli kirletici unsurlar olarak varlığını sürdürmektedir. Tarım topraklarında MP kirliliğine neden olan başlıca kaynaklar, plastik malç kullanımı, tarımsal plastik atıkların parçalanması, kanalizasyon çamuru uygulamaları ve sulama sistemleri ile taşınım süreçleridir (Eerkes-Medrano ve ark., 2015; Huang ve ark., 2020).

MP'lerin tarım alanlarında birikmesi, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirerek ekosistem dengesi üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. MP'ler, toprak pH'ını, organik madde içeriğini ve besin maddelerinin bulunabilirliğini değiştirebilmekte (Wang ve ark., 2020b; Gong ve Xie, 2020), gözenekliliği artırarak su tutma kapasitesini azaltmakta ve su buharlaşmasını hızlandırmaktadır (Zhang ve ark., 2019a; Wan ve ark., 2019). Bunun yanı sıra, MP'ler tarım arazilerindeki pestisitler ve ağır metaller gibi toksik kirleticileri adsorbe ederek

bitkiler ve toprak organizmaları üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir (Lan ve ark., 2021).

Bitkiler tarafından kök yoluyla alınan MP'ler, gövde ve yapraklara taşınarak fotosentez, besin alımı ve büyüme üzerinde olumsuz etkiler yaratabilmektedir (de Souza Machado ve ark., 2019; Zhou ve ark., 2021). Örneğin, yapılan çalışmalar polistiren (PS) mikrobuncuklarının bitki kökleri tarafından alınıp taşınarak bitki dokularına yayılabildiğini göstermektedir (Li ve ark., 2020). Ayrıca, MP'lerin toprak mikrobiyal topluluklarını bozarak toprak ekosisteminin biyolojik dengesini değiştirdiği belirlenmiştir (Liu ve ark., 2019b).

MP'lerin çevresel yayılımı yalnızca toprakla sınırlı kalmayıp, hayvanlar ve insanlar için de risk oluşturmaktadır. MP'ler, solucanlar, yay kuyruklu böcekler, enchytraeid solucanları, izopodlar, akarlar ve salyangozlar gibi toprak organizmaları tarafından yutulabilmekte ve bu organizmaların fizyolojik işlevlerini bozabilmektedir (Baeza ve ark., 2020; Von Moos ve ark., 2012). Yuvarlak solucanlar (*Caenorhabditis elegans*) tarafından emilen MP'ler, bağırsaklarda birikerek çeşitli toksik etkilere neden olabilmektedir (Lei ve ark., 2018). Bunun yanı sıra, yapılan araştırmalar MP'lerin besin zinciri yoluyla insan vücuduna kadar ulaşabileceğini göstermektedir (Carbery ve ark., 2018). 50 nm çapındaki nanoplastiklerin bitki hücrelerine girerek besin zinciri boyunca taşınabildiği ve insan sağlığına zarar verebileceği belirtilmiştir (Sun ve ark., 2022).

Çevrede yaygın olarak bulunan MP'lerin tarımsal ekosistemlerde nasıl birikim gösterdiğini anlamak, bu kirleticilerin çevresel ve ekolojik etkilerini belirlemek açısından önemlidir (Dioses-Salinas ve ark., 2020). Ancak, MP ve

nanoplastiklerin (NP) ayrıştırılması ve analizi konusunda standart yöntemler üzerinde hâlâ bir mutabakat sağlanamamıştır (Yang ve ark., 2022). Özellikle tarım topraklarında MP'lerin tespiti için güvenilir ve sistematik analiz yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma, tarım topraklarında MP kirliliğinin başlıca kaynakları ve kirlilik düzeyinin belirlenmesinde kullanılan yöntemleri derleyi amaçlanmıştır.

2.TOPRAKLARIN PLASTİK KİRLİLİĞİNİN BAŞLICA KAYNAKLARI

2.1. Tarımda Plastik Film Kullanımı

Plastik malçlama, tarımsal üretimde verimi artırmak ve ürün kalitesini iyileştirmek amacıyla yaygın olarak kullanılan bir tekniktir (Lamont, 2005; Zhao ve ark., 2016). Bu yöntem, toprak sıcaklığını artırarak ve su kullanım verimliliğini iyileştirerek bitkilerin gelişimine katkı sağlamaktadır (Tarara, 2000; Fan ve ark., 2017; Wu ve ark., 2017). Günümüzde Avrupa'da 4270 km²'lik bir tarım alanında plastik malç kullanımı söz konusu olup, bu da kaplanmış tarım alanlarının en büyük kısmını oluşturmaktadır (Scarascia-Mugnozza ve ark., 2011). Küresel ölçekte, plastik malç kullanımı alanının 2019 yılına kadar yıllık %5.7 oranında artması beklenirken (Transparency Market Research, 2013), Çin'de 1991–2004 yılları arasında bu artışın yıllık %30'a ulaştığı rapor edilmiştir (Espi, 2006).

Plastik malç üretiminde en yaygın kullanılan polimer, yüksek yoğunluklu, düşük yoğunluklu ve lineer düşük yoğunluklu polietilen (PE) olup (Díaz-Pérez, 2010; Sivan, 2011; Kara ve Atar, 2013), Çin, Japonya ve Güney Kore gibi ülkelerde (küresel plastik malç kullanımının %80'ini oluşturan) yıllık 700.000 ton düşük yoğunluklu PE tüketilmektedir (Espi, 2006).

Bununla birlikte, ABD gibi bazı ülkelerde polivinil klorür (PVC) içeren malç materyalleri toksik ve kanserojen etkileri nedeniyle yasaklanmıştır.

Plastik malçlama, tarımsal verimi artırmasına rağmen, plastik kalıntılarının toprağa karışmasına yol açarak çevresel açıdan olumsuz sonuçlar doğurmaktadır (Steinmetz ve ark., 2016). Bu bağlamda Ramos ve çalışma arkadaşları (2015), plastik malçtan kaynaklanan polietilen (PE) film kalıntılarını inceleyerek, bahçecilik alanlarında 0.5 cm²'den büyük mezoplastik ve makroplastik kalıntılar tespit etmiş ve bu kalıntıların 1 m² toprak başına ortalama 3 g PE içerdiğini belirlemiştir. Ayrıca, plastik malç kullanılan toprak yüzeyinin %10'unun plastik kaplı olduğu saptanmıştır. Daha önce de belirtildiği gibi, plastikler ftalatlar gibi zararlı katkı maddeleri içermektedir. Plastik malçların kilogram başına 50 ila 120 mg ftalat içerdiği, bu durumun Çin'deki malçlı topraklarda ftalat konsantrasyonlarını malçsız topraklara kıyasla %74 ila %208 oranında artırdığı rapor edilmiştir (Wang ve ark., 2013; Kong ve ark., 2012). Steinmetz ve çalışma arkadaşları (2016), plastik malç kullanımının toprakta plastik parçalarının zamanla birikmesine neden olduğunu ve ftalat gibi zararlı kirleticilerin çevreye salınarak ekosistem için bir tehdit oluşturduğunu vurgulamıştır. Yazarlar ayrıca, farklı malçlama uygulamalarının toprakta bıraktığı plastik miktarının belirlenmesi ve plastiğin topraktaki kaderinin daha iyi anlaşılması için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğunu belirtmiştir.

Plastik malçların toprak ekosisteminde kalıcı mikroplastik kirliliğine neden olduğu birçok çalışma ile ortaya konulmuştur. Plastik filmler kullanım sırasında veya sonrasında parçalanarak mikroplastik kaynağına dönüşmekte ve toprak fonksiyonlarını

olumsuz etkilemektedir (Zhaorong ve ark., 2020; Zhou ve ark., 2020). Özellikle, 0–100 cm derinlik aralığında plastik malçların mikroplastik kirliliğine katkısının %33–56 olduğu belirlenmiştir. Toprak yüzeyinde (0–10 cm) ortalama 8885 partikül/kg mikroplastik bulunurken, derin alt toprakta (80–100 cm) bu miktarın 2899 partikül/kg olduğu tespit edilmiştir (Li ve ark., 2022). Hangzhou Körfezi yakınında yapılan çalışmalar, plastik malç kullanılmış topraklarda mikroplastik miktarının, malçsız alanlara kıyasla önemli ölçüde daha fazla olduğunu göstermiştir (Zhou ve ark., 2020). Ayrıca, plastik film kullanım süresinin arttıkça mikroplastik birikiminin de arttığı belirlenmiştir; plastik filmle 24 yıl boyunca kaplanmış topraklarda mikroplastik yoğunluğu 1.08 ± 0.347 parçacık·g⁻¹ iken, 5 yıl boyunca kaplanmış topraklarda bu değer 0.803 ± 0.493 parçacık·g⁻¹ olarak ölçülmüştür (Huang ve ark., 2020).

Plastik malçlar genellikle biyolojik olarak parçalanamaz özellikte olup, toprakta uzun yıllar boyunca kalmaktadır. Ayrıca, bu plastikler yüzey akışı ile taşınarak su ekosistemlerine ulaşabilmekte ve geniş çaplı çevresel kirliliğe yol açmaktadır (Tian ve ark., 2022). Plastiklerin geri dönüştürülmesi veya topraktan uzaklaştırılması ise çiftçiler için ciddi bir sorun teşkil etmektedir (Steinmetz ve ark., 2016). Bazı plastik malçlar oksoplastik içerikli olarak üretilmekte ve tek kullanımlık plastikler olarak satılmaktadır. Ancak yapılan çalışmalar, oksoplastiklerin biyobozunurluk potansiyelinin oldukça sınırlı olduğunu ve geleneksel plastikler gibi uzun yıllar toprakta kalmaya devam ettiğini ortaya koymuştur (Avrupa Komisyonu, 2018). Liu ve çalışma arkadaşları (2019) ise plastik malçların tamamen topraktan uzaklaştırılamadığını, oksoplastik kalıntılarının mikroplastik formunda uzun süre toprakta kalarak

ekosistemi kirlettiğini bildirmiştir (Liu ve ark., 2019; Tian ve ark., 2022).

Bu bağlamda, plastik malç kullanımına bağlı olarak ortaya çıkan mikroplastik kirliliğinin izlenmesi ve yönetilmesi amacıyla küresel ölçekte bir veri tabanı oluşturulması gerekmektedir. Böyle bir veri tabanı, mikroplastiklerin çevresel etkilerine yönelik gelecekte yapılacak risk değerlendirme çalışmalarına bilimsel bir temel sağlayacaktır (Uzamurera ve ark., 2023).

2.2. Sulama ve Plastik Kirliliği

Sulama, su kıtlığının yaşandığı tarımsal alanlarda bitkilerin su ihtiyacını karşılamak ve verimliliği artırmak amacıyla yaygın olarak uygulanan bir yöntemdir. Dünya genelinde 270 milyon hektar (Mha) alan sulanmakta olup, bu alan toplam tarım arazilerinin %18'ini oluşturmaktadır (Bruinsma, 2017). Gelişmekte olan ülkelerde sulama için genellikle arıtılmış atık su veya yeraltı suyu kullanılmaktadır. Ancak, yeraltı suyunda plastik veya plastik türevli bileşiklerin varlığına dair herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Yeraltı suyu, genellikle yağışın toprak ve alttaki jeolojik katmanlardan sızarak birikmesiyle oluştuğundan, büyük plastik parçalarının filtrelenmesi muhtemeldir. Buna karşın, nanoplastik boyutundaki (< 100 nm) veya kolloidal (< 1 μ m) plastik parçacıkları, makroporlar ve daha iri toprak dokularından geçerek yeraltı suyuna ulaşabilir (Hoppe ve ark., 2015; Bol ve ark., 2016). Bu nedenle, yeraltı suyu ile sulanan tarım alanlarında büyük miktarda mikroplastik bulunması beklenmese de, kolloidal veya nanoparçacık boyutundaki plastiklerin toprak kirliliğine katkıda bulunabileceği göz ardı edilemez.

İklim değişikliği, nüfus artışı ve kentleşme gibi faktörler, dünya genelinde su kıtlığını artırmaktadır. Bu nedenle, kısmen veya hiç arıtılmamış atık suyun tarım arazilerinde doğrudan sulama amacıyla kullanımı yaygınlaşmakta ve birçok çiftçi için tek su kaynağı haline gelmektedir (WHO, 2006; UN/WWAP, 2009). Uzmanlar, halihazırda 20 milyon hektarlık tarım alanının (%7) tamamen veya kısmen arıtılmış atık su ile sulandığını ve dünya nüfusunun %10'unun gıdasının kirlenmiş atık su kullanılarak üretildiğini tahmin etmektedir (Corcoran, 2010).

Arıtılmamış atık su, çamaşır makinelerinden kaynaklanan tekstil elyafları ve şampuan veya peeling ürünleri gibi kişisel bakım ürünlerinden türeyen plastikleri içermektedir. Bu tür plastik parçacıklarının çapları genellikle 164 ila 327 µm arasında değişmektedir (Browne ve ark., 2011; Napper ve ark., 2015; Hartline ve ark., 2016; Ziajahromi ve ark., 2016). Atık sudaki mikropplastik konsantrasyonları 1000 ila 627.000 plastik parçacık/m³ arasında değişmektedir ve bu parçacıkların büyük bir kısmını tekstil elyafları (467.000 adet) ve diğer mikropplastikler (160.000 adet) oluşturmaktadır. Majewsky ve ark. (2016), atık suda 80–260 mg/m³ polietilen (PE) ve polipropilen (PP) tespit etmiştir.

Sulama suyundaki plastik konsantrasyonları, tarım topraklarına ulaşabilecek mikropplastik miktarını artırmaktadır. Örneğin, sulama amacıyla kullanılan arıtılmamış atık suyun 1000 ila 627.000 mikropplastik parçacık/m³ içerdiği varsayılarak, sulama ihtiyacının yarısının atık suyla karşılandığı düşünüldüğünde, her yetiştirme dönemi boyunca 1 hektarlık alana düşen plastik miktarı şu şekilde hesaplanmaktadır: Lahana için 2.200.000 ila 137.940.000, mısır için 3.250.000 ila

2.037.750.000 ve pamuk için 5.000.000 ila 3.135.000.000 plastik parçacık (Doorenbos ve Kassam 1979).

Gelişmiş ülkelerde (İsrail, Avustralya ve ABD'nin özellikle Kaliforniya ve Florida eyaletlerinde) sulama için kullanılan atık su genellikle arıtılmaktadır (Mateo-Sagasta ve ark., 2013). Arıtılmış suyun plastik konsantrasyonu 0 ila 125.000 parçacık/m³ arasında değişmekte olup, bu değer kullanılan arıtma teknolojisine bağlı olarak büyük farklılık göstermektedir. Ancak, arıtılmış suyun plastik içeriği arıtılmamış atık sudan genellikle daha düşük olsa da, sulama yoluyla tarım topraklarına mikroplastik girişi devam etmektedir. Sulama oranları ve atık sudaki plastik konsantrasyonu göz önünde bulundurulduğunda, arıtılmış atık su kullanımı sonucunda bile tarım alanlarına hektar başına yetiştirme dönemi boyunca lahana için 275.000.000, mısır için 406.250.000 ve pamuk için 625.000.000 plastik parçacık ulaşabilmektedir.

2.3. Taşkınlar ve Mikroplastik Kirliliği

Sulama dışında, taşkın alanları ve su kenarındaki topraklar da doğal yollarla nehir ve göllerden gelen suyla taşkına maruz kalmaktadır. Tatlı su sistemlerinde sıklıkla plastik tespit edildiğinden, taşkınlarla taşınan suyun toprakları kirlletmesi olasıdır. Tatlı su ekosistemlerinde mikroplastik kirliliği üzerine yapılan çalışmalar, bu sistemlerde plastiklerin varlığı, dağılımı ve taşınımına ilişkin bilgilerin hala sınırlı olduğunu göstermektedir (Dris ve ark., 2015b; Eerkes-Medrano ve ark., 2015).

Nehirlerde ve göllerde plastik konsantrasyonları büyük ölçüde değişkenlik göstermekte olup, plastik miktarı 10³ ile 10⁹ kat arasında değişebilmektedir (Dris ve ark., 2015b). Plastik

konsantrasyonları, atık su arıtma tesisleri, kentsel yüzey akışları ve sanayi faaliyetleri gibi potansiyel plastik kaynaklarına olan yakınlık ve akış koşullarına bağlı olarak değişmektedir (Moore ve ark., 2011; Mani ve ark., 2015; Driedger ve ark., 2015). Ayrıca, farklı örnekleme ve analiz teknikleri de bu değişkenliğe katkıda bulunabilmektedir. Örneğin, nehir ekosistemleri üzerinde yapılan bir çalışmada, 80 µm'lik bir ağ kullanılarak yapılan örneklemelerin, 330 µm'lik ağ kullanılan çalışmalara kıyasla mikropplastik konsantrasyonlarını 6 ila 235 kat daha yüksek gösterdiği belirlenmiştir (Dris ve ark., 2015a).

Nehirlerde plastik konsantrasyonları 0 ila 13.751 plastik parçacık/m³ arasında değişmekte olup (Sofra ve ark., 2010; Moore ve ark., 2011; Lechner ve ark., 2014; Mani ve ark., 2015; Dris ve ark., 2015a), göllerde ise plastik konsantrasyonları genellikle alan başına (km²) ifade edilmektedir. Göl ekosistemlerinde tespit edilen plastik yoğunlukları 0 ila 220.000 plastik parçacık/km² arasında değişmektedir (Faure ve ark., 2013; Eriksen ve ark., 2013; Free ve ark., 2014; Faure ve ark., 2015). Ancak, göl sularının taşkınlarla tarım topraklarına taşıdığı plastik miktarının hesaplanması, bu farklı ölçüm birimleri nedeniyle zorlaşmaktadır.

Bu bağlamda, sulama ve taşkınlarla tarım topraklarına taşınan plastik kirliliğinin daha iyi anlaşılması için ileri çalışmalar gereklidir. Sulama sistemlerinin plastik kirliliğini nasıl etkilediğini belirlemek ve bu kirliliği en aza indirecek stratejiler geliştirmek, tarımsal sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır.

2.4. Atıksu Çamuru ve Çamur Geri Dönüşümü:

Atıksu çamuru, giysi lifleri ve mikro bez lifleri gibi mikroplastiklerin başlıca kaynağıdır ve bunlar evsel atıklar, endüstriyel atıklar ve diğer kaynaklardan türemektedir (Li ve ark., 2018b; Mason ve ark., 2016). Atıksu çamuru, toprak ve çevreye giren plastik parçacıkların yaklaşık %80-90'ından sorumludur ve bu parçacıklar çoğunlukla tarımsal kullanım, ev eşyaları ve belirli endüstriyel atıklardan kaynaklanmaktadır. Zamanla, bu kirleticiler yüzey suları ve yeraltı suyu kütlelerine karışabilir ve bazı çalışmalarda evsel kullanıma ait musluk sularında mikroplastikler tespit edilmiştir. Zhang et al. (2020), 12 ülkeden toplanan iç mekan tozu örneklerinde, polietilen tereftalat (PET) ve polikarbonat (PC) gibi mikroplastiklerin varlığını belirlemiş ve bu mikro tozların, evsel atık su aracılığıyla atıksu çamuruna karışabileceğini vurgulamıştır. De Falco et al. (2019), çeşitli ülkelerden toplanan mikro toz içeren atıksu örneklerinde mikro liflerin varlığını ortaya koymuş ve yapılan analizlerde, yıkanan kumaş başına mikro liflerin 124 ile 308 mg arasında değişen bir aralıkta olduğu belirtilmiştir. Bu varyasyon, yıkanan giysi türüne bağlıdır ve her bir giyside 640.000 ile 1.500.000 arasında mikro lif bulunabilmektedir.

Ayrıca, çevredeki küçük plastik parçalar, hastalık yapıcı organizmalar için taşıyıcılar olarak hareket edebilir ve hastalıkların yayılmasına aracılık edebilir. Mikroplastikler, toprakların biyofiziksel özelliklerini değiştirebilir, toprak makro ve mikro faunasının sağlığını etkileyerek toprak fonksiyonlarını ve verimliliğini de etkileyebilir (Machado ve ark., 2018). Örneğin, toprakta mikroplastikler bulunduğunda, solucanlar yuvalarını farklı şekilde yapar, bu da solucanların sağlığını ve toprak koşullarını etkiler (Rillig ve ark., 2017). Mikroplastikler ayrıca *Eisenia foetida* gibi solucanlarda oksidatif hasara neden

olabilir (Zhou ve ark., 2020). İlginç bir şekilde, çamaşır makineleri de mikroplastik kirliliğine katkı sağlar, özellikle üstten yüklemeli makineler, her bir giysi başına yaklaşık yedi kat daha fazla mikro lif üretir (Hartline ve ark., 2016). Giysilerden ayrılan mikro liflerin miktarı, giysi kalitesine ve makinenin çalkalama özelliklerine göre değişir ve bir çalışmada, mikro liflerin 30.000 ile 465.000 arasında değişen bir aralıkta olduğu tespit edilmiştir (Belzagui ve ark., 2019).

Mikroplastikler, atıksudan etkin bir şekilde uzaklaştırılabilir ve çamurda birikebilir. Araştırmalar, mikroplastiklerin atıksu çamurunda birikme oranının %98,3 olduğunu göstermektedir (Sun ve ark., 2019). Finlandiya’da, günlük 10.000 m³ kapasiteli bir atıksu arıtma tesisi, her gün yaklaşık 4.60×10^8 mikroplastik parçacığı çamur aracılığıyla çevreye salmaktadır (Lares ve ark., 2018). İrlanda’daki bir atıksu arıtma tesisinden alınan çamurda mikroplastiklerin miktarı, 4196 ile 15.385 parçacık·kg⁻¹ arasında değişmiştir (Mahon ve ark., 2017). Çin’in 11 ilindeki 28 atıksu arıtma tesisinden alınan çamur örneklerinde, mikroplastiklerin miktarı 1.60 ile 56.4 parçacık·g⁻¹ arasında değişmiş olup, ortalama değer 22.7 ± 12.1 parçacık·g⁻¹ olmuştur (Li ve ark., 2018). Mikroplastikler, mikroplastik içeren çamurun gübre olarak kullanılmasıyla tarlalarda birirmektedir. Avrupa ve Kuzey Amerika’da, çamur uygulaması yoluyla topraklara yıllık olarak 0.630 ile 4.30 milyon ton ve 0.440 ile 3.00 milyon ton mikroplastik girmektedir (Ng ve ark., 2018). Çin’de, yıllık olarak 1.56×10^{14} mikroplastik, çamur aracılığıyla topraklara girmektedir (Li ve ark., 2018). Sürekli çamur uygulaması sonucunda topraklarda mikroplastik yoğunluğu her yıl artmaktadır (Corradini ve ark., 2019). Diğer araştırmalar, sürekli

çamur uygulamasının yapıldığı topraklarda mikroplastik yoğunluğunun, çamur uygulanmayan topraklara göre önemli ölçüde daha fazla olduğunu ortaya koymuştur (Zhang ve ark., 2020). Beş yıl sonra, toprak mikroplastiklerinin ortalama miktarı $3.50 \text{ parçacık} \cdot \text{g}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir (Corradini ve ark., 2019).

2.5. Organik Gübre ve Kompost

Organik gübre, hayvansal ve bitkisel atıklar gibi biyolojik maddelerin toksik ve zararlı maddelerden arındırılması yoluyla elde edilmektedir (Okoffo ve ark., 2021). Toprak mikroplastikleri bitkiler tarafından emilir ve mikroplastik içeren bitkiler, hayvanlar tarafından tüketildiğinde bu mikroplastikler organik gübreye geçer (Zhang ve ark., 2022b). Ayrıca, hayvan yemlerinin ambalajları ve hayvancılıkta kullanılan araçlar, gıda depolama, işleme ve taşıma işlemlerinde plastik ürünler içermekte olup, bunlar hayvan gübresi ve diğer atıklara karışır (Zhang ve ark., 2022b). Bu bağlamda, organik gübre uygulamaları toprak mikroplastiklerinin önemli bir kaynağıdır. Almanya'nın Bonn şehrinde yapılan bir araştırmada, organik gübrelerde 0.50 mm 'den büyük plastik parçacıklarının $2.38\text{--}180 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında bulunduğu tespit edilmiştir (Blaesing ve Amelung, 2018), ayrıca 1 mm 'den büyük plastik parçaları da Almanya'daki organik gübrelerde $0.014\text{--}0.895 \text{ parçacık} \cdot \text{g}^{-1}$ arasında ölçülmüştür (Weithmann ve ark., 2018). Organik gübre kullanımı ile oluşan plastik kirliliği küresel bir sorun teşkil etmektedir. Örneğin, Avustralya Sürdürülebilir Tarım Ulusal Derneği standardına göre, organik gübrelerde %0.5'ten fazla sert plastik ve %0.05'ten fazla hafif plastik bulunmasına izin verilmemektedir (Fan ve ark., 2010). Almanya'da organik gübrelerin kalite kontrolü oldukça sıkı olmasına rağmen, bu

gübrelerde %0.1 kadar plastik bulunabilmektedir ve mikroplastiklerin 2.00 mm'den küçük olmaması gerektiği belirtilmiştir (Weithmann ve ark., 2018). Organik gübrelerin başlıca tüketicisi Çin olup, bu ülkede organik gübrelerin toprakta mikroplastik birikimi yılda 52.4 ton kadar olabilmektedir (Zhang ve ark., 2022b). Bu durum, organik gübrelerin kullanımı arttıkça, 0.50 mm'den küçük mikroplastiklerin topraklara girmesini tetikleyerek, organik gübrelerin toprak mikroplastiklerinin önemli bir kaynağı haline gelmesine yol açmaktadır (Luo ve ark., 2018). Bu bağlamda, organik gübre üretiminde plastik ürünlerin girişinin azaltılması ve plastik içeriği üzerine standartların güçlendirilmesi gerekmektedir.

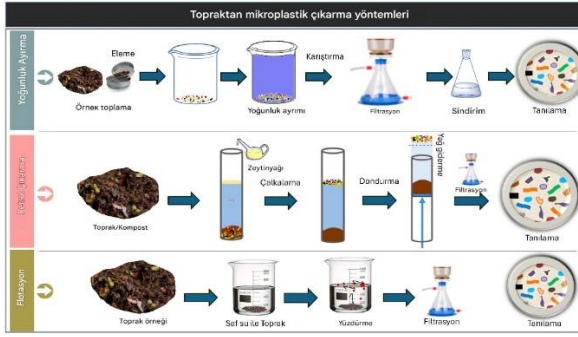
Kompost, tarımda yaygın olarak gübre olarak kullanılmaktadır; 2008 yılında Avrupa Birliği'nde yaklaşık 18 milyon ton kompost üretilmiş ve 2020 yılına kadar bu üretimin %37 oranında artması beklenmektedir (ARCADIS, 2010). Kompost uygulama oranları genellikle yıllık 30–35 ton hektar⁻¹ arasında olup, bazı ülkelerde bu oran 3 yıl içinde 20 veya 30 ton hektar⁻¹ ile sınırlıdır. Özellikle biyolojik atıklardan elde edilen kompostların, yanlış atık bertarafı ve yetersiz atık ayırma nedeniyle plastik içerdiği öne sürülmüştür (UBA, 2015). Bu gözlem, yerel bir kompost tesisinde yapılan araştırmalarla doğrulanmış ve kompostlanan biyolojik atıklardan ayrılan plastik ürünler tespit edilmiştir. Kompostlama işlemi öncesi ve sonrasında plastiklerin, örneğin eleme ve elle ayırma gibi yöntemlerle büyük ölçüde çıkarılabilesine rağmen, kompostun son ürününde hala plastik bulunabilmektedir. Üç farklı yerel kompost tesisinden alınan kompost örneklerinde, görünür plastik maddelerin konsantrasyonu 2.38 ile 180 mg kg⁻¹ arasında

değişmiştir ve daha küçük plastik parçalarının da varlığına dair bulgular elde edilmiştir. Kompost uygulamasının doza bağlı olarak tarım arazilerine yıllık plastik girişi, 7 ton hektar⁻¹ yıllık uygulama oranında 0.016 ile 1.2 kg hektar⁻¹ arasında, 35 ton hektar⁻¹ yıllık uygulama oranında ise 0.08 ile 6.3 kg hektar⁻¹ arasında değişebilmektedir. Ancak, bu değerler, mikrometre ve nanometre boyutlarındaki plastik fragmanları içermemektedir ve dolayısıyla minimum tahminlerdir. Slovenya’da yapılan bir diğer çalışmada ise, kompostta ortalama 1200 mg plastik kg⁻¹ gibi daha yüksek plastik konsantrasyonları tespit edilmiştir (Gajst, 2016). Bu plastik konsantrasyonları, Almanya’da kompostlardaki bazı ağır metaller gibi diğer kirleticilerin izin verilen maksimum konsantrasyonlarıyla karşılaştırılabilir veya onları aşmaktadır. Bu nedenle, özellikle belediye kökenli kompostlar, topraklara plastik girişi açısından ciddi bir yol olarak değerlendirilmelidir. Kompost uygulaması yoluyla topraklara plastik girişi, dik yamaçlı tarım alanlarında, örneğin üzüm bağlarında, toprağın erozyonu nedeniyle malzemelerin taşınarak plastiklerin diğer ekosistemlere yayılmasına yol açabilir (Cerdan ve ark., 2010; Bläsing ve ark., 2017).

3.TOPRAK PLASTİK KİRLİLİĞİNİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN ANALİTİK YÖNTEMLER

3.1. Örnek Saflaştırma

Mikroplastikleri daha detaylı analiz edebilmek için yapılarını bozmadan toprak ortamından ayrılmaları gerekmektedir. Bu bağlamda plastik belirleme çalışmalarında alınan örneklerde plastiği ayırmak için yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan birkaçı Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Toprak örneklerinden plastiklerin ayırma yöntemlerinin şematik gösterimi (Nabi ve Zhang, 2022'den değiştirilmiştir.)

3.1.1. Yoğunluk Ayırımı

Mikroplastikler (MP'ler), 5 mm'den küçük sentetik polimer parçacıkları olup, çevresel kirliliğin önemli bileşenlerinden biridir (Thompson ve ark., 2004). Toprak ekosistemlerinde birikerek tarım alanlarından su kaynaklarına kadar geniş bir alanda kirlilik oluştururlar (Van Cauwenberghe ve ark., 2015). Mikroplastiklerin toprak ortamından ayrılması, toprak agregatlarına tutunmaları ve organik madde ile birleşmeleri nedeniyle oldukça zordur (Liu ve ark., 2018). Bu nedenle, toprak örneklerinden mikroplastikleri etkin şekilde ayırmak için çeşitli fiziksel ve kimyasal yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar arasında en yaygın kullanılan yöntemlerden biri “yoğunluk farkına dayalı ayırma yöntemidir”. Bu yöntem, mikroplastiklerin ($0.8\text{--}1.4\text{ g/cm}^3$) ve toprak partiküllerinin ($2.6\text{--}2.7\text{ g/cm}^3$) farklı yoğunluklara sahip olması ilkesine dayanarak mikroplastiklerin süspansiyon ortamında yüzmesini ve toprak partiküllerinden ayrılmasını sağlamaktadır (Van Cauwenberghe ve ark., 2015).

Yoğunluk farkına dayalı ayırma yönteminde kullanılan çözeltiler, mikroplastiklerin yoğunluğuna bağlı olarak

değişmektedir. En yaygın kullanılan çözücü, çevre dostu ve düşük maliyetli olması nedeniyle doygun sodyum klorür (NaCl) çözeltisidir (1.2 g/cm^3). Ancak bu çözeltinin yoğunluğu, polivinil klorür (PVC) ve polietilen tereftalat (PET) gibi yüksek yoğunluklu plastiklerin ayrılmasını sağlamaya yeterli değildir (Ruggero ve ark., 2020). Daha yüksek yoğunlukta çözümler olarak kalsiyum klorür (CaCl_2) (1.5 g/cm^3), çinko klorür (ZnCl_2) ($1.6\text{--}1.8 \text{ g/cm}^3$) ve sodyum iyodür (NaI) (1.8 g/cm^3) çözeltileri kullanılmaktadır (Scheurer ve Bigalke, 2018). ZnCl_2 çözeltisi yüksek yoğunluklu plastiklerin ayrıştırılmasını sağlarken toksik ve koroziv olması, NaI çözeltisinin ise yüksek maliyeti nedeniyle kullanımı sınırlıdır (Nuelle ve ark., 2014). Çözüm olarak, maliyeti azaltmak ve ayırım verimliliğini artırmak amacıyla NaCl - NaI karışımı kullanımı önerilmiş ve daha etkin bir ayırım sağladığı gösterilmiştir (Han ve ark., 2019).

Bu yöntemin temel sınırlamalarından biri, ayırım sürecinin uzun sürmesidir. Ayırım sürecini hızlandırmak amacıyla santrifüjleme ve ultrasonikasyon gibi fiziksel işlemler uygulanarak titreşim oluşturulmakta ve mikroplastiklerin daha hızlı ayrılması sağlanmaktadır (Wang ve ark., 2020a; Wang ve ark., 2020b). Ayrıca, yoğunluk bazlı ayırma sürecinin verimliliğini artırmak amacıyla tek aşamalı (one-step) ve iki aşamalı (two-step) ayırım yöntemleri uygulanmaktadır. Örneğin, ilk aşamada NaCl çözeltisi kullanılarak düşük yoğunluklu plastikler ayrılırken, ikinci aşamada NaI çözeltisi uygulanarak daha yüksek yoğunluklu plastiklerin ayrılması mümkün olmaktadır (Claessens ve ark., 2013). Bununla birlikte, yüksek yoğunluklu çözücülerin geri kazanımı gerektirdiğinden, bu yöntemin maliyetli olduğu belirtilmiştir.

Yoğunluk farkına dayalı ayırma yönteminin daha verimli hale getirilmesi için farklı cihazlar geliştirilmiştir. Örneğin, Imhof et al. (2012) tarafından geliştirilen Münih Plastik Sediment Ayırıcı (MPSS), mikroplastiklerin çözelti içerisinde doğrudan filtreye aktarılmasını sağlayarak, ayırım sürecini daha verimli hale getirmiştir. Bu sistemin mikroplastiklerin %95-100 oranında ayrılmasını sağladığı bildirilmiştir. Bunun yanında, hava destekli taşkın ayırma (air-induced overflow) yöntemi gibi sistemler, mikroplastikleri sıvı ortamda süspanse ederek ayırma sürecini iyileştirmektedir (Nuelle ve ark., 2014). Yoğunluk farkına dayalı ayırma yöntemi, mikroplastiklerin toprak ortamından ayrılması için yaygın olarak kullanılmasına rağmen, çözeltinin seçiminde çevresel etkiler, maliyet, ekstraksiyon verimliliği ve yüksek yoğunluklu plastiklerin ayrılabilirliği gibi unsurlar dikkate alınmalıdır. Gelecekte, bu yöntemlerin çevre dostu hale getirilmesi ve maliyetlerinin düşürülmesine yönelik araştırmaların artırılması gerekmektedir.

3.1.2. Elektrostatik Ayırma

Mikroplastiklerin elektrostatik ayırma yöntemiyle toprak ortamından ayrılması, plastiklerin ve toprak minerallerinin elektriksel iletkenlik farklarına dayanır. Toprak mineralleri ve diğer partiküller elektriksel olarak iletken iken, plastikler genellikle iletken değildir. Bu temel farktan yararlanarak, harici bir elektrik alan kullanılarak mikroplastikler toprak partiküllerinden ayrılabilir. Elektrostatik ayırma, birincil ve ikincil hammaddelerin elektriksel kuvvetler aracılığıyla kuru işlem teknolojisi kullanılarak ayrıştırıldığı bir yöntemdir (Deotterl ve ark., 2000).

Felsing et al. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, plastik partiküllerin elektrostatik davranışları incelenmiş ve tortu örneklerinden mikroplastiklerin daha etkin ayrılması için küçük ölçekli bir elektrostatik ayırma cihazı modifiye edilmiştir. Bu yöntemle orijinal numunenin %99'una kadar olan kısmı, mikroplastik kaybı olmaksızın uzaklaştırılabilmektedir. Elektrostatik ayırmanın en önemli avantajı, farklı alanlardan elde edilen numunelerin hızlı ve kolay bir şekilde işlenmesine olanak tanımasıdır. Ayrıca, yöntem numune içeriğinde biyolojik materyal kalmamasını sağladığından, diğer ayırma işlemlerine kıyasla daha az hazırlık gerektirir. Ancak, yapılan testler 63 µm ile 5 mm arasında değişen boyutlardaki mikroplastikler üzerinde gerçekleştirilmiş olup, daha küçük mikroplastiklerin (<63 µm) ve nanoplastiklerin (NP) bu yöntemle etkin şekilde ayrıştırılabilir olup olmadığı bilinmemektedir.

Mikroplastiklerin elektrostatik ayrıştırılması sırasında toprak örnekleri genellikle dondurularak kurutulur. Bu işlem, toprak minerallerinin ve mikroplastiklerin elektriksel iletkenlik özellikleri üzerindeki nem etkisini ortadan kaldırarak ayırım verimliliğini artırır (Enders ve ark., 2020). Elektrostatik ayırma cihazı, 8 mm'den küçük metal parçacıkları ile iletken olmayan plastiklerin ayrılması için tasarlanmış olup, toprak numunelerinin ayrıştırılması için de başarıyla adapte edilmiştir (Felsing ve ark., 2018). Yapılan çalışmalar, 63 µm ile 5 mm arasında değişen altı farklı mikroplastik türü için %90 oranında geri kazanım sağlandığını ve yoğunluk, şekil, yüzey özellikleri veya yaşlanma gibi faktörlerden etkilenmediğini göstermektedir. Ancak, yüksek geri kazanım oranına ulaşmak için numunelerin üç kez kurutulması gerekmekte olup, bu işlem ortalama 150 g'lık bir numune için 3–4 saat sürmektedir (Felsing ve ark.,

2018). Bu yöntem özellikle 60 µm'nin üzerindeki büyük boyutlu mikroplastiklerin ayrıştırılması için uygundur ve yoğunluk farkına dayalı ayırma işleminden önce büyük partiküllerin ön ayrımı için kullanılabilir (Enders ve ark., 2020).

3.1.3. Flotasyon

Köpüklü flotasyon yöntemi, malzemelerin yoğunluk farklarını ve yüzey hidrofobikliğini kullanarak ayrılmasını sağlayan bir tekniktir. Geri dönüşüm endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bu yöntem, hidrofobik partiküllerin köpüğe bağlanarak yukarı taşınmasını ve hidrofilik partiküllerden ayrılmasını temel alır. Toprak numunelerinden mikroplastiklerin ayrıştırılmasında, farklı hidrofobiklik özelliklerinden faydalanarak plastiklerin diğer toprak bileşenlerinden ayrılması sağlanır. Mikroplastiklerin flotasyon yöntemiyle ayrılması için üç temel teknik bulunmaktadır: gama flotasyonu, reaktif adsorpsiyonu ve yüzey modifikasyonu (Fraunholz, 2004). Ancak, yüzey modifikasyonu yöntemi karmaşık bir işlem gerektirmekte ve plastiklerin flotasyon davranışı öngörülemez olduğundan, teorik çerçeve ile pratik uygulamalar arasında belirgin farklılıklar bulunmaktadır (Jiang ve ark., 2020).

Bu yöntemin etkinliğini artırmak için farklı yüzey modifikasyon maddeleri ve köpükleyiciler kullanılmıştır. Huang et al. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, köpük oluşturuca madde olarak %97.71 saf pinakol ve yüzey modifikasyon ajanı olarak potasyum permanganat kullanılmış ve bu yöntemle polivinil klorür (PVC) ve polimetil metakrilat (PMMA) plastiklerinin %95 oranında geri kazanıldığı bildirilmiştir.

Bununla birlikte, köpüklü flotasyonun mikroplastik ekstraksiyonu için uygulanabilirliği halen tartışmalıdır. Imhof et

al. (2012) tarafından yürütülen bir çalışmada, köpüklü flotasyon yöntemi kullanılarak tortu örneklerinden mikroplastikler çıkarılmış, ancak yöntemin farklı polimer türleri arasında düşük verimlilik gösterdiği ve önemli ölçüde değişkenlik sergilediği rapor edilmiştir. Bu sonuçlar, köpüklü flotasyonun mikroplastiklerin ayrılması için geliştirilmesi gerektiğini ve plastiklerin yüzey özelliklerine bağlı olarak farklı flotasyon verimleri gösterebileceğini ortaya koymaktadır.

3.1.4. Yağ (Petrol) Bazlı Ayırma

Mikroplastiklerin (MP'ler) yağ bazlı ekstraksiyon yöntemi ile ayrılması, son yıllarda ilgi gören alternatif yöntemlerden biridir. Bu yöntem, çözücü bazlı ayırtırmaya dayanır ve kullanımı oldukça pratiktir. Yapılan araştırmalar, zeytinyağı ve hint yağı gibi lipofilik özellik gösteren yağların mikroplastik ayırımında etkili olduğunu ortaya koymuştur (Mani ve ark., 2019; Scopetani ve ark., 2019, 2020). Scopetani et al. (2020) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, altı farklı plastik türü (PS, PE, PVC, PET, poliüretan ve polikarbonat) için %90–97 arasında değişen geri kazanım oranları elde edilmiştir. Zeytinyağının farklı plastik türlerine yüksek afinite göstermesi yöntemin avantajları arasında yer alırken, otomobil lastiği kauçuğu ve floropolimerler için ayırma verimliliğinin düşük olması temel sınırlılıklardan biridir. Bu yöntemde, test örneği deiyonize su (DI) içinde politetrafloroetilen (PTFE) silindire yerleştirilmiş, ardından 3 mL zeytinyağı eklenerek çalkalanmış ve plastik parçacıkların yağ ile etkileşime girmesi sağlanmıştır. Silindir, çıkarılabilir başlık ve pistonu sahip olup, işlem tamamlandıktan sonra yağ tabakası filtreleme aşamasına yönlendirilmiştir. Çözelti -40 °C'de dondurulduktan sonra, buz kolonu ile birlikte yağ tabakası filtreleme hunisine aktarılmıştır.

Numune, cam elyaf filtreden süzülerek, filtrelenen plastik parçacıkları sudan ve hekzan ile yıkanmış ve cımbız yardımıyla toplanmıştır. Ayrım verimliliğini artırmak için deneyler üç kez tekrarlanmıştır. Farklı boyut, tür ve yoğunluğa sahip mikroplastiklerin tek bir adımda tamamen ayrılması düşük ihtimaldir; bu nedenle, işlem tekrarlandıkça ayrım verimliliği artmaktadır (Scopetani ve ark., 2020).

Hint yağı kullanılarak gerçekleştirilen başka bir çalışmada, polistiren (PS), polipropilen (PP), polimetilmetakrilat (PMMA) ve polietilen tereftalat glikol (PETG) gibi dört polimerin ayrıştırılması sağlanmıştır (Mani ve ark., 2019). Bu çalışmada, 0.3–1 mm boyutundaki mikroplastik parçacıklar, tarımsal toprak, deniz yüzey çökeltileri, akarsu süspansiyonları ve kıyı sedimentleri gibi dört farklı matris üzerinde test edilmiştir. Çalışma sonucunda, MP'lerin geri kazanım oranı 99 ± 4 , ortalama matris azaltma oranı ise 95 ± 4 olarak hesaplanmıştır. Mani et al. (2019), yöntemin Rhine Nehri'nden alınan su örneklerindeki mikroplastiklerin ayrıştırılması için de geçerliliğini test etmiş ve ortalama geri kazanım oranını 74 ± 13 olarak rapor etmiştir. Bu yöntem, çevre dostu, düşük maliyetli ve toksik olmayan bir alternatif olarak öne çıkmaktadır.

Yağ bazlı mikroplastik ekstraksiyonu, yoğunluk farkına dayalı yöntemlere kıyasla daha düşük maliyetli ve kolay uygulanabilir bir seçenek olarak değerlendirilmektedir (Crichton ve ark., 2017). Yöntem, mikroplastiklerin lipofilik özelliklerinden faydalanarak çalışır ve yedi farklı polimer için 90 – 100 arasında geri kazanım oranı sağlamaktadır. Bununla birlikte, yağın varlığı, Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) ile yapılan analizleri olumsuz

etkileyebileceğinden, ekstraksiyon sonrası numunelerin %90 etanol ile yıkanması gerekmektedir (Scopetani ve ark., 2020). Ayrıca, spektral analiz sırasında yağdan kaynaklanan kalıntıların plastik tespiti üzerinde yanığya neden olabileceğı belirtilmiştir. Farklı yoğunluk ve polaritelere sahip yağlar (örneğin, kanola yağı, mineral yağ, sentetik yağ, zeytinyağı) mikropplastik ekstraksiyonu için kullanılabilir. Ancak, yöntem organik madde içeren toprak numunelerinde bazı girişimlere neden olabileceğı için her matris için özel optimizasyon gerektirmektedir (Scopetani ve ark., 2020).

3.1.5. Filtreleme

Filtrasyon, çözelti içindeki katı partiküllerin bir filtre yardımıyla ayrıştırılmasını sağlayan etkili ve yaygın kullanılan bir yöntemdir (Taulbee ve Furst, 2005). Doğal filtrasyon süreci genellikle yavaş ilerlemekte olup, vakum adaptörü gibi yardımcı ekipmanlarla bu süreç hızlandırılabilir. Vakum adaptörü, basınç oluşturarak çözücünün daha hızlı süzülmesini sağlar ve böylece katı partiküller filtre kağıdında birikir (Svarovsky, 2001). Filtrasyon yönteminde kullanılan filtre kağıtlarının gözenek çapları genellikle 20–25 µm arasında değişmektedir ve bu sayede onlarca mikron büyüklüğündeki mikropplastikler (MP'ler) süzülebilir. Ancak, daha küçük boyuttaki mikropplastiklerin (birkaç mikron veya nanometre ölçeğindeki) etkin bir şekilde süzülmesi için mikro (0.1–1 µm), ultra (2–100 nm) ve nano filtrasyon (~2 nm) teknikleri kullanılmaktadır. Bununla birlikte, küçük gözenek çapına sahip filtreler zamanla tıkanarak filtrasyon sürecinin yavaşlamasına neden olabilmekte, yüksek basınç gerektirmesi nedeniyle de enerji tüketimini ve maliyetleri artırmaktadır (Hidalgo-Ruz ve ark., 2012). Ayrıca, bazı mikropplastik partikülleri filtre kağıdına

veya toplama kabının duvarına yapışabilir ve bu partiküllerin giderilmesi için yıkama işlemi gereklidir. Filtrasyon sürecinde, çevresel kirleticilerden (örneğin, hava, laboratuvar aletleri ve giysiler) kaynaklanan çapraz bulaşmayı önlemek için gerekli önlemler alınmalıdır (Scopetani ve ark., 2020).

Filtrasyon sürecinde farklı malzemelerden üretilmiş filtreler kullanılmaktadır. Bunlar arasında cam elyaf filtreler (0.2–20 μm), Whatman filtre kağıtları (20–2.5 μm) ve steril şırınga filtreleri (0.45–0.1 μm) yaygın olarak tercih edilmektedir (Junhao ve ark., 2021; Yang ve ark., 2021). Cam elyaf filtreler, mikropplastik ekstraksiyonu için en yaygın kullanılan filtre türlerinden biri olup, toprak örneklerinde mikropplastiklerin ayrıştırılması için 10–20 μm gözenek çapına sahip filtreler önerilmektedir (Dioses-Salinas ve ark., 2020). Bununla birlikte, polimer filtrelerin kullanımı, filtre malzemesinden kaynaklanan olası kontaminasyon riski nedeniyle tercih edilmemektedir (Majewsky ve ark., 2016). Daha hassas bir filtrasyon sağlamak amacıyla, araştırmacılar farklı gözenek boyutlarına sahip filtreleri üst üste yerleştirerek bir filtrasyon gradyanı oluşturmuşlardır (Talvitie ve ark., 2017). Örneğin, Hernandez et al. (2017) tarafından geliştirilen beş aşamalı filtrasyon sürecinde, numuneler sırasıyla Whatman filtre kağıdı (20–25 μm), daha ince bir Whatman filtre (2.5 μm), pozitif basınçla uygulanan EMD Millipore Millex steril şırınga filtreleri (0.45 ve 0.1 μm) ve iki kez tekrarlanan 0.1 μm şırınga filtrasyonu işlemine tabi tutulmuştur. Bu çok aşamalı filtrasyon süreci, biyolojik materyalin sindirilmesi için daha küçük ve daha saf numunelerin elde edilmesine yardımcı olmaktadır (Murphy ve ark., 2016).

Mikroplastiklerin filtrasyon yoluyla ayrılması için tarama (screening) yöntemiyle birlikte kullanılan hibrit teknikler de mevcuttur. Tarama yöntemi, farklı gözenek çaplarına sahip eleklerin kullanılmasıyla, kurutulmuş toprak örneklerinden daha büyük partiküllerin ayrılmasını sağlamaktadır (Talvitie ve ark., 2017). Genellikle paslanmaz çelik veya bakırdan yapılan elekler, mikroplastiklerin yakalanmasını ve daha büyük partiküllerin uzaklaştırılmasını kolaylaştırmaktadır. Tarama işlemi sonrasında, daha küçük çaplı gözeneklere sahip filtre membranları kullanılarak mikroplastiklerin daha etkin bir şekilde süzülmesi sağlanmaktadır. Ancak, bu yöntemle tam saflıkta mikroplastik ekstraksiyonu sağlamak zor olduğundan ek işlemler gerekmektedir (Dioses-Salinas ve ark., 2020). Standartlaştırılmış mikroplastik filtrasyon protokollerinin eksikliği, farklı çalışmalar arasında elde edilen verilerin karşılaştırılmasını zorlaştırmakta ve mikroplastiklerin analizinde hata payını artırmaktadır (Lares ve ark., 2019). Bununla birlikte, filtrasyon yöntemi Raman ve FT-IR spektroskopisi gibi analitik yöntemlerle yapılan mikroplastik analizlerine herhangi bir olumsuz etki yapmamaktadır (Bayo ve ark., 2019). Günümüzde, özellikle vakum filtrasyonu ve hızlı kum filtrasyonu gibi teknikler, toprak örneklerinden mikroplastiklerin ayrılması için yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.2. Toprak Organik Maddeyi Uzaklaştırma Yöntemleri

Toprak, büyük oranda organik madde içeren karmaşık bir matris yapısına sahiptir. Bu organik bileşenler, toprak partiküllerini bir arada tutarak stabil agregatlar oluşturabilir. Mikroplastikler (MP'ler) toprağa dahil olduğunda, organik madde ile fiziksel ve kimyasal etkileşime girebilir ve bu durum

MP'lerin ayrılmasını zorlaştırabilir (He ve ark., 2018; Horton ve ark., 2017b). MP'lerin organik maddeyle benzer yoğunluklara sahip olması nedeniyle, yoğunluk farkına dayalı ayırma yöntemi ile etkili bir şekilde ayrıştırılamazlar. MP'lerin etkin bir şekilde ayrıştırılmasını sağlamak için hidrojen peroksit (H_2O_2) oksidasyonu (Zhang ve Liu, 2018), inkübasyon (Zhang ve ark., 2018), enzimatik sindirim (Mintenig ve ark., 2017) ve Fenton reaktifi kullanımı (Hurley ve ark., 2018b) gibi çeşitli organik madde uzaklaştırma yöntemleri geliştirilmiştir.

3.2.1. Hidrojen Peroksit (H_2O_2) Oksidasyonu ve Fenton Reaktifi

Hidrojen peroksit (H_2O_2), organik maddenin sindirilmesi amacıyla yaygın olarak kullanılan bir oksidan ajandır (He ve ark., 2018; Kumar ve ark., 2020). 30% H_2O_2 çözeltisi ile yapılan çalışmalar, büyük mikropplastik partiküllerini etkilemeden organik maddenin uzaklaştırılabildiğini göstermiştir (Liebezeit ve Dubaish, 2012). Ancak, bazı araştırmalar H_2O_2 'nin yalnızca %25 biyojenik materyali uzaklaştırılabildiğini ve organik maddenin ağartılmasına neden olduğunu bildirmiştir (Hurley ve ark., 2018a). Ayrıca, H_2O_2 'nin polietilen (PE) ve polipropilen (PP) gibi plastiklerin oksidasyonuna neden olabileceği ve ısı uygulandığında polimetilmetakrilatın (PMMA) fiziko-kimyasal özelliklerini değiştirdiği tespit edilmiştir (Nuelle ve ark., 2014; Sujathan ve ark., 2017). Alternatif olarak, Fenton reaktifi (Fe^{2+} ve H_2O_2 karışımı), H_2O_2 'ye kıyasla organik madde uzaklaştırmada daha hızlı ve etkili bir oksidasyon sağlar (Tagg ve ark., 2017). Fenton reaktifi, klorlu aromatik bileşikler gibi dirençli organik bileşenleri parçalayabilme kapasitesine sahiptir ve düşük maliyeti ile avantaj sunar (Pignatello ve ark., 2006). Ancak, bu reaktifin asidik ortamda plastikleri bozunmaya

uğratabileceği bildirilmiştir (Tagg ve ark., 2017). Hurley et al. (2018), farklı protokolleri karşılaştırdığı çalışmasında, Fenton reaktifinin organik maddeyi en yüksek verimlilikle uzaklaştırırken MP'ler üzerinde minimal etki gösterdiğini tespit etmiştir. Bununla birlikte, reaksiyon sırasında sıcaklık 93°C'ye kadar ulaşabilir ve bu durum MP'lerin geri kazanım oranını düşürebilir (Munno ve ark., 2018). Bu nedenle, sıcaklık 40°C'nin altında tutulmalı ve Fenton reaktifi kullanılırken aşırı termal bozunmanın önüne geçilmelidir (Hurley ve ark., 2018).

3.2.2. Alkalın ve Asidik Sindirim Yöntemleri

Alkalın sindirim yöntemleri arasında sodyum hidroksit (NaOH) ve potasyum hidroksit (KOH) kullanımı yaygındır. 10% KOH çözeltisinin biyolojik örneklerden MP'leri ayırmada etkili olduğu bildirilmiştir (Foekema ve ark., 2013). Ancak, 10 M NaOH çözeltisinin naylon, PVC ve PE partiküllerini bozunmaya uğrattığı tespit edilmiştir (Cole ve ark., 2014). PET ve polikarbonatın (PC) NaOH sindirimi sırasında şekil ve boyutlarının değiştiği gösterilmiştir (Dehaut ve ark., 2016). Bu nedenle, NaOH ve KOH'nin MP'ler üzerinde olumsuz etkileri bulunmakta olup, bu yöntem dikkatli kullanılmalıdır (Munno ve ark., 2018). Ayrıca, NaOH'nin HCl'ye kıyasla organik maddeyi daha etkin sindirdiği ve ultrasonik uygulamalarla sindirim verimliliğinin artırılabilirliği belirtilmiştir (Cole ve ark., 2014). Özellikle 10 M NaOH, PET yüzeyinde aşınma, PC üzerinde ise matlaşmaya neden olmaktadır (Dehaut ve ark., 2016).

Asidik sindirim yöntemlerinde nitrik asit (HNO₃) ve hidroklorik asit (HCl) yaygın olarak kullanılmıştır (Blaesing ve Amelung, 2018). Ancak, MP'lerin yapısını bozabilecek potansiyel etkileri nedeniyle bu yöntem önerilmemektedir (Avio

ve ark., 2015; Catarino ve ark., 2017). HNO₃'nin akrilonitril bütadien stiren (ABS), poliamid (PA) ve PET partiküllerini bozduğu gösterilmiş olup, ayrıca siyah karbon partiküllerini uzaklaştıramadığı rapor edilmiştir (Kappenberg ve ark., 2016; Nguyen ve ark., 2019). Bu nedenle, asit bazlı sindirim yöntemlerinin MP analizinde kullanımı dikkatli bir şekilde değerlendirilmelidir.

3.2.3. Enzimatik Sindirim ve Alternatif Yöntemler

Enzimatik sindirim, MP'lere en az zarar veren yöntemlerden biri olup, seçici organik madde uzaklaştırma imkanı sunmaktadır. Karlsson et al. (2017), proteaz kullanarak MP'leri organik maddeden başarıyla ayırmıştır, ancak polilaktik asidin (PLA) bozunduğunu tespit etmiştir (Möller ve ark., 2022). Mintenig et al. (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, organik madde önce proteaz, lipaz ve selüloz ile sindirilmiş, ardından 35% H₂O₂ ile muamele edilmiştir. Bununla birlikte, enzimatik sindirimin MP'ler üzerindeki etkileri hala tam olarak bilinmemektedir. Löeder et al. (2017), sodyum dodesil sülfat (SDS) ile inkübasyonun ardından proteaz, selüloz, H₂O₂ ve kitinaz kullanarak organik madde sindiriminin MP'lere zarar vermediğini tespit etmiştir. Ancak, toprak matrislerinde kullanılacak enzim kombinasyonlarının özel olarak belirlenmesi gerektiği ve farklı örnek türleri için uygun metodolojilerin henüz tam olarak oluşturulmadığı belirtilmiştir.

Deniz suyu numuneleri ile karşılaştırıldığında, topraktaki organik madde sindirimi üzerine yapılan çalışmalar sınırlıdır (Nguyen ve ark., 2019). Mevcut yöntemlerin çoğu zaman alıcı veya pahalı olduğundan, geniş ölçekli araştırmalar için uygun değildir. Enzimatik sindirim, hafif ve seçici bir yöntem olarak

öne çıkmakta, ancak toprak matrisleri için en uygun enzim kombinasyonlarının belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, ultrasonik işleme birlikte kullanıldığında, yaşlanmış veya katalize edilmiş MP'lerin parçalanarak ikincil MP oluşumuna neden olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır (Löeder ve Gerdt, 2015). Bu nedenle, gelecekteki araştırmaların, MP'lerin bozulmasını önleyerek organik maddeyi etkin şekilde uzaklaştıran optimize edilmiş sindirim yöntemleri üzerine odaklanması gerekmektedir.

3.3. Mikroplastiklerin Tanımlanması ve Miktarlarının Belirlenmesi

Günümüzde toprak ortamında mikroplastiklerin tespiti için kullanılan başlıca yöntemler fiziksel (mikroskobik gözlem) ve kimyasal analiz tekniklerinden (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR), Raman Spektroskopisi, Gaz Kütle Spektrometrisi ve Kromatografi gibi) oluşmaktadır. Bu yöntemler, mikroplastiklerin morfolojik, kimyasal ve kantitatif özelliklerini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır.

3.3.1. Fiziksel tespit yöntemleri

Fiziksel tespit yöntemleri arasında görsel inceleme ve mikroskobik analizler yer almaktadır. Görsel inceleme yöntemi, mikroplastiklerin fiziksel ve yüzeysel özelliklerini belirlemek için kullanılan, kolay uygulanabilir ve hızlı bir yöntemdir (Zhang ve ark., 2018). Bu yöntemde çıplak gözle veya mikroskop yardımıyla 1–5 mm çapındaki plastik parçacıkları tespit edilebilir. Optik mikroskop, stereo mikroskop ve alan emisyonlu tarama elektron mikroskobu (FE-TEM), mikroplastiklerin doğrudan gözlemlenmesi, sınıflandırılması ve tanımlanması için yaygın olarak kullanılan cihazlardır. Ancak,

görsel tespit yöntemleri küçük boyutlu mikroplastiklerin (örneğin, 1 µm'den küçük partiküller) tanımlanmasında yetersiz kalabilmekte ve hatalı sınıflandırmalara neden olabilmektedir (Horton ve ark., 2017b). Bu nedenle, mikroplastiklerin kimyasal bileşiminin doğrulanması için spektroskopik yöntemlerle desteklenmesi gerekmektedir.

3.3.2. Kimyasal tespit yöntemleri

3.3.2.1. Spektroskopik analiz yöntemleri

Mikroplastiklerin kimyasal yapısının belirlenmesi için yaygın olarak Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) ve Raman Spektroskopisi kullanılmaktadır. Bu yöntemler, mikroplastiklerin türlerini ve yoğunluklarını belirleyebilmekte, ancak miktar tayini yapamamaktadır (Zhang ve Liu, 2018). FTIR, plastiklerde bulunan belirli kimyasal bağların tespiti için kullanılır ve hedef polimerin spektrumu, standart spektrumlarla karşılaştırılarak kimlik doğrulaması yapılır. Ancak, mikroplastiklerin yüzey özellikleri FTIR analizini etkileyebilir (Nuelle ve ark., 2014). Ayrıca, toprak içeriğinde bulunan organik kirlilikler FTIR sinyallerini bozarak tespit sürecini zorlaştırabilir (Hurley ve ark., 2018a).

Raman spektroskopisi ise mikroplastiklerin yüzey özelliklerinden bağımsız olarak analiz edilmesini sağlayarak daha küçük partiküllerin (1 µm altındaki parçacıklar) tespit edilmesine olanak tanır. Ancak, bu yöntemin de organik maddeler tarafından etkilenebildiği bilinmektedir (Zhang ve ark., 2018). FTIR ve Raman spektroskopisi, organik maddelerden kaynaklanan girişimlere karşı hassas olup, numunelerin mikroplastik analizinden önce arıtılmasını gerektirir (Scopetani ve ark., 2020). Günümüzde yakın kızılötesi

spektroskopisi (NIR), görünür-ışık yakın kızılötesi spektroskopisi (VNIR) ve hiperspektral görüntüleme gibi yeni teknolojiler, mikroplastiklerin hızlı ve kapsamlı bir şekilde tespit edilmesini sağlayabilmektedir. Ancak, bu yeni teknolojilerin güvenilirliği konusunda daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Liebezeit ve Dubaish, 2012).

3.3.2.2. Piroliz analiz yöntemleri

Piroliz tabanlı analiz yöntemleri, termal bozunma yoluyla mikroplastiklerin tespit edilmesini sağlayan tekniklerdir. Bu yöntemler arasında termogravimetrik analiz-kütle spektrometrisi (TGA-MS), termal ekstraksiyon desorpsiyon-gaz kromatografi-kütle spektrometrisi (TED-GC-MS) ve piroliz-gaz kromatografi-kütle spektrometrisi (Py-GC-MS) bulunmaktadır. Bu teknikler, çevresel numunelerde mikroplastiklerin niteliksel tespitinde etkili olsa da, mikroplastiklerin morfolojik özelliklerini veya miktarlarını belirleyememektedir (Zhao ve ark., 2017).

TGA-MS yöntemi, PET gibi plastiklerin ön işlem gerektirmeden analiz edilmesine olanak tanımaktadır. Ancak, benzer kütle ve bozunma sıcaklıklarına sahip bileşiklerin ayırımında yetersiz kalabilmektedir. TED-GC-MS yöntemi ise Py-GC-MS'ye kıyasla daha hızlı analiz yapılmasını sağlamakta ve örnek işleme süresini 2–3 saate düşürmektedir, ancak bazı mikroplastiklerin kaybına neden olabilmektedir (Scopetani ve ark., 2020). Bu nedenle, farklı analiz tekniklerinin birleştirilmesi, mikroplastiklerin daha verimli bir şekilde tespit edilmesini ve analiz maliyetlerinin düşürülmesini sağlayabilir.

4. SONUÇ

Mikroplastik kirliliği, toprak ekosistemleri için giderek artan bir çevresel tehdit oluşturmaktadır. Ancak, mikroplastiklerin toprak ortamındaki varlığı, dağılımı ve etkileri konusunda halen önemli bilgi eksiklikleri bulunmaktadır. Bu nedenle, mikroplastiklerin tespit edilmesi, nicel ve nitel analizlerinin yapılması, çevresel etkilerinin belirlenmesi ve uygun giderim stratejilerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Mevcut çalışmalar, mikroplastiklerin topraktan ayrıştırılmasında yoğunluk farkına dayalı ayırma, elektrostatik ayırma, yağ bazlı ayırma, köpüklü flotasyon ve manyetik ekstraksiyon gibi farklı yöntemlerin kullanılabileceğini göstermektedir. Ancak, topraktaki organik bileşenlerin varlığı, mikroplastiklerin diğer toprak partikülleriyle etkileşimi ve farklı plastik türlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle ayrıştırma süreçlerinde çeşitli zorluklar yaşanmaktadır. Bu doğrultuda, hem düşük maliyetli hem de kısa sürede uygulanabilen, mikroplastiklerin fizikokimyasal özelliklerini koruyan yeni ayırma ve ekstraksiyon yöntemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Mikroplastiklerin analizi için kullanılan mikroskobik inceleme, spektroskopik (FTIR, Raman) ve kütle spektrometrisi (GC-MS) yöntemleri, hem avantajlar hem de kısıtlamalar içermektedir. Spektroskopik yöntemler organik kirliliklerden etkilenebilirken, kütle spektrometrisi daha küçük boyutlu mikroplastiklerin tespitinde avantaj sağlamakta ancak zaman ve maliyet açısından dezavantaj yaratmaktadır. Bu nedenle, farklı analiz yöntemlerinin entegre edilerek kullanılması,

mikroplastiklerin daha hassas ve güvenilir bir şekilde tespit edilmesine katkı sağlayacaktır.

Gelecekte, mikroplastiklerin toprak ekosistemlerine olan etkilerinin daha iyi anlaşılması ve etkin çevresel yönetim stratejilerinin oluşturulabilmesi için, standart analiz protokollerinin geliştirilmesi, laboratuvarlar arası veri uyumluluğunun sağlanması ve yeni teknolojilerin entegrasyonu büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, nanoplastiklerin ayrıştırılması ve analizine yönelik çalışmaların artırılması, mevcut bilgi boşluklarının giderilmesine ve çevresel risklerin daha iyi değerlendirilmesine katkıda bulunacaktır. Sonuç olarak, mikroplastiklerin çevresel izlenmesi, yönetimi ve giderilmesine yönelik yenilikçi ve sürdürülebilir çözümlerin geliştirilmesi, toprak ekosistemlerinin korunmasında kritik bir rol oynayacaktır.

KAYNAKÇA

- ARCADIS, 2010 Assessment of the Options to Improve the Management of bio-Waste in the European Union-Final Report ARCADIS (2010)
- Arthur, C., Baker, J. E., & Bamford, H. A. (2009). Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris, September 9-11, 2008, University of Washington Tacoma, Tacoma, WA, USA.
- Avio, C. G., Gorbi, S., & Regoli, F. (2015). Experimental development of a new protocol for extraction and characterization of microplastics in fish tissues: first observations in commercial species from Adriatic Sea. *Marine environmental research*, 111, 18-26.
- Baeza, C., Cifuentes, C., González, P., Araneda, A., & Barra, R. (2020). Experimental exposure of *Lumbricus terrestris* to microplastics. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231, 1-10.
- Bayo, J., Rojo, D., & Olmos, S. (2019). Abundance, morphology and chemical composition of microplastics in sand and sediments from a protected coastal area: The Mar Menor lagoon (SE Spain). *Environmental Pollution*, 252, 1357-1366.
- Belzagui, F., Crespi, M., Álvarez, A., Gutiérrez-Bouzán, C., & Vilaseca, M. (2019). Microplastics' emissions: Microfibers' detachment from textile garments. *Environmental Pollution*, 248, 1028-1035.
- Bläsing, M., & Amelung, W. (2018). Plastics in soil: Analytical methods and possible sources. *Science of the total environment*, 612, 422-435.
- Bläsing, M., Amelung, W., Schwark, L., & Lehndorff, E. (2017). Inland navigation: PAH inventories in soil and vegetation after EU fuel regulation 2009/30/EC. *Science of the Total Environment*, 584, 19-28.
- Bol, R., Julich, D., Brödlin, D., Siemens, J., Kaiser, K., Dippold, M. A., ... & Hagedorn, F. (2016). Dissolved and colloidal phosphorus fluxes in forest ecosystems—an almost blind

- spot in ecosystem research. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 179(4), 425-438.
- Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines woldwide: sources and sinks. *Environmental science & technology*, 45(21), 9175-9179.
- Bruinsma, J. (2017). *World agriculture: towards 2015/2030: an FAO study*. Routledge.
- Carbery, M., O'Connor, W., & Palanisami, T. (2018). Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. *Environment international*, 115, 400-409.
- Catarino, A. I., Thompson, R., Sanderson, W., & Henry, T. B. (2017). Development and optimization of a standard method for extraction of microplastics in mussels by enzyme digestion of soft tissues. *Environmental toxicology and chemistry*, 36(4), 947-951.
- Cerdan, O., Govers, G., Le Bissonnais, Y., Van Oost, K., Poesen, J., Saby, N., ... & Dostal, T. (2010). Rates and spatial variations of soil erosion in Europe: A study based on erosion plot data. *Geomorphology*, 122(1-2), 167-177.
- Claessens, M., Van Cauwenberghe, L., Vandegehuchte, M. B., & Janssen, C. R. (2013). New techniques for the detection of microplastics in sediments and field collected organisms. *Marine pollution bulletin*, 70(1-2), 227-233.
- Cole, M., Webb, H., Lindeque, P. K., Fileman, E. S., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2014). Isolation of microplastics in biota-rich seawater samples and marine organisms. *Scientific reports*, 4(1), 4528.
- Colton Jr, J. B., Burns, B. R., & Knapp, F. D. (1974). Plastic Particles in Surface Waters of the Northwestern Atlantic: The abundance, distribution, source, and significance of various types of plastics are discussed. *Science*, 185(4150), 491-497.
- Conkle, J. L., Báez Del Valle, C. D., & Turner, J. W. (2018). Are we underestimating microplastic contamination in aquatic environments?. *Environmental management*, 61(1), 1-8.

- Corcoran, E. (2010). Sick water?: the central role of wastewater management in sustainable development: a rapid response assessment. UNEP/Earthprint.
- Corradini, F., Meza, P., Eguiluz, R., Casado, F., Huerta-Lwanga, E., & Geissen, V. (2019). Evidence of microplastic accumulation in agricultural soils from sewage sludge disposal. *Science of the total environment*, 671, 411-420.
- Crichton, E. M., Noël, M., Gies, E. A., & Ross, P. S. (2017). A novel, density-independent and FTIR-compatible approach for the rapid extraction of microplastics from aquatic sediments. *Analytical Methods*, 9(9), 1419-1428.
- De Falco, F., Di Pace, E., Cocca, M., & Avella, M. (2019). The contribution of washing processes of synthetic clothes to microplastic pollution. *Scientific reports*, 9(1), 6633.
- de Souza Machado, A. A., Kloas, W., Zarfl, C., Hempel, S., & Rillig, M. C. (2018). Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. *Global change biology*, 24(4), 1405-1416.
- de Souza Machado, A. A., Lau, C. W., Kloas, W., Bergmann, J., Bachelier, J. B., Faltin, E., ... & Rillig, M. C. (2019). Microplastics can change soil properties and affect plant performance. *Environmental science & technology*, 53(10), 6044-6052.
- Dehaut, A., Cassone, A. L., Frère, L., Hermabessiere, L., Himber, C., Rinnert, E., ... & Paul-Pont, I. (2016). Microplastics in seafood: Benchmark protocol for their extraction and characterization. *Environmental pollution*, 215, 223-233.
- Díaz-Pérez, J. C. (2010). Bell pepper (*Capsicum annum* L.) grown on plastic film mulches: effects on crop microenvironment, physiological attributes, and fruit yield. *HortScience*, 45(8), 1196-1204.
- Dioses-Salinas, D. C., Pizarro-Ortega, C. I., & De-la-Torre, G. E. (2020). A methodological approach of the current literature on microplastic contamination in terrestrial environments: Current knowledge and baseline considerations. *Science of the total Environment*, 730, 139164.

- Doorenbos, J., & Kassam, A. H. (1979). Yield response to water. Irrigation and drainage paper, 33, 257.
- Driedger, A. G., Dürr, H. H., Mitchell, K., & Van Cappellen, P. (2015). Plastic debris in the Laurentian Great Lakes: A review. *Journal of Great Lakes Research*, 41(1), 9-19.
- Dris, R., Gasperi, J., Mirande, C., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., & Tassin, B. (2017). A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments. *Environmental pollution*, 221, 453-458.
- Dris, R., Gasperi, J., Rocher, V., Saad, M., Renault, N., & Tassin, B. (2015). Microplastic contamination in an urban area: a case study in Greater Paris. *Environmental Chemistry*, 12(5), 592-599.
- Eerkes-Medrano, D., Thompson, R. C., & Aldridge, D. C. (2015). Microplastics in freshwater systems: a review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water research*, 75, 63-82.
- Elkhatib, D., & Oyanedel-Craver, V. (2020). A critical review of extraction and identification methods of microplastics in wastewater and drinking water. *Environmental Science & Technology*, 54(12), 7037-7049.
- Enders, K., Tagg, A. S., & Labrenz, M. (2020). Evaluation of electrostatic separation of microplastics from mineral-rich environmental samples. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 112.
- Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers, A., Edwards, W., ... & Amato, S. (2013). Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine pollution bulletin*, 77(1-2), 177-182.
- Espí, E., Salmerón, A., Fontecha, A., García, Y., & Real, A. I. (2006). Plastic films for agricultural applications. *Journal of Plastic Film & Sheeting*, 22(2), 85-102.
- Europe, P. (2017). *Plastics-the Facts 2017* An analysis of European plastics production, demand and waste data. Available on the website: <http://www.plasticseurope.org>.
- Fan, Y., Ding, R., Kang, S., Hao, X., Du, T., Tong, L., & Li, S. (2017). Plastic mulch decreases available energy and

- evapotranspiration and improves yield and water use efficiency in an irrigated maize cropland. *Agricultural water management*, 179, 122-131.
- Faure, F., Corbaz, M., Baecher, H., Neuhaus, V., & de Alencastro, L. (2013). Pollution due to plastics and microplastics in Lake Geneva. In 6th International conference on water resources and environmental research.
- Faure, F., Saini, C., Potter, G., Galgani, F., De Alencastro, L. F., & Hagmann, P. (2015). An evaluation of surface micro- and mesoplastic pollution in pelagic ecosystems of the Western Mediterranean Sea. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 12190-12197.
- Felsing, S., Kochleus, C., Buchinger, S., Brennholt, N., Stock, F., & Reifferscheid, G. (2018). A new approach in separating microplastics from environmental samples based on their electrostatic behavior. *Environmental Pollution*, 234, 20-28.
- Foekema, E. M., De Grijter, C., Mergia, M. T., van Franeker, J. A., Murk, A. J., & Koelmans, A. A. (2013). Plastic in north sea fish. *Environmental science & technology*, 47(15), 8818-8824.
- Fraunholz, N. (2004). Separation of waste plastics by froth flotation—a review, part I. *Minerals Engineering*, 17(2), 261-268.
- Free, C. M., Jensen, O. P., Mason, S. A., Eriksen, M., Williamson, N. J., & Boldgiv, B. (2014). High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake. *Marine pollution bulletin*, 85(1), 156-163.
- Gajšt, T., 2016. Analysis of plastic residues in commercial compost. Bachelor Thesis, Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za znanosti o okolju.
- Gong, J., & Xie, P. (2020). Research progress in sources, analytical methods, eco-environmental effects, and control measures of microplastics. *Chemosphere*, 254, 126790.
- Han, X., Lu, X., & Vogt, R. D. (2019). An optimized density-based approach for extracting microplastics from soil and sediment samples. *Environmental Pollution*, 254, 113009.

- Hartline, N. L., Bruce, N. J., Karba, S. N., Ruff, E. O., Sonar, S. U., & Holden, P. A. (2016). Microfiber masses recovered from conventional machine washing of new or aged garments. *Environmental science & technology*, 50(21), 11532-11538.
- He, D., Luo, Y., Lu, S., Liu, M., Song, Y., & Lei, L. (2018). Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 109, 163-172.
- Hernandez, L. M., Yousefi, N., & Tufenkji, N. (2017). Are there nanoplastics in your personal care products?. *Environmental Science & Technology Letters*, 4(7), 280-285.
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., & Thiel, M. (2012). Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. *Environmental science & technology*, 46(6), 3060-3075.
- Hoppe, M., Mikutta, R., Utermann, J., Duijnisveld, W., Kaufhold, S., Stange, C. F., & Guggenberger, G. (2015). Remobilization of sterically stabilized silver nanoparticles from farmland soils determined by column leaching. *European Journal of Soil Science*, 66(5), 898-909.
- Horton, A. A., Walton, A., Spurgeon, D. J., Lahive, E., & Svendsen, C. (2017). Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Science of the total environment*, 586, 127-141.
- Huang, L., Wang, H., Wang, C., Zhao, J., & Zhang, B. (2017). Microwave-assisted surface modification for the separation of polycarbonate from polymethylmethacrylate and polyvinyl chloride waste plastics by flotation. *Waste Management & Research*, 35(3), 294-300.
- Huang, Y., Liu, Q., Jia, W., Yan, C., & Wang, J. (2020). Agricultural plastic mulching as a source of microplastics in the terrestrial environment. *Environmental Pollution*, 260, 114096.

- Hurley, R. R., & Nizzetto, L. (2018). Fate and occurrence of micro (nano) plastics in soils: Knowledge gaps and possible risks. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 1, 6-11.
- Hurley, R. R., Lusher, A. L., Olsen, M., & Nizzetto, L. (2018). Validation of a method for extracting microplastics from complex, organic-rich, environmental matrices. *Environmental science & technology*, 52(13), 7409-7417.
- Imhof, H. K., Schmid, J., Niessner, R., Ivleva, N. P., & Laforsch, C. (2012). A novel, highly efficient method for the separation and quantification of plastic particles in sediments of aquatic environments. *Limnology and oceanography: methods*, 10(7), 524-537.
- Jiang, H., Zhang, Y., & Wang, H. (2020). Surface reactions in selective modification: the prerequisite for plastic flotation. *Environmental Science & Technology*, 54(16), 9742-9756.
- Junhao, C., Xining, Z., Xiaodong, G., Li, Z., Qi, H., & Siddique, K. H. (2021). Extraction and identification methods of microplastics and nanoplastics in agricultural soil: a review. *Journal of environmental management*, 294, 112997.
- Kappenberg, A., Bläsing, M., Lehdorff, E., & Amelung, W. (2016). Black carbon assessment using benzene polycarboxylic acids: Limitations for organic-rich matrices. *Organic Geochemistry*, 94, 47-51.
- Kara, B., & Atar, B. E. K. İ. R. (2013). Effects of mulch practices on fresh ear yield and yield components of sweet corn. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37(3), 281-287.
- Karlsson, T. M., Vethaak, A. D., Almroth, B. C., Ariese, F., van Velzen, M., Hassellöv, M., & Leslie, H. A. (2017). Screening for microplastics in sediment, water, marine invertebrates and fish: Method development and microplastic accumulation. *Marine pollution bulletin*, 122(1-2), 403-408.
- Kong, S., Ji, Y., Liu, L., Chen, L., Zhao, X., Wang, J., ... & Sun, Z. (2012). Diversities of phthalate esters in suburban

- agricultural soils and wasteland soil appeared with urbanization in China. *Environmental Pollution*, 170, 161-168.
- Kumar, M., Xiong, X., He, M., Tsang, D. C., Gupta, J., Khan, E., ... & Bolan, N. S. (2020). Microplastics as pollutants in agricultural soils. *Environmental Pollution*, 265, 114980.
- Lamont, W. J. (2005). Plastics: modifying the microclimate for the production of vegetable crops.
- Lan, T., Wang, T., Cao, F., Yu, C., Chu, Q., & Wang, F. (2021). A comparative study on the adsorption behavior of pesticides by pristine and aged microplastics from agricultural polyethylene soil films. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 209, 111781.
- Lares, M., Ncibi, M. C., Sillanpää, M., & Sillanpää, M. (2018). Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology. *Water research*, 133, 236-246.
- Lares, M., Ncibi, M. C., Sillanpää, M., & Sillanpää, M. (2019). Intercomparison study on commonly used methods to determine microplastics in wastewater and sludge samples. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(12), 12109-12122.
- Lechner, A., Keckeis, H., Lumesberger-Loisl, F., Zens, B., Krusch, R., Tritthart, M., ... & Schludermann, E. (2014). The Danube so colourful: a potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. *Environmental pollution*, 188, 177-181.
- Lei, L., Wu, S., Lu, S., Liu, M., Song, Y., Fu, Z., ... & He, D. (2018). Microplastic particles cause intestinal damage and other adverse effects in zebrafish *Danio rerio* and nematode *Caenorhabditis elegans*. *Science of the total environment*, 619, 1-8.
- Li, L., Luo, Y., Li, R., Zhou, Q., Peijnenburg, W. J., Yin, N., ... & Zhang, Y. (2020). Effective uptake of submicrometre plastics by crop plants via a crack-entry mode. *Nature sustainability*, 3(11), 929-937.

- Li, X., Chen, L., Mei, Q., Dong, B., Dai, X., Ding, G., & Zeng, E. Y. (2018). Microplastics in sewage sludge from the wastewater treatment plants in China. *Water research*, 142, 75-85.
- Li, Y., Huang, R., Hu, L., Zhang, C., Xu, X., Song, L., ... & Wu, J. (2022). Microplastics distribution in different habitats of Ximen Island and the trapping effect of blue carbon habitats on microplastics. *Marine Pollution Bulletin*, 181, 113912.
- Liebezeit, G., & Dubaish, F. (2012). Microplastics in beaches of the East Frisian islands Spiekeroog and Kachelotplate. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 89, 213-217.
- Liu, K., Wang, X., Fang, T., Xu, P., Zhu, L., & Li, D. (2019). Source and potential risk assessment of suspended atmospheric microplastics in Shanghai. *Science of the total environment*, 675, 462-471.
- Liu, M., Lu, S., Song, Y., Lei, L., Hu, J., Lv, W., ... & He, D. (2018). Microplastic and mesoplastic pollution in farmland soils in suburbs of Shanghai, China. *Environmental pollution*, 242, 855-862.
- Liu, S. L., Jian, M. F., Zhou, L. Y., Li, W. H., Wu, X. E., & Rao, D. (2019). Pollution characteristics of microplastics in migratory bird habitats located within Poyang Lake wetlands. *Huan jing ke xue= Huanjing kexue*, 40(6), 2639-2646.
- Löder, M. G., & Gerdt, G. (2015). Methodology used for the detection and identification of microplastics—a critical appraisal. *Marine anthropogenic litter*, 201-227.
- Löder, M. G., Imhof, H. K., Ladehoff, M., Löschel, L. A., Lorenz, C., Mintenig, S., ... & Gerdt, G. (2017). Enzymatic purification of microplastics in environmental samples. *Environmental science & technology*, 51(24), 14283-14292.
- Luo, Y., Qian, Z., Haibo, Z., Xiangliang, P., Chen, T. U., Lianzhen, L. I., & Jie, Y. (2018). Pay attention to research on microplastic pollution in soil for prevention of ecological and food chain risks. *Bulletin of Chinese*

- Academy of Sciences (Chinese Version), 33(10), 1021-1030.
- M. Deotterl, U. Wachsmuth, L. Waldmann, H. Flachberger, M. Mirkowska, L. Brands, P.-M. Beier, I. Stahl, (2000). Electrostatic Separation, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry Wiley-VCH Verlag GmbH & Co (KGaA
- Mahon, A. M., O'Connell, B., Healy, M. G., O'Connor, I., Officer, R., Nash, R., & Morrison, L. (2017). Microplastics in sewage sludge: effects of treatment. *Environmental Science & Technology*, 51(2), 810-818.
- Majewsky, M., Bitter, H., Eiche, E., & Horn, H. (2016). Determination of microplastic polyethylene (PE) and polypropylene (PP) in environmental samples using thermal analysis (TGA-DSC). *Science of the Total Environment*, 568, 507-511.
- Mani, T., Frehland, S., Kalberer, A., & Burkhardt-Holm, P. (2019). Using castor oil to separate microplastics from four different environmental matrices. *Analytical Methods*, 11(13), 1788-1794.
- Mani, T., Hauk, A., Walter, U., & Burkhardt-Holm, P. (2015). Microplastics profile along the Rhine River. *Scientific reports*, 5(1), 17988.
- Market, L. M. (2020). Transparency market research.
- Mason, S. A., Garneau, D., Sutton, R., Chu, Y., Ehmann, K., Barnes, J., ... & Rogers, D. L. (2016). Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluent. *Environmental pollution*, 218, 1045-1054.
- Mateo-Sagasta, J., Medlicott, K., Qadir, M., Raschid-Sally, L., & Drechsel, P. (2013). Proceedings of the UN-water project on the safe use of wastewater in agriculture. UNW-DPC Proceedings.
- Mintenig, S. M., Int-Veen, I., Löder, M. G., Primpke, S., & Gerdt, G. (2017). Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging. *Water research*, 108, 365-372.

- Möller, J. N., Heisel, I., Satzger, A., Vizsolyi, E. C., Oster, S. J., Agarwal, S., ... & Löder, M. G. (2022). Tackling the challenge of extracting microplastics from soils: a protocol to purify soil samples for spectroscopic analysis. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 41(4), 844-857.
- Moore, C. J., Lattin, G. L., & Zellers, A. F. (2011). Quantity and type of plastic debris flowing from two urban rivers to coastal waters and beaches of Southern California. *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 11(1), 65-73.
- Munno, K., Helm, P. A., Jackson, D. A., Rochman, C., & Sims, A. (2018). Impacts of temperature and selected chemical digestion methods on microplastic particles. *Environmental toxicology and chemistry*, 37(1), 91-98.
- Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F., & Quinn, B. (2016). Wastewater treatment works (WwTW) as a source of microplastics in the aquatic environment. *Environmental science & technology*, 50(11), 5800-5808.
- Nabi, I., & Zhang, L. (2022). A review on microplastics separation techniques from environmental media. *Journal of Cleaner Production*, 337, 130458.
- Napper, I. E., Bakir, A., Rowland, S. J., & Thompson, R. C. (2015). Characterisation, quantity and sorptive properties of microplastics extracted from cosmetics. *Marine pollution bulletin*, 99(1-2), 178-185.
- Ng, E. L., Lwanga, E. H., Eldridge, S. M., Johnston, P., Hu, H. W., Geissen, V., & Chen, D. (2018). An overview of microplastic and nanoplastic pollution in agroecosystems. *Science of the total environment*, 627, 1377-1388.
- Ng, K. L., & Obbard, J. P. (2006). Prevalence of microplastics in Singapore's coastal marine environment. *Marine pollution bulletin*, 52(7), 761-767.
- Nguyen, B., Claveau-Mallet, D., Hernandez, L. M., Xu, E. G., Farner, J. M., & Tufenkji, N. (2019). Separation and analysis of microplastics and nanoplastics in complex environmental samples. *Accounts of chemical research*, 52(4), 858-866.

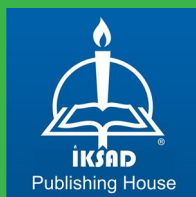
- Nuelle, M. T., Dekiff, J. H., Remy, D., & Fries, E. (2014). A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments. *Environmental pollution*, 184, 161-169
- Okoffo, E. D., O'Brien, S., Ribeiro, F., Burrows, S. D., Toapanta, T., Rauert, C., ... & Thomas, K. V. (2021). Plastic particles in soil: state of the knowledge on sources, occurrence and distribution, analytical methods and ecological impacts. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 23(2), 240-274.
- Pignatello, J. J., Oliveros, E., & MacKay, A. (2006). Advanced oxidation processes for organic contaminant destruction based on the Fenton reaction and related chemistry. *Critical reviews in environmental science and technology*, 36(1), 1-84.
- Ramos, L., Berenstein, G., Hughes, E. A., Zalts, A., & Montserrat, J. M. (2015). Polyethylene film incorporation into the horticultural soil of small periurban production units in Argentina. *Science of the Total Environment*, 523, 74-81.
- Rillig, M. C. (2012). Microplastic in terrestrial ecosystems and the soil?.
- Rillig, M. C., Ziersch, L., & Hempel, S. (2017). Microplastic transport in soil by earthworms. *Scientific reports*, 7(1), 1362.
- Ruggero, F., Gori, R., & Lubello, C. (2020). Methodologies for microplastics recovery and identification in heterogeneous solid matrices: a review. *Journal of Polymers and the Environment*, 28, 739-748.
- Scarascia-Mugnozza, G., Sica, C., & Russo, G. (2011). Plastic materials in European agriculture: actual use and perspectives. *Journal of Agricultural Engineering*, 42(3), 15-28.
- Scheurer, M., & Bigalke, M. (2018). Microplastics in Swiss floodplain soils. *Environmental science & technology*, 52(6), 3591-3598.
- Scopetani, C., Chelazzi, D., Mikola, J., Leiniö, V., Heikkinen, R., Cincinelli, A., & Pellinen, J. (2020). Olive oil-based method for the extraction, quantification and identification

- of microplastics in soil and compost samples. *Science of the Total Environment*, 733, 139338.
- Scopetani, C., Pflugmacher, S., & Pellinen, J. (2019). A method for the extraction of microplastics from solid samples using olive oil. In Poster Session Presented at 16 Th International Conference on Environmental Science and Technology Rhodes, Greece, 4 to 7 September 2019.
- Sharma, M. D., Elanjickal, A. I., Mankar, J. S., & Krupadam, R. J. (2020). Assessment of cancer risk of microplastics enriched with polycyclic aromatic hydrocarbons. *Journal of Hazardous Materials*, 398, 122994.
- Sivan, A. (2011). New perspectives in plastic biodegradation. *Current opinion in biotechnology*, 22(3), 422-426.
- Sofra, C., Calarke, B., & Calarke, G. D. (2010, September). Microplastics in the marine environment: investigating possible sources, presence and abundance. In Poster presented at Student Research Meeting (Vol. 21).
- Steinmetz, Z., Wollmann, C., Schaefer, M., Buchmann, C., David, J., Tröger, J., ... & Schaumann, G. E. (2016). Plastic mulching in agriculture. Trading short-term agronomic benefits for long-term soil degradation?. *Science of the total environment*, 550, 690-705.
- Sujathan, S., Kniggendorf, A. K., Kumar, A., Roth, B., Rosenwinkel, K. H., & Nogueira, R. (2017). Heat and bleach: a cost-efficient method for extracting microplastics from return activated sludge. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 73, 641-648.
- Sun, H., Lei, C., Yuan, Y., Xu, J., & Han, M. (2022). Nanoplastic impacts on the foliar uptake, metabolism and phytotoxicity of phthalate esters in corn (*Zea mays* L.) plants. *Chemosphere*, 304, 135309.
- Sun, J., Dai, X., Wang, Q., Van Loosdrecht, M. C., & Ni, B. J. (2019). Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal. *Water research*, 152, 21-37.
- Svarovsky, L. (2000). *Solid-liquid separation*. Elsevier.
- Tagg, A. S., Sapp, M., Harrison, J. P., Sinclair, C. J., Bradley, E., Ju-Nam, Y., & Ojeda, J. J. (2020). Microplastic monitoring

- at different stages in a wastewater treatment plant using reflectance micro-FTIR imaging. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 145.
- Talvitie, J., & Heinonen, M. (2014). Preliminary study on synthetic microfibers and particles at a municipal waste water treatment plant. HELCOM BASE Project—Implementation of the Baltic Sea Action Plan in Russia.
- Talvitie, J., Mikola, A., Koistinen, A., & Setälä, O. (2017). Solutions to microplastic pollution—Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies. *Water research*, 123, 401-407.
- Tarara, J. M. (2000). Microclimate modification with plastic mulch. *HortScience*, 35(2), 169-180.
- Taulbee, D. N., & Furst, A. (2005). Centrifugation| Preparative.
- Tian, L., van Putten, R. J., & Gruter, G. J. M. (2022). Plastic pollution. The role of (bio) degradable plastics and other solutions. *Biodegradable Polymers in the Circular Plastics Economy*, 59-81.
- UBA, 2015 UBA Klärschlamm und Kompost. (2015) <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/kompost-klaerschlamm>
- Van Cauwenberghe, L., Devriese, L., Galgani, F., Robbens, J., & Janssen, C. R. (2015). Microplastics in sediments: a review of techniques, occurrence and effects. *Marine environmental research*, 111, 5-17.
- Von Moos, N., Burkhardt-Holm, P., & Köhler, A. (2012). Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel *Mytilus edulis* L. after an experimental exposure. *Environmental science & technology*, 46(20), 11327-11335.
- Wang, J., Luo, Y., Teng, Y., Ma, W., Christie, P., & Li, Z. (2013). Soil contamination by phthalate esters in Chinese intensive vegetable production systems with different modes of use of plastic film. *Environmental Pollution*, 180, 265-273.

- Wang, W., Ge, J., Yu, X., & Li, H. (2020). Environmental fate and impacts of microplastics in soil ecosystems: Progress and perspective. *Science of the total environment*, 708, 134841.
- Wang, Z., Lin, T., & Chen, W. (2020). Occurrence and removal of microplastics in an advanced drinking water treatment plant (ADWTP). *Science of the Total Environment*, 700, 134520.
- Weithmann, N., Möller, J. N., Löder, M. G., Piehl, S., Laforsch, C., & Freitag, R. (2018). Organic fertilizer as a vehicle for the entry of microplastic into the environment. *Science advances*, 4(4), eaap8060.
- World Health Organization. (2006). WHO guidelines for the safe use of wastewater excreta and greywater (Vol. 4). World Health Organization.
- World Water Assessment Programme (United Nations), & UN-Water. (2009). *Water in a changing world*.
- Wu, Y., Huang, F., Jia, Z., Ren, X., & Cai, T. (2017). Response of soil water, temperature, and maize (*Zea may L.*) production to different plastic film mulching patterns in semi-arid areas of northwest China. *Soil and Tillage Research*, 166, 113-121.
- Yang, H., Yumeng, Y., Yu, Y., Yinglin, H., Fu, B., & Wang, J. (2022). Distribution, sources, migration, influence and analytical methods of microplastics in soil ecosystems. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 243, 114009.
- Zhang, G. S., & Liu, Y. F. (2018). The distribution of microplastics in soil aggregate fractions in southwestern China. *Science of the Total Environment*, 642, 12-20.
- Zhang, G. S., Zhang, F. X., & Li, X. T. (2019). Effects of polyester microfibers on soil physical properties: Perception from a field and a pot experiment. *Science of the Total Environment*, 670, 1-7.
- Zhang, J., Wang, L., & Kannan, K. (2020). Microplastics in house dust from 12 countries and associated human exposure. *Environment International*, 134, 105314.
- Zhang, S., Yang, X., Gertsen, H., Peters, P., Salánki, T., & Geissen, V. (2018). A simple method for the extraction and

- identification of light density microplastics from soil. *Science of the Total Environment*, 616, 1056-1065.
- Zhang, Z., Zhao, S., Chen, L., Duan, C., Zhang, X., & Fang, L. (2022). A review of microplastics in soil: Occurrence, analytical methods, combined contamination and risks. *Environmental Pollution*, 306, 119374.
- Zhao, Y., Li, Y., Wang, J., Pang, H., & Li, Y. (2016). Buried straw layer plus plastic mulching reduces soil salinity and increases sunflower yield in saline soils. *Soil and Tillage Research*, 155, 363-370.
- Zhou, C. Q., Lu, C. H., Mai, L., Bao, L. J., Liu, L. Y., & Zeng, E. Y. (2021). Response of rice (*Oryza sativa* L.) roots to nanoplastic treatment at seedling stage. *Journal of Hazardous Materials*, 401, 123412.
- Zhou, Y., Liu, X., & Wang, J. (2020). Ecotoxicological effects of microplastics and cadmium on the earthworm *Eisenia foetida*. *Journal of hazardous materials*, 392, 122273.
- Ziajahromi, S., Neale, P. A., Rintoul, L., & Leusch, F. D. (2017). Wastewater treatment plants as a pathway for microplastics: development of a new approach to sample wastewater-based microplastics. *Water research*, 112, 93-99.



ISBN: 978-625-378-199-6