

GELECEKTE TARIM VE İNOVASYON



EDİTÖRLER

Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN & Doç. Dr. Ahmet ÇELİK



İKŞAD
Publishing House

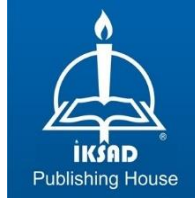
GELECEKTE TARIM VE İNOVASYON

EDİTÖRLER

Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN Doç. Dr. Ahmet ÇELİK

YAZARLAR:

Prof. Dr. Ali ÖZPINAR
Prof. Dr. Ali Beyhan UÇAK
Prof. Dr. Halil İbrahim OĞUZ
Prof. Dr. Mahmut İSLAMOĞLU
Doç. Dr. Ali BOLAT
Doç. Dr. Fırat Ege KARAAT
Doç. Dr. Yeşim BOZKURT ÇOLAK
Dr. Öğr. Üyesi Alper BAYDAR
Dr. Öğr. Üyesi Hülya SAYGI
Dr. Öğr. Üyesi Meltem AVAN
Dr. Öğr. Üyesi Şaban KARAAT
Dr. Emrah RAMAZANOĞLU
Zir. Müh. Pınar KARAAT



Copyright © 2024 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 – 2024©

ISBN: 978-625-367-816-6
Cover Design: İbrahim KAYA
September/ 2024
Ankara / Türkiye
Size = 16 x 24 cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ

Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN

Doç. Dr. Ahmet ÇELİK.....1

BÖLÜM 1

SÜRDÜRÜLEBİLİR MEYVECİLİKTE BAKLAZINI (*Tropinota (Epicometis) hirta* (PODA, 1761) İLE BİYOTEKNİK MÜCADELENİN ÖNEMİ

Prof. Dr. Ali ÖZPINAR.....3

BÖLÜM 2

BÖCEKLERİN OLUMSUZ ABİYOTİK ÇEVRE KOŞULLARINA ADAPTASYON YETENEKLERİ -I

Prof. Dr. Mahmut İSLAMOĞLU.....29

BÖLÜM 3

MEYVECİLİKTE OTOMASYON SİSTEMLERİN KULLANIMI

Prof. Dr. Halil İbrahim OĞUZ

Doç. Dr. Ali BOLAT.....49

BÖLÜM 4

YARI KURAK İKLİM KOŞULLARINDA NOHUTUN (*Cicer arietinum* L.) BİTKİ SU TÜKETİMİNİN BELİRLENMESİ

Prof. Dr. Ali Beyhan UÇAK.....107

BÖLÜM 5

RHIZOCTONIA SOLANI VE PYTHIUM DEBARYANUM'UN TÜTÜN TOHUM YATAKLARINDA NEDEN OLDUĞU ÇÖKERTEN HASTALIĞI VE MÜCADELESİ

Dr. Öğr. Üyesi Meltem AVAN.....123

BÖLÜM 6

TARIMSAL İNOVASYON VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Dr. Öğr. Üyesi Hülya SAYGI.....139

BÖLÜM 7

YÜZEYALTI DAMLA SULAMA SİSTEMİ

Doç. Dr. Yeşim BOZKURT ÇOLAK

Dr. Öğr. Üyesi Alper BAYDAR.....159

BÖLÜM 8

BAHÇE BİTKİLERİ TARIMINDA YENİLİKÇİ BİTKİ KORUMA UYGULAMALARI

Dr. Öğr. Üyesi Şaban KARAAT

Doç. Dr. Fırat Ege KARAAT

Zir. Müh. Pınar KARAAT.....175

BÖLÜM 9

COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ İLE TARIMDA İNOVATİF YAKLAŞIMLAR

Dr. Emrah RAMAZANOĞLU.....191

BÖLÜM 10

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNDE BÖCEKLERİN GELECEĞİ

Prof. Dr. Ali ÖZPINAR211

BÖLÜM 11

SULAMA PROGRAMLAMA TEKNİKLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Alper BAYDAR

Doç. Dr. Yeşim BOZKURT ÇOLAK.....233

BÖLÜM 12

TARIMDA İNOVATİF DÖNÜŞÜM: TERMAL KAMERA KULLANIMI İLE HASSAS VE SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM UYGULAMALARI

Dr. Emrah RAMAZANOĞLU.....247

ÖNSÖZ

Her geçen gün artan dünya nüfusuna paralel olarak 21. yüzyılın tarımsal zorluklarını ve tüketici ihtiyaçlarını karşılamaya yardımcı olmak için tarımda inovasyon kaçınılmaz bir boyuta gelmiştir. 2050 yılına gelindiğinde gıda talebi hızlı nüfus artışına paralel olarak ciddi düzeyde artış gösterecektir. BM (Birleşmiş Milletler)' in yapmış olduğu bir araştırmaya göre dünya nüfusunun yaklaşık %9.9'u hala açlık problemi ile karşı karşıyadır. Buna ek olarak sürekli artan çevresel tahribatlar ve olumsuzluklar tarımsal üretimin rotasını tarım teknolojisinde inovasyona yönlendirmiştir. Geldiğimiz sürece kadar yapılan bilimsel ve teknolojik çalışmalarda yenilikçi tarımsal çözümler insan hayatını olumlu yönde etkilemeye başlamıştır. Tarımsal üretim yapan tüm paydaşlar ürünlerini yetiştirme, taşıma, depolama, paketleme ve yönetsel biçimlerini değiştiren bir sürece dahil olmuşlardır. Çünkü bilimsel ve teknolojik gelişimin önüne hiçbir güç engel olamayacaktır.

Günümüz koşullarında yapılan öncü çalışmalar içerisinde özellikle arı vektörleme teknolojileri, çiftçilerin toprak kalitesini ve verimliliğini optimize etmelerine ve artırmalarına katkı sunan hassas tarım uygulamaları, kapalı alanlarda dikey tarım uygulamaları, hayvancılıkta verimliliği ve sürdürülebilirliğin imkan ve kabiliyetini artıran teknolojiler, lazer korkuluklar, çiftlik otomasyonları, su yönetimi teknolojileri gibi konular geleceğe yönelik umutların artmasına neden olmaktadır.

Toprak ve su gibi geri kazanımı mümkün olmayan zarar gören önemli doğal varlıklar, çevresel endişeler ve iklim değişikliği korkularının her zamankinden yüksek olduğu bir süreçte sürdürülebilir tarım ve çevre dostu üretim önemli bir sorundur. Dünya nüfusu artması ve azalan toprak-su varlığı insan yaşamı için ciddi bir tehdittir. Gelişmiş ve gelişmekte olan dünya ülkelerinin bu konuya finansman ayırarak, tarım teknolojileri ile ilgili inovatif projelere destek olması gelecekte yaşanabilecek kaygıların önüne geçecektir.

Sonuç olarak, tüm tarımsal faaliyet ve üretimlerde dahil olmak üzere bilim ve teknolojinin esaslarına göre yapılması gerekmekte olup, elde edilen bulguların ve çıktılarının güvenli ve optimum kullanımı insan yaşamına sunulmalıdır.

Bu esere değerli çalışmalarıyla katkı sunan tüm akademisyen meslektaşlarımıza **TEŞEKKÜRLERİMİZİ** sunarız.

Eylül, 2024

Prof. Dr. M. Fırat BARAN

Doç. Dr. Ahmet ÇELİK

BÖLÜM 1

SÜRDÜRÜLEBİLİR MEYVECİLİKTE BAKLAZINI (*Tropinota* (*Epicometis*) *hirta* (PODA, 1761) İLE BİYOTEKNİK MÜCADELENİN ÖNEMİ

Prof. Dr. Ali ÖZPINAR¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13684775>

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, 17100, Çanakkale, E mail: aozpinar@comu.edu.tr, ORCID ID:0000-0003-4512-8027

GİRİŞ

Baklazını veya Çiçekzını olarak bilinen *Tropinota (Epicometis) hirta* (Poda,1761) (Coleoptera; Cetoniidae), Türkiye'nin de içinde bulunduğu Akdeniz'e kıyısı olan ülkeler ile Orta Avrupa, Balkanlar, İran ve Orta Asya ülkelerini de içine alan geniş bir coğrafyada yayılmıştır (Stanek, 1984; Kara 1995; Toth, ve ark., 2009; Catalogue of Life, 2024). *T. hirta*'nın Türkiye'deki varlığı, yumuşak ve sert çekirdekli meyve yetiştiriciliğinin yapıldığı bölgeler başta olmak üzere, diğer meyve üretim alanlarını da kapsayan geniş bir alanda tespit edilmiştir (Kara, 1995; Tezcan ve Pehlivan, 2001; Öztürk ve Ulusoy, 2003; Öztürk ve ark. 2004; Kaya ve Kovancı, 2004; Özkan ve ark., 2005; Özbek, 2008; Sağdaş, 2011; Ertop, ve Özpinar, 2011; Aydın, 2011; Yaşar ve Uysal, 2013; Gezer ve Özpinar, 2015; Aslan ve Arslan, 2015; Kaplan, 2019; Uzun, 2019).

Tropinota hirta erginleri geniş bir konukçu dizisine sahip olup, polifag bir zararlıdır. Sert ve yumuşak çekirdekli meyve türleri başta olmak üzere kolza, aspir, yabancı hardal, yabancı turp, baklagil ve buğdaygillerin de içinde bulunduğu 48 farklı konukçu bitkide kaydedilmiştir (Subchev ve ark., 2011; Esfahani ve ark., 2012; Ursache ve ark., 2017; Stankevych, 2017; Uzun 2019; Avcı ve Özpinar 2021).

Erginler, ilkbaharda havaların ısınmasıyla sıcak ve güneşli günlerde aktif hale geçerler. İlk ergin uçuşu, bölgelere göre değişmekle birlikte kültür ve yabancı ve bitkilerin çiçeklenme başlangıcından itibaren genel olarak mart ayı başından itibaren başlayarak temmuz ayı ortalarına kadar sürmektedir (Özbek, 2008; Aslan ve Arslan, 2015; Kara, 1995; Subchev ve ark., 2011; Avcı ve Özpinar, 2021).

Larva ve erginlerin kışlama yeri olan meralar erginlerin rezerv alanı olması bakımında ilk ergin uçuşu için önem taşır. Meralarda *T. hirta* erginlerinin *Gagega villosa*, *Neslia* sp. *Potentilla clusiana*, ve *Sisymbium* sp. çiçeklerinde beslendiği ve kültür alanlarında ise yabancı ot türleri de dahil olmak üzere çok sayıda konukçuda tespit edildiğini bildirmiştir (Kara, 1995). Meranın, meyve bahçelerine yakınlığı ve güneşin uzun süre etkili olduğu güney bakıda yer alması ve kuzey rüzgarlarına kapalı olması gibi özellikleri meyve alanlarındaki ergin uçuş miktarını etkilemektedir (Avcı ve Özpinar, 2021). Buna rağmen, erginlerin uçuş yeteneklerinin yüksek olması, uzun mesafedeki meyve bahçelerine kısa sürede ulaşabilmelerine de olanak sağlar. Böylece

meralara yakın olmayan alanlardaki meyve bahçelerine de erginler kısa sürede yerleşebilirler. Diğer taraftan farklı meyve türleri ile tesis edilmiş bitişik veya aynı parsellerde gerçekleşen uzun bir çiçeklenme periyodu, erginlere uygun gıda sağlar. Bu nedenle ergin popülasyon seviyesi yüksek yoğunluğa ulaşabilmekte ve zarar oranı beklenin üzerinde gerçekleşmektedir.

Erginlerin ekonomik bir zararlı olması nedeniyle doğal olarak araştırmalar ergin dönemi üzerinde yürütülmüştür. Ergin mücadelesini hedefleyen araştırmalarda; ergin uçuşu, ergin popülasyon değişimi ve erginleri yakalamada tuzakların etkinliği ve zarar oranı gibi konular ele alınmıştır.

Meyve ağaçlarının çiçeklenme döneminde bal arısı ve diğer tozlayıcı böcek türlerinin bahçelerdeki varlığı nedeniyle, bu tozlayıcılara vereceği zarardan dolayı *T. hirta* erginlerine karşı insektisit önerilmemektedir (Özbek 2008). Bunun yerine cezbedicilerle mavi rengin kombine kullanıldığı tuzaklar geliştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda erginlerin yakalanması içinde su bulunan bir kaba yerleştirilmiş mavi renk huni ile 1/3 oranında su ile doldurulan mavi renk leğenlerin kullanımı ergin mücadelesinde öncelikli hale gelmiştir (Vuts ve ark., 2010). Bu bağlamda, Türkiye’de yapılan araştırmalarda *T. hirta* erginlerini yakalamada cezbedici ekli mavi renk huni (Sağdaş, 2011; Aslan ve Arslan, 2015) ve mavi renk leğen tuzakların etkili olduğu tespit edilmiştir (Gezer ve Özpinar, 2015).

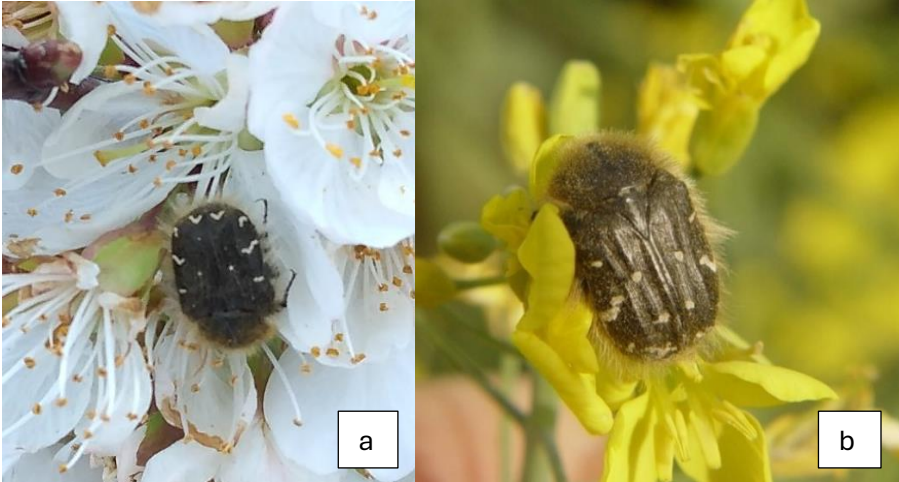
Erken ilkbaharda doğal dengenin işlevsel olduğu bir dönemde *T. hirta* ergin mücadelesinde insektisitlerin önerilmemesi çiçeklerin polinasyonunda etkili olan tozlayıcıların korunması yanında, zararlı fitofag türlerin popülasyonunu baskı altına almada etkili olan predatör ve parazitoit türlerinde korunmasındaki rolü nedeniyle, mevsim boyunca diğer zararlı türler hedef alınarak yapılacak olan mücadele uygulamalarını sürdürülebilir kılacaktır. Bu bağlamda mücadele programının ekonomik olması yanında doğal dengenin korunması ve zararlılarla mücadelede uygulanacak pestisit kalıntısının düşük düzeyde kalmasına olanak sunacaktır.

Diğer yanda son yıllarda meyve yetiştiriciliğinde iyi tarım uygulamaları ve organik ürünlere olan ilginin artması ve tozlayıcıların öneminin anlaşılması nedeniyle zararlılarla mücadelede biyoteknik uygulamalar öncelikli hale gelmiştir. Uygulamaların başarısı zararlıların davranışını yönlendirmede kullanılan biyoteknik araçlardan tuzakların etkin kullanımına bağlıdır. Özellikle zararlıyı baskı altına almada tuzak etkinliğinin arttırılmasına ilişkin

çalışmalar yoğunluk kazanmıştır. Bunun yanında farklı meyve türlerinde erken ilkbaharda kimyasal mücadeleye bağımlı kalınmadan *T. hirta* örneğinde sağlanacak başarı sadece, bu zararlıyı baskı altına almada katkı sunmayacaktır. Aynı zamanda diğer zararlıların mücadelesinde de yol gösterici olacaktır. Yanı sıra *T. hirta* ergin mücadelesinde erken ilkbaharda insektisit kullanımına bağımlı kalınmadan doğal dengenin korunmasına olanak sunacaktır. Meyve alanlarında zararlıları baskı altına almada parazitoit ve predatörlerin etkinliği devam edecektir. Gerek zararlılarla mücadele ve gerekse tozlaşmanın devamı açısından kaliteli meyve elde etme sürdürülebilir meyvecilik için zemin hazırlayacaktır.

1. *Tropinota hirta*'NIN MORFOLOJİK VE BİYOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Tropinota hirta'nın erginleri 10 mm boyunda mat siyah renkte olup, vücudu sık tüylerle kaplıdır (Şekil 1). Erginler, erken ilkbaharda çiçeklerdeki varlıklarıyla dikkati çekmektedir (Stankevych, 2017). Erginlerin elytrasının üzerindeki beyaz lekeler tanımında kolaylık sağlamaktadır.



Şekil 1: Meyve (a) ve yabani ot (b) çiçeklerinde *Tropinota hirta* erginleri

Günün güneşli dönemlerinde çok faal olan erginlerin uçuşu yağmur ve kapalı havalarda azalmaktadır. Kültür bitkilerindeki zararı erginler yapar ve larvalar zararsızdır.

Tropinota hirta, bölgenin iklim koşullarına göre değişmekle birlikte kışı çoğunlukla larva döneminde geçirmektedir. Larva ve erginlerin konukçuları farklıdır. Larvalar saprofit olarak, topraktaki ölü bitki kökleriyle ve çoğunlukla tek yıllık bitkilerle beslenmektedir (Demir, 2005). İlkbaharda, meyve ağaçları ile diğer bitkilerin çiçeklenme zamanında uçan erginler, meyve ağaçlarının çiçeklerinde erkek ve dişi organları ile taç yaprakları yiyerek zarar oluştururlar (Kara, 1995). Olgunlaşma yemesini tamamlayan erginler yumurtalarını humusça zengin topraklara bırakırlar. Yumurtalar 2.0-2.5 mm çapında, beyazımsı ve küre şeklindedir. Yumurtalardan 1-2 hafta sonra çıkan larvalar, yabancı otların kökleri ile beslenir. Gelişmesini tamamlayarak toprakta 6-9 hafta içinde oluşturdukları bir boşlukta pupa olurlar. Bu pupalardan çıkan erginler kışı toprakta geçirir ve ertesi yıl çiçeklerde zarar yaparlar. Larvaların kuru toprakta gelişmeleri yavaş olup, 15°C'nin altındaki sıcaklıklarda gelişmesi tamamen durur. *T. hirta* yılda bir nesil vermektedir.

2. *Tropinota hirta*'NİN ZARARI

Tropinota hirta erginleri ilkbahar aylarında bitkilerin çiçeklerinde, erkek ve dişi organlarını yiyerek zarar yapar. Genelde polenlerle beslenseler de dişicik organını, hatta çiçeklerin diğer kısımlarını da yedikleri tespit edilmiştir (Böhm, 1950). Zarar gören erkek organın zamanla kuruduktan sonra kahverengileştiği ve bu çiçeklerin meyve bağlamadığı tespit edilmiştir (Kara, 1995).

Çiçekler üzerinde dolaşıp beslenirken bir çiçekten diğerine veya bir ağaçtan bir başkasına geçtikleri için tozlaşmayı katkı verdiği düşünülmektedir. Ancak, bir taraftan da çiçeklere zarar verdikleri için bu türler zararlı tozlayıcılar olarak nitelendirilmektedir (Benedek, 1996).

Bazen taze sürgün, yaprak, hatta meyveyle beslendikleri kaydedilmiştir. Çiçeklenme dönemi sona erdikten sonra, *T. hirta* erginlerinin tuzaklara yakalanması ve bahçelerdeki varlığının devamı meyvelerin çiçekleri dışındaki diğer organlarla da beslenmesine bağlanmaktadır.

Çiçeklerin generatif organlarıyla beslenen ve yeterli bir olgunlaşma yemesine sahip olan erginler yumurtalarını toprak işlemenin yapılmadığı tarla veya bahçeler ile mera niteliğindeki humusça zengin alanlara bırakmaktadır. Bu da meranın meyve bahçelerine olan yakınlığına bağlı olarak zararının

popülasyon yoğunluğunun yüksek seviyeye ulaşmasını doğrudan etkilemektedir.

Tropinota hirta erginlerinin zarar verdiği ağaçların çiçekleri meyve bağlamaz ve bağlantılı olarak meyve üretim alanında ürün kayıpları meydana gelmektedir. Çanakkale ili meyve üreticileri meyve seyreltmesine ihtiyaç duyulan şeftali ve elma dışında, özellikle kayısı ve kiraz gibi meyve türlerinde zararlı ile mücadeleye gerek duyulduğu dile getirilmiştir. Çiçeklenme döneminde kapalı havalarda ergin faaliyeti azaldığında çiçeklerdeki zarar oranının da azaldığı; güneşli havalarda ise ergin faaliyetinin yüksek olması nedeniyle çiçeklerdeki zararın arttığı bildirilmiştir. Özellikle ilkbaharda meyve çiçeklenme döneminde yağışlı ve kapalı gün sayısı *T. hirta* ergin zararını doğrudan etkilediği kanaatine varılmıştır. *T. hirta* erginlerin Macaristan'da meyve ağaçlarının çiçeklerini yiyerek verim kaybına neden olduğu (Racksko ve ark., 2007), Bulgaristan'da ise benzer şekilde *T. hirta*'nın genç kiraz bahçelerinde %70'e ulaşan oranda zarar yaptığı (Kutinkova ve Andreev, 2004) ve Hırvatistan'da ise ergin zararının şeftalilerde ciddi düzeylere ulaştığını belirlenmiştir (Razov ve ark., 2009). Makedonya'da ise bu zararlının tüm bölgelerde yaygın olarak görüldüğü bildirilmiştir (Rozner ve Rozner, 2009). Türkiye'de de armut (*Pyrus spp.*) ağaçlarının çiçeklerinde %90-100'e ulaşan oranlarda zararın gerçekleştiği belirlenmiştir (Kara, 1995). Benzer şekilde Isparta ilinde armut ve elma bahçelerinde çiçeklenme döneminde ergin zararı kaydedilmiştir (Erdoğan, 2016, Yaşar ve Dahham, 2019).

3. *Tropinota hirta* ERGİN UÇUŞ PERİYODU

Bulunduğu coğrafik bölgeye göre değişmekle birlikte *T. hirta* ergin uçuşu yabani ve kültür bitkilerinin çiçeklenme başlangıcı olan erken ilkbaharda başlamaktadır. Lodos, (1989) Türkiye'de *T. hirta* erginlerinin mart ayı ortasından itibaren görüldüğünü bildirmiştir. Bunun yanında Kara (1995) Tokat ilinde ergin uçuşunun Nisan ayının ilk haftasında yabani otlar üzerinde gerçekleştiğini tespit etmiştir. Avcı ve Özpınar (2021) Çanakkale ilinde ilk *T. hirta* erginlerinin günlük ortalama sıcaklığın 7.97°C olduğu 12.02.2021 tarihinde Çanakkale Merkez ilçede (Dardanos) *Sinapsis arvensis* (Yabani hardal) ve 13.02.2021 tarihinde Ezine (Akköy)'de *Prunus domestica* (Erik) parselindeki tuzaklarda tespit edilmiştir. Daha sonra 27.02.2021 tarihinde *Prunus persica* (Şeftali) ve 23.02.2021 tarihinde ise *Prunus avium* (Kiraz)

bahçelerinde erginler tuzaklara yakalanmıştır (Çizelge 1). *T. hirta* ergin sayısı şubat ayı sonuna doğru artmış olup, mart ayı sonunda en yüksek popülasyon yoğunluğuna ulaşmıştır. Çanakkale ili meyve alanlarında tuzaklarda ergin uçuşu 17 Mayıs 2021 tarihinde sona ermiştir. Erken çiçek açan meyvelerden biri olan bademde *T. hirta* ergin uçuşu Kahramanmaraş'ta hava sıcaklığının 9-10°C olduğu mart ayının ilk haftasında (Aslan ve Arslan, 2015) ve Adıyaman ilinde ise 18.02.218 tarihinde başladığı mart ayının son haftasında en yüksek seviyeye ulaştığı ve mayıs ayının sonlarına doğru ergin uçuşunun sona erdiğini bildirmiştir (Uzun, 2019). Çanakkale ili şeftali bahçelerinde ise *T. hirta* ergin uçuşunun 04 Mart tarihinde başladığını, ergin popülasyon yoğunluğunun mart ayı ortalarında en yüksek düzeye ulaştığı ve Mayıs ayı başında sona erdiği bildirilmiştir (Erbay ve Özpınar, 2019). Ergin uçuşu Afyonkarahisar ilinde kiraz bahçelerinde 31 Mart tarihinde (Sağdaş, 2011); Isparta ilinde elma bahçelerinde 9 Nisan tarihinde (Yaşar ve Dahham, 2019) ve armut bahçelerinde ise 3 Nisan tarihinde gerçekleştiği tespit edilmiştir (Erdoğan, (2016).

Macaristan'da ise ilk *T. hirta* erginlerin 27 Mart tarihinde tuzaklara yakalandığı bildirmiştir (Schemera ve ark., 2004). Görüldüğü üzere meyve türüne ve çiçeklenme zamanına bağlı olarak ergin uçuş periyodu değişiklik göstermiştir. Şubat ayı ortalarından itibaren başlayan *T. hirta* ergin uçuşu yabancı otlarda meyve ağaçlarında temmuz ayı ortalarına kadar devam ettiği yapılan araştırmalardan tespit edilmiştir (Özbek, 2008). Nitekim, Çanakkale ilinde ergin uçuşunun meyve çiçeklenme döneminden sonra düşük sayıda da olsa bazı yabancı otların çiçeklerinde 16.06.2021 tarihinde Çanakkale ili Merkez İlçesi Dardanos mevkiinde devam ettiği kaydedilmiştir (Çizelge 2). Daha sonraki tarihlerde ergin uçuşu sona ermiştir.

4. *Tropinota hirta*'NİN KONUKÇULARI

Tropinota hirta erginleri geniş bir konukçu dizisine sahip, polifag bir zararlıdır. *T. hirta* erginleri sert ve yumuşak çekirdekli meyve türleri başta olmak üzere kolza, aspir, yabancı hardal, yabancı turp, baklagil ve buğdaygillerin de içinde bulunduğu 48 farklı konukçu bitkide tespit edilmiştir (Subchev ve ark., 2011; Esfahani ve ark., 2012; Ursache ve ark., 2017; Stankevych, 2017; Avcı ve Özpınar 2021).

Meyve ağaçlarının çiçeklerinde zararlı olan *T. hirta* erginleri için yapılan araştırma sonuçlarına dayandırılarak çiçeklenme dönemlerine göre meyve

türleri konukçu olarak öne çıkmıştır. Tablo 1 ve 2’de görüldüğü üzere erken henüz meyve ağaçlarının çiçek açmadığı dönemlerde ilkbaharda mera ve tarlalarda çiçek açan bitkiler üzerinde beslendiği ve karahindiba (*Taraxacum officinale* L.) ve yabancı hardal (*Sinapsis arvensis* L.) gibi bitkiler de erginlerin ilk konukçular arasında yer almıştır (Uzun, 2019; Stankevch, ve ark., 2020, Avcı ve Özpınar, 2021).

Meyve ağaçlarının çiçeklenme döneminde ise ilk erginler Ezine ilçesi Akköy’deki erik bahçesindeki (*Prunus domestica* L.) tuzaklara 13.02.2021 tarihinde yakalanmıştır. Daha sonra 23.02.2021 tarihinde kiraz bahçesinde (*P. avium*) ve 27.02.2021 tarihinde şeftali bahçesindeki (*P. persica*) tuzaklara yakalanmıştır. Genel olarak ergin uçuşu 17.05.2021 tarihinden itibaren sona erdirilmiştir.




Tablo 1: Çanakkale ilinde farklı konukçularda *Tropinota hirta* erginlerinin tuzaklara ilk yakalanma tarihleri (Avcı ve Özpınar, 2021)






Lokasyon	Konukçusu	İlk yakalanma tarihi
Saraycık (Mekez)	<i>Prunus domestica</i> L. (Erik)	14.03.2021
	<i>Prunus persica</i> L. (Şeftali)	08.03.2021
	<i>Prunus avium</i> L. (Kiraz)	19.03.2021
	<i>Cydonia vulgaris</i> L. (Ayva)	18.04.2021
Dardanos (Merkez)	<i>Sinapsis arvensis</i> L. (Yabancı hardal)	11.02.2021
	<i>Pyrus communis</i> L. (Elma)	27.04.2021
	<i>Triticum aestivum</i> L. (Buğday)	21.04.2021
Akköy (Ezine)	Mera (Yabancı otlar)	24.02.2021
	<i>Prunus domestica</i> L. (Erik)	13.02.2021
	<i>Prunus persica</i> L. (Şeftali)	27.02.2021
	<i>Prunus avium</i> L. (Kiraz)	23.02.2021
	<i>Cydonia vulgaris</i> L. (ayva)	12.04.2021
	<i>Vicia faba</i> L. (Yabancı fığ)	18.04.2021


Tablo1’de görüldüğü üzere meyve ağaçları dışında buğday, (*Triticum aestivum*) ve bakla (*Vicia faba*) üzerinde *T. hirta* erginleri tuzaklara yakalanmıştır. Nitekim, buğday bitkisinin İran’da (Awal, 2006) ve Doğu Cezayir’de (Amokrane ve ark., (2020) *T. hirta*’nın konukçusu olduğu bildirilmiştir. Adana’da ise *T. hirta* erginleri bakla bitkisinde tespit edilmiştir (Atakan, 2019). Adıyaman ilinde badem (*Amygdalus communis* L.) ağaçlarının






çiçeklerinde zararlı olan üzerinde *T. hirta* erginlerinin tuzaklara yakalanma etkinliğinin incelendiği çalışmada; *Malus domestica* (Elma), *Pyrus communis* (Armut), *P. avium* (Kiraz), *P. armeniaca* (Kayısı), *C. vulgaris* (Ayva) ve *P. cerasus* (Vişne) kültürü yapılan meyveler olarak bildirilmiştir. Aynı meyve türlerinde *T. hirta* ergin popülasyon değişimi Çanakkale ve Isparta illerinde de farklı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir.




Tablo 2: *Tropinota hirta* erginlerinin tespit edildiği konukçular ve bulunma tarihleri

Türler	Bulunduğu tarih ve yerler	<i>Tropinota hirta</i> erginin konukçuları
Karahindiba (<i>Taraxacum officinale</i> L.) çok yıllık bir bitkidir. Nisan ve mayıs aylarında çayırılık alanlarda tarla kenarlarında görülür. <i>T. hirta</i> 'nın konukçusu olarak tespit edilmiştir. (Kara, 1995; Uzun 2019; Stankevych, ve ark., 2020)	23.02.2021; Dardanos, (Merkez)* 04.03.2021; Akköy (Ezine)* 04.03.2021 Saraycık köyü (Merkez)* 01.04.2021; Güzelyalı (Merkez)*	
Çoban çantası (<i>Caspella bursa-pastoris</i> (L.) tek yıllık otsu bir bitkidir. Genellikle çorak arazilerde yetişir. Genellikle erken ilkbaharda çiçek açar. <i>T. hirta</i> 'nın konukçusu olarak tespit edilmiştir (Kara, 1995; Stankevych, ve ark., 2020)	04.03.2021; Dardanos (Merkez)*	
Yabani hardal (<i>Sinapis arvensis</i> L.), boyu 80-90 cm' ye ulaşan tek yıllık bir bitkidir. Çiçekleri salkım şeklindedir. Erken ilkbaharda yaygın olarak görülür. <i>T. hirta</i> 'nın konukçusu olarak tespit edilmiştir (Uzun, 2019; Stankevych, ve ark., 2020).	04.03.2021; Dardanos (Merkez)* 01.04.2021; Dardanos (Merkez)* 02.04.2021; Akköy (Ezine)* 06.04.2021 Güzelyalı köyü (Merkez)*	

<p>Kırkbaş otu (<i>Leontice leontopetalum</i> L.) Boyu 100 cm'ye varan, nisan ve mayıs aylarında çiçek açan kumlu ve tınlı topraklarda hoşlanan bir bitkidir.</p>	<p>15.03.2021; Akköy (Ezine)* 22.03.2021; Akköy (Ezine)*</p>	
<p>Yabani turp (<i>Raphanus raphanistrum</i> L.) boyu 30-60 cm arasında değişir. Çiçekleri beyaz veya açık sarı renktedir. <i>T. hirta</i> erginlerine konukçuluk ettiği bildirilmiştir Stankevych ve ark., 2020)</p>	<p>02.04.2021; Akköy (Ezine)* 14.04.2021; Akköy (Ezine)*</p>	
<p>Kerdeme (<i>Bunias erucago</i> L.) boyu 60 cm'ye varan tek yıllık bir bitkidir. Çiçekleri sarı renkli tam veya kesiktir.</p>	<p>02.04.2021; Akköy (Ezine)*</p>	
<p>Ballıbaba (<i>Lamium amplexicaule</i> L.) boyu 40 cm uzunluğunda tek yıllık bir bitkidir. Çiçekleri mor ve pembe renktedir. <i>T. hirta</i>'nın konukçusu olarak tespit edilmiştir (Uzun, 2019)</p>	<p>10.04.2021; Güzelyalı köyü (Merkez)*</p>	
<p>Koyun gözü (<i>Bellis perennis</i> L.) çok yıllık olup, boyu 10-35 cm uzunluğundadır. Çiçek başları ışınsaldır. Mart ve ağustos aylarında çiçek açarlar.</p>	<p>20.04.2021; Akköy (Ezine)*</p>	

<p>Ak ballıbaba (<i>Lamium albüm</i> L.) 50-100 cm uzunluğa kadar çıkabilen çok yıllık bir bitkidir. Çiçekleri beyaz renklidir.</p>	<p>22.04.2021; Akköy (Ezine)*</p>	
<p>Kırmızı şahin sakalı (<i>Crepis rubra</i> L.) 40 cm'ye kadar uzayabilen tek yıllık bir bitkidir. Kayalık alanlarda ve çayırda yetişir.</p>	<p>22.04.2021; Akköy (Ezine)*</p>	
<p>Gelincik (<i>Papaver rhoeas</i> L.) tek yıllık otsu bir bitkidir. Boyu 25-60 cm arasındadır. Çiçekleri genel rengi koyu kırmızı olup, mart-ağustos aylarında çiçeklenir.</p>	<p>05.05.21; Akköy (Ezine)*</p>	
<p>Aspir (<i>Carthamus tinctorius</i> L.) genellikle 80-100 cm arasında uzunluğa sahip, dikenli ve dikensiz tek yıllık bir bitkidir. Sarı, beyaz, krem, kırmızı ve turuncu gibi değişik renklerde çiçeklere sahiptir.</p>	<p>25.05.21; Ilgardere (Eceabat)*</p>	
<p>Deve dikenli (<i>Onopordum illyricum</i> L.) boyu 200 cm'ye ulaşan, dikenli bir gövdeye sahip iki yıllık bir bitkidir.</p>	<p>16.06.21; Dardanos (Merkez)*</p>	

<p>Karaağaç böğürtleni (<i>Rubus ulmifolius</i> L.) dikenli bir çalıdır. Çiçekler genellikle pembe, bazen beyazdır. Bursa ve Yalova illerinde <i>T. hirta</i> erginlerinin konukçusu olarak bildirilmiştir (Çetin ve ark., 2006).</p>	<p>16.06.21; Dardanos (Merkez)*</p>	
<p>Pis kokulu hindiba (<i>Crepis foedita</i> L.) 10-60 cm uzunluğunda tek yıllık bir bitkidir. Çiçek başları birkaç ya da çok sayıda sarı renklidir.</p>	<p>16.06.21; Dardanos (Merkez)*</p>	
<p>Yabani havuç (<i>Daucus carota</i> L.) bitkisi 60 cm uzunluğa kadar büyüyebilir. Çiçekler küçük ve mat beyaz renkli ve şemsiye şeklinde olup, 8-10 cm uzunluğundadır.</p>	<p>16.06.21; Dardanos (Merkez)*</p>	
<p>Sürünücü düğün çiçeği (<i>Ranunculus repens</i>) boyu 15-40 cm olup, çok yıllık, otsu bir bitkidir.</p>	<p>Adıyaman; (Uzun, 2019)</p>	
<p>Koca fiğ (<i>Vicia narbonensis</i> L.) hem kurağa hem de soğuğa oldukça dayanıklı olan bir bitkidir.</p>	<p>Adıyaman; (Uzun, 2019)</p>	

<p><i>Hypocoum</i> sp. Çiçekler beyaz veya pembe renklidir.</p>	<p>Adıyaman; (Uzun, 2019)</p>	
<p>Sürünücü düğün çiçeği (<i>Ranunculus repens</i> L.) Genellikle mart, nisan ve mayıs aylarında çiçeklenir. Yumru köklü, kök saplı, stolonlu veya gövde tabanı soğanlı, bir yıllık ve çok yıllık otsu bitkilerdir.</p>	<p>Adıyaman; (Uzun, 2019)</p>	
<p>Nar (<i>Punica granatum</i>) İran'da <i>T. hirta</i>'nın konukçusu olarak bildirilmiştir. Çanakkale de nar bahçesinde erginler tuzaklara yakalanmamıştır.</p>	<p>İran; (Awal, 2006)</p>	

* Bulgular Avcı ve Özpınar (2021)'dan alınmıştır.

Ayrıca *T. hirta* erginleri İran'da gül (*Rosa* sp.), nar (*Punica granatum* L.), narenciye (*Citrus* sp. L.), çiçek elması (*Malus* sp.), ak diken (*Rhamnus cathartica* L.), karaağaç (*Ulmus* sp.), karakavak (*Populus nigra*), kızılağaç (*Alnus* sp.), mısır akasyası (*Vachellia nilotica* L.) ve yalancı akasya (*Robinia* sp., üzerinde kaydedilmiştir (Awal, 2006). Türkiye'de ise haşhaş (*Papaver somniferum* L.) konukçu olarak bildirilmiştir (Giray,1985). Ukrayna'da *T. hirta*'nın konukçusu olarak acı düğün çiçeği (*Ranunculus acris* L., bülbül otu (*Sisymbrium loeselii* L., sadır otu (*Descurainia sophia* L., ve nicar otu (*Barbarea vulgaris* L.) tespit edilmiştir.

4. *Tropinota hirta*'NİN MÜCADELESİ

Tropinota hirta'nın geniş bir konukçu dizisine sahip olması, bağlantılı olarak yer kürede geniş bir coğrafyada varlığının devam ettirmesine olanak sunmaktadır. Meyvelerin çiçeklenme döneminde dikkate alınan *T. hirta* erginlerinin çiçeklere verdiği zararın ekonomik değer taşınması mücadelesini zorunlu hale gelmiştir. Bu zararlıya karşı uygulanan yöntemlerin tozlayıcılara

olan yan etkileri esas alındığında sürdürülebilir uygulamalar, şüphesiz ki ekosistemdeki diğer etmenlerinde varlıklarını devam ettirmesinde önemli bir paya sahiptir. Meyvecilikte hangi zararlı göz önüne alınırsa alınsın erken dönemde zararlılarla mücadelede insektisit kullanımı doğal dengenin bozulması ve sistemin kimyasal mücadeleye bağımlı kalmasına neden olmaktadır. Bu bağlamda gerek tozlayıcıların faaliyetlerini devam ettirmesi ve gerekse zararlıları baskı altında tutmaları için parazitoit ve predatör türlerin etkinliklerini devamı bakımında *T. hirta* ile mücadelenin ayrı bir önem taşıdığı bir gerçektir.

4.1.Kültürel önlemler

Tropinota hirta'nın ergin, yumurta, larva ve pupa dönemlerini toprakta geçirir. Yabancı ot mücadelesi esas alınarak uygun dönemlerde yapılacak olan toprak işleme uygulamaları toprakta bulunan yumurta, larva, pupa ve ergin popülasyonun zarar görmesi sağlanır. Zararlının popülasyonun düşürülmesi zarar oranını da düşürür. Aynı zamanda kışı pupa olarak toprakta geçiren Kiraz sineği (*Rhagoletis cerasi* L.) ile mücadelede sonbaharda yapılacak toprak işleme uygulamaları *T. hirta*'nın mücadelesine de katkı verebilir. Bu bağlamda diğer zararlı türlerin biyolojileri de esas alınarak bu tür uygulamaların etkileri birlikte değerlendirilmelidir. Ancak meyve bahçelerinde ağaçların kök gelişimi ve kök derinliği esas alınarak zararlıların kışı geçirdiği toprak derinliği için kullanılacak alet ve ekipmanı doğru seçilmesi gerekir. Erginlerin yumurta bıraktıkları ve larva ile pupaların geliştiği toprakların işlenerek zararlının zarar görmesi popülasyonun düşürmede önem taşır.

Ayrıca, tesis edilecek bahçelerin konumu itibarıyla güney bakıda yer alan mera alanlarına olan yakınlıkları, farklı meyve türlerinin iç içe tesis edilmesi gibi durumlarda *T. hirta* erginleri için konukçu varlığının devamlı hale gelmesi zararlının üründeki kaybı üzerinde pozitif bir durum oluşturacaktır.

4.2.Mekanik mücadele

Erginlerin az hareketli olduğu sabahın erken saatlerinde ağaçlar altına bez örtüler serilerek ağaçlar kuvvetli bir şekilde silkelenir ve düşen erginlerin uçmasına izin verilmeden toplanarak imha edilir.

4.3. Biyoteknik mücadele

Tropinota hirta erginlerinin uçuş periyodu sert ve yumuşak çekirdekli meyvelerin çiçeklenme dönemiyle örtüşmektedir. *T. hirta* erginleri meyve ağaçlarının çiçeklerinin generatif organlarında yaptığı zarar nedeniyle üründe ekonomik kayba neden olmaktadır. Bu zararın önüne geçmek için bazı meyve türlerinde mutlak mücadeleye gerek duyulmaktadır. Ancak, çiçeklenme döneminde balarları ve diğer tozlayıcı türlerin faaliyetlerinin devamı bakımında kimyasal mücadele ilaçları önerilmemektedir. İren (1968), *T. hirta* erginlerine karşı ilaçlı mücadelenin %83,4 oranında başarı sağladığını, ancak bal arılarında ise %39,2 oranında ölüm gerçekleştiğini bildirmiştir. *T. hirta* erginleri ile mücadelede erginlerin toplu halde tuzaklara çekilerek yakalanması için cezbediciler ile renk tuzakların etkinliklerinin belirlenmesi bir alternatif olarak benimsenmiştir (Vuts ve ark., 2010). Yapılan çalışmalarda mavi renkli tuzakların bu zararlıyı yakalamada başarılı olduğu bildirilmiştir (Schmera ve ark., 2004). Bununla birlikte meyve türüne göre uygun çekici rengin belirlenmesi çalışmaları devam etmekte olup, vişne ve kiraz bahçelerinde çiçeklenme döneminde beyaz renk ve çiçeklenme sonrasında ise mavi renk tuzakların daha fazla *T. hirta* ergini yakaladığı tespit edilmiştir (Aydın, 2011).

Mavi ve beyaz renk tuzakların cinnamyl alkol ve anethol beraber *T. hirta* erginlerini yakalamada etkili oldukları bildirilmiştir (Toth ve ark., 2009). Bulgaristan'da ise açık mavi renkteki huni ve leğen tuzakların *T. hirta* erginlerini yakalamada etkili olduğu yapılan çalışmalarla tespit edilmiştir Subchev ve ark.,2011). Afyonkarahisar ilinde kiraz ve elma bahçelerinde *T. hirta*'nın en fazla mavi renkli huni + cezbedici ekli tuzakla yakalandığı saptanmıştır (Sağdaş, 2011). Yine benzer şekilde Kahramanmaraş ilinde badem bahçelerinde *T. hirta*'nın yakalanmasında mavi renk huni tuzakların, leğen, kova, ve plaka tipi tuzaklardan daha başarılı olduğu bildirilmiştir (Aslan ve Arslan; 2015). Çanakkale ilinde ise şeftali, kiraz, kayısı ve elma bahçelerinde *T. hirta* erginlerini yakalamada cezbedici (100 mg Trans-Anethol + 100 mg Cinnamyl Alcohol)+ mavi leğen tuzakların en iyi sonucu verdiği tespit edilmiştir (Gezer ve Özpınar, 2015). Yanı sıra, şeftali bahçelerinde yapılan diğer bir çalışmada 110 cm, 50 cm ve yerde (0 cm) olmak üzere 3 yükseklikte cezbedici ekli tuzakların şeftali bahçesinde 50 cm yükseklikte Deep Sky Blue olarak adlandırılan ve hexadecimal kodlu (#3A9AD1) leğen tuzak en fazla ergin yakalamıştır (Erbay ve Özpınar, 2019). Tablo 3'deki tuzaklarla Baka

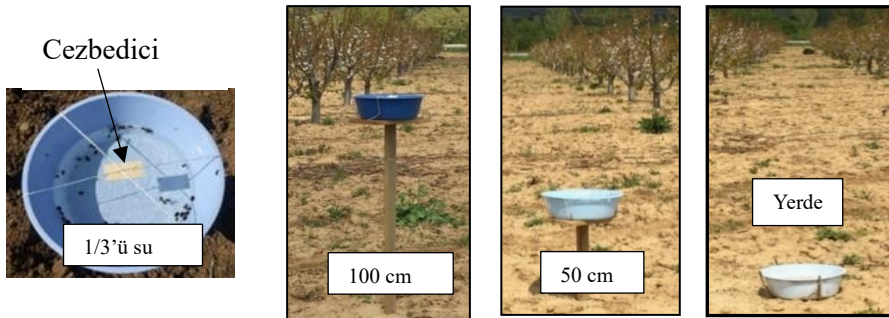
zını ticari tuzağı olan VARb3k ile karşılaştırılmış ve ticari N015, H021 ve H006 kodlu tuzakların gerisinde kalmıştır.

Tablo 3: Çanakkale ili şeftali bahçelerinde mavi rengin 5 farklı tonundaki tuzaklara üç yükseklikte yakalanan *Tropinota hirta* ergin sayılarının karşılaştırılması (Ort.±S.H.; P<0.05; n=30) (Erbay ve Özpinar, 2019).

DYO (HUE)	Hexadecimal	Yerde (0 cm)	50 cm	110 cm
H021	#C6DEFF	2.45±0.62 A b	3.25±0.86 A a	2.05±0.59 A ab
H006	#ADDFFF	1.38±0.27 A bc	3.07±0.90 A a	2.77±0.63 A a
G021	#E0FFFF	1.27±0.32 A c	2.57±0.73 A a	2.22±0.71 A ab
N015	#3A9AD1	4.10±1.14 A a	4.37±1.32 A a	2.00±0.68 B ab
Y157	#356AE8	1.83±0.44 AB bc	2.95±0.98 A a	1.33±0.42 B b

Aynı sütundaki küçük ve aynı satırdaki büyük harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki (P>0.05) fark istatistiksel olarak önemsizdir.

Çanakkale ili kiraz bahçelerinde 3 yükseklikte 5 mavi renk tonundaki leğen tuzakların *T. hirta* ergin yakalanma etkinlikleri incelenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2: Kiraz bahçesinde *Tropinota hirta* erginlerini yakalamada kullanılan tuzaklar (Özpinar ve ark., 2021).

Tablo 4'de görüldüğü üzere yerde (0 cm) konumlandırılan #C4D5E3 kodlu tuzakta en fazla ergin yakalanmıştır.

Tablo 4: Çanak kale ili kiraz bahçelerinde üç yükseklikte beş mavi renk leğen tuzağa yakalanan *Tropinota hirta* ergin sayıları (Ort±std hata) (n=20) (Özpinar ve ark., 2021)

Yükseklikler	#B4C8E1	#C4D5E3	#A6CDE3	#4D9AC9	#05467A
0 cm	4.33±1.08 ab A	7.18±1.84 a A	5.15±1.53 ab A	6.18±1.53 ab A	3.30±0.89 b A
50 cm	6.40±1.72 a A	5.38±1.57 a A	5.25±1.21 a A	5.90±1.38 a A	2.70±0.82 b A
100 cm	2.63±1.01 a B	2.25±0.70 a B	2.40±0.73 a B	2.28±0.67 a B	1.83±0.54 a A

Not: Aynı satırda farklı küçük harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemlidir ($p<0.05$). Aynı sütunda farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($p<0.05$).

Huni ve leğen tuzaklarda *T. hirta* erginleri yakalamada mavi rengin tonları üzerinde yapılan çalışmaların yanında farklı cezbedicilerin etkinlikleri de incelenmiş ve cezbedicilerden Trans-Cinnamyl alkol+Anethol+4-Methoxyphenethyl alkol karışımı yerden 1.5 m yükseklikteki huni tuzakta en fazla ergin yakalamıştır (Yaşar ve ark., 2014; Güvenç ve Yaşar, 2015).

Tropinota hirta ergin mücadelesinde kimyasal ilaçlara alternatif olarak cezbedici ekli; içinde su bulunan mavi renk huni ve leğenlerin ergin yakalamadaki başarısı bu zararlı ile biyoteknik mücadele yöntemi olarak kullanabileceği yapılan araştırmalarla ortaya konulmuştur. Ticari tuzağa göre daha ekonomik olan ve ergin yakalama potansiyeli yüksek olan bu tuzakların ürün temelinde en uygun renk tonunun belirlenmesi başarının artmasına da olanak sunacaktır.

5.SÜRDÜRÜLEBİLİR MEYVECİLİKTE TOZLAŞMA

Tarım sistemlerinde zararlılarla mücadelede erken ilkbahar döneminde yapılacak uygulamalar sistemin devamı ve sürdürülebilirlik açısından oldukça önemlidir. Ekosistemde canlılardaki uyum bir dengede başlar ve aralarındaki ilişki kırılabilir ve hassastır. Bu nedenle gerek kültürel uygulamalar ve gerekse dışarıdan yapılacak müdahaleler için denge unsuru dikkate alınmalı ki bu denge kendi dinamikleriyle mevsim boyunca devam edebilsin. Meyvelerin çiçeklenme döneminde *T. hirta* ergin mücadelesinde kimyasal bileşikler kullanılarak yapılacak uygulamalar biyolojik çeşitliliğin devamını sağlayan tozlayıcıların zarar görmesi ve içinde zararlılarında yer aldığı fitofag türleri baskı altına alarak popülasyonlarını ekonomik zarar eşiklerinin altında kalmasını sağlayan parazitoit ve predatörlerin olumsuz etkilenmesi yeni sorunları beraberinde getirecektir. Görüldüğü üzere zararlı konumundaki *T.*

hirta erginlerine karşı yapılacak uygulamaların doğru seçiminin iki temel ayağı var. Bu bakımda mevsim boyunca ekonomik ve kaliteli meyve elde etmek için tozlayıcıların faaliyetlerinin devam etmesine ihtiyaç olduğu gibi, ve aynı zamanda insektisit uygulamalarının dengede tutan optimal doğal düşmanların zararlıları baskı altına alması sürdürülebilir meyveciliğin devam için gereklidir.

Bazı meyve türlerinde olduğu üzere tozlayıcı böceklere bağımlılık oldukça yüksektir. Rüzgarla tozlaşmadan farklı olarak çiçekteki polenin aynı türün başka bir çiçeğine, yani adrese tesliminde böceklerin işlevi biyolojik çeşitliliğin temelini oluşturmaktadır. Biyolojik çeşitliliğin sonucu olarak diğerlerinden kaliteli ve üstün özellikteki meyvelerin ortaya çıkması veya görünür kılınması, bunların seçilip kültürlerinin devamı için seleksiyona tabi tutulmasına da olanak sunar.

Tozlaşmaya katkı veren ve polen taşımada etkili olan böceklerin başında arılar (Hymenoptera) gelmektedir. Arılar içinde ilk sırada bal arıları yer alırken çiçek nektarıyla beslenen parazitoit türlerin hem doğal düşman karakteri nedeniyle faydalı, hem de tozlaşmaya katkı sağladıkları içinde işlevleri göz ardı edilemez.

Bunun yanında özellikle meyve alanlarında üründe ekonomik kayıplara neden olan ve erken dönemlerde meyve alanlarında görülen sıklıkla da mücadeleye ihtiyaç duyulan yaprakbiti (Aphididae) gibi zararlı türler üzerinde predadör olarak yaşayan ve çiçek nektarıyla beslenen, sineklerin (Syrphidae; Diptera) varlığı sürdürülebilir üretim açısından oldukça değerlidir. Erken ilkbaharda faaliyetlerine başlayan bu türlerin *T. hirta* ya karşı yapılacak kimyasal ilaçlardan olumsuz etkilenmemesi olası değildir. Bu bakımda yaşanabilecek risk göze alınmadığı için ilaçlı mücadelenin önü alınmıştır.

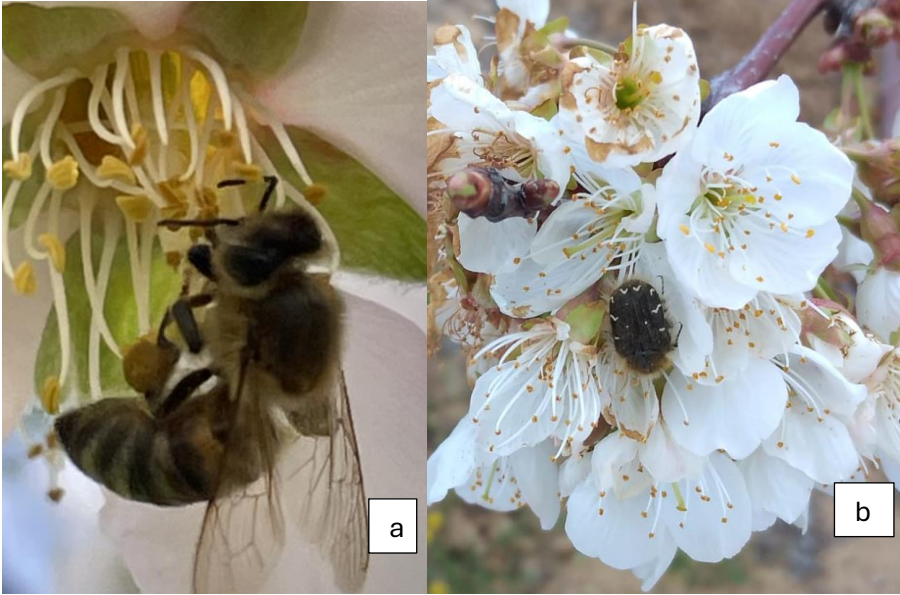
Diğer taraftan ağız yapısı nedeniyle çiçeklerde nektar alarak beslenen kültür bitkilerine zarar verme potansiyeline sahip olmayan ergin kelebekler (Lepidoptera) yukarıda bahsi geçen türler kadar değerli olmasa da tozlaşmaya katkı vermektedir.

Tozlaşmaya katkı veren böcek türleri ile bitki arasındaki mutualistik bir ilişki zamanla evrimsel birlikteliğin sonucunda oluşmuş ve aralarındaki uyum ileri düzeye taşınmıştır. Çiçeğin güzel kokusu, güzel ve parlak görünümü ve salgıladığı şekerli maddeler bazı böcekleri adeta çılgına döndürmektedir. Böcek çiçeği doğal olarak ziyaret eder. Çiçeğin üzerine gelen böceklerin ayaklarına ve

vücuduna yapışan polenler böceklerin diğer çiçeklere konmasıyla oralara taşınmış olur.

Özbek (2010); yumuşak çekirdekli meyve türlerini ziyaret eden arıların %45-90'nı sert çekirdekli türlerin %81-97'si, ayçiçeğinin ise %80-88'i bal arılarının oluşturduğunu tespit etmiştir.

Tropinota hirta erginlerinin çiçeklerinde zararlı olduğu elma, armut, erik, badem ve kiraz gibi (*Rosaceae*) meyve ağaçlarının çoğu, kendine uyuşmazlık gösterirler. Çiçeklerde dölleme tamamen çapraz tozlaşmaya bağlıdır. Elma ve armutta bal arıları tarafından gerçekleştirilen etkin tozlaşma %50-60 kadardır. Kiraz tozlaşmasında böceğe bağımlılık % 90'dır. Böcekler içerisinde bal arılarının tozlayıcı olarak oranı % 90'dır (Anonim, 2019). Kiraz *T. hirta* için ise önemli bir konukçudur (Şekil 4).



Şekil 4: Kiraz çiçeklerinde bal arısı (a) ve *Tropinota hirta* ergini (b)

Arılar, sadece kültür bitkilerinde tozlaşma yaparak ürünün nicelik ve nitelik yönünden artmasını sağlamakla kalmayıp, doğadaki yabani bitkilerde de tozlaşmayı gerçekleştirerek, bu bitkilerin çoğalıp yayılmalarına, yaban hayatının gelişmesine, bitki ve hayvanlarda çeşitliliğin artmasına olanak sağlamaktadır. Kısaca kaliteli ve verimli kolonların insanlar tarafından seçilmesine de ayrıca imkan oluşturlar.

KAYNAKÇA

- Anonim, (2019). Polinasyon. Arıcılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, TAGEM, Ordu.
- Amokrane, A., Khammar, H., Hadjab, R., Saheb, M., (2020). Evaluation of the diversity of durum wheat Coleoptera (*Triticum durum* Desf. (Poales: Poaceae) in the Region of Sigus Oum El Bouaghi (Eastern Algeria) in the Region of Sigus. *J. Biores Manag*, 7(4): 33-54.
- Aslan, Ö., Arslan, M. (2015). Kahramanmaraş ili badem ağaçlarında Baklazınnı (*Epicometis hirta* (Poda, 1761) (Coleoptera: Cetoniidae))' nın farklı tuzaklarla yakalanması üzerine araştırma. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 18(4): 6-12.
- Atakan, E. (2019). Pest and beneficial insect species detected on broad bean in the Çukurova Region of Turkey. *Internentional Journal of Agriculture Enviroment and Food Secienses*, 3(2): 72-77.
- Avcı H. İ., Özpınar, A. (2021). Adult flight period and hosts of *Tropinota hirta* (Poda, 1761) (Coleoptera; Cetoniidae) in Çanakkale province. III. Balkan Agriculture Congress. Edirne, Türkiye, 29 Ağustos - 01 Eylül 2021, ss.429-438
- Awal, M., M. (2006). Preliminary studies on Scarabaeoidea (Coleoptera) fauna of Razavi Khorasan Province of Iran. *Türk Entomoloji Dergisi*. 30(3): 163-172.
- Aydın, G. (2011). Plant Phenogoly- Related Shifts in Color Preferences of *Epicometis (Tropinota) hirta* Poda. (Coleoptera: Scarabaeidae: Cetoniidae) Adutls – Keyto Effective Popülasyon Monitörün and Supression. *Florida Entomologist*, 94(4): 832 -838.
- Benedek, (1996). Insect pollination of fruit crops, 287–342. In: Nyeki, J. and Soltesz, M. (eds.) *Floral Biology of Temperate Zone and Small Fruits*. Akademia Kaido, Budapest, Hunga.ry
- Böhm, H. (1950). Observations on the occurrence of *Tropinota hirta* Injuring Fruit Blossom in Austria. *Journal Pflanzenschutzberichte*. 5(3-4): 241-257.
- Catalogue of life (2024). <https://www.catalogueoflife.org/data/taxon/7D8QH>.
- Demir, A. (2005). Gazi Üniversitesi zooloji müzesindeki Cetoniidae (Coleoptera) familyası örneklerinin değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bil. Enst., Ankara, 124 s.

- Erbay İ., Özpınar, A. (2019) Çanakkale İli Şeftali Bahçelerinde Farklı Mavi Renk Tuzaklarla *Tropinotahirta* (Poda) (Coleoptera: Cetoniidae) Ergin Uçuşunun Belirlenmesi. *ÇOMÜ, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7(2):239-247.
- Erdoğan, O., Ö. (2016). Armut ağaçları çiçeklerinde beslenen *Tropinota (Epicometis) hirta* (Poda) (Coleoptera: Cetoniidae)'nın yakalanması üzerine farklı tuzakların etkisi. (Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta).
- Ertop, S., Özpınar, A. (2011). Çanakkale ili kiraz ağaçlarındaki fitofag ve yararlı türler ile bazı önemli zararlıların popülasyon değişimi. *Türkiye Entomoloji Bülteni*, 1(2):109 – 118.
- Esfahani, M. N., Alizadeh, G., Zarei, Z., Esfahani, M., N. (2012). The main insect pests of safflower on various plant parts in Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2 (11): 1281-1288.
- Gezer, B. ve Özpınar, A. (2015). Çanakkale ilinde şeftali, elma, kiraz ve kayısılarda *Tropinota hirta* (Poda) (Coleoptera: Scarabeidae) ergin yoğunluğunu belirlemede farklı tuzakların değerlendirilmesi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3 (2): 27-34.
- Giray, H. 1985. Türkiye haşhaş (*Papaver somniferum* L. (Ranunculales: Papavereceae) zararlılarına ait liste ve önemlilerinin zarar şekilleri hakkında notlar. *Türkiye Bitki Koruma Dergisi*, 9(2): 109-124.
- Güvenç, C., Yaşar, B. (2015). Mavi renkli huni tuzaklarda kullanılan farklı cezbedicilerin kiraz çiçeklerinde beslenen *Tropinota hirta* (Poda) (Coleoptera: Scarabaeidae) erginlerinin yakalanması üzerine etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(3), 97-104.
- İren, Z. (1968). *Epicometis hirta* (Poda)'ya karşı ilaçlı mücadele ve bunun bal arıları üzerindeki tesiri ile ilgili araştırma ve görüşler. *Bitki Koruma Bülteni*, 8(2):125-139.
- Kara, K., (1995). *Tropinota hirta* (Poda) (Coleoptera: Scarabaeidae)'nın Tokat ve çevresindeki konukçuları, yayılışı zarar düzeyi, bazı biyolojik özellikleri ve mücadele imkânları üzerinde araştırmalar. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*. 12: 15–26.
- Kaplan, M. (2019). Diyarbakır ili kiraz ağaçlarında bulunan zararlı ve faydalı böcek türleri ile bazı önemli zararlı türlerin doğada görülme Zamanı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 17: 283-289.

- Kaya, M., Kovancı, B. 2004. Bursa'da ahududu alanlarında saptanan Coleoptera türleri. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(3): 1-7.
- Kutinkova, H., Andreev, R., 2004. Integrated pest management in sweet cherry (*Prunus avium* L.) orchards in Bulgaria. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 12: 41-47.
- Lodos, N. 1989. Türkiye Entomolojisi, IV (Genel, Uygulamalı ve Faunistik) Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 493, S: 208.
- Özbek, H., (2008). Türkiye'de ılıman iklim meyve türlerini ziyaret eden böcek türleri. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 8(3): 92-103.
- Özbek, H. 2010, Arılar ve insektisitler. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 10(3): 85-95.
- Özpinar, A., Şahin, A. K. ve Polat, B. (2021). Kiraz bahçelerinde farklı yükseklikte *Tropinota hirta* (Poda, 1761) (Coleoptera: Cetoniidae) erginlerini yakalamada mavi leğen tuzakların karşılaştırılması. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18 (4): 739-747.
- Özkan, C., Gürkan, O., Hancıoğlu, Ö. (2005). Çubuk (Ankara) ilçesi vişne ağaçlarında zararlı olan türler, doğal düşmanları ve önemlileri üzerinde gözlemler. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 11(1): 57-59.
- Öztürk, N., Ulusoy, M. R. (2003). Mersin ili kayısılarında saptanan zararlılar. *Alatarım Dergisi*, 2(2): 21-26.
- Öztürk, N., Ulusoy M. R., Erkiliç, L., Bayhan, S., (2004). Malatya ilinde kayısı bahçelerinde saptanan zararlılar ile avcı türler. *Bitki Koruma Bülteni*, 44(1-4): 1-13.
- Racksko, J., Leite, G. B., Petr, J. L., Zhongfu, S., Wang, Y., Szabo, Z., Soltesz, M., Nyeki, J. (2007). Fruit drop: the role of inner agents and enviromental factors in the drop of flowers and fruits. *Internetonial of Horticultural Science*, 13(3): 13-23.
- Razov, J., Baric, B., Dutto, M. (2009). Fauna of the cetoniid beetles (Coleoptera: Cetoniidae) and their damages on peach fruits in orchards of Northern Dalmatia, *Croatia Entomol. Croat*, 13: 7-20.
- Rozner, I., Rozner, G. (2009). Data to the lamellicornia fauna of the Republic of Macedonia (Coleoptera.: Lamellicornia). *Natura Somogyiensis*, 15: 57-68.
- Sağdaş, A. (2011). Farklı tuzakların Afyonkarahisar ili Sultandağı ilçesinde kiraz ve elmalarda zarar yapan Baklazinnı (*Epicometis (=Tropinata)*)

- hirta* Poda Coleoptera: Scarabaeidae))’nin yakalanması üzerine etkisi Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Schmera, D., Toth, M., Subchev, M., Sredkov, I., Szarukan, I., Jermy T., Szentesi, A. (2004). Importance of visual and chemical cues in the development of an attractant trap for *Epicometis (Tropinota) hirta* Poda (Coleoptera: Scarabaeidae). *Crop Protection*, 23 (10): 939-944.
- Stanek, V., J. (1984). Encyclopedie des Insectes Coleopteres. Suoboda, Prague, Czech Republic. 224p.
- Stankevych, S. (2017). Comparative characteristic of sea kale (Brassicaceae: *Crambeabyssinica* Hochst.) with others oil-producing cabbage crops of the eastern forest-steppe of Ukraine. *Agrobiodiversity*, 417–421. DOI: <http://dx.doi.org/10.15414/agrobiodiversity.2017.2585-8246.417-421>
- Stankevych, S. V., Yevtushenko, M. D., Zabrodina, I. V., Lezhenina, I. P., Baidyk, H.V., Filatov, M. O., Sirous, L.Y., Yushchuk, D.D., Melenti, V.O., Lutytska, N. V., Nakonechna Y. O., Molchanova, O.A., Matsyura, A.V. (2020). Host plants as reservoirs of the main oil-producing cabbage crops pests in the eastern forest-steppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(6): 243-248.
- Subchev, A., Toshova, B., Andreev A., Petrova D., Maneva D., Teodora S., Marinova T., Minkov M., Velchev I. (2011). Employing floral baited traps for detection and seasonal monitoring of *Tropinota (Epicometis) hirta* (Poda) (Coleoptera: Cetoniidae) in Bulgaria. *Acta Zool. Bulgaria*, 63(3):269-276.
- Tezcan, S., Pehlivan, E. (2001). Evaluation of the Lucanoidea and Scarabaeoidea (Coleoptera) fauna of ecological cherry orchards in İzmir and Manisa provinces of Turkey. *Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 38(2-3): 31-37.
- Toth M., Vuts J., Difranco F., Tabilio R., Baric B., Razov J., Toshova, T., Subchev, M., Sredkov, L. (2009). Detection and monitoring of *Tropinota hirta* (Poda.) and *Tropinota squalida* (Scop.) (Coleoptera: Scarabaeidae) with the same Trap”. *Acta Phytopathologica at Entomologica Hungarica*, 44 (2): 337-344.
- Ursache, P. L., Trotus, E., Buburuz, A. A. (2017). Observations concerning the harmful entomofauna from winter rapeseed crops in the conditions of

- Central of Moldava, between years 2014-2017. *Journal of Engineering Studies and Research*, 23 (2):33-41.
- Uzun, A. (2019). Adıyaman ili badem bahçelerinde Baklazınını (*Tropinota hirta* (Poda, 1761) (Coleoptera: Scarabaeidae))'nın popülasyon değişimi, konukçuları ve farklı tuzakların etkinliğinin belirlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş).
- Vuts, J., Szarukan, I., Subchev, M., Kosova, T., Toth, M. (2010). Improving the floral attractant to lure *Epicometis hirta* Poda (Coleoptera: Scarabaeidae, Cetoniinae). *Journal of Pest Science*, 83(1): 15-20.
- Yaşar, B., Dahham, O. A. (2019). Farklı Elma Çeşitleri Üzerine Asılan Tuzakların *Tropinota hirta* (Poda, 1761) (Coleoptera: Cetoniidae)'nın Yakalaması Üzerine Etkisi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 6(1): 57- 64.
- Yaşar, B., Çeşme, İ., Baydar, M., Aysal, İ., Yazır, A. (2014). Farklı mavi renkli huni tuzaklarının kiraz ağaçları çiçeklerinde beslenen Baklazınını (*Epicometis hirta* (Poda) (Coleoptera: Scarabaeidae))'nın yakalanması üzerine etkisi. *Türkiye Entomoloji Bülteni*, 3(2): 99-106.
- Yaşar, B., Uysal, O. (2013). Baklazınını (*Epicometis hirta* (poda.) (Coleoptera: Scarabaeidae))'nın farklı tuzaklarla yakalanma etkinliğinin değerlendirilmesi. *Türkiye Entomoloji Dergisi*, 37(2): 169-178.

BÖLÜM 2
BÖCEKLERİN OLUMSUZ ABİYOTİK ÇEVRE
KOŞULLARINA ADAPTASYON YETENEKLERİ -I

Prof. Dr. Mahmut İSLAMOĞLU¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13684787>

¹ Prof. Dr. Mahmut İSLAMOĞLU, Adıyaman Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Adıyaman, Türkiye. ORCID: 0000-0003-2835-4735; E-Posta: mislamoglu@adiyaman.edu.tr

1. GİRİŞ

Böcekler, hem tür çeşitliliği hem de yaşayışı bakımından dünyada en yaygın canlı grubunu oluştururlar (Whipps, 2001). Böcekler, hem tür zenginliği hem işlevi hem de farklı yaşam tarzları nedeniyle dünya ekosisteminin vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Ülkemiz bitkiler açısından oldukça zengin bir flora sahiptir (Avan, 2021a). Böcekler, bitki, çevre ve diğer canlılar ile etkileşimleri ile dünya ekolojisinde önemli rol oynarlar. Böcekler, çeşitli habitatlarda biyo-çeşitliliğe büyük katkıda buldukları, ayrıca bir ekosistemde birçok işlevi tamamladıkları için son derece önemli ekolojik roller oynadığı bilinen bir gerçektir. Örneğin böcekler, bitkilerin yapraklarını, dallarını, organik çöpleri, leşi ve birçok hayvansal artıkları parçalayarak veya tüketerek ekosisteme önemli katkıda bulunurlar. Bunun yanında böcekler, birçok omurgalı organizmalar için besin zincirinin önemli bir parçasını oluştururlar (Sabrosky, 1952). Bütün bunlara karşılık böcekler, hayvan ve bitki hastalıklarını bulaştırma, hayvan ve bitkilerde parazit olma ve fitofag böceklerin kültür bitkilerine zarar vermesi nedeniyle böcekler insanlarla rekabet ederler (Karaat ve ark., 2021; Avan, 2021b). Bu bağlamda, böcekler insan tarafından üretilen gıdanın en az %10'unu tüketerek insanlara zararlı olurlar. Bunun yanında dünyada her altı kişiden birini bir patojenle bulaşmasına neden olurlar. Bu nedenle insanlar zararlı böceklerle ve hastalık etmenleriyle mücadele ederler ya da onların doğal düşmanlarını destekleyerek baskı altına alırlar. Böcekler bitki hastalıkları ile birlikte önemli ürün kayıplarına neden olurlar (Roush ve McKenzie, 1987; Avan ve Kotan, 2021; Atay ve Soylu, 2022).

Tarımsal ürünlerin miktar ve kalitelerini sınırlayan en önemli faktörler arasında biyotik faktörler ilk sırada yer almaktadır (Avan, 2022). Tüm canlı organizmalar, hayatta kalmak ve üremek için çevre koşullara uyum sağlamak zorundadır. Bir organizmanın çevresi, hem ona etki eden hem de o organizmadan etkilenen bütün faktörleri içerir. Bir böcek popülasyonunun çevre faktörleri aşağıdaki bileşenlerden oluşur (Chapman, 1969):

- Abiyotik faktörler; Sıcaklık, rüzgâr, nem, ışık ve pestisitler gibi fiziksel faktörler
- Biyotik faktörler; Böcek türünün diğer üyeleri, besin kaynakları, doğal düşmanlar (avcılar, parazitoitler ve hastalıklar) ve aynı alanı veya

besin kaynaklarını kullanan diğer organizmalar gibi biyolojik faktörler (Singh ve ark.,2007).

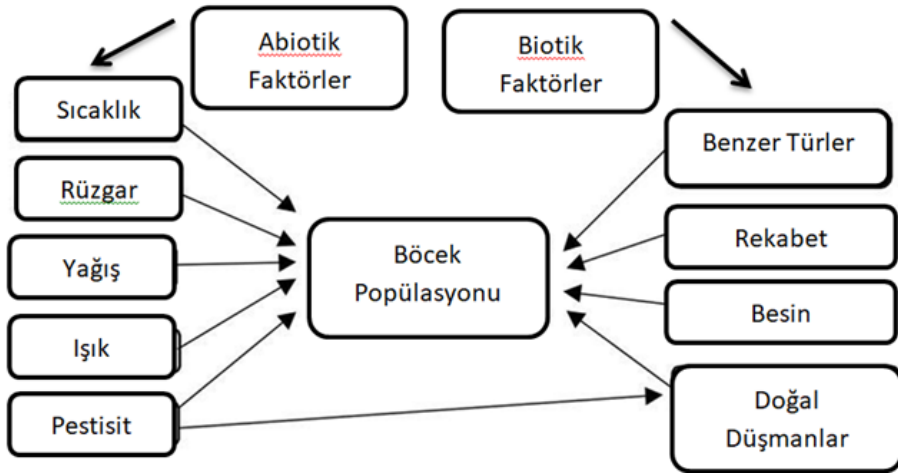
Böcek çevresinin abiyotik bileşenleri, esas olarak sıcaklık, nem, ışık, hava ve su akımları ve diğer bazı faktörleri içerir. Bunların böcekler üzerindeki etkilerinin önemli olduğu bulunmuştur (Chapman, 1969). Sıcaklık, nem ve ışık gibi abiyotik faktörler bir ekosistem boyunca tekdüze olmadığı, sadece ekosistemin farklı kısımlarında değil, aynı zamanda bir bitkinin farklı kısımlarında da değişkenlik gösterdiği bildirilmiştir (Roush ve McKenzie, 1987).

Böcekler için sıcaklık, en önemli abiyotik baskılardan biridir. Yüksek sıcaklıklara maruz kalmanın böcek büyümesini ve gelişimini olumsuz yönde etkilediği, doğurganlığın, hayat uzunluğunu ve yayılışın azalmasına yol açtığı tespit edilmiştir (Ramniwas ve Kumar, 2019).

Hayatta kalmak ve üremek için, tüm canlı organizmalar çevreler koşullara uyum sağlamak zorundadır. Bir organizma ile çevresi arasındaki uyum, adaptasyon olarak adlandırılır (Vukašinović, 2018).

2. ADAPTASYON

Adaptasyon, yalnızca abiyotik ortamla (ışık, karanlık, sıcaklık, su, rüzgar) değil, aynı zamanda biyotik ortamla (rakip, parazitler ve avcı gibi diğer organizmalar) da ilişkilidir. Böcekler içgüdüsel davranış, öğrenme, genetik, fizyolojik olarak ya da, davranışsal yolla çevrelerine adaptasyon sağlamaktadırlar. Adaptasyon, yalnızca fiziksel abiyotik çevreyle (ışık, karanlık, sıcaklık, su, rüzgar) değil, aynı zamanda karmaşık biyotik çevreyle (eşler, rakipler, parazitler, avcılar ve avın kaçış taktikleri gibi diğer organizmalar) de uyum sağlamayı içermektedir (Su ve ark., 2018).



https://www.mlsu.ac.in/econtents/1214_Insect%20Ecology-I&II.pdf

Şekil 1. Böcek popülasyonlarını etkileyen biyotik ve abiyotik faktörler

Organizmalar çok çeşitli çevresel ortamlarda yaşarlar. Belirli bir çevreye adapte olan belirli bireylerin orada yaşamaya devam ederken, adapte olamayan diğerleri ise ortamdan elemine olurlar. Doğal seçim, popülasyonun bazı üyeleri, yüksek bir oranda büyümelerini ve üremelerini ve sonraki nesillerde diğerlerinden daha fazla yavru bırakmalarını sağlayan özelliklere sahiptir (Kennedy, 1985). Genellikle çevreye en iyi şekilde uyum sağlayan bireylerin daha fazla sayıda hayatta kalan yavruları vardır. İyi adapte olmuş bireyler genel olarak daha sağlıklıdır, yiyecek bulabilir ve çiftleşerek yavru verirler. Adaptasyon, bir organizmanın değişen çevresel koşullarla başa çıkmak için değişme yeteneğini ifade edebilir. Ayrıca, bir organizmayı yaşam alanına özellikle uygun hale getiren özel bir özellik veya davranış olabilir. Adaptasyon üç kısma ayrılır (Ericson, 1948: Su ve ark., 2018));

(1) **Davranışsal Adaptasyon:** Böcekler çevrelerindeki olumsuz faktörlere karşı hayatta kalmak için bu tür bir adaptasyon uygularlar. Uykuda kalma, kamuflaj, kış uykusu ve göç, böcekler tarafından uygulanan farklı davranışsal adaptasyon türleridir (Tauber ve ark., 1986; Bale, 2008).



<https://www.armuro.com/en/sunn-pest-pest-management/>

Şekil 2. Davranış adaptasyon gösteren *Eurygaster* spp. ve *Aelia* spp.

Dolycoris baccarum (Hemiptera: Pentatomidae), *Eurygaster* spp. (Hemiptera: Scutelleridae), *Aelia* spp. (Hemiptera: Pentatomidae), gibi birçok diğer türler aşırı soğuklardan kaçmak, yiyecek ve enerjilerini korumak için kışın kış uykusuna yatarlar. Bazı böcek türleri ve hayvan türleri yiyecek ve barınak aramak için farklı yerlere göç eder (Tauber ve ark., 1986; Danks, 2006).

(2) **Yapısal Adaptasyon:** Bu tür bir adaptasyon, esas olarak vücudun şekli, cildin dokusu ve rengi gibi vücut parçalarını içeren benzersiz özelliklere dayanır. Bu tür bir uyarılma, organizmaların doğal ortamlarında hayatta kalmalarına yardımcı olur. Kamuflaj, hayvanlarda görülen yaygın yapısal uyarlamalardan biridir (Tauber ve ark., 1986; Su ve ark., 2018).

Kriptik Renklenme: Kriptik renklenme, kendini ortama benzetme yoluyla doğal düşmanlardan korunma olgusudur. Bu da iki şekilde görülmektedir"

a) **Homokromi:** Vücudun genel rengi, ortamın genel rengiyle tam bir uyum içindedir. Örneğin kireçli bir arazide beyaz renkli türlerin, kıvıllı topraklarda kırmızı renkli türlerin yoğunluk kazanması homokromi'ye örnek oluşturur. (Huheey 1984).



<https://www.forumgercek.com/showthread.php?t=115081>

Şekil 3. Buldukları ortama benzer uyum göstermiş iki böcek türü

b-Objelere benzeme:

Bazı böcek türleri buldukları ortamın şekline benzeyerek kendilerini doğal düşmanların göremeyeceği bir şekle dönüşmüştür. Bu benzeme, bitkiye (phytomimes) veya kuş pisliğine (Allomimus) benzeme şekillerinde olabilir.



amp/fotogaleri/agac-dalina-tutulan-mukemmel-kamufle-bocegi/

Şekil 4. Objelere benzeyerek ortama uyum göstermiş iki böcek türü

Bazı böcekler sahip oldukları bazı morfolojik özellikleriyle yenmez, tatsız ve yenildiği takdirde yiyen canlıya zarar verebilecek bir görünüme sahip olabilir. Bu türlü renklenmeye Aposematik(:uyarıcı) renklenme denir (Gullan ve Cranston 2005).

Örneğin çok parlak koyu kırmızı, turuncu, yeşil ve mor renkler ikaz niteliğinde olan renklerdir. Bazı türler de gerçekte doğal düşmanı için tehlikeli olmadığı halde kendilerini böyle gösterir.

Mimetik renklenme (=Sematofilaktik): Korunma mekanizmasına sahip olmayan ve doğal düşmanları tarafından yenilmek üzere tercih edilen bazı böceklerin, doğal düşmanların tercih etmediği ve korunma mekanizmasına sahip türlere benzeme şekline «mimetik renklenme" denir (Meyer 2011) .Bu olayda korunmasız türe (mimik) (:Taklitçi). korunma mekanizmasına sahip olan türe de (model) adı verilir. Örneğin: -Bazı Heteroptera ve örümcek türleri kendilerini karıncalara, Bazı Lepidoptera türleri kendilerini arılara benzetirler (Gullan ve Cranston 2005; Meyer 2011).



<https://www.bilgiustam.com/hayvanlarda-savunma-davranislari/>

Şekil 5. Objelere benzeyerek ortama uyum göstermiş iki böcek türü

(3) Fizyolojik; Bu tür adaptasyon, insanlar, kuşlar, hayvanlar ve bitkiler de dahil olmak üzere tüm canlı organizmalarda mevcuttur. Fizyolojik adaptasyon iç organları, dokuları ve hücreleri ifade eder (Gullan ve Cranston 2005).

Bu tür adaptasyonda, hücresel özellikler, iç organlar, hormonal seviyedeki değişiklikler, ruh hali değişimleri ve diğer özellikler bir organizmanın hayatta kalmasına, adapte olmasına ve çevresindeki değişikliklere yanıt vermesine yardımcı olur. Fizyolojik adaptasyonun birçok örneği vardır. Kalın deri ve kürk, hayvanları aşırı soğuktan korumaya ve vücutlarından ısı kaybını önlemeye yardımcı olur (Togni ve Edilberto, 2008).

3-BÖCEKLERİN OLUMSUZ ABİYOTİK ÇEVRE KOŞULLARINA ADAPTASYON YETENEKLERİ

a) Kış Uykusu (Hibernation)

Böcekler, kış aylarında hareketsiz olarak kalarak büyümelerini, gelişmelerini ve aktivitelerini geçici olarak durdurduğu ve hayatta kalmaya yetecek kadar bir metabolizma hızına sahip bir duruma girmelerine diyapoz denir. Buna karşılık omurgalılar da kış uykusuna yatarlar, bu sırada çok az aktif olmakta ve vücutlarına yağ dokusu kullanmaktadırlar (Unterweger ve ark., 2018).

Kış uykusu, yeterli yiyecek bulunmadığında enerjiyi korumak ve enerji tasarrufunu sağlamak için, metabolik hızını ve dolayısıyla da vücut sıcaklığını düşürülmesidir (Enriquez ve Teets 2023). Kış uykusu, türe, ortam sıcaklığına, yılın zamanına ve bireyin vücut durumuna bağlı olarak günler, haftalar veya aylar sürebilir. Canlılar, kış uykusuna girmeden önce, uykuda kalma süreleri boyunca, kış uyuşu süresince yetecek kadar enerji depolaması gerekir. Birçok

böcek, kış hava sıcaklığından daha yüksek olduğu için toprağa girer. İyi bir kar örtüsü toprak sıcaklığını daha da dengeleyerek böceklerin hayatta kalmasını kolaylaştırır (Short ve Hahn, 2023). *Eurygaster* spp (Heteroptera; Scutelleridae), kar örtüsünün iyi yalıtım özelliklerinden yararlanan, toprakta kışlayan böceklere bir örnektir. Birçok böcek ergin olarak kış uykusuna yatar. *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae) böcekleri iyi bilinen bir örnek olarak verilebilir. *C. septempunctata* sonbaharda yüksek rakımlı alanlarda toplandıkları ve buralarda çok büyük topluluklar oluşturdukları görülebilmektedir. Bazı böcek larvalarında olduğu gibi, vücudunun su içeriğini azaltır ve antifriz görevi gören gliserol üretir (Batz ve Armbruster 2018)

Kış uykusu sırasında, böcekler düşük sıcaklık koşullarının üstesinden gelmek için büyüme durmasına yol açan fizyolojik bir durumdur. Birçok böcek hayatta kalmak için düzenli olarak yumurta, larva, pupa veya ergin evresinde kış uykusuna yatabilir. Birçok böcek oldukça sıcak olsa bile kış uykusu durumuna girer (Ciancio ve ark., 2018).



Şekil 6. Ağaç kabuklarını kışı geçirmek için hazırlanan *Pyrrhocoris apterus*

Kış uykusu, organizmalarda aşırı soğuk veya azalan yiyecek miktarından dolayı hayatta kalmak için enerji tasarrufu yapmalarını ve hayatta kalmalarını sağlayan metabolik aktivitenin azaldığı bir durumdur. Kış uykusu sırasında, bir organizmanın vücut sıcaklığı düşer, kalp atış hızı yavaşlar ve nefes alma sığlaşır. Organizma, neredeyse bilincinin yerinde olmadığı ve çok az hareket ettiği bir duruma girer (Ciancio ve ark., 2018). Kış uykusu birkaç ay sürebilir ve organizmaların hayatta kalmak için depolanmış yağ rezervlerine bağlıdır. Kış uykusu doğal bir davranış olsa da, insan faaliyetleri özellikle habitatların tahrip olması bu süreci bozabilir (Sinclair ve Marshall, 2018)

Kış uykusu, organizmanın yiyecek kıtlığı ve hava koşullarının sert olduğu zamanlarda hayatta kalmalarını sağlayan uzun süreli bir hareketsizlik dönemidir. Genellikle canlı, kışa hazırlık aşamasında mümkün olduğunca çok yiyerek önce vücut yağı rezervi oluşturur. Daha sonra güvenli bir yere çekilir ve orada uyusuk bir duruma geçer (Ciancio ve ark., 2018). Canlının neredeyse tüm vücut fonksiyonları burada tamamen durur veya önemli de ölçüde yavaşlar. Bu, canlının vücudunun hayatta kalmak için yakması gereken enerji miktarını azaltır. Vücut ısısı düşer ve solunumu ve kalp atış hızı yavaşlar (Pullin, 1996).

Kış uykusu yatmış bir organizma, oldukça hareketsiz, sığ solunum, seyrek ve dokunulduğunda soğuk olduğu gözlenmiştir (Ciancio ve ark., 2018). Böyle derin bir uyusuk durum onları savunmasız bırakıyormuş gibi görünse de, aslında predatörlerin bu durumdaki organizmayı tespit etmesini çok zorlaştırmıştır. Çünkü bu durumdaki canlı daha az koku yayarlar, neredeyse hiç hareket etmezler ve hiç ses çıkarmazlar. Buda avcılar tarafından bunların tespit edilmeleri oldukça güçleşir (Bale ve ark., 2001).

Kış uykusunun normal uykudan farklı olduğu bir diğer nokta da uyanma zamanı geldiğinde ortaya çıkar. Kış uykusuna yatan hayvanların uyusukluklarından tamamen uyanmaları genellikle bir saate kadar sürebilir. Canlılar, kış uykusu döneminde, atıklarını atmamak, yer değiştirmek veya ara sıra biraz beslenmek için birkaç kez de uyanabilirler (Buffo, 2007).

2- Yazlama (Aestivation)

Aestivation kış uykusuna benzer bir uyku halidir. Ancak kış yerine yaz aylarında gerçekleşir. Aestivation, yüksek sıcaklıklara ve kurak koşullara yanıt olarak girilen hareketsizlik ve düşük metabolizma hızı ile karakterize edilir (Miller, 2007). Genellikle yaz ayları olan sıcak ve kurak dönemlerde gerçekleşir (Storey ve ark., 2012).

Bu davranış şekli, kış uykusuna benzer, hareketsizlik ve yüksek sıcaklıklara ve kurak koşullara tepki olarak girilen düşük metabolizma hızıyla karakterize edilen bir organizmanın uyku halidir. Sıcak ve kurak dönemlerde, genellikle yaz ayları olan sıcak ve kurak mevsimde gerçekleşir. Böceklerin yüksek sıcaklıklardan ve ölüm riskinden kaçınmak için bu duruma girdikleri bilinmektedir. Hem karasal hem de suda yaşayan böcekler aestivasyona girebilir. Bazı böceklerin, yaz aylarında su azlığı yâda yokluğunda, aşırı sıcaklıklarda uyuklama yeteneği vardır. Bu böceklerin aşırı yüksek

sıcaklıklarda, yeterli nem varlığında bile aestivasyona girerler. (Storey ve ark., 2012; Withers ve ark., 2007). Ayrıca aestivasyon muhtemelen tek bir nesil içinde kırılmayan kalıtsal bir döngüdür. Böceklerde normalde yaz aylarında erginler ölür ancak yumurtalar ve pupalar uykuda kalarak hayatta kalırlar (Withers ve ark., 2007).

Omurgasız ve omurgalı canlıların yüksek sıcaklıklardan ve ölüm riskinden kaynaklanan hasarı önlemek için aestivasyon girdikleri bilinmektedir. Hem karasal hem de suda yaşayan hayvanlar aestivation geçirebilirler. Fosil kayıtları, aestivation'ın birkaç yüz milyon yıl önce evrimleşmiş olabileceğini göstermektedir (Storey ve ark., 2012; Withers ve ark., 2007).

Aestivasyona giren organizmalar, fizyolojik durumları hızla uyku haline dönebildiği ve yine hızla normal durumuna dönebildiği için oldukça "hafif" bir uyku halinde gibi görülmüştür. Avrupa ve Kuzey Afrika'nın bazı bölgelerine özgü bir salyangoz olan *Otala lactea* (Muller, 1774) üzerinde yapılan bir çalışma, daha ıslak bir ortama sokulduktan sonra on dakika içinde uyku halinden uyanabildiklerini gösterdiği bildirilmiştir (Charlwood, ve ark., 2000).



<https://tsusinvasives.org/home/database/otala-lactea>

Şekil 7. Aestivasyona giren *Otala lactea*

Aestivasyon bir organizma için birincil fizyolojik ve biyokimyasal öncelik, enerjiyi korumak, vücutta suyu tutmak, depolanan enerjinin kullanımını sınırlamak, azotlu son ürünleri dışarı atmak ve vücut organlarını, hücreleri ve makromolekülleri stabilize etmektir. Bu oldukça zor bir görev olabilir çünkü sıcak ve kurak koşullar aylarca, hatta bazı durumlarda yıllarca sürebilir (Withers ve ark., 2007). Aestivasyon sırasında metabolik hızın

düşmesi, makromolekül sentezinde ve parçalanmasında bir azalmaya neden olur. Başka bir deyişle, yaz uykusuna yatan hayvanlar, kış uykusuna yatan hayvanlarla hemen hemen aynı fizyolojik süreçlerden geçtiği düşünülmektedir (Storey ve ark., 2012).



Şekil 8. Aestivasyona giren *Otala lactea*

Böcekler içinde *C. septempunctata* yaz uykusuna yattığı bildirilmiştir (Delaney ve ark., 1974). Başka bir böcek türü olan *Blepharida rhois* (Forster) (Coleoptera; Chrysomelidae) yaz uykusuna yattığını, bunu genellikle yüksek sıcaklık olduğunda yaptıklarını, yaz sonu veya sonbahar başında yeniden ortaya çıktıklarını bildirilmiştir (Charlwood, ve ark., 2000). Sivrisineklerin de yaz uykusuna yattığı tespit edilmiştir (Delaney ve ark., 1974). *Prenolepis imparis* (Say) (Hymenoptera: Formicidae) kışın aktif olmaları ve ılıman iklimlerde yaz uykusuna yatmalarıyla bilindiklerini, *Agrotis infusa* (Lepidoptera: Noctuidae) sıcaktan ve yiyecek kaynaklarının kıtlığından kaçınmak için yaz boyunca yaz uykusuna yattıkları bildirilmiştir (Common, 1954). *Hypera postica* Gyll. (Coleoptera Curculionidae)'nın Amerika Birleşik Devletleri'nde yaz aylarında yaz uykusuna yattıklarını, ve bu dönemde metabolizmaları, solunumları ve sinir sistemleri aktivitelerinde azalma gösterdiğini bildirmişlerdir (Cunningham ve Tombes 1966; Kutyna, ve Tombes, 1966).

Aestivasyon, uykuda kalmanın başka bir biçimidir, ancak bu çok sıcak ve kuru olduğunda meydana gelir, bu nedenle kıştan ziyade yaz aylarında görülme olasılığı daha yüksektir. Bir organizmanın ölmesinin önlemeye yardımcı olmak için bir adaptasyon sürecidir ve omurgasızlarda ve balıklarda yaygın olarak bulunurlar. Kış uykusuna benzer şekilde, aestivasyon bir

hayvanın metabolik aktivitesinin yavaşlamasını içerir. Ancak, kış uykusundan farklı olarak, hayvanlar sıcaklık düştüğünde veya daha ıslak hale geldiğinde nispeten hızlı bir şekilde aestivasyondan çıkabilirler (Charlwood, ve ark., 2000).

3. Diyapoz (Diapause)

Diyapoz, türe bağlı olarak embriyo, larva, pupa veya ergin aşamada meydana gelebilen bir gelişim duraklamasıdır diye tanımlanabilir. Bazı türlerde diyapoz, isteğe bağlıdır ve yalnızca çevresel koşullar tarafından tetiklendiğinde meydana gelir. Diğer bazı türlerde ise diyapoz dönemi, yaşam döngüsünün zorunlu bir parçası haline gelmiştir ve mutlaka organizma diyapoza girmek zorundadır (Denlinger, 2002; Kostal, 2006). Diyapoz, uzun süreli, döngüsel ve elverişsiz çevresel koşulların üstesinden gelmek için uykuda kalma durumu diye de tanımlanır. Diyapoz, gelişimin kendiliğinden durmasıdır ve gelişimin herhangi bir aşamasında meydana gelebilmektedir. Metabolik atıklar, enzimler ve dış etkenlerle oto-toksikasyon, diyapozu belirleyen önemli faktörler olarak kabul edilmiştir (Kostal, 2006).

Diyapoz, genellikle elverişsiz dış koşullar tarafından tetiklenen aktivitenin durmasından oldukça farklı, belirli bir fizyolojik durumdur (Denlinger, 2002; Kostal, 2006). Birçok böcek, gelişimin durduğu, metabolizmanın en aza indiği ve böceğin elverişsiz dış koşullara bile tamamen duyarsız olduğu bir diyapoz ile belirli aşamalarda gelişimlerini kesintiye uğratar. Diyapoz, her türde belirli bir gelişim aşamasında, dış etkenlerden bağımsız olarak başlayabilir (Blanckenhorn, 1998).

Diyapoz, besin depolanması ve kullanımı açısından birkaç zorluk ortaya çıkarır. Genellikle ılıman bölgelerde meydana gelen diyapozlar 9-10 ay sürer ve bazıları daha az yaygın durumlarda bir yıl veya daha uzun sürebilir. Diyapoza giren böceklerin çoğu diyapoz sırasında hiç beslenmez veya bazı larvalar ve ergin olanlar çok az beslenir. Bir böceğin diyapoz öncesi dönemde diyapoz sırasında metabolik ihtiyaçlarını karşılamak için yeterli rezervleri izole etmesi ve diyapoz sonunda gelişimini tamamlamak ve aktiviteye devam etmek için hala yeterli enerji rezervlere sahip olması gereklidir. Yaşam için gerekli enerji veya metabolik ihtiyaçları karşılamak için gerek enerji sıcak tropikal bölgelerde karşılanması soğuk bölgelerde yaşayanlara göre daha kolay kazanılmaktadır (Denlinger, 2002; Kostal, 2006).

4. Sürü Oluşturma

"Sürü" böcek dünyasında zaman zaman çok sayıda sosyal böceğin yuvalarını aynı anda terk edip başka bir yere göç etmesiyle oluşan doğal bir olgudur. Sürünün bir diğer nedeni de bir grup yetişkin böceğin çiftleşme amacıyla aynı anda uçmasıdır. Sürü davranışı en çok karıncalar, bal arıları ve termitlerle görülmektedir. Sürü oluşturma, çevresel değişiklikler (aşırı sıcaklıklar, nem, güneş ışığı), feromon üretimi, popülasyon baskısı ve doğal üreme dürtüsü gibi çeşitli faktörlerin bir veya birkaçının oluşumuyla tetiklenebilir ((Topaz ve Bertozzi 2004; Ouffanais, 2016).

Üreme, termitler ve karıncalar gibi sosyal böcekler bazen diğer kolonilerle üremek istedikleri için sürü halinde uçarlar. Bu durumda, böceklerin üreme kastlarından büyük bir grup sürü halinde uçar. Böcekler üreme amaçları için ne zaman uçacaklarını belirlemede; sıcaklık, rüzgar hızı, bağıl nem ve gün uzunluğu gibi çevresel tetikleyicileri kullanırlar; bunun nedeni bir koloninin diğerinin ne zaman yakında olduğunu bilmemesidir. Ancak kendi kolonilerinin dışında bir eş bulma şanslarını artırmak için benzer ortamlarda sürü halinde uçmak üzere biyolojik olarak koşullanmışlardır (Topaz ve Bertozzi 2004; Dorigo ve Birattari, 2007)

Savunma- Bazı böcekler, özellikle zehirli böcekler, yuvalarını savunmaları gerektiğini hissettiklerinde sürü halinde uçarlar. Bu genellikle yuvanın yakınında bir tür tahriş gerektirir. Ancak, bal arıları yuvadan daha uzaktayken sürü halinde uçmaya ve saldırmaya meyillidir. Bal arıları sadece bir sokmadan sonra ölürlür. Ancak öldüklerinde diğer bal arılarının alabileceği bir feromon salgırlar. Bu feromon, tespit edildiğinde bal arılarının sürüler halinde uçmasına neden olabilir (Topaz ve Bertozzi 2004).

Göç- Böcekler göç ederken sürüler halinde de seyahat ederler. Birçok yaygın zararlı, mevsimsel zararlılar olup toplu halde göç etmezken, kelebekler ve güveler, yusufçuklar, ve çekirgeler gibi böcekler kış için daha sıcak bölgeler bulmak amacıyla bazen yüzlerce kilometre yol kat ederek büyük sürüler halinde seyahat ederler (Olson ve ark., 2016).

SONUÇ

Böcekler her ortamda yaşamaya adapte olmuşlardır. Ekvatordan kutuplara kadar deniz, tatlı su ve karasal yaşam alanlarında hemen hemen dünyanın her yerinde bulunurlar. Sıra dışı çevre koşullarına dayanmak,

çevrenin olumsuz koşullarından kaçmak veya en az zarar görmek için böcekler bir dizi fizyolojik ve morfolojik değişiklik geliştirmişlerdir. Bu değişiklikler genetik özellikler tarafından yönetilir ve ortama iyi adapte olanlar hayatta kalırlar. Bu nedenle adaptasyonların (fizyolojik, davranışsal ve morfolojik adaptasyonlar) böceklerin dünya yüzeyindeki en baskın organizmalar haline gelmesinde önemli bir rol oynadığı söylenebilir.

KAYNAKÇA

- Atay, M., Soylu, S. (2022). Biber meyvelerinde hasat sonrası çürümelere sebep olan bazı fungal hastalık etmenlerine karşı Isothiocyanate bileşiklerinin antifungal etkilerinin belirlenmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 26(3): 290-302.
- Avan M. (2021a). Important Fungal Diseases in Medicinal and Aromatic Plants and Their Control. *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*, 2(1), 239-259.
- Avan, M. (2021b). Türkiye’de ve Dünya’da Görülen Önemli Tıbbi ve Aromatik Bitkiler, Özellikleri ve Hastalıkları Üzerine Araştırmalar, *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, 3(1), 129-156.
- Avan, M. (2022). İklim Değişikliği ve Tarımda Dönüşüm, Bitki Patojenlerinin Neden Olduğu Hastalıklara Karşı Kompost ve Kompost Çaylarının Kullanımı. İksad Yayınevi, ISBN: 978-625-8377-92-7, Bölüm 4, ss.107-135.
- Avan, M., Kotan, R. (2021). Fungusların Mikrobiyal Gübre veya Biyopestisit Olarak Tarımda Kullanılması, *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, 3(1), 167-191.
- Bale, J.S., Hayward, SAL. (2009). Insect overwintering in a changing climate. *The Journal of Experimental Biology*. 213:980-994.
- Bale, J. S., Worland, M. R. and Block, W. (2001). Effects of summer frost exposures on the cold tolerance strategy of a sub-Antarctic beetle. *J. Insect Physiol.* 47, 1161-1167.
- Batz ZA, Armbruster PA: Diapause-associated changes in the lipid and metabolite profiles of the Asian tiger mosquito, *Aedes albopictus*. *J Exp Biol* 2018, 221:189480.
- Blanckenhorn, W. U. (1998). Altitudinal differentiation in the diapause response of two species of dung flies. *Ecological Entomology* 23, 1-8.
- Buffo, E., Battisti, A., Stastny, M. and Larsson, S. (2007). Temperature as a predictor of survival of the pine processionary moth in the Italian Alps. *Agr. Forest Entomol.* 9, 65-72.
- Chapman, R.F. (1969). *The Insects: Structure and Function*. The English Universities Press Ltd, London, p 104

- Charlwood, J.D.; Vij, R., Billingsley, P.F. (2000). "Dry season refugia of malaria-transmitting mosquitoes in a dry savannah zone of east Africa". *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. **62** (6): 726–732.
- Ciancio, J.J, Turnbull, K.F., Garipey, T.D., Sinclair, B.J. 2021. Cold tolerance, water balance, energetics, gas exchange, and diapause in overwintering brown marmorated stink bugs. *J Insect Physiol*, 128:104171
- Common, I. F. B. (1954). "A study of the ecology of the adult bogong moth, *Agrotis infusa* (Boisd) (Lepidoptera: Noctuidae), with special reference to its behaviour during migration and aestivation". *Australian Journal of Zoology*. **2** (2): 223–263. doi:10.1071/zo9540223.
- Cunningham, R. K., Tombes, A. S. (1966). "Succinate oxidase system in the alfalfa weevil, *Hypera postica*, during aestivation (summer diapause)". *Comparative Biochemistry and Physiology*. **18** (4): 725–733. doi:10.1016/0010-406x(66)90207-6. ISSN 0010-406X. PMID 5967408
- Danks, H.V. (2006). Key themes in the study of seasonal adaptations in insects. II. Life-cycle patterns. *Applied Entomology and Zoology* 41: 1–13. <https://doi.org/10.1303/aez.2005.199>
- Delaney, R. G., Lahiri, S., Fishman, A. P. (1974). "Aestivation of the African lungfish *Protopterus aethiopicus*: cardiovascular and respiratory functions" (PDF). *Journal of Experimental Biology*. **61** (1): 111–128. doi:10.1242/jeb.61.1.111. PMID 4411892
- Denlinger, D.L. (2002). "Regulation of diapause". *Annual Review of Entomology*. **47**:93,122. doi:10.1146/annurev.ento.47.091201.145137. PMID 11729070.
- Dorigo, M., Birattari, M. (2007). "Swarm intelligence". *Scholarpedia*. **2** (9): 1462. Bibcode:2007SchpJ...2.1462D. doi:10.4249/scholarpedia.1462
- Enriquez, T., Teets, N., (2023). Lipid metabolism in response to cold. In Under Revision for Publication in "Insect Lipid Metabolism". Edited by Musselman LP, Toprak U. Springer, <https://doi.org/10.32942/X2VS3F>
- Ericson, W.N., 1948. Hibernating insects. *Journal of Insect Science*. 22:115-125.

- Gullan, P.J., Cranston, P.S., (2005). *The Insects: An Outline of Entomology* (3 ed.). Malden, MA: Blackwell Publishing. ISBN 978-1-4051-1113-3.
- Huheey, J. E., (1984). "Warning coloration and mimicry". In William J. Bell & Ring T. Cardé (ed.). *Chemical Ecology of Insects*. London: Chapman and Hall. pp. 257–297.
- Janzen, D. (1976). Why are there so many species of insects? Proceedings of XV International Congress of Entomology, 1976: 8494.
- Karaat, Ş., Atay, M. ve Tohumcu, E. (2021). Adıyaman ili badem üretim alanlarında görülen fungal hastalıkların belirlenmesi. *ADYUTAYAM Dergisi*, 9(1): 36 46.
- Kennedy, J.S., 1985. Migration, behavioural and ecological: Mechanisms and Adaptive Significance. *Contributions in Marine Science*. 27:5-26.
- Kostal, V., (2006). "Eco-physiological phases of insect diapause". *Journal of Insect Physiology*. **52** (2):113-127.
doi:10.1016/j.jinsphys.2005.09.008. PMID 1633234
- Kutyna, F. A., Tombes, A. S., (1966). "Bioelectric activity of the central nervous system in normal and diapausing alfalfa weevils". *Nature*. **212** (5065):956-957.
doi:10.1038/212956a0. ISSN 0028-0836
- Meyer John, R., (2005). "Trichoptera". *ENT 425 - General Entomology*. North Carolina State University. Archived from the original on July 28, 2010. Retrieved March 23, 2011.
- Miller, W. C., (2007). *Trace Fossils: Concepts, Problems, Prospects*. Elsevier. p. 206. ISBN 978-0-444-52949-7.
- Olson, R.S., Hintze, A., Dyer, F.C., Knoester, D.B., Adami, C., (2013). "Predator confusion is sufficient to evolve swarming behaviour". *J. R. Soc. Interface*. **10** (85): 20130305. doi:10.1098/rsif.2013.0305. PMC 4043163
- Ouffanais, R., (2016). *Design and Control of Swarm Dynamics*. SpringerBriefs in Complexity (First ed.). Springer. doi:10.1007/978-981-287-751-2. ISBN 978-981-287-750-5
- Pullin, A. S. (1996). Physiological relationships between insect diapause and cold tolerance: coevolution or coincidence? *Eur. J. Entomol.* 93, 121-129.

- Ramniwas, S., Kumar, G. (2019). Pupation site preference selection in *Drosophila jambulina*. *Ethol. Ecol. Evol.* 31 (4), 301–312. doi:10.1080/03949370.2019.1592230
- Roush, D.K., McKenzie, J.A. (1987). Ecological genetics of insecticide and acaricide resistance. *Annual Review of Entomology*. 32: 361-380.
- Sabrosky, C. W. (1952). How many insects are there? in *Insects: The Yearbook of Agriculture*. U.S. Dept. of Agr., Washington, D. C.
- Short, C.A., Hahn, D.A., (2023). Fat enough for the winter? Does nutritional status affect diapause? *J Insect Physiol*, 145, <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2023.104488>
- Short, C. A., Hahn, D. A. (2023). Fat enough for the winter? Does nutritional status affect diapause. *Journal of Insect Physiology*, 104488
- Sinclair, B.J., Marshall, K.E., (2018). The many roles of fats in overwintering insects. *J Exp Biol*, 221:jeb161836.
- Singh, R., Singh, D., Rao, V. U. M. (2007). Effect of abiotic factors on mustard aphid (*Lipaphis erysimi* kalt.) on Indian brassica. *Indian Journal of Agricultural Research*, 41(1), 67-70.
- Storey, K. B., Storey, J. M. (2012). Aestivation: signaling and hypometabolism. *Journal of Experimental Biology*, 215(9), 1425-1433.
- Su, M., Tan, X., Yang, Q., Wan, F., Zhou, H. (2018). Temperature adaptability of two clades of *Aphelinus mali* (Hymenoptera: Aphelinidae) in China. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 28:16.
- Tauber, M.J, Tauber, A., Masaki, S., (1986). *Seasonal adaptations of insects*. Oxford University Press, Oxford, 411 pp.
- Togni, O. C., Giannotti, E. (2007). Nest defense behavior against the attack of ants in colonies of pre-emergent *Mischocyttarus cerberus* (Hymenoptera, Vespidae). *Sociobiology*, 50(2), 675-694.
- Topaz, C., Bertozzi, A. (2004). "Swarming patterns in a two-dimensional kinematic model for biological groups". *SIAM J Appl Math.* 65 (1): 152-174. Bibcode:2004APS..MAR.t9004T. CiteSeerX 10.1.1.88.3071
- Unterweger, P.A., Klammer, J., Unger, M., Betz, O., (2018). Insect hibernation on urban green land: a winter-adapted mowing regime as a management tool for insect conservation. *BioRisk* 13: 1–29. <https://doi.org/10.3897/biorisk.13.22316>

- Vukašinović, E.L., Pond, D.W., Grubor-Lajšić, G., Worland, M.R, Kojić, D., Purać, J., Popović, Ž.D., Blagojević, D.P., (2018). Temperature adaptation of lipids in diapausing *Ostrinia nubilalis*: an experimental study to distinguish environmental versus endogenous controls. *J Comp Physiol B*, 188:27-36.
- Withers, P., Pedler, S., Guppy, M. (1997). Physiological adjustments during aestivation by the Australian land snail *Rhagada tescorum* (Mollusca: Pulmonata: Camaenidae). *Australian Journal of Zoology*, 45(6), 599-611.
- Yoder, J.A., Denlinger, D.L., Dennis, M.W., Kolattukudey, P.E., (1992). "Enhancement of diapausing flesh fly puparia with additional hydrocarbons and evidence for alkane biosynthesis by a decarbonylation mechanism". *Insect Biochemistry and Molecular Biology*. **22** (3): 237–243. doi:10.1016/0965-1748(92)90060-r.

BÖLÜM 3

MEYVECİLİKTE OTOMASYON SİSTEMLERİN KULLANIMI

Prof. Dr. Halil İbrahim OĞUZ¹*

Doç. Dr. Ali BOLAT²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13684808>

¹ Adıyaman Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü Adıyaman, Türkiye.
hioguz@adiyaman.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-2213-7449

² Adıyaman Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Adıyaman, Türkiye.
alibolat@adiyaman.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-1019-0069

*Sorumlu Yazar: hioguz@adiyaman.edu.tr

1.GİRİŞ

Meyvecilik dünyada tarımın en dinamik, en karlı ve teknolojik gelişmelere uyumlu önemli tarım sektörlerinden biridir. Bu üstün özellikleri nedeniyle meyvecilik, yeni nesil anaç ve çeşitlerle, modern dikim sistemleri, terbiye ve budama sistemleri, sulama, gübreleme, hastalık ve zararlılarla mücadele yöntemleri, hasat ve hasat sonrası işlemler bakımından yeni yatırımlara ve teknolojik yenilikleri beraberinde getirmektedir. Bilindiği üzere son yıllarda meyve yetiştiriciliğinde üretimde sürdürülebilirliğin sağlanması, yüksek kalitede ve uygun maliyetlerde yetiştiricilik ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle rekabetçi, karlılık oranı yüksek, derim, ürün muhafaza, ambalajlama ve ürün işleme tekniklerine yönelik yeni teknolojilerin kullanımına yönelik yatırımlar gün geçtikçe artmaktadır (Gaworski vd., 2017; Myeki vd., 2024). Günümüzde yeni meyve bahçesi tesisi; otomasyonlu sulama, budama ve terbiye sistemleri, ilaçlama, yabancı ot, hastalık ve zararlı mücadele mücadelesi, don zararı ile mücadele sistemleri ve derim işlemleri gibi meyveciliğin tüm rutin işlerinde maliyeti düşürmek, üretimi sürdürülebilir kılmak ve rekabet gücünü arttırmak için bahçe kurulumunda yeni inovasyon tekniklerin kullanımına izin verecek şekilde tesis edilmesi gerekmektedir (Öztürk vd., 2013). Meyvecilik sektöründeki faaliyetlerin büyük bir kısmı hala elle ve genellikle mevsimlik işçiler tarafından yapılmaktadır. Buna bağlı olarak yüksek işçilik maliyetleri, düşük piyasa fiyatları ve kalifiye işçi eksikliği, günümüzde meyve sektörü üzerinde giderek artan bir baskı oluşturmaktadır. Bu nedenle, meyve bahçelerinde otomasyon ve robotik sistemlerin kullanımı giderek bir ihtiyaç haline geleceği öngörülmektedir. Son yıllarda sulama, ilaçlama, toprak işleme, tozlanma, hasat gibi bahçe işlerinde otomasyon kullanımına yönelik araştırmalar artış göstermektedir (Verbiest vd., 2021). Bu anlamda özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde modern meyvecilikte bahçe yönetimleri geleneksel yetiştiricilikten ziyade yeni teknolojik sistemlerin kullanıldığı sektör haline gelmeye başlamıştır. Yeni kurulan birçok meyve bahçesinde bodur anaçların kullanılması, don çukuru oluşturmayacak eğimli (yaklaşık %6) arazilerde büyük ölçekte, meyve tür ve çeşidine bağlı olarak yeni bahçeler tesis edilmektedir. Burada amaç, kısa zamanda birim alandan daha yüksek verim almak, bahçe yönetiminin tamamen veya belirli ölçüde otomasyon sistemlerinin kullanılabilmesi yeni bahçe tesislerinin kurulmaya başlaması meyvecilik açısından devrim niteliği taşımaktadır. Böylece daralan tarım

alanlarında yoğun üretim yapılarak hem üretim maliyeti düşürülmek istenmekte hem de birim alandan yüksek verim hedeflenmektedir. Bu amaçla meyve yetiştiriciliğinde otomasyon ve robotik sensörlerin kullanımı işçilik maliyetini azaltırken, otonom sürüş yapabilen araçlar meyve ve fidanlık ağaçlarının sıraları boyunca hızlı ve daha fazla iş üretimi sağlamaktadır. Örneğin, elma meyveleri, sayabilen ve boyutlandırabilen bir dizi kamera ve yazılımla donatılarak otonom bir hizmet aracı ile hasat mevsiminden haftalar önce doğru mahsul yükü tahminleri sağlayabilmekte ve böylece yetiştiricinin hasat işgücü havuzunu planlama kapasitesinin artırılması sağlanabilmektedir. Ayrıca, daha ince, manuel inceltme işleminden önce kaba, ön inceltme işlemlerini gerçekleştiren mekanik cihazlarla donatılmış otonom bir traktör; üretim sürecinin diğer adımlarıyla ilişkili toplam işçilik maliyetini azaltabilir. Bir başka örnek olarak ise, bir ağacın kaliperini otomatik olarak ölçebilen sensörlerle donatılmış küçük, çevik bir otonom araç, bir fidanlığın tüm ağaçlarını insan gözlemcilerin ulaşamayacağı bir hız ve hassasiyetle sayabilir ve ölçüm yapabilir, bu özelliği ile yine verimliliği artırabilir ve maliyeti düşürebilir (Hamner vd., 2010). Son yıllarda meyvecilik sektörü ve endüstrisi bir taraftan iklim değişikliği nedeniyle yaşanan olumsuzluklar, diğer taraftan da iş gücü temininde yaşanan güçlükler nedeniyle büyük sıkıntılarla karşı karşıyadır. Gıda tedarikçileri ve tüketiciler güvenli, uygun fiyatlı, izlenebilir ve yüksek kaliteli gıda temini için artan tüketici talepleri talepleri ve yabancı üreticilerin rekabeti ve tarımsal üretimde yaşanan karbon ayak izini en aza indirme ihtiyacı gittikçe bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu nedenle meyvecilik sektöründe karlı ve rekabetçi kalabilmek için sektörün yönetim verimliliğini arttıran ve işgücü maliyetini düşüren teknolojilere eğilimi gittikçe arttırmaktadır. Meyve fidanı yetiştiriciliğinde işçiliği azaltan, otomatik üretim tesisleri, hastalık ve zararlılardan arı, dar alanlarda çok üretim yapabilen sistemlerin kullanılması, otomatik fidan dikim makinelerinin devreye sokulması, otomasyonlu sulama ve ilaçlama sistemlerinin kullanılması, sensör tabanlı, hasat kanopi ve haritalama gibi otonom tarım platformların kullanılması meyvecilik sektöründe devrim niteliğinde yenilikler olacaktır.

2. MEYVE BAHÇELERİNDE MODERN TEKNOLOJİLERİN KULLANIMI

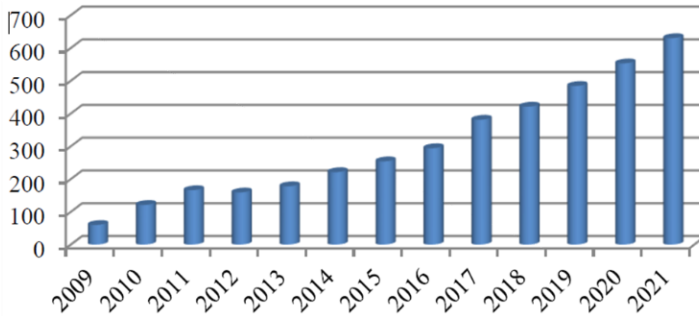
2.1. Meyve Fidanı yetiştirmede otomasyon sistemlerin kullanımı

Tarımsal üretim alanları genel olarak oldukça karmaşık, çeşitli, yoğun emek, teknik donanım, daha fazla üretime yönelik tarım ve yüksek verimlilik amacıyla yüzyıllar boyunca makineleşmeye yoğunlaşmış ve son zamanlarda akıllı sistemler ve otomasyonun devreye girmesiyle tarımda önemli ölçüde ilerlemeler kaydedilmiştir (Nof vd., 2009). Teknolojinin tarımsal üretimde hızla yer alması ile verimi arttırmak, girdi maliyetlerini düşürmek ve çevreye olan olumsuz etkinin azaltılması amaçları güdülmektedir. Tarım robotlarının ortaya çıkışı ile meyve fidanı üretim miktarında, üretim miktarında artış, zamansal tasarruf, işgücünde düşük maliyet, karbon ayak izinde küçülme hedeflenmektedir (Bechar ve Vigneault, 2016). Dünya fidan ihracatında söz sahibi ülkeler, Hollanda, İtalya, ABD, İspanya, Belçika, Fransa, Sırbistan, Türkiye şeklinde sıralanmakta; Türkiye'nin fidan ihracatında 8. sırada olduğu; ayrıca rakip ülkelerin ihracatı artarken, ülkemizin fidan ihracatının 2019 yılından itibaren gerilediği, dünya fidan ihracatında ülkemizin payının henüz çok düşük olduğu (%3) görülmektedir. Ülkeler bazında ithalat değerleri incelendiğinde AB ülkelerinin fidan ithalatını çoğunlukla yine AB üyesi ülkelere aldıkları, ancak son yıllarda AB ülkelerinin Türkiye'den özellikle ceviz ve badem fidanı alımını arttırdıkları görülmektedir. Fidan ihracatımızı arttırmak için hedef ülkeler olarak Fas, Rusya, AB ülkeleri ve Türk Cumhuriyetleridir. Ayrıca 2019 yılı sonrasında genelge hükümlerine aykırı olmasına rağmen, çeşitli gerekçelerle ticari amaçlı ithalata izin verilmesi, ülkemiz fidan üretimine zarar vermekte, hastalık ve zararlıların yurtiçi bulaş ve yayılım riski artmakta ve döviz kaybına yol açmaktadır. Yani ülkemiz fidancılık ve meyvecilik sektörleri ekonomisi zarar görmektedir (TÜİK, 2022). Son yıllarda yapılan araştırmalara göre dünya fidancılık ve çiçekçilik sektöründe %18.9'lük bir düşüş görünmektedir. Bu düşüşün nedenlerini olarak; işçi ve girdi maliyetlerindeki yükseliş ve global iklim değişiklikleri olduğu söylenebilir. Ancak yine de sektör geliri 2020 yılında 41,3 milyar dolar ve 2025 yılına kadar yıllık %1,8 oranında artması beklenmektedir (Daly, 2021). Ayrıca, önümüzdeki 5 yıl içinde bahçe ve peyzaj ürünlerine yönelik tüketici talebinin

artması beklenmektedir (Daly, 2021). Buna karşın fidancılık ve sera endüstrisi ABD ekonomisine yıllık yaklaşık 14 milyar dolarlık bir katkı sağlamaktadır (USDA, 2022a). Bu endüstrinin büyük bir çoğunluğunu 2000'den fazla süs bitkisi üretimini kapsamaktadır. Son yıllarda iklim değişiklikleri, yağış rejimindeki ani değişiklikler, beklenmedik iklim olayları ve global sıcaklık artışı, fidancılık sektörlerini kapalı ve korunaklı alanlarda üretim yapmaya zorlamaktadır. Özellikle seralar tipik olarak büyüme koşullarının (örn. aydınlatma, sıcaklık, nem ve sulama) kontrol edilebildiği kapalı ortamlar olduğundan, ilk yatırım maliyeti yüksek olsa da kısa vadede karlı duruma geçme olasılığı yüksektir. Bu nedenle fidan üreticileri ve buna bağlı sektörler kapalı ve kontrollü alan olan seraları tercih etmektedirler (Lea-Cox vd., 2010; Majsztrik vd., 2013; Majsztrik vd., 2017). Artan işçilik, üretim maliyeti, kalifiye işgücü teminindeki zorluklar ve tarımsal kaynakların uygunsuz kullanımı hem meyve fidanı hem de süs bitkileri üretim endüstrisini giderek endişelendirmektedir (Wheeler, vd., 2018; Rihn vd., 2022) Çünkü fidanlı bitkilerinin dikimi, yetiştirilmesi ve hasadı gibi işlemler büyük ölçüde işçiliğe bağlıdır. Bu işlemler toplam üretim giderlerinin %43'ünü oluşturmaktadır (USDA, 2022b) ve bu sektörün kalifiye işgücünü temin etmesi giderek zorlaşmaktadır (Fulcher, 2023). Son yıllarda, birçok sektörde karmaşık siber-fiziksel sistemlerin kullanımı ile otomatik ve robotik üretime geçişlerde artışlar görülmektedir. Özellikle otonom endüstriyel robotlar yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Tarım robotlarının gelişimi ile çevre güvenliği sorunlarının çözümüne yönelik önemli adımlar atılmıştır (Hutsol vd., 2023). Yapılan araştırmalara göre, birçok sektörde otomatik ve robotik sistemlerin kullanımı %15-90 aralığında iş gücünde tasarruf sağladığı bildirilmektedir. McKinsey Global Institute'a göre, otomatik ve robotik sistemler kullanıldığında, işletme maliyetlerindeki tasarruf, sektöre bağlı olarak %15-90 arasında değişmektedir. Ekonomik olarak gelişmiş ülkelerde, robotların kullanımı çeşitli sektörlerde etkinlik göstermiş ve bu da bu tür teknolojilere olan talebin artmasına yol açmıştır. 2016-2017 yılları arasında endüstriyel robot satışlarında %31'lik bir artış yaşanmış ve toplam 381.335 robot satılmıştır (Şekil 1) (Hutsol vd., 2023). 2017 yılında ise, dünya genelinde tarıma yönelik toplam 6055 robot satılmıştır. Bu rakam genel robotlaşma eğilimi içinde oldukça düşük bir rakamdır. 2017 yılında endüstriyel robot pazarı 16,7 milyar dolar (yazılımsız) ve 48 milyar dolara (yazılım dahil) ulaşırken (Şekil 2), tarım

robotlarının satışları sırasıyla yalnızca 254 milyon dolar ve 750 milyon dolar olarak gerçekleşmiştir. 2018 yılında satılan endüstriyel robot sayısı 421.000 adet ulaşmıştır. Endüstriyel robotlara yönelik talepteki artışa rağmen maliyetlerinin düştüğü de unutulmamalıdır: 2016 ve 2017 yılları arasında birim başına ortalama fiyat 45.500 dolardan 43.800 dolara düşmüştür. Aynı zamanda “ucuz” robotların payı da artmaktadır (Hutsol vd., 2023).

Araştırmacılar dünyada robotik teknolojilerin gelişimine yönelik sektör beklentilerini analiz etmek ve incelemek için, dünyanın çeşitli ülkelerindeki (Çin, ABD, Hindistan, Rusya, İngiltere, Almanya, Ukrayna) önde gelen bilimsel ve endüstriyel kuruluşlar bu sektördeki araştırma materyallerini ve “Küresel robotik pazarının analitik incelemesini” (2019) kullanmışlardır. Bu çalışmalar sonucunda, aşağıdaki program ve anlaşmaların hedeflerinin inceleyerek “Avrupa Yeşil Mutabakatı” (2022) anlaşmasını yürürlüğe koymuşlardır. Bu mutabakat çerçevesinde AB’de karbon-nötr bir alanın oluşturulması hedeflenmektedir. Sera gazı emisyonlarında 2030 yılına kadar 1990 seviyelerine göre yüzde 40’lık bir azalma sağlanması beklenmektedir. Bu amaçla yenilenebilir kaynaklarının toplam enerji tüketimindeki payının %32’ye çıkarılmasını ve yaklaşık %30-40 civarında tüm sektörlerde (tarım dahil) bir enerji tasarrufu beklenmektedir. Ayrıca Yeşil Mutabakat Anlaşması, 2030 yılına kadar 3 milyar ilave ağaç dikilmesini öngörmektedir.

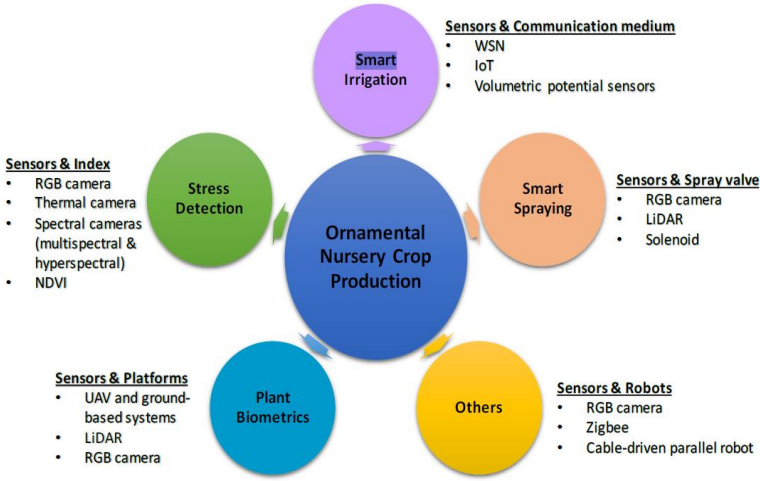


Şekil 1. 2009-2021 yılları arasında dünyada endüstriyel robot satışlarının dinamikleri (bin adet) (Hutsol vd., 2023).

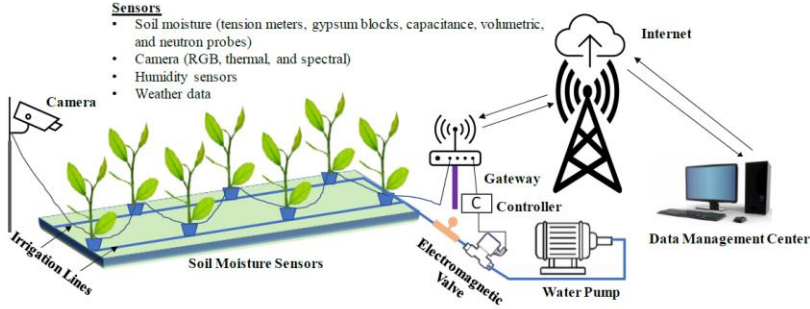
Fidancılık sektöründe üretim maliyetlerinin yaklaşık %40’ını ve brüt satışların ortalama %31’ini işgücünün oluşturduğunu tespit edilmiştir. Bu da

işgücü ihtiyacındaki her hangi bir azalmanın sektörün ekonomik sürdürülebilirliğine önemli katkı sağlayacağı bildirilmektedir (Mathers vd., 2010); Örneğin ABD’de Hall ve Ingram (2014), peyzaj fidancılık sektöründe fidan üretim maliyetlerini araştırmışlar ve fidanların pazarlanabilir boyuta kadar toplam maliyetinin 98,60 \$ olduğunu ve en büyük girdilerin 43,68 \$ (%44,3) ile işçilik olduğunu, bunun 21,11 \$ (%21,4) ile malzeme ve 33,81 \$ (%34,3) ile ekipman harcamalarında oluştuğunu bildirmişlerdir. Bununla birlikte süs bitkileri fidancılık sektörü yine 2018 yılında, ABD ekonomisine doğrudan endüstri çıktıları olarak tahmini 159,57 milyar dolar katkıda bulunmuştur (Hall vd., 2020). O dönemde, ABD fidanlık ve çiçekçilik üretim firmaları 217.574 çalışan iş gücü istihdam etmiş ve tahmini işgücü geliri 10,7 milyar dolar olmuştur.

Son yıllarda algılama ve otomasyon teknolojileri meyve ve süs fidanı üretim işlemlerinde yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu işlemlerin başlıcaları akıllı sulama, bitki stres tespiti, akıllı veya değişken oranlı ilaçlama ve bitki biyometrisi ölçümleri olarak kullanılmaktadır (Şekil 2). Akıllı veya hassas sulama teknolojisi, sulama verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için ayar noktası kontrolü (toprak nemi verilerini kullanarak) veya model tabanlı kontrol (mahsul ve çevresel verileri kullanarak) kullanarak mahsullerin su ihtiyacını belirlemektedir (Majsztrik vd, 2013, Lea-Cox vd., 2013). Bu sistem ürün büyümesini ve gelişimini korurken aşırı su uygulamasını azaltmaya yardımcı olmaktadır. Sensör tabanlı sulama teknolojileri ile sera, meyve bahçeleri, konteyner, potin-pot ve tarla bitkileri üretimi dahil olan birçok tarımsal üretimlerde test edilmiş ve günümüzle bu tür sulama sistemlerinin kullanımı gittikçe yaygınlaşmıştır (Wheeler vd., 2020; Mahmud vd., 2023). Akıllı sulama sisteminin şematik diyagramı Şekil 2’de sunulmuştur. Hassas sulama sistemlerinin benimsenmesinde en önemli etken, çevresel etkiler iklim değişikliği ve kuraklık baskıları nedeniyle ilerde oluşacak teşvikler, su yönetimiyle ilgili daha fazla düzenleme talepleri önemli faktörlerdendir. Ancak sadece sulama suyu kullanımındaki azalmalar ve toprak nemi algılama yoluyla hassas sulama uygulamasından kaynaklı endişeler yeni teknoloji yatırımına yapılacak maliyetlerle gıda ürünlerindeki fiyat istikrarında dengesizlik ve olumsuzluklar gibi bazı riskleri de beraberinde getirmektedir (Wheeler vd., 2020).



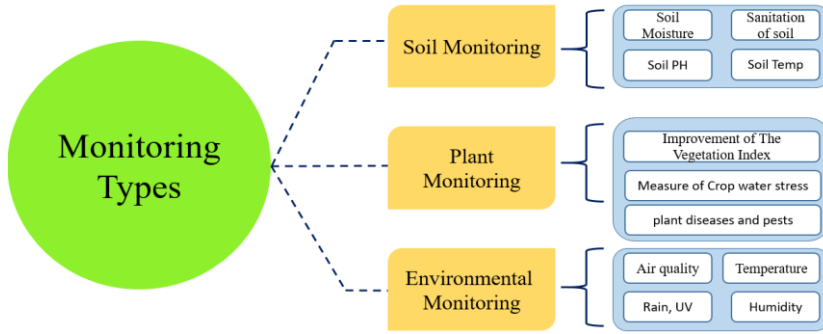
Şekil 2. Meyve fidanı ve süs bitkileri üretimi için algılama ve otomasyon teknolojilerinin kullanıldığı alanlar (Mahmud vd., 2023).



Şekil 3. Konteyner tabanlı bir arazide su yönetimi için IoT tabanlı bir akıllı sulama sisteminin şeması

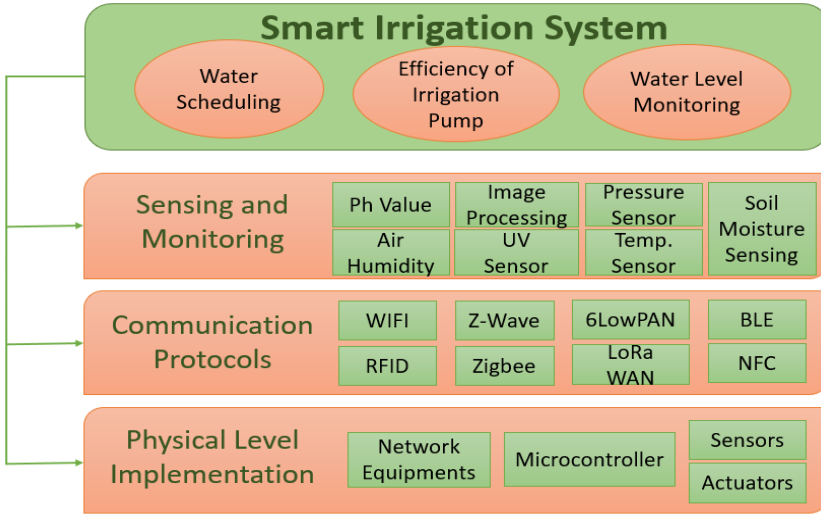
Şekil 3.'de görüldüğü gibi üç konteyner tabanlı fidanlıkta sulama suyu akışını kontrol etmek için kablosuz sensör ağları (WSN'ler) kullanılmış. Bu araştırma iki aşamada gerçekleştirilmiştir: ilk olarak, EC-5 sensörlü EM50R düğümleri toprak nemini izlemek için kullanılmış ve ikinci olarak, nR5 düğümleri sulamayı izlemek ve kontrol etmek için kullanılmıştır. WSN tabanlı teknoloji su kullanımını yaklaşık %20 ila %25 oranında azaltmıştır (Chappell vd., 2013). Kim vd. (2014) sulama protokollerini izlemek ve otomatik olarak uygulamak için toprak nemini ve EC sensörleri kullanarak test etmişler ve bu uygulamada su kullanımını %83'e varan oranda azaltmak için alt tabaka nem

verileri ölçülmüş ve elde edilen sonuçlara göre VH400 (Vegetronix, Sandy, UT, ABD) sensörünün maliyeti standart EC-5 sensörlerinin yarısı kadar olmasına rağmen, VH400'ün fidanlık bitkilerinin izlenmesi için uygun olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Çünkü çıkışı %29'a kadar değişiklik gösterdiği ve algılamada hata verdiği bildirilmiştir. VH400 sensörü, % hacimsel su içeriği başına EC-5 kullanarak ~5 mV yerine ~34 mV'luk yüksek bir hassasiyet gösterdiği bildirilmiştir. Bir başka araştırmada; Lea-Cox vd. (2013) bir konteyner fidanlığında su uygulamalarını gerçek zamanlı olarak kontrol etmek için 12 düğümlü CMU ağı (Carnegie Mellon Üniversitesi/ABD) geliştirilmiş ve Ech20 Decagon (Decagon Devices Inc., Pullman, WA, ABD) nem sensörlerinden oluşan hibrit bir sistem kullanmışlar ve bu sistemi altı düğümlü bir CMU ağının kullanıldığı bir serada da test etmişlerdir. Sonuçlar, her iki ağın da iyi performans gösterdiğini, ancak uzak sahalarda bazı ağ oluşturma zorluklarıyla karşılaşıldığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar CMU ağ düğümünün ticari Decagon Ech20 sensöründen daha az maliyetli olduğunu ancak benzer performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Wheeler vd. (2020) ise bir konteyner fidanlığı ve serada akıllı bir sulama sistemini test etmişler ve sulamayı kontrol etmek için Decagon toprak nem sensörleri ile birlikte bir nR5 kablosuz düğüm kullanmışlardır. Sonuç olarak bu çalışmada üretici kontrollü sulama ile karşılaştırıldığında su kullanımında yaklaşık %50'den fazla azalma olduğu tespit edilmiştir. Buna ilaveten Coates vd. (2012), saksıların ortanca bitkileri içerdiği konteyner fidanlıklarında toprak su içeriğini izlemek için bir VH400 sensörü kullanmıştır. VH400 sensörünün maliyeti standart EC-5 sensörlerinin yarısı kadar olmasına rağmen, yazarlar VH400'ün fidanlık bitkilerinin izlenmesi için uygun olmadığı sonucuna varmışlardır. VH400 sensörü % hacimsel su başına EC-5 kullanması ile ~5 mV yerine ~34 mV'luk yüksek bir hassasiyet gösterdiği belirtilmektedir.



Şekil 4. Tarımsal üretimde akıllı sulamada izleme teknikleri (Gamal vd., 2023).

1970’li yılların sonunda su verimliliği ve bilgiye dayalı farklı akıllı sulama sistemleri yapı katmanları, nüfus artışı ve doğal kaynakların tükenmesi ile su talebinin artmaya başlamasıyla birlikte tarımsal üretimde su verimliliğinin izlenmesi ve kontrol edilmesi, su verimliliğini artırmak için akıllı bitki suyu izleme sistemlerinin kullanımı oldukça önem kazanmaya başlamıştır. Bu senaryo, sulama tekniğinin iyileştirilmesini gerektirmiş, Stres Günü İndeksi (SDI), Normalleştirilmiş Ürün Duyarlılığı (NCS) faktörleri, Evapotranspirasyon (ET) ürün kanopisi ve iklim değişkenlerinin tümü sulama optimizasyonunun sağlanmasında önemli olarak kabul edilmiştir (Hiler ve Clark, 1971; Sinclair vd., 1984). 1989’dan sonra internet ve web tabanlı veri depolamaya dayalı kontrol sistemlerinin geliştirilmesine bağlı olarak, tarım sektörü dahil olmak üzere birçok WSN uygulaması için aktüatörler ve sensörler geliştirilmiştir. WSN’ler, yetiştiriciye mahsulün su gereksinimleri hakkında anında girdi sağlayarak mevcut sulama sistemlerine değer katmasının farkına varılmıştır (Kim vd., 2008; Haule ve Michael, 2014) Böylece tarımsal üretimin hemen her kolunda hassas tarım araştırmacıları, Makine Öğrenimi (ML), Yapay Zeka (AI), İnsansız Hava Araçları (UAV) ve Nesnelerin İnterneti (IoT) gibi en ileri teknolojileri kullanarak sulama, toprak gübreleme, böcek yönetimi ve hastalık tahmini (Abate vd., 2000; Liaghat ve Balasundram, 2010) için akıllı uygulamalar ve yaklaşımlarla yakından ilgilenmektedir.



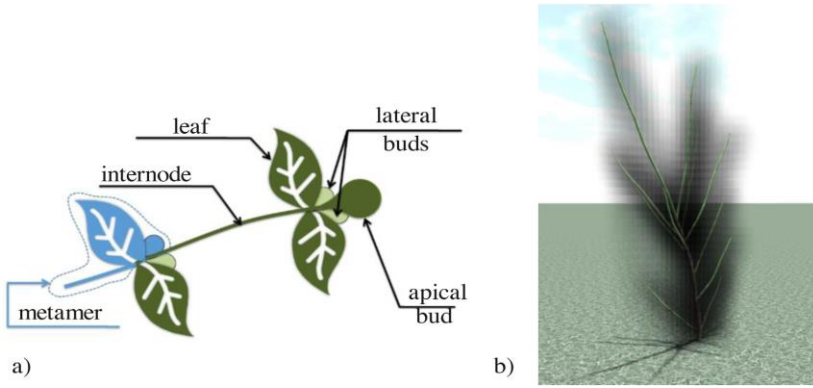
Şekil 5. Akıllı Sulama Sistemleri Yapı Katmanları (Gamal vd., 2023).

Dünyada pek çok ülke, tarımsal üretim yöntemlerini geliştirmek için yeni teknolojileri bir araya getirerek tarımı daha verimli hale getirmek için iş birliği yapmada çaba sarf etmektedir. Bu nedenle tarımda sulama verimliliğinin artırılması, sürdürülebilir tarımsal üretimin devamlılığı için kritik öneme sahiptir. Bu amaçla akıllı sulama yöntemleri, özellikle kablosuz iletişim sistemleri, izleme cihazları ve verimli sulama planlaması gibi kontrol tekniklerinin geliştirilmesi ile sulama verimliliğini artırılabilir. Bu kapsamda bir çok araştırmada gerçek zamanlı sulama planlaması, IoT, internet bağlantısının önemi, akıllı algılama ve enerji hasadı gibi akıllı sulamanın temel bileşenlerine odaklanmaktadır (Gamal vd., 2023). Sonuç olarak dünyada meyve fidanı yetiştirme uygulamalarında otomasyon sistemlerin kullanımı gittikçe artmaktadır.

2.3. Meyve Bahçesinde Terbiye ve Budama İşlemlerinde Otomasyon ve Teknolojik Yöntemlerin Kullanımı

Meyve ağaçlarında budamanın; şekil budaması, verim budaması, gölgelik budama, bazı gereksiz dalların çıkarılması işlemi gibi birçok hedefi vardır. Bunlar arasında, genel durumu iyileştirmek ışık alımı en önemlilerinden biridir. Bu işlemlerde yaşayan dallar ve ölü dallar çıkarılır, meyve dallarında vejetatif büyüme ve meyve üretimi dikkate alınarak çok farklı budama işlemleri yapılmaktadır. Ayrıca budama işleminin, hem ağaç gelişimini kontrol etmek

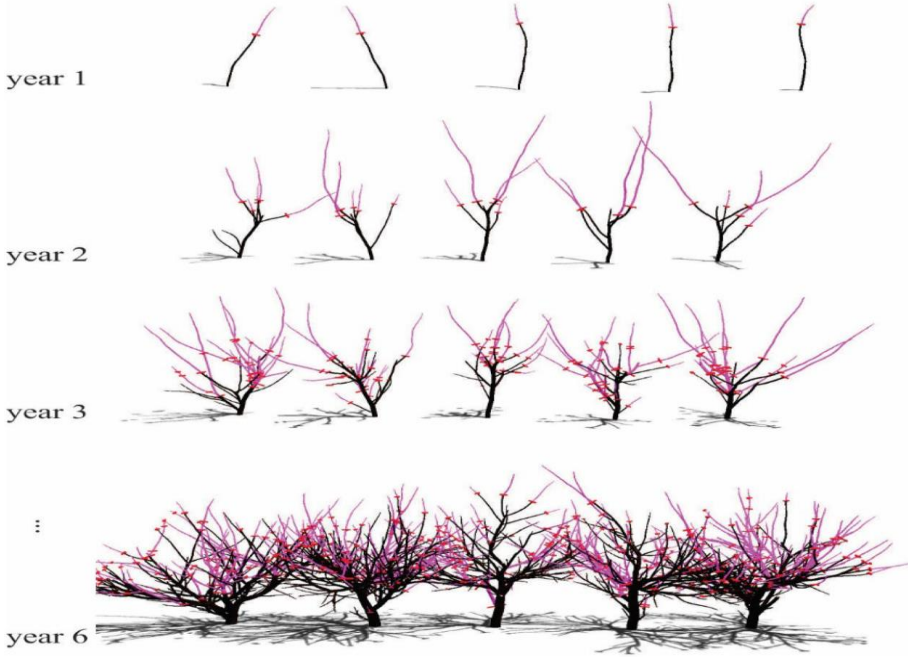
hem de ağaca zarar verecek, mantar ve böcek zararı oluşumlarını azaltmak ve önlemek amacıyla ağaların gelişimine ve meyve verimine zarar vermeden dikkatli bir şekilde yapılması oldukça önem arz etmektedir. Ayrıca bu işlem sırasında daldan dala veya ağaçtan ağaca enfeksiyon geçmesi için önlem alınması son derece önemlidir. Bu nedenlerden dolayı meyve ağaçlarında budama işlemi hem bilgi hem de özen gösterilmesi gereken bir işlemdir. Bununla birlikte meyve yetiştiriciliğinde budama ve terbiye işlemleri en pahalı işlerden biridir. Bundan dolayıdır ki meyve yetiştiriciliğindeki iş gücünün yaklaşık %20'sinden sorumlu ve yoğun emek isteyen işlemlerdedir (Kolmanič vd., 2021). Bununla birlikte örneğin elma, armut, kiraz, gibi meyve türleri yetiştiriciliğinde budama çok önemli bir iş gücü maliyeti oluşturmaktadır. Bu yüzden bu işlem için çok sayıda eğitilmiş mevsimlik işçiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu görevde çalışacak işçilerde, önceden tanımlanmış bir dizi kural, deneyim ve sezgiye donatılarına sahip kalifiye eleman gereksinimi bulunmaktadır (Karkee vd., 2014).



Şekil 6. (a) Kendi kendini organize eden bir ağaç büyüme modelinin bitki modülleri ve (b) uygulanan ağaç büyüme modelindeki bir ağacın gölge görüntüsü (Kohek vd., 2015; Kolmanič vd., 2021).

Bu açıklamalar ışığında meyve yetiştiriciliğinde hem budama maliyetini düşürerek iş gücünden tasarruf sağlamak, hem de hızlı ve zamanında budama işlemlerini bitirmek amacıyla meyve kalitesi ve veriminde düşüş göstermeyen bilgisayar görüntü tabanlı rekonstrüksiyon (yeniden yapılandırılmalı) ile bitkinin 3D modeli oluşturan bir karar sistemi ile bitkinin hangi kısımlarının çıkarılması gerektiğini belirleyen sistemin kullanımı artış göstermektedir. Bu sistemde

budama işlemi, altı serbestlik dereceli bir robotik kol tarafından gerçekleştirilmektedir. Burada, budama kurallarının uygulandığı bir ağacın 3D modeli oluşturulur. Bitki rekonstrüksiyonu başlı başına oldukça zor bir işlemdir ve birçok yaklaşım ortaya konulması gerekmektedir. 3D modeli uygulanan ağaç üzerinde belirlenen budama kurallarına göre, çıkarılması gereken fazla dallar belirlenir ve uygulamaya geçilir (Karkee vd., 2014, Zhang vd., 2014; Medeiros vd., 2017) Burada uygulanacak budama kurallarında, ağaç sağlığının ve meyve kalitesinin iyileştirilmesi ve meyve ağacı taç yapısının ışık alımının konforlu hale getirilmesi amaçlanmaktadır. (Bastías vd., 2012).

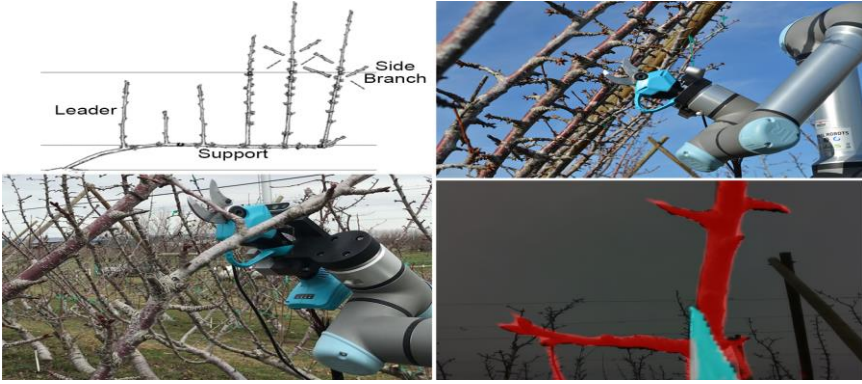


Şekil 7. Beş elma ağacının DDE yöntemi ile altı yıl üst üste Slender Spindle büyüme formuna ağaç eğitimi. Mor renk ağaçların budama sırasında çıkarılan dallar (Kolmanič vd., 2021).

Şekil 7'de görüldüğü gibi ayrık diferansiyel evrimi (DDE) otomasyon yöntemi ışığa maruz kalmayı en üst düzeye çıkaran kesim kombinasyonunu olduğu, böylece ağaç tacı içine daha yüksek ışık dağılımı oluşmaktadır. Önerilen otomatik budama ile budama yoğunluğu, ağaç hacmi ile smax parametresini hissedilir seviyede ümitvar olduğu bildirilmiştir. Gelecekte yapılacak bir başka çalışma da DDE'den farklı optimizasyon yöntemleri

kullanmak olacaktır. Büyümenin uzun vadeli etkisi de değerlendirilmelidir. Tomurcuk aydınlatmasının anlık değerinin en belirleyici faktör olmaması mümkün olabilir ve uzun vadeli bitki sağlığı ve gelişimi test edilmelidir. Son olarak, algoritmamız otomatik budama gibi heyecan verici bir yönde atılmış ilk adımdır. Sonuç olarak DDE yönteminin elma armut ve kiraz budamalarında ümitvar olabilecek yöntem olduğu önerilmektedir. Bu budama modelinde budama yapılacak ağaçların üzerindeki hangi dalların belirlenmesi üzerine farklı çalışmalar yapılmıştır. Strnad ve Kohek (2017) hangi dalların çıkarılması gerektiğini belirlemek için DDE Modelini kullanmışlardır. Bunu gerçekleştirmek için birinci aşamada; budama sonucunda çok önemli farklılıklar olmaması için, öncelikle ağacın belirli bir büyüme formuna girmesine izin verilmemiştir. Bu amaçla ağaçlarda istenen yüksekliğin tespiti ve sıra üzeri ve sıra arası ağaçlar arasındaki mesafenin korunmasına özen gösterildiğinden, hedef ağaçta önceden tanımlanmış bir şablona göre kırpma yapılarak hata payını azaltmanın önemli olduğunu bildirmişlerdir. İkinci aşamada ise budama yapılacak ağaçlarda ışık alımını optimize etmek için hangi dalların çıkarılması gerektiğini belirlemek amacıyla DDE yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntemde elma ağacı bitki simülatörü EduAPPLE yazılımını kullanmışlardır (Kohek, vd., 2015). Bu tür yöntemlerin kullanılması ile elma ağaçlarının taç yapısının özellikleri dikkate alınarak dalların ışık alma ve çiçek tomurcuğu oluşumu ve verim parametreleri üzerinde çalışmalar devam edilmektedir.

Mango meyve bahçesinde budamayı kolaylaştırmak için yürütülen bir çalışmada, YOLOv3 tabanlı modern tespit ağı kullanılmış ve konvolüsyonel katmanların sağlamlık analizinden sonra, budamaya en duyarlı katmanlar belirlenerek YOLOv3 ağı için budama oranlarını tespit edilmiştir. Deneysel sonuçlar, budanmış ağın düşük hesaplama talebi ve küçük ağırlık boyutu nedeniyle mobil cihazların işlemcilerine gömülebileceğini göstermektedir. Ayrıca, YOLOv3 tabanlı budama yöntemimiz mango budaması için uygun olduğu gibi, depolama ve hesaplama kaynaklarının sınırlı olduğu diğer meyve türlerinin budama ve diğer işlemlerin de yararlı olabileceği bildirilmiştir. Ayrıca gelecekte daha detaylı çalışmalarda daha doğru tespit ağlarına ve daha verimli budama yöntemlerine örnek olacağı bildirilmiştir (Shi vd., 2020).

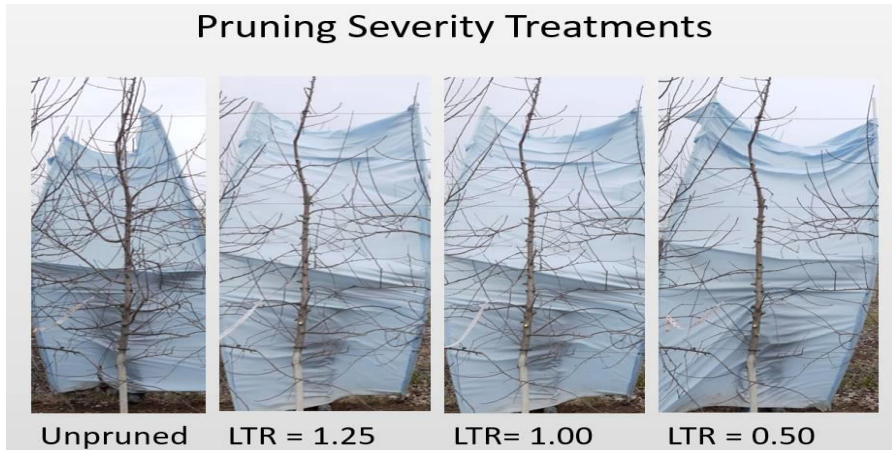


Şekil 8. Dikey liderlerden budanacak yan dallar dahil olmak üzere bir UFO kiraz ağacı yapısının diyagramı (Sol üst). Budama robotu, bir göz-el RGB-D sensörü ve elektrikli baypas makası bulunan mobil bir tabana monte edilmiş bir manipülatör kullanır (Sağ üst ve sol alt). Budama noktasına yaklaşıırken alınan bölümlü görüntü [(Sağ alt) (You vd., 2022)].

Meyve ağaçlarında özellikle budama işlemlerinde işgücü maliyetini düşürmek ve daha kısa sürede daha fazla iş yapmak amacıyla robotik otomasyon sistemlerinin kullanılması gittikçe önem kazanmaktadır. Bununla birlikte, budama robotlarının çalışması, budamayı algılama, budama noktasını belirleme ve budama işlemi sırasında uygulanacak manipülasyonlar için farklı aydınlatma koşulları altında son derece karmaşık ve yapılandırılmamış çevre koşullarında çalışması hem sağlam sistemler gerektirilmekte hem de oldukça zor bir işlemdir. Bu makalede, tatlı kiraz ağaçlarını budamak için (dik meyve veren dal konfigürasyonu adı verilen düzlemsel bir ağaç mimarisinde) algı ve manipülasyon üzerine önceki çalışmalarımızdan çeşitli alt sistemleri entegre eden bir sistem uygulanmıştır. Ortaya çıkan sistem tamamen otonom olarak çalışabilmekte ve çevre üzerinde minimum kontrol gerektirmektedir. Sistemin performansı bir kiraz bahçesinde saha denemelerinde doğrulanmış ve sonuçta 38 daldan 22'sini başarıyla kesildiğini, sonuçta %58'lik bir kesme başarı oranı elde edildiği bildirilmiştir. Ayrıca kesim başına ortalama 35,1 saniyelik bir kesim süresiyle sistem geliştirildiği takdirde meyve ağaçlarında hızlı, doğru ve tamamen otonom budama işlemlerinin yapılması gerçekleşmiş olacaktır. Sonuç olarak bu çalışmada kullanılan sistemin eksikleri olmasına rağmen, meyve ağaçları üzerinde çalışan ilk kullanılan sistem olması nedeniyle dikkat çekici olmuştur. Gelecekte farklı araştırmacıların daha donanımlı budama robotlarının

geliştirilmesine bu tür çalışmaların öncülük etmesi oldukça faydalı olacaktır (You vd., 2022).

Meyve ağacı budamasında robotik ve otumasyon sistemlerinin kullanımına yönelik pek çok araştırma yapılmaktadır. Schupp (2014), meyve ağaçlarında robotik budama için kesme eşiğini belirlemeye yönelik kılavuz sağlamak amacıyla uzun çubuk (iğ) şeklinde terbiyeli elma ağaçları için bir önem seviyesi budama stratejisi önermiştir. Robotik budamada, bilgisayarın budayıcıya doğru bilgileri aktarabilmesi için kesimlerin hassas bir şekilde tanımlanması gerektiğini bildirmiştir. Buna ilaveten bazı araştırmacılar, meyve ağaçlarında robotik ve otomatik budamanın kullanma olasılığını artırmak için basit ve niceliksel budama kuralları geliştirmek üzere çalışmalar yapmışlardır (Karkee vd., 2014).



Şekil 9. Elma ağaçlarının önerilen şiddetli budama seviyeleriyle budanması (Schupp vd., 2017)

Dr. Schupp ve ekibi, büyüme kuvvetine bağlı olarak uzun iğsi elma ağaçları için etkili bir budama stratejisi oluşturmak için çalışmış ve Özel Ürünlerin Dinlenmede Budamasının Otomasyonu Projesi (USDA-NIFA) uygulanmıştır. Bu projenin ilk aşamasında, dört budama kuralı belirlemişler; budama görevi için budama stratejileri, bir budama şiddet endeksi, yani dal-gövde oranı (LTR), bir ağaçtaki tüm dalların birleşmelerinden merkezi lidere kadar 2,5 cm'deki enine kesit alanının, aşı birleşmesinden 30 cm yukarıdaki gövde enine kesit alanına bölünmesiyle hesapladıklarını bildirmişlerdir (Şekil

9). LTR endeksinde, daha düşük bir değer, gövde alanına göre daha az dal alanı anlamına geldiği ve bu da daha şiddetli budamayı temsil ettiğini bildirmişlerdir. Elma ağaçlarından en büyük dalları ardışık olarak çıkararak LTR 0,5'ten LTR 1,75'e kadar değişen altı adet 130 şiddet seviyesi uygulamışlardır. LTR, farklı budama şiddeti seviyelerini tanımlamak, oluşturmak ve tutarlı sonuçlar elde etmek için ölçülebilir bir yol sağladığı, bunun, uzun işi elma ağaçlarının dinlenmede budamasında daha yüksek bir doğruluk ve hassasiyet derecesi elde edildiğini bildirmişler. Budama şiddeti seviyesini belirlemek için ise LTR'nin kullanımı, otonom budama sistemlerinin kullanımı için basit ve tutarlı bir kural olduğunu belirtmişlerdir.

Medeiros vd. (2017) çalışmasında, meyve ağaçlarında otomatik dinlenme dönemi budama amacıyla ağaçlarda gözlemleri toplamak için bir lazer sensörü kullanılmışlar ve bu lazer sisteminde birincil dalları ortalama %98 doğrulukla tanımlayabildiklerini ve çaplarını ortalama 0,6 cm hatayla tahmin edebildiklerini bildirmişlerdir. Bu çalışmanın her ne kadar büyük ölçekli uygulama için çok yavaş olsa da, önerilen yaklaşımın yakın gelecekte robotik budayıcılarda temel yapı taşı olarak hizmet edebileceğini belirtmişlerdir. Son birkaç on yıldır, kamera tabanlı makine görüş sistemi, tarımsal üretimde birçok alanda uygulama için yoğun araştırmalar devam etmektedir.

Tabb ve Medeiros (2018), Elma ağaçlarında uzunluk, çap, aç vb. gibi dal parametrelerini belirleyerek otomatik budama için meyve ağaçlarının 3B yeniden yapılandırılmasını geliştirmeye odaklandılar. Yürüttükleri ağaç dalı budamasıyla ilgili çalışmalar aracılığıyla, dal tespiti ve tanımlamasının doğruluğunu, dalları yeniden yapılandırmasını verimliliğini ve sistemin maliyetini, robotik ağaç dalı budama sisteminin başarısını belirlemede önemli bir parametre elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Sonuç olarak son yıllarda meyve yetiştiriciliğinde özellikle budama ve terbiye sistemlerin uygulamalarında robotik, otomasyon ve akıllı sistemlerin kullanımının giderek yaygınlaşacağı öngörülmektedir. Çünkü bilindiği üzere işçi maliyetlerindeki yükseliş ve işlemlerin zamanında yapılması zorunluluğu meyvecilikte de sahada yerini almaya başlamıştır.

2.4. Yabancı Ot ve Toprak İşleme Sistemlerinde Makineleşme

Dünya nüfusunun sürekli artışı, gıda ihtiyacını artırmış ve bu durum, tarımsal işletmelerin sayısında bir artışa yol açarak, bu ürünlerin doğrudan nüfusa aktarılmasını sağlama ve dolaylı olarak da gıda işleme sektörlerinde, katma değeri yüksek ürün üretmeyi zorunlu kılmaktadır. Bu durum, tarımın kendini yeniden keşfetmesine, mahsullerin daha sıkı kontrolünün sağlanmasına ve gıda üretiminde verimi artırmak için yeni tekniklerin ve araçların tanıtılmasına yol açmıştır. Bununla birlikte, işgücü eksikliği ve herbisitlere dirençli yabancı otların gelişimi, tarımsal gıda üretiminde bir kriz yaratmıştır. Ancak, elektronik, otomasyon ve robotik alanlarındaki gelişmeler bu sorunları çözmek için yeni yolları ortaya çıkarmaktadır.

Kimyasal herbisitler, çoğunlukla çok yıllık meyve bahçesinde geleneksel yabancı ot yönetimi yaklaşımlarına tercih edilmekte olan uygulama olmuştur. Meyve bahçelerinde herbisitlerin kullanılması meyve verimini artırabilir, ancak bu yüksek maliyetli uygulama, hem bahçe toprağında biyolojik çeşitliliğini bozmakta hem de insan sağlığına büyük zararlar verebilmektedir (Shorette, 2012; Meng vd., 2016). Bu nedenle alternative yöntemlerin, bahçede doğru yabancı ot yönetimi, bahçe makinelerinin çalıştırılması, zararlıların (örneğin, tarla fareleri) yaşam alanlarının azaltılması kaliteli meyve üretiminde tatmin edici ekonomik fayda sağlayabilir (Hammermeister, 2016). Bir meyve bahçesinde ağaçlar sıralar halinde yetiştirilir ve toprak dört farklı bölgeye ayrılabilir: (1) dikim sırası; (2) dikim sırasının hemen yanındaki bölge; (3) dikim sıraları arasındaki, traktör tekerlekleri tarafından sıkıştırılmış olan açık alan olarak bilinen yol geçidi ve (4) serbest ara bölge (yani, traktörün iki tekerlek izi arasındaki alan). Genellikle, yol geçidinde örtü bitkileri korunur ve toprağı stabilize etmek, toprak erozyonunu azaltmak ve toprağa fiziksel koruma sağlar. Ayrıca tekerlek trafiğini desteklemek, sıkışmayı en aza indirmek, faydalı böcekler için mevcut habitatı artırmak ve yabancı ot büyümesini engellemek amacıyla bu bitkiler sık sık biçilir. Ancak, ağaç sırası alanında yabancı otları yönetmek, meyve yetiştiricileri için ciddi bir zorluktur. Çünkü ağaçların kök yoğunluğu yabancı otlara kıyasla düşük olduğundan, bu alandaki yabancı otlar su ve besinler için meyve ağaçlarıyla güçlü bir şekilde rekabet edebilir (Merwin, 2003).

Kimyasal herbisitlerin olumsuz etkileri ve organik tarımın artan popülaritesi, mekanik yabancı ot kontrolünde daha fazla ilerleme kaydedilmesi

ihtiyacını arttırmıştır. Bu sistemler, esas olarak farklı ekim ve toprak işleme sistemleri, entegre biçme (örneğin, fırça yabancı ot temizleyici ve çim biçme makinesi) ve modern parmak yabancı ot temizleyicileri ile ilişkilidir. Geleneksel mekanik sistemlerle yapılan yabancı ot yönetimi, bahçe toprak sağlığı ve biyolojik çeşitlilik üzerinde önemli sayıda olumsuz etkiye sahip olabilir, ancak gelişmiş entegre mekanik sistemler kullanılarak bu sorunları en aza indirmek mümkündür (Mia vd., 2020). Toprak işleme, birçok ülkede çok yıllık meyve ağaçları için temel alternatif yabancı ot kontrol yöntemlerinden biridir. Bu yöntem, ağaç sıralarında diğer yaklaşımlara göre daha etkili ve pratik bir şekilde yabancı ot kontrolü sağlar. Ancak, el ile ot yolma, el çapası yapma, tırmıklama, döner çapalama ve toprak frezeleri, kültivatörler, fırçalar ve disklerin kullanımı gibi farklı toprak işleme işlemlerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Bond ve Grundy, 2001; Mia vd., 2020). Buna ilaveten toprak işleme nem ve besin maddelerinin emiliminden sorumlu olan, toprağın yüzeyine yakın kılcal ağaç köklerine büyük ölçüde zarar verdiği için uzmanlarca artık tercih edilmemesi konusunda çok yoğun öneriler bulunmaktadır. Örneğin toprak işleme herbisit kullanımına kıyasla %52.9 ve saman malcı kullanımına göre de %77.8 oranında kılcal kök zararlanmasına neden olmaktadır (Hammermeister, 2016). Bu sebeple, bu alanda incelenmesi gereken önemli konulardan biri, ağaç performansına olumsuz etki yapmaması için aletlerin kullanılabilmesi için minimum derinliği belirlemek oldukça önemli bir konudur. Bu bağlamda, gelişmiş ekipmanlarla, akıllı ve robotik sistemlerle yapılan sığ toprak işleme sistemi, geleneksel toprak işleme ekipmanlarına kıyasla daha sürdürülebilir bir yöntem olacaktır. Bununla birlikte bıçaklı yabancı ot temizleyici, bu tür bir sığ toprak işleme aletidir. Bu alet, sadece 3 cm ila 4 cm derinlikte yatay olarak kullanılabilmesi için kazık kök türleri için etkili bir yabancı ot kontrol seçeneği sunabilir ve diğer geleneksel toprak işleme ekipmanlarına kıyasla çok az toprak bozulmasına neden olur. Bu nedenle, meyve bahçelerinde sürdürülebilir yabancı ot yönetimi için entegre bir toprak işleme sistemi sunmak amacıyla bu uygulamanın diğer mevcut seçeneklerle entegrasyonunu araştıran çalışmalar devam etmektedir (Mia vd., 2020).

Bazı çalışmalar, genel olarak artıları ve eksileri dikkate alındığında, toprak işlemenin buhar uygulaması veya organik herbisit kullanımı gibi diğer alternatif yaklaşımlara kıyasla yabancı ot kontrolü için en ekonomik uygulama ve sürdürülebilir bir yöntem olabileceğini göstermiştir (Shrestha vd., 2013).

Ancak toprak işleme yönteminin temel sorunu, çevresel sürdürülebilirlik ve temiz enerji kullanım eksikliğidir.

Bilindiği üzere geleneksel elle yapılan yabancı ot yönetimi, meyve üretim döngüsünde en zahmetli ve maliyetli işlemlerden biridir; bunun başlıca nedenleri yüksek işçilik maliyetleri, zaman ve iş yükü olarak sıralanabilir. Herbisit kullanımı ise, çevre kirliliğine de neden olmaktadır. Özellikle son yıllarda toksik madde içermeyen gıda talebinin artması, yabancı ot kontrolünü zorlaştırmıştır. Bu nedenle, mekanik yabancı ot kontrolü önem kazanmaya başlamıştır. Meyvecilik dahil tarımsal üretimin peç çok kolunda otomasyon, yabancı ot yönetiminde mekanizasyon girdisi iyileştirme çalışmaları yoğun bir şekilde iyileştirme çalışmaları devam etmektedir. Sensörler, mikrodenetleyiciler ve bilgi işlem teknolojilerinin hızla sahaya girmesi, tarımsal otonom kılavuz sistemlerinin temelini oluşturmuştur. Otomatik bir sistem, bahçe veya tarla operasyonları için zaman açısından verimli olup, büyük iş gücü gereksinimini ve sağlıkla ilgili zorlukları ortadan kaldırarak etkili bir çiftlik operasyonu sağlamaktadır. Genellikle, meyve bahçelerinde sıra arası ve sıra üzerinde oluşan yabancı otları temizlemek için khurpi (elle kullanılan küçük çapa), çapalama aleti, bel, tekerlekli çapa, itme-çekme türü yabancı ot temizleyici gibi manuel aletler kullanılmakta ve bu aletlerin yabancı ot temizleme verimliliği %72 ile %99 arasında değişirken, tarla kapasitesi, oldukça düşük olup 0,001 ile 0,033 ha/saat arasındadır. Bu nedenle traktörle çalışan parmaklı yabancı ot temizleyici, burulma yabancı ot temizleyici, ECO yabancı ot temizleyici, alevli yabancı ot temizleyici, tırmık ve daha geniş sıralara sahip ürünlerde sıra arası ve sıra içi yabancı otların yönetimi için sensör tabanlı teknolojiler gibi mekanik yabancı ot yönetimi üzerine yapılan yenilikler, üretici ve araştırmacıların dikkatini çekmektedir (Kumar vd., 2022).

Bazı araştırmacılar, meyve bahçelerinde entegre yabancı ot mücadelesinde, fırçalı yabancı ot temizleyici ve çim biçme makinesi kombinasyonunun kullanılması, mükemmel bir yöntem veya strateji olabileceğini bildirmişlerdir. Bu sistemde iki önemli ekipman kullanılmaktadır. Birincisi döner fırçalı yabancı ot temizleyici ve çim biçme makinesi, ikincisi ise fırçalı yabancı ot temizleyicilerdir. Bu işlemde traktörün güç çıkışıyla çalışan yatay eksene monte edilmiş polipropilen bir fırça bulunmakta, bu fırça ağaç gövdesine yakın olsa bile yabancı otları gövdeye zarar vermeden eğebilir ve aynı zamanda çim biçme makinesi, toprak yüzeyinin hemen üzerinde yabancı otları kesip

parçalayarak toprağı rahatsız etmeden çalışabilir özelliğindedir. Böylece ağaçların altındaki ve arasındaki toprağın bakımı mümkün olur ve böylece biyokütle üretimi artmaktadır (Neri, 2013). Parçalanmış yabancı ot bitkileri, malçlama malzemesi olarak kullanılabilirdiği gibi, doğranmış bitki materyallerinin toprakta ayrışması yoluyla toprak besin durumu da iyileştirilebilir, bu da etkili erozyon kontrolü sağlar ve organik maddeyi artırarak daha iyi toprak yapısı sağlar. Ayrıca, bu tekniğı uygulamak için yalnızca bir kişi gereklidir ve meyve bahçeleri için yeni olmasına rağmen, sebze çiftliklerinde yabancı ot yönetimi için yararlı bulunmuştur (Mia vd., 2020).

Bir meyve bahçesinde yabancı ot kontrolü ve düşen meyvelerin toplanması görevlerini optimize etmek için bir robotik gezici tasarlanmıştır. Yabancı ot kontrolünde, lokalize bir püskürtme sistemi önerilmektedir, böylece uygulanan herbisit miktarı azaltılabilir. Meyve toplama ile, düşen meyvelerin hayvan yemi olarak kullanılması mümkün olup, bu şekilde bir sonraki mahsul döneminde mikrobiyal aktivitenin azaltılması ve dolayısıyla hasarın önlenmesi sağlanabilir. Bu çalışma, bu robotik gezicinin robotik simülasyon yazılımı üzerinde simülasyonunu önermektedir. Ayrıca, benzer bir bahçe ortamının çoğaltılması ve gezici robotun bölgesel ilaçlama ve düşen meyve toplama görevlerini kontrol eden bir algoritmanın oluşturulması önerilmektedir. Bu algoritmaların robotik bir simülatör kullanılarak oluşturulması ve test edilmesi, farklı senaryoların ve hipotezlerin değerlendirilmesini hızlandırır ve kolaylaştırır. Ayrıca, iki görevin aynı anda test edilmesine de olanak tanır. Bu yöntem, donanım hasarı konusunda endişe duyulmadığı için daha fazla özgürlük ve yaratıcılık sağlar. Geliştirme maliyetlerinin de çok düşük olduğu unutulmamalıdır (Ribeiro vd., 2022)

Hindistan'da bir şeftali bahçesinde yapılan bir çalışmada Tarımsal Uygulamalar için Robotik Gezici (R2A2) robotu kullanılmış ve şeftali bahçelerinde otonom herbisit püskürtme yapabilen bir tarım robotu geliştirilmiştir. Bu robotik sistem, farklı zamanlarda gerçekleştirilen iki işlev içermektedir. İlki, yılın başında, yabancı otlar hala küçükken hassas herbisit püskürtme işlemi yapmaktadır. İkincisi, mahsulün sonunda, bahçenin zeminindeki düşen şeftalilerin toplanmasını gerçekleştirmektedir (Veiros, 2020). Ayrıca bu robot, ürün büyürken, meyvelerin tespiti, sayılması ve dolayısıyla daha kesin bir üretim tahmini sağlanması için görüntü işleme programı kullanarak, meyve tespiti yapacak kameralar ve yapay zeka

algoritmalarıyla donatılmıştır. Ayrıca, meyve hastalıklarının erken tanımlanmasını sağlamak için sınıflandırma yaparak meyve yetiştiricisinin gerekli önlemleri zamanında almasına imkân tanımaktadır. Bu sayede, hassas püskürtme ile yabancı ot kontrolünde kullanılan herbisit miktarı azalacağından çevresel etkinin minimize edildiği belirtilmektedir. Buna ilaveten, düşen şeftalilerin toplanması ve bu meyvelerde gelişecek böcek ve bakterilerin yayılmasını önlemekte; böylece bu mikroorganizmalar, bir sonraki yılın mahsulüne kadar kış uykusuna yatacaklarından hastalık ve zararlı kontrolü sağlanmış olacağı bildirilmiştir. Bu platform ayrıca, manuel şeftali toplama faaliyetleri ile ilişkili iş gücü maliyetlerini de azaltabileceği ifade edilmiştir (Ribeiro vd., 2022).

Son yıllarda araştırmalardan ve gelişmelerden görüldüğü üzere meyve bahçelerinde yabancı ot mücadelesinin daha ucuz, toprak faunası, florası ve bütünüyle bahçe ekosistemine zarar vermeyecek mücadele yöntemlerinin benimsendiği ve bu konuda yeni modellerin geliştirildiği dönemlere girmiş bulunmaktayız. Çünkü bu modellerin esas hedefi hızlı, ucuz maliyet ve çevre dostu olmasıdır.

2.5. Meyve Bahçelerinde Akıllı, Otomasyon Sulama Sistemlerinin Kullanımı

Tarımda sulama; suyun toprağa pompalar, tüpler ve püskürtme gibi çeşitli yöntemlerle uygulanmasını ifade eder. Genellikle sulama ihtiyacı, yağışların düzensiz olduğu, kurak ya düzenli yağışın olmadığı bölgelerde ortaya çıkar. Toprağın yapısına bağlı olarak değişmekle birlikte farklı türlerde pek çok sulama sistemi mevcuttur. Sulamada kullanılan su, yer altı suyu (kuyular veya kaynaklar aracılığıyla), yüzey suyu (göller, nehirler) veya diğer birkaç kaynaktan (örneğin, arıtılmış atık su veya tuzdan arındırılmış deniz suyu) sağlanabilir. Bu nedenle, çiftçilerin tarımsal su kaynaklarını koruyup, hastalık risklerini en aza indirerek tasarruf etmeleri gerekir. Yer altı suyu çıkarırken, sulama suyu kullanıcılarının yer altı suyunun yenilenme hızından daha fazla boşaltmamaya dikkat edilmesi gerekir. Modern sulama sistemlerinin iki metodolojisi vardır: geleneksel sulama metodolojileri ve akıllı sulama metodolojileri. Geleneksel sulama, yüzey sulama, damla sulama ve yağmurlama sulama gibi yöntemleri içermektedir (Gamal vd., 2023).

Gelecekte, sulu tarım, oldukça önemli ve karmaşık sorunlarla karşı karşıya kalacağı tahmin edilmektedir. Bu duruma, sulama için su kaynaklarının düşük verimliliği örnek verilebilir. Tahminlere göre, tarımda kullanılan sulama suyunun %40'ından fazlasının çiftlik seviyesinde, ya derin infiltrasyon ya da yüzey akışı yoluyla, erkenden harcadığını gözlemlenmektedir (Gu vd., 2020). Ancak, çoğu zaman bu kayıplar, suyun aşağı yönlü dağıtım noktalarına ulaşmasını engellediğinden, su için kaçırılmış fırsatlar anlamına gelmektedir. Yakın gelecekte su sorunlarından biri de, imalat ve kentsel ihtiyaçlar gibi farklı su gereksinimlerinin artması olacaktır. Bu nedenle araştırmacılar, su kaynaklarına daha yüksek bir değer verilmesini, yüksek su israfına yol açacak uygulamalardan vazgeçilmesi ve sulama bilimi, kullanım verimliliğini en üst düzeye çıkarılması gerekmektedir. Bu amaçla sulama sistemlerinin üç ana kategorisi bulunmaktadır (Gamal vd., 2023):

Basınçlı dağıtım: Basınçlı sistemlerin ana bileşenleri, damlama, yağmurlama ve benzeri sulama sistemlerin dizilimidir; burada su, basınçlı boru ağları boyunca taşınır ve arazi yüzeyine yayılır. Bunun yanında, birçok bireysel sistem, merkez pivotlu yağmurlama sistemleri gibi yenilikçi özelliklerle sunulmaktadır.

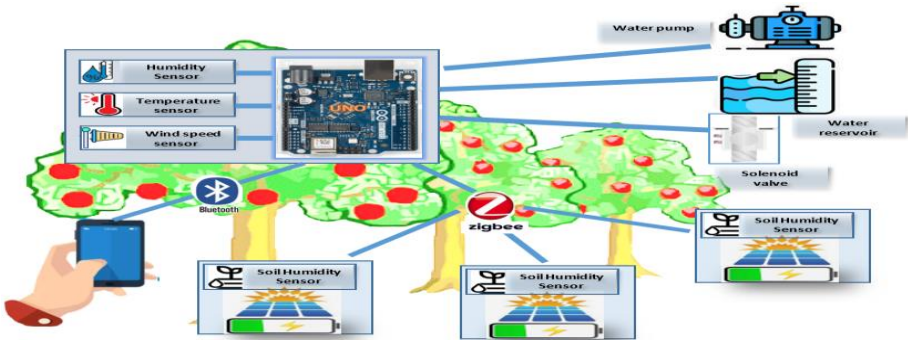
Yerçekimi akışı dağıtımı: Yerçekimi akışına dayalı sistemler, suyu tarla seviyesinde yüzey akışı rejimi boyunca taşır ve dağıtır. Bahsedilen bu yüzey sulama yöntemleri, operasyonel özellikler ve yapılandırmaya göre ayrılır.

Drenaj akışı dağıtımı: Drenaj kontrolü alt-sulama kullanan bir sulama sistemi yaygın olarak kullanılmamaktadır.

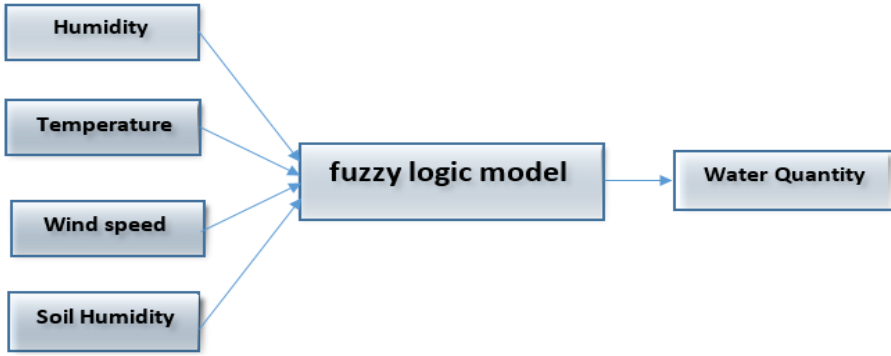
Dünyada sulama suyu talebini azaltmaya yönelik çalışmaların sayısı zamanla istikrarlı bir şekilde artmaktadır. Ancak, tarımsal sulama sistemleri için piyasada bulunan sensörlerin pahalı olması nedeniyle bu cihazlara küçük ölçekli çiftçilerin ulaşması neredeyse imkansız gibi görünmektedir. Öte yandan, bazı şirketler, düşük maliyetli tarım izleme ve sulama yönetim sistemleri oluşturmak için düğümlere bağlanabilecek düşük maliyetli sensör cihazları üretmeye başlamıştır. Teknolojik yeniliklerle yapılan sensörler, dijital teknolojinin gelişimi ve gömülü sensörlerden etkilenen, tarımda IoT teknolojisinin yaygın uygulaması sayesinde sürekli olarak gelişmekte ve akıllı, entegre ve daha küçük olacak şekilde tasarlar üretilmektedir. Toprak, genelde bu sensörler hava durumu, su ve bitki sensörleri, yüksek derecede çeşitli işlevselliklere sahip tarımsal sensörlerden oluşmaktadır. Çeşitli verileri

algılayan bu sensörler, tarımsal üretim verilerinin toplanmasında paha biçilmez bir hizmet yapmaktadır (Hamami ve Nassereddine, 2020; Gamal vd., 2023).

Su kullanım verimliliğini artırmak için bitki gelişimini ve büyümesini etkileyen en önemli faktörlerden biri izleme yöntemidir. Akıllı sulamanın bağlamsal izlenmesi, tarım yapılan arazide toprak durumu, bitki sağlığı ve iklim değişkenlerine dair verilerin ileri iletişim teknolojileri aracılığıyla toplanması oldukça önem arz etmektedir (Abioye vd., 2020). IoT, yapay zeka, bulut bilişim ve uç bilişim gibi programlar, tarımsal alan verimliliğini ve sulama etkinliğini artırmada önemli roller oynamaktadır. IoT kullanarak bitki ve toprak izleme, uygun kararlar almak için yapay zekâ ile veri analizi, otomatik olarak çalışan sulama sistemleri, hava durumu ölçümü ve tahmini gibi teknolojilerle, ürün kalitesini artırmak ve böcek ve bitki hastalıklarını tanımak amacıyla bu programların kullanımına yönelik çok yüksek bir talep bulunmaktadır (Abioye vd., 2020; Angelis vd., 2022). Bu da çiftçilerin insan iş gücüne olan bağımlılığını önemli ölçüde azaltarak ürün verimliliğini arttıracaktır. Sensörler ve IoT cihazları uç bilişim, sensör verilerini alanda toplar ve buluta gönderir, burada işlenir ve analiz edilir, ardından analizlere dayalı en iyi hareket planı belirlenir. Sonuç olarak, meyve bahçesinde veya tarla ürünlerinde su, gübre ve pestisit kullanımı azalırken, ürün verimi artırılmış olacaktır (Pandey ve Mukherjee, 2022) Son yıllarda Kablosuz Sensör Ağları (WSN) teknolojisi dikkate değer ilerlemeler kaydederek, bir çok alanlarda kullanılabilen heyecan verici ve önemli bir teknoloji haline gelmiştir (Pandey ve Mukherjee, 2022; Angelis vd., 2022).



Şekil 10. Önerilen Akıllı Sulama Sistemi Mimarisi (Boumehrez, vd., 2024)



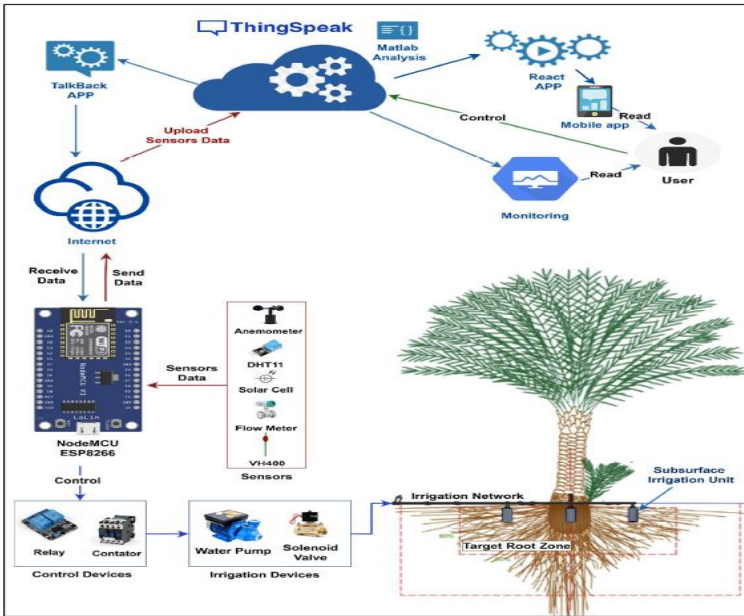
Şekil 11. Neurone Flouid Sulama Parametreleri (Boumehez vd., 2024)

Sulama yöntemlerini yönetmek ve kontrol etmek için WSN teknolojisinin kullanılması, suyun rasyonel ve etkili kullanımını sağlarken aynı zamanda küresel su krizinin ciddiyetine katkıda bulunacak mükemmel bir senaryodur. Bu nedenle (Hamami ve Nassereddine, 2020). Bununla birlikte Cezayir'in doğusunda yer alan Khenchela kentinde bulunan Bouhmaman yaklaşık 6 bin hektarlık elma bahçesinde 2022-2023 tarım sezonunda yürütülen bir çalışmada; Şekil 10 ve 11'de görüldüğü gibi bir bulanık denetleyici ve Kablosuz Sensör Ağı (WSN) kullanımı ile (Jawad vd., 2017) sulama kontrolünü otomatik hale getirilerek doğrudan insan müdahalesine gerek kalmadan, değişik konumlara stratejik olarak yerleştirilmiş kablosuz sensörlerden veri toplanmak maksadıyla bir çalışma yapılmıştır. Önerilen sistem ayrıca Bluetooth bağlantısına sahip akıllı bir telefon ve Android uygulaması kullanarak sulama talimatlarının ve bahçenin genel durumunun uzaktan izlenmesine olanak tanımaktadır. Bu çalışmada amaç, aşırı sulama, kök büyümesini engellemek, alkali topraklarda demir klorozuna karşı artan hassasiyet ve azot, kükürt ve bor gibi hayati besin maddelerinin kök bölgesinden uzaklaşma risklerini azaltmak maksadıyla yapıldığı bildirilmektedir. Bu sulama yöntemi, kullanıcıya sistemi denetleme konusunda kolaylık sağladığı, 6 hektarlık meyve bahçesinde su yönetimi, ağaçlara gerekli su miktarlarını doğru ve zamanında sağlanması gibi bilgi, insan ve malzeme kaynaklarını optimal verimli kullanılması konusunda önemli katkı sağladığı bildirilmiştir. Çalışmada ayrıca, bulanık mantık ve kablosuz sensör ağı kullanılarak akıllı sulama yönetiminin kullanılmasının yararlı olacağı, elma bahçelerinde etkili sulama sağlandığı, gelecekte sisteme toprak pH değerlerini

ölçen pH sensörlerinin entegrasyonunu ve uzaktan izleme ve kontrol için IoT teknolojisinin entegrasyonunu gerçekleştirilmesinin yararlı olacağı, ayrıca, sisteme elma ağaçlarını don tehlikesinden korumak için ek bir sulama sisteminin başlatılması olasılığı önerilmektedir (Boumehrez vd., 2024). Akdeniz koşullarında kil–tınlı toprakta yetiştirilen erken olgunlaşan nektarin ağaçlarında (*Prunus persica* L. Batsch, cv. ‘Flariba’) kapasite problemleri ile ölçülen hacimsel toprak su içeriğine dayalı otomatik damlama sulama yönteminin uygulanabilirliği üzerine yürütülen bir çalışmada, MAD (Yönetim İzin Verilen Boşaltma) konseptine dayanan AUTO (bir otomatik sulama tedavisi), HWA (yüksek) ve LWA (düşük) su mevcudiyeti senaryolarında, her biri üç ardışık büyüme sezonu boyunca, geleneksel 100% ETc (mahsul buharlaşma) esasına dayanan bir sulama programlama yöntemi (Kontrol) ile karşılaştırılarak yapılmıştır. Sonuç olarak AUTO yönteminde su kullanımı verimlilik değerleri ortalama %34 arttırmış olduğunu, otomatik sulamanın, MAD mevsimsel eşik değerlerine dayanarak ve gerçek zamanlı toprak su içeriği sensörleri aracılığıyla izlenerek uygulanabilir bir araç olarak yarı kurak Akdeniz tarım sistemlerinde su kıtlığına karşı etkili olabileceğini önerilmiştir (Conesa vd., 2021).

Bilindiği üzere kuraklık, tarımsal üretim için en önemli sorunlardan biri olup, bu sorunun tarım alanlarında gün geçtikçe artmaktadır. Bu nedenle, su verimliliğini artırmak sürdürülebilir tarımın birincil amacıdır. İşte bu amaçla Sudi Arabistan’da kuru bölgelerde hurma ağaçlarının sulama yönetimini iyileştirmek için modern bir alt yüzey sulama sistemini kontrol etmek amacıyla bulut IoT çözümleri ile sulama su miktarını uzaktan izlemek ve kontrol etmek üzere de tamamen otomatik bir kontrollü alt yüzey sulama sistemi (CSIS) sistemi tasarlanarak bir çalışma yürütülmüştür. Bu CSIS tasarımı ile çalışma alanındaki iklim parametrelerini ve hacimsel toprak su içeriğini anında toplamak için otonom bir sensör ağı kurulmuş ve alanlara yerleştirilen sensör okumalarını barındırmak, algoritmik analizler yapmak, canlı verileri anlık olarak görselleştirmek, kullanıcıya olay bazlı uyarılar oluşturmak ve IoT cihazlarına talimat göndermek için ThingSpeak bulut platformunu kullanılmıştır. CSIS’in doğrulaması, sensör bazlı sulama programı (S-BIS) tarafından kontrol edilen otomatik sulamanın, zaman bazlı sulama programı (T-BIS) ile karşılaştırıldığında daha verimli olduğu S-BIS, hurma ağaçlarına işlevsel kök bölgesinde uygun zamanda optimum sulama su miktarı sağlandığı

CSIS'in S-BIS ve T-BIS yöntemleri, geleneksel yüzey sulamaya (TSI) kıyasla uygulanan sulama su miktarını sırasıyla %64,1 ve %61,2 oranında tasarruf sağladığı, CSIS'in S-BIS yöntemiyle, T-BIS yöntemiyle ve geleneksel yüzey sulama (TSI) ile uygulanan yıllık toplam sulama su miktarı sırasıyla hurma ağacı başına 21.04, 22.76 ve 58.71 m³ su verildiği, CSIS'in S-BIS (1.783 kg m³) ve T-BIS (1.44 kg m³) yöntemlerinde su verimliliği, TSI'ya (0.531 kg m³) kıyasla önemli ölçüde daha yüksek olduğu, CSIS'in S-BIS yöntemi, T-BIS yöntemine kıyasla işlevsel kök bölgesindeki hacimsel su içeriğini alan kapasitesine yakın seviyede tuttuğu, S-BIS yöntemiyle tasarlanan CSIS, sulama suyu yönetiminde olumlu bir etki sağladığı, hurma meyvesi verimini artırmada etkili olduğu, kurak bölgelerde hurma sulaması için oldukça uygun olduğu bildirilmiştir (Mohammed vd., 2021). Yukarıda verilen literatür bilgileri ışığında iklim değişikliği ve yaşanan kuraklık nedeniyle tarımsal üretimin bütün kollarında sulama ve suyun kullanım yöntemleri, kısıtlı sulama, akıllı sulama, otomasyon sulama yöntemleri gibi pek çok güncel sulama sistemleri konularında bütün dünyada yoğun çalışmalar devam etmektedir.



Şekil 12. Tasarlanan kontrollü alt yüzey sulama sistemi (CSIS), deneysel alandaki bir hurma ağacının etrafına yerleştirilmiştir (Mohammed vd., 2021).

Şekil 12’ de görüleceği üzere, amaç su tasarrufu ve yüksek verim sağlayan en mükemmel yöntemleri keşfederek üreticilerin kullanımına sunmaktır. Çünkü su bütün dünyanın ortak kullanım materyalidir. Bu bağlamda meyvecilikte sulama hem maliyet açısından hem de verimlilik açısından hayati derecede önemli konulardan biridir. Bu bölümde sulama yöntemlerinde yeni teknolojilerin kullanımına yönelik örnekler verilerek açıklamaya çalışılmıştır.

2.6. Meyve Bahçelerinde Hastalık ve Zararlılarla Mücadelede Akıllı Sistemlerin Kullanımı

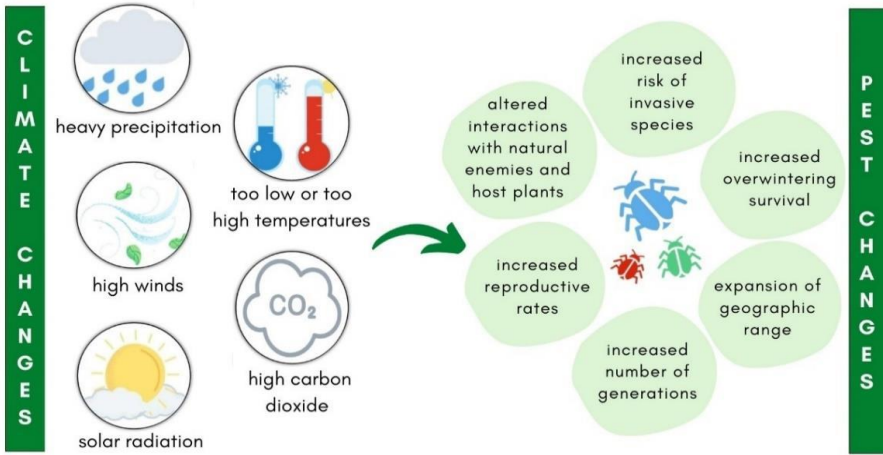
Genetik, kimya ve robotik alanlarındaki bilimsel gelişmeler tarım teknolojisinin ilerlemesine katkıda bulunmuş olsa da hala çeşitli sorunlar ortaya çıkmaya devam etmektedir. Örneğin, hızlı nüfus artışı nedeniyle tarımsal ürünlerin üretiminin artırılması gerekmektedir (Radoglou-Grammatikis vd., 2020). Bilindiği üzere dünyada ekilebilir arazi ve tatlı su kaynaklarının mevcudiyeti son derece sınırlı hale gelmektedir (Stafford, 2000). Sürdürülebilir olmayan tarım, ürün verimliliğini ve çevreyi tehdit etmekte kalmayıp iklimde de anormalliklere yol açmaktadır. Bu tür uygulamalar, üretim ve tüketim arasındaki ilişkide de zorluklar yaratmaktadır (Loures vd., 2020). Aynı zamanda, iklim değişikliği sorunları giderek daha da şiddetlenmekte ve tarımsal üretimin birçok yönünü etkilemektedir. Verimlerdeki değişiklikler, hasat zamanları, tarım uygulamaları, zararlıların görülme sıklığı ve diğer birçok önemli faktör, değişen iklim koşullarından doğrudan etkilenmektedir (Moretti vd., 2010; Skendžić vd., 2021). Yukarıda belirtilen sorunları veya problemleri uygun bir biçimde çözüme kavuşturmak için, yapay zeka (AI) teknolojilerinden yararlanılabilir Fraser A. (2019) Özellikle Hassas tarım (PA) kapsamında, son zamanlarda yapay zeka; ürün verimi, sulama, toprak içeriği kaydı, ürün izleme, yabancı ot mücadelesi, zararlı takibi ve ürün kurulumu gibi tarımsal üretimin pek çok alanlarında kullanılmaktadır (Stafford, 2000; Kim vd., 2008; Talaviya vd., 2020). Hassas tarım, ürün verimliliğini artırmak ve çevreyi korumak amacıyla tarımsal üretimin tüm yönlerini yönetmek için teknolojilerin ve ilkelerin kullanılması olarak tanımlanabilir (Pierce ve Nowak., 1999).

Hassas tarımda diğer önemli yaklaşımlar ise robotlar ve sensörler, insansız hava araçları (dronlar), ileri GPS (Küresel Konumlandırma Sistemi) ve GNSS (Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri), Nesnelerin İnterneti (IoT), hava durumu modellemesi ve özelleştirilmiş girdi kullanımını gibi tarımsal

yönetim sistemlerini kapsamaktadır. (Loures vd., 2020; Tzounis vd., 2017). Bu ise, araziden gelen verilerin toplandığı, analiz edildiği, değerlendirildiği ve nihayetinde üretim alanın (bahçe, tarla) yer bazlı yönetimi için karar vermede kullanılan döngüsel bir optimizasyon sürecidir. Bu çalışma prensibi ile bu sistemler, çiftçilerin ürün sağlığını ve verimliliğini etkileyen çeşitli temel faktörlerin mekansal ve zamansal değişkenliğini analiz etmelerine olanak sağlamaktadır (Balafoutis vd., 2017). Sensörler aracılığıyla toplanan veriler, karar verme sürecini desteklemek için dijital platformlarda depolanır ve birleştirilir. İdeal olarak, çiftçi verimi en üst düzeye çıkarırken girdiler optimize edilerek, gıda ürünlerinin korunması ve iş gücü süresinin verimli kullanılması sağlanması hedeflenmektedir. Bu teknolojik sistemlerin kullanılması, çiftlik karlılığını artırabilir ve dış girdilere bağımlılığı azaltarak çevresel olumsuz etkileri minimize etmeye yardımcı olacaktır (Loures vd., 2020; Balafoutis vd., 2017).

"Tarımda çevresel faktörler, ürünün kalitesi ve verimliliği için kritik öneme sahiptir. Bu faktörler arasında böcek zararlıları, bitkilere doğrudan zarar veren etmenlerden olup, bu zararlı kontrolü tarımsal üretimde her zaman en zor işlemlerden biridir. Bu nedenle, zararlı kontrolünü iyileştirmek, pestisitlerin kontrolsüz kullanımını azaltmak ve daha hassas uygulamalara odaklanmak amacıyla entegre zararlı yönetimi (IPM) programları geliştirilmiştir (Jiang vd., 2008). Zararlı kontrol programlarının etkinliği, güvenilir ve güncel zararlı enfestasyonu (zararlının üreme biyolojisi) bilgilerine bağlıdır. İzleme tuzaklarında yakalanan zararlılara bağlı müdahale eşikleri, modern IPM programlarının böcek ilacı püskürtme zamanını optimize etmek ve tetiklemek için temel programın taşıını oluşturmaktadır. Ancak IPM, yoğun saha gözlemleri, eğitilmiş personel ve veri değerlendirmesi gerektirmektedir. Haftalık tuzak kontrolleri ve bahçedeki bitkilerin yakından gözlemlenmesi, müdahalede gecikmelere yol açabilir ve emek gerektirir. Popülasyon dinamikleri ve ilgili ekolojik faktörlere dair bilgi toplanmadığı sürece, doğru zamanda ve doğru yerde uygun zararlı kontrolünü uygulamak son derece zordur. Ayrıca, zararlıların zarar verme potansiyeli bitki büyüme fizyolojisi ile doğrudan ilişkilidir; bu nedenle, gelişimin kritik fenofazları sırasında erken zararlı tespiti, kontrol önlemlerinin zamanında uygulanması ve zararlı popülasyonunun artmasının ve meyvelere zarar vermesinin önlenmesi için gereklidir, ki bu durum IPM'nin kilit noktasıdır. Bu nedenle, veri toplama

etkinliğini artırmak ve daha doğru ve güvenilir zararlı kontrolü sağlamak için otomatik izleme sistemlerinin kullanılması gereklidir (Jiang vd., 2008; Preti vd., 2021a). Zararlıların etkili bir şekilde kontrol edilmesi ve ortaya çıkmasının önlenmesi için, günümüz tarımsal üretim endüstrilerinde birçok gelişmiş teknolojik çözüm geliştirilmiş ve uygulamaya konulmuştur (Atzberger 2013; Wang vd., 2021). Örneğin Elma (*Malus domestica* Borkh.) (Rosales: Rosaceae), dünyada oldukça yaygın olarak üretilen ve en önemli meyvelerden biridir. Taze tüketim için yıl boyunca kullanılabilirdiği gibi elma sosu, elma dilimleri, elma şarabı ve meyve suyu gibi endüstriyel ürün olarak da işlenebilmektedir (Brown, 2012). 2020 yılında küresel elma üretimi 86.4 milyon ton olup, ekonomik değeri 77 milyar ABD dolarıdır ve hasat edilen elma alanı 4.62 milyon hektardır (FAOSTAT, 2022). Yukarıda belirtilen ekonomik önemi ve zararlılarının üretim karlılığını önemli ölçüde bozması nedeniyle, otomatik zararlı izleme sistemlerinin kullanılması artık bir zorunluluk haline gelmeye başlamıştır. Bu nedenle değişen iklim koşulları altında zararlı izleme sistemleri bu sorunların çözümünde önemli etkileri olacaktır.



Şekil 13. İklim değişikliklerinin böcek zararlılarının fenolojisi üzerindeki etkisi (Çirjak vd., 2022).

Veriye dayalı tarım, yapay zeka tekniklerini içeren robotik çözümler yardımıyla sürdürülebilir ve modern tarım için zemin hazırlamaktadır (Saiz-Rubio ve Rovira-Más, 2020). Veriye dayalı tarım, yapay zeka tekniklerini içeren robotik çözümlerden yararlanarak sürdürülebilir modern tarım mantığına

dayanmaktadır. Otomatik izleme sayesinde yenilikçi cihazlar geliştirilerek, son kullanıcıların hedef zararlı türlerini kolayca ve doğru bir şekilde izlemesini sağlamıştır (Sciarretta ve Calabrese, 2019). Otomatik zararlı izleme ekipmanları hem pestisitlerin aşırı kullanımı önlemekte ve hem de, meyve bahçelerine yapılan günlük seyahatleri azaltarak harcanan zaman diliminde kolaylık sağlamaktadır (Blommers, 1994; Rydhmer vd., 2022). Ancak, zararlı kontrol yöntemine bağlı olarak feromonlar ve yapışkan pedlerin bakımı için zaman zaman ziyaretlerin yapılması gerekmektedir (Preti vd. 2021c). Bu nedenle saha gezilerinin sayısındaki azalma, yakıt tüketiminde önemli bir tasarruftan dolayı mücadele işleminde karbondioksit emisyonlarının azaltılması oldukça önemli bir katkıdır (Pajač Živković vd., 2020). Bahçe bitkileri üretiminde otomatik zararlı izleme sistemlerinin tanıtılması, yerel bazda ve çevre dostu bitki koruma mücadele yöntemi sağlayarak, böylece daha az pestisit kalıntısına içeren ürünler ele edilmiş olacaktır. Modern tarım, insansız hava araçları, uzaktan algılama, akıllı karar destek sistemleri, Nesnelerin İnterneti (IoT), otomatik tuzaklar ve teknolojik ilerlemenin birçok diğer ürünü aracılığıyla büyük bir teknolojik değişim yaşamaktadır (Fresco ve Ferrari, 2018).

Potamitis vd. (2017), göre tuzaklarda otomatik zararlı kontrolü için birkaç seçenek bulunmaktadır: Foto-kesme bunlardan biridir ve bu yöntem çukur veya huni tuzakları için önemli bir özelliktir. Zararlı, tuzağa girdiğinde veya düştüğünde tespit gerçekleşir. "Foto-kesme" yöntemi, tuzağın girişinin fotodiyotlardan ve düşük güçlü kızılötesi yayıcılarından oluşan bir ışık tabakası ile kaplanmıştır. Böcek tuzağa girdiğinde ışık kesilir ve bunun sonucunda tuzağa düşen zararlıların sayılması için sinyal verir. Tuzağa düşen böceklerin kanat çırpışlarını analiz ederek zararlıların tespit edilmesi yöntemi de bulunmaktadır. Bu zararlı tespit yöntemi en yaygın olarak McPhail ve sivrisinek tuzaklarında kullanılır. Daha sonra gelen böceğin kanat çırpışı ışık akışını değiştirir ve bu da belirli bir türün biyometrik tanımını oluşturur (Chen vd., 2014). Son olarak, depolanmış ürün zararlılarının tespiti için en yaygın kullanılan yöntem, zararlıların hareketleri ve beslenmeleri (ısıırma ve çiğneme süreçleri) sırasında oluşturdukları titreşimlere bağlı olarak zararlı tespitini tanımlanabilmektedir (Potamitis vd., 2009). Ancak, Goldshtein vd. (2017), yakalanan böceklerin görüntülenmesi ve bir geçiş yoluyla böcek girişinin tespit edilmesinin, otomatik zararlı izleme cihazlarının geliştirilmesinde iki baskın

yaklaşım olduğunu belirtmektedir. Yapay sinir ağları (YSA'lar), 1990'dan bu yana gündemde olmalarına rağmen, günümüzde en çok dijital sistemlerin geliştirilmesinde kullanılmaktadır (Hernández-Serna ve Jiménez-Segura, 2014). Dijital bir sistemin geliştirilmesi ve tasarımı sırasında ana odak noktası, gözlemlenen zararlıları mümkün olduğunca doğru bir şekilde tanımlamak için görüntü kalitesine (parlaklık, çözünürlük, odak ve arka plan ile gözlemlenen nesnenin kontrastı) odaklanılmaktadır (Schrader vd., 2022; Zhang vd., 2013). Cihazların geliştirilmesinde yaygın bir sorun, tuzaklardaki yabancı cisimlerdir (yapraklar, dallar vb.); bu nedenle, tespit yönteminin belirli ortama mümkün olduğunca adapte edilmesi gerekmektedir (Zhang vd., 2013)

Holguin vd. (2010), akıllı tuzakların tuzak tasarımında renk, boyut, şekil ve birçok diğer parametreler, zararlıları çekerken hedef dışı zararlıların cazibesini azaltmak son derece önemli olduğunu özellikle, hedef olmayan zararlıları hedef zararlılardan ve hatta hedef türlerini birbirinden net bir şekilde ayırt edebilecek yetenekte, farklı zararlıları tespit edecek sensörlerin geliştirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca, tuzak verimliliği için önemli bir özellik, minimal enerji tüketimi (eğer mümkünse güneş enerjisi ile çalışan çalışanların tercih edilmesi), izleme sırasında eğer pille çalışıyorsa nadiren pil değiştirme gerekliliği ve istatistiksel ve makine öğrenimi yöntemlerinin kullanılması tercih edilmelidir (Miresmailli vd., 2009). İzleme sistemleri, tam otomatik veya yarı otomatik olarak sınıflandırılabilir. Tam otomatik bir sistem, tuzağa düşen böceklerin türlerinin tanımlanmasına yönelik yazılımla donatılmışken, yarı otomatik bir sistem, kamerayla donatılmış tuzağın yakaladığı görüntüleri izleyen bir insan uzman tarafından tuzağa düşen böceklerin uzaktan tanımlanmasına ve sayılmasına dayanır (Sciarretta ve Calabrese, 2019). Zararlı tespiti için en etkili yöntem, makine öğrenimi çerçevesinde görüntü analiz sistemlerine dayanmaktadır (Almryad ve Kutucu, 2020; Szegedy vd., 2015). Görüntüleri analiz etmek için yapay zeka (AI) kullanımı, hızlı ve doğru sonuçlar elde etmek için pratik bir çözümdür (Almryad ve Kutucu, 2020). Otomatik zararlı tanımlama sistemi, fotoğrafların geometrisini, morfolojisini ve dokusunu yakalamak için çeşitli görüntü işleme araçlarını entegre edilmelidir. Yakalanan fotoğraf ve videoların işlenmesi, grafik bileşenlerin analiz ve manipülasyon yöntemleriyle yapılmaktadır (Miranda vd., 2014). Bilim insanları, bu yöntemin sağlıklı çalışması için organizmaların doğru sınıflandırılması amacıyla çok sayıda (75.000 fotoğraf)

gerektirdiğini belirtmektedirler (Khalifa vd., 2020). Ancak Ding ve Taylor'a (2016), göre feromon tuzağında bir kamera kullanarak zararlı tespiti yapılırken, genellikle düşük kaliteli fotoğraflar, güç tüketimi, artan fotoğraf işleme maliyetleri, çevresel faktörler ve zararlıların ortaya çıkışı gibi çeşitli zorluklarla karşılaşıldığını bildirmişlerdir. Ticari olarak kolayca ulaşılabilir ve zararlı izleme için büyük potansiyele sahip olmasına rağmen, bu cihazlar yüksek maliyet nedeniyle "küçük" çiftçiler için hala erişilemez durumdadır (Schrader vd., 2022; Du vd., 2022). Bu tür izleme araçları, bitki koruma hizmetleri için bölgesel veya ulusal düzeyde kullanılan araçlardır. Bu tuzakların sahalar arasını birbirine bağlayıp yerel, bölgesel, kıtasal veya küresel ölçeklerde bir ağ oluşturarak zararlı böcek istilaları hakkında eşzamanlı, geniş alan bilgisi elde etme potansiyeli bulunmaktadır (Potamitis vd., 2017). Bu nedenle, gelecekteki çalışmalarda, bireysel yetiştiricilerin de otomatik zararlı izleme avantajlarından yararlanabilmesi için daha uygun maliyetli çözümler sunulmalıdır. Tüm avantajlarına rağmen, otomatik zararlı izleme için kullanılan cihazların en önemli sınırlayıcı özelliği, otomatik zararlı tanımlama ve sayma düzeyi konusunda hala hata payı arzu dileyen seviyelere düşürülememiş olmasıdır. Bazı ticarileşmiş cihazlar, zararlı türlerinin manuel olarak tanımlanmasına veya manuel doğrulamaya gereksinim duyulduğundan, şimdilik tam otomatik zararlı tespit sistemlerinden daha fazla tercih edilmektedir (Preti vd., 2021'a). AI teknolojilerindeki hızlı gelişmeler sayesinde otomatik zararlı izleme, entegre zararlı yönetiminde önemli yeniliklerin geliştirilmesi kullanıcıları heyecanlandırmaktadır. Bu yaklaşım, IoT, AI ve diğer gelişmiş bilgi teknolojilerini entegre ederek böcek zararlılarının izlenmesini ve erken uyarı sistemlerinin kullanımında arzu edilen hedefe ulaşılacağı düşünülmektedir (Li vd., 2021). Bu gelişmeler istikrarlı bir şekilde ilerledikçe, dünyanın dört bir yanındaki çeşitli zararlı türleri için birçok bahçecilik sisteminde ve diğer sistemlerde otomatik izleme sistemlerinin, kullanılabilirlikleri artacaktır. Böcek zararlılarının uzaktan tespit edilebilme yeteneği ve bunların popülasyon dinamiklerinin hem mekânsal hem de zamansal olarak dijital kayıtlarının oluşturulması, kullanıcılara yukarıda belirtilen böcek zararlı izleme zorluklarını ele almak için son derece güçlü bir araç ve destek sağlayacaktır (Preti vd., 2021b).

Bu açıklamalar doğrultusunda yeni teknolojilerin hızlı gelişimi ve çevrimiçi dünyanın değişen yapısı (örneğin, Nesnelerin İnterneti (IoT), bulut

tabanlı çözümler, kentsel tarım, tarım ve ormancılık için otomatik ve robotik sistemlerin geliştirilmesi, benzersiz fırsatlar sunmaktadır. Örneğin Makine öğrenimi, küresel konumlama sistemleri, lazer teknolojileri, aktüatörler ve mekatronikteki teknolojik ilerlemeler, hassas tarımda robotik sistemlerin ve akıllı teknolojilerin geliştirilmesini ve uygulanmasını mümkün kılmıştır. Ayrıca, bitki patolojisi ve yönetimindeki robotik uygulamaları ve kentsel içi tarımda ortaya çıkan tarım teknolojilerini sunmakta ve bu konuda yeni çalışmalar devam etmektedir. Seralarda gelişmiş yönetim sistemleri ve teknolojileri, son yıllarda büyük ölçüde geliştirilerek IoT ve WSN (Kablosuz Sensör Ağı) ile entegre edilmiştir. Makine öğrenimi, makine görmesi ve yapay zeka (AI), tarımda otomatik ve robotik tarım için kullanılmaktadır. Zekâ teknolojileri, makine görmesi/öğrenimi kullanarak sadece ekim, sulama, yabancı ot kontrolü (bir dereceye kadar), budama ve hasat için değil, aynı zamanda bitki hastalıklarının tespiti ve tanımlanması için de geliştirilmiş ve bu konuda çalışmalar devam etmektedir. Ancak, bitki hastalığı tespiti hem abiyotik hem de biyotik stres için hâlâ ilgi çekici bir zorluk teşkil etmektedir. Bitki hastalığı semptomlarını tanımlamak için birçok tanıma yöntemi ve teknolojisi başarıyla kullanılmaya başlanmıştır. Ancak yine de bunların hatalı sonuçlarını önlemek için kontrollü veri toplamak ortamlarına ihtiyaç bulunmaktadır. Makine öğrenimi yöntemleri (örneğin, derin ve transfer öğrenimi), görüntü işleme ve bitki semptomlarının tanımlanmasını iyileştirmek için umut verici sonuçlar sunmaktadır. Yine de mikroorganizma kontrolü için tanı özgülüğü bir zorluk teşkil etmekte ve hastalık yönetimi için mekatronik ve robotik çözümlerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Ampatzidis vd., 2017).

Tarım robotu geliştirmede, hasatta tam otomasyon ve mekanizasyonun ekonomik etkisi nedeniyle, robotik meyve tanıma yöntemi en önemli konulardan biridir. Renk, meyveyi ağaç gövdesi ve yapraklarından ayırt etmek için en basit belirleyicilerden biridir. 700-1000 nm dalga boyundaki kızılötesi ışık, bitkilerin tüm bölümleri tarafından iyi bir şekilde yansıtılırken, kırmızı ışık (yaklaşık 690 nm), olgunlaşmamış meyve, yapraklar ve saplar tarafından iyi yansıtılmaz; ancak kırmızı olgun meyveler tarafından iyi yansıtılır. Bu özellik, farklı ışık demetleri kullanılarak kiraz gibi küçük kırmızı meyvelerin tanınmasında kullanılabilmesi belirtilmiştir (Tanigaki vd., 2008). Kırmızı ve kızılötesi sinyaller, çevresel ışık kaynaklı parazit etkilerini ortadan kaldırmak

için kilit amplifikatörleri kullanılarak ayrı ayrı tespit edilebilmektedir. Ağaç gövdelerinden kırmızı ışığın yansımaları nedeniyle daha fazla hassasiyet gerektirmektedir. Ancak meyvenin ışığı yansıtması, kirazın merkezini tanımak için kullanılabilir bir speküler fenomen oluşturmaktadır. Böylece, verimli bir hasat gerçekleştirmek için meyve ve ağaç gövdesi veya yaprak gibi engeller doğru bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Bu sistem, bitki hastalıklarının tanımda daha hassas ölçümler yapması gerekmektedir. Kiraz hastalıklarının çoğu, dallar, sürgünler veya gövde üzerindedir ve bu durum yaprak biyokütlesinin azalmasına neden olabilir, bu da ışık yansımalarını değiştirebilir; nekrotik halka lekesi (Necrotic ring spot virus) veya yaprak lekesi (*Blumeriella jaapii*) gibi hastalıklar ise yapraklardaki lekeler nedeniyle kızılötesi lazer ışınlarının yansımalarını azaltabilir. Kirazda, olgunlaşan meyvelerde kahverengileşmeye ve gri spor kütleleriyle kaplanmaya bağlı olarak kırmızı lazer ışınlarının yansımalarını büyük ölçüde azaltabilen kahverengi çürüklük (*Monilinia fructicola*) engelleyebilmektedir (Ampatzidis vd., 2017). Biyotik stres, bitki organlarının tanınmasını her ne kadar engellese de, ışık yansımaları parametrelerindeki değişiklikler, hasada dayalı çözümlerin hastalık tespitine uyarlanması işi için oldukça önemli bir başlangıç olabileceği bildirilmiştir. Ayrıca, meyvenin yapraklarla kaplı olduğu durumlarda tanınması için gerekli olan 3D görüntü sensörlerinin kullanımı (Tanigaki vd., 2008), düzensiz olarak dağılan patojenlerin neden olduğu semptomları değerlendirmek için de yardımcı olacağı, meyve tespiti, meyvenin bitki örtüsü ile aynı renkte olduğu durumlarda zor bir görev olacağı, örneğin salatalıkta olduğu gibi yaprakların 850 ve 970 nm'de yansımaları neredeyse aynı olduğu bildirilmiştir. Ayrıca meyve, 850 nm'de önemli ölçüde daha yüksek bir yansımaya gösterdiğinden, farklı filtrelerin kullanımı, yaprakların yansımaları ile meyvenin yansımaları arasındaki ayrımı mümkün kılarak meyve tanımda yüksek verimlilik sağlayabilmektedir. Yaprak hastalıkları, örneğin mantar, bakteriyel yaprak yanıklığı (*Alternaria cucumerina*, *Xanthomonas campestris*) veya antraknoz (*Colletotrichum orbiculare*), yansımaları tutarlılığında bozulmaya neden olabileceği tespit edilmiştir. *Rhizoctonia solani*'nin neden olduğu çürümeye, 850-970 nm yansımaları oranlarını değiştirebildiği belirtilmiştir. Correll vd. (2010), bitkilerin ve domateslerin tanınmasının, yaprakların karmaşık geometrisi nedeniyle zor bir görev olduğunu belirtmişler; yapraklar, aydınlatmaya öngörülemeyen şekillerde önemli ölçüde engel olmakta örneğin domatesler

genellikle yuvarlaktır, ancak boyut ve şekil açısından birçok varyasyon olabilir. Aydınlatma, diğer meyve veya yaprakların gölgelenmesi nedeniyle tespitlerini zorlaştırabilir ve kabukları spektral parlaklıkları yansıtabileceği ve bitkilerde kırmızı veya yeşil domateslerin tanımlanması için, filtre tabanlı nesne tanımanın gerçekleştirilebileceği bildirilmiştir. Olası domates konumları, şekil, renk, boyut ve domates kabuğunun spektral parlaklıklarına dayanan filtrelerin toplu bir tahmininden türetilmektedir. Spektral parlaklıklar gibi bazı filtreler sağlam olmadığından ve performansları değişen ışık koşullarından ve nesnenin şeklinden etkilendiğinden dolayı birçok yanlış pozitif sonuca yol açabileceği bilinmektedir. Correll ve vd. (2010) çalışmasında, meyve sınıflandırma ve tanımlama için iki parametre belirmişler (örneğin, kırmızı, yeşil domatesler); renk ve meyve pürüzsüzlüğü olarak, meyve pürüzsüzlüğü, tanımlama için en kritik faktör olup; yalnızca renk özellikleri kullanılarak yapılan meyve tanımlaması, yanlış pozitif sonuçlara (yeşil domatesler ve yapraklar arasında) yol açabildiği belirtilmiştir. Bu yaklaşım, semptom tanıma için ilginç uygulamalara neden olabileceği düşünülmektedir. Meyve veya yaprakları renkten bağımsız olarak tanımlayabilen bir makine görme teknolojisi, diğer tespit araçlarının uygulanacağı (yani, hiperspektral görüntüleme) veya daha ileri filtrelerin uygulanacağı bir görüntünün belirli bir bölümünü tespit edebilir, ayrıca, eğer pürüzsüzlük ve renk, meyveyi tanımlamada anahtar faktörlerse, homojen alanlardaki kırılmalar semptom uyarıları olarak kullanılması gerektiği önerilmektedir (Ampatzidis vd., 2017).

Alternaria solani'nin neden olduğu erken yanıklık semptomları siyah, çukurlaşmış alanlara ve kadifemsi bir görünüme neden olurken, *Colletotrichum coccodes* ise küçük, çökük lekelerle kendini göstermekte ve antraknoz, domates etinde çürümeye yol açmaktadır. Bakteriyel leke (*Pseudomonas syringae* pv. *tomato*) ve bakteriyel nokta (*Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*) yükselmiş kahverengi lekeler veya sivilce benzeri noktalarla karakterize edilmektedir. Bakteriyel kanser (*Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*) ise, yükselmiş siyah ve beyaz lekeler oluşturmaktadır. Makine görme teknolojisi cilt pürüzsüzlüğü ve renk değişiklikleri bu nedenle, meyve çatlaması, çirkin meyve veya güneş yanığı gibi fizyolojik bozuklukları da gösterebilir. Bu mantar, bakteri veya bozuklukların neden olduğu pürüzsüzlük ve renk değişiklikleri, aynı özellik için meyve olarak tanımlanan alan içinde doğru bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Böylece robot, sadece

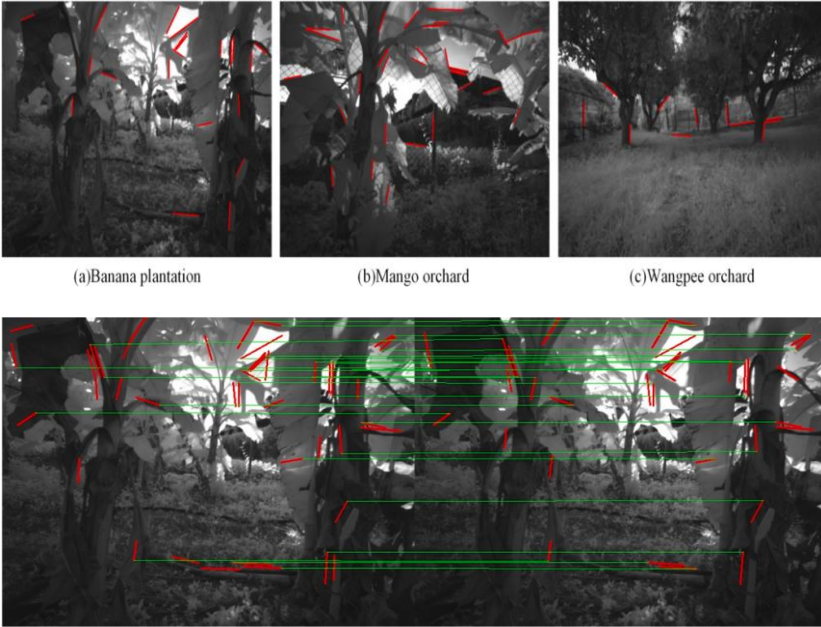
semptomsuz domatesleri hasat ederek hasat süresini kısaltmış olabilecektir. Geç yanıklık (*Phytophthora infestans*) gibi meyvede esas olarak renk değişikliklerine (örneğin, kahverengi lekeler) neden olan diğer biyotik stresler veya lekeli olgunlaşma gibi fizyolojik bozukluklar, meyve kabuğunun pürüzsüzlüğü üzerinde düşük etkiye sahip olmaları nedeniyle ayırt edilmesi daha zordur. Robot potansiyelini entegre etmek için, 350–2500 nm spektral aralıkta 1 nm'den daha az bir çözünürlükle çok fazla bilgi sağlayan hiperspektral teknikler gibi ek sensörler geliştirilmelidir (Mahlein vd., 2012). Bu teknikler, hiperspektral görüntüden elde edilen bilginin uzaysal X ve Y eksenlerine ve spektral Z eksenine dayanması, sinyal nesne etkileşiminin ayrıntılı ve tahsis edilmiş bir yorumunu oluşturması nedeniyle bitki patolojisinde yüksek potansiyel göstermektedir (Bock vd., 2010). Zhang ve ark. (Zhang vd., 2003), *P. infestans* ile enfekte olan domatesleri gövde bozukluğu ile tanımlayabilmişlerdir. Meyve hastalıklarına uygulamalar oldukça nadirdir, ancak Qin ve ark. (Qin vd., 2009) turunçgil kanserini tanıyabilen bir hiperspektral yöntem geliştirmişlerdir. Bu sınıftaki tekniklerin sağladığı veriler, robotik meyve tanıma performanslarını entegre edilerek, etkili bir robot patoloğunun oluşturulabileceği tespit edilmiştir. Robotik ve bitkiler arasındaki ilerleyici etkileşim, sensörlerin, aktüatörlerin ve mekatroniğin gelişimiyle hızla artmaktadır, sosyal ve çevresel sürdürülebilirlik sorunları açısından da değerlendirilmelidir. Tarımsal robotik sistemler ve araçlar, tehlikeli maddeler ve kimyasallar kullanabilir, bunların atıkları hem maliyetleri hem de çevresel etkiyi artırabileceği düşünülmektedir (Williams, 2004; Luvisi, 2016). Verimli robotik çözümlerin tanıtılması ve yaygın kullanımına yönelik diğer zorluklar, post-endüstriyel bir toplumda iş gücü otomasyonunun sosyal boyutları da da dikkate alınması gereken diğer bir konudur. Ellen Frederick, (2016), ülkeler arasındaki teknolojinin tarihsel etkilerindeki farklılıklar (Nomura, 2015), robotların, yapay zekanın, bulut tabanlı hesaplamaların ve büyük verinin işsizlik üzerindeki potansiyel etkisi incelenmelidir. İnsan-robot iş birliği (ko-robot), işçiler ve makineler arasındaki iş bölümünü, geçmiş yıllarda olduğu gibi dönüştürme potansiyeline sahiptir. Son yıllarda fabrikalarda insan işçilerle iş birliği yapan robotlar; güvenlik çitlerinin arkasında izole edilmiş robotlar ve robotik sistemler, üretim hatlarında insanlarla iş birliği yapacak kadar akıllı hale gelmiştir, bu da daha fazla verimlilik ve esneklik sunmaktadır. Tarım ve

açık alan ortamlarında, verimli ko-robot sistemlerinin geliştirilmesi daha zorlu ve talepkardır ve daha fazla araştırma gerektirmektedir (Ampatzidis vd., 2017).

2.7. Meyve Bahçelerinde Akıllı Sistemlerin Kullanılması ile Verim Tahmini, Hasat İşlemlerinde Otomasyon ve Robotik Sistemlerin Kullanılması

Son günlerde akıllı meyve bahçesi yönetiminde görüntü tabanlı mobil robotlarının, navigasyon ve hasat senaryolarının konumlandırılması yaygınlaşmaya başlamıştır. Algılama, bilişim, algoritmalar ve robotik alanındaki teknolojik ilerlemeler, ticari tarımda verimliliği ve bitki biliminde etkinliği artırma potansiyeline sahiptir. Çiftçiler için mobil veri toplama sistemleri, karar verme ve yönetim süreçlerine yardımcı olacak ayrıntılı bilgiler sağlayabilmekte ve bu bilgiler, belirli eylemleri önerme kapasitesine sahip karar destek yazılımlarına entegre edilebilmektedir. Sonunda, bu eylemler mobil tarla robotları teknolojisi kullanılarak doğrudan uygulanabilir hale gelecektir. Bitki bilimciler için ise, mobil veri sistemleri, sahada yüksek verimli bitki fenomikleri sağlamaktadır. Bu durum, halihazırda sahada veri toplamak için manuel iş gücünün sınırlayıcı bir faktör olduğu durumlarda, sahada deney yapma kapasitesini artıracak ve genetik çalışmalar yoluyla da verim artışlarına ve iyileştirmelere yol açacaktır. Bahçe ortamlarındaki engebeli arazi ve dokusal özelliklerin eksikliği nedeniyle, Görsel-Ataletsel Odometri'nin (VIO) doğruluğu bozulmakta ve bu da pratik uygulama gereksinimlerini zorlaştırmaktadır. Bu sorunları ele almak amacıyla, Çin'de yürütülen bir çalışmada; VINS-Fizyon'u geliştirerek, nokta-çizgi özelliklere dayalı stereo görsel-ataletsel konumlandırma algoritma çalışmaları yapılmaktadır. Algoritma, odometrisinin ön ucuna çizgi özelliklerini algılamak için çizgi özellik dedektörü algoritması (LSD) entegre edilerek, bahçe ortamlarındaki yetersiz etkin özellik noktaları ve düşük kaliteli özellik eşleştirme sorunları çözülmeye çalışılmıştır. Aynı zamanda, çizgi özellikleri için uzunluk filtreleme ve özellik eşleştirme stratejileri tanıtılarak, engebeli arazi nedeniyle düşük kaliteli çizgi özellikleri ve eşleşmeler ortadan kaldırılmakta ve böylece konumlandırma doğruluğu üzerindeki olumsuz etkiler azaltılmaya çalışılmıştır. Ağaç gövdeleri ve yapraklar gibi doku eksikliği olan alanlarda kararlı özellik noktalarının azlığı nedeniyle anahtar kare fazlalığını önlemek için, nokta-çizgi özelliklerine dayalı bir anahtar kare kriter optimizasyon yöntemi tasarlanmıştır.

Robotlarda arka uç optimizasyonu, nokta-çizgi özelliklerinin, ön bilgileri ve IMU'nun kalıntılarını içeren maliyet fonksiyonunu en aza indirerek, mobil robotların konumlandırma doğruluğunu nihai olarak artırmaktadır. Bu çalışmada önerilen algoritmanın etkinliğini ve pratikliğini doğrulamak için, muz plantasyonu, mango bahçesi ve wampee bahçesi gibi gerçek bahçe ortamlarını içeren bir veri seti oluşturulmuştur. Rosario, EuRoC kamu veri setleri ve oluşturulan bahçe veri setiklerinden yararlanılarak konumlandırma deneyleri yapılmıştır. Araştırma sonucunda önerilen algoritmanın Rosario veri setinde %79.2, EuRoC veri setinde %23.3 oranında daha düşük ATE-RMSE değerlerine ulaşıldığı tespit edilmiştir. Muz, mango ve wampee bahçesi için sırasıyla 0.091 m, 0.107 m ve 0.093 m ATE-RMSE değerleri elde edilmiş ve bu değerler, VINS-füzyon'a kıyasla sırasıyla %22.9, %7.6 ve %27.3 görülmüştür. Çalışmada oluşturulan bahçe veri setinde, algoritmanın ön ucunun ortalama çerçeve işleme süresi 56.3 ms, arka uç için ise 31 ms olup, pratik konumlandırma gereksinimlerini karşılamaktadır. Önerilen algoritma, bahçe mobil robotlarının konumlandırma doğruluğunu etkili bir şekilde artırarak, bahçe robot sistemlerinde otonom navigasyon için uygulanabilir bir çözüm sunduğunu bildirmişlerdir (Xu vd., 2024).



Şekil 14. Bahçedeki çizgi özelliklerinin tespiti (Xu vd., 2024).

Önerilen algoritmanın gerçek bir bahçe ortamındaki yerelleştirme performansını doğrulamak amacıyla, bir bahçe veri seti geliştirilmiştir. Bu veri seti, Çin'in Guangdong Eyaleti Tianhe Bölgesi'nde bulunan Güney Çin Tarım Üniversitesi kampüsü içinde toplanmıştır (113.36°E, 23.16°N), Bu veri seti, muz plantasyonu, mango bahçesi ve wampee bahçesi gibi üç tür bahçe sahnesini içermektedir. Veri setinde, bu üç bahçe sahnesinin her biri için stereo görüntü akışları (30 Hz), IMU verileri (200 Hz) ve yer doğruluğu bilgisi bulunmaktadır. Muz plantasyonu, yoğun dikim ve belirgin yaprak örtüsüyle karakterize edilmiş, mango bahçesi ise daha geniş ağaç aralıklarına sahip uzun meyve ağaçlarından oluşmaktadır. Wampee bahçesi, kısa meyve ağaçları ve çok sayıda dala sahiptir. Bu bahçe ortamlarının çeşitliliği; veri setinin sahne çeşitliliğini zenginleştirirken, bahçe topografyasındaki ve ağaç morfolojisindeki farklılıklar, önerilen algoritmanın yerelleştirilmesi, sağlamlığını ve doğruluğunu test etmede önemli katkı sağladığı belirtilmiştir (Xu vd., 2024).

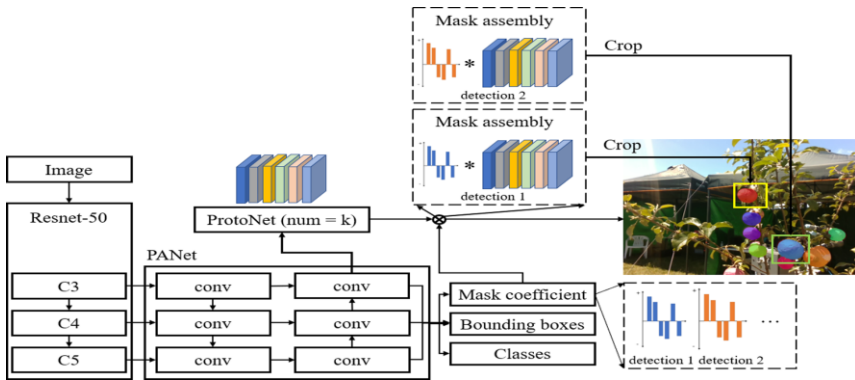
Avustralyada 2.3 hektarlık ticari bir badem bahçesinde yürütülen bir çalışmada, Shrimp yer aracı robotu kullanılarak, iki yıl boyunca yılda üç kez (çiçeklenme, meyve tutumu, hasat öncesi) bahçe taranmıştır. Hasat sırasında, bireysel ağaçlar el tipi dijital bir kamera ile fotoğraflanmış, ardından seçici hasat yapılarak tartılmıştır. Robotun renkli görüntüleri ve lidar verileri ile elle çekilen fotoğraflar, her bir ağacın gölgelik hacmi ve çiçek ve meyve yoğunluğuna ilişkin ölçümleri elde etmek için özel algoritmalar ve yazılımlar kullanılarak işlenmiştir. Elde edilen bu ölçümler, seçici hasat ağırlıkları ile karşılaştırılarak performans değerlendirilmiştir. Bu bölümde, sistem ve sensörler, veri toplama protokolü ve verilerin nasıl işlendiği anlatılmaktadır. Bu çalışmada bir 2D çizgi tarama lidar (SICK LMS-291) ve bir makine görüş kamerası (Point Grey Ladybug2, tek iki mega piksel kamera, yalnızca doğal aydınlatma ile), her ikisi de aracın sağ tarafına bakarak araç ilerledikçe ağaçları tarama yapabilmektedir. Konumlandırma için gerçek zamanlı kinematik küresel konumlandırma atalet navigasyon sistemi (Novatel SPAN RTK GPS/INS) kullanılmıştır. Araca, pasif toprak gama emisyonlarını kaydetmek için bir gama radyometre (RS700) monte edilmiş ve görünür toprak elektrik iletkenliğini (ECa) ölçmek için bir elektromanyetik indüksiyon aracı (EM38) aracın arkasından çekilmiştir. Sistem, veri kaydı için bir bilgisayara aktarılmaktadır ve veriler Avustralya'nın Victoria eyaletindeki Badem

ağaçlarından elde edilmiştir. Alan, 7.35 m aralıklarla yerleştirilmiş 10 sıra ve yaklaşık 313.5 m uzunluğundadır; her sırada 5.5 m aralıklarla yerleştirilmiş 58 ağaç bulunmaktadır. Her ikinci sıradaki ana çeşit Nonpareil olup, aralarında Carmel ve Monterey tozlayıcı sıraları bulunmaktadır. Veriler, 2014 ve 2015 hasat sezonları için hem tam çiçeklenme döneminde (çiftlik yöneticisi tarafından tahmin edildiği gibi), hem meyve tutumu döneminde hem de hasat öncesi toplanmıştır. Ardışık günlerde çeşitli veri setleri alınarak tekrarlanabilirlik değerlendirilmiştir. Her bir veri setini elde etmek için, aracın uzaktan operatör tarafından sıraların yukarı ve aşağı doğru sürülmesi sırasında, tüm sensörlerden ham veriler kesintisiz olarak kaydedilmiştir. Sensörler, aracın bir tarafına bakmaktadır, bu nedenle her erişim sırası, ağaçların her iki tarafını taramak için her iki yönde de geçilmiştir. İlk yıl, araç birinci sıranın yukarisına sürülmüş, sonunda bir dönüş yaparak aynı sıranın aşağısına geri dönmüştür. İkinci yılda, araç ileri ve geri alternan bir desenle sürülmüş, yarısı sabah batıya, yarısı ise öğleden sonra doğuya bakarak sürülmüş, böylece her zaman kameranın arkasında güneş bulunarak birinci yılda verileri etkileyen lens parlamaları ve doygunluk önlenmiştir. Her bir tarama için toplam mesafe 6.2 km olup, ortalama 1.5 saat sürmüştür.

Hasat zamanında, ilk yıl 30 bireysel ağaç (11 Nonpareil, 9 Monterey, 10 Carmel), ikinci yıl ise 50 ağaç (20 ek Nonpareil) seçici olarak hasat edilmiştir. İkinci yıl, 50 numune ağaçta badem tespit performansını karşılaştırmak için daha yüksek çözünürlüklü bir görüntü, aydınlatma koşullarının manuel kontrolü ve ağaç başına birden çok perspektif sağlamak amacıyla el tipi bir kamera (Canon EOS-60D, 17.9 mega piksel2) kullanılmıştır. Tutarlı fotoğraf çekimi için basit bir protokol kullanılmış olup, her ağacın dört fotoğrafı, kameradan ağaca olan mesafeyi en üst düzeye çıkarmak için çapraz pozisyonlardan ve komşu ağaçların örtüşmesini önleyerek çekilmiştir. Tüm fotoğraflar, kameranın arkasında güneş olacak şekilde çekilmiş olup, bu durum sabah batıya, akşam doğuya bakan fotoğraflar çekilerek sağlanmıştır. Üç boyutlu büyük ağaç taçları, meyve tutumu ve özellikle hasattan önceki dönemde yapraklanma başladıktan sonra yoğun bir şekilde örtülmekte, bu nedenle birçok badem gözden gizlenmektedir. Gelecek çalışmalar, her bir ağaçtan geçerken birden fazla bakış açısından otomatik olarak görüntü yakalamayı hesaplaması gerekecektir. Meyve boyutunu tespit etmek için daha yüksek çözünürlüklü makine görüşü kameralara ihtiyaç duyulduğu, görünür

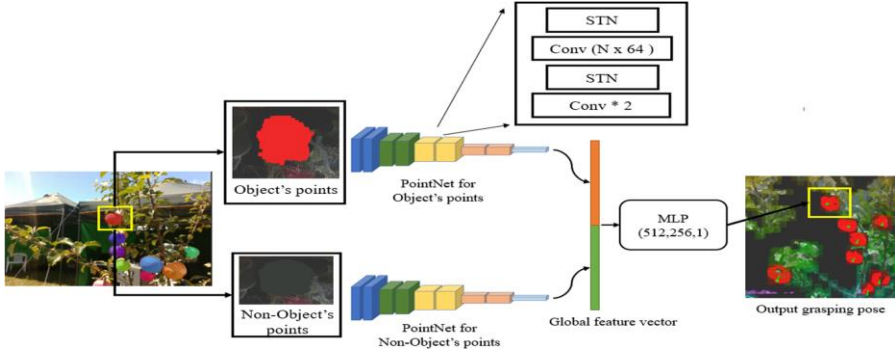
meyve boyutu varyasyonu için güçlü strobe ışıkları, diyaframın azaltılmasına ve odak derinliğinin artırılmasına olanak tanıyarak bu durumu telafi etmek için yeterli aydınlatmayı sağlanması gerektiği belirtilmiştir. Alternatif bir yaklaşım, makine görüşü için optimize edilmiş şekilde bahçeyi veya ağaç yapısını (örneğin, daha düz bir kafes tarzı geometrisi) değiştirmek olabilir, ancak yazarların bilgisine göre bademlerin ticari üretimi için kafesler şu anda kullanılmamaktadır. GPS sinyali engellenmesi sorunlarının çözümü için daha fazla detaylı çalışmalar yapılması öngörülmektedir (Underwood, 2016).

Robotik hasat, tarım endüstrisinin son gelişmelerinde umut verici bir tekniktir. Doğal meyve bahçelerinde hasat öncesinde robotların meyveleri tanıması ve konumlandırması hayati derecede öneme sahiptir. Ancak, meyve bahçelerindeki hasat için robotlarının çalışma alanı karmaşıktır: meyveler birçok meyve dallar ve yapraklar tarafından gizlenmiştir. Her meyve için manipülasyondan önce uygun bir kavrama pozisyonunun tahmin edilmesi önemlidir.



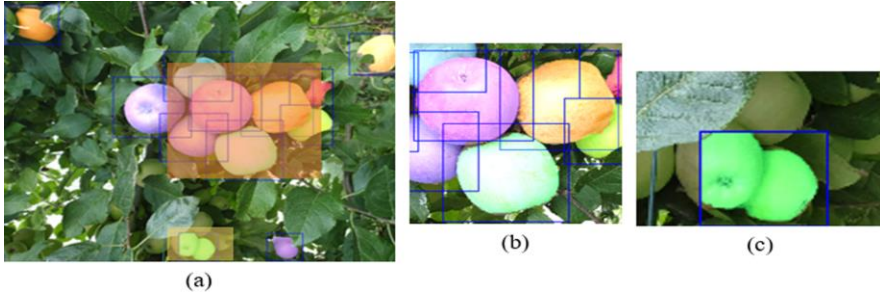
Şekil 15. RGB görüntülerden ROI (ilgi bölgesi) çıkarabilen 2D bölge öneri ağı mimarisi. Bu mimari, ResNet-50 + FPN (PANet) üzerine kuruludur (Wang vd., 2022).

Bu çalışmada, farkındalığına bir geometri ağı olan A3N kullanılmış (Şekil 16), bu ağ, RGB-D kameradan (Şekil 15) alınan renk ve geometrik duysal verileri kullanarak uçtan uca örnek segmentasyonu ve kavrama tahmini yaparak, robotik manipülasyonu desteklemek amacıyla çalışma alanı geometrisi modellemesi uygulanmıştır.



Şekil 16. Kavrama tahmin ağı çalışma çerçevesi: hem nesnelerin hem de nesne olmayan noktaların ayrı alt ağda kullanımı (Wang vd., 2022).

Ayrıca, bahçedeki çevrelerde iki tüketici seviyesindeki RGB-D kamerayla meyvelerin doğru bir şekilde tanınmasını ve toplanmasını sağlayan globalden lokale tarama stratejisi uygulanmıştır.



Şekil 17. (a) Örnek segmentasyon sonuçlarındaki hatalar: (b) maske sızıntısı ve (c) hatalı nesne konumlandırma (Wang vd., 2022).

Deney sonuçları, A3N'nin örnek segmentasyonu (Şekil 17) doğruluğunda 0.873 elde ettiğini ve ortalama hesaplama süresinin 35 ms bildirilmiştir. Kavrama tahmininin ortalama doğruluğu merkezde 0.61 cm ve açısal olarak 4.8° olarak belirlenmiştir. Genel olarak, globalden lokale tarama ve A3N'yi kullanan robotik sistem, tarla hasadı deneylerinde %70 ile %85 arasında değişen bir hasat başarı oranına ulaşıldığı belirtilmiştir.

Sonuç olarak meyve yetiştiriciliğinde işgücü maliyetlerinin sürekli artmasıyla birlikte, meyve toplama konusunda robot teknolojisi yakın gelecekte umut verici bir teknoloji haline gelmiştir. Ancak, yaygın meyve bahçelerinde robotik meyve toplama, geleneksel tarım yöntemlerinden daha zordur. Çünkü

çoğu meyve bahçesi oldukça düzensiz ve karmaşık bir işlemdir. Bu nedenle, en son robotik meyve toplama sistemleri, yüksek Serbestlik Derecesine (DoF) sahip robot kolları üzerinde bir uç efektör kullanarak meyveleri bitkilerden ayırmaktadır. Bu amaçla son birkaç yılda, görsel algılama için birçok yöntem geliştirilmiştir. Hem geleneksel hem de derin öğrenme tabanlı yöntemler, RGB görüntüler nokta bulutları gibi sensör verilerini kullanarak meyveleri tespit etmek, segmentasyon yapmak ve konumlandırmak için kullanılmaktadır. Çoğu çalışma, meyvelerin yaklaşma yönelimini tahmin etmeyi dikkate almamaktadır. Yapılan çalışmalar göre meyve hasadında yeni bir uçtan uca geometri bilgilendirilmiş A3N ağı, meyve segmentasyonu ve kavrama pozisyonu tahmini yapma üzere bölge öneri ve kavrama tahmin ağlarını içeren bir model olarak önerilmektedir. Bu çerçevede, meyve tespiti, kavrama pozisyonu tahmini ve çalışma alanı modelleme aşamalarını içeren bir çerçeve önerilmekte olup bu çerçeve, meyve bahçelerinde doğru ve sağlam robotik hasat işlemleri için doğrudan kullanılabilir niteliktedir. Bilindiği üzere bu tür programların daha işlevsel duruma getirilebilmesi için daha sofistike çalışmalar devam etmektedir (Wang vd., 2022).

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Küresel olarak, tarım sektörü giderek daha kısa sürede daha yüksek üretim taleplerinde bulunmakta, bu nedenle dış kaynaklara bağımlı olunmayan dönemlerde yenilenebilir enerji sistemleri gerekli hale gelmektedir. Bu doğrultuda, otomasyon, daha fazla operasyon trafiği yaratan cihazlar ve teknolojilerin kullanımıyla süreç iyileştirmeleri sağlamaktadır. Tarımda su ve enerji verimliliğinin artırılması, sınırlı tatlı su kaynakları ve yenilenemez enerji kaynakları üzerindeki baskıyı hafifletebilir. Sürdürülebilir biyo-mikroekonomi perspektifinden bakıldığında, arazi kullanım değişikliklerini minimize etmek ve mahsul seçiminde kaynak kullanımını maksimize etmek önemlidir (Valencia-Ramos vd., 2022). Modern meyve ağaçları bahçeleri ve bağlar, son derece dinamik ve rastlantısal doğal, finansal ve toplumsal güçlere maruz kalan karmaşık üretim sistemleridir ve daha az kaynak kullanarak, çevresel etkiyi azaltarak artan üretim talepleriyle karşı karşıyadır. Bu koşullar altında bahçelerin ve bağların başarılı bir şekilde işletilmesi, en son otomasyon teknolojilerinin dikkatli ve kapsamlı bir şekilde kullanılması ve gelecekteki operasyonların (örneğin, yeniden dikim sırasında eğitim sistemleri) dikkatli bir

şekilde planlanması ile mümkündür; bu, ortaya çıkan teknolojiler ve gelecekteki trendler hakkında bilgi sahibi olmayı gerektirir. Ayrıca, mevcut otomasyon teknolojilerinin geliştirilmesi ve yenilikçi gelecek sistemlerinin tasarlanması, ağaç ve asma biyolojik üretim sistemlerinin, bunların yönetim ihtiyaçlarının ve mevcut otomasyon sistemlerinin yeteneklerinin ve sınırlamalarının anlaşılmasını gerektirir. Otomasyon, kaynak tüketiminin düşük olduğu başlangıç noktalarına sahip olduğunda ve Nesnelerin İnterneti (IoT) gibi teknolojilerin temiz ve yenilenebilir enerji üretme kolaylığından yararlandığında, rustik mahsullere kıyasla tarım sektörünün farklı yönlerinde yenilenme fırsatları sunmaktadır. Kalite ve otomasyon yetenekleri açısından sistemin, geleneksel üretim sistemlerinden üstün olduğu rapor edilmektedir. Kaynak tüketimi açısından, kapalı alan tarımının su ve pestisit kullanımı konusunda oldukça önemli avantajları vardır. Ancak, belirgin bir dezavantaj yüksek enerji tüketimidir. Örneğin, yenilenebilir enerji kullanımı yoluyla tarım lehine ortaya çıkan farklı potansiyel ve uygulama alanları bulunmaktadır. Bu bağlamda, otomatik bir sistem toprak nemine bağlıdır ve enerji ve işletme maliyetlerini tasarruf sağlamak için sulama sıklığı ve dozlarının kontrolünde daha iyi bir kontrol sağlar. Ayrıca, ücretsiz yazılım yönetimi konusunda bilgi sahibi olmak gereklidir, çünkü bu yazılımlar sürekli değişmektedir ve IoT teknolojilerinin yeterli bilgi olmadan otomasyon için kullanımı hem ham madde üretiminde hem de ekonomik kayıplar ve tedarikçiler açısından bahçelere zarar verebilir ve gereksiz ekipman alımına yol açabilir. İşte bu kitap bölümünde mühendislik veya bahçecilik geçmişi olmayan okuyucuların da ilgisini çekebilecek bir şekilde bu hedeflere ulaşmak için gerekli bilgiyi sağlamayı amaçlamaktadır (Vougioukas ve Zhang, 2023).

Sonuç olarak, teknolojisi, hızla gelişen ve çeşitli alanlarda dönüştürücü etkiler yaratan bir aşamadır. Yapay zekâ (AI) ve makine öğrenimi (ML), Gelişmiş algoritmalar, büyük veri analitiği ile birleştirilerek daha doğru tahminler ve kararlar vermeye olanak tanıyor. Nesnelerin İnterneti (IoT), 5G ve İletişim Teknolojileri, Robotik ve Otomasyon, Robotik ve Otomasyon, Büyük Veri ve Bulut Bilişim, Biyoteknoloji ve Genetik Mühendisliği gibi birçok yenilikler ve gelişmeler birebirini izlemektedir. Bu bağlamda tarımsal üretimin çok önemli bir parçası olan meyvecilikte bu gelişmelerden nasibini almaktadır. Bu nedenle bu kitap bölümünde özellikle teknolojiye bu gelişmelerin meyve yetiştiriciliğindeki yansımaları anlatılmaya çalışılmıştır. Özetle meyve

yetiştiriciliğinde teknolojik gelişmeler, üretim sürecinin her aşamasını daha verimli, sürdürülebilir ve ekonomik hale getirmektedir. Otomasyon, yapay zeka, IoT ve hassas tarım gibi teknolojiler, iş gücü maliyetlerini azaltırken kaliteyi artırmakta, yenilenebilir enerji ve biyoteknoloji kullanımını ise çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir. Bu yenilikler, gelecekte meyve yetiştiriciliğinde verimliliği ve dayanıklılığı artıracak önemli katkılar sunmaktadır.

KAYNAKÇA

- Abate, T., van Huis, A., ve Ampofo, J. K. O. (2000). Pest management strategies in traditional agriculture: an African perspective. *Annual review of entomology*, 45(1), 631-659.
- Abioye, E. A., Abidin, M. S. Z., Mahmud, M. S. A., Buyamin, S., Ishak, M. H. I., Abd Rahman, M. K. I., ve Ramli, M. S. A. (2020). A review on monitoring and advanced control strategies for precision irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173, 105441.
- Almryad, A. S., ve Kutucu, H. (2020). Automatic identification for field butterflies by convolutional neural networks. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 23(1), 189-195.
- Ampatzidis, Y., De Bellis, L., ve Luvisi, A. (2017). iPathology: robotic applications and management of plants and plant diseases. *Sustainability*, 9(6), 1010.
- Angelis, I., Zervopoulos, A., Alvanou, A. G., Vergis, S., Papamichail, A., Bezas, K., ve Oikonomou, K. (2022). Smart Agriculture: A Low-Cost Wireless Sensor Network Approach. In *Information and Communication Technologies for Agriculture—Theme I: Sensors* (pp. 139-172). Cham: Springer International Publishing
- Atzberger, C. (2013). Advances in remote sensing of agriculture: Context description, existing operational monitoring systems and major information needs. *Remote sensing*, 5(2), 949-981.
- Balafoutis, A. T., Beck, B., Fountas, S., Tsiropoulos, Z., Vangeyte, J., van der Wal, T., ve Pedersen, S. M. (2017). Smart farming technologies—description, taxonomy and economic impact. *Precision agriculture: Technology and economic perspectives*, 21-77.
- Bastías, R. M., ve Corelli-Grappadelli, L. (2012). Light quality management in fruit orchards: physiological and technological aspects. *Chilean journal of agricultural research*, 72(4), 574.
- Bechar, A., ve Vigneault, C. (2016). Agricultural robots for field operations: Concepts and components. *Biosystems Engineering*, 149, 94-111.
- Boumehez, F., Sahour, A., Bekhouche, A., Maamri, F., ve Djellab, H. (2024, April). Smart Irrigation System for Orchards Apple Trees based on Fuzzy Logic and WSNs. In *2024 IEEE International Conference on*

- Advanced Systems and Emergent Technologies (IC_ASET) (pp. 1-6). IEEE.
- Bock, C. H., Poole, G. H., Parker, P. E., ve Gottwald, T. R. (2010). Plant disease severity estimated visually, by digital photography and image analysis, and by hyperspectral imaging. *Critical reviews in plant sciences*, 29(2), 59-107.
- Bond W., Grundy A.C. (2001). Non-chemical weed management in organic farming systems. *Weed Research*, 41: 383–405.
- Blommers, L. H. (1994). Integrated pest management in European apple orchards. *Annual Review of Entomology*, 39(1), 213-241.
- Brown, S. Apple. (2012). In *Fruit Breeding, Handbook of Plant Breeding*; Badenes, M.L., Byrne, D.H., Eds.; Springer: Boston, MA, USA, pp. 329–367.
- Chappell, M., Dove, S. K., van Iersel, M. W., Thomas, P. A., ve Ruter, J. (2013). Implementation of wireless sensor networks for irrigation control in three container nurseries. *HortTechnology*, 23(6), 747-753.
- Chen, Y., Why, A., Batista, G., Mafra-Neto, A., ve Keogh, E. (2014). Flying insect classification with inexpensive sensors. *Journal of insect behavior*, 27, 657-677.
- Čirjak, D., Miklečić, I., Lemić, D., Kos, T., & Pajač Živković, I. (2022). Automatic pest monitoring systems in apple production under changing climatic conditions. *Horticulturae*, 8(6), 520.
- Coates, R. W., Delwiche, M. J., Broad, A., Holler, M., Evans, R., Oki, L., ve Dodge, L. (2012). Wireless sensor network for precision irrigation control in horticultural crops. In 2012 Dallas, Texas, July 29-August 1, 2012 (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Conesa, M. R., Conejero, W., Vera, J., ve Ruiz-Sánchez, M. C. (2021). Soil-based automated irrigation for a nectarine orchard in two water availability scenarios. *Irrigation Science*, 39(4), 421-439.
- Correll, N., Arechiga, N., Bolger, A., Bollini, M., Charrow, B., Clayton, A., ve Rus, D. (2010). Indoor robot gardening: design and implementation. *Intelligent Service Robotics*, 3, 219-232.
- Daly, J. (2021). Nursery ve garden stores in the US. IBISWorld, US Industry (NAICS) Report, 44422.

- Ding, W., ve Taylor, G. (2016). Automatic moth detection from trap images for pest management. *Computers and Electronics in Agriculture*, 123, 17-28.
- Du, L., Sun, Y., Chen, S., Feng, J., Zhao, Y., Yan, Z., ve Bian, Y. (2022). A novel object detection model based on faster R-CNN for spodoptera frugiperda according to feeding trace of corn leaves. *Agriculture*, 12(2), 248.
- Ellen Frederick, D. (2016). Libraries, data and the fourth industrial revolution (Data Deluge Column). *Library Hi Tech News*, 33(5), 9-12.
- Fraser, A. (2019). Land grab/data grab: precision agriculture and its new horizons. *The Journal of Peasant Studies*, 46(5), 893-912.
- Fresco, R., ve Ferrari, G. (2018). Enhancing precision agriculture by internet of things and cyber physical systems. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. Mem. Supplemento*, 125, 53-60.
- Fulcher, A., Rihn, A. L., Warner, L. A., LeBude, A. V., Schexnayder, S., Altland, J. E., ve Owen, J. S. (2023). Overcoming the Nursery Industry Labor Shortage: A Survey of Strategies to Adapt to a Reduced Workforce and Automation and Mechanization Technology Adoption Levels. *HortScience*, 58(12), 1513-1525.
- FAOSTAT, (2022). Food and Agriculture Organization of the United Nations.. Available online: <https://www.fao.org/faostat/en/#home> (accessed on 10 june 2022).
- Gamal, Y., Soltan, A., Said, L. A., Madian, A. H., ve Radwan, A. G. (2023). Smart irrigation systems: Overview. *IEEE Access.*, 1-13.
- Gaworski, M., Ciesielski, W., ve Kaminska, N. (2017). Effect of modern apple production technologies on development of family orchard farming with particular focus on Polish conditions. *Eng. Rural. Dev.*, 24, 408-414.
- Goldshstein, E., Cohen, Y., Hetzroni, A., Gazit, Y., Timar, D., Rosenfeld, L., ve Mizrach, A. (2017). Development of an automatic monitoring trap for Mediterranean fruit fly (*Ceratitidis capitata*) to optimize control applications frequency. *Computers and Electronics in Agriculture*, 139, 115-125.
- Gu, Z., Qi, Z., Burghate, R., Yuan, S., Jiao, X., ve Xu, J. (2020). Irrigation scheduling approaches and applications: A review. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 146(6), 04020007.

- Hall, C. R., ve Ingram, D. (2014). Production costs of field-grown *Cercis canadensis* L. 'Forest Pansy' identified during life cycle assessment analysis. *HortScience*, 49(5), 622-627.
- Hamami, L., ve Nassereddine, B. (2020). Application of wireless sensor networks in the field of irrigation: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 179, 105782.
- Hammermeister, A. M. (2016). Organic weed management in perennial fruits. *Scientia Horticulturae*, 208, 28-42.
- Hernández-Serna, A., ve Jiménez-Segura, L. F. (2014). Automatic identification of species with neural networks. *PeerJ*, 2, e563.
- Hiler, E. A., ve Clark, R. N. (1971). Stress day index to characterize effects of water stress on crop yields. *Transactions of the ASAE*, 14(4), 757-0761.
- Haule, J., ve Michael, K. (2014, July). Deployment of wireless sensor networks (WSN) in automated irrigation management and scheduling systems: a review. In *Proceedings of the 2nd Pan African international conference on science, computing and telecommunications (PACT 2014)* (pp. 86-91). IEEE.
- Holguin, G. A., Lehman, B. L., Hull, L. A., Jones, V. P., ve Park, J. (2010). Electronic traps for automated monitoring of insect populations. *IFAC Proceedings Volumes*, 43(26), 49-54.
- Hutsol, T., Kutyrev, A., Kiktev, N., ve Biliuk, M. (2023). Robotic technologies in horticulture: analysis and implementation prospects. *Agricultural Engineering*, 27(1), 113-133.
- Jawad, H. M., Nordin, R., Gharghan, S. K., Jawad, A. M., ve Ismail, M. (2017). Energy-efficient wireless sensor networks for precision agriculture: A review. *Sensors*, 17(8), 1781.
- Jiang, J. A., Tseng, C. L., Lu, F. M., Yang, E. C., Wu, Z. S., Chen, C. P., ve Liao, C. S. (2008). A GSM-based remote wireless automatic monitoring system for field information: A case study for ecological monitoring of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel). *Computers and electronics in agriculture*, 62(2), 243-259.
- Karkee, M., Adhikari, B., Amatya, S., ve Zhang, Q. (2014). Identification of pruning branches in tall spindle apple trees for automated pruning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 103, 127-135.

- Khalifa, N. E. M., Loey, M. O. H. A. M. E. D., ve Taha, M. H. N. (2020). Insect pests recognition based on deep transfer learning models. *J. Theor. Appl. Inf. Technol*, 98(1), 60-68.
- Kim, Y., Evans, R. G., ve Iversen, W. M. (2008). Remote sensing and control of an irrigation system using a distributed wireless sensor network. *IEEE transactions on instrumentation and measurement*, 57(7), 1379-1387.
- Kim, J., Chappell, M., Van Iersel, M. W., ve Lea-Cox, J. (2014). Wireless sensors networks for optimization of irrigation, production, and profit in ornamental production. *Acta Hort*, 1037, 643-649.
- Kohek, Š., Guid, N., Tojnko, S., Unuk, T., ve Kolmanič, S. (2015). EduAPPLE: Interactive teaching tool for apple tree crown formation. *HortTechnology*, 25(2), 238-246.
- Kolmanič, S., Strnad, D., Kohek, Š., Benes, B., Hirst, P., & Žalik, B. (2021). An algorithm for automatic dormant tree pruning. *Applied Soft Computing*, 99, 106931.
- Kumar, S. P., Tewari, V. K., Mehta, C. R., Chethan, C. R., Chandel, A., Pareek, C. M., ve Nare, B. (2022). Mechanical weed management technology to manage inter-and intra-row weeds in agroecosystems-A review.
- Lea-Cox, J. D., Zhao, C., Ross, D. S., Bilderback, T. E., Harris, J. R., Day, S. D., ve Ruter, J. M. (2010). A nursery and greenhouse online knowledge center: Learning opportunities for sustainable practice. *HortTechnology*, 20(3), 509-517.
- Lea-Cox, J. D., Bauerle, W. L., van Iersel, M. W., Kantor, G. F., Bauerle, T. L., Lichtenberg, E., ve Crawford, L. (2013). Advancing wireless sensor networks for irrigation management of ornamental crops: An overview. *HortTechnology*, 23(6), 717-724.
- Liaghat, S., ve Balasundram, S. K. (2010). A review: The role of remote sensing in precision agriculture. *American journal of agricultural and biological sciences*, 5(1), 50-55.
- Loures, L., Chamizo, A., Ferreira, P., Loures, A., Castanho, R., ve Panagopoulos, T. (2020). Assessing the effectiveness of precision agriculture management systems in mediterranean small farms. *Sustainability*, 12(9), 3765.
- Luvisi, A. (2016). Electronic identification technology for agriculture, plant, and food. A review. *Agronomy for sustainable development*, 36, 1-14.

- Mahlein, A. K., Oerke, E. C., Steiner, U., ve Dehne, H. W. (2012). Recent advances in sensing plant diseases for precision crop protection. *European Journal of Plant Pathology*, 133, 197-209.
- Mahmud, M. S., Zahid, A., ve Das, A. K. (2023). Sensing and automation technologies for ornamental nursery crop production: current status and future prospects. *Sensors*, 23(4), 1818.
- Majsztrik, J., Lichtenberg, E., ve Saavoss, M. (2013). Ornamental grower perceptions of wireless irrigation sensor networks: Results from a national survey. *HortTechnology*, 23(6), 775-782.
- Majsztrik, J. C., Fernandez, R. T., Fisher, P. R., Hitchcock, D. R., Lea-Cox, J., Owen, J. S., ... ve White, S. A. (2017). Water use and treatment in container-grown specialty crop production: A review. *Water, Air, ve Soil Pollution*, 228, 1-27.
- Medeiros, H., Kim, D., Sun, J., Seshadri, H., Akbar, S. A., Elfiky, N. M., & Park, J. (2017). Modeling dormant fruit trees for agricultural automation. *Journal of Field Robotics*, 34(7), 1203-1224.
- Meng J., Li L., Liu H., Li Y., Li C., Wu G., Yu X., Guo L., Cheng D., Muminov M.A., Liang X., Jiang G. (2016). Biodiversity management of organic orchard enhances both ecological and economic profitability. *PeerJ*, doi: 10.7717/peerj.2137.
- Merwin, I. A. (2003). Orchard-floor management systems. In *Apples: botany, production and uses* (pp. 303-318). Wallingford UK: CABI Publishing.
- Mia, M. D., Massetani, F., Murri, G., ve Neri, D. (2020). Sustainable alternatives to chemicals for weed control in the orchard. *Horticultural Science*, 47(1).
- Miranda, J. L., Gerardo, B. D., ve Tanguilig III, B. T. (2014). Pest detection and extraction using image processing techniques. *International journal of computer and communication engineering*, 3(3), 189-192.
- Miresmailli, S., Badulescu, D., Mahdavian, M., Zamar, R.H., Isman, M.B. (2009). Integrating plant chemical ecology, sensors and artificial intelligence for accurate pest monitoring. In *Tomatoes: Agricultural Procedures, Pathogen Interactions and Health Effects*; Aube, E.D., Poole, F.H., Eds.; Nova Science Publishers, Inc.: Hauppauge, NY, USA, pp. 1-17.

- Mohammed, M., Riad, K., ve Alqahtani, N. (2021). Efficient iot-based control for a smart subsurface irrigation system to enhance irrigation management of date palm. *Sensors*, 21(12), 3942.
- Moretti, C. L., Mattos, L. M., Calbo, A. G., ve Sargent, S. A. (2010). Climate changes and potential impacts on postharvest quality of fruit and vegetable crops: A review. *Food Research International*, 43(7), 1824-1832.
- Myeki, L. W., Temoso, O., ve Nyhodo, B. (2024). The evaluation of productivity in South African deciduous fruit industry: evidence from stone and pome fruits. *Journal of Productivity Analysis*, 61(3), 321-332.
- Neri, D., (2013). Organic soil management to prevent soil sickness during integrated fruit production. *Integrated production of fruit crops*, 91: 87–99.
- Nof, S. Y., Cheng, G. J., Weiner, A. M., Chen, X. W., Bechar, A., Jones, M. G., ve Zhang, X. C. (2013). Laser and photonic systems integration: Emerging innovations and framework for research and education. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 23(6), 483-516.
- Nomura, T. (2015). General republics' opinions on robot ethics: Comparison between Japan, the USA, Germany, and France. *New Frontiers in Human-Robot Interaction*, 11. Canterbury, UK, 21–22 April 2015.
- Pajač Živković, I., Miklečić, I., Kapuđija, D., Škorić, M., & Lemić, D. (2020). Učinkovitost „trapview“ sustava za automatsko praćenje jabukova savijača. *Fragmenta phytomedica*, 34(6), 1-15.
- Pandey, A. K., ve Mukherjee, A. (2022). A review on advances in IoT-based technologies for smart agricultural system. *Internet of Things and Analytics for Agriculture*, Volume 3, 29-44.
- Pierce, F. J., ve Nowak, P. (1999). Aspects of precision agriculture. *Advances in agronomy*, 67, 1-85.
- Preti, M., Verheggen, F., ve Angeli, S. (2021a). Insect pest monitoring with camera-equipped traps: strengths and limitations. *Journal of pest science*, 94(2), 203-217.
- Preti, M., Moretti, C., Scarton, G., Giannotta, G., ve Angeli, S. (2021b). Developing a smart trap prototype equipped with camera for tortricid pests remote monitoring. *Bulletin of insectology*, 74(1).

- Preti, M., Favaro, R., Knight, A. L., ve Angeli, S. (2021c). Remote monitoring of *Cydia pomonella* adults among an assemblage of nontargets in sex pheromone-kairomone-baited smart traps. *Pest management science*, 77(9), 4084-4090.
- Potamitis, I., Ganchev, T., ve Kontodimas, D. (2009). On automatic bioacoustic detection of pests: the cases of *Rhynchophorus ferrugineus* and *Sitophilus oryzae*. *Journal of economic entomology*, 102(4), 1681-1690.
- Potamitis, I., Eliopoulos, P., ve Rigakis, I. (2017). Automated remote insect surveillance at a global scale and the internet of things. *Robotics*, 6(3), 19.
- Qin, J., Burks, T. F., Ritenour, M. A., ve Bonn, W. G. (2009). Detection of citrus canker using hyperspectral reflectance imaging with spectral information divergence. *Journal of food engineering*, 93(2), 183-191.
- Radoglou-Grammatikis, P., Sarigiannidis, P., Lagkas, T., ve Moscholios, I. (2020). A compilation of UAV applications for precision agriculture. *Computer Networks*, 172, 107148.
- Ribeiro, J. P., Gaspar, P. D., Soares, V. N., & Caldeira, J. M. (2022). Computational simulation of an agricultural robotic rover for weed control and fallen fruit collection—algorithms for image detection and recognition and systems control, regulation, and command. *Electronics*, 11(5), 790.
- Rihn, A. L., Velandia, M., Warner, L. A., Fulcher, A., Schexnayder, S., ve LeBude, A. (2023). Factors correlated with the propensity to use automation and mechanization by the US nursery industry. *Agribusiness*, 39(1), 110-130.
- Rydhmer, K., Bick, E., Still, L., Strand, A., Luciano, R., Helmreich, S., ve Nikolajsen, T. (2022). Automating insect monitoring using unsupervised near-infrared sensors. *Scientific reports*, 12(1), 2603.
- Saiz-Rubio, V., ve Rovira-Más, F. (2020). From smart farming towards agriculture 5.0: A review on crop data management. *Agronomy*, 10(2), 207.
- Schrader, M. J., Smytheman, P., Beers, E. H., ve Khot, L. R. (2022). An open-source low-cost imaging system plug-in for pheromone traps aiding remote insect pest population monitoring in fruit crops. *Machines*, 10(1), 52.

- Sciarretta, A., ve Calabrese, P. (2019). Development of automated devices for the monitoring of insect pests. *Current Agriculture Research Journal*, 7(1).
- Skendžić, S., Zovko, M., Živković, I. P., Lešić, V., ve Lemić, D. (2021). The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects*, 12(5), 440.
- Shrestha, A., Kurtural, S. K., Fidelibus, M. W., Dervishian, G., ve Konduru, S. (2013). Efficacy and cost of cultivators, steam, or an organic herbicide for weed control in organic vineyards in the San Joaquin Valley of California. *HortTechnology*, 23(1), 99-108.
- Shi, R., Li, T., ve Yamaguchi, Y. (2020). An attribution-based pruning method for real-time mango detection with YOLO network. *Computers and electronics in agriculture*, 169, 105214.
- Shorette, K. (2012). Outcomes of global environmentalism: longitudinal and cross-national trends in chemical fertilizer and pesticide use. *Social Forces*, 91(1), 299-325.
- Schupp, J. R., Winzeler, H. E., Kon, T. M., Marini, R. P., Baugher, T. A., Kime, L. F., ve Schupp, M. A. (2017). A method for quantifying whole-tree pruning severity in mature tall spindle apple plantings. *HortScience*, 52(9), 1233-1240.
- Sinclair, T. R., Tanner, C. B., ve Bennett, J. M. (1984). Water-use efficiency in crop production. *Bioscience*, 34(1), 36-40.
- Stafford, J. V. (2000). Implementing precision agriculture in the 21st century. *Journal of agricultural engineering research*, 76(3), 267-275.
- Strnad, D., ve Kohek, Š. (2017). Novel discrete differential evolution methods for virtual tree pruning optimization. *Soft Computing*, 21(4), 981-993.
- Szegedy, C., Liu, W., Jia, Y., Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D., ve Rabinovich, A. (2015). Going deeper with convolutions. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 1-9).
- Tabb, A., ve Medeiros, H. (2018). Automatic segmentation of trees in dynamic outdoor environments. *Computers in Industry*, 98, 90-99.
- Tanigaki, K., Fujiura, T., Akase, A., ve Imagawa, J. (2008). Cherry-harvesting robot. *Computers and electronics in agriculture*, 63(1), 65-72.
- Talaviya, T., Shah, D., Patel, N., Yagnik, H., ve 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.
- Tzounis, A., Katsoulas, N., Bartzanas, T., ve Kittas, C. (2017). Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. *Biosystems engineering*, 164, 31-48.
- Underwood, J. P., Hung, C., Whelan, B., ve Sukkarieh, S. (2016). Mapping almond orchard canopy volume, flowers, fruit and yield using lidar and vision sensors. *Computers and electronics in agriculture*, 130, 83-96.
- USDA ERS. (2022a). Farm Labor. Available online: <https://www.ers.usda.gov/topics/farm-economy/farm-labor/> (Erişim Tarihi;10 Haziran 2022).
- USDA. U.S. (2022b). Horticulture in 2014 (Publication ACH12-33); United States Department of Agriculture: Beltsville, MD, USA. Available online: https://www.agcensus.usda.gov/Publications/2012/Online_Resources/Highlights/Horticulture/Census_of_Horticulture_Highlights.pdf (Erişim Tarihi;10 Haziran 2022).
- Xu, X., Liang, J., Li, J., Wu, G., Duan, J., Jin, M., ve Fu, H. (2024). Stereo visual-inertial localization algorithm for orchard robots based on point-line features. *Computers and Electronics in Agriculture*, 224, 109202.
- Valencia-Ramos, V. H., Reategui-Pelaez, W. L., Chumpitaz-Caycho, H. E., ve Cordova-Buiza, F. (2022, February). Automation system for the control of orchard cultivation based on renewable energy: A systematic review from 2016 to 2021. In *2021 4th International Conference on Recent Trends in Computer Science and Technology (ICRTCST)* (pp. 423-427). IEEE.
- Veiros, A. F. R. (2020). Sistema robótico terrestre para apoio a atividades de manutenção de solo em pomares de prunóideas (Doctoral dissertation), 89 sayfa (Verbiest, vd., 2021).
- Vougioukas, S. G., ve Zhang, Q. (Eds.). (2023). *Advanced Automation for Tree Fruit Orchards and Vineyards*. Springer.
- Wang, F., Wang, R., Xie, C., Zhang, J., Li, R., ve Liu, L. (2021). Convolutional neural network based automatic pest monitoring system using hand-held

- mobile image analysis towards non-site-specific wild environment. *Computers and Electronics in Agriculture*, 187, 106268.
- Wang, X., Kang, H., Zhou, H., Au, W., ve Chen, C. (2022). Geometry-aware fruit grasping estimation for robotic harvesting in apple orchards. *Computers and Electronics in Agriculture*, 193, 106716.
- Wheeler, W. D., Thomas, P., van Iersel, M., ve Chappell, M. (2018). Implementation of sensor-based automated irrigation in commercial floriculture production: A case study. *HortTechnology*, 28(6), 719-727.
- Wheeler, W. D., Chappell, M., van Iersel, M., ve Thomas, P. (2020). Implementation of soil moisture sensor based automated irrigation in woody ornamental production. *Journal of Environmental Horticulture*, 38(1), 1-7.
- Williams, E. (2004). Energy intensity of computer manufacturing: hybrid assessment combining process and economic input– output methods. *Environmental science & technology*, 38(22), 6166-6174.
- You, A., Parayil, N., Krishna, J. G., Bhattarai, U., Sapkota, R., Ahmed, D., ve Davidson, J. R. (2022). An autonomous robot for pruning modern, planar fruit trees. *arXiv preprint arXiv:2206.07201*.
- Zhang, M., Qin, Z., Liu, X., ve Ustin, S. L. (2003). Detection of stress in tomatoes induced by late blight disease in California, USA, using hyperspectral remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4(4), 295-310.
- Zhang, X., Yang, Y. H., Han, Z., Wang, H., ve Gao, C. (2013). Object class detection: A survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 46(1), 1-53.
- Zhang, X., Li, H., Dai, M., Ma, W., ve Quan, L. (2014). Data-driven synthetic modeling of trees. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 20(9), 1214-1226.

BÖLÜM 4

YARI KURAK İKLİM KOŞULLARINDA NOHUTUN (*Cicer arietinum* L.) BİTKİ SU TÜKETİMİNİN BELİRLENMESİ

Prof. Dr. Ali Beyhan UÇAK¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13684831>

¹ Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye. abucak@siirt.edu.tr, ORCID No: 0000000343442848

GİRİŞ

Nohut, Baklagiller ailesinin protein yönünden en zengin üyesidir. Dengeli ve sağlıklı beslenme söz konusu olduğunda, akla gelen ilk gıdalar arasında olan nohut, vücudun protein ihtiyacını fazlasıyla karşılamasının yanı sıra, içinde bulunan vitaminlerle de kış aylarında vücudu destekleyicidir. Soğuk havalarda, tüketimi vücut direnci artırır hatta yaşlanmaya karşı da mücadele eder. Çünkü E vitamini bakımından oldukça zengindir. Nohut (*Cicer arietinum* L.), binlerce yıldan bu yana tarımı yapılan ender bitkilerden biridir. Anavatanı olarak Türkiye'nin güney doğu bölgesi gösterilmektedir. Pek çok kaynağa göre, bu bölgede yaklaşık 7000-7500 yıl önce nohut yetiştirilmekteydi. Bugün artık Türkiye de dahil Dünyanın pek çok ülkesinde nohut tarımı yapılmaktadır (Mart ve ark., 2007; Bakhshi ve ark., 2007). Bugün Dünya nohut üretimine baktığımızda, üretimin Ortadoğu bölgesi ile Asya kıtasının güney batı bölgelerinde daha fazla yoğunlaştığını görebiliriz. FAO verilerine göre, 2002 yılında, Dünyada 9.893.672 hektarlık bir alanda toplam 7.807.891 ton nohut üretilmiş ve ortalama verim 78.9 kg/da olmuştur. Üretilen bu miktarın yaklaşık % 80-85'i sadece 4 ülke, Hindistan, Türkiye, Pakistan ve İran tarafından gerçekleştirilmiştir. Hindistan, 5.320.000 tonluk üretimiyle (% 68) Dünyada en fazla nohut üreten ülke konumundadır. Ülkemiz 590.000 ton olan üretimiyle (% 7.6) Hindistan'ın arkasından dünya ikinciliğini elinde bulundurmaktadır (Mart ve ark., 2003). Dünyada tarımı yapılan nohut çeşitleri, tane iriliğine, şekline ve rengine göre 2 ana grup altında toplanmışlardır. Bunlar, "Desi" tipi ve "Kabuli" tipi nohut çeşitleridir.

Desi, Hint dilinde lokal-yerel anlamına gelmektedir. Bu tip nohut çeşitleri, genellikle kısa boylu olup (15-60 cm arasında), yapraklarını oluşturan yaprakçıklar küçüktür. Kabuli tipindeki veya diğer bir tanımlamayla İspanyol tipi nohut çeşitleri, biraz daha uzun boylu (1 m' ye kadar boylanabilir) olup, yaprakçıkları daha büyüktür (Mart ve ark., 2007). Türkiye ise 2019 yılında 1.216 kg/ha ile 1.038 kg/ha olan dünya

ortalamasının üzerinde bir verime sahip olup, dünyada 21.sırada yer almıştır (Mart ve ark., 2003). Nohut bitkisi yemeklik tane baklagiller içerisinde adaptasyonu en yüksek tür olup, çok farklı çevre şartlarına kolaylıkla uyum sağlamaktadır. Ancak Güneydoğu gibi yarı kurak iklim kuşağı içerisinde yer alan bölgelerimizde yağış rejiminin düzenli olmaması, düşen yağışında homojen bir dağılım göstermemesi diğer tarla bitkilerinde olduğu gibi nohut yetiştiriciliğinde bir risk oluşturmakta ve sulama verimi etkileyen en önemli parametrelerden birisi olmaktadır.



Şekil 1. Nohutun vejetatif gelişme döneminin görüntüsü

Günümüzde bitkilerin sulanmasında yüzey sulama yöntemleri yetersiz kalmakta ve uygulanan sulama suyunun yalnızca 1/3'ü bitkiler tarafından terleme (transpirasyon) yoluyla kullanılmaktadır. Bu nedenle, bitkilerin her yöre ve her bitki için bitki su tüketimlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmaların yapılmasına gereksinim duyulmaktadır. Ulusal ve uluslararası kaynaklarda 'Evapotranspirasyon' olarak adlandırılan ve ETa simgesiyle gösterilen terimin Türkçe' deki karşılığı 'Bitki Su Tüketimi' olarak tanımlanmaktadır (Bayramoğlu, 2013; Uçak ve ark.,

2016). Bitki su tüketiminin (Evapotranspirasyon, ETa) saptanması; su kaynaklarının işletilmesi, sulama sistemlerinin planlanması ve sulama programlarının yapılabilmesi için temel bir ihtiyaçtır. Bitkisel üretimde bitki su tüketiminin dikkate alınması ve suyun ölçülü kullanılması hem verim hem de toprak-su kaynaklarının korunması açısından büyük önem taşımaktadır (Abteu ve Obeysekera, 1995; Güngör et al., 2004; Demir ve Meral, 2016). Günümüzde sulama programlarının oluşturulmasında dikkate alınan en önemli parametrelerden biriside bitki su tüketimidir. Bitki su tüketimi lizimetre sistemleri, tarla deneme parselleri ve bitki kök bölgesindeki nem azalmasının denetimi gibi metotlardan faydalanarak doğrudan hesaplanabilmektedir (Şarлак ve Bağçacı, 2020; Kırnak ve Gençoğlan, 2001). Sulama uygulamalarında bitki su tüketimin dikkate alınmadığı ve homojen bir su dağılımının yapılamadığı, salma sulama yönteminin kullanılması durumunda, bitki gelişiminde büyük bir öneme sahip olan demir mineralinin topraktan yıkanarak etkili kök bölgesi altında sızmasına sebep olmaktadır (Fulton, 2013; Jarvis Shean et al., 2018). Uygulamada sulama programı, genellikle yetiştirici deneyimlerine veya toprak su dengesi (iklim temelli yöntem) belirlenmesine dayanmaktadır. Sulama programı oluşturulmasında ve bitki su tüketiminin saptanmasında alternatif metotlardan birisi de, toprak suyunun ölçülmesi (gravimetrik) yöntemdir (Pardossi et al., 2009). Bitki su tüketimi ve sulama suyu ihtiyacı bitki, toprak ve iklim özelliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Tarımsal sulamada su kaynaklarının optimum bir randımanla kullanımı, bitki su tüketimini esas alan sulama programları hazırlanarak, bitkinin suya ihtiyacı olduğu zamanlarda sulama yapılması ve her sulamada bitkiye ihtiyacı kadar su verilmesi ile sağlanabilmektedir (Jensen ve Allen, 2016). Bitki su tüketim yöntemleri direkt olarak veya indirekt olarak iklim parametrelerine bağlı olarak birçok yöntemle tespit edilebilmektedir. Direkt yöntemler uzun bir zaman dilimi ve fazla miktarda iş gücü gerektirirken, indirekt yöntemler daha basit ve daha hızlı

uygulanabilmektedir (Kaya 2011). ETo'ı belirleyen etmenler iklim parametreleri ve hava verileridir. Örneğin FAO56 Penman-Monteith yöntemi değerlendirildiği bölgede çayır bitkileri ETo değeriyle oldukça sıkı şekilde benzerlik gösterdiği için, fiziksel olarak, fizyolojik ve aerodinamik parametrelerin her ikisini de açıkça birleştirmiş bir yöntem olması sebebiyle tek yöntem olarak tavsiye edilmektedir. Yöntemin ilk aşamasında birçok iklim verisi formüle dâhil olduğu için zorluklar yaşanmasına karşın araştırmadaki ilerlemeler ve bitkiler kıyas ürünlerini içeren geçerli tahminleri ile büyük çapta aşılmıştır (Allen et al., 1998). Bu çalışmanın amacı doğrudan bitki su tüketimini belirlemeye yarayan su dengesi eşitliği ve iklim parametrelerinden yararlanarak bitki su tüketimini tahmin etmeye yarayan Penman Monteith eşitliği (ETo miktarına bağlı olarak çeşitli bitkilerin ET miktarlarının tahmin edilmesinde kullanılan yöntem) FAO 56 modifikasyonu yöntemini kullanarak nohut bitkisinin Siirt iklim koşullarında bitki su tüketimini belirlemektir.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

2.1. Deneysel Çalışmalar

Damlama sulama yönteminin kullanıldığı deneme parsellerinde su dağıtımı, 4 atm çalışma basıncı ve 16 mm dış çapa sahip yumuşak PE lateral boru hatları kullanılarak sağlanmıştır. Araştırma alanının toprakları ağırdır ve 6 mm h-1 infiltrasyon oranına sahiptir. Her lateralde, sıralı tip basınç düzenleyicisi ve 1 atm çalışma basıncında 4 L h-1 akış hızına sahip damlaticılar kullanılmış ve aralarında 0.33 m boşluk bırakılmıştır. Bu nedenle, bitki damla sulama yöntemi ile sulama suyu sadece doğru miktarda uygulanmıştır. Herhangi bir sızma veya yüzey akışı meydana gelmesine izin verilmemiştir. Sırtta ekilecek tohum yatağı hazırlanmıştır. Her parsel, sıra arasında 40 cm boşluk, sıra üzeri 10 cm boşluk, parsellerin boyutları 6 m uzunluğunda olmak üzere 4 çizgiye sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Tohumun 4-5 cm derinlikte ekildiğinden emin olmak için 4 hatlı pnömatik tohum makinası

kullanılmıştır. Sulama konuları ve tekrarlar arasındaki etkileşimleri önlemek için 2 m tampon bölge oluşturulmuştur. Çalışmada, etkili kök derinliğinin (90 cm) nem içeriği her sulamadan önce gravimetrik yöntem kullanılarak tespit edilmiştir. Sulama uygulamalarında tam sulama (I100) ile kontrol parselinde 90 cm toprak derinliğinde eksik nemi tarla kapasitesine getirmek için kullanılmıştır. Bu amaçla, sulama öncesi her sulama derinliği için 90 cm'lik toprak profilinin 0-30, 30-60 ve 60-90 cm'lik tabakalarından alınan toprak numuneleri toplanmış ve kuru toprak ağırlık yüzdesi (%Pw) olarak belirlenmiştir. Her katman için belirlenen nem içeriği, denklem 1 kullanılarak derinlemesine nem içeriğine dönüştürülmüştür.

$$d=(Pw-PwAW)*As*D/100..... (1)$$

Burada; d derinliğinde toprak nem içeriğidir (mm), Pw tarla kapasitesi (%), PwAW; her katmanın nem içeriği (%), As, toprak birim ağırlığı (g/cm³) D katman derinliği (mm) olduğu gibi uygulanacak suyun hacmi aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır (Eş. (2)); Her tabaka için hesaplanan su içeriği nin eklenmesiyle, etkili kök derinliği için toplam su miktarı (dT) bulunmuştur (Eş. (2)).

$$dT=d(0-30)+ d(30-60) + d(60-90) (2)$$

Her sulama konusunun aylık ve mevsimsel evapotranspirasyon değerleri, büyüme mevsiminde hasadın başlangıcında ve sonunda ölçülen toprağın nem oranı (90 cm) su bütçe yöntemi ve nem içeriği değerleri kullanılarak hesaplanmıştır (Zelege ve Wade 2012).

Bitkinin su tüketiminin hesaplanmasında aşağıdaki su dengesi denklemi kullanılmıştır (Eq. (3)) (Zelege ve Wade, 2012).

$$ETa= P + I - Rf - Dp \pm \Delta S(Eş. (3)).$$

ETa: Evapotranspirasyon (mm),

P: yağış (mm),

I: sulama suyu miktarı (mm),

Rf: yüzey akışı (mm),

D_p : Derin infiltrasyon (mm) ve

ΔS (mm) kökündeki toprak nem değişimidir. Çalışmada tercih edilen damla akış hızı toprağın sızma hızından daha düşük olduğundan, yüzey akışı oluşmamıştır. Sulama suyu miktarı mevcut nemi saha kapasitesine getirmek için yeterli olduğu için derin bir sızma meydana gelmediği varsayılmıştır. Penman-Monteith yöntemine göre referans (kıyas) bitki su tüketiminin hesaplanması aşağıda formülde verilmiştir.

Bu yöntemde kıyas bitki su tüketimi;

$$ET = \frac{\delta}{\delta + \gamma^*} (R_n - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{\delta + \gamma^*} \frac{900}{T + 275} u_2 (e_a - e_d)$$

(1.3) eşitliği ile tahmin edilmektedir.

Bu eşitlikteki bazı terimlerin hesaplanmasında kullanılan eşitlikler ise aşağıda verilmiştir.

$$\delta = \frac{4098e_a}{(T+237.3)^2} \quad (1.4)$$

$$\lambda = 2.501 - 2.361 \times 10^{-3}T \quad (1.5)$$

$$\gamma = 0.0016286 \frac{P}{\lambda} \quad (1.6)$$

$$\gamma^* = \gamma(1 + 0.34u_2) \quad (1.7)$$

$$R_n = R_{n_s} - R_{nl} \quad (1.8)$$

$$R_{n_s} = 0,75R_s \quad (1.9)$$

$$R_{n_l} = 2,451f(T)f(e_d)f\left(\frac{n}{N}\right) \quad (1.10)$$

$$R_s = \left(0.25 + 0.50 \frac{n}{N}\right) R_a \quad (1.11)$$

$$e_d = e_a \frac{RH}{100} \quad (1.12)$$

$$u_2 = u_z \left(\frac{z}{z}\right)^{0.2} \quad (1.13)$$

Bu eşitliklerde;

ET = Referans bitki su tüketimi, mm/gün,

δ = Buhar basıncı eğrisinin eğimi, kPa/°C

γ^* = Modifiye psikrometrik sabite, kPa/°C

γ = Psikrometrik sabite, kPa/°C

P = Atmosfer basıncı, kPa

R_n = Bitki yüzeyindeki net radyasyon, $\frac{MJ}{M^2 \cdot gün}$

R_a = Atmosferin dış yüzüne ulaşan radyasyon, $\frac{MJ}{M^2} / gün$

R_s = Yeryüzüne ulaşan kısa dalgalı radyasyon, $\frac{MJ}{M^2} / gün$

R_{n_s} = Kısa dalgalı net radyasyon, $\frac{MJ}{M^2} / gün$

R_{n_l} = Uzun dalhalı net radyasyon, $\frac{MJ}{M^2} / gün$

$f(T)$ = Sıcaklık fonksiyonu

T = Sıcaklık, °C

$f(e_d)$ = Buhar basıncı fonksiyonu

e_d = Ortalama hava sıcaklığındaki gerçek buhar basıncı, kPa

e_a = Ortalama hava sıcaklığındaki doymuş buhar basıncı, kPa

$f(n/N)$: Güneşlenme oranı fonksiyonu

n = Güneşlenme süresi, h

N = Olası maksimum güneşlenme süresi, h

G = Topraktaki ısı akımı, MJ/m²/gün

(Ardışık periyotlarda toprağın ortalama sıcaklığı çok fazla değişmediğinden ihmal edilebilir.)

λ = Buharlaşma gizli ısı, $\frac{MJ}{kg}$

(ortalama bir değer olarak $2.45 \frac{MJ}{kg}$ alınabilir)

u_2 = Rüzgar hızının 2 m yükseklikteki eşdeğeri, m/s

u_z = z m yükseklikte ölçülmüş rüzgar hızı, $\frac{m}{s}$

z = Rüzgar hızının ölçüldüğü yükseklik, m

(Türkiye’de meteoroloji bültenlerinde genellikle 10 m yükseklikte ölçülmüş rüzgar hızı değerleri verilmektedir) ve RH = Ortalama bağıl (nispi) nem, % değerlerini göstermektedir. Çizelge 1’de Siirt ilinin uzun yıllar iklim verileri görülmektedir.

Çizelge 1. Siirt iline ait uzun yıllık meteorolojik veriler (1938-2019).

Parametre	Maksimum Sıcaklık (°C)	Minimum Sıcaklık (°C)	Ortalama Nispi Nem (%)	Toplam Yağış Ortalaması (mm)	Maksimum Yağış (mm)	Ortalama Buharlaşma (mm)	Ortalama Güneşlenme Süresi (Saat)
Rasat Süresi (Yıl)	79	79	78	78	79	79	57
Ocak	19.7	-19.3	71.9	34.6	53.4	12.0	3.6
Şubat	20.6	-16.5	67.1	29.4	53.2		4.4
Mart	28.5	-13.3	62.0	24.1	63.0	33.0	5.4
Nisan	32.9	-4.1	58.0	22.4	71.4	84.0	6.5
Mayıs	36.2	2.0	50.7	21.2	68.1	186	9.0
Haziran	40.2	8.2	34.6	15.5	16.7	284.8	11.7
Temmuz	44.4	13.1	27.4	13.5	22.2	368.0	12.2
Ağustos	14.4	46.0	26.4	13.3	12.2	351.8	11.4
Eylül	39.9	8.5	31.2	14.4	37.5	254.3	9.9
Ekim	36.6	0.3	46.7	49.7	70.8	137.6	7.2
Kasım	25.8	-14.1	62.4	82.5	102.9	53.0	5.2
Aralık	24.3	-14.6	70.6	94.5	71.8	13.1	3.6
Yıllık	46	-19.3	50.8	719.8	102.9	1753.6	7.5

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Nohut bitkisinin ekim tarihi yazlık ekim olarak toprağın ısınma durumuna da bağlı olarak Şubat ayı sonunda yapılmıştır, hasat tarihi ise bitkinin yapraklarının kuruduğu ve genaratif gelişmenin tamamlandığı Temmuz ayının ilk haftasında gerçekleşmiştir. Erken vejetatif dönemde su dengesi eşitliğine göre günlük bitki su tüketimi (ETa) değeri 2.8 mm gün⁻¹ arasında değişirken, çiçeklenme öncesinde ve çiçeklenme döneminde 5.1-5.5 mm gün⁻¹ olarak belirlenmiş olup, Penman Monteith eşitliği ile saptanan referans bitki su tüketimi ise 4.7 mm gün⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Aylık olarak ise su dengesi eşitliğine göre 231.0 mm ay⁻¹, Penman Monteith eşitliğine göre 210.0 mm ay⁻¹

olarak hesaplanmıştır. Araştırmanın yürütüldüğü yıl nohut bitkisine uygulanan sulama suyu miktarı 121.0 mm olup su dengesi eşitliği yöntemine göre mevsimlik bitki su tüketimi (ETa) 398.0 mm mevsim⁻¹, Penman Monteith FAO 56 modifikasyonu eşitliğine göre ise ETo miktarı 369.0 mm mevsim⁻¹ olarak tespit edilmiştir.

4. SONUÇ

Son zamanlarda küresel ısınmaya bağlı olarak ciddi bir tehdit olarak karşımıza çıkan ani iklimsel değişim, ülkemizdeki kısıtlı olan su kaynaklarının tükenmesine yol açmakta önemli bir oynamaktadır. Bunun yanında nohut yetiştiriciliği alanında daha fazla teşvik edilmesi için yapılan çalışmada gerçek su tüketimi ile hesaplanan referans su tüketimi arasında farkın önemsiz olduğu belirlenmiştir. Öte yandan su tüketiminin en yoğun olarak kullanıldığı alanların sulama amaçlı olduğu düşünüldüğünde sulama projelerinin gerçekçi olarak iklim verilerine bağlı, uzun ya da kısa dönemlere ilişkin bitkilerin kullanacakları su miktarının belirlenmesi gereklidir. Sonuç olarak bitki su tüketiminin saptanmasında daha fazla meteorolojik veri kullanarak bitki su tüketim tahminlerinde daha gerçekçi sonuçlara ulaşan bir yöntem olan Penman-Monteith eşitliği kullanılarak kuru fasulyenin sulama programı hazırlanmasında kullanılabilir olduğu önerilebilir.

TEŞEKKÜR

****Bu bildirin finasmanı Siirt Üniversitesi BAP birimi tarafından 2022-SİÜFEB-020 proje ile desteklenmiştir, BAP proje birinine maddi destek için çok ama çok çok teşekkür ediyoruz.

KAYNAKÇA

- Abtew, W., Obeysekera, J. (1995). Lysimeter study of evapotranspiration of cattailsnd comparison of three estimation methods. *Trans. of the ASAE*, 38(1), 121-129.
- Anonim, 2024. Chickpea (*Cicer arietinum* L.) and Its Agriculture. Access Link and Date (<https://www.foodelphi.com/nohut-ve-tarimi-dr-metin-babaoglu/> 22.06.2024)
- Bakhshi, A., Malik, S.R., Aslam, M., Iqbal, U., Haqqani, A.M. (2007) Response of chickpea genotypes to irrigated and rain-fed conditions. *Int Journal of Agric Biol.* 4, 590–593.
- Bayramoğlu, E. (2013). Trabzon İlinde İklim Değişikliğinin Mevsimsel Bitki Su Tüketimine Etkisi:. Kastamonu: Kastamonu Üniversitesi.
- Çelik, O.C. 2008. Kordiyerit + Müllit, Kordiyerit + Anortit, Kordiyerit + Anortit + Müllit kompozit refrakterlerinin mikroyapısal incelenmesi. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Demir, A., Meral, R. 2016. Bingöl İli Koşullarında Referans Bitki Su Tüketiminin Doğrudan ve Farklı Tahmin Yöntemleri ile Belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 3(1): 45–51, 2016
- Fulton, A., (2013). Evaluating water requirements of developing walnut orchards in Sacramento Valley. http://walnutresearch.ucdavis.edu/2013/2013_113.pdf. (Erişim tarihi: 16.02.2019)
- Güngör, Y., Erözel, A. Z., & Yıldırım, O. (2004). Sulama. Ankara: Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Hamzawy, E. M., El-Kheshen, A. A., & Zawrah, M. F. (2005). Densification and properties of glass/cordierite composites. *Ceramics international*, 31(3), 383-389. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2004.06.003>
- Kaya, S. 2011.«Yarı-Kurak İklim Koşullarında Farklı Yöntemlerle Hesaplanan Refereans Evapotranspirasyon Değerlerinin Karşılaştırılması.» *Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*1, no. 1 : 58-60.

- Kırnak, H, ve Gençođlan, C. «Use of crop water stress index for scheduling irrigation in second crop corn.» Ziraat Fakóltesi Dergisi 5, no. 3 4 (2001): 67-75.
- Jarvis Shean, K., Fulton, A., Doll, D., Lampinen, B., Hanson, B., Baldwin, R., Lightle, D., (2018). Young orchard handbook. <http://ccfruitandnuts.ucanr.edu/files/238596.pdf>. (Erişim tarihi: 16.02.2019)
- Jensen, M.E., Allen, R.G., (2016). Evaporation, evapotranspiration, and irrigation water requirements. American Society of Civil Engineers (ASCE), ISBN: 978-0-784-47920-9, New York, USA, 744s.
- Pardossi, A., Incrocci, L., Incrocci, G., Malorgio, F., Battista, P., Bacci, L., Rapi, B., Marzioletti, P., Hemming, J., Balendonck, J. (2009). Root zone sensors for irrigation management in intensive agriculture. *Sensors* 9:2809–2835.
- Mart, D; Cansaran, E; Karaköy, T; Şimşek, M; 2003. ukurova Bölgesinden Toplanan Yerel Nohut (*Cicer arietinum* L) Populasyonlarının Bazı Önemli Agronomik ve Morfolojik Özelliklerinin Belirlenmesi, Seleksiyonu ve Kantitatif Karakterlerin Karekterizasyonu, Türkiye 5. Tarla Bitkileri Kongresi 13-17 Ekim 2003, Diyarbakır
- Mart, D., Cansaran, E., Karaköy, T., Şimşek, M. (2007). ukurova ve Orta Anadolu Bölgesinden Toplanan Yerel Nohut (*Cicer arietinum* L) Populasyonlarının Bazı Önemli Agronomik ve Morfolojik Özelliklerinin Belirlenmesi, Seleksiyonu ve Kalitatif Karekterlerinin Karekterizasyonu. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 16(1-2), 61-72.
- Őarлак, N., Bağçacı, S.Ç. (2020). Ampirik potansiyel evapotranspirasyon tahmin yöntemlerinin değerlendirilmesi: Konya havzası. *Teknik Dergi*, 31(1), 9755-9772.
- TÜİK, 2020. Türkiye İstatistik Kurumu Yıllığı
- Uçak, A.B., Öktem, A., Sezer, C., Cengiz, R. ve İnal, B. 2016 «Determination of Arid and Temperature Resistant Sweet Corn (*Zea mays saccharata* Sturt) Lines.» *International Journal of Environmental & Agriculture Research (IJOEAR)* 2, no. 7 (2016): 79-88. [https://doi.org/10.1016/S0272-8842\(02\)00100-1](https://doi.org/10.1016/S0272-8842(02)00100-1)

Zelege, K.T., Wade, L.J., 2012. Evapotranspiration estimation using soil water balance. Weather and Crop Data, Rijeka, Croatia, pp. 41

BÖLÜM 5

***RHIZOCTONIA SOLANI VE PYTHIUM DEBARYANUM*'UN TÜTÜN TOHUM YATAKLARINDA NEDEN OLDUĞU ÇÖKERTEN HASTALIĞI VE MÜCADELESİ**

Dr. Öğr. Üyesi Meltem AVAN¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13684885>

¹ Adıyaman Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Adıyaman, Türkiye
E-Posta: meltemavan@adiyaman.edu.tr; ORCID: 0000-0002-2939-8177

GİRİŞ

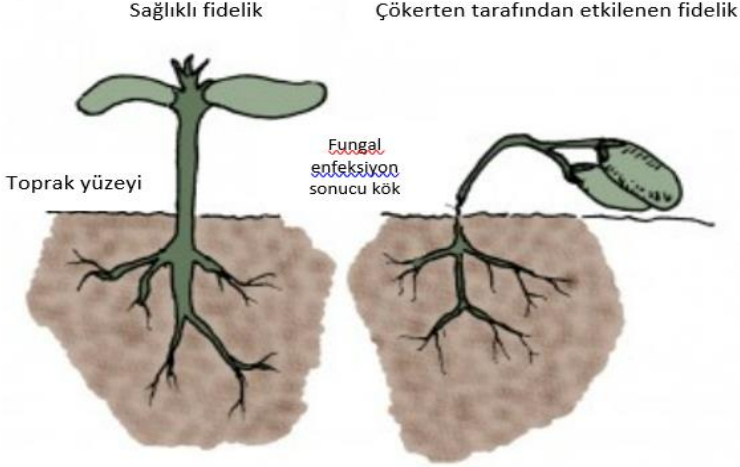
Kurutulmuş yapraklarından yararlanılan tek yıllık bir endüstri bitkisi olan tütün (*Nicotiana tabacum* L.) sanayinin temel hammaddesini oluşturan ürünlerden biridir (Anonymous, 2021; 2023) (Şekil 1). Yetiştirme koşulları çok fazla seçici olmamasından dolayı da ülkemiz koşullarında iyi bir adaptasyon yeteneği sergilemektedir. İnsan sağlığına olumsuz etkilerinin yanı sıra Türkiye ekonomisine sağlamış olduğu katkıları ve mevcut istihdam kaynaklarından biri olması gerekçesiyle ülkemiz için önemli bir tarım ürünü haline gelmiştir (Karabacak, 2017). Tütün dünya çapında sigara ve puro üretiminde yaygın olarak yetiştirilirken, *Nicotiana rustica* L., isimli Maraş otu olarak da bilinen *Nicotiana* cinsine bağlı bu bitki türünde, enfiye ve çiğneme amacıyla kullanılmaktadır (Poustini ve Shamel, 2000).



Şekil 1. Tarlada yetiştiriciliği yapılan tütün bitkisi görseli (URL 1, 2024)

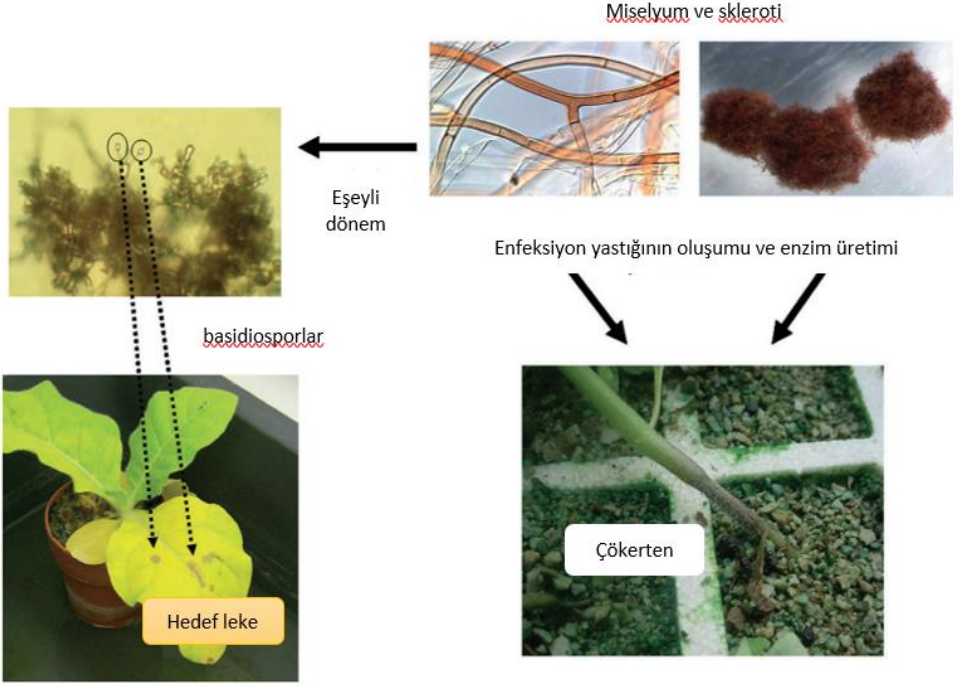
Tütün bitkisinden elde edilecek verimin ve tütünün kalitesinin başarısı, sağlıklı ve kaliteli tütün fidelerinin varlığına bağlıdır. Tütün fidelerinin üretiminde birçok hastalık ile karşı karşıya kalınması sonucu verim ve kalite de birçok sorunlar baş göstermiştir. Bu hastalıklar tohumların çimlenmesinden başlayarak bitkinin tam fide gelişiminin tüm aşamalarına kadar ortaya çıkabilmektedir. Tütün hem fidanlıklarda hem de nakledilen ürünlerde çeşitli

funga, bakteri ve viral hastalıklara karşı hassasiyet gösteren bir bitkidir. Bu hastalıklara neden olan çökerten patojenlerinden en önemlilerinden ikisi de *Rhizoctonia solani* Kühn (*Thanatephorus cucumeris*) ve *Pythium debaryanum* Hesse' dur (Şekil 2).



Şekil 2. Tütün fideliklerinde görülen çökertenin oluşma şekli (URL 2, 2024)

R. solani geniş bir konukçu aralığına sahip, dünya çapında ekonomik önemi olan, mücadelesi oldukça zor olan toprak kökenli bir fungustur (Ogoshi, 1987). Etmen uzun yıllar boyunca organik materyallerde miselyum şeklinde, toprakta ise skleroti formunda kalabilen, konukçularında tekrar hastalık oluşturma yeteneği olan güçlü bir patojendir (Herr, 1996; Cubeta ve Vilgalys, 1997). Bazı durumlarda *R. solani*, hastalığa neden olacak ve aynı zamanda fungusun hızlı ve uzun mesafeli yayılması için bir kaynak görevi görece basidiosporlar üretebilmekte ve bunlarla yüksek bağıl nem dönemlerinde yaprakları enfekte eden hifler üretmek üzere çimlenebilmektedir (Şekil 3). Çoğu *Rhizoctonia* patojeninin neden olduğu miselyum ve/veya skleroti tarafından başlamış olsa da; tütün, şeker pancarı ve fasulye gibi diğer ürünlerde bazı önemli hastalıklar basidiospor enfeksiyonunun bir sonucu olarak ortaya çıkabilmektedir (González-García ve ark., 2006; Harveson ve ark., 2009).



Şekil 3. *Rhizoctonia solani*'nin tütündeki hayat çemberi (Gonzalez ve ark., 2011).

Patojenin konukçularında, tohumlarda, kök ve saplarda, meyvelerde çürüklüklere, fidelerde çökertenlere (damping-off), gövde ve taç kanserlerine ve yaprak ve kın yanıklıklarına sebebiyet verdiği bilinmektedir (Sneh ve ark., 1996). Yaklaşık 200 bitki türünde, etmenin neden olduğu % 5-20 oranında verimde kayıplara neden olduğu bilinmektedir (Ogoshi, 1987).

Pythiace familyası türleri, zayıflıktan beslenen ve bitki için uygun olmayan koşullardan yararlanan fırsatçı funguslar olarak kabul edilmektedir. Oosporlarla ve aseksüel olarak üreme yeteneğine sahiptirler. Çoğunlukla kök sistemde bulunmaktadırlar (Morel Diffusion, 2017). Bu familyaya ait türlerden biri olan *P. debaryanum* fidanlıkta toprak kaynaklı bir oomycete fungusu olmakla birlikte çıkış öncesi de çökertene neden olarak genç fideleri toprak yüzeyine ulaşmadan öldürmektedir. Enfeksiyon tipik olarak toprak seviyesinde veya altında meydana gelmekte ve enfekte olmuş dokular yumuşak bir görünüme kavuşmaktadır (Singh, 1990).

Fideliklerde görülen fungal hastalıklarının ortak özelliği, sık ekilen fidelik yataklarında ve tohum yataklarında çok fazla nem bulunması, yetersiz

havalandırma olması ve elverişsiz iklim koşullarının ortaya çıkmasıyla sıklıkla meydana gelmektedir (Korubin–Aleksoska, 2015).

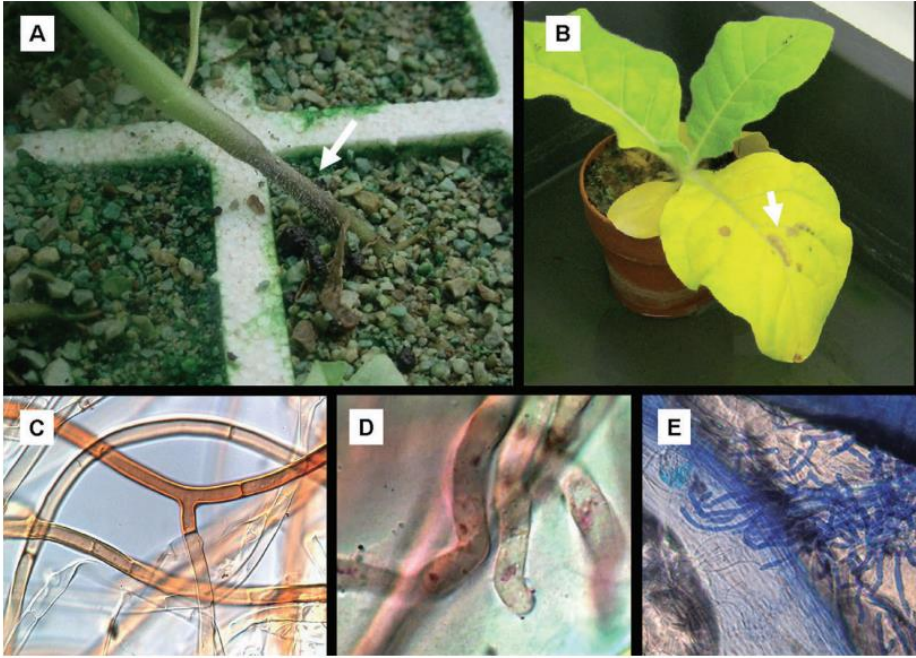
Tarımsal üretimde hastalık, zararlı ve yabancı otlar nedeniyle her yıl artan oranlarda zararlar meydana gelmektedir (İslamoğlu, 2021, 2022a) ve bu mevcut sorunlarla mücadelede kimyasal mücadele oldukça ilgi görmektedir (İslamoğlu, 2022b). Kimyasal mücadeleye karar vermeden önce agro-ekosistem bir bütün olarak ele alınmalı ve yetiştirme teknikleri ile bitki koruma sorunları arasında bir entegrasyon sağlanmalıdır (Karaat ve ark., 2021a). Fakat bitki hastalıklarıyla mücadele programlarında kimyasal kullanımının getirmiş olduğu insan ve çevre sağlığına olan zararlı etkilerden dolayı son yıllarda alternatif mücadele yöntemleri üzerine çalışmalar ağırlık kazanmıştır (Atay ve ark., 2019; Atay ve Soylu, 2022). Özellikle kimyasal kullanımının azaltılmasında son derece başarılı sonuçlar veren biyolojik mücadele yöntemlerinin, tarımsal ekosistemin iyileştirilmesi ve ekolojik dengenin korunmasında oldukça işlevsel olduğu düşünülmektedir (Avan ve Atay, 2024). Bütün bu mücadele programlarından önce bitkilerin hastalık etmenlerinin yaygınlıklarının belirlemesi, hastalıklarla mücadele yöntemlerinin daha etkili bir şekilde yürütülmesi amacıyla önem taşımaktadır (Karaat ve ark., 2021b). Fakat birden fazla patojenin neden olduğu ikili üçlü enfeksiyonlarda hedefe yönelik kimyasal kontrol stratejileri sınırlı hale gelmektedir çünkü spesifik maddenin kullanımı her zaman başarılı bir hastalık yönetimiyle sonuçlanacak manası taşımaz. Bitki hastalıklarının mücadelesinde odak noktası, çevre kirliliğini azaltan ve bitki patojenlerinde direnç gelişimini en aza indiren çevre dostu biyo-pestisitlere doğru kaymaktadır. Bazı antagonistik bakteriler de, biyokontrol mekanizması yoluyla tütünde ürün kayıplarını azaltma potansiyeline sahip olarak yer almaktadır.

TÜTÜN TOHUM YATAKLARINDA GÖRÜLEN RHIZOCTONIA SOLANI VE PYTHIUM DEBARYANUM'UN HASTALIK BELİRTİLERİ

Tütün birçok bitki patojenine konukçuluk yapmaktadır. Bu patojenlerin neden olduğu hastalıklar, uygun önlemler alınmadığı takdirde tüm tütün üretiminin bozulmasına neden olabilmektedir. Tütünün, özellikle de tütün fideliklerinin korunması çok önemli bir konudur. Fidelilerdeki fungal hastalıklarının ortak özelliği, yoğun ekim yapılan yataklarda, tohum yatağında

aşırı nem olması, havalandırmanın yetersiz olması ve olumsuz iklim koşullarının (bulutlu ve yağışlı hava) ortaya çıkmasıdır (Tashkoski, 2015).

R. solani AG-2-2 ve AG-3 anastomosis grubuna dâhil olan patojen hastalık etmenleri, tütünde yaprak lekesi ve kök çürümesinin başlıca nedenlerini oluşturmaktadır. Fidelerde çökerten ve gövde çürüklüğü, yaşlı tarla bitkilerinde de “hedef leke” adını verdikleri yaprak hastalığına neden olduğu belirtilmiştir (Lucas, 1975; Shew, 1991; Sneh ve ark., 1996). *R. solani*'nin neden olduğu çökerten, tütünde gözlenen en yaygın semptomdur (Şekil 4).



Şekil 4. Bitki patojeni *Rhizoctonia solani*'nin belirtileri ve morfolojik özellikleri; (A) Tütün fidesinde çökerten belirtileri, (B) Tütün yaprağındaki hedef leke belirtileri, (C) (D) *R. solani* hiflerinin tipik morfolojisi, boyanmış çekirdek sayısını gösteren *R. solani* hifleri, (E) *Nicotiana tabacum*'un bir yaprağını kolonize eden *R. solani*'nin hiflerinin dallanması (Gonzalez ve ark., 2011).

Genel olarak, fideler gelişimlerinin ilk birkaç haftasında enfeksiyona karşı hassasken bitki geliştikçe biyokimyasal, fiziksel savunma mekanizmaları ve bariyerlerin gelişimiyle giderek daha az hassas hale gelmeye başlamışlardır. Çökerten ciddi şekilde enfekte olmuş tohumlarda çoğunlukla çimlenmeyi engellemekte ve enfekte olmuş fideler varsa bile çıkıştan hemen önce veya

sonra bunların ölümünü gerçekleştirmektedir. Çıkıştan sonra ölen fideler genellikle aşırı yağış sonucu toprak yüzeyine düşmüş gibi devrilerek toprak üzerine yatarlar (Sneh ve ark., 1991).



Şekil 5. *Rhizoctonia* patojeninden kaynaklanan fidelerdeki belirtiler (sol ve sağdaki fidelerde), *Pythium* patojeninden kaynaklanan belirtiler (genç fidelerin ortasındaki) (URL 3, 2024)

Biber ve domates gibi diğer patlıcangiller de dâhil olmak üzere birçok üründe tohum çürüklüğü ve çökertene neden olan *Pythium* türleri toprak kaynaklı patojenik funguslardan biridir (Shah-Smith ve Burns, 1996).

Pythium cinsi 100'den fazla türden oluşur ve bunların en önemlileri *P. debaryanum*, *P. irregulare*, *P. ultimum*, *P. splendens*, *P. aphanidermatum*'dur (Ćosić ve ark., 2006). Bunlar organik madde bakımından zengin toprakta yaşayan, tütün ve şeker pancarı başta olmak üzere sebze, meyve, süs bitkilerinde hastalık yapan önemli bir hastalık etmenidir (Ćosić ve ark., 2006). *Pythium* cinsine ait türler genellikle tohum embriyonun tamamen yok olmasına

neden olurken, çıkış yapmayı başaran bitkilerde ise kök ve gövde tabanında nekrozlara yol açarak bitkilerde çökertene ve miselyumla kaplanmalarına neden olurlar (Jurković ve ark., 2009).



Şekil 6. *Pythium* patojeni enfeksiyonu sonucu tütünde meydana gelen belirtiler. (a) *Pythium* kök çürüklüğü hastalığı etmeninden dolayı tütün fidelerindeki sararmalar ve bodurlaşmalar (URL 4, 2024), (b) Tütün fidelerindeki siyahımsı, ıslak, gövdeye doğru yayılan *Pythium* lezyonları (URL 5, 2024)

Her iki hastalık etmeninin de neden oldukları belirtiler birbirine benzerdir. Ancak belirtilerin benzerliği nedeniyle mücadelesi belirtilere bakarak yapmak oldukça çok zordur ve bu da etkili olmayan kontrole, yani uyumlu olmayan fungusitlerin kullanılmasına neden olmaktadır. En büyük sorunlardan diğeri de, çok sık görülen iki hastalık etmeninin birlikte ikili enfeksiyonu sebebiyledir. Hedeflenen kimyasal mücadele yöntemlerinde, birden fazla patojenin hastalığa sebep olması durumunda zorluk yaşanır; zira spesifik maddenin uygulanması mutlaka başarılı hastalık yönetimiyle sonuçlanmayabilir (Lamichhane ve Venturi, 2015).

TÜTÜN TOHUM YATAKLARINDA GÖRÜLEN RHIZOCTONIA SOLANI VE PYTHIUM DEBARYANUM'UN MÜCADELESİ

Bitki hastalıklarının yönetimine yönelik mevcut çözüm, çevre kirliliğini azaltan ve bitki patojenlerinde direnç gelişimini en aza indiren çevre dostu biyo-pestisitlere doğru kaymaktadır. Birkaç antagonistik bakteri, biyolojik kontrol mekanizması yoluyla ürün kayıplarını azaltma potansiyeline sahiptir (Papavizas ve Lumsden, 1989; Parke ve ark., 1991). Hem fidanlıkta hem de

ekili üründe çeşitli fungal, bakteriyel ve viral hastalıklara karşı hassas ve önemli bir ticari ürün olan tütün önemli miktarda döviz ve iç gelir getirmektedir.

R. solani'nin mücadelesi için dayanıklı çeşit yetiştirme, ürün rotasyonu ve fungusit kullanımı gibi geleneksel yöntemlerle elde etmek bir hayli zorlaşmıştır. Dünya çapında tütün fidelerinin üretimi için ana kullanılan sistem yüzen tepsilerin kullanıldığı model olan yöntemin kullanılması şeklindedir. Strafor delikli tepsilerin topraksız bir ortamla doldurulup, peletlenmiş tohumla ekilerek sığ bir su rezervuarında yüzdürülmesi esasına dayanan bu yöntemde, *R. solani* hiflerine ve sklerotilerinin gelişimine engel olacak aşı kaynağının ortadan kaldırılması esasına dayalı bir yöntem olarak tanımlanmıştır (Gutierrez ve ark., 1997).

Entegre hastalık yönetimi hastalıklarla mücadele de en tercih edilen bir program olmalıdır ki bu program zamanında ve uygun dozda kimyasal uygulamaya tabi olma esasına dayanmaktadır. Örneğin, şeker pancarında *R. solani* AG-2-2 IIIB ve AG-IV'ün neden olduğu hastalıklarla mücadele etmek için enfeksiyondan önce kimyasal ilaç kullanımı ve fungusitin optimum uygulaması için uygun toprak koşullarını değerlendirilmesi gerekmektedir (Bolton ve ark., 2010; Gonzalez ve ark., 2011). Fungisitlerden Mancozeb, seralarda yetiştirilen tütün üretiminde *Rhizoctonia*'nın neden olduğu çökerteni ve hedef yaprak lekesini kontrol etmek için kullanıldığı bildirilmiştir. Ayrıca İprodion'da, bu hastalıkların mücadelesinde oldukça etkili olduğu tespit edilmiştir (Csinos ve Stephenson, 1999). Çökerten hastalığın yönetimi için de Bakır Oksiklorür, Bordeaux karışımı ve Metalaxil gibi fungusitler kullanılmaktadır. Fakat fazla miktarda bakırlı preparatların kullanımı topraklarda birikmelere neden olacağı için, fidederide bakır toksisitesine neden olabilmektedir. Bununla birlikte Metalaxil bazlı fungusitlerin tekrar tekrar kullanılması da patojende direnç mekanizmasının gelişmesine neden olduğundan sorun oluşturmaktadır (Shew, 1985).

Biyolojik mücadele, bitki hastalıklarının yönetimine çevre dostu bir yaklaşım sunmakta olan ve etkili Entegre Mücadele Sistemi içinde sınırlı kimyasal kullanımı ile birlikte kültürel ve fiziksel önlemlerin de dâhil edilmesi ile kullanımına dayalı bir yöntemdir (Monte, 2001). Kısaca biyolojik mücadele, hastalık yoğunluğu riskini azaltmak için inokulum seviyesini azaltmak amacıyla biyolojik süreçlerin uygulanması anlamına gelir. Çökertenle biyolojik kontrol önerilerinde alternatif ve en umut verici yol olarak fungal

antagonistlerin kullanımı öne sürülmüştür (Karegowda ve ark., 2008). Biyolojik mücadele yöntemlerinde ise, tütünde *R. solani* hastalık etmenleri için *Trichoderma* sp. kullanılmış (Hadar ve ark., 1979; Elad ve ark., 1980; Cole ve Zvenyika, 1988), özellikle *T. harzianum* Rifai'den elde edilen izolatlar *R. solani*'nin gelişimini azaltmış ve tütün bitkilerinde hastalık kontrolünü artırdığı bildirilmiştir (Cole ve Zvenyika, 1988). Bunun yanı sıra *Pseudomonas fluorescens* gibi antagonistler, şeker pancarında çökertenin biyolojik kontrolü için başarıyla kullanılmıştır (Elad ve Chet, 1987).

Vesiküler-Arbusküler mikorrhiza (VAM) funguslarının kök çürüklüğü ve solgunluk başta olmak üzere diğer toprak kaynaklı bitki patojenlerine karşı direnç kazandırdığı (Whipps, 2001; Moller Kaare ve ark., 2009) ve tütün fidesi üretimi üzerindeki faydalı etkileri tespit edilmiştir (Subhashini ve Padmaja, 2010).

Tohum kalitesi ve dayanıklı çeşit kullanımı dikkate alınması gereken diğer önemli kontrol yöntemlerindedir. Bu mücadele önlemlerinin hepsi patojeni tamamen ortadan kaldırmayacak, ancak inokulum seviyelerinde bir azalmaya neden olacaktır (Gonzalez ve ark., 2011).

SONUÇLAR

R. solani ve *P. debaryanum*'un tütün tohum yataklarında neden olduğu çökerten hastalıklarının neden olduğu büyük ekonomik kayıplar ve bu soruna sürdürülebilir çözümler bulma konusundaki artan endişeler nedeniyle yeni Entegre Mücadele stratejileri geliştirmenin gerekliliği olduğu kanısına varılmıştır. Fakat en doğru şekilde mücadele yapabilmek için hastalıkla ilişkili mikroorganizmaların ekolojisini, genetiğini ve patojeniteleri hakkında daha ayrıntılı veriler elde gerekmektedir. Tütün fideliklerinde görülen bu çökerten etmenlerinin mücadelesine yönelik kültürel, kimyasal ve biyolojik mücadele olanaklarının geliştirilmesi; tarımda geleneksel pestisit kullanımına dayanan kontrol stratejilerinin getirmiş olduğu bir takım endişeler kalıcı ve sürdürülebilir bir hastalık yönetimi için geleneksel pestisitlere yeni alternatif yöntemlerin geliştirilmesi gerektirmektedir.

KAYNAKÇA

- Anonymous (2021). Crops and Livestock Products. (<https://www.fao.org/faostat/en/#data/PP>), (Erişim Tarihi: 15.05.2024).
- Anonim (2013). Adıyaman Tütün Raporu. İpekyolu Kalkınma Ajansı Adıyaman Yatırım Destek Ofisi, Adıyaman.
- Atay, M., Kara, M., Uysal, A., Soylu, S., Kurt, Ş. and Soylu, E.M. (2020). In vitro antifungal activities of endophytic bacterial isolates against postharvest heart rot disease agent *Alternaria alternata* in pomegranate fruits. *Acta Horticulturae*, 1289: 309-314.
- Atay, M. ve Soylu, S. (2022). Biber meyvelerinde hasat sonrası çürümelere sebep olan bazı fungal hastalık etmenlerine karşı Isothiocyanate bileşiklerinin antifungal etkilerinin belirlenmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 26(3): 290-302.
- Avan, M. ve Atay, M. (2024). Occurrence and Importance of *Chaetomium globosum* as a Fungal Pathogen on Olive Leaves in Adıyaman Province of Türkiye. *Applied Fruit Science*, 1-7.
- Ćosić J., Jurković D., Vrandečić K. (2006). Praktikum iz fitopatologije. Sveučilište Josipa Jurija Strossmayera u Osijeku. Poljoprivredni fakultet Osijek.
- Cubeta, M.A. ve Vilgalys, R. (1997). Population biology of the *Rhizoctonia solani* complex. *Phytopathology*, 87, 480-484.
- Elad, Y. and Chet, I. (1987). Possible role of competition for nutrient in biocontrol of *Pythium* damping-off by bacteria. *Phytopathology*, 77:190-195.
- Gonzalez, M., Pujol, M., Metraux, J. P., Gonzalez-Garcia, V., Bolton, M. D., & Borrás-Hidalgo, O. (2011). Tobacco leaf spot and root rot caused by *Rhizoctonia solani* Kühn. *Molecular Plant Pathology*, 12(3), 209-216.
- Herr, L.J. (1996). Sugar Beet diseases incited by *Rhizoctonia* spp. In: Sneh, B., Jabaji-Hare, S., Neate, S. and Dijst G. (Eds.), *Rhizoctonia* Species: Taxonomy, Molecular Biology, Ecology, Pathology and Disease Control. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, pp. 341-349.
- İslamoğlu, M. (2021a). Agricultural Researches Resourcebook. The Place and Importance of Biological Control in Turkey and Some Application

- Examples. Edited by: A. Çelik, K. Bellitürk ve M.F. Baran. İKSAD Yayınevi.
- İslamoğlu, M. (2021b). Sürdürülebilirlik için Gıda, Çevre, Tarımsal Ormancılık ve Tarımda Yeni Araştırmalar. Gelişen Dünyada Biyolojik Mücadelenin Yeri ve Önemi, Edited by: K. Bellitürk, M.F. Baran ve A. Çelik İKSAD Yayınevi. ISBN: 978-625-7562-28-7.
- İslamoğlu, M. (2022). Opportunities of using nanotechnology in the control of harmful insects in agriculture. II. International Conference on Global Practice of Multidisciplinary Scientific Studies, July 26-28, 2022/Batumi, Georgia.
- Karaat, Ş., İslamoğlu, M., Çağlar, Ö. ve Atay, M. (2021a). Adıyaman ili badem bahçelerinde saptanan zararlı türler. *Adyutayam Dergisi*, 9(1), 47-60.
- Karaat, Ş., Atay, M. ve Tohumcu, E. (2021b). Adıyaman ili badem üretim alanlarında görülen fungal hastalıkların belirlenmesi. *Adyutayam Dergisi*, 9(1): 36-46.
- Karabacak, K. (2017). Türkiye’de tütün tarımı ve coğrafi dağılışı, *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 15 (1) : 27- 48.
- Karegowda, C., Venkatesh V. and Gurumurthy B.R. (2008). Integrated management of damping- off disease of FCV tobacco in nursery. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 21 : 299-300.
- Korubin–Aleksoska, A. (2015). Comparative Investigations of New Varieties of the Type Basmak With Popular Varieties of the Types Prilep, Yaka and Djebel. *Tütün/Tobacco*, 65, 2015.
- Lucas, G.B. (1975). *Diseases of Tobacco*, 3rd edn. Raleigh, NC: Biological Consulting Associate.
- Moller, K., Kristensen, K., Yohalem, D. and Larsen, J. (2009). Biological management of grey mold in pot roses by co-inoculation of the biocontrol agent *Ulocladium atrum* and the mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. *Biological Control* 49 : 120-125.
- Monte, E. (2001). Understanding *Trichoderma*: between biotechnology and microbial ecology. *International Microbiology*, 4(1), 1-4.
- Ogoshi, A. (1987). Ecology and pathogenicity of anastomosis and intraspecific groups of *Rhizoctonia solani* Kühn. *Annual Review of Phytopathology*, 25, 125-143.

- Papavizas, G.C. and Lumsden, R.D. (1989). Biological control of soil borne fungal propagules. *Annual Review of Phytopathology*, 18 : 389-413.
- Parke, J.T., Rand, R.E., Joy, A.E. and King, F.B. (1991). Biological control of *Pythium* damping –off and *Aphanomyces* root rot of peas by application of *Pseudomonas cepacia* or *Pseudomonas fluorescens* to seed. *Plant Disease*, 75 : 987-992
- Poustini, G., Shamel, R. (2000). Physiological and agronomic response of two burley tobacco cultivars to nitrogen fertilizer. *Tranian Journal of Agricultural Science*, 31:363 369.
- Shah Smith, D.A. and Burns, R.G. (1996). Biological control of damping off of sugar beet by *Pseudomonas putida* applied to seed pellets. *Plant Pathology*, 45 : 572-582.
- Shew, H.D. (1985). Response of *Phytophthora parasitica* var *nicotianae* to metalaxyl exposure. *Plant Disease Research*, 69 : 559-562.
- Shew, H.D. (1991). Target spot. In: Compendium of Tobacco Diseases (Shew, H.D. and Lucas, G.B., eds), pp. 90–92. St. Paul, MN: The American *Phytopathological Society*.
- Singh, R.S. (1990). Plant disease, (11th ed.). Oxford and IBH Publishing House. New Delhi; p. 615
- Sneh, B., Jajabi-Hare, S., Neate, S. and Dijst, G. (1996). *Rhizoctonia* Species: Taxonomy, Molecular Biology, Ecology, Pathology and Disease Control. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 578.
- Subhashini, D.V. and Padmaja, K. (2010). Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and *Pythium aphanidermatum* in tobacco seed beds. *Journal of Biological Control*, 24 : 70-74.
- Tashkoski, P. (2015). Application of the signum fungicide in control of *Pythium debaryanum* Hesse on tobacco seedlings. Comparative Investigations of New Varieties of the Type Basmak With Popular Varieties of the Types Prilep, Yaka and Djebel, 38.
- URL1,2024.<https://www.birbes.com/tutun-nedir-faydalari-ve-zararlari-nelerdir-7172/>
- URL 2, 2024. <https://istudy.pk/damping-off/>
- URL3,2024.<https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1233227#>

URL4, 2024. <https://burleytobaccoextension.ca.uky.edu/content/pythium-root-rot>

URL5,2024.<https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1402006>

Whipps, J.M. (2001). Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*, 52: 487-511.

BÖLÜM 6
TARIMSAL İNOVASYON VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Dr. Öğr. Üyesi Hülya SAYGI¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13684899>

¹ Çukurova Üniversitesi, Yumurtalık MYO, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü
Adana, Türkiye. hulutas@cu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-2327-566X

1. GİRİŞ

Tarımsal üretim faaliyetleri insan yaşamının devamlılığının sağlanması için gerekli olan temel ihtiyaç maddesi gıdanın üretilmesi yanında buna bağlı olarak birçok sektörün faaliyetlerini sürdürmesinde de gerekli olan hammaddelerin üretilmesi sağlamaktadır. Ekonomik anlamda birçok faydayı üreten tarımsal üretim faaliyetlerinin insana, canlı varlıklara ve doğaya vermiş olduğu büyük zararlar bulunmaktadır. Tarımsal üretim faaliyetleri için kullanılan kaynaklar (doğa&çevre) sınırlı bir kaynaktır. İnsan nüfusu arttıkça buna bağlı olarak tarımsal üretim faaliyetlerinin karşılması gereken ihtiyaç miktarı da artmaktadır. Bu durum insanları zorlamakta ve dolayısıyla hatalı kararlar vermesine neden olmaktadır. Sanayi devrimi ile birlikte tarımsal üretim süreçlerinde makineleşme, kimyasal kullanımı, genetiği değiştirilmiş tohum kullanma, tarıma elverişli olmayan alanların tarıma açılması, aşırı sulama, bilinçsiz toprak işleme, mono kültür üretim, biyoçeşitliliğin azalması, tarımsal ürün kayıpları, muhafaza edilememesi, giderek değersizleştirilmesi gibi büyük sorunları beraberinde getirmiştir. Bu süreçte çevreye verilen zararlar yani tarımsal üretimden kaynaklanan çevresel maliyetleri dikkate alınmayarak bu güne, bu gün de dikkate alınmazsa yarınlar ödemesi gereken bir borç yükü olarak aktarılacaktır.

Bu sorunların çözümü aslında ertelenemez bir aşamadır. Çünkü insan varlığının devamını sağlama amacıyla yapılan tarımsal üretim faaliyetleri kimyasal kalıntı bulunan ürünlerle, insan sağlığına uzun vadede zarar veren besin yapısıyla, yaşadığı çevreyi kirleten süreçleri ile insan varlığına tehdit oluşturmaktadır. Dolayısıyla bu durumun değiştirilmesi ve tarımsal üretim faaliyetlerinin yeniden insana, canlı varlıklara ve doğaya zarar vermeyen, onları koruyan, onların sürdürülebilirliğini sağlayan ve geliştiren bir şekilde yeniden tasarlanması gerekmektedir. Tarımsal inovasyon olarak tanımladığımız bu süreçte, tarımsal üretim faaliyetlerinin gerçekleştirildiği tüm süreçleri (üretim-tüketim) kapsayacak ve en yüksek katma değeri üretecek şekilde, tarım ya da farklı alanlarda yeni ve uygulanabilir bilimsel ve teknolojik bilgi, fikirler, yöntemlerle yeniden tasarlanmaktadır.

2. İNOVASYON NEDİR?

Latince kökeni “innovatus” olarak ifade edilen inovasyonun kelime anlamı kısaca yenilemek ya da değiştirmek olarak ifade edilebilir (Elçi, 2006).

Literatürde çok farklı tanımları yapılan inovasyon, insan ihtiyaçlarını (sosyal ekonomik ve çevresel) karşılamak amacıyla gerçekleştirilen belirli bir ekonomik faaliyette sürdürülebilir katma değer artışı sağlayacak yeni yol yöntem ve uygulamalar olarak tanımlanabilir (Keskin, 2018). İnovasyon bilimsel alanda ya da teknolojik gelişmelerde elde edilen yeni bilgiler yanında farklı alanlarda problem çözme, iş akış süreçleri, organizasyon oluşturma süreçleri, uygulanan iş modellerinden faydalanılarak oluşturulan yeni yaklaşımları kapsar. Bu anlamda inovasyonun temelinde yenilik, mevcut durumu sorgulamak, kalıpların dışında düşünmek, gelişmek, ilerlemek ve sürdürülebilir katma değer yaratan sonuçlar elde etmek için hesaplanmış riskleri alabilmek vardır.

Aslında tarih boyunca insan ve insana bağlı süreçlerde inovasyon (yenilik ve değişim) hep bulunmaktaydı ancak bir kavram olarak ifade edilmemişti. İnovasyon kavramını, ilk olarak girişimcilikte yeniliği savunan ve girişimcinin en önemli özelliğinin yenilik yapmak ve değişimi sağlamak olduğunu saunan ekonomist Joseph Alois Schumpeter tarafından kullanmıştır (Er, 2013; Aslan, 2018). İnovasyon, bilgi çağının bir gereği olarak değişim sürecini yönetmek amacıyla ortaya çıkmış bir kavramdır. Bilim ve teknolojik alandaki gelişmeler özellikle ulaşım ve iletişim alanlarında inanılmaz bir gelişme ve hız sağlamıştır. Bu süreçte insan yaşamında ve ihtiyaç alanlarında sürekli bir değişim meydana gelmiştir.

Bilime bağlı olarak elde edilen bilimsel bilgi ticarileştirilerek teknolojik alana aktarılmakta buradan da insan hayatını kolaylaştıran ürünlere dönüşmektedir. Bu anlamda bilim ve teknolojik gelişmeler inanılmaz bir boyutta hızla gelişmekte insan yaşam standartlarını geliştirmekte ve böylece insana ait tüm olguları değiştirmektedir. Bu durum insanın önceden elde etmesi çok zor olan bilgiye daha hızlı ulaşmasını ve karşılaştığı sorunlara bu bilgileri kullanarak çözüm üretebilmesini sağlamıştır. Bu süreçler inovasyon kavramını ve düşünce yapısını oluşturmuştur.

İnovasyon düşünce yapısında yaratıcılık, yenilik ve daha iyiyi ulaşmak isteği, değişimi kabul eden, yeni fikirlere açık olan ve deney/gözlem yapmayı teşvik eden bir akıl vardır. İnovasyon, insan yaşamını ilgilendiren her alanda iş, bilim, teknoloji, sanayi, sosyal-kültürel ve kamu hizmetleri gibi çeşitli süreçlerde ortaya çıkabilir. Her alanda

olduğu gibi tarımda kıt olan tarım kaynaklarını sürdürülebilir, etkin ve verimli kullanabilmek adına kendi alanında inovasyon düşünce yapısını oluşturmuştur.

İnovasyon kavramını bu günkü modern yaşamın her alanında hayat bulmaktadır. Örneğın internet aslında askeri amaçlarla üretilmiş bir teknoloji iken bu gün insan hayatının tarım dahil her alanında uygulama alanı bulmaktadır. Henry Ford tarafından bulunan bant üretim sistemi de aynı şekilde farklı birçok alanda hayat bulmaktadır (Mutlu, 2024).

3. TARIMSAL İNOVASYON

Dünyadaki insan varlığı 1900 yılında 1.6 milyarken 2024 yılında 5 kat artışla 8.2 milyara (worldometers, 2024) ulaşmıştır. Birleşmiş Milletler Örgütü (UN) tarafından yapılan bir araştırmaya göre 2050 yılı itibarıyla dünya nüfusunda 2.2 milyar artış olacağı öngörülmektedir (UN, 2018). 1900 yılları başında tarımsal üretimde aynı kaynaklarla 1.6 milyar insanın ihtiyacını karşılanırken çok kısa bir zamanda 5 kat artışla 8.2 milyar, 2050 yılı itibarı ile 10.4 milyar insanın ihtiyacı karşılanmayı beklemektedir. Buna karşılık günümüzde UN'nin yaptığı diğer bir araştırmaya göre dünya nüfusunun yaklaşık % 10'u açlık ve yetersiz beslenmeyle mücadele etmektedir. 2050 yılı itibarıyla gıda talebi hızlı nüfus artışına paralel olarak %70 artması öngörülürken günümüz koşullarında bile mevcut gıda ihtiyacı karşılanamadığı bir gerçektir.

Tarımsal üretim kaynağı doğa her ne kadar bir kıt bir kaynak olsa da aslında doğru üretim ve tüketim süreçleri ile tahmin edilen nüfus artışlarından daha fazla insanın ihtiyacını karşılayacak üretim kapasitesine sahiptir. Bu bilgiyi küresel ölçekte gıda israfı rakamları doğrulamaktadır. Dünya nüfusunun %10'u açlıkla mücadele ederken 1.3 milyar ton israf gıda edilmektedir (NTV, 2024). Bu yüzden tarımsal üretim ve bölüşüm süreçlerinin yeniden tasarlanması gerekmektedir. Tarımsal üretim süreçlerinin yeniden tasarlanması ise tarımsal inovasyon kavramı ile hayat bulmaktadır.

Tarımsal inovasyon, tarımsal üretim süreçlerinde yenilik ve değişim sağlayacak bilgi, düşünce, yol, yöntem vb. araçları kullanarak sosyal, ekonomik ve çevresel alanda en yüksek katma değer yaratacak uygulamaların hayata geçirilmesidir. Tarımsal inovasyon bilim ve teknolojideki gelişmelere paralel olarak değişen ve dönüşen sosyal ve ekonomik ilişkilere paralel olarak sürekli

gelişmektedir ve tarımsal üretim süreçlerinde olumlu anlamda önemli katkılar sunmaktadır. Tarımsal inovasyon sayesinde birim alandan daha fazla verim artışının sağlanması, tarımsal kaynakların etkin ve verimli kullanılması, ürün kayıplarının önlenmesi, tarımsal ve çevresel üretim maliyetlerin düşürülmesi, üretim ve tüketim süreçlerinde ortaya çıkan atıkların değerlendirilmesi, üretilen ürünlerin muhafazası, raf ömrünün uzatılması ve işlenerek değerinin arttırılması vb. birden çok tarım faaliyetinde sürdürülebilir katma değer yaratan uygulamalar hayata geçirilmiştir.

Günümüzde tarımsal inovasyon uygulamalarının başında dronlar, yapay zeka, robotlar, biyo teknoloji, bigdata, coğrafi bilgi sistemleri gibi teknolojik araçlar gelmektedir. Tarımsal inovasyona sosyal alandan dikey tarım ve şehir tarımı, uzaktan tarım uygulamaları, ekonomik alandan çeşitli ekonomik süreçlerden ortaya çıkan atıkların değerlendirilmesi ve yeniden üretim sürecinde kullanılması, insansız tarım araçlarının kullanılması, güneş enerji panellerinden enerji sağlanması uygulamaları örnek verilebilir.

4. TARIMSAL İNOVASYON TÜRLERİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Tarımsal üretim faaliyetleri, insanlık tarihi boyunca insan varlığının doğayı kendi medeniyetini oluşturup geliştirmesinde doğayı dönüştürüp değiştiren en önemli araçtır. Bilim ve teknolojiadaki gelişimler buna bağlı olarak insan yaşam standardından değişen beklenti ve ihtiyaçlar tarımsal üretim süreçlerini değiştirmektedir. Günümüzde tarımsal üretimin karşı karşıya olduğu çevresel hava, su, toprağın kirlenmesi ve biyo çeşitliliğin azalması, kuraklık, su kaynaklarının tükenmesi, iklim değişimi, tarım arazilerinin amacı dışında kullanılması gibi sorunlar tarımsal üretim faaliyetlerini tehdit etmektedir. Bu tehditlerin birçoğunun kaynağı aynı zamanda sanayi devrimi ile başlayan sadece kara odaklanan, çevresel üretim maliyetlerini ihmal eden ve doğaya büyük zarar veren sürdürülebilir olmadığı anlaşılan tarımsal uygulamalardır. Bu nedenle tarımsal üretim faaliyetlerine farklı bakış açıları ile yenilik ve değişim yapılması gerekmektedir. Bu anlamda birçok devlet tarımda inovasyonu hayata geçirecek yeni yasalar ve politikalarla üretmekte ve inovasyon çalışmalarını teşvik edip yönlendirmektedir.

Tarımda sürdürülebilirlik, insan ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla gerçekleştirilen tarımsal üretim süreçlerinin insan, diğer canlı varlıklar ve

doğaya zarar vermeden bu kaynakların mevcut varlıklarını koruyacak, iyileştirecek ve geliştirecek şekilde kullanılmasını sağlayacak üretim yöntemlerinin tasarlanması ile insan varlığının korunması, sürdürülmesi ve geliştirilmesini amaçlayan ilkeler bütünüdür (Saygı, 2023). Tarım doğada büyük ölçüde doğal şartlara bağlı yapılırken aynı zamanda doğayı da büyük ölçüde etkileyen ve zarar verebilen bir yapıdadır (Saygı, 2022a). Dolayısıyla tarımsal üretim süreçlerinde doğayla uyumlu üretim yöntemlerinin kullanılması insan varlığının devamı ve ihtiyaçlarının sürdürülebilir şekilde sağlanması gerekmektedir.

Sürdürülebilir tarımsal faaliyetler adına uygulama alanı bulan tarımsal inovasyon uygulamaları olarak teknolojik seralar, tohum çalışmaları tarımsal biyoteknoloji, dronlar (zirai insansız hava araçları; ZİHA) algoritmik tarım, permakültür tarım, robotları ve otomasyon, yapay zeka ve bigdata, akuaponik tarım, kentsel ve dikey tarım, akıllı sulama sistemleri, blockchain teknolojisi, yenilenebilir enerji ve sürdürülebilir tarım yöntemleri biyoteknolojik gübreler ve biyopestisitler başlıklarını sayabiliriz.

4.1. Teknolojik Seralar

Seralar, tarımsal ürünleri mevsimi dışında yüksek kar elde etme amacıyla kıt olduğu dönemde, uygun yetiştirme koşullarının sağlanarak üretilmesini sağlayan kapalı üretim sistemleridir. Gelişen teknoloji ile birlikte farklı amaçlarla üretilen ve çok yüksek maliyetleri olan teknolojik aletlerin (robotik aletler, sensörler, bilgisayar kontrollü üretim sistemleri vb) maliyetleri uygun hale gelerek tarımsal üretim sürecinde kullanım alanı bulmaktadır (Saygı, 2022b).

Teknolojinin tarıma bir yansıması olan teknolojik seralar, teknolojinin sağladığı akıllı sistemler sayesinde daha hızlı, daha verimli, daha sürdürülebilir ve neredeyse her türlü dış koşuldaki bağımsız ve tüm üretim sürecinin kontrol altında alarak ürün yetiştirilmesine imkan sağlamaktadır. Teknolojideki gelişmeler sayesinde, mevcut seralar da artık çiftçilerin daha iyi verim ve kâr elde edebilecekleri, hassas bir şekilde kontrol edilen yetiştirme ortamlarına dönüştürülebilmektedir. Teknolojik seralarda tarımsal üretimi sürecinde akıllı otomasyon sistemleri, kendi kendine yeten su sistemleri, aydınlatma sistemleri, ısıtma ve soğutma sistemleri, gölgelendirme sistemleri, enerji sistemleri gibi teknolojiler kullanılmaktadır. Bu seralarda önemli miktarda tarımsal üretim

gerçekleştirmekte, (Tarım ve Orman Bakanlığı 2019 yılı verilerine Türkiye’de üretilen 31 milyon ton sebzenin 23.2 milyon tonu seralarda üretilmiştir) ve insan faydasına sunulmaktadır.

Teknolojik seralar tarımda sürdürülebilirlik adına tarımsal üretim kapasitesini arttırması, tarıma elverişli olmayan arazilerin değerlendirilebilmesine imkan tanınması, tarımsal kaynakları koruması ve üretim sürecini yılın her anına yayabilmesi ve üretimin garanti altına alınması gibi birden çok fayda üreten tarımsal inovasyonun uygulamasıdır.

4.2. Tohum Çalışmaları (Tarımsal Biyoteknoloji)

Biyoteknoloji tarımsal alanda görülen sorunların çözümünde kullanılacak faydalı ürünlerin üretilmesinde biyolojik yöntemlerin kullanılması sürecidir (Günsoy, 2001). Biyoteknoloji uygulamasının ilk olarak 1973 yılında Standfort Üniversitesinde çalışan iki bilim adamı Herbert Wayne Boyer ve Stanley Norman Cohen tarafından yapılan canlılar arası gen transferi hakkındaki çalışma olduğu kabul edilir (Günsoy, 2001). Belirli bir bölgedeki tarımsal alanlara uyarlanmış ve yüksek verim potansiyel olan, zararlı ve hastalıklara karşı dirençli ürün çeşitlerinin sürekli geliştirilmesi, tarımsal biyoteknolojinin en önemli katkılarından biridir. Yıllar süren bilimsel araştırma ve yetiştirme çabalarının bir sonucu olan tohum ıslah ve geliştirme teknolojileri sayesinde yüksek verim alınan, zararlı ve hastalıklara karşı daha dayanıklı olan ve olumsuz çevre koşullarına uyum sağlayabilen bitki tohumlarını üreterek çiftçilerin değişen iklim değişikliğinden kaynaklanan sorunlarla mücadele etmesinde yardımcı olmuştur. Tohum ıslah ve geliştirme teknolojilerinin ürettiği tohumlar çiftçilerin üretkenliğini ve rekabet gücünü artırması yanında daha kaliteli ürünlerin istikrarlı bir şekilde tedarik edilmesini sağlayarak gıda güvenliğine katkıda bulunmaktadır.

Tohum endüstrisinin inovasyona olan bağlılığı, geleneksel yetiştirme yöntemlerinin ötesine uzanır. Biyoteknoloji, genetik mühendisliği ve genomik teknolojilerin tohum ıslah ve geliştirme alanında kullanılması ile tarımsal üretimin önemli bir girdisi olan tohum iyileştirilmesi, yeni türlerin üretilmesi süreçleri daha kısa zamanda gerçekleştirilebilmektedir. Tohum endüstrisi, biyo teknolojilerin gücünden yararlanarak çiftçilerin daha az kaynakla daha fazla üretim yapmasını sağlarken tarımın ilerlemesine katkıda bulunmakta ve sürdürülebilir tarımsal faaliyetler açısından çevresel etkiyi en aza indirir.

4.3. Dronlar, ZİHA

Bilim ve teknolojik gelişmeler, daha çevre dostu tarımsal üretim süreçleri tasarlamak ve tarıma bağlı iklim değişikliğine neden olan fosil yakıtların kullanımını azaltmak için fırsat sunmaktadır. Bu anlamda tarımsal inovasyonun son zamanlarda en önemli örneği yeni bir teknoloji olan drone teknolojisidir (ZİHA). ZİHALAR, sürdürülebilir tarımsal faaliyetlerde çevresel maliyetlere etki eden kullandığı yeşil enerji (elektrik enerjisi) ile tarımsal üretim süreçlerinde fosil yakıtların kullanımını azaltmak için bir alternatif olarak kabul edilmektedir.

Tarımsal üretimin birçok alanında kullanılan nispeten yeni bir teknoloji olan ZİHA'lar, genellikle sıvı tarımsal üretim girdilerini etkili bir şekilde uygulamak için kullanılmaktadır. ZİHA ile yapılan sulama, ilaçlama ve gübrelemede kullanılan girdi miktarını en aza indirmenin yanı sıra kullanılan girdilerin bitkiye daha etkili ve verimli bir şekilde ulaşmasını sağlamaktadır. ZİHA'lar sahip oldukları yapay zeka sayesinde bir kez hafızaya aldığı görevi yapılacak otomatik talimatlarla insan varlığına gerek olmadan faaliyetleri yerine çok kısa bir zaman aralığında gerçekleştirmektedir. Böylece hem zaman hem işçi anlamında avantaj elde edilmektedir. ZİHA'lar ile yapılan faaliyetlerde işlemler havadan yapıldığından yetiştirilen bitkiler fiziksel anlamda zarar görmez ve kötü zemin şartlarına bağlı olmadan etkili sulama, ilaçlama ve gübrelemeye imkan sağladığından verimlilik artar.

Tarımsal üretimde ZİHA'ların en fazla uygulama alanı buğday, mısır, arpa, çeltik, pamuk, üzüm, çay ve mevsim meyveleridir. ZİHA'lar ulaşılması zor, engebeli, ağır şartlarda ıslak olan arazilerde etkili ve verimli sonuçlar üretmektedir. ZİHA'lar hastalık kontrolü, verim tahmini, zararlı ve yabancı ot kontrolü, bitki sayısı ve sağlığının tesbiti ve tarımsal veri kaynağı gibi alanlarda tarımsal üretim süreçlerinde kullanılmaktadır. Tarımsal üretim süreçlerinde kullanımı yeni bir teknoloji olan ZİHA'lar tarımsal kaynakları koruyan, iyileştiren ve geliştiren uygulamalara imkan tanımakta ve gün geçtikçe kullanım alanı genişlemektedir.

4.4. Algoritmik Tarım

Algoritmik tarım (AT), tarımsal üretim faaliyetlerinde mevcut iklim ve toprak yapısında en etkili ve verimli bitki türlerinin ya da yetiştirilecek bitkilere en uygun toprak ve çevresel koşulları belirleme sürecidir (Gezerman ve Yetgin,

2023). AT ürün ve verim kalitesinde özellikle meyve ve sebze ürünlerinde en ideal koşulların sağlanması için veri üreten tarımsal inovasyon uygulamasıdır. AT çalışmaları, bitkiler için birden çok değişkeni aynı anda değerlendirerek etkin ve verimli sulama, ilaçlama ve gübreleme zamanlarının belirlenmesini, en uygun uygun tekniklerinin kullanılmasını imkan tanımaktadır (Elbasi ve ark. 2023).

AT tarımsal üretim faaliyetlerinden elde edilecek faydayı maksimin edebilmek için modern teknoloji araçlarını (makine öğrenimi, yapay zekâ ve veri analizi) kullanmaktadır. AT çeşitli veri kaynaklarını hava, toprak, bitki ve üretim girdilerine ait verileri entegre bir şekilde analiz ederek üretilen bitki için en uygun üretim süreçlerini belirler (Elbasi ve ark. 2023). Örneğin yapay zeka ile ortamdaki bitki gelişim durumu, nem miktarı, sıcaklık gib çevre koşullarını aynı anda değerlendirerek bitki su ihtiyacını, sulama zamanını ve miktarını ve su tüketimini ve kaybını azaltarak suyun verimli kullanılmasına imkan tanır. Bu işlemleri tüm üretim tarımsal üretim süreçlerinde uygulanabilmektedir. AT uygulamaları sürdürülebilir tarım uygulamalarına tarımsal üretim süreçlerinde etkin ve verimli kaynak kullanımını sağlarken en az girdi kullanımı ile verimliliği artırarak önemli bir katkıda bulunur.

4.5. Tarım Robotları, Robotik Çiftlikler ve Otomasyon

Tarımsal üretimin en önemli sorunlarından biri artan insan nüfusunun gıda tedarik taleplerini karşılanmasıdır. Tarımsal üretim faaliyetleri doğaya bağlı olduğu kadar zamana da bağlıdır (Johnston et al. 2018) ve tarımsal üretim sürecinde üretimi artırmak için gereken nitelikli tarımsal iş gücü giderek azalmaktadır (Us ve Akbıyık, 2023). Bu durum insanların soruna yaratıcı çözümler aramasına yol açmıştır. Sonuç olarak, tarımsal inovasyon uygulamalarından biri olan robotik teknoloji tarımsal üretim faaliyetlerinde nitelikli işgücü ihtiyacını karşılama ve ürünler ve çevre hakkında bilgi toplama, üretim sürecinde tohumdan hasada kadar daha birçok ek faydayı sağlama amaçlı kullanılmaktadır (Agritecture, 2023). Bu robotlarla çiftlikler, daha fazla insan işe almadan artan talepleri karşılamak için gıda üretimlerini artırabilir.

Tarım robotu, sahip olduğu yapay zeka tarımsal üretim faaliyetlerini yerine getirebilen teknolojik makinelerdir. Bu makineler, insanlar için ağır ve yoğun emek faaliyetleri kolaylıkla ve hatasız bir şekilde yapabilmekte ve bu faaliyetleri önemli ölçüde kolaylaştırır, daha hızlı ve daha etkili bir şekilde

yerine getirebilmektedir. Daha da önemlisi tarımsal robotlar yapay zeka sayesinde insan gözetimine ihtiyaç duymadan otonom hareket edebilmektedirler. Tarım robotları, verimi artırarak, kaynak kullanım optimizasyonu ile üretim ve çevre maliyetlerini azaltarak, hasat gibi tarımsal üretim faaliyetlerini kolaylaştırarak sürdürülebilir tarımsal faaliyetlere önemli katkılar sunmaktadır (Agritecture, 2023).

4.6. Permakültür Tarım

Permakültür kelimesi, kapalı bir sistemde atık üretmeyecek şekilde toprak, kaynak, insan ve çevrenin değerlendirilmesi kavramını ifade eder. Permakültür Avusturyalı doğa bilimcileri Bill Mollison ve David Holmgren tarafından oluşturulan sürdürülebilir bir tarım tekniğidir (Çağlar Kabacık ve Deretarla Gül, 2021). Çevresel hassasiyeti olan doğal dengeyi sağlamaya odaklı permakültür tarım uygulamaları tarımsal üretim faaliyetlerinde önemli bir tarımsal inovasyon uygulamasıdır.

Permakültür doğal ekosistemlerin çeşitliliğine, istikrarına ve dayanıklılığına sahip tarımsal olarak üretken ekosistemlerin bilinçli tasarımı ve korunması sürecidir. Doğa ve insan uyumlu bir şekilde bütünleşmesi ile sürdürülebilir bir şekilde yiyecek, enerji, barınak ve diğer maddi ve manevi ihtiyaçlarını sağlamayı amaçlamaktadır. Sürdürülebilir tarımda en önemli bileşenlerden biri olan atıklar permakültür tarım uygulamaları ile yeniden üretim süreçlerinde bitki besleme girdisi olarak kullanılması söz konusudur.

4.7. Akuaponik Tarım

Tarımsal inovasyonda önemli bir bileşen olarak bitki, su ve balık gibi farklı özelliklerdeki girdileri ortak bir amaç altında birleştirerek sürdürülebilir tarımsal üretimi amaçlayan akuaponik tarım uygulamaları oluşturmaktadır (Ertaş ve ark. 2023). Akuaponik tarım sistemleri sürdürülebilir tarımsal üretim faaliyetlerine farklı bir bakış açısı getirerek bitki, su ve balık girdilerini birbirinin destekler şekilde bir araya getirerek hem balık üretimi hem bitkisel üretimi hem de su kaynaklarını temiz tutmak amaçlı yapılmasına imkan tanımaktadır (Ertaş ve ark. 2023). Özellikle tarımsal üretimin ana girdisi tarım arazilerinin kıt olması tarımsal üretim kapasitesini sınırlamaktadır.

Akuaponik Tarım ile tarımsal üretim toprağa bağlı olmadan gerçekleştirilebildiğinden bitkisel ve hayvansal anlarda tarımsal üretim kapasitesi artırılmış olmaktadır. Yine balıklar tarafından kullanılan su

içerisindeki atıklar bitkiler tarafından bir besin maddesi olarak alınıp su temizlenmekte ve tekrar balıkların kullanacağı bir hale dönüştürülmektedir. Kendi kendine yetebilen bir kapalı sistem olan akuaponik tarım uygulamaları sürdürülebilir tarım faaliyetlerine önemli bir katkı sunmaktadır.

4.8. Blockchain Teknolojisi

Blockchain, her bir aktiviteyi doğrulamak için üçüncü bir tarafa ihtiyaç duymadan kişiden kişiye işlemleri kaydetmek için kullanılan bir tür genel çift taraflı dijital bir kayıt ortamıdır. Kişiden kişiye (P2P) bir ağ üzerinden dağıtılan ve değişmez kayıtların sürekli bir zincirini oluşturmak için birbirine bağlanmış veri bloklarından oluşur (Reyna et al. 2018). Ağdaki her bilgisayar, kayıt edilmiş verilerin bir kopyasını saklar, bloklar sıralı bir şekilde kalıcı olarak eklenir ve veri kaybına karşı dayanıklıdır.

Tarımsal inovasyon uygulamalarından blockchain, tarımsal tedarik zincirinde güvenilir olmayan durumlarda güvenlik ihtiyacı ve şeffaflığa yönelik artan taleple birlikte tarımsal tedarik zincirinde kullanılan bir teknolojidir. Gıda güvenliği, sürdürülebilirlik, yerel ekonomiyi destekleme isteği, hayvan refahı veya işçi haklarıyla ilişkili endişeler kapsamında birçok insan gıdalarının kaynağıyla daha fazla ilgilenmektedir (Külahlı ve Çağlıyan, 2022). Bir tarımsal bir üründe sorun olması halinde ürünün toplanması, çeşitli gıda maddelerinin kaynağının izlenebilmesi, sorunun nerede başladığının daha hızlı belirlenebilmesi ve kontrol altına alınması, gıdanızın nerede ve nasıl üretildiğini izlenmesi imkanı sunmaktadır (Külahlı ve Çağlıyan, 2022). Bu sayede üretici ve tüketici arasında aldatılma ve aldanma olmadan bilgiye dayalı bir güven ortamı oluşturulmaktadır.

4.9. Yenilenebilir Enerji ve Sürdürülebilir Tarım

Teknoloji yoğun tarımsal üretim faaliyetleri sürecinde makine, sulama, ısıtma ve soğutma için önemli miktarda enerji girdisi gerektirir. tarımsal üretim faaliyetlerinde ihtiyaç duyulan enerji sera gazı etkisi yaratarak çevreye büyük zarar vere fosil yakıtlar (kömür, petrol, doğal gaz) ile sağlanmaktadır. Gelişen teknoloji ile önceden yüksek olan yenilenebilir enerji kaynakları (güneş, rüzgar ve termal) üretim maliyetlerini düşürerek tarımsal üretim süreçlerinde kullanılmasını sağlamıştır (Öymen, 2020). Sürdürülebilir tarım yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanımı ile enerji tüketimini azaltmayı ve tarımsal

üretimden kaynaklanan çevresel etkiyi azaltmayı amaçlamaktadır (Öymen, 2020).

Fosil yakıtlar (kömür, petrol, doğal gaz) gibi geleneksel enerji kaynakları tükenme aşamasına gelmiş olması, sınırlı tedarikleri süreçleri, yüksek çevresel maliyetleri ve iklim değişikliği sürecini hızlandırması nedenleriyle sürdürülebilir bir enerji kaynağı değildir (Yakıncı ve Kök, 2017). Bu kaynakların üretim ve tüketim süreçlerinde atmosfere sera gazları salmakta, doğal kaynakları tüketmekte ve doğal ekosisteme büyük zararlar vermektedir (Yakıncı ve Kök, 2017). Tarımsal üretim faaliyetlerinde enerji kullanımı ile ortaya çıkan sorunları azaltabilmek ve uzun vadeli sürdürülebilirliği sağlamak için yenilenebilir enerjiye kaynaklarının kullanım alanlarını arttırmak gereklidir (Yakıncı ve Kök, 2017).

Yenilenebilir enerji, sera gazı emisyonlarını ve hava kirliticilerini önemli ölçüde azaltarak çevresel etkiyi azaltmada önemli bir rol oynar. Güneş, rüzgar ve hidroelektrik gibi kaynaklar, fosil yakıtlarla ilişkili zararlı yan ürünler olmadan ihtiyaç duyulan enerjiyi üretmektedir. Doğayı yakından etkileyen bir yapısı olan tarımsal üretim faaliyetlerinde yenilenebilir enerji kullanımı ile iklim değişikliğinden kaynaklanan olumsuz etkiler azaltılarak doğal ekosistemler korunmuş olacak bu da sürdürülebilir tarımsal faaliyetlere önemli bir katkı sağlayacaktır (Öymen, 2020).

4.10. Biyolojik Gübreler ve Biyopestisitler

Tarımsal inovasyon uygulamalarından biyolojik gübreler sürdürülebilir tarımsal faaliyetler kapsamında kullanılan ve toprak verimliliğini ve besin içeriğini iyileştirerek bitki verimliliğini artıran çevre dostu teknikleri içermektedir (Javorekova et al. 2015). Tarımsal üretim sürecinin önemli bir girdisi olan bitki besleme materyali gübrelerdir. Biyolojik gübreler üretim ve çevresel üretim maliyetleri yüksek olan kimyasal gübrelere alternatif bitki besleme girdileridir (Parlak ve Güner, 2017). Çeşitli canlı organizmalardan üretilen biyolojik gübreler (Avan ve Kotan, 2021). doğal ortamda toprakta biyolojik olarak parçalanabilmeleri nedeniyle toprakta kirliliğe neden olmadan toprak verimliliğini artırmaktadırlar. Biyolojik gübreler yapımında kullanılan organizmalar bakteri, mikroalg ve mikro mantar gibi mikroorganizmalar veya makroalg, makro mantar ve daha yüksek bitkiler gibi makro organizmalar olabilmektedir. Canlı organizmalar ya da bunların kalıntılarında elde edilen

biyogübreler, toprakta ağır metal birikimine neden olan kimyasal gübreler yerine giderek daha fazla kullanılacaktır. Biyogübre kullanımı, toprağı koruyarak tarımda sürdürülebilir kalkınmayı hedefler. Bu, iklim değişikliğini ve ilgili etkileri azaltacak ve ayrıca kanser, karaciğer ve böbrek yetmezliği ve bağışıklık hastalıkları gibi kirlilikten kaynaklanan birçok ciddi hastalığı azaltacaktır.

Tarımsal üretimde büyük zararlara neden olan bakteri, virüs ve haşere gibi zararlılarla mücadelede kullanılan madde veya madde karışımlarına pestisit denilmektedir. Kimyasal içerikli gübrelerin yarattığı olumsuz etkiler kimyasal pestisitler için de geçerlidir (Balcı ve Durmuşoğlu, 2020). Kimyasal pestisitlere alternatif olan biyopestisitler, tarımsal üretim faaliyetlerinde zararlı organizmaları kontrol etmek için uygulanan yaşayan bir organizma ya da doğal bir materyalden üretilen çevre dostu ürün veya bileşik olarak tanımlanabilir. Biyopestisitler de biyolojik gübreler gibi insan ve çevre sağlığına zarar vermeyen, kimyasallara kıyasla daha az toksik olan ve hedef dışı türler üzerinde çok az veya hiç kalıntı olmayan madde ya da maddelerden oluşan bir karışımdır (Balcı ve Durmuşoğlu, 2020).

5. SONUÇ

Tarım insan varlığının korunması, devamlılığının sağlanması ve geliştirilmesine yönelik ihtiyaçların karşılanması doğada gerçekleştirilen ekonomik üretim faaliyetlerinden biridir. Tarım, insan ihtiyaçlarının karşılanması sürecinde doğayı yakından etkileyen ve doğadan yakından etkilenen yönü ile hem fayda hem de zarar üretebilmektedir. Sanayi devrimi ile tarımda değişen ve dönüşen yeni üretim teknik ve yöntemleri yoğun makineleşme kimyasal kullanımı mono kültür vb. uygulamalar insana, diğer canlı varlıklara ve doğaya verdikleri zararlar nedeniyle sürdürülebilir olmadığı birçok bilimsel çalışmada kanıtlanmıştır.

Sürdürülebilirlik insan ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılan doğanın özelliklerini bozmadan gelecek nesillerin faydalanmasını sağlayacak bir şekilde doğayla uyumlu üretim yöntemlerinin kullanılmasıdır.

Uygulaması eski ancak yeni bir kavram olan tarımsal inoovasyon ihtiyacı sürdürülebilir olmayan bu tarımsal üretim süreçlerini sürdürülebilir bir yapıya değiştirip dönüştürmek amacıyla bilim teknoloji farklı alanlardaki fikirler, organizasyonlar, süreçler gibi yenilik ve değişim yaratacak ve tarımsal üretim

faaliyetlerini doğal çevre ile uyumlu, yüksek katma değer elde edilmesini sağlayacak şekilde tasarlanmasıdır.

Tarımsal inovasyon değişimi sürekliliği olan bir yenilenme ve değişim cabalarıdır. Bu anlamda tarımsal inovasyon tarımsal üretim kapasitesini arttıran, yüksek katma değer yaratan ve çevreyle uyumlu üretim süreçleri kullanılmasını sağlayan sürdürülebilir tarımsal üretim faaliyetlerini tasarlanması sürecinde gerçekleştirilen faaliyetlerdir.

KAYNAKÇA

- Agritecture, (2023). Exploring the Future of Agriculture: A Deep Dive into Robots. <https://www.agritecture.com/blog/exploring-the-future-of-agriculture-a-deep-dive-into-robots> E. T. 27.07.2024
- Aslan, Y. (2018). İnovasyonun Kavramsal Çerçevesi. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 3(6), 122-150.
- Avan, M., ve Kotan, R. (2021). Fungusların Mikrobiyal Gübre veya Biyopestisit Olarak Tarımda Kullanılması. Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi, 3(1), 167-191, 2021. Doi: 10.47898/ijeased.849817
- Balcı, H., & Durmuşoğlu, E. (2020). Bitki koruma ürünü olarak biyopestisitler: tanımları, sınıflandırılmaları, mevzuat ve pazarları üzerine bir değerlendirme. Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi, 11(2), 261-274. <https://doi.org/10.31019/tbmd.807300>
- Çağlar Kabacık, S., Deretarla Gül, E. (2021). Okul Öncesi Eğitim ve Permakültür. OPUS International Journal of Society Researches, 18(Eğitim Bilimleri Özel Sayısı), 5140-5156. <https://doi.org/10.26466/opus.910266>
- Çağlayan, Ç. (2010). Tarım Politikalarındaki Değişimin Sağlık Üzerine Etkileri. TTB Mesleki Sağlık Ve Güvenlik Dergisi, 10(38), 7-17.
- Concern, (2023).The top 10 causes of world hunger. <https://www.concern.net/news/causes-of-world-hunger> E. T. 27.07.2024
- Doğan, Z., Arslan, S., & Berkman, A. (2015). Türkiye’de Tarım Sektörünün İktisadi Gelişimi Ve Sorunları: Tarihsel Bir Bakış. Niğde Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 8(1), 29-41.
- Elbasi E, Zaki C, Topcu AE, Abdelbaki W, Zreikat AI, Cina E, Shdefat A, Saker L. (2023). Crop Prediction Model Using Machine Learning Algorithms. Applied Sciences. 13(16), 9288. <https://doi.org/10.3390/app13169288>
- Elçi, Ş. (2006). İnovasyon: Kalkınma ve Rekabetin Anahtarı (2). Ankara: Nova Basın Yayın, 1.

- Er, P. H. (2013). Girişimcilik ve Yenilikçilik Kavramlarının İktisadi Düşüncedeki Yeri: Joseph A. Schumpeter. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi(29), 75-85.
- Ertaş, İ., Gökçe, MA, Saygı, H., Ertaş, A. (2023). Akvaponik Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Fesleğen (*Ocimum basilicum* L.) ve Lavanta (*Lavandula angustifolia*) Yetiştiriciliğinin (Sazan, *Cyprinus carpio* L.) Araştırılması. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 33(4), 618-633. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.1286610>
- Gezerman, A. O., Yetgin, A. Algoritmik Tarım. İnovatif: Toros İnovasyon Bülteni, Toros Gübre Yayınları, s. 29, 2023 https://torosarge.com/wp-content/uploads/2023/12/inovatif_BultenKasim23.pdf
- Günsoy, B. (2001). Tarımsal Biyoteknoloji: Fırsatlar ve Riskler. Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 3(1), 199-214.
- Hajiyeva, A., Mammadova, U., Tanriverdiyeva, G., & Kovalenko, O. (2024). Technological innovations in agriculture: Impact on production efficiency. *Scientific Horizons*, 27(1), 172-182. <https://doi.org/10.48077/scihor1.2024.172>
- IIENSTITU, (2020). İnovatif Düşünce Nedir? <https://www.iienstitu.com/blog/inovatif-dusunce-nedir> E. T. 27.07.2024
- Javorekova, S., Makova, J., Medo, J., Kovacsova, S., Charousova, I., Horak, J. (2015). Effect of bio-fertilizers application on microbial diversity and physiological profiling of microorganisms in arable soil. *Eurasian Journal of Soil Science* 4: 54-61.
- Johnston, D., Stevano, S., Malapit, H. J. L. (2018). Time use as an explanation for the agri-nutrition disconnect? Evidence from rural areas in low and middle-income countries. *Food Policy*, Vol. 76 <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2017.12.011>
- Keskin, S. (2018). Girişimcilik ve İnovasyon Arasındaki İlişki. *Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 5(13), 186-193.
- Külahlı, S. ve Çağlıyan, V. (2022). Tedarik Zincirinde Blok Zinciri Teknolojisi Uygulamaları: Sistematik Bir Literatür Taraması. *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 22(1), 57-75. <https://doi.org/10.30976/susead.1100978>

- Mutlu, M. S. (2022). Postmodern Yönetim Anlayışı ve Kurum İçi İletişim Sivil Havacılıkta Yer Hizmetleri Alanında Kuşaklar Arasında Bir Araştırma. *FSM Mesleki Bilimler Dergisi*, 1(1), 58-92.
- NTV, (2024). Günde 4,3 milyon ekmek çöpe gidiyor. https://www.ntv.com.tr/turkiye/gunde-4-3-milyon-ekmek-cope-gidiyor,fqSCh8OjLUSb2_RYBGNRfw E. T. 27.07.2024
- Öymen, G. (2020). Yenilenebilir Enerjinin Sürdürülebilirlik Üzerindeki Rolü. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(39), 1069-1087. <https://doi.org/10.46928/iticusbe.769022>
- Parlak S, Güner D (2017) Mikrobiyal gübre uygulamasının karaçam (*Pinus nigra* Arnold. Subsp. *Pallasiana* (Lamb.) Holmboe) fidanlarının bazı morfolojik özelliklerine etkisi. *Ormancılık Araştırma Dergisi* 4(2): 100-106.
- Reyna, C. Martín, J. Chen, E. Soler, M. Díaz, (2018). On blockchain and its integration with IoT Challenges and opportunities. *Future Generation Computer Systems*, 88, 173–190.
- Saygı, H. (2022a). Tarımda İklim Değişikliğinin Olumsuz Etkileri ve Çözüm Yolları. *İklim Değişikliği ve Tarımda Dönüşüm* Ed. M. F. Baran., A. Çelik. İksad Yayınevi, 261, 2022.
- Saygı, H. (2022b). Relationship Between Sports and Organic Agriculture. *Etoxec*, vol. 2(2), 133–143.
- Saygı, H. (2023). Effect of Municipal Solid Waste Compost on Yield, Plant Growth and Nutrient Elements in Strawberry Cultivation. *Sustainability*. 15(12), 9447. <https://doi.org/10.3390/su15129447>
- Saygı, H., Gökçe, M. A. Saygı, A. (2018). Importance of Sustainable Agricultural Management, *International Journal of Agriculture, Environment and Bioresearch*, Vol. 3(4), 233-241.
- Tarım ve Orman Bakanlığı, (2019). Örtü Altı Yetiştiricilik: Seracılık ve Örtüaltı Üretimimizde Mevcut Durum. <https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/> E. T. 27.07.2024
- Tiryaki, O., Canhilal, R., Horuz, S. (2010). Tarım ilaçları kullanımı ve riskleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 26(2), 154-169.

- UN, (2018). World population set to grow another 2.2 billion by 2050: UN survey. <https://news.un.org/en/story/2018/10/1023371> E. T. 27.07.2024
- Us, K., & Akbıyık, N. (2023). Tarım Sektöründe İstihdam ve Çalışanların Sosyal Güvenliği. *Econharran*, 7(12), 25-36.
- worldometers, (2024). <https://www.worldometers.info/world-population/> E. T. 27.07.2024
- Yakıncı, Z. D. ve Kök, M. (2017). Yenilenebilir Enerji ve Toplum Sağlığı. İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu Dergisi, 5(1), 43-55.
- Yeşilorman, M., Koç, F. (2016). Bilgi Toplumunun Teknolojik Temelleri Üzerine Eleştirel Bir Bakış. Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 24(1), 117-133. <https://doi.org/10.18069/fusbed.72486>

BÖLÜM 7

YÜZEYALTI DAMLA SULAMA SİSTEMİ

Doç. Dr. Yeşim BOZKURT ÇOLAK¹

Dr. Öğrt. Üyesi Alper BAYDAR²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13684918>

GİRİŞ

Tarım sektörü dünyada suyun en fazla kullanıldığı sektördür. Tarımsal üretim için ayrılan suyun giderek azalması sonucunda, suyu daha etkin ve ekonomik kullanımını sağlayabilmek için farklı sulama yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler içinde de küçük debilerle çalışan ve su tasarrufu sağlayan düşük basınçlı sulama yöntemleri günümüzde önem kazanmaktadır (Çamoğlu, 2004). Sulama yöntemleri içerisinde, üniform su kullanımı, yüksek randıman, sulama suyu tasarrufu ve işletme kolaylığı bakımından, özellikle sebze, meyve ağaçları ve süs bitkilerinin sulanmasında damla sulama yöntemi ön plana çıkmaktadır.

Damla sulama, arındırılmış suyun ve gübrenin damlatıcılar aracılığı ile düşük basınç ve sürekli bir akış veya damlalar halinde toprak yüzeyine ya da bitki kök bölgesine verildiği yöntemdir. Damla sulama yönteminin çok farklı uygulama şekilleri bulunmaktadır. Bu uygulama şekillerinden birisi olan yüzey altı damla sulama sistemi ise damla sulama sisteminin toprak altına yerleştirilmiş ve suyun doğrudan bitki kök bölgesine verildiği bir sulama yöntemidir. Yüzeyaltı damla sulama sistemlerinin diğer sulama yöntemlerine göre çok daha yüksek su tasarrufu sağladığı bilinmektedir. Yapılan su tasarrufu ile daha fazla alanda yetiştiricilik imkânı sağlanmaktadır.

Yüzeyaltı damla sulama sistemi yaklaşık 1960'lı yılların başlangıcından bu yana A.B.D'de gelişmiştir. Fakat ilgi 1980'li yılların başından beri artmıştır. 1990'lı yıllarda Amerika, İsrail, İtalya gibi ülkelerde meyve bahçelerinde, çim ve yem bitkileri gibi çok yıllık bitkilerin sulanmasında kullanılırken, günümüzde ise tüm sebzeleri içerisine alacak şekilde kullanılmaktadır. Ülkemizde damla sulama yöntemi ile sulanan alanlar gün geçtikçe artmasına rağmen, yüzeyaltı damla sulama yöntemi uygulamaları ise son yıllarda görülmektedir. Bu uygulamaların, ülkemizde faaliyet gösteren damla sulama sistemi unsurlarını üreten ve pazarlayan yabancı firmalar tarafından Ege Bölgesindeki bağ alanlarında, GAP Bölgesindeki sanayi domatesi alanlarında ve patates ile soğan yetiştiriciliğinin yapıldığı bölgelerde yoğunlaştığı bilinmektedir. Yüzeyaltı damla sulama sisteminde lateraller toprak altına gömülü olduğundan sulama suyu doğrudan bitki kök bölgesine uygulanmaktadır. Yüzeyaltı damla sulama yöntemiyle, suyu ve bitki besin maddesini daha randımanlı uygulayarak verim ve meyve kalitesi arttırılabilir. Toprak yüzeyinden olan buharlaşma çok düşük olduğundan toplam sulama

suyu gereksinimi azalmaktadır (Ayars ve ark.,1999).

Yüzeyaltı damla sulama sistemleri, uygulanan suyun diğer sulama sistemlerine göre daha iyi kontrol edilebilmesine olanak sağlarken çok daha türdeş su dağılımları da gerçekleştirebilmektedir. Yüzeyaltı damla sulama sistemleri yarı kurak iklimlerde su korunumu sağlayarak su kullanım etkinliklerini artırmak amacıyla da kullanılabilir. Bu modern sulama yöntemi su uygulamalarına kesin bir kontrol sağlamasına rağmen teknolojinin nasıl kullanılacağına yönelik bilgi eksikliği bulunmaktadır.

Yüzeyaltı Damla Sulama Sistemi ile Diğer Sulama Sistemlerinin Karşılaştırılması

Bütün diğer sulama sistemleri incelendiğinde, toprak altı damla sulama sisteminin bütün çalışmalarında verim artışı diğer sistemlere göre ya eşit ya da daha iyi olmuştur.

Henggeler 1995, raporunda batı Teksas'ın birkaç bölgesinde yapılan araştırmada karık sulama yapan çiftliklerde yüzeyaltı damla sulama yapıldığında pamuk veriminin % 20 arttığı bildirilmiştir. Hawai'de ise yağmurlama sistemine karşılık yüzeyaltı damla sulama sistemi kullanıldığında yonca bitkisinde de aynı durum görülmüştür. Bununla beraber her hasat zamanında yağmurlama sistemi kurup kaldırmak için daha fazla iş gücüne ihtiyaç bulunmaktadır. Bui ve Osgood 1990 ve Zoldoske 1993 raporunda yapılan denemelerinde çim bitkisinin SDI ile yağmurlama sisteminden aynı sonucu almıştır. Fakat yağmurlama sisteminin maliyeti daha yüksek olmuştur. Hawai'de verimi SDI ile karık sulamadan daha iyi olmuştur. Tayvan'da ki aynı çalışma siltli toprakta yapılmış ve sonuç aynı olmuştur (Huang 1982).

Genel olarak mısır için SDI ile yüzey damlamanın verimi aynı olmaktadır. Bu anlamda yapılan çalışmalarda pamukta ve sorgum tohumunda denemeler yapılmıştır. Bazı hallerde özellikle de pamukta sulamanın azaltılmasıyla verimde de düşüş olmuştur. Fakat SDI'da düşüş daha az görülmüştür. Bazı toprakta SDI ile verim daha da artarken bazı topraklarda tersi durum yaşanmıştır (Phene, 1992a).

Bahçe bitkilerinde verim bir çok SDI ile diğer sulama sistemlerine istinaden eşit veya daha fazla olmaktadır. Güney Carolina'da tatlı mısırdaki yapılan çalışmada yüzeyaltı damla sulama sisteminde diğer sulama sistemlerine göre %12-14 arasında bir verim artışı olduğunu bildirmişlerdir (Phene ve Beale,

1976). Teksas ve Kaliforniya’da domateste karık sulamadan %20 daha fazla verim sağlanmıştır. Fakat Arizona’da Kantalup cinsi kavunda, soğanda ve havuçta Teksas’da tatlı mısır aynı olmaktadır. (Wendt, 1977) Arizona’da lahana SDI’da karık sulamadan %35 daha fazla verim sağlanmış ve aynı zamanda %35 daha fazla kabak bitkisi her iki yağmurlama ve karık sulama sistemi ile elde edilmiştir. Buna rağmen karık sulamada gübre ilave edildiğinde lahana ve kabak bitkisinin verimi SDI sistemi kadar arttırmaktadır. Yüzeyleft damla sulamanın kabak bitkisi için yaz aylarında buharlaşmayı azaltmasından dolayı daha olumlu etkisi vardır. Clark, 1991 araştırmasında Florida’da domates veriminde SDI ile yüzeyleft damla sulama sisteminin veriminin aynı olduğunu bildirmiştir.

Kaliforniya, İsrail ve New Mexico’da patates bitkisinde yapılan çalışmalarda yağmurlama ve yüzeyleft damla sulama sistemlerinde karşılaştırma yapılmış, Kaliforniya ve Idaho’da patates verimleri yüzeyleft damla sulama sisteminde yağmurlamadan daha fazla olduğu görülmüştür. New Mexico’da ise bölgenin bir kısmında verim artışı görülürken, bir kısmında olmamıştır (Del Tar ve ark., 1996; Nebling and Brooks, 1995). Güney Karolina’da sığır bezelyesi, taze fasulye, sarı kabak, misket kavunu ve brokoli, Kaliforniya’da domates, İsrailde bezelye ve armut verimi New Mexico’da marul, Mısır’da domates ve salatalık verimlerinde artış olmuştur. Clark 1993, ölçümlerinde yüzeyleft damla sulama ile yüzeyleft damla sulama sisteminden daha fazla domates verimi elde edildiğini açıklamıştır. Fakat her iki sistemde de ilk üç hafta yüzeyleft damla sulama sistemi yapılmıştır. Her sezonda ikinci ürün olarak sebze ve meyve ürünü almak için aynı yüzeyleft damla sulama sisteminin kullanılması gerekir (Buck ve ark., 1981; Camp ve ark., 1993).

Tunus’ta yüzeyleft ve yüzeyleft damla sulama sistemlerinin patlıcan bitkisi üzerine etkilerini araştırmak için yapılan bir çalışmada, yüzeyleft damla sulama sisteminin yüzeyleft damlaya göre %23.2 su tasarrufu ve verimde %40 gibi önemli bir artış sağladığı belirlenmiştir. Yüzeyleft damla sulama sisteminin yüzeyleft damlaya göre daha üniform toprak nem içeriği sağladığı belirtmişlerdir. Toprak altına yerleştirilen laterallerden patlıcanın bitki boyu, verimi ve su kullanım randımanını arttırdığı görülmüştür (Douh ve Boujelben, 2010).

Çin’de iki sulama yöntemi (yüzeyleft ve yüzeyleft) ve dört farklı fertigasyon düzeyinin dolmalık biber üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmada dolmalık biber verimi yüzeyleft damla sulama sisteminde yüzeyleft damla sulamaya göre

2007 yılında %4, 2008 yılında da %13 daha yüksek ve önemli çıkmıştır (Kong ve ark., 2011).

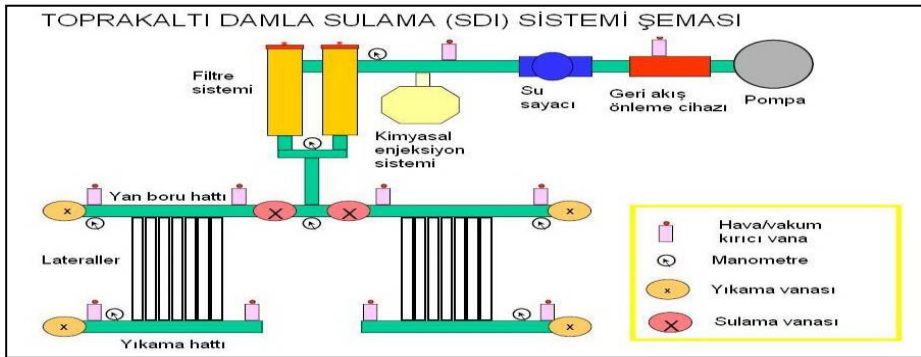
Kruse ve Israeli (1987), Colorado’da mısır üretimi için yüzeyaltı damla sulama sistemlerinde 1.5 m lateral aralığı kullanarak inceleme yapmışlardır. Lateralden olan uzaklık arttıkça bitki sıralarından elde edilen verimler arasındaki farkın arttığını belirlemişlerdir. Camp ve ark. (1989) mısır, pamuk ve soya gibi sıra bitkilerinin yüzey ve yüzeyaltı damla yöntemiyle sulanmasında alternatif karık sisteminin kullanılmasının yatırım giderlerini azalttığını belirtmişlerdir.

Yüzey ve yüzeyaltı damla sulama sistemlerinin mısır bitkisi üzerindeki etkisini değerlendirmek için yapılan çalışmada sulama aralığı, miktarı ve uygulama yönteminin verim ve verim bileşenleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Tane verimi değerleri 8.4 t/ha (susuz) ile 13.14 t/ha (haftalık tam sulama) arasında değişmiştir. Deneme konularına ilişkin verimlerde önemli farklılık olmamasına karşılık genelde yüzey damla sulama konularında daha yüksek verim elde edildiği belirtilmiştir (Howell ve ark., 1995; Howell ve ark., 1997).

Safontas ve Di Paola (1985) Amerika Birleşik Devletleri’nin sahil ovalarında yaptıkları çalışmada 50 cm derine yerleştirilmiş damlatıcıların kullanıldığı parsellerden elde edilen verimin, yağmurlama sulama kullanan parsellere oranla %35 daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Yüzeyaltı Damla Sulama Sistem Unsurları

Tipik bir yüzeyaltı damla sulama (SDI) sisteminin dizaynı için aşağıda belirtilen asgari unsurların bulunması gereklidir (Şekil 1).



Şekil 1. SDI sistem şeması

Pompa; sistemde sulama için gerekli olan basıncı sağlayacak kapasitede olmalı.

Filtrasyon sistemi; su kaynağına göre kum-çakıl, elek veya hidrosiklon filtre kombinasyonları kullanılabilir. Damlatıcı boyutu ve sulama suyu kalitesine göre 120-200 mesh kapasitesinde elek filtreler kullanılır.

Fertigasyon sistemi; gübre ve kimyasal enjeksiyonu için korozyona dayanıklı ve uygun kapasitede olmalı. Günümüzde dozaj pompalı sistemler yaygın olarak kullanılmakta ve önerilmektedir.

Geri akış önleme vanası; pompa arızaları veya elektrik kesintilerinde su+kimyasal maddelerin su kaynağına geri dönüşünü engeller. Ayrıca sistemde olası arıza durumunda gerekli onarımın yapılmasına fayda sağlar.

Hava tahliye vanası; sistem kapandığında boru hatları içinde vakum oluşur ve damlatıcılardan içeriye toprak benzeri maddeler emilir ve damlatıcılar tıkanır. Bunu önlemek için sistemin (yan boru hatları) en yüksek noktalarına hava tahliye vanaları monte edilir.

Yıkama hatları; sistemde bulunması zorunlu olmamakla birlikte, kullanıldığında lateral hatları içinde türdeş bir basınç dağılımı sağlar aynı zamanda boru hatları içinde zamanla biriken sedimentlerin bir vana hattından tahliye edilmesini sağlar.

Su sayacı; sisteme verilen sulama suyu miktarının ölçülmesinde kullanılır.

Manometre; sistem basıncını ölçer. Projeleme kriterlerine göre belirlene çalışma basıncının kontrolünü sağlar ayrıca sistemde olası tıkanma veya boru patlaklarının izlenmesinde kullanılır.

SDI sistemlerinin işletiminde göz önüne alınması gereken unsurlar (sulama programlaması, tıkanma kontrolü ve yıkama gereksinimi, tuzluluk yönetimi, vb.) küçük farklılıklar dışında, geleneksel (yüzey) damla sulama (DI) sistemlerine oldukça benzerdir. SDI sistemlerinde dikkat edilmesi gereken en önemli konu laterallerin gömülme derinlikleridir. Laterallerin gömülme derinlikleri, toprak ve bitki özelliklerine bağlı olarak, 15 ile 60 cm arasında değişmektedir (Ferguson, 1994). Yüzlek köklü bitkiler (sebzeler) için toprak tipine bağlı olarak ortalama 25 cm derinlik yeterli olmaktadır. Kapiler su iletiminin düşük olduğu hafif bünyeli topraklarda daha sığ (yüzlek) derinlikler gerekirken, ağır bünyeli topraklarda kapiler su yükselişi daha kolay olmasından dolayı daha derin lateral derinlikleri kullanılabilir.

Özellikle sebze yetiştiriciliğinde tohum ekimi direk toprağa yapıldığında çimlenme için gerekli olan nemi SDI sistemiyle sağlamak oldukça güçleşmektedir (Howell ve ark., 1997). Bu amaçla, anılan dönemde geçici olarak farklı bir sulama yöntemi (mini yağmurlama) kullanılmalı veya toprak tipi de dikkate alınarak lateraller yüzeysel gömülmelidir. İyi bir su dağılım türdeşliği sağlayabilmek için lateral gömülme derinlikleri her yerde eşit olmalı ve lateraller gömülürken damlatıcı su çıkış ağızları toprak yüzeyine bakmalıdır (Broner ve Alam,1996).

Yüzeyaltı Damla Sulama Sisteminin Avantajları ve Kullanım Alanları

Yüzeyaltı damla sulama (SDI) sisteminde toprak yüzeyi kuru kalırken, alan boyunca kök bölgesini eşit ıslatır; bu nedenle yabancı ot gelişimi azalır, buharlaşma azalır, derine sızma ortadan kalkar, daha randımanlı su kullanımı sağlar, düşük kaliteli suların kullanımı için imkanlar geliştirir, çok yüksek su uygulama türdeşliği vardır, bitki büyümesini, verimi ve kalitesini arttırması, sağlıklı bitki gelişimini sağlaması, iş gücü gereksiniminin daha az olması, gübrenin sulama suyu ile birlikte uygulanması (fertigasyon), ikinci ürün yetiştirme imkanını arttırması, otomasyon, sistem ömrünün uzun olması, daha az böcek zararı gibi avantajlar sağlayan modern bir sulama tekniğidir. Bütün bu faydalar tarımın sürdürülebilirliği, toprak ve su koruma ve su kullanım randımanını arttırmak için katkıda bulunabilmektedir. Yüzeyaltı damla sulama sistemi son yıllarda peyzaj ve spor alanlarında, karayolu refüj sahalarında, peyzaj alanlarında ve tarımsal sulama alanlarında her geçen gün kullanımı artmaktadır.

Yüzeyaltı Damla Sulama Sisteminin Dezavantajları

Yüzeyaltı damla sulama sisteminin avantajları olmasının yanında dezavantajları vardır. Bunlar; sulamaların değerlendirilmesi ve izlenmesinin zorluğu, karık genişliğinin ve bitki rotasyonunun değiştirilmesinin zor olması, bitki kök gelişiminin sınırlandırılması, pahalı bakım onarım sorunu dizayn sorunu, sistemden vazgeçmenin zor olması gibi sorunlardır.

Lateral Derinliği ve Aralığı

Lateral derinliği değişken bir uygulamadır bundan dolayı bitkide ki verimliliği de değişke olmaktadır. Lateral derinliği 0.02-0.70 m, lateral

genişlikleri 0.25-5 m arasında değişmektedir. Bu değişim bitki ve toprağa göre belirlenmektedir. Toprağın yapısı ve su kaynağının karakteristiğinin yanı sıra bölge şartları da dikkate alınarak yapılacak işlemler optimize etmekle mümkün olur. Bu anlamda farklı lateral derinlikleri dikkate alınarak yapılan çalışmalarda farklı verim değerleri elde edilmiştir. Literatürlerde ve araştırmalarda yer alan bazı araştırma sonuçlarına göre bitkilerde kullanılacak lateral gömülme derinlikleri ve lateral aralıkları Çizelge 1’de verilmiştir (Camp, 1998).

Çizelge 1. Bazı bitkilerde lateral derinlik ve aralıkları

Bitki	Kaynak	Lateral Derinliği (m)	Lateral Mesafesi (m)
Amarant	Gönen ve ark., 2021	0.25	0.70
Domates	Bar-Yosef ve ark., 1991	0.30	0.45
	Batchelor ve ark., 1994	0.15	1.0
	Clark ve ark., 1991	0.25-0.40	1.37
	Clark ve ark., 1993	0.30	1.5
	Davis ve ark., 1985	0.45	1.63
	El-Gindy ve El-Araby, 1996	0.25	0.30
	Martin ve ark., 1996	0.18	1.0
	Bogle ve ark., 1989	0.15-0.20	2.0
	Grattan ve ark., 1988	0.25	1.5
	Hutmacher ve ark., 1985	0.45	1.63
	Nightingale ve ark., 1985	0.45	1.7
	Phene ve ark., 1990, 1992b	0.45	1.63
	Rose ve ark., 1982	0.46	1.52
	Schwankel ve ark., 1990	0.15-0.30	1.5
	Sutton ve ark., 1985	0.12	1.32
Marul	Chase, 1985	0.07	0.30
	Martin ve ark., 1996	0.18	1.0
	Thompson ve Doerge, 1996	0.15	1.02
Dolmalık biber	Bracy ve ark., 1995	0.15	1.0
	Schwankel ve Prichard, 1990	0.10	0.76
Hıyar	Bozkurt Çolak ve ark.,	0.20	0.70
	El-Gindy ve El-Araby, 1996	0.25	0.30
Fasulye	Camp ve ark., 1993	0.30	0.76-1.52
Kabak	Camp ve ark., 1993	0.30	0.76-1.52
	Rubeiz ve ark., 1989	0.15	-
Kavun	Buck ve ark., 1981	0.02-0.15	1.5
	Phene ve ark., 1989	0.45	-
Karpuz	Pier ve Doergo, 1995a	0.20	2.0
	Pier ve Doergo, 1995b	0.20	2.0
Havuç	Buck ve ark., 1981	0.02-0.15	1.5
	Martin ve ark., 1996	0.18	1.0
Elma	Barth, 1995	0.3-0.7	2-5
Muz	Gushiken, 1995	0.15-0.30	-
Bağ	Grimes ve ark., 1990	0.25-0.30	-
	Zoldoske ve Norum, 1997	0.45	3.67
	Duraktekin ve ark., 2023	0.40-0.45	0.40
Tatlı mısır	Bar-Yosef ve ark., 1991	0.30-0.45	-
	Onken ve ark., 1979	0.45	1.02
	Phene ve Beale, 1979	0.05	1.0-1.65
	Wendt ve ark., 1977	0.30	1.02
Patates	Barth, 1995	0.3-0.7	2-5
	De Tar ve ark., 1996	0.08-0.58	0.81
	Phene ve ark., 1979	0.02	1.65
Soğan	Martin ve ark., 1996	0.18	1.0

Çizelge 1. devam

Bitki	Kaynak	Lateral Derinliği (m)	Lateral Mesafesi (m)
Yonca	Bui ve Osgood, 1990	0.35	1.5
	Kruse ve Israeli, 1987	0.12-0.37	1.5
	Mead ve ark., 1993	0.41	1.2
	Özfidaner ve ark., 2023	0.30-0.40	0.70-1.05-1.40
Mısır	Ademsen,1992	0.35-0.41	0.91
	Cardwell ve ark., 1994	0.40	1.5
	Camp ve ark., 1989	0.30	0.76-1.52
	Darusman ve ark., 1997a	0.40-0.45	1.5-3.1
	Darusman ve ark., 1997b	0.40-0.45	1.5
	Evelt ve ark., 1995	0.15-0.30	1.52
	Evelt ve ark., 1995	0.30	1.52
	Howell ve ark., 1997	0.30	1.5
	Kruse ve Israeli, 1987	0.12-0.37	1.5
	Lamm ve Manges, 1991	0.40-0.45	1.5
	Lamm ve ark., 1995a	0.40-0.45	1.5
	Lamm ve ark., 1995b	0.45	0.76-3.05
	Lamm ve ark., 1997a	0.40-0.45	1.5-3.0
	Lamm ve ark., 1997b	0.40-0.45	1.5
	Mitchell,1981	0.36	0.9
	Oron ve ark., 1991	0.30	0.95,1.90
Cotton	Ayars ve ark., 1995	0.45	1.7
	Camp ve ark., 1997a	0.30	1.0,2.0
	Fangmeier ve ark., 1989	0.20	1.0
	Henggeler, 1995	0.20-0.35	1.0-3.1
	Hutmacher ve ark., 1993,1995	0.45	1.52
	Oron ve ark., 1991	0.30	0.95, 1.90
	Plaut ve ark., 1985	0.40	
	Tollefson, 1985a	0.25	1.0
Tollefson, 1985b	0.20-0.25	1.9	
Fıstık	Adamsen, 1989	0.35-0.41	0.91
Şeker kamışı	Huang ve ark., 1982	0.30	
	Moore ve Fitschen, 1990	0.10	2.7
Çim	Gushiken, 1995	0.15-0.30	
	Solomon ve Jorgensen, 1992	0.30	
	Zoldoske ve ark., 1995	0.15-0.30	
Buğday	Oron ve ark., 1991	0.30	0.95, 1.90
	Senock ve ark., 1996	0.18-0.25	0.51
	Tollefson, 1985b	0.20-0.25	1.9
Patlıcan	Bozkurt Çolak ve ark., 2015	0.25	0.40
Çeltik	Bozkurt Çolak ve ark.,2021	0.25	0.6

Lateral Özellikleri ve Tıkanma Sorunları

Yüzeysel damla sulama sisteminde, yüzey damla sulamaya göre kullanımı daha farklı olmasından kaynaklı kullanılması gereken lateraller de

farklılık göstermektedir. Bunların başında en önemlisi bitki köklerinin damlatıcılar içerisine girmesini engelleyici çekvalf (anti sifon) yapılı olmasıdır. Teknolojinin ve yüzeyaltı damla sulama sisteminin gelişmesi ile birlikte treflan salınımı yapan damlatıcı membranları köklerin damlatıcı içerisine girmesini engelleyebilmektedir. Yüzey damlada olduğu gibi sistemin uygulama alanı ve projelendirme özelliğine bağlı olarak basınç düzenleyici özellikte damlatıcıların olması olası sorunların ortadan kaldırılmasına yardımcı olabilmektedir.

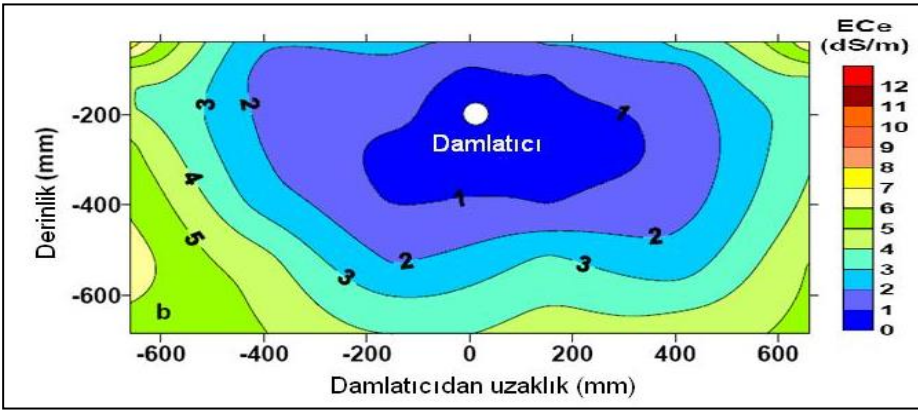
SDI sistemlerinde damlatıcıların toprak zerrelere ve kök girişi nedeniyle tıkanması en yaygın karşılaşılan sorundur. Sistemin çalışması bittiğinde veya enerji kesintilerinde boru hatları içinde oluşan vakum nedeniyle damlatıcı yakınında bulunan toprak zerrelere damlatıcılardan içeri emilerek tıkanmaya neden olmaktadır. Bu sorun sistemde gerekli noktalara (sulama alanında en yüksek kotlar) vakum kırıcı vanaların yerleştirilmesiyle önlenmektedir. Damlatıcılar içine kılcal kök girişi nedeniyle ortaya çıkan tıkanma sorunu genelde eksik sulama şartlarında ortaya çıkmaktadır. Sık yapılan sulamalar kök girişini azaltabilmektedir (Suarez-Rey ve ark., 2006). Ayrıca uzun akış yollu tip damlatıcılar kök girişlerine fiziksel bir bariyer oluşturabilirken, belirli zamanlarda sisteme enjekte edilen treflan benzeri herbisitler de kimyasal bariyer oluşturmakta ve damlatıcılara kök girişini kesin olarak engelleyebilmektedir (Ferguson, 1994).

Yüzeyaltı Damla Sulama Sisteminde Sulama Programı ve Tuzluluk

SDI sistemlerinde toprak yüzeyinde sulama ile ilgili belirti olmadığından sistemin sulama başarısını görme imkânı yoktur. Yetersiz sulamalar verim ve kalite düşüşlerine neden olurken, aşırı sulamalar derine sızma ve toprak havasızlığı sorunlarına neden olabilmektedir (Lamm, 2002). Bunu engellemek için toprak nem içeriği kontrollerinin düzenli bir şekilde yapılması gerekmektedir.

SDI sistemlerinde sulama suyu doğrudan bitki kök bölgesine uygulandığından, yüzey akış, derine süzülme ve buharlaşma kayıpları elemine edilerek sistemde tıkanma olmadığı varsayıldığında, su uygulama randımanı %100 olarak alınabilmektedir. Bu nedenle, net sulama suyu ihtiyacı hesaplamalarında önemli bir yer tutan bitki gelişim katsayıları (Kc) ve randıman değerleri dikkatle seçilmelidir.

Tarım alanlarında sulama amacıyla kullanılan yerüstü veya yeraltı suları belirli miktarlarda erimiş katı madde (tuz) içerirler. Su toprak yüzeyinden buharlaştıkça veya bitkiler tarafından kullanıldıkça geride tuz birikimine neden olmakta ve buharlaşma derecesine bağlı olarak en fazla tuz yoğunluğu toprak yüzeyine yakın katmanlarda oluşmaktadır (Anonim, 1958). Örtüaltı yetiştiriciliğinde gerek yüksek sıcaklıklar gerekse doğal yağışlarla yıkanma olmaması nedeniyle toprak tuzluluk artışı tarla şartlarına göre çok daha yüksek olmakta ve artan tuzluluk toprak bozulmalarına ve verim düşüşlerine neden olmaktadır (Nakano ve ark., 2003). Bu sorun tuzlu suların SDI sistemleri ile uygulanmasıyla ortadan kaldırılabilir (Oron ve ark., 1990). SDI sistemlerinde toprak yüzeyi ıslatılmadığından buharlaşma minimum düzeyde olmaktadır. Ayrıca SDI sistemlerinde toprak tuzları sulama suyuyla birlikte kök bölgesinin dışında bulunan daha derin toprak katmanlarına yıkanmakta ve bitkinin aktif köklerinin tuzluluk zararlanması en az düzeyde olmaktadır (Oron ve ark., 1999). Kuyu su kaynağının kullanıldığı bir SDI sisteminde toprak tuz dağılımı Şekil 2’de verilmiştir. (Hanson ve May, 2004).



Şekil 3. SDI sisteminde toprakta tuz dağılımı

SDI sistemi kullanılarak 30’dan fazla bitki üzerinde yürütülen çalışmalardan elde edilen sonuçlar genelde anılan sistemin önemli verim artışları sağladığı ve yüzey damla sulamaya göre daha fazla su tasarrufu yapıldığı ortaya konulmuştur (Lamm ve ark., 2010).

SDI sistemleriyle ilgili en yaygın yapılan tartışma sulama laterallerinin gömülme derinlikleri ve damlatıcı tıkanma sorunudur (Patel ve Rajput, 2007). Tüm sulama sistemleri gibi toprakaltı damla sulama sistemleri de uygun şekilde

dizayn ve işletim gerektirir (Trooien ve ark., 2008).

SDI sistemlerinin yüksek nem sorunu yaşanan bitkilerde kullanılması anılan sorunun çözümünde oldukça faydalı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca, sulama suyu sağlamada sıkıntı yaşanan yerlerde anılan sulama sisteminin kullanılması su verimliliği açısından oldukça faydalı görülmektedir. Ancak SDI sistemlerinin kullanılmasında özellikle toprak yapısı ve bitki kök derinliği gibi parametrelerin önemle dikkate alınması zorunlu görülmektedir. SDI sistemlerinin uygulanacağı yerlerde bitki ve toprak özelliklerine göre uygun lateral derinliklerinin belirlenebilmesi için ön denemelerin yapılmasında büyük fayda görülmektedir. Ülkemizde bu alanda yapılmış çalışmalar henüz istenen seviyede değildir.

KAYNAKÇA

- Ayars, J.E., Phene, C.J., Hutmacher, R.B., Davis, K.R., Schoneman, R.A., Vail, S.S., Mead, R.M., 1999. Subsurface Drip Irrigation of Row Crops: a Review of 15 Years of Research at the Water Management Research Laboratory. *Agricultural Water Management*, 42: 1-27.
- Bui, W. ve Osgood, R.V., 1990. Subsurface Irrigation trial for Alfalfa in Hawaii. In Proc. 3 rd Nat. Irrig. Symp, 658-660. St. Joseph, Mich.: ASAE.
- Camp, C.R., Sadler, E.S. and Busscher, W.J., 1989. Subsurface and Alternate-Middle Micro Irrigation for Southeastern Coastal Plain. *Transactions of the ASAE*, 32(2):451-456.
- Clark, G.A., Stanley, C.D. ve Maynard, D.N., Hochmuth, G.J., Hanlon, E.A. ve Haman, D. Z., 1991. Water and fertilizer Management of Microirrigated Fresh Market Tomatoes. *Transactions of the ASAE* 34 (2): 429-435.
- Clark, G.A., Stanley, C.D. ve Maynard, D.N., 1993. Surface vs. Subsurface drip Irrigation of Tomatoes on a sandy Soil. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 106:210-212.
- DeTar, W.R., Browne, G.T., Phene, C.J., and Sanden, B.L., 1996. Real-Time Irrigation Scheduling of Potatoes with Sprinkler and Subsurface Drip Systems. In Proc. Int'l. Conf. on Evapotranspiration and Irrigation Scheduling, eds. C.R. Camp, E.J. Sadler, and R.E. Yoder, 812-824. St. Joseph, Mich., ASAE.
- Douh, B., Boujelben, A., 2010. Water Saving and Eggplant Response to Subsurface Drip Irrigation. *Agricultural Segment:1(2) AGS/1525*.
- Henggeler, J.C. 1995. A History of Drip-Irrigated cotton in Texas. In Proc. 5 th Int'l. Microirrigation Congress, ed. F.R. Lamm, 669-674. St. Joseph, Mich.: ASAE.
- Howell, T.A., Yazar, A., Schneider, A.D., Dusek, D.A and Copeland, K.S., 1995. Yield and Water Use Efficiency of Corn in Response to LEPA Irrigation. *ASAE Trans. of the ASAE*, 38(6):1737-1747.
- Howell, T.A., Schneider, A.D., Evett, S.R., 1997. Subsurface and Surface Microirrigation of Corn Southern High Plains. *Transactions of the ASAE*, 40(3):635-641.

- Huang, T.J., Chang, Y. H., Yang, P.C. ve Fang, Y.T., 1982. Studies on Subsurface Drip Irrigation for Coarse- Texture sugarcane Field in Taiwan. In Report of the Taiwan Sugar Research Institute, 13-32. Tainan, Taiwan: Taiwan Sugar Res. Inst.
- Kong, Q., Li, G., Wang, Y., Huo, H., 2011. Bell Pepper Response to Surface and Subsurface Drip Irrigation under Different Fertigation Levels. *Irrig Sci.* DOI 10.1007/s00271-011-0278-0
- Phene, C.J., and O.W. Beale. 1976. High-Frequency Irrigation for Water Nutrient Management in Humid Regions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40(3):430-436
- Phene, C. J., De Tar, W. R. ve Clark., 1992a. Real-time Irrigation Scheduling of Cotton with an Automated Pan Evaporation System. *Applied Engineering in Agriculture* 8(6):787-793.
- Went, C.W., Onken, A.B., Wilke, O.C., Hargrove, R., Bausch, W. ve Barnes, L. 1977. Effect of Irrigation Systems on the Water Requirement of Sweet Corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41(4): 785-788.
- Zoldoske, D. F. 1993. The future of Irrigation is Buried. In Proc. Int'l. Irrigation Expo and Technical Conf., 86-88. Arlington, Va.: Irrig. Assoc.

BÖLÜM 8

BAHÇE BİTKİLERİ TARIMINDA YENİLİKÇİ BİTKİ KORUMA UYGULAMALARI

Dr. Öğr. Üyesi Şaban KARAAT¹

Doç. Dr. Fırat Ege KARAAT²

Zir. Müh. Pınar KARAAT^{3*}

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13685058>

¹ Adıyaman Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Adıyaman, Türkiye. skaraat@adiyaman.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-3736-4436

² Adıyaman Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Adıyaman, Türkiye. fkaraat@adiyaman.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-4676-0721

³ Adıyaman Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Adıyaman, Türkiye. pinarkaraat@gmail.com, Orcid ID: 0009-0001-8012-397X

1. GİRİŞ

Bahçe bitkileri tarımı meyve, sebze ve süs bitkisi yetiştiriciliğini içermektedir. Meyve ve sebze türleri her ne kadar çoğu kültürün beslenme diyetinde temel besin maddesi olarak kullanılmasa da hemen hemen önemli bir tamamlayıcı gıda olarak yer almaktadır. Özellikle son yıllarda insan sağlığına olan katkılarının daha iyi anlaşılmasıyla birlikte meyve ve sebze tüketimine olan yönelim daha da artmıştır. Süs bitkileri de büyük şehirlerin yaygınlaşması, toplumların refah seviyelerinin artması ile birlikte giderek daha çok talep görür hale gelmiştir. Artan talepleri ile beraber üreticisine sağladığı yüksek katma değer ile bahçe bitkileri türleri üreticiler tarafından da yetiştiricilikte öncelikli olarak tercih edilen türler arasında yer almaktadır. Tüm bu sebeplerle bahçe bitkileri tarımı dünyada giderek artan alanlarda yapılmakta ve yaygınlaşmaktadır (FAO, 2024).

Tüm bitki türlerinde olduğu gibi bahçe bitkileri türlerinde de pek çok yetiştiricilik sorunu bulunmaktadır. Bunlar arasında abiyotik ve biyotik etmenlerden kaynaklanan bitki koruma sorunları en önemli sorunlar arasında yer almaktadır. Söz konusu bitki koruma sorunları ürün ve kalite kayıplarına neden olmaktadır. Hatta bazı durumlarda bitki koruma sorunları nedeniyle elde edilen ürün miktarı sıfır seviyesine kadar düşebilmektedir. Genel bir oran olarak hastalık, zararlı ve yabancı otlardan kaynaklanan bitkisel ürün kaybı yaklaşık %65-70 seviyelerinde olduğu tahmin edilmektedir. Bitki Koruma faaliyetleri ile söz konusu kayıp %35 seviyelerine kadar düşürülebilmektedir. Bu önemi nedeniyle bitki koruma sorunlarının çözümü için tarım tarihi boyunca çeşitli tedbirler düşünülmüş ve geliştirilmiştir (Baykal ve Kovancı, 1995; Oerke ve ark., 1994).

Özellikle yeşil devrim ve sonrasında kimya alanında kat edilen mesafe ile birlikte kimyasal mücadele bitki koruma sorunlarının çözümünde en önemli yöntem olmuştur. Ancak çok geçmeden kimyasal mücadelenin insan sağlığı açısından zararlı olduğu, çevresel sorunlara yol açtığı, öte yandan zararlı etmenlerin direnç geliştirmeleri nedeniyle kimyasal mücadelenin etkili olmadığı durumlar yaşandığı tespit edilmiştir. Bu gelişmeler doğrultusunda özellikle çevre dostu yenilikçi mücadele yöntemlerinin önemi artmış ve pek çok yöntem ve yaklaşım geliştirilmiştir. Aynı zamanda farklı mücadele yöntemlerinin birlikte uygulandığı entegre mücadele yöntemleri üzerinde durulmuştur (Şahinöz, 1990; Eryılmaz ve ark., 2019; TAGEM, 2023).

Son yıllarda küresel ısınma ve çevresel sorunlar üzerinde kazanılan toplumsal farkındalık ile birlikte bitki koruma faaliyetleri de ilerletilmiş ve geliştirilmiştir. Akıllı Tarım, Hassas Tarım, Tarım 4.0 gibi güncel tarımsal üretim yaklaşımlarının bitki koruma faaliyetleri üzerinde de yansımaları olmuştur (Çakmakçı ve Çakmakçı, 2023).

Üzerinde durulan yenilikçi bitki koruma yöntem ve yaklaşımlarında insan sağlığına zarar verilmemesi, çevresel tahribatın minimuma indirilmesi, mümkün olduğunca yenilenebilir kaynakların kullanılması, kıt kaynakların da en etkin bir şekilde kullanılması hususları öncelikli olarak değerlendirilmektedir. Aynı şekilde düşük maliyetle, etkili ve sürdürülebilir bir şekilde uygulanabilmesi de yine yenilikçi bitki koruma yöntemlerinde öncelikle dikkate alınan hususlardır.

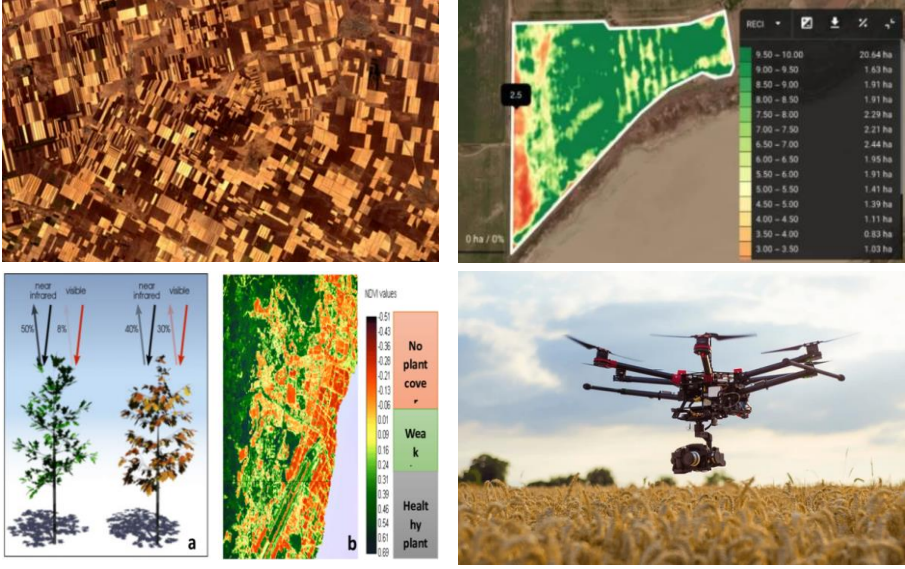
Yapılan bu çalışmada özellikle 2000’li yıllardan sonra hızla gelişen teknolojiler doğrultusunda geliştirilen ve bitki koruma uygulamalarına çeşitli katkılar sunan yöntemlerden Uzaktan Algılama Teknolojileri, Robotik Teknolojiler, Yapay Zekâ Uygulamaları, Biyolojik Mücadele Uygulamaları kapsam ve uygulama alanları bakımından derlenmiştir.

2. BAHÇE TARIMINDA YENİLİKÇİ BİTKİ KORUMA UYGULAMALARI

2.1. Uzaktan Algılama Teknolojileri

Uzaktan algılama temel anlamda bahçe hakkında tek seferde bütüncül bir görüntü elde etme araçlarıyla yapılan ve aynı zamanda elde edilen görüntüleri farklı ışık renk ve dalga boylarıyla işleme olanağı sağlayan teknolojileri ifade etmektedir. Bu kapsamda ilk uygulanan teknolojilerden birisi uzay alanında sağlanan gelişmelerle birlikte dünya yörüngesine yerleştirilen uydulardır.

Uydu görüntüleri kullanılarak; yetiştiriciliği yapılan bitki türünün tespiti, ürün rekolte tahmini, bitki besin elementi eksikliklerinin ve bitki hastalıklarının erken tespiti gibi çeşitli tarımsal faydalar sağlanabilmektedir (Şekil 1). Bununla birlikte, özellikle son yıllarda İnsansız Hava Araçları (İHA) teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte söz konusu faydaların daha etkin ve uygun maliyetlerle sağlanması mümkün olmuştur (Haggag ve ark., 2023).



Şekil 1: Uzaktan Algılama Teknolojilerinin bitki koruma amacıyla yapılan uygulamalarına yönelik görseller (Anonim, 2024; Haggag ve ark., 2023; Shutterstock, 2024)

Gerek uydu, gerekse de İHA ile yetiştiricilik alanlarından alınan görüntülerin farklı ışık ve dalga boylarında yetiştiriciliği yapılan bitkilerden yansıyan ışıklara göre işlenmesiyle çeşitli bulgular elde edilebilmektedir. Söz konusu bulgular bitki tür ve hatta çeşit düzeyinde çalışılarak üreticilerin kullanımına sunulmaktadır. Bu sayede üreticiler bahçelerindeki bitkilerin durumlarını anlık olarak sık sık kontrol edebilme imkânına kavuşmaktadır. Böylelikle, bahçe içerisinde farklılık gösteren bölgeler tespit edilebilecek ve farklı durumlarına göre duyulan ihtiyaca göre farklı tarımsal uygulama ve müdahaleler yapılabilmektedir (Şekil 1). Örneğin bahçe içerisinde bitki besin elementi eksiklikleri açısından daha yoğun semptomlar veren kısımlara daha farklı uygulamalar yapılarak hassas tarım uygulanabilecektir. Öte yandan bitki hastalıkların erken tespiti de mücadele etkinliğini artıracaktır (Akkamış ve Çalışkan, 2020).

2.2. Robotik ve Sensör Teknolojileri

Son yıllarda robotik ve sensör teknolojilerinde kat edilen gelişmeler bitki koruma uygulamalarının daha hassas, daha çevre dostu ve özellikle uygulama sürelerini kısaltarak ve işgücünden tasarruf sağlayarak daha uygun maliyetlerle

yapılmasına imkân tanımıştır. Bilinen ilk uygulamalardan biri bahçelerde yabancı ot mücadelesinin otonom robotlar kullanılarak yapılmasıdır. Bu uygulamada sensör teknolojileri ile donatılmış otonom robotlar kültür bitkisi ile yabancı otları birbirinden ayırt ederek yabancı otları çapalama veya daha gelişmiş modellerde lazer ile yakma gibi yöntemlerle imha etmektedir (Şekil 2). Böylece yabancı otları sürekli ve düzenli bir mücadele ile toprak yapısına müdahale etmeden ve herbisit kullanmadan baskı altında tutmak mümkün olmaktadır (Varnalı 2024).

Robotik ve sensör teknolojilerinin bir başka önemli uygulama alanı ilaçlama robotlarıdır (Şekil 2). Hastalık, zararlı ve yabancı otlara karşı yapılacak kimyasal mücadele sensör teknolojileri ile donatılmış ilaçlama robotları ile yapılabilmektedir. Söz konusu robotlar sensörleri sayesinde sadece kültür bitkilerini ilaçlayarak kimyasal sarfiyatını azaltmaktadır. Diğer taraftan yabancı ot mücadelesinde de herbisitleri sadece yabancı otların üzerine uygulayarak herbisit sarfiyatını azaltmaktadır (Sabancı ve Aydın, 2014).



Şekil 2: Robotik ve Sensör Teknolojilerinin bitki koruma amacıyla uygulama yöntemlerine yönelik görseller (Shutterstock, 2024)

2.3. Yapay Zekâ Uygulamaları

Son yılların en çığır açıcı teknolojik gelişmelerinden birisi de yapay zekâ alanında kat edilen gelişmelerdir. Kat edilen söz konusu gelişmelerle yapay zekâ pek çok konuda kullanım alanına kavuşmuştur. Tarım ve özelde de bitki koruma uygulamaları da bunlar arasındadır.

Yapay zekânın bitki koruma alanında kullanımının bilinen ilk uygulamalarından birisi tahmin ve erken uyarı sistemleridir. Yetiştiricilik alanlarından elde edilen güncel meteorolojik veriler ile yaprak nem sensörleri ve yaprak kamera görüntüleri gibi veriler bir araya getirilerek işlenmesi ile bitki hastalıklarının ortaya çıkma zamanı ve yoğunluğu tahmin edilebilmektedir (Çakmakçı ve Çakmakçı, 2023).

Bir diğer yapay zekâ destekli bitki koruma uygulaması da derin öğrenme algoritmalarının geliştirilmesi ile birlikte bitki hastalıklarının tanınması ve erken teşhisidir. Buna göre belirti şüphesi taşıyan bitki kısmı görüntülenmek suretiyle ilgili semptomlar eşleştirilerek hastalıklar erken ve ileri aşamalarında teşhis edilebilmektedir (Esen ve Onan, 2022).

Üretim alanlarındaki yabancı otların teşhisi ve toprak azot içeriğinin belirlenmesi yine yapay zekânın bitki koruma faaliyetlerine katkı sunan diğer faydalarıdır (Terzi ve ark., 2019).

2.4. Biyolojik Mücadele Uygulamaları

Biyolojik Mücadele hastalık, zararlı ve yabancı otların neden olduğu ürün kayıplarının bir başka biyolojik etmenle azaltılması veya engellenmesine yönelik uygulamaları kapsayan mücadele yöntemidir (Karaat, 2023). Zararlı organizmaların biyolojik özelliklerinin daha iyi anlaşılmasıyla biyolojik mücadele yöntemlerinde de son yıllarda önemli gelişmeler ve yenilikçi yaklaşımlar ortaya atılmıştır. Bunlar genel anlamda biyolojik ajanların kullanılarak hastalıklarla, zararlılarla ve yabancı otlarla mücadele için farklı biyotik faktörleri kullanmayı kapsamaktadır. Örneğin hastalıklara neden olan fungal ve bakteriyel etmenlerle yine fungal ve bakteriyel etmenlerle mücadele yapılabilmektedir (Kara ve ark., 2021). Benzer şekilde zararlılarla örneğin böceklerle o böceğin yumurta, larva veya ergini ile beslenen başka bir böceğin kullanılmasıyla mücadele yapılabilmektedir (Peng, 1983; DeBach ve Hagen, 1964). Yabancı otlarla mücadelede yetiştiricilik alanında sorun olan ilgili yabancı otlarla beslenen otobur böceklerden ve yine ilgili yabancı otların

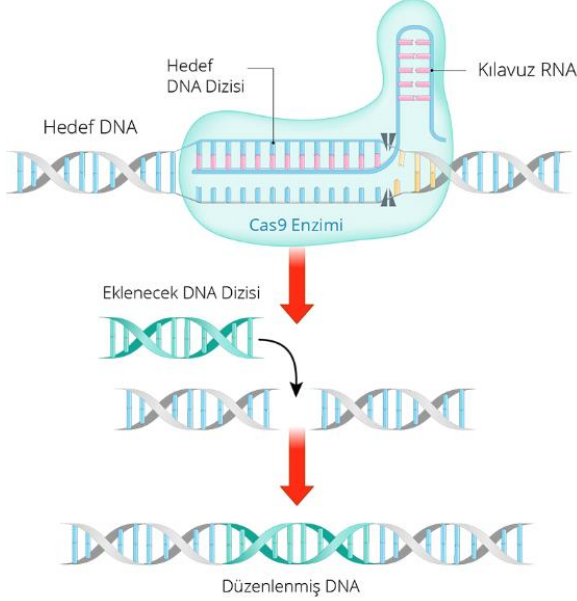
hastalandırılarak kontrol edilmesini sağlayan patojenlerin izole edilerek çoğaltılmasıyla elde edilen biyoherbisitlerden faydalanılabilmektedir (Castells ve Berenbaum, 2006; Budak ve Işık, 2022).

2.5. Biyoteknolojik Yöntemler

Biyoteknoloji, özellikle genetik biliminde yapılan keşiflerle birlikte Yeşil Devrimden sonra tarımsal üretimin geliştirilmesi için atılan en önemli adımlardan biridir. Biyoteknolojik yöntemlerle birlikte yetiştiriciliği yapılan bitki tür ve çeşitlerinin ve aynı zamanda mikroorganizmaların amaca yönelik olarak ıslah edilmesi mümkün olmuştur. Söz konusu ıslah çalışmalarının bitki koruma uygulamaları açısından da pek çok fayda sağlamaktadır. Bunlar arasında, yetiştiriciliği yapılan bitki tür ve çeşitlere herbisit dayanıklılığı ve hastalık ve zararlılara dayanıklılık kazandırılması sağlanması, zararlı organizmalarda gen ifadesinin bozulması, gen susturulması ve kodlama dizilerinin değiştirilmesi ile zararlıların olumsuz etkilerinin ve popülasyonlarının azaltılması en yaygın uygulamalardır (Çetiner ve Tuzla, 2005; Koçak ve ark. 2018).

Biyoteknolojinin bahsedilen faydaların elde edilmesindeki temel rolü genetik modifikasyon teknikleri ile organizma DNA'sının (Deoksiribo Nükleik Asit) ihtiyaca yönelik olarak düzenlenmesi şeklinde sağlamaktır. Ancak bu teknikler, bu tekniklerle elde edilen organizmaların neden olabileceği sorunlar (insan sağlığına olumsuz etkiler ve çevresel sorunlar) dolayısıyla tartışmalara konu olmaktadır. Nitekim GDO (Genetiği Değiştirilmiş Organizma) olarak adlandırılan genetik modifikasyon teknikleri ile ıslah edilen çeşitlerin üretimine hemen hemen tüm ülkelerde izin verilmemekte veya kısıtlı olarak izin verilmektedir. Son yıllarda geliştirilen ve 2020 Nobel Kimya Ödülüne layık görülen CRISPR-Cas9 (Clustered Regularly Interspaced Palindromic Repeats - *Düzenli Aralıklı Palindromik Tekrar Kümeleri*) yöntemi bu soruna çözüm olabilecek potansiyele sahiptir. Bu yöntem, nispeten daha spesifik olması ve yeni genler eklenmeden nispeten daha basit değişikliklerle düzenleme yapılması nedenleriyle klasik genetik modifikasyon tekniklerine göre bu yöntemin daha güvenli olarak görülmesine yol açmıştır (Şekil 3). Bununla birlikte, tarımsal ilerleme için büyük katkılar sağlayacağı yönünde ümitvar olan bu tekniğin halen pratikte kullanımının hedef dışı modifikasyonlara ve dolayısıyla beklenmeyen sonuçlara neden olma gibi potansiyel risk

değerlendirmeleri sürmektedir (ÜSKÜDAR TRGENMER, 2018; TÜBİTAK, 2022).



Şekil 3: CRISPR-Cas9 gen düzenleme yöntemi çalışma prensibi

Kaynak: TÜBİTAK, 2022

CRISPR-Cas9 tekniğinden sonra RNA interferans teknolojisi de yine yenilikçi ve etkili bir yöntem olarak özellikle zararlılarla mücadelede kullanılabilmektedir. Bu teknik ile zararlılarda belirli bir gen susturularak zararın ve popülasyonun azaltılması yoluna gidilebilmektedir. Epigenetik etkileşimler çerçevesinde zararlıların reseptör ve feromonal mekanizmalarına müdahale ederek besine ulaşabilme ve eş bulma davranışları dolayısıyla popülasyonları kontrol altına alınabilmektedir. Bir diğer stratejide de zararlıların bağışıklık sistemine müdahale edilerek zararlılar entomopatojenlere duyarlı hale getirilmekte ve bu yolla mücadele edilebilmektedir (Koçak ve ark. 2018).

Biyoteknolojinin bitki koruma amaçlarıyla kullanımına yönelik diğer uygulamalar arasında özellikle kurak ve tuzlu topraklarda bitki yetiştiriciliğine yönelik katkılar sayılabilir. Bunun için söz konusu zorlu koşullara adapte olan ve bitki kökleriyle simbiyotik ilişki kurarak yetiştiriciliği yapılan bitkilerin bu

koşullarda yetiştiriciliğine imkân tanıyan mikroorganizmaların geliştirilebilmektedir. Söz konusu mikroorganizmaların izole edilmesi, karakterize edilmesi, özelliklerinin geliştirilmesi gibi iş ve işlemlerde biyoteknolojik yöntemlerden faydalanılmaktadır. Söz konusu biyoteknolojik araçların kullanılmasıyla mikroorganizmalardan faydalanılarak sağlanan bir diğer katkı da biyogübre üretimidir. Biyogübreler, mikrobiyal içerikli olup yetiştiriciliği yapılan bitkilerin topraktaki bitki besin elementlerinden faydalanma seviyelerini artırmakta, topraktaki besin elementlerinin yararlı forma dönüştürülmesinde katkı sunmaktadır. Bu faydalarıyla bitkilerin daha dirençli olmalarına ve besin elementi eksikliklerini azaltmaktadır (Harzevili, 2018).

2.6. Nanoteknoloji

Genel bir tanımlama ile nanoteknoloji, nano boyutlardaki materyallerden faydalanılarak makro boyutlarda ürünler elde etmeyi hedefleyen bilim dalıdır. National Nanotechnology Initiative tarafından yapılan tanımlamaya göre de nanoteknoloji en az bir boyutu 1 ile 100 nanometre arasında bir büyüklükte olan maddelerin kontrol edilebilmesine imkân veren teknolojidir (NNI, 2024).

Nanoteknolojinin bitki koruma alanında kullanılmasına yönelik uygulamalara bakıldığında yabancı ot mücadelesinde nano herbisitlerin geliştirilmesi ve biyoherbisitlerin raf ömrünün uzatılması dikkat çekmektedir (Yonat ve Kolören, 2022). Bunun yanında abiyotik stres faktörleriyle mücadele edilmede de nanoteknolojiden faydalanılmaktadır. Bunlar arasında örneğin nano selüloz kristalin kullanımı ile özellikle zirai dona karşı bitkilere dayanıklılık kazandırılması sayılabilir (WSU, 2018). Kaplayıcı film materyallerinin yaprak stomalarını kapatarak transpirasyonu engellemeyecek şekilde boyutlandırılması gibi uygulamalar göze çarpmaktadır (Demirel, 2023; Denizhan ve ark., 2024).

Nanoteknolojinin bitki koruma alanındaki bir diğer kullanım yöntemi de nanopestisitlerin elde edilmesidir. Bu sayede pestisitlerin daha düşük dozlarda ve daha etkin bir şekilde uygulanması, daha az kalıntı bırakması ve uygulanan bitkilerde daha az fitotoksisite oluşturması mümkün olabilmektedir (Gökdemir ve ark., 2023; Ormanoğlu ve ark., 2021). Bunun yanında nanopartiküller, bitki patojenlerinin tespit edilmesinde ve pestisit kalıntılarının belirlenmesinde

biyomarkör ve nanosensör olarak kullanılabilir (Atakan ve Özkaya, 2018).

3. SONUÇ

Bahçe bitkileri türlerinden elde edilen ürünler gerek farklı kullanım alanları ve zengin besin içerikleri ile tüketicilerin, gerekse de farklı yetiştiricilik alanlarına adaptasyon kabiliyetleri ve kazandırdığı yüksek katma değer ile üreticilerin tercih ettikleri ürünlerdir. Bu açıdan bahçe bitkileri ürünlerine ait arz talep denge grafiği giderek artmakta olan bir eğilim göstermektedir. Artan yetiştiricilik alanları, monokültür üretim yaklaşımı ve bahçe bitkileri türlerinin sahip olduğu yüksek bitki özsuyu içeriği, korunaklı bitki kısımları gibi biyolojik özellikleri bitki koruma sorunlarının çok çeşitli ve nispeten yoğun olarak ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Tarımsal üretimde karşılaşılan bitki koruma sorunlarının azaltılması ve giderilmesi için tarım tarihi boyunca çeşitli mücadele yöntemleri geliştirilmiştir. Özellikle son yüzyılda yaşanan teknolojik gelişmeler ve artan nüfus ile birlikte bitkisel üretim alanları ve üretimde verimlilik de katlanarak artmış, bununla birlikte etkinliği yüksek, işgücü gereksinimi düşük, kaynak sarfıyatı nispeten az olan bitki koruma yöntemlerine olan ihtiyaç da artmıştır. Bu doğrultuda büyük fırsatlar sunan kimyasal mücadele yöntemi en yaygın olarak başvurulan yöntem olmuştur. Ancak kimyasal mücadele yöntemi insan sağlığına olan zararları, çevresel sorunlara neden olması, zararlı organizmalarda direnç oluşturması gibi çeşitli problemleri beraberinde getirmiştir. Bu nedenle, kimyasal mücadeledeki söz konusu problemlerin çözülmesine yönelik araştırmaların yanı sıra alternatif mücadele yöntemleri geliştirilmeye yönelik araştırmalar da yoğunlaştırılmıştır. Gelişen teknolojik imkânlarla birlikte çok çeşitli yöntemler, çözümler ve uygulamalar ortaya konulmuştur. Bu derlemede bu kapsamda sayılabilecek bazı yenilikçi teknolojilerin bitki koruma alanlarında kullanımına yönelik bazı özet bilgiler Uzaktan Algılama Teknolojileri, Robotik ve Sensör Teknolojileri, Yapay Zekâ Uygulamaları, Biyolojik Mücadele Uygulamaları, Biyoteknolojik Yöntemler ve Nanoteknoloji başlıkları altında derlenmiştir. Paylaşılan bilgiler bir bütün olarak değerlendirildiğinde tarımsal üretimdeki Hassas Tarım, Akıllı Tarım, Tarım 4.0 gibi kavramlarla ifade edilen değişim ve dönüşümlerin bitki koruma alanındaki izdüşümleri görülmektedir. Gelişen teknolojik imkanlar, sosyolojik yapı, ekolojik tehditler ve tüm bu etken doğrultusunda şekillenen ihtiyaçlar ile

birlikte tarımsal üretim ve bitki koruma uygulamaları da bir değişim ve dönüşüm halindedir. Günümüz tarım sektörü koşullarında rekabetçiliğin sürdürülebilmesi açısından üreticilerin tarımdaki söz konusu teknolojik değişim ve dönüşüme adapte olması büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte, geliştirilen her yeni çözüm önerisi, uygulama ve yöntemin pratikte yaygınlaştırılmadan önce potansiyel riskleri farklı açılardan değerlendirilerek analiz edilmelidir.

KAYNAKÇA

- Akkamış, M., Çalışkan, S. (2020). İnsansız Hava Araçları ve Tarımsal Uygulamalarda Kullanımı. Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 2(1), 8-16.
- Anonim, 2018. <https://www.muhendisbeyinler.net/nano-malzeme-nedir/> (Erişim Tarihi: 09.08.2024).
- Anonim, 2024. <https://medium.com/@leicy/satellite-technologies-for-plant-nutrient-deficiency-identification-and-treatment-d7e404586b4> (Erişim Tarihi: 09.08.2024).
- Atakan, A., & Özkaya, H. Ö. (2018). Fitopatolojide Nanoteknoloji. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 22(2), 296-303.
- Baykal, N., Kovancı, B. (1995). Bitki Koruma. Anadolu Üniversitesi, Açıköğretim Fakültesi, Önlisans Programı, Yayın No: 902.
- Budak, İ., & Işık, D. (2022). Biyolojik Mücadelenin Yeni Yüzü: Biyoherbisitler. Turkish Journal of Weed Science, 25(2), 151-160.
- Castells, E., & Berenbaum, M. R. (2006). Laboratory Rearing of Agonopterix Alstroemeriana, The Defoliating Poison Hemlock (*Conium maculatum* L.) Moth, and Effects of Piperidine Alkaloids on Preference and Performance. Environmental Entomology, 35(3), 607-615.
- Çakmakçı, M. F., & Çakmakçı, R. (2023). Uzaktan Algılama, Yapay Zeka ve Geleceğin Akıllı Tarım Teknolojisi Trendleri. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (52), 234-246.
- Çetiner, S., & Tuzla, İ. (2005). Türkiye ve Dünyada Tarımsal Biyoteknoloji ve Gıda Güvencesi: Sorunlar ve Öneriler. <https://www.inovasyon.gen.tr/images/makaleler/sizdenBize/S.Cetiner.Inovasyon.org.pdf> (Erişim Tarihi: 09.08.2024).
- DeBach P., Hagen K. S. (1964). P. DeBach (Ed.). Manipulation of Entomophagous Species. Biological Control of Insect Pests and Weeds. Reinhold. ss. 429-458.
- Demirel, N. (2023). Nanobiyoteknoloji ile Sürdürülebilir Bitki Sağlığı ve Çevre Yönetimi. Nanoteknoloji ve Organik Kimya, 87.
- Denizhan, H., İkinci, A., & Karaat, F. E. (2024). Physiological Influences of Solid and Transparent Foliar Reflective Material Treatments in Almond Trees. Applied Fruit Science, 66(3), 931-940.

- Eryılmaz, G. A., Kılıç, O., Boz, İ. (2019). Türkiye’de Organik Tarım ve İyi Tarım Uygulamalarının Ekonomik, Sosyal ve Çevresel Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 29(2), 352-361.
- Esen, F. A., & Onan, A. (2022). Derin Öğrenme Yöntemleri ile Bitki Yaprakları Üzerindeki Hastalıkların Sınıflandırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (40), 151-155.
- FAO (2024). Crops and Livestock Products, FAOSTAT, Food and Agriculture Organization, <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (Erişim Tarihi: 09.08.2024).
- Gökdemir, F. Ş., Gündoğdu, M., Muftareviç, S., Sunar, A., & Eyidoğan, F. (2023). Nanopartiküllerin Tarımsal Bilimlerdeki Önemi ve Kullanım Alanları. *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 49(1), 11-17.
- Haggag, W. M., Ali, R. R., & Al-Ansary, N. A. Geographic Information Systems and Remote Sensing: Innovative Tools For Plant Health. *International Journal of Agricultural Technology*, 19(6): 2449-2464.
- Harzevili, F. D. (2018). Microbial Biotechnology: An introduction. In *Microbial Biotechnology* (pp. 16-23). CRC Press.
- Kara, M., Soylu, S., Atay, M., Soylu, E.M., Kurt, Ş. (2021). In vitro Antagonistic Potential of Bacterial Isolates From Persimmon Fruit Against Postharvest Gray Mold Disease Agent, *Botrytis cinerea*. VII. International Symposium on Persimmon, 20-26 September 2021, Nara, Japan.
- Karaat, Ş., 2023. Bitki Koruma Uygulamalarında Sürdürülebilir Yaklaşımlar. *Ziraat ve Orman ve Su Ürünleri Alanında Uluslararası Araştırma ve Değerlendirmeler*, İksad Yayınevi.
- Koçak, E., Ertürk, Ş., & Yaman, M. O. (2018). Kültür Bitkilerinde Zararlı Olan Böceklerle Biyoteknolojik Mücadelede Son Yöntemler. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10-18.
- NNI (2024). About Nanotechnology, National Nanotechnology Initiative. <https://www.nano.gov/about-nanotechnology> (Erişim Tarihi: 09.08.2024).
- Oerke E.C., Dehwe H.W., Schonbeck F., Webber A. (1994). *Crop Production and Crop Protection*. Elsevier, Amsterdam, 808s.

- Ormanoğlu, N., Emekci, M., Ferizli, A. (2021). Böceklerle Mücadelede Nanoteknoloji. Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 35(1), 181-202.
- Peng, S. J. (1983). Biological Control--One of The Fine Traditions of The Ancient Chinese Agricultural Techniques [Plant protection in China]. Chung-kuo nung yeh k'o hsueh= Scientia agricultura sinica.
- Sabancı, K., Aydın, C. (2014). Görüntü İşleme Tabanlı Hassas İlaçlama Robotu. Journal of Agricultural Sciences, 20(4), 406-414.
- Shutterstock, 2024. <https://www.shutterstock.com/tr> (Erişim Tarihi: 09.08.2024).
- Şahinöz, A. (1990). Yeşil Devrim ve Açlık Sorunu. Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 8(1), 233-239.
- TAGEM, (2023). Zirai Mücadele Teknik Talimatları. Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Menu/28/Yayinlar_veriler (Erişim Tarihi: 09.08.2024).
- Terzi, İ., Özgüven, M. M., Altaş, Z., & Uygun, T. (2019). Tarımda Yapay Zekâ Kullanımı. International Erciyes Agriculture, Animal & Food Sciences Conference, 24-27 April, Kayseri, Türkiye.
- TÜBİTAK, 2022. <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/nobel-odullu-genduzenleme-yontemi-crispr> (Erişim Tarihi: 09.08.2024).
- ÜSKÜDAR TRGENMER, 2018. CRISPR-CAS9 Nedir? <https://uskudar.edu.tr/tr/crispr-cas9#:~:text=En%20k%C4%B1sa%20ve%20do%C4%9Fru%20C5%9Fekliyle,olanak%20tan%C4%B1yan%20C3%B6zg%C3%BCn%20bir%20teknoloji> (Erişim Tarihi: 09.08.2024).
- Wikipedia, 2024. Nanoteknoloji. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Nanoteknoloji> (Erişim Tarihi: 09.08.2024).
- Varnalı, T. (2024). Tarım Sektöründe Robot Teknolojileri: Gelecek ve Politika Önerileri. Malatya Turgut Özal Üniversitesi İşletme ve Yönetim Bilimleri Dergisi, 5(1), 1-22.
- WSU (2018). WSU Researchers Test Nanocrystals to Prevent Frost Damage in Tree Fruits, Washington State University, <https://news.wsu.edu/press-release/2018/07/12/nanocrystals-prevent-frost-damage-fruit/> (Erişim Tarihi: 09.08.2024).

Yonat, H., Kolören, O. (2022). Herbisit Formülasyonlarında Nanoteknolojinin Rolü. *Turkish Journal of Weed Science*, 25(2), 134-144.

BÖLÜM 9
COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE TARIMDA İNOVATİF
YAKLAŞIMLAR

Dr. Emrah RAMAZANOĞLU¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13685073>

¹ Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü
Şanlıurfa, Türkiye. eramazanoglu@hotmail.com, Orcid ID: 0000-0002-7921-5703

GİRİŞ

Günümüzde, nüfusun hızla artması ve iklim şartlarının değişmesi tarımda tüm üretim süreçlerinin sürdürülebilirliğini, verimliliğini ve kalitesini etkilemektedir. Tarım sektörü geleneksel yöntemlerin yerine daha yenilikçi teknolojik modern yöntemlere yönelerek bu zorluklarla başa çıkabilmeyi hedeflemektedir. Bu bağlamda, tarımda inovasyonun en temel ve önemli bileşeni olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) öncülük etmektedir (Rose ve Chilvers, 2018).

Tarımsal ekosistemlerde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), mekânsal tüm verilerin toplanması ve analiz yoluyla görselleştirilerek tarımsal süreçlerde yenilikçi birçok çözüm sunan gelişime açık güçlü bir teknolojidir. CBS teknolojileri zamandan ve mekândan tasarruf ederek kısa zamanda tarımsal üretimi sürdürülebilir ve daha verimli bir hale getirerek tarım sektöründe devrim niteliğinde yeniliklere öncülük yapmaktadır (Ghosh ve Kumpatla, 2022). CBS teknolojisi sayesinde alanların sınıflandırılması, bitki gelişimin incelenmesi ve izlenmesi, doğal su kaynaklarını verimli kullanarak optimize edilerek tarımsal faaliyetlerdeki tüm çevresel etkileri en aza indirmek gibi birçok imkân ve fırsat sunar. Sunulan bu imkân ve fırsatlar sayesinde CBS teknolojisinden faydalanan çiftçiler, uzmanlar kararlarını verirken daha sağlıklı kararlar alarak tarım alanlarının korunarak tarımsal üretimin verimliliğini arttırmayı ve sürdürülebilirliğini desteklemeyi hedeflerler (Tey ve Brindal, 2012).

CBS teknolojisinin kullanımının tarihçesine baktığımızda ilk olarak 1960'larda ortaya çıkmıştır. Arazi kullanımına ve yönetimine yardımcı olmak için oluşturulan bu sistem birbiriyle ilişkili fakat farklı 2 durumu ilişkilendirmelerini sağlıyordu. Tasarlanmış haritalar ve harita benzeri görüntülerin konumlarını veri tabanı sayesinde grafiksel ve istatistiksel olarak verileri birbirine bağlayıp yorumlama imkânı sağlıyordu. CBS bilimsel araştırmalar ve askeri amaçlar için geliştirilmiş olsa da zamanla gelişen bu teknoloji tarım ve daha birçok sektörde kullanılmaya başlanmıştır. Modern tarımın vazgeçilemez bir parçası haline gelen CBS teknolojisi tarım sektörünün her alanında kullanılmaya başlanmıştır (Longley ve ark., 1999; Sakin ve ark., 2018)

Uzay biliminin gelişmesiyle beraber CBS' nin sağlamış olduğu imkânlar günümüzde giderek artmaktadır. Uzaktan Algılama sayesinde uydu

görüntülerinin sayısallaştırılmış verileri CBS teknolojisiyle entegre ederek çalışma imkanı sunar. Bu imkânlar doğrultusunda karar vericiler tarım arazilerinin zamansal değişimlerini gözlemleyip, sorunlu alanları belirleyerek inceleyebilir ve çözüm odaklı etkin kararlar almayı hedefleyebilirler.

1. CBS'nin Temel Kavramları

CBS, mekânsal verilerin toplanarak, analiz edilmesi ve görselleştirilmesi için kullanılan teknolojik bir bilgi sistemidir. Tarımsal alanda arazilerin izlenmesi, toprak verimliliğinin artırılması ve analizi, su kaynaklarının korunması yönetimi, ürün rekolte tahminlerinin yapılması gibi çeşitli amaçlarla kullanılır. CBS'de veriler 3 farklı şekilde kullanılmaktadır. Zamanını belirtmek amacı ile zamansal veriler, konusal veriler ve verinin konumunu belirlemek amacı ile mekânsal verilerdir (Heywood ve ark., 1998).

CBS, karar verme sürecinde planlamacılara rehberlik eden ve güçlü analitik analiz kapasitesi ile model oluşturmayı hedefleyen önemli teknolojik bir araçtır. Ayrıca uzay bilimleri kabiliyeti sayesinde eski dönemlerde elde edilemeyen doğru ve güncel bilgileri üretir, üretilen bu bilgileri daha anlaşılır ve anlamlı hale getirerek geleceğin planlanmasına katkılar sağlar (Mitchell, 1999).

1.1. Mekânsal Veri Toplama ve CBS Bileşenleri

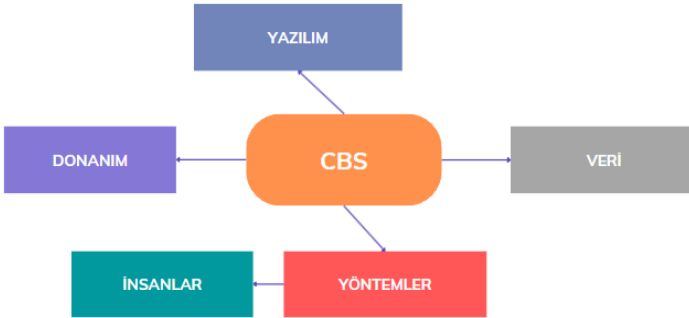
CBS, mekânsal verileri toplarken hava fotoğrafları, uydu görüntüleri, GPS ve sensör verileri gibi birçok çeşitli kaynaklardan faydalanır. Toparlanan bu veriler tarım alanlarının iklim şartları, topoğrafyası, konumu ve toprak tipine göre analiz edilerek bilgi sahibi olunmasına olanak tanır. Mekansal veriler raster ve vektör veri yapısında olabilirler. Vektör yapıda bulunan mekânsal veriler vektörlerin çeşitli kombinasyonları tarafından tamamlanmaktadır. Raster veriler ise koordinatların bulunduğu sistemde tamamlanmaktadır. Raster verilerin hazırlanması için gerekli olan veriler, vektör veri yapısına göre daha az olduğundan raster verilerin hazırlanması daha hızlı ve kolaydır. Tüm bunlar göz önüne alındığında CBS' nin performansını ve özelliklerini ortaya koymak için mekânsal verilerin toplanması ve analiz edilmesi önem arz etmektedir (Gedikoğlu, 2000).

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), mevcut katmanlardaki noktaların koordinatlarını otomatik olarak belirleyebilmenin yanı sıra, herhangi bir noktanın koordinatlarının sisteme eklenmesine de olanak tanır. Ayrıca CBS,

uzunluk, açı ve alan ölçümlerini otomatik olarak yapabilme yeteneğine sahiptir. Bunun yanında, haritacılıkla ilgili özel ihtiyaçlar için tasarlanmış poligon ve teğet nokta gibi hesaplamaları yapabilen araçlar da içerir (Yomralıoğlu, 2000; Yıldırım ve ark., 2019).

CBS'nin başlıca bileşenleri (Şekil 1) şunlardır:

- **Veri:** Coğrafi Bilgi Sistemleri'nde (CBS) kullanılan veriler iki temel kategoriye ayrılır: mekânsal veriler ve öznitelik verileri. Mekânsal veriler, nesnelerin coğrafi konumlarını tanımlar, öznitelik verileri ise bu nesnelerle ilgili ayrıntılı açıklamaları barındırır.
- **Yazılım:** Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımları, verilerin işlenmesi, analizi ve görselleştirilmesi amacıyla kullanılır. Bu yazılımlar, haritaların oluşturulmasından veri analizine kadar geniş bir dizi işlev sunarak kullanıcılara daha kapsamlı çözümler sağlar.
- **Donanım:** Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin (CBS) çalışabilmesi için gerekli olan fiziksel ekipmanlar, bilgisayarlar, sunucular, GPS cihazları ve veri toplama araçları gibi unsurları içerir. Bu ekipmanlar, CBS'nin etkin bir şekilde işleyebilmesi için hayati öneme sahiptir.
- **İnsanlar:** Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin (CBS) etkin bir şekilde kullanılması, sistemi yöneten, verileri analiz eden ve elde edilen sonuçları yorumlayan uzmanların varlığına bağlıdır. CBS uzmanları, bu teknolojiyi tarım gibi alanlarda en etkili ve verimli şekilde uygulayabilen profesyonellerdir.
- **Yöntemler:** Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin (CBS) başarılı bir şekilde hayata geçirilebilmesi, belirli yöntemler ve süreçlerin izlenmesini gerektirir. Bu yöntemler, veri toplama tekniklerinden analiz süreçlerine kadar geniş bir yelpazeyi kapsar.

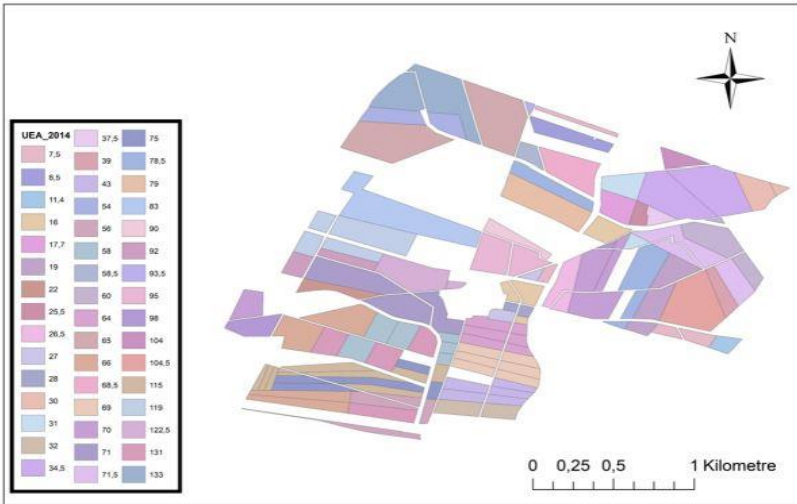


Şekil 1. CBS Bileşenleri

1.2. CBS'nin İşleyişi ve Fonksiyonları

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), verilerin toplanması, depolanması, analizi ve görselleştirilmesi süreçlerinde birçok işlem sunar. Bu işlevler, tarımsal alanların etkili bir şekilde yönetilmesi için büyük bir önem taşır.

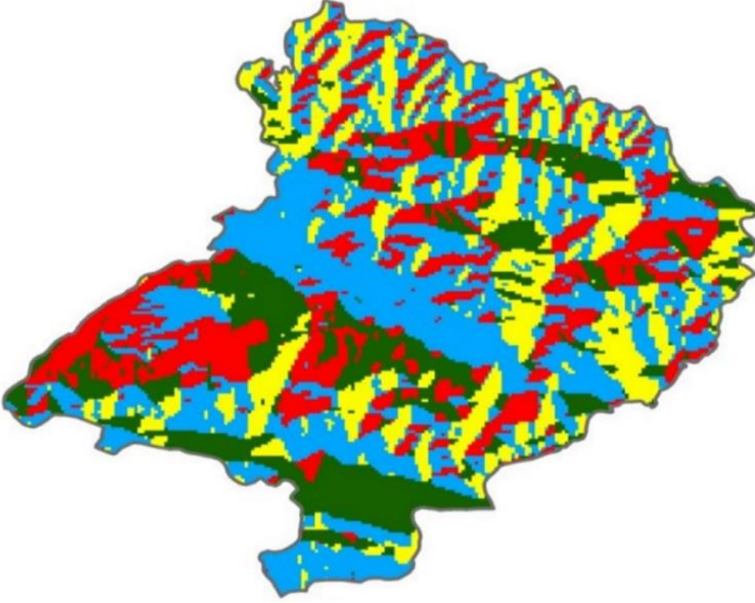
- **Veri Toplama:** Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), uydu görüntüleri, hava fotoğrafları, GPS verileri ve saha çalışmaları gibi farklı kaynaklardan veri toplar. Bu veriler, tarım alanlarının fiziksel ve biyolojik özelliklerini analiz etmek amacıyla kullanılır.
- **Veri Depolama:** Toplanan veriler, CBS veri tabanlarında depolanır ve yönetilir. Bu veri tabanları, büyük miktarda mekânsal veriyi saklamak ve gerektiğinde bu verilere hızlı erişim sağlamak amacıyla tasarlanmıştır.
- **Veri Analizi:** Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), mekânsal verilerin analizine yönelik çeşitli araçlar sunar. Örneğin, toprak nemi, bitki sağlığı ve su kaynakları gibi tarımsal faktörler, CBS kullanılarak analiz edilebilir ve bu analizler, tarım alanında stratejik kararların alınmasında kullanılabilir.
- **Görselleştirme:** Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), verilerin haritalar, grafikler ve üç boyutlu modeller gibi görsel formatlarda sunulmasına olanak tanır. Bu görselleştirmeler, tarım uzmanlarının verileri daha iyi anlamalarını ve doğru yorumlamalarını destekler (Şekil 2).



Şekil 2. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Görselleştirme işlemi (Yıldırım, 2019)

1.3 Mekânsal Analiz ve Modelleme

CBS, tarımsal üretim süreçleri ile mekânsal analiz ve modelleme tekniklerini entegre eder (Şekil 3). Bu entegrasyon sayesinde yapılan analiz ve modelleme birçok yorumlamada kolaylık sağlamaktadır. Örneğin, CBS analizi ile zararlıların yayılma modelleri yapılarak etkili mücadele stratejileri geliştirilebilir. Ayrıca toprak verimliliği haritaları oluşturularak sulamaya veya gübrelemeye ihtiyaç duyulan alanlar belirlenebilir. Bu haritalar detaylı analiz edilerek daha iyi karar verme konusunda öncülük etmektedir ayrıca değerlendirmeler karar modelinde bulunan veriler ile sınırlıdır (Thompson,1996).



Şekil 3. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Mekânsal Analiz (Rüstemov, 2014)

2. CBS'nin Tarımdaki Önemi

Tarım sektörü, dünya çapında hızla artan nüfusun beslenme ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla sürekli bir gelişim ve yenilik arayışındadır. Bu süreçte, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), tarımda çığır açan bir teknoloji olarak ön plana çıkmaktadır. CBS, mekânsal verilerin toplanması, analizi ve görselleştirilmesi alanlarında sunduğu çeşitli araçlarla, tarımsal üretimin her aşamasında etkili bir şekilde kullanılmaktadır (Mani ve ark., 2021). Toprak analizi, sulama yönetimi, ürün rotasyonu ve zararlı kontrolü gibi hayati tarımsal faaliyetler, CBS desteğiyle daha verimli ve hassas bir biçimde gerçekleştirilebilir. Bu teknoloji,

çiftçiler ve tarım uzmanlarına tarım alanlarının fiziki ve biyolojik özelliklerini daha derinlemesine kavrama imkânı sunarak, kaynakların daha sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesini ve tarımsal verimliliğin artırılmasını sağlar (Cisternas ve ark., 2020). CBS'nin sunduğu ayrıntılı analizler ve öngörüler, iklim değişikliği ve su kaynaklarının azalması gibi çağımızın tarım sektörünü tehdit eden zorluklarla mücadelede de önemli bir rol oynar. Özetle, CBS, modern tarımın temel unsurlarından biri haline gelmiş olup, sektörde verimlilik, sürdürülebilirlik ve yenilikçiliği desteklemektedir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) başlangıçta erozyon risk haritalarının oluşturulmasında kullanılmış, ancak zamanla farklı alanlarda da yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Çetin ve Gülmez, 2003). Tarım alanlarında ürün rekolte tahminleri, ürün deseni oluşturma ve arazi yapısının belirlenmesi gibi konularda CBS teknolojisi etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, hayvancılık sektöründe de bu sistemden yararlanılarak ekonomik kaynakların belirlenmesi ve hayvan hastalıklarının kontrolü gibi kritik çalışmalar yapılmaktadır (Çiçek ve Şenkul, 2006).

3. CBS Kullanarak Tarımda İnovasyon Alanları

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), tarım sektöründe yenilikçi çözümlerin geliştirilmesi adına önemli bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır. CBS, tarımda verimliliği artırmak ve sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla veri toplama, analiz ve görselleştirme süreçlerini köklü bir şekilde dönüştürmektedir (Mandal ve Ghosh, 2000) . Bu teknoloji, çiftçilere ve tarım uzmanlarına, ürün desenlerinin optimize edilmesinden, arazi ve su kaynaklarının en verimli şekilde yönetilmesine, toprak verimliliğinin artırılmasından, zararlı ve hastalıkların etkin yönetimine kadar geniş bir yelpazede yenilikçi uygulamalar sunar (McBratney ve ark., 2005). CBS'nin sağladığı bu olanaklar sayesinde, tarımsal faaliyetler daha bilimsel temellere dayandırılmakta ve iklim değişikliği gibi küresel zorluklara karşı daha dirençli stratejiler oluşturulmaktadır. Ayrıca, CBS'nin sunduğu derinlemesine analizler, tarımsal üretim süreçlerinde daha bilinçli kararlar alınmasına olanak tanırken, ekonomik getiriye artırıp çevresel etkileri en aza indiren sürdürülebilir tarım uygulamalarını hayata geçirme fırsatı sunar. CBS'nin tarımda sunduğu inovasyon alanları, geleneksel tarım yöntemlerini geride bırakarak, geleceğin tarımını şekillendiren ve küresel gıda

güvenliğine katkı sağlayan stratejik bir araç olarak önemli bir rol üstlenmektedir (Brus ve De Gruijter, 1997).

3.1. Hassas Tarım

Hassas tarım, modern tarım sektöründe devrim niteliğinde bir yaklaşım olarak, tarımsal üretimi daha verimli, ekonomik ve çevreye duyarlı bir hale getirmek için geliştirilen ileri teknolojik bir yöntemdir. Bu yenilikçi tarım modeli, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), uzaktan algılama, GPS teknolojisi ve büyük veri analitiği gibi güncel teknolojilerin entegrasyonu ile, tarım arazilerinin her bir bölümünün spesifik ihtiyaçlarını belirleyerek, bu ihtiyaçlara yönelik hassas ve hedeflenmiş müdahaleler yapılmasını mümkün kılar. Hassas tarım, tarladaki mikro değişiklikleri göz önünde bulundurarak, gübreleme, sulama, ilaçlama ve ekim gibi tarımsal işlemlerin en uygun doz ve zamanda gerçekleştirilmesine olanak tanır. Bu teknoloji odaklı yaklaşım, yalnızca tarımsal girdilerin daha etkili ve israftan uzak bir şekilde kullanılmasını sağlamakla kalmaz, aynı zamanda çevresel etkileri minimize ederek, toprak sağlığının korunmasına ve biyolojik çeşitliliğin desteklenmesine katkıda bulunur (Gebbers ve Adamchuk, 2010). Hassas tarım, çiftçilere toprak ve bitki koşullarını sürekli izleyip analiz etme fırsatı sunarak, daha bilinçli ve veri tabanlı kararlar almalarını sağlar; böylece ürün verimliliğini ve kalitesini artırırken, tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilirliğine de büyük ölçüde katkı sağlar. Bu nedenle, hassas tarım, küresel gıda güvenliğini sağlamada, kaynakların en etkin şekilde kullanılmasında ve tarımın çevresel ayak izini azaltmada, geleceğin tarımını şekillendiren kritik bir uygulama olarak önemli bir rol oynamaktadır (Balafoutis ve ark., 2017) Örneğin, CBS verileri kullanılarak yapılan modelleme ve analiz sonucunda uygulama alanında bulunan farklı bitkileri ayırabilir ve farklılık gösteren bu bitkiler için spesifik gübreleme ve sulama programları sunabilir (Şekil 4). Sonuç olarak CBS destekli hassas tarım uygulamaları zamandan tasarruf edilerek tarımsal üretim ve işletmelerde çevre kirliliğini azaltarak verimliliği arttırmayı hedefleyen bir metottur (Tekin ve sındır, 2006).



Şekil 4. Tarımsal Ekosistemlerde Hassas Tarım Teknolojileri (Anonim)

- **Toprak Analizi ve Yönetimi:** Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), tarım arazilerinin toprak yapısını haritalamak ve analiz etmek amacıyla kullanılır. Bu veriler, çiftçilere hangi bölgelerde gübreleme veya sulama gibi işlemlerin yoğunlaştırılması gerektiğini belirlemede önemli bir rehberlik sağlar.
- **Bitki Sağlığı ve Verim Takibi:** Bitki sağlığını sürekli izlemek için uydu görüntüleri ve drone teknolojisi kullanılabilir. Bu yöntemler, hastalıkların veya zararlıların erken aşamada tespit edilmesini sağlar ve böylece zamanında müdahale edilebilme imkanı sunar.
- **Ürün Verimliliği Haritalama:** Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), çeşitli bölgelerdeki ürün verimliliğini izlemek ve bu verilere dayanarak verimliliği artırmaya yönelik stratejiler geliştirmek için kullanılır. Bu sistem, çiftçilerin hangi alanların daha yüksek verim sağladığını tespit etmelerine olanak tanır, böylece kaynaklarını daha verimli ve akılcı bir şekilde yönetebilirler.

3.2. Sulama Yönetimi

Sulama yönetimi, tarımsal üretimde su kaynaklarının verimli ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını sağlamak açısından kritik bir öneme sahiptir. Tarım sektörü, suyun en yoğun kullanıldığı alanlardan biri olarak, artan nüfus ve iklim değişikliği gibi küresel zorluklarla karşı karşıya kaldığında, suyun etkili bir şekilde yönetilmesi daha da önemli hale gelmiştir.

Sulama yönetimi, bitkilerin su ihtiyaçlarını en uygun şekilde karşılayarak hem su tasarrufu sağlar hem de bitki verimliliğini artırır (Pereira ve ark., 2012). Bu süreç, bitkilerin büyüme dönemleri, toprak özellikleri, iklim koşulları ve su kalitesi gibi faktörlere göre optimize edilen çeşitli uygulamaları içerir. Günümüzde modern sulama yönetimi, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), uzaktan algılama, GPS teknolojisi ve otomatik sulama sistemleri gibi yenilikçi araçların bir araya gelmesiyle gerçekleştirilmektedir. Bu teknolojiler, tarım alanlarındaki su dağılımını hassas bir şekilde izleme ve analiz etme imkânı sunarak, çiftçilerin su kaynaklarını en verimli şekilde kullanmalarına ve su kayıplarını minimuma indirmelerine olanak tanır. Aynı zamanda, su stresi yaşayan bitkilerin belirlenmesi ve su kullanımının optimize edilmesi, tarımsal sürdürülebilirliği artırmak için büyük önem taşır. Sulama yönetimi, yalnızca mevcut su kaynaklarının korunmasına yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda tarımsal üretimde en yüksek verimliliği sağlamak için stratejik bir planlama ve uygulama süreci olarak işlev görür. Bu sebeple, sulama yönetimi modern tarımın vazgeçilmez bir bileşeni olarak, hem ekonomik faydaları artırmak hem de çevresel sürdürülebilirliği sağlamak adına önemli bir rol üstlenmektedir (Zwart ve Bastiaanssen, 2004).

- Su Kaynaklarının Haritalanması: Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), tarım arazilerindeki su kaynaklarını ayrıntılı bir şekilde haritalandırır ve bu veriler, su yönetim stratejilerinin oluşturulmasında önemli bir rol oynar.
- Sulama Sistemlerinin Optimizasyonu: Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) verileri kullanılarak sulama sistemleri optimize edilebilir. Örneğin, belirli bölgelerin su ihtiyaçları daha ayrıntılı bir şekilde analiz edilerek, suyun en verimli şekilde kullanılmasını sağlayacak sulama planları geliştirilebilir.
- Su Tüketiminin İzlenmesi ve Yönetimi: Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), su tüketiminin izlenmesi ve yönetilmesinde çiftçilere önemli bir destek sağlar. Bu teknoloji, su tüketimini analiz ederek, su israfını önlemeye yönelik etkili adımlar atılmasına olanak tanır.

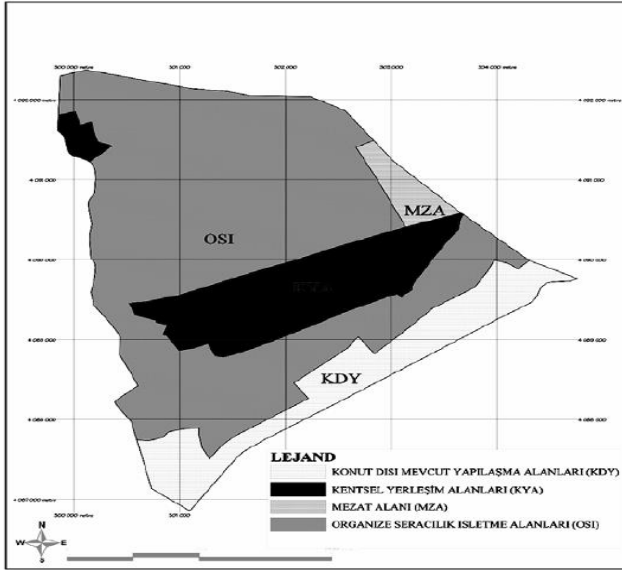
3.3. Tarımda Sürdürülebilirlik

Tarımda sürdürülebilirlik, modern dünyanın en kritik küresel hedeflerinden biri olarak, tarımsal üretimin çevresel, ekonomik ve sosyal

açından dengeli bir şekilde devam ettirilmesini amaçlamaktadır. Dünya nüfusunun hızla artması, iklim değişikliğinin etkileri ve doğal kaynakların azalması gibi zorluklar, tarımsal faaliyetlerde sürdürülebilir yöntemlerin benimsenmesini her zamankinden daha önemli hale getirmiştir. Sürdürülebilir tarım, toprağın verimliliğini koruma, su kaynaklarını verimli kullanma ve biyolojik çeşitliliği destekleme gibi prensipler üzerine kuruludur. Aynı zamanda, bu yaklaşım, çiftçilerin ekonomik refahını artırmayı hedeflerken, uzun vadeli gıda güvenliğini sağlamak için stratejik adımlar atılmasını teşvik eder (Tilman ve ark., 2002; Kılıbacak ve ark., 2021). Modern tarım tekniklerinin yenilikçi teknolojilerle birleşerek kaynak kullanımını optimize etmesi, çevresel zararları en aza indirmesi ve gelecek nesillerin tarımsal üretim kapasitelerini güvence altına alması, sürdürülebilirliğin temel taşlarını oluşturur. Sürdürülebilir tarım, yalnızca bugünün gıda ihtiyaçlarını karşılamakla kalmaz, aynı zamanda gelecekteki gıda güvenliğini garanti altına alarak, tarımın çevreye olan olumsuz etkilerini en aza indirmeyi hedefler. Bu bağlamda, sürdürülebilir tarım uygulamaları hem gezegenimizin sağlığını koruma hem de insan refahını artırma konusunda hayati bir öneme sahiptir (Foley ve ark., 2011). Örneğin; Toprak Koruma ve Arazi Kullanım Kanunu çerçevesinde gerçekleştirilen Altınova bölgesi için, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) teknolojilerinin kullanımıyla elde edilen veriler kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiş ve bölge için uzun vadeli sürdürülebilir bir arazi yönetim planı oluşturulmuştur. Bu doğrultuda, çalışma alanı arazileri üç ana arazi kullanım grubuna ayrılmıştır: Organize Sera İşletmeciliği Alanları, Kentsel Yerleşim Alanları ve Konut Dışı Mevcut Yapılaşmış Alanlar. Bu sınıflandırma, bölgenin mevcut kaynaklarının en verimli şekilde kullanılması, sürdürülebilir tarım uygulamalarının teşvik edilmesi ve yerleşim alanlarının planlı bir şekilde gelişmesi amacıyla yapılmıştır. Elde edilen veriler, bölgenin topoğrafik, ekolojik ve sosyo-ekonomik özelliklerini dikkate alarak, sürdürülebilir kalkınmayı destekleyecek stratejik planların geliştirilmesine temel teşkil etmiştir (Sönmez ve ark., 2007).

- Arazi Kullanım Planlaması: Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), tarım arazilerinin en verimli şekilde değerlendirilmesine yönelik ayrıntılı arazi kullanım planları oluşturulmasına imkân sağlar. Bu yaklaşım, ekolojik dengeyi koruyarak tarımsal üretimin en üst düzeye çıkarılmasına katkıda bulunur (Şekil 5).

- Erozyon ve Toprak Koruma: Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), erozyon risklerini haritalandırmak ve toprak koruma stratejilerini belirlemek amacıyla kullanılır. Bu sayede, tarım arazilerinin uzun vadeli verimliliği korunabilir ve sürdürülebilir tarım uygulamaları desteklenebilir.
- Karbon Ayak İzi Takibi: Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), tarımsal faaliyetlerin karbon ayak izini izlemek için kullanılır. Bu izleme, tarımda sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için gerekli adımların atılmasına katkı sağlar ve çevresel etkilerin azaltılmasına yardımcı olur.



Şekil 5. Sürdürülebilir Arazi Yönetim Planı Haritası (Sönmez ve ark., 2007)

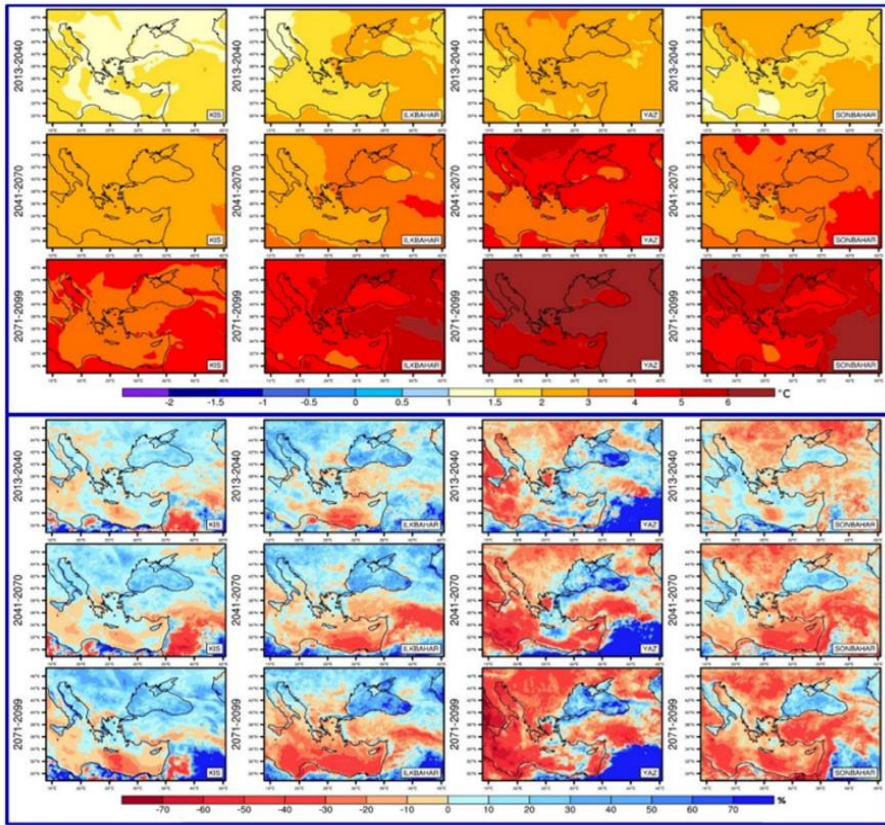
3.4. Zararlı Yönetimi ve Hastalık İzleme

Tarımsal üretim üzerinde büyük tehditler oluşturan zararlı organizmalar ve bitki hastalıkları, ciddi bir risk taşır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), bu tür tehditlerle mücadelede yenilikçi çözümler sunar. Zararlı organizmaların yayılma modellerini takip etmek ve bu yayılmayı önlemek için stratejik planlar oluşturulmasında kullanılır. Uydu görüntüleri ve saha verileri ile zararlıların tarım alanlarındaki dağılımı haritalanabilir ve erken müdahale imkânları yaratılabilir. Bitki hastalıklarının erken tanısı, tarımsal verimliliği korumak adına kritik bir rol oynar. CBS, hastalıkların mekânsal dağılımını inceleyerek,

bu hastalıkların etkili bir şekilde yönetilmesine olanak sağlar (Maredia ve ark., 2003; Lu ve ark., 2020).

3.5. İklim Değişikliğine Uyum ve Risk Yönetimi

İklim değişikliği, tarımsal üretimi doğrudan etkileyen kritik bir unsurdur. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), tarım sektörünün bu değişikliklere uyum sağlamasına ve riskleri yönetmesine yönelik yenilikçi çözümler sunar. İklim verilerini derinlemesine analiz ederek, iklim değişikliğinin tarımsal faaliyetler üzerindeki olası etkilerini tahmin etmeye olanak tanır (Lobell ve ark., 2010). Bu analizler, tarımsal üretim stratejilerinin iklim değişikliklerine karşı daha dirençli hale getirilmesine yardımcı olur. Ayrıca, sel, kuraklık ve fırtına gibi doğal afetlerin etkilerini izlemek ve bu afetlerin tarım üzerindeki olumsuz sonuçlarını minimize etmek amacıyla kullanılır. CBS aracılığıyla oluşturulan risk haritaları, doğal afetlere karşı önceden tedbirler alınmasına olanak sağlar. Bunun yanı sıra, iklim değişikliğine dayanıklı bitki türlerinin belirlenmesi ve bu türlerin en uygun yetiştirme alanlarına ekilmesi gibi kritik analizler gerçekleştirilebilir (Brown ve Funk, 2008). Bu sayede, tarımsal üretim, iklim değişikliğinin yaratabileceği olumsuz etkilerden korunarak sürdürülebilir hale getirilebilir. İklim değişikliği öngörü çalışmaları, her sektörde uyum planlamalarının temel taşı olarak oluşturularak, paydaşların geleceğe yönelik stratejilerinde hayati bir rol oynar. Bu planlamaların, iklim ve iklim model çıktılarına dayalı olarak yapılması kritik önem taşır. İklim değişikliği çalışmalarında, Türkiye ve çevresi için çeşitli iklim modellerinin senaryoları, ölçek küçültme yöntemleriyle üretilmelidir (Şekil 6). Bu yaklaşım, gelecekte karşılaşılması muhtemel iklim değişikliği senaryolarını daha ayrıntılı bir şekilde görmeyi mümkün kılacaktır. İklim değişikliğine uyum süreçlerinin bir sonraki adımı ise sektörlere özgü iklim ürünlerinin geliştirilmesidir. Bu ürünlerin hazırlanması sırasında, modelleme çalışmalarında ortaya çıkabilecek potansiyel hataların dikkate alınması gerekmektedir. Bu sayede, geleceğe yönelik daha güvenilir ve etkili stratejiler oluşturulabilir (Demircan ve ark., 2017).



Şekil 6. HadGEM 2S Modeli RCP 8.5 Senaryosu sıcaklık ve yağış projeksiyonları (Demircan ve ark., 2017)

4. SONUÇ

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), tarım sektöründe köklü dönüşümler yaratan, güçlü ve esnek bir teknolojidir. CBS' nin tarımsal yeniliklere nasıl katkıda bulunduğunu ve tarımsal süreçlerin nasıl daha verimli hale getirilebileceğini ayrıntılı olarak inceledik. CBS, mekânsal veri analizleri, etkili görselleştirme teknikleri ve karar destek sistemleri aracılığıyla tarımda verimliliği artırmanın, sürdürülebilirliği sağlamanın ve riskleri yönetmenin temel taşlarından biri olarak öne çıkar.

Özellikle hassas tarım, su yönetimi, sürdürülebilir tarım uygulamaları, zararlı yönetimi ve iklim değişikliğine uyum gibi kritik alanlarda sunduğu avantajlar, tarım sektörünü geleceğe taşıyan birer kaldıraç işlevi görmektedir. CBS' nin sağladığı detaylı, kapsamlı ve sürekli olarak güncellenen veriler,

çiftçilerin, tarım uzmanlarının ve karar vericilerin daha bilinçli ve etkili adımlar atmasını mümkün kılar. Bu durum, yalnızca tarımsal kaynakların daha verimli kullanılmasına değil, aynı zamanda ürün kalitesinin yükselmesine ve çevresel etkilerin azaltılmasına da katkı sağlar.

Tarımda sunduğu yenilikler, mevcut tarımsal süreçlerin iyileştirilmesinin ötesinde, yeni uygulamalar ve teknolojilerin geliştirilmesine de olanak tanır. Bu çerçevede, CBS' nin tarım sektöründeki rolü, yalnızca bir teknolojik araç olarak değil, tarımsal inovasyonun anahtarı olarak da değerlendirilebilir. Gelecekte, CBS' nin tarımsal uygulamalarda daha yaygın olarak benimsenmesi ve bu teknolojinin sürekli gelişmesi beklenmektedir. CBS, yalnızca tarımsal üretimde değil, aynı zamanda gıda güvenliği, kırsal kalkınma ve çevresel sürdürülebilirlik gibi geniş kapsamlı hedeflere ulaşmada da önemli bir araç olarak kalacaktır.

Tarım sektörü, günümüz dünyasında iklim değişikliği, su kıtlığı, toprak bozulması gibi pek çok zorlukla karşı karşıya bulunurken, CBS' nin bu zorlukları aşmada sağladığı katkılar, geleceğin tarım sistemlerinin daha güvenli ve sürdürülebilir olmasına zemin hazırlar. Sonuç olarak, CBS' nin tarımda inovasyonun kilit unsurlarından biri olduğu ve bu teknolojinin gelecekte tarımın her alanında daha geniş bir şekilde benimsenerek kullanılacağı açıkça görülmektedir. CBS' nin sunduğu yenilikler, tarımsal üretim süreçlerini yeniden tanımlayacak ve tarımsal verimliliği artırarak daha sürdürülebilir bir gelecek inşa edilmesinde hayati bir rol oynayacaktır.

KAYNAKÇA

- Balafoutis, A., Beck, B., Fountas, S., Vangeyte, J., Van der Wal, T., Soto, I., Eory, V. (2017). Precision agriculture technologies positively contributing to GHG emissions mitigation, farm productivity and economics. *Sustainability*, 9(8): 1339.
- Brown, M. E., Funk, C. C. (2008). Food security under climate change. *Science*, 319(5863), 580-581.
- Brus, D. J., De Gruijter, J. J. (1997). Random sampling or geostatistical modelling? Choosing between design-based and model-based sampling strategies for soil (with discussion). *Geoderma*, 80(1-2): 1-44.
- Cisternas, I., Velásquez, I., Caro, A., Rodríguez, A. (2020). Systematic literature review of implementations of precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 176: 105626.
- Demircan, M. (2019). İklim Değişikliği: Sektörel İklim Ürünleri ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS). TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 16.
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Zaks, D. P. 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337-342.
- Gebbers, R., Adamchuk, V. I. (2010). Precision agriculture and food security. *Science*, 327(5967): 828-831.
- Ghosh, P., Kumpatla, S. P. (2022). GIS applications in agriculture. In *Geographic Information Systems and Applications in Coastal Studies*. IntechOpen.
- Kılbaçak, H., Bellitürk, K., Çelik, A. (2021). Bitkisel ve hayvansal atıklardan vermikompost üretilmesi: yeşil badem kabuğu ve koyun gübresi karışımı örneği. Akademik Perspektiften Tarıma Bakış (Editör: Gülşah Bengisu). İKSAD Yayınevi. Ankara.
- Lobell, D. B., Burke, M. B. (2010). On the use of statistical models to predict crop yield responses to climate change. *Agricultural and forest meteorology*, 150(11): 1443-1452.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., Rhind, D. W. (Eds.). (1999). *Geographical information systems: principles, techniques, applications, and management*. John Wiley & Sons.

- Lu, B., Dao, P. D., Liu, J., He, Y., Shang, J. (2020). Recent advances of hyperspectral imaging technology and applications in agriculture. *Remote Sensing*, 12(16): 2659.
- Mandal, D., Ghosh, S. K. (2000). Precision farming—The emerging concept of agriculture for today and tomorrow. *Current Science*, 79(12): 1644-1647.
- Mani, P. K., Mandal, A., Biswas, S., Sarkar, B., Mitran, T., Meena, R. S. (2021). Remote sensing and geographic information system: a tool for precision farming. *Geospatial technologies for crops and soils*, 49-111.
- Maredia, K. M., Dakouo, D., Mota-Sanchez, D. (Eds.). (2003). *Integrated pest management in the global arena*. CABI.
- McBratney, A., Whelan, B., Ancev, T., Bouma, J. (2005). Future directions of precision agriculture. *Precision agriculture*, 6: 7-23.
- Pereira, L. S., Cordery, I., Iacovides, I. (2012). Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. *Agricultural water management*, 108: 39-51.
- Rose, D. C., Chilvers, J. (2018). Agriculture 4.0: Broadening responsible innovation in an era of smart farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2: 87.
- Rüstemov, V. (2014). Coğrafi bilgi sistemleri ve 3D modelleme. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal Ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 2014(4), 146-150.
- Sakin, E., Koca, Y. K., Celik, A. (2018). Estimation of the Above-Below Ground Plant Biomass of Southeastern Anatolia Region of Turkey with Geostatistical Modelling. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 19(2), 870-881.
- Sönmez, N. K., Sarı, M., Aksoy, E. (2007). Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Sürdürülebilir Arazi Yönetimi Ve Toprak Koruma Planının Oluşturulması: Antalya-Altınova Örneği. *Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture*, 20(1): 11-22.
- Tey, Y. S., Brindal, M. (2012). Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: a review for policy implications. *Precision agriculture*, 13: 713-730.
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898): 671-677.

Yildirim, Ö. A. Arazi kullanımının çok zamanlı uydu görüntüleri, coğrafi bilgi sistemleri ve çiftçi kayıt sistemianalizleri ile haritalanması. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi,2019.

Zwart, S. J., Bastiaanssen, W. G. (2004). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural water management*, 69(2): 115-133.

BÖLÜM 10

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNDE BÖCEKLERİN GELECEĞİ

Prof. Dr. Ali ÖZPINAR¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13685081>

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, 17100, Çanakkale, Türkiye, E mail: aozpinar@comu.edu.tr, ORCID ID: [0000-0003-4512-8027](https://orcid.org/0000-0003-4512-8027)

GİRİŞ

Dünyanın oluşumunda bu yana, sıcaklık artışı yer küredeki ekolojik sistemlerde yapısal değişimlere neden olmuştur. Yeryüzünün eğimi nedeniyle güneşten gelen ışınların yansıması bölgesel iklimlerin temelini teşkil etmektedir. Bunun yanında okyanus akıntılarındaki değişiklikler iklimin, bölgeden bölgeye farklılaşmasına sebep olmuştur. Bu bağlamda, iklim değişikliği, yer kürenin oluşumundan bu yana kendi dinamikleri içinde şekillenmiştir. Böylece bir realite olan iklim değişikliği, geçmişte doğa güçlerinin etkisiyle, günümüzde ise insan faaliyetleri sonucu gerçekleşmektedir (Nordhaus, 2013). İnsan eliyle meydana gelen iklim değişikliğinin etkisi, farklı bölgelerde, alışılanın dışında yaşanan ve doğal yollarla tolere edilemeyen afet ve su baskınlarının yarattığı problemlerle kendini göstermektedir (Skendžić ve ark., 2021).

Sanayi devriminden bu yana aşırı artan kentleşme ve fosil kaynaklı yakıt kullanımındaki artış insan eliyle iklim değişiminin miladı olarak kabul edilmiştir (Metz ve ark., 2001). Böylece iklim değişimi günümüzde küresel boyutta bir problem haline gelmiştir (Özgür ve Tuncer, 2011; Yaşar ve ark., 2021; Kekillioğlu ve Yıldız, 2023)

Tüm canlıları etkileyen iklimdeki değişimin ana sebebi karbondioksit (CO₂) salım değerlerinin günden güne artmasıdır. Yapılan ölçümlere göre sanayi devrimi öncesi 210 ppm olan CO₂ miktarı günümüzde 400 ppm'e yükselmiş olup, CO₂ salımının yer kürede yarattığı sıcaklık değerleri ise ortalama 0.85°C'dir (Menéndez, 2007). Her gün artan oranda değişen CO₂ miktarının, 2100 yılında 540-970 ppm değerlerine ulaşması beklenmektedir. Bu değerlerin yerkürede yaratacağı sera etkisiyle sıcaklık artışı 1.4-5.8°C olarak tahmin edilmektedir (Bale ve ark., 2002).

Dünyadaki ortalama sıcaklık ve diğer iklim parametrelerindeki değişikliğin heterojen olması nedeniyle, belirli ulusal veya küresel iklim değişikliği senaryoları önceden belirlenmemektedir. Sıcaklık artışı küresel ölçekte de olsa etkisi, bazı bölgelerde daha şiddetli hissedilmektedir. Türkiye'nin de içinde bulunduğu Akdeniz Havzası iklim değişikliğinden en fazla etkilenecek riskli bölgeler arasında yer almaktadır. Türkiye'de, 2019 yılında 935 aşırı iklim olayının yaşanmış olması bu durumu teyit etmektedir (Anonim, 2020). Nitekim, Trakya bölgesinde ayçiçeği bitkisinin yerel bir zararlısı olarak bilinen Çayır tırtılının (*Loxostege sticticalis* L.) 2012 ve 2022

yıllarında salgın yapması, sıcaklıklardaki artışa ve zamansız yağışın sağladığı uygun nem ortamının varlığına bağlanmıştır (Özpınar, 2023). Çayır tırtılıının salgın yaptığı 2022 yılında Türkiye ortalama sıcaklık değeri (14.5°C) 1991-2020 yıllarının ortalama sıcaklık (13.9°C) değerlerinden 0.6°C yüksek iken, 2012 yılında da ortalama 14.2°C sıcaklık değeri, 1972-2000 yıllarının ortalama (13.2°C) sıcaklık değerinden 1.0°C daha yüksek olmasıyla belirgin bir ısınma süreci yaşanmıştır (Anonim, 2013 ve 2023). Çayır tırtılıının salgın yaptığı 2022 yılında Trakya bölgesinde uzun yıllara göre yaz aylarındaki maksimum sıcaklık değerleri ise 1.1°C daha yüksek ölçülmüştür (Anonim, 2023).

Bununla yanında NTV²'nin NASA'ya dayandırarak yaptığı habere göre 2023 yılı temmuz ayının 1880 yılına kadarki temmuz aylarından 0.24°C daha sıcak olduğu; 1951-1980 yılları arasındaki temmuz aylarında ise bu farkın 1.18°C daha yüksek olduğunu bildirmiştir. Yapılan bir değerlendirmeye göre gezegenin 3.2°C ısınmasıyla böcek türlerinin yarısının yaşam alanının %50 oranında azalacağı, Paris İklim Anlaşması'na göre global ısınmanın 1.5°C ile sınırlandırılması halinde ise böceklerin %6'sının yaşam alanlarının etkileeneceği şeklinde ifade edilmiştir.

Global düzeyde sıcaklıktaki artış, kutuplardaki buzların erimesiyle deniz suyunun yükselmesi sonucu karalarda ve denizlerde etkisini göstererek kıyıların su altında kalmasına, karasal ekosistemlerde ani, düzensiz ve kontrol edilemeyen yağışlar, sel ve taşkınlara neden olacaktır (Atabey, 2022). Yaşanacak bu değişimlerin tümü, hayvanlar alemi içinde tür sayısı bakımında çoğunluğu (%75) temsil eden böceklerin biyolojileri, davranışları ve yaşam alanları üzerinde etkili olması kaçınılmazdır (Harrington ve ark., 2001).

Günümüzde insanlığın en önemli sorunu olarak kabul ettiği iklim değişiminin etkisi tarımsal üretimin devamlılığı için de endişe verici boyutlara ulaşmıştır (War ve ark., 2016). Sıcaklıktaki artış, birim alanda tarımsal ürünlerin miktarını düşürmenin yanında, yeni zararlı böcek türlerinin ortaya çıkmasına, bitkisel üretimde kültürel uygulamaların değişimine neden olmaktadır. İklimdeki değişim, bitkilerin gelişimini etkileyebileceği gibi, onlarla beslenen herbivor böceklerin popülasyon büyüklüğü üzerinde de oldukça önemli değişiklikler yaratmaktadır (Sharma, 2014).

² NTV'nin 15 Ağustos 2023 Tarihli yazısı

Çağlar boyunca canlılar arasındaki besin ilişkisinin kalıcı hale geldiği ekosistemlerde; küresel ısınmadan kaynaklı, bozulmalar ve böcek biyolojik çeşitliliğinde değişimlere neden olmuştur. Tarım alanlarında böcek tür zenginliği ve bolluğundaki kayıp, doğal habitatlara göre daha yüksek olup, tozlayıcıların bu kayıpta önemli yer tuttuğu modellerle ortaya konulmuştur (Outhwalte ve ark., 2022). Böcek tür sayısı biyoçeşitlilik ekosistemin devamlılığında önemli yere sahiptir. Böcekler, ekosistemde toprağın havalanmasını sağlayarak bitki kök gelişimine katkı verdikleri gibi, kendi besinini sağlayan bitkilerin üremesinde de doğrudan rol oynarlar. Bitki tohumlarının uzak bölgelere taşınmasıyla da bitkilerin daha geniş alanlara yayılmasına da imkân sunarlar. Carnivor türler ise, herbivor türlerin popülasyon artışları üzerinde baskı unsuru olarak etkili olurlar ve doğal dengenin korunması bu şekilde sağlanır. Ayrıca meralarda evcil hayvanlar tarafından tüketilmeyen zehirli otların kontrol altında tutulması da besin zinciri içinde şekillenir (Özpinar ve ark.,2020).

Bunun yanında böcekler ekosistemde ölü bitki ve hayvan atıklarının geri dönüşümünü sağlayarak toprağın organik yapısını düzenler. Yerkürede artan sıcaklık böcek popülasyon dinamiklerini, gelişimi, üremeyi, diyapozu, döl sayısını, hayatta kalma oranını ve göç hareketlerini etkiler (Mamay ve Şimşek, 2017).

Yapılan araştırmaların sonuçlarında, artan sıcaklığın böceklerin çoğalmaları üzerinde olumlu etkilere sahip olduğu şeklindedir. Böcekler açısından bu olumlu etkiler, coğrafik dağılımlarının genişlemesi, kışlamanın azalması, döl sayısı ve üreme gücünün artması şeklinde değerlendirilmektedir. Kısaca toparlayacak olursak, iklim değişikliği, zararlıların üremesi, gelişmesi, canlılığının devam etmesi ve yayılmasını doğrudan etkilediği gibi; predatörler, parazitoitler ve mutualistik ilişki de dahil olmak üzere hem böcek türleri arasında hem de bunların çevreleriyle olan etkileşimlerini dolaylı olarak etkilemektedir (Nyamukondiwa ve ark., 2022). Poikilotermik olan böceklerde sıcaklık dalgalanmaları böcek fizyolojisini büyük ölçüde etkiler ve her 10 santigrat derecelik artış için metabolik hızlarını ikiye katlar (Skendžić ve ark., 2021). Günümüzde iklimdeki değişimin ana parametresi olarak kabul edilen sıcaklığın biyolojik çeşitlilik üzerindeki etkisinden çok tarım alanlarında ürün kabına neden olan böceklerin popülasyon değişimi üzerindeki olası etkisi öne çıkmıştır.

1.İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE NEDENLERİ

Bir bölgenin uzun süre ölçülen sıcaklık, yağış, hava basıncı, nem ve rüzgâr gibi meteorolojik değerler bütününe iklim denilmektedir. Bu değerlerin birbirini dengelemesi halinde sürdürülebilirlik söz konusu olabilir. Bu parametrelerdeki değişimler iklim değişimine neden olmaktadır. İklim değişimine neden olan küresel ısınmanın esas kaynağı, karbondioksit (CO₂) salımına yol açan kömür, petrol ve doğalgaz gibi karbon bazlı fosil yakıtların kullanılmasıdır. İklim değişikliği nedeni ile de sıcak hava dalgalarının ve yoğun yağış olaylarının hız ve şiddetinde de artış beklenmektedir (Ripple ve ark., 2022).

Karbondioksit; yanmayan, renksiz, kokusuz, havadan ortalama 1.5 kat daha ağır ve zehirli olmayan bir gazdır. Havadaki oranı %30'a ulaştığında solunum tikanıklığına neden olmaktadır (Atabey, 2022).

Sanayi devrimi öncesine göre 2018 yılında 406 ppm olan CO₂ miktarı günümüzde yaklaşık 1.5 kat artmıştır (Kimball, 2016). Küresel sıcaklık değerleri ise sanayi devrimi öncesine göre 2021 yılında yaklaşık 1.11⁰C derece üzerinde seyretmiştir.

Karbondioksit miktarının düzenli olarak ölçüldüğü 1957 yılından bu yana, CO₂ miktarındaki artışın dörtte üçü fosil yakıtlarının kullanılmasının sonucunda, dörtte biri ise CO₂'nin konsantrasyonunu azalmasından sorumlu olan orman alanlarının daralmasından kaynaklandığı şeklinde ifade edilmiştir (Atabey, 2021). Karbondioksitin bugünkü değeri, son 20 milyon yılın en yüksek seviyesinde olup, CO₂ salımı; **sera etkisi** ve **küresel ısınma** iklim değişikliğinin nedenleri olarak gösterilmiştir. İklim değişikliği nedeniyle sıcak hava dalgaları ve yoğun yağışın hız ve şiddetinde artış beklenmektedir (Ripple ve ark., 2022).

1.1.Sera Etkisi

Karbondioksit gazının yeryüzünü bir örtü gibi kaplaması sonucu sera etkisi ortaya çıkmaktadır. Diğer bir deyişle güneşten gelip, dünyadan tekrar yansıyan güneş ışınları; başta CO₂, metan ve su buharı tarafından atmosferde tutulmaktadır. Bu durum sera etkisine neden olmakta ve atmosferde bu gazların miktarının artmasıyla yerkürenin yüzey sıcaklığını arttırmaktadır. Bu sıcaklığın etkisi atmosferde, okyanuslarda, buz tabakalarında ve biyolojik sistemlerin yapısında yer alarak iyice güçlenmektedir.

Günümüzdeki tehlike, CO₂ ve diğer sera gazlarının miktarındaki artışın sera etkisini daha da şiddetlendirmesinde yatmaktadır. Binlerce yıldır dünyamızdaki karbon kaynakları stabil iken, insanların yoğunlaşan aktiviteleri sonucu fosil yakıtların kullanımının artması, orman ve mera alanlarının daralması tarımda aşırı girdi kullanımı, CO₂ ve diğer sera gazlarının salınımında artışa neden olmaktadır (Atabey, 2021). CO₂ (%9-26), metan (%4-9) ve ozon (%3-7) gibi gazlar farklı oranlarda sera etkisine neden olmaktadır (Streck, 2005; Anonim, 2019; Subedi ve ark., 2023). Karbondioksit ve metanın katkısı sanayi devrimiyle başlayan süreçte 1750 yılında %31 iken günümüzde bu oran %149'a ulaşmıştır (Demirsoy, 2019).

1.2.Küresel Isınma

Küresel ısınma kabondioksitin yarattığı sera etkisiyle, yerkürede ölçülen sıcaklık değerlerinden görülen artışla açıklanmaktadır. Günümüzde iklim bilimcileri küresel ısınmanın varlığı konusunda hem fikirdir (Anonim, 2019). Paris Anlaşması'na göre, gezegenimizdeki küresel ısınmanın en fazla 2°C ile sınırlı olması kabul görmüştür. İklim modelleri, fosil yakıt kullanımını azaltmak için güçlü önlemler alınmadığı takdirde 2100 yılına kadar bu miktarın 700-900 ppm'ye ulaşacağını göstermektedir (Galip, 2006.). Yapılan modellemeler, bu durumun dünya genelinde ortalama 3-5°C'lik bir ısınmaya neden olacağını ve 2100'den sonra bunun daha da artacağını ortaya koymaktadır (Outhwalte ve ark., 2022).

Belirlenen bu hedefte kalmak için fosil yakıt kullanımının bırakılması gerekmektedir (Anonim, 2019). Küresel ısınmanın neden olduğu iklim değişikliği kuraklık, çölleşme, yağışlardaki düzensizlikler, su baskınları, fırtına ve diğer meteorolojik olaylardaki artışlarla kendini göstermektedir (Arnell ve ark., 2019; Lesk ve ark., 2022).

İklim değişikliğine neden olan ve çoğunlukla dillendirilmeyen nüfus artışı gizli bir problemdir (Wudil ve ark., 2022). Nüfus artışının sonucu olarak daha fazla konut, daha fazla gıda ve su kaynağına olan ihtiyaç yanında daha fazla enerji kullanımını kaçınılmaz kılmaktadır (Nordhaus, 2013). Dolayısıyla, günümüz koşullarında dünyada ekonomik büyümede büyük bir yavaşlama olmadıkça ya da karbondioksit salımlarını ciddi oranda azaltmak için daha güçlü önlemler alınmadıkça, küresel ısınma artacak ve birçok sorununda yaşanmasına zemin hazırlayacak gibi görünüyor. CO₂ salımlarının atmosferde

giderek yoğunlaşması ve sonuç olarak küresel ısınmanın ortaya çıkması ve bağlantılı olarak iklimdeki değişimin artması beklenmektedir.

2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN BÖCEKLERE ETKİSİ

Böceklerin yer kürede farklı ortamlara uyum sağlaması, sahip olduğu işlevlere göre ekosistemde küresel ısınmadan farklı şekillerde etkilenmesi söz konusudur. Örneğin herbivor zararlı böcek türleri üzerinde iklimin etkisi bitkiler, tozlayıcılar, doğal düşmanlar ve ekosistemde anahtar rolünde olan diğer organizmaların interaksyonuyla açıklanabilmektedir (Boullis ve ark., 2015). Böceklerin her yıl tarımsal ürünlerde yılda %13.6 oranında ürün kaybı meydana getirmiş olması böcek bitki ilişkisinin ne kadar önemli olduğuna işarettir (War ve ark., 2016). Diğer taraftan günümüzde sıcaklık değişimi ile salgın yapan yeni zararlı böcek türleri, ürün kaybının boyutlarını tahmin edilmeyecek düzeylere çıkarmaktadır. Ani böcek salgınlarıyla gerçekleşen ürün kaybı, zamanında gerekli önlemleri alamayan ve dışa bağımlı gelişmekte olan ülkelerde daha da yüksek düzeylerde gerçekleşmektedir. Zira bu ülkelerde yaşayan insanların açlık sorunlarıyla karşı karşıya kalması sonucu gıda kaynağının kolay erişilebilir olan ülkelere göç etmeleri de küresel ısınmanın bir sonucu olarak değerlendirilmektir (Türkeş, 2022)

Üreme potansiyellerinin yüksek olması ve besin zincirinin alt basamaklarında yer almış olması nedeniyle böcekler, diğer canlılar içinde gıda kaynağı olarak önemli bir yere sahiptir. Dolayısıyla böcek popülasyonlarındaki artış veya azalma dolaylı olarak ilişkili olduğu bu canlıları da doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle iklim değişikliğinde böceklerin hangi oranda etkilendiklerine ilişkin somut verilere ulaşmak oldukça güçtür.

Bunların yanında insan ve hayvan gıdası olarak üretimi devam eden bitkisel üretimde herbivor türler zararlı konumuna geçerek ürün kaybına neden olmaktadır. Özellikle bazı türlerin istilacı konuma geçmesi ve salgın yaparak ciddi seviyelerde ürün kaybına neden olmaları sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Mevcut ürün kayıplarını asgariye indirmek için ekosistemin diğer bileşenleriyle birlikte bu zararlıların ele alınması gerekir. Bunları baskılayan doğal düşmanların yer küredeki sıcaklık artışında farklı şekilde etkilenmesi her zaman olasıdır. Dolayısıyla herbivor böceklerin küresel ısınmadan etkilenme derecesi farklı değişkenlerin etkisi altında şekillenmektedir.

2.1. Zararlı Böceklere Etkisi

Sıcaklık, böceklerin gelişmesini, üremesini ve yeryüzündeki dağılımlarını doğrudan etkilemektedir. Biyolojik döngüleri kısa süren böceklerin sıcaklığa olan tepkileri popülasyon yoğunluklarında ani artışlara neden olmaktadır (Bale ve ark., 2002). Bu özellikleri nedeniyle, iklim değişimi ile popülasyon yoğunluğu artma eğiliminde olan herbivor böceklerin her an salgın yapma ihtimali her zaman söz konusudur. Modellemelerle yapılan ön görülerde, ılıman bölgelerdeki sıcaklık artışı böceklerin kışın hayatta kalmasını olumlu yönde etkileyebileceği şeklindedir. Araştırmalar, artan sıcaklıkların böceklerin mevsim içinde daha erken dönemde ortaya çıkabileceğini ve daha uzun yaşam döngülerine sahip olabileceğini göstermektedir (Robinet ve Roques, 2010). Yer küredeki sıcaklık artışı Bakla zınnı (*Tropinota hirta* Poda) örneğinde olduğu üzere konukçu bitkilerin belli fenolojik dönemlerinde (çiçeklenme) beslenen ergin böceklerin mevsimsel uçuşu ile meyve çiçeklenme döneminde söz konusu olabilecek bir uyumsuzluk zararının popülasyon gelişmesi üzerinde olumsuz bir etkiye sebep olabilir (Avcı ve Özpınar, 2021). Erken dönemdeki ergin uçuşu meyvelerin çiçeklenme dönemlerini de kapsayacak şekilde daha uzun bir periyoda yayılabilir.

Bunun yanında sıcaklıktaki artış ılıman iklim bölgelerindeki böcekler için yaz mevsiminin süresini uzatarak böceklerin üremeleri ve çoğalmaları için mevcut termal kapasiteyi de artırabilir (War ve ark., 2016). Bununla birlikte döl sayısı az ve diyapoz süresinin fazla olduğu univoltin türlerin diyapoz sürelerinin kısılması ve ilave döl gelişiminin de görülmesine sebep olabilir (Ayres ve Lombardero, 2000). Sıcaklıktaki artış aynı zamanda biyotik potansiyeli yüksek olan böceklerin yıllık döl sayılarında belirgin artışa neden olacağı da tahmin edilmektedir. Yılda 20-25 döl veren yaprakbiti (Aphididae) türlerinin yıllık ortalama 2°C'lik sıcaklık artışına karşılık yılda ilave olarak 4-5 döl artış sağlayacağı belirtilmiştir (Harrington ve ark., 2001). İklim değişimi, böceklerin bulunduğu coğrafik alanlardaki faaliyetleri, göç hareketleri, tür içi ve türler arası rekabette değişime neden olabilmektedir (Menéndez, 2007). Bu değişimin etkisi göreceli olarak geniş coğrafyalarda yayılmış böcek türlerinde fark edilme ihtimali düşüktür. Bu tür alanlarda, ayrıntılı çalışmalar yapılmadığı için bu değişimin boyutu tam olarak anlaşılamamaktadır. Bu nedenle böceklerin çoğalması ve yayılması üzerinde iklim değişiminin etkisi geçiş zonlarında daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır. Türkiye'nin bulunduğu coğrafya esas

alındığında, iklim değişiminin böcekler üzerindeki etkisinin fark edilme ihtimali beklenenden daha yüksektir. Bu nedenle tarım alanlarında zararlı olan böcek türleri sıcaklık artışıyla birlikte buldukları coğrafik bölgelerde daha geniş bir alana yayılabilirler. Bu durum zararlıların yeni konukçulara ulaşma imkânı sunmasıyla, daha geniş alanlardaki kültür bitkilerinde ürün kayıplarına neden olurlar. Örneğin ılıman iklimin etkisindeki polifag tür *Ceratitis capitata*'nın kuzeye yarım küreye doğru yayıldığı ve ülkemizde geleneksel olarak ürün kaybına neden olduğu Akdeniz bölgesi iklim kuşağı dışındaki alanlardaki konukçu bitkilerde, tespit edilmiştir (Akçıl, 2022). Benzer şekilde kış aylarının ılıman geçtiği Batı-Güney Marmara ve Kuzey Ege bölgesinde son yıllarda Zeytin sineği (*Bactrocera oleae*)'nin kışı pupa dönemiyle birlikte ağırlıklı olarak ergin döneminde de geçirdiği belirlenmiştir (Özpinar ve Çam, 2022). Yansira, bu zararlının Akdeniz havzasında yer alan Güney Avrupa kıyılarındaki zeytin alanlarındaki mikroklimalarda yıllık döl sayısında artış olduğu bildirilmiştir (Marchi ve ark., 2016).

Bunun yanında farklı uygulamaların sürdürüldüğü tarım ekosistemlerinde böceklerin iklim değişimine tepkileri doğal habitatlardan farklıdır (War ve ark., 2016). Böcek tür sayısı ve bolluğun farklı derecede etkilenmesi biyolojik çeşitliliğe büyük oranda bağlıdır. Tarım ekosistemleri yapılan uygulamalar gereği kırılgandır. Bu durumda, zararlı yönetimi için farklı planlamaya ihtiyaç duymaktadır. Küresel ısınmanın etkisiyle uygun koşulların varlığında fitofag böcek popülasyonlarını kararsız hale getirerek, yeni böcek türlerinin de salgın yapmalarına neden olabilirler.

Ayrıca, artan sıcaklık, doğal düşmanların popülasyon gelişmelerini olumsuz yönde etkileyebilir. Zararlılarla doğal düşmanların biyolojilerindeki olası uyumsuzluklar, doğal düşman baskısı herbivor böceklerin popülasyonlarında yeterince gerçekleşmeyebilir. Bu durum herbivorların salgın yapmasına sebep olabilir. Harrington ve ark., (2001) 11°C sıcaklıkta *Acyrtosiphon pisum* (Harris)'un çoğalma oranı, predatörü olan *Coccinella septempunctata* L'nin tüketemeyeceği miktara ulaştığı için zararlı kontrol altına alamadığı, ancak sıcaklıktaki düşüş ile birlikte bu durumun tersine döndüğü bildirilmiştir.

Diğer taraftan küresel ısınma ile mevcut duruma uyum sağlayan zararlı böcek popülasyonlarının ırk ve strainleri için uygun ortam hazırlayarak onların salgın yapabilecek düzeyde çoğalmalarına da ortam hazırlayabilir.

Son yıllarda iklimdeki değişimin sonucu olarak, ayçiçeğinin yerel bir zararlısı olan Çayır tırtılı (*Loxostege sticticalis* L) 2012 ve 2022 yılında temmuz ayında Trakya bölgesinde salgın yapmış (Özpinar, 2022) ve 2022 yılında Çayır tırtılı, Doğu Marmara ve Batı Karadeniz bölgesine kadar yayılarak yeni konukçulara ulaşmış ve farklı kültür bitkilerinde mücadelesine ihtiyaç duyulmuştur (Öztemiz ve Ciner, 2022; Kaçar ve ark., 2023). Çayır tırtılı örneğinde olduğu üzere önceden yeterli hazırlığa sahip olunmadığında, yapılan kimyasal uygulamalar doğal düşmanları olumsuz etkileyebileceğinde dolayı daha sonraki yıllar için de potansiyel bir zararlı konumuna geçme ihtimali söz konusu olabilir.

Diğer taraftan küresel ısınmayla birlikte konukçu bitki ile yabancı otların rekabetindeki değişim, herbivor böceklere alternatif besinler sağlayarak popülasyonunda artışa neden olabilmektedir.

Ayrıca, herbivor böcek türlerinin nişlerinin farklı olması veya sekonder olmaları artan küresel ısınma ile birlikte geniş alanlara yayılması onların salgın yapmalarına neden olabilir (Sharma, 2014).

Tüm bu faktörlerin hepsi veya bir bölümü zararlı türlerin popülasyon yoğunluğunu etkileyebilir. İklimdeki değişim nedeniyle artan sıcaklık ve nem değerleri böceklerde; çoğalma, gelişme, üreme ve canlı kalmalarını yüksek düzeyde etkilemektedir (Nyamukondiwa ve ark., 2022). Zararlıların ortam sıcaklığında ne düzeyde etkilenecekleri de çevresel faktörlere, biyolojilerine ve adaptasyon yeteneklerine bağlıdır. Yerkürede böceklerin yayılışı alanı Shelford tolerans yasası ile açıklanmış olup, böcek yayılış sınırları en yüksek ve en düşük sıcaklık değerleriyle belirlenir şeklinde ifade edilmiştir (Önder, 2004).

Bu bağlamda sıcaklıktaki değişim, doğal olarak türün yeni yayılış alanlarını belirlemede etkili olacaktır. Böceklerin, iklim değişimine olan tepkileri, topluluk içindeki dinamiklere bağlıdır. Aynı zamanda sıcaklıktaki artışın sonucu olarak muhtemel zararlılar için de yeni nişlerin oluşmasına da olanak sunar. Örneğin Kuzey yarım kürede -12°C sıcaklığa kadar yayılış gösteren kızıl çam zararlısı Çam kese tırtılı (*Thaumetopoea pityocampa*) son yıllarda kış aylarında kar yağışlarındaki azalmaya bağlı olarak yüksek dağlara doğru yayıldığı tespit edilmiştir (Kiritani, 2006). Benzer şekilde son yıllarda iklimdeki değişime bağlı olarak kuzey yarım küreye doğru dikey dağılım gösteren böceklerle ait örnekleri çoğaltmak mümkündür.

Küresel iklim değişiminin etkisi, bitki gelişim simülasyon modelleri kullanılarak yapılan araştırmalarla ortaya çıkarılmaktadır. Ancak, çoğu simülasyon modelleri hastalık, zararlı ve yabancı otlardan kaynaklı ürün kayıplarını belirlemek için yetersiz kalmaktadır (Boullis ve ark., 2015). İklim değişiminin hastalık ve zararlı türler üzerinde salgın yapma potansiyellerinin bilinmesi, ürün miktarını tahmin etmede ve gelecekte yapılacak planlamada yol gösterecektir.

2.2. Parazitoit ve Predörlere Etkisi

Beslenme stratejisi gereği herbivor türler üzerinde beslenen parazitoit ile predatör türlerin etkinliklerinin devamında biyolojik dengenin varlığı önemlidir. Bu şekilde ancak, ilişkide bulunduğu herbivor karakterli zararlı türleri kontrol altında tutabilirler.

İklimdeki değişim, zararlılarla parazitoit ile predatörlerin hayat dönemlerinde yarattığı uyumsuzluklar nedeniyle bu türlerin kontrolsüz çoğalmalarına sebebiyet verebilmektedir. Polifag bir predatör tür olan *Coccinella septempunctata* L. farklı avlar üzerinde beslenmesine karşın, biyolojisinde yaprakbiti (Aphididae) popülasyonu oldukça önemli bir yere sahiptir. Yaz aylarının yüksek sıcaklarında etkilenen yaprakbitlerine olan bağımlılık nedeniyle *C. septempunctata* yazlama ve kışlama için yüksek rakımlı bölgelere göç ederek bu dönemi diyapoz halde geçirerek atlatır (Özpınar ve ark., 2018). Bu durum ekosistemde sağlanan uyumun bir sonucu olarak gerçekleşir. Bu uyumun olmaması halinde aralarındaki ilişkinin bozulması yaprakbitlerinin kontrolsüz kalması anlamına gelir. İklim değişikliğine bağlı olarak, zararlı böcekler ve bunların predatörleri ile parazitoitlerin farklı şekillerde tepki vermeleri zamansal uyumsuzluklara da neden olabilir. Sıcaklık artışı, herbivor böceklerin yüksek popülasyon yoğunluğuna ulaşmalarına sebebiyet vererek, doğal düşmanların vereceği kaybı daha düşük seviyede atlatılabilir. Parazitoit ve predatörlerin konukçu veya av aramalarında davranış değişikliği veya zamansal çakışma olmaması halinde etkili olma oranını düşürebilir (Petzoldt ve Seaman, 2007). Herbivor tür *Nilaparvata lugens*'in yumurta döneminin ait gelişme süresi 25-28°C'de 10.4-7.9 gün iken; parazitoiti *Campoletis chloridae*'nin ise 12-37°C sıcaklık aralığında gelişirken, bu aralıkların dışında ölüm oranının artması zamansal çakışma ihtimalini arttırmaktadır (Heong ve ark., 1995).

2.3. Tozlayıcı Böceklerin Etkisi

Tozlayıcı böcekler, biyolojik çeşitliliğin devamında rol oynarlar. Aynı zamanda sürdürülebilir tarımda kaliteli ve birim alanda yüksek miktarda ürün alınmasına da olanak sunarlar. Küresel ısınma ile birlikte tozlayıcı böceklerin tür zenginliğinde ve yoğunluğundaki azalma, tozlaşan bitkilerin oranında %65-75 azalmaya neden olmuştur. Belirli bir polinatör böcekle tozlaşan monofilik (yalnızca bir veya çok az sayıda böcek türü tarafından tozlananlar) bitkilerde ise, polinatörün yok olması bitkinin yok olması anlamına gelmektedir. Küresel ısınmadan kaynaklanan iklim değişiminin sonucu olarak birçok bitki türünün çiçeklenme döneminin değişmesi, bitkilerle tozlayıcılar arasındaki örtüşmenin azalması sonucu tozlaşmanın aksamasına sebebiyet vermektedir. Ayrıca, polinatör böceklerdeki kayıplar, ekonomik olarak özellikle insan besini olan bitkilerde ticari kayıplara ve ürün kalitesinin azalmasına, ekolojik olarak ise ekosistem dengesinin bozulmasına sebep olmaktadır (Bağrıaçık, 2017). Bu bakımda ekonomik ve ekolojik sürdürülebilirlik açısından tozlaştırıcı böcekler ekosistemlerde yeri doldurulamaz bir değere sahiptir.

Tarımı yapılmakta olan kültür bitkilerinin %75'i tozlaşmak için böceklerle gereksinim duymaktadır. Özellikle tohumlu bitkilerin biyo çeşitliliğinde ve günümüze kadar gelmelerinde önemli bir paya sahiptirler. Polinatör böceklerin ürün verim ve kalitesinin artırılmasındaki tozlayıcıların önemi yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur (Klein ve ark., 2007). Tozlaşmayı sağlayan böceklerin çoğunluğu Lepidoptera, Diptera Hymenoptera takımındaki türlerden oluşmaktadır. Hymenoptera takımında yer alan başta bal arıları (*Apis mellifera* L.) olmak üzere tarımsal üretimin devamında önemli bir yere sahiptir (Özbek, 2008). Bal arılarının yokluğunda tozlayıcısı olduğu birçok kültür bitkisinde %90'a varan oranlarda ürün kaybı yaşanmıştır (Klein ve ark., 2007).

İklim değişikliğinin etkisi ile sıcaklıktaki artış, bitkilerde çiçeklenme daha erken tarihlerde gerçekleştiği gibi, çiçeklenme periyodunun süresi kısalmaktadır. Bu durum polinatör böceklerin besin bulmalarını zora soktuğu gibi popülasyonlarında azalmalara ya da ölmelerine sebep olmaktadır. Global ısınmanın sonucu yaşanacak kuraklık su kaynaklarında azalmada polinatör arıların doğal ortamlarında susuz kalmalarına neden olmaktadır (Tirado ve ark., 2013). Ayrıca küresel ısınmanın sonucu olarak kuraklık çiçeklerin döllenmesinde sorun yaratabilmektedir. Diğer taraftan bitkilerin çiçek nektarı

ile beslenen parazitoit ve predatör türlerin tozlaşmaya verdikleri katkı yanında; zararlı herbivor böceklerin popülasyonlarını baskı altında tutmalarına da olanak sunmaktadır.

Ayrıca, bitkilerin bir bölümünde süregelen rüzgarla tozlaşma ortam sıcaklığı ve yağışla doğrudan ilişkilidir. Kurak geçen mevsimlerde çiçeklenmenin yavaş ve kısa sürmesi, yağışlı gün sayısının fazla olması halinde ise polen sayısında artışa, kuvvetli yağışlarda ise havada polen yıkanması sonucu polen konsantrasyonun minimum seviyeye düştüğü ifade edilmiştir (Erkara, 2023). Bu bakımda rüzgarla tozlaşmaya göre, tozlayıcı böceklerin aynı bitki türünün polenlerini adrese teslimi şeklinde taşınması oldukça değerlidir.

2.4. Vektör Böceklere Etkisi

İnsanlık tarihinde savaşımlardan daha fazla insan ölümüne neden olan ve halen de bir tehdit unsuru olarak önemini koruyan, bazı hastalıkların vektörleri arasında böcekler önemli yer tutmaktadır. Son yıllarda küresel ısınma nedeniyle böcek popülasyonlarında görülen artış ve yaşam alanlarının dışına yayılmaları, daha önce bazı vektör böceklerin taşıdıkları hastalıkların orijinininden farklı bölgelerde görülmesine neden olabilmektedir. Küresel ısınma sonucu bu türlerin orijini olan habitatlarından kuzey yarım küreye doğru yayılmasıyla taşıdıkları hastalıkların özellikle karasal iklime sahip bölgelerde yaygınlaşacağı yönünde endişeler mevcuttur. Sıcaklıktaki 2°C'lik artışın sivrisineklerin (Culicidae) gelişimini 2 kat arttırarak sıtma hastalığının bulaşma oranını %42'den %60'a çıkarabileceği tahmin edilmektedir (Reiter, 2008). Birçok abrovirüs vektörü olan ve Türkiye'de Trakya bölgesinde varlığı kaydedilen istilacı tür Asya kaplan sivrisineği (*Aedes albopictus*)'nin kısa sürede Karadeniz bölgesine yayılmış olması (Öztürk ve Akiner, 2023) ve Zika, Dengue ve Chikungunya virüsü taşımada yaratacağı tehlikeye işaret edilmiştir (Paixao ve ark., 2018). Sivri sineklerin yatay ve dikey yayılmaları da ayrıca ele alınmış ve yaratacağı riskin boyutlarına vurgu yapılmıştır. Vektörlerle bulaşan hastalıkların iklim değişikliğinin etkisiyle artması beklenmekte olup, Sıtma, Dang ateşi, Batı Nil Virüsü gibi hastalıkların 2030 yılından sonra coğrafi alan içinde daha geniş bir bölgeye yayılacağı tahmin edilmektedir (Ebi ve ark., 2015). Ayrıca sıcaklığın artmasıyla hastalık etmenleri böcek bünyesinde gelişme süresini tamamlayarak enfeksiyon için uygun

koşullara sahip olabilecektir (Samways, 2005). Bu durum ise hastalıkların yayılma potansiyellerini arttıracaktır.

2.5. Böcek Göç Davranışına Etkisi:

Böceklerin göç hareketleri dünyanın değişik bölgelerindeki tarım ve orman alanlarında ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Mevcut zararlıların yanında daha önce bölgede görülmeyen böcek türlerinin popülasyon artışı ekonomik kayıpların da artmasına yol açmaktadır.

Ayrıca, böcek göçleri birçok hayvansal ve bitkisel hastalığın da yayılmasına neden olmaktadır. Bu nedenle zarar oranı beklenin de üzerinde gerçekleşmektedir. Küresel ısınma etkisiyle ortaya çıkan sıcaklık artışı bazı böcek türlerinin yaşam alanlarını etkileyerek göç davranışının artmasına neden olmaktadır. Küresel ısınmanın etkisi ile böceklerin kutuplara ve daha yüksek rakımlara doğru hareket etmesi öngörülmektedir (Hill ve Thomson, 2015).

Zira göç eden böceklerin deniz aşırı bölgelere geçişinde hava akımları önemli bir paya sahiptir. Çöl çekirgeleri (*Schistocerca gregaria* Forskal) Afrika sahrasında hava akımları yardımıyla Akdeniz'i üzerinde Avrupa içlerine kadar ulaşmaktadır (Lodos, 1983). Benzer şekilde Kuzey Afrika'da yaşayan Sphingidae (Lepidoptera) kelebeklerinin güney rüzgarlarının yardımıyla Akdeniz'i aşarak Kuzey Almanya'ya kadar geldikleri bilinmektedir. Böceklerin bir bölümü tek tek uçtukları gibi sürüler halinde de uçmaktadırlar. Çöl çekirgesi örneğinde olduğu üzere sürüler halinde uçuşa geçişi Önder (2004) ve Lodos (1983) "Uygun Ekolojik Koşullar Kompleksi" teorisi ile açıklamıştır. Bu durum beklenmeyen sıcaklık ve nem koşullarında gerçekleşmektedir.

SONUÇ

Kontrolsüz insan faaliyetleri sonucunda gerçekleşen küresel ısınmanın yarattığı iklim değişikliğinin normale dönmesi insanların bu yönde atacakları adımlara bağlıdır. Devletlerin küresel ısınmanın önemi konusunda bir uzlaşmaya varması; işsizlik, göç savaş gibi konuların gölgesinde çıkarılması ile mümkündür. Günümüzde yapılan araştırma sonuçlarından da anlaşıldığı üzere iklim değişikliğinin canlı ve cansız varlıklar üzerinde etkide bulunduğu bir gerçektir. Bu etkilerin boyutları uluslararası toplantılarda gündeme getirilmiş ve gerekli önlemlere işaret edilmiştir. Küresel ısınmaya neden olan ülkenin kim olduğuna bakılmaksızın, dünyanın dört bir yanında iklim değişimin etkisi hissedilmektedir.

İklim değışikliği sonucu, tarımsal ürünlerde ürün kaybına neden böceklerin verdiği zararın miktarı, dünyada gıda güvenliği açısından önemli bir tehdit unsurudur. Bu sorunun çözümü etkili yönetimsel stratejiler geliştirmekle mümkündür. Küresel ısınmanın sonucu olarak iklim değışikliği böceklerin dağılımlarını ve davranışlarını belirgin bir şekilde etkilemektedir. Bu nedenle böceklerin iklim değışikliği karşısında göstermiş olduğu tepkiyi anlayabilmemiz için onların biyolojisini ve davranışlarını daha yakından incelemek gerekir. Zararlı popülasyonlarındaki değışikliklerin geleneksel yöntemlerle, uzaktan algılama teknolojileri ile izlenmesi, zamanında müdahale için çok önemlidir. Pestisitlere bağımlılığı en aza indirmek ve çevresel etkiyi azaltmak için kültürel, biyolojik ve kimyasal yöntemleri birleştiren Entegre Zararlı Yönetimi (IPM) stratejileri kullanılmalıdır. Geçmiş kayıtlara ve uzaktan algılama verilerine dayanan tahmin ve erken uyarı sistemlerini etkin kullanarak zararlı böcek salgınlarının azaltılmasına yardımcı olabilir. İklim değışikliğinin bir sonucu olarak meydana gelebilecek bir başka olumsuz sonuç da biyolojik mücadele etmenlerinin etkinliğinin azalmasıdır. Bu durum, gelecekte zararlı böceklerle mücadele programlarında önemli bir sorun olabilir. Diğer taraftan zararlı böceklere ve kuraklığa dayanıklı ürünlerin geliştirilmesi, gıda güvenliğini artırabilir ve kimyasal kontrollere olan bağımlılığı azaltabilir. Etkin zararlı yönetimi için üretici birlikleri ve paydaşları eğitmek ve sürece hazırlamak çok önemlidir. Bu tavsiyeleri uygulayarak ürünün zarar görme riski azaltılabilir, gıda güvenliği iyileştirebilir ve böylece değışen iklimin tarımsal üretimdeki olumsuz payını minimize ederek tarımı koruyabiliriz. Kısaca bileşik kaplar misali, iklim değışimini anlamanın önüne geçen sorunlar, iklim değışiminin yarattığı sorunlardan bağımsız değildir. Temel mesele iklim değışiminin nedenlerini anlamak ve çözüm bulmaktır.

KAYNAKÇA

- Akçil, M., (2022). Bayramiç (Çanakkale) ilçesinde Akdeniz meyve sineği, *Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1824)'nın farklı meyve bahçelerinde popülasyon gelişmesinin belirlenmesi. ÇOMÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bitki Koruma Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi (Yayınlanmamış), Çanakkale.
- Aparicio, A. A., McLean D. J., Herberstein, .M, E., (2022). Fast acrobatic maneuvers enable arboreal spiders to hunt dangerous prey. Edited by Raghavendra Gadagkar, Indian Institute of Science, Bangalore, India;
- Anonim, (2013). Türkiye 2012 Yılı İklim Değerlendirme Raporu, Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, <https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/yillikiklim/2012-iklim-raporu.pdf>
- Anonim, (2019). WWAP UNESCO World Water Assessment Programme,
- Anonim, (2020). Türkiye 2019 Yılı İklim Değerlendirme Raporu. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara. <https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/yillikiklim/2019-iklimraporu.pdf>.
- Anonim, (2023). Türkiye 2022 yılı iklim değerlendirmesi. İklim ve Ziraî Meteoroloji Dairesi Başkanlığı.
- Arnell, N.W., Lowe, J.A., Challinor, A.J. and Osborn, T.J. (2019). Global and regional impacts of climate change at different levels of global temperature increase. *Climatic Change*, 155(3): 377–391.
- Atabey, E. (2021). İklimsel ve Biyolojik Tehlikeler. Doğa ve Antropojenik Tehlikeler-2, Sarmal Kitabevi. 231s. 1.Baskı, Mayıs 2021. İstanbul. ISBN 978-625-7647-41-0.
- Atabey, E. (2022). Karbondioksit salımı ve iklim değişikliği. <https://www.Karbondioksit salımı ve iklim değişikliği | temizmekan>
- Ayres M P, Lombardero M J, (2000). Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. *Science of the Total Environment*, 262:263-286.
- Avcı, H. İ., Özpinar, A. (2021). Adult flight period and hosts of *Tropinota hirta* (Poda, 1761) (Coleoptera; Cetoniidae) in Çanakkale province. III. Balkan Agriculture Congress. Edirne, Türkiye, 29 Ağustos - 01 Eylül 2021, ss.429-438
- Bale, J S B., Masters, G. J., Hodkinson, I. D., Awmack, C., Bezemer, T. M., Bale, J. S., Masters, G. J., Hodkinson, I D., Awmack, C., Bezemer, T.

- M., Brown V K, Butterfield J, Buse A, Coulson J C, Farrar J, Good J E G, Harrington R, Hartley S, Jones T H, Lindroth R L, Pres M C, Symnioudis I, Watt A D, Whittaker J B, (2002). Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Chanel Biology* 8 (1): 1-16.
- Bağrıaçık, N. (2017). Polinatör Böcekler ve Küresel Tozlaşma Krizi," *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*,7 (4): 37-41.
- Boullis A, Francis F, Verheggen F J, (2015). Climate change and tritrophic interactions: will modifications to greenhouse gas emissions increase the vulnerability of herbivorous insects to natural enemies? *Environmental Entomology* 44 (2): 277-286.
- Ebi, K., Campbell-Lendrum, D, Wyns, A. (2015) The 1.5 health report. synthesis on health & climate science in the IPCC SR1.5 https://cdn.who.int/media/docs/default-source/climate-change/who-the-1-5-healthreport.pdf?sfvrsn=61b2098_3&download=true
- Erkara, P. İ., (2023). İklim Değişikliği Polenler ve Sporlar -Editör Prof. Dr. İsmühan Potoğlu Erkara - google kitaplar .
- Demirsoy, A. (2019). 2035 Sonun başlangıcı. Asi Kitap, 178s. İstanbul.
- Galip, A. (2006). Küresel ısınma nedenleri ve sonuçları (PDF). *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 46(2): 29-43.
- Harrington, R., Fleming, R. A., Woiwod, P., (2001). Climate change impacts on insect management and conservation in temperate regions: Can they be predicted. *Agricultural and Forest Entomology*, 3: 233-240.
- Heong, K.L., Y.H. Song, S. Pimsamarn, R. Zhang and Bae, S .D. (1995). Global Warming and Rice Arthropod Communities In: Climate Change and Rice. (Eds. Peng, S., Ingram, K.T., Neue, H.U. and Ziska, L.H.), Springer publications, Berlin, 327-335 P.
- Hill, M.P. and Thomson, L.J. (2015). Species distribution modelling in predicting response to climate change. *Climate Change and Insect Pests*. CABI, p:16-37.
- Kaçar, G, Atay, E., Koca, A. S., Şahin, B., (2023) Çayır tırtılı, *Loxostege sticticalis* L. (Lepidoptera: Crambidae)'in yeni yayılış alanları ve teşhis karakterleri. *Mustafa Kemal Üniversitesi, Tarım Bilimleri Dergisi*, 28 (1): 153-165.

- Kekillioğlu, A. ve Yıldız, B. (2023). İklim değişikliği, böcekler ve sağlık etkileşimi üzerine. 1st International Conference on Scientific and Innovative Studies, April 18-20, 2023: Konya, Turkey, P:354-359.
- Kimball, B. A. (2016). Crop responses to elevated CO₂ and interactions with H₂O, N, and temperature. *Curr. Opin. Plant Biol.* 31: 36–43, <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2016.03.006>.
- Kiritani, K., (2006). Predicting impacts of global warming on population dynamics and distribution of arthropods in Japan. *Population Ecology* 48 (1): 5–12.
- Klein, A. M., Vaissiere, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., Tscharntke, T., (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. R. Soc. B.*, 274: 303–313 <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2006.3721>
- Lodos, N., (1983) Türkiye Entomolojisi. Cilt (2. Baskı) Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 282, s. 364.
- Lesk, C., Anderson, W., Rigden, A., Coast, O., Jägermeyr, J., McDermid, S., Davis, K.F. and Konar, M. (2022). Compound heat and moisture extreme impacts on global crop yields under climate change. *Nature Reviews Earth and Environment*, 3(12): 872–889.
- 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.
- Marchi, S., Guidotti, D., Ricciolini, M., Petacchi, R., (2016). Towards understanding temporal and spatial dynamics of *Bactrocera oleae* (Rossi) infestations using decade-long agrometeorological time series. *International Journal of Biometeorology* 60 (11): 1681–1694.
- Menéndez, R. (2007). How are insects responding to global warming? *Tijdschrift voor Entomologie* 150 (2): 355-365.
- Metz, B., Davidson, O., Swart, R. and Pan, J. 2001. Climate change 2001: mitigation: contribution of Working Group III to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University press, United states of America, 762p
- Moore, M. P. (2021). Larval habitats impose trait-dependent limits on the direction and rate of adult evolution in dragonflies. *Biol. Lett.* 17: 20210023, <https://doi.org/10.1098/rsbl.2021.0023>.

- Nordhaus, W. (2013). İklim Kumarı: Isınan Dünyada Risk, Belirsizlik ve İktisat. Doğan Egmont Yayıncılık ve Yapımcılık Tic. A.Ş.
- Nyamukondiwa, C., Machekano, H., Chidawanyika, F., Mutamiswa, R., Ma, G. and Ma, C. Sen. (2022). Geographic dispersion of invasive crop pests: the role of basal, plastic climate stress tolerance and other complementary traits in the tropics. *Current Opinion in Insect Science*, 50: 100878.
- Outhwalte, C. L., Mc Cann, P., Newbold, T., (2022). Agriculture and climate change are reshaping insect biodiversity worldwide. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04644-x>
- Önder, F. (2004). Hayvansal zararlıların popülasyon ekolojisi E. Ü. Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri; Bornova-İzmir, (ISBN 975-98739-1-9).
- Özbek, H., (2008). Türkiye’de ılıman iklim meyve türlerini ziyaret eden böcek türleri. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 8(3): 92-103.
- Özgür, E., Tuncer, C. (2011). Küresel Isınmanın Böceklere Etkileri. *Anadolu Tarım Bilim Dergisi*. 26 (1): 83-90.
- Özpınar, A., Yazmis, E., Ali, B., Şahin, A. K., (2020). Determination of some biological parameters of *Capsodes infuscatus* Brulle on summer asphodel (*Asphodelus aestivus* Brot.) in pastures of Canakkale Province. *Entomological Research*, 50 (12):601-608
- Özpınar, A., Çam, T., (2023). Çanakkale ilinde zeytin sineği (*Bactrocera oleae* (Gmelin) Diptera; Tephritidae)’nin kışlama durumu ve mevsimsel uçuşu. *Comü Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(1):139-147.
- Özpınar, A., Şahin, A., K., Polat, B., (2018). Population dynamics of *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) in the region of Edremit Gulf in West Anatolia (Mount Ida). *European Journal of Entomology*, (115): 418-423.
- Özpınar, A. (2023). Böcekler üzerinde iklimdeki değişimin etkisi: Çayır tırtılı (*Loxostege sticticalis* L., 1761) örneği. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(3): 1537-1543.
- Öztemiz, S., Ciner, I., (2022). İklim değişikliği, Düzce’de Çayır tırtılı (*Loxostege sticticalis* L.)’nın birinci nesil kelebeklerinin salgınına neden oldu. *Düzce Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10 (3): 1398-1407.
- Öztürk, M., Akıner, M.M., (2023). Mitochondrial cytochrome oxidase I variation in Asian tiger mosquito (*Aedes albopictus*): Determination of

- the different and multiple introduction situations in Türkiye. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 69(2):165–182.
- Paixao, E. S., Teixeira, M. G., Rodrigues, L. C. (2018). Zika, chikungunya and dengue: the causes and threats of new and re-emerging arboviral diseases *BMJ Global Health* 3:e000530. <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2017-000530>.
- Reiter, P. (2008). Climate change and mosquito-borne disease: knowing the horse before hitching the cart. *Rev Sci. Tech.* 27 (2): 383-398.
- Ripple, W.J., Wolf, C., Gregg, J.W., Levin, K., Rockström, J., Newsome, T.M., Betts, M.G., Huq, S., Law, B.E., Kemp, L., Kalmus, P., Lenton, T. M. 2022. World Scientists' Warning of a Climate Emergency 2022. *BioScience*, 72(12): 1149–1155.
- Robinet, C. and Roques, A. (2010). Direct impacts of recent climate warming on insect populations. *Integrative Zoology*, 5(2): 132–142.
- Samways, M. J., 2005. Global climate change and synergistic impacts. insect diversity conservation. Cambridge University Pres. New York. 136-151.
- Sharma, H. C. (2014). Climate change effects on insects: implications for crop protection and food security. *Journal of Crop Improvement*, 28 (2): 229-259.
- Skendžić, S., Zovko, M., Živković, I.P., Lešić, V. and Lemić, D. (2021). The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects*, 12(5): 440.
- Streck, N.A. (2005). Climate change and agroecosystems: the effect of elevated atmospheric CO₂ and temperature on crop growth, development, and yield. *Ciência Rural*, 35(3): 730–740.
- Subedi, B., Poudel, A., Aryal, S. (2023). The impact of climate change on insect pest biology and ecology: Implications for pest management strategies, crop production, and food security. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14: 100733.
- Tirado, R., Simon, G., Johnston, P., (2013). A review of factors that put pollinators and agriculture in europe at risk. Greenpeace Research Laboratories Technical Report. 44p.
- Türkeş, M. (2022). İklim diplomasisi ve iklim değişikliğinin ekonomi politiği. <https://www.researchgate.net/publication/358351409>
- Petzoldt, C., Seaman, A. (2007). Climate change effects on insects and pathogens, climate change and agriculture: promoting practical and

profitable responses. *New York State Agricultural Extension Station. Geneva.*

<https://www.panna.org/sites/default/files/CC%20insects&pests.pdf>

- War, A. R., Taggar, G. K., War, M. Y., Hussain, B. (2016). Impact of climate change on insect pests, plant chemical ecology, tritrophic interactions and food production. *International Journal of Clinical and Biological Sciences*, 1 (2): 16–29.
- Wudil, A.H., Usman, M., Rosak-Szyrocka, J., Pilaş, L., Boye, M. (2022) Reversing years for global food security: A review of the food security situation in Sub-Saharan Africa (SSA). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(22): 14836.
- Yaşar, İ., Kök, Ş., Kasap, İ. (2021). Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin böcekler üzerindeki olası etkileri. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2 (4):67-75.

BÖLÜM 11

SULAMA PROGRAMLAMA TEKNİKLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Alper BAYDAR¹

Doç. Dr. Yeşim BOZKURT ÇOLAK²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13685089>

GİRİŞ

Kullanılabilir su kaynaklarının sınırlı olması ve kullanımı üzerindeki diğer sektörler (evsel, kentsel ve endüstriyel) tarafından oluşan baskıların artması, sulamanın yeryüzündeki tatlı su kaynaklarının en büyük tüketicisi olduğu göz önünde bulundurulduğunda, suyun etkin kullanımının önemi daha da kaçınılmaz olmaktadır. Sulama programlama teknikleriyle yukarıda sözü edilen baskıların azalmasına olanak sağlanacaktır. Bu teknikler ile su kullanımının optimize edilmesi sürdürülebilir tarım açısından son derece önemlidir (Yazar ve ark., 2010).

Sulama programı, her sulamada ne kadar su verileceğini ve ne zaman sulama yapılacağını belirleyen işlemdir. Uygun biçimde oluşturulmuş bir sulama programı ile su, enerji ve gübre üretim girdilerinin etkin kullanımları sağlanır. Ayrıca böyle bir uygulama ile toprak işleme ve kimyasal mücadele gibi diğer üretim etkinliklerinin korunumu ve daha düşük üretim maliyetleri gibi işlevler de uygun bir sulama programının yararları arasındadır. Sulama programlama yaklaşımları tam sulama ve kısıntılı sulama olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Tam sulama; bitkinin sulama ihtiyacının tamamının karşılandığı ve en yüksek ürün veriminin alınmasını sağlamaktadır. Ancak tam sulamada aşırı sulama suyu uygulanması, toprak havalanmasını azaltarak ve atmosfer ile toprak arasında gaz değişimini sınırlayarak suya duyarlı bitkilerde verimi düşürebilir. Tam sulama yaklaşımına, sulama suyunun kolayca bulunduğu ve sulama giderlerinin düşük olduğu yörelerde ekonomik nedenlerle karar verilir.

Kısıntılı sulama ise su kaynağı veya sulama şebekesinin sınırlı olduğu koşullarda da kullanılan bir tekniktir. Bu durumda en yüksek sulama karlılığını sağlayacak noktada; sulama düzeyi, sulanan alan miktarı, bitki türü sabit tutulur. Büyüme mevsiminin bir veya birden fazla döneminde bitkinin belli bir stresle karşılaşmasına izin verilerek uygulanır. Maksimum su kullanma randımanının elde edilmesi için duyarlı dönemde tam su; diğer dönemlerde eksik su verilir.

Sulama zamanının belirlenmesinde 4 farklı yöntem kullanılmaktadır.

1. Bitki belirteçleri
2. Toprak belirteçleri
3. Su bütçesi tekniği

4. İklim parametrelerini esas alan teknikler

1. Bitki Belirteçlerine İlişkin Yöntemler

Sulamanın temel amacı; bitkiye gereksimini kadar ve gereksindiği zaman su sağlamak olduğundan bitkinin izlenmesi sulama zamanının belirlenmesinde daha doğrudan yöntemdir. Normal olarak, uygulanacak sulama suyu miktarını belirlemede bitki parametrelerinin toprak suyuna ilişkilendirilmesi gerekir.

Bitki, içinde bulunduğu çevreye tepki verdiği için ayrıca su kaynağı olan toprakla atmosfer arasında yer aldığından, sulama programlanması için bitkinin içsel su durumunun ortaya konulması amacıyla izlenmesi gerekir (Yazar, 2012).

Özellikle son yıllarda bitkilerin su içeriği ve düzeyinin belirlenmesine yönelik ölçüm teknikleri oldukça dikkat çeken bir konu durumuna gelmiştir. Bu anlamda bitki su stresi veya bitki su potansiyeli kavramı, bir bitkinin kendi bünyesi içerisinde suya olan gereksinimin bir göstergesi olarak kullanılmaktadır.

Bitki su tüketim değerinde belirli bir zaman dilimi için meydana gelen değişiklikler; bitki çeşidi, toprak tipi, iklim koşulları, büyüme dönemi ve bitki sağlığı gibi etmenlerin yanı sıra özellikle toprak su içeriği ile yakından ilişkilidir. Ancak birçok araştırmacı bitkideki verim azalmasının, toprak nemi ile dolaylı buna karşılık bitki su potansiyeli ile doğrudan ilişkili olduğunu belirtmektedirler.

Yüksek düzeydeki bitki su stresi, fotosentezin yavaşlaması ve tamamen durması gibi birçok fizyolojik sorunlara neden olmaktadır. Bu stresi oluşturan koşullar başlangıçta bitki büyümesini yavaşlatmakta, devamında ise bitkinin ölümüne neden olmaktadır. Bitkinin su durumuna bakarak sulama zamanının gelip gelmediğine karar verilir. Bitkinin su durumunu belirlemede üç temel yöntem vardır.

- a. Bitki dokusunu bozan
- b. Bitki dokusunu bozmadan temas
- c. Uzaktan algılama yöntemleri

a. Bitki dokusunu bozan yöntemler

Bitki dokusunu bozan yöntemler, bitki bölümlerinin bitkiden koparılmasını ve su içeriklerinin veya bitki su potansiyelinin ölçülmesini öngörür. Bitki örneğindeki su miktarı birçok şekillerde ifade edilmektedir. Bunlardan bitki suyunun enerji durumunu yansıtan yaprak su potansiyeli, (basınç odası adı verilen aygıtla ölçülmektedir) oransal yaprak su içeriğinin diğer bir ifade biçimidir.

b. Bitki dokusunu bozmayan yöntemler

Bitki dokusunu bozmayan ölçüm yöntemleri ise bitki gövdesine bir sensörün yerleştirilmesi ile gövde çapı değişimi, bitki öz suyu akış hızı (sap flow), yapraklarda stoma direnci veya iletkenliği, terleme hızı, fotosentez hızı gibi özelliklerin belirlenmesine dayanır.

c. Uzaktan algılama yöntemleri

Uzaktan algılama yöntemi ise bitki yüzey sıcaklığı veya yansıtma özelliklerinden yararlanarak bitkinin içsel su durumu kestirilmeye çalışılır.

Sulama programlaması amacıyla özellikle sulama zamanının belirlenmesine yönelik olarak kullanılan bitkiye dayalı izleme teknikler; görülebilir belirtiler, basınç odacığı (pressure chamber), infrared (kızılötesi) termometreler, stoma direnci veya iletkenliği, bitki özsuyu akış hızı şeklinde sıralanabilir. Anılan yöntemlerin basit bir karşılaştırması Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Bitkiye dayalı yöntemlerin karşılaştırılması

Ölçülen veya Gözlenen Ölçüt	Gerekli Alet veya İşlemler	Üstünlükleri	Sınırlılıkları
Görünüş	Göz	Basit	Verim potansiyeli, genellikle renk veya diğer değişimlerin gözlenmesinden etkilenir.
Yaprak Sıcaklığı	İnfrared termometreler	Uzaktan algılanabilir	Uygulama yöntemleri tam geliştirilmemiştir.

Yaprak Su Potansiyeli	Basınç odacıkları ve termokapl psikrometreler	-Bitki kuruma derecesi üzerine atmosfer ve toprağın birleşik etkisini gösterir. -Metabolik işlevlerde ilişkilendirilebilir.	-Günlük değişimlerden fazla etkilenir. -Zaman alıcıdır -Örnekleme ustalık ister -Veriler kolayca açıklanamaz
Stoma Direnci	Porometre	Stoma açıklığını ölçer	Yaprak su potansiyeli sınırlılıkları
Bitki Özsuyu Akış Hızı	Bitki öz suyu akış ölçer	Bitki özsuyu akış hızını ölçer	Yaprak su potansiyeli sınırlılıkları

a. Bitkinin görünüşü

Bitkinin sulama zamanının gelip gelmediği, görünümünde oluşan değişikliklerden yararlanılarak belirlenir. Bunlar arasında gövdede renk değişimi, yaprakların pörsümesi ve sarkması, solgunluk belirtileri sayılabilir. Bu yöntem oldukça fazla deneyim gerektirir. Bitkilerin su eksikliğine tepkileri farklı olduğundan her bitkinin görünümünde sergiledikleri değişiklikler de farklı olmaktadır. Ancak, yapraklarda oluşan renk ve görünüş değişimleri dikkatle izlenerek sulama zamanının gelip gelmediğine karar verilebilir.

Bu yöntem çoğu çiftçilerin başvurdukları yöntemlerin başında gelmektedir. Deneyimli çiftçiler bu yöntemi sağlıklı bir biçimde uygulayabilmektedirler. Yapraklarda veya bitki gövdesinde su eksikliği nedeniyle oluşan değişimler görüldüğünde bitkinin potansiyel verimini olumsuz etkilenmektedir. Diğer bir deyişle, bu belirtiler ortaya çıktığında sulama için geç kalınmıştır demektir.

b. Yaprak su potansiyeli

Ölçüm yapılacak yaprağın bitki tacı içindeki konumu, yaşı, güneş ışınlarına doğrudan açık olup olmadığı, ölçüm zamanı sonuçları önemli ölçüde değiştirir. Genellikle tam gelişmiş, güneş alan yapraklarda sabah ya da öğle saatlerinde yapılacak ölçümlerle standardizasyon sağlanabilir (Bozkurt Çolak, 2010).

Bu yöntemler için geliştirilen aygıtlar ticari olarak piyasada bulunmasına karşın henüz çiftçi koşullarında sulama programlamasında kullanılmamaktadır. Araştırma amaçlı olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır.

c. Stoma direnci veya iletkenliği

Stoma direnci veya iletkenliği stoma açıklık derecesine ve terlemeyle ilişkili olduğundan bitkinin suya gereksinimini belirlemede bir belirteç olarak kullanılabilir. Genellikle, direncin yüksek olması stomaların önemli ölçüde kapalı olduğunun bir göstergesidir. Bunun sonucunda terleme hızı yavaşlamıştır. Dolayısıyla, bitkinin sulanması gerektiği sonucuna varılmaktadır. Stoma direnci ile iletkenliği arasında ters bir ilişki bulunmakla birlikte ölçülmesinde porometre aygıtı yaygın olarak kullanılmaktadır.

d. Bitki özsuğu akış hızı

Bitki özsuğu akışı madde taşınımında kullanılan temel mekanizmadır ve taşınım köklerle alınan suyun terlemeyle atılmasına kadar devam eden bir süreçtir. Taşınım hızını, bitki kök bölgesinde bulunan su, bitkinin fizyolojik yapısı ve rüzgar, buhar basıncı açığı, radyasyon vb. mikrometeorolojik etmenler etkiler. Bitki özsuğu akışı terlemeyle yakından ilişkilidir. İki farklı yöntem ile belirlenebilmektedir. Bunlardan birisi ısı salımı bir diğeri de ısı dengesidir. Isı salımı yönteminde, ısının yayılma hızı, gövdenin kesit alanı ve ksilemin iletimsel alanı ölçülerek özsuğu akışı tahmin edilmektedir.

Bitki özsuğu akışı ölçümü için en yaygın olarak kullanılan yöntem ısı dengesini temel alan yöntemdir. Özsuğu akışı kullanılarak bitkiden oluşan terleme tarla düzeyine genişletilebilir. Bu anlamda bitki yoğunluğu, ağırlığı, LAI gibi bitkisel parametreler hassas olarak ölçülmelidir. Bu yöntem sadece terlemeyi ölçmekte olup bunun yanında toprak yüzeyinden meydana gelen buharlaşmanın da belirlenmesi gerekmektedir.

2. Toprak Belirteçlerine İlişkin Yöntemler

Toprak nemi, toprağın içindeki su kapasitesi veya toprağın su tutma kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Su diğer canlılarda olduğ gibi, toprak ve canlıları için de vazgeçilmezdir. Ancak topraktaki suyun, toprağın su tutma kapasitesinden fazla olduğ durumlarda toprağa ve topraktaki yaşama zarar vererek verimi düşürebilir.

Bu yüzden, toprak nem ölçümleri gün geçtikçe daha da önem kazanmıştır. Toprak ve toprak içindeki yaşamı verimli, kaliteli duruma getirmek için toprak nemini doğru ve güvenilir şekilde ölçmek kaçınılmaz olmuştur.

Toprak suyu, bitki gelişmesini ve verimliliğini kontrol eden önemli bir faktördür. Toprak suyu genellikle ağırlık veya hacim esasına göre su içeriği veya toprak su potansiyeli (toprakta suyun alınabilmesi için gereken enerji) olarak ölçülmektedir.

Toprak ekosistemi dengesinde önemli bir yeri olan toprak nemi ölçümü, bir çok farklı yöntemle çalışan cihazlar kullanılarak yapılmaktadır. Ancak bu cihazların güvenilirliği tartışılır durumdadır. Toprak nemi ölçen cihazların çalışma prensipleri, nasıl kullanılması gerektiği, bakımları, ölçüm güvenilirliklerinin nasıl sağlanacağı ve kalibrasyon yöntemleri kullanıcılar tarafından çok fazla bilinmemektedir. Oysa toprak nemini doğru ve güvenilir olarak ölçmek aşağıda verilen parametreleri de kontrol etmek demektir (Uytun ve ark., 2013).

- a. Su tüketiminin kontrol edilmesi (günümüzde ve gelecekte çok önemli olan su kaynaklarının boşa kullanılmasının önlenmesi)
- b. Fazla sulama nedeni ile oluşan çoraklaşmanın önlenmesi (tuzlaşma ve bu nedenle yok olan toprak alanları)
- c. Tarım alanlarının korunması
- d. Sıkışma oluşarak yok olan toprak alanları (nemli toprakların başka yollarla sıkışarak toprak özelliğini kaybetmesi)
- e. Sulama sisteminin verimli olarak kullanılması,
- f. Yetiştirilen ürün ve kalitesinin artması,
- g. Toprakta yaşayan diğer canlıların (bitki, hayvan ve insan) yaşam kalitesinin artması.

Toprak su içeriğinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler, suyun kütlesinin belirlenmesi prensibine dayanan doğrudan yöntemler ve toprak su içeriğine bağımlı herhangi bir toprak özelliğinin ölçülmesi prensibine dayanan dolaylı ölçümler olmak üzere iki grupta belirlenir.

Doğrudan yöntemler

Doğrudan belirleme yöntemlerinde gravimetrik yöntemler olup, bu yöntemlerde topraktaki su kurutulmuş buharlaştırılmaktadır. Buharlaştırılan miktar belirlenerek, toprak içindeki su içeriği belirlenmiş olmaktadır. Bu yöntemin avantajı ucuz bir metot olması, kolay hesaplanabilmesi ancak bu yöntemin bir çok dezavantajı vardır. Bunlar; araziden alınan toprak örneğinin

taşınması, örnek almada sıkıntılar, örnek alırken toprağa zarar verilmesi, tartım sırasında yaşanan sıkıntılar bu yöntemin uygulanabilirliğini sınırlandırmaktadır.

Dolaylı yöntemler

Dolaylı yöntemlerde, toprağın belirli bazı fiziksel ve fizikokimyasal özelliklerinin su miktarına bağlı olarak değişimleri esas alınmaktadır. Bu yöntemlerin birçoğunda nem tayini ya toprağa yerleştirilmiş kalıcı sensörler veya toprakta açılan özel yuvalar içerisine okuma anında yerleştirilen sensörler vasıtasıyla kolaylıkla yapılabilir. Dolaylı yöntemler arasında;

- a. Tansiyometre yöntemi
- b. Elektriksel iletkenlik (alçı blok) yöntemi
- c. Nötronmetre yöntemi
- d. TDR (Time Domain Reflectometry) önemli bir yer tutmaktadır.

Dolaylı yöntemin avantaj ve dezavantajları;

- a. Dolaylı yöntemlerin en önemli özelliği, ekipmanın bir kez tesis edilmesinden sonra toprak yapısında herhangi bir bozulmaya sebebiyet vermeksizin, az bir zaman harcayarak aynı yerde gerçek zaman diliminde ve kolay erişilebilir bir biçimde, sık ve sürekli ölçümlere olanak sağlamalarıdır.
- b. Ayrıca, toprağın su içeriği sensörün okunmasıyla birlikte belirlenmiş olmaktadır
- c. Kalibrasyon gerektirirler
- d. Her yöntem her toprakta çalışmayabilir
- e. TDR ve nötronmetre pahalı sistemlerdir

Çizelge 2. Toprak belirteçlerine ilişkin yöntemlerin karşılaştırılması.

Gözlenen veya Ölçülen Parametreler	Gerekli Aygıt veya Yöntemler	Temel Avantajları	Temel Dezavantajları
Görünüş veya hissetme	Toprak burgusu	Basit	Zaman alıcı, yaklaşık değer verir, yorumlama becerisi gerektirir.
Gravimetrik örnekleme	Örnek kutuları, burgu, etüv, terazi	Basit ve doğru	Aynı yerden örnek almaya izin vermez, bozucu nitelikli teknik
Elektriksel direnç	Gözenekli bloklar	Toprak su içeriğini dolaylı olarak ölçer	Dikkatli yerleştirme, kalibrasyon ve sık okuma gerektirir; kaba bünyeli topraklarda yeterince duyarlı değildir; blok ömrü kısa; çok sayıda ölçüm noktası gerektirir.
Toprak su potansiyeli	Tansiyometre	Toprak su akısını etkileten temel parametreyi ölçer	Kullanmada sınırlı deneyim; kalibrasyon zamanla bozulabilir.
Toprak su potansiyeli	Gözenekli seramik plakalar	Geniş su içeriği aralığında doğru sonuçlar verir; sulamaların otomatik programlanmasına olanak sağlar	Göreceli olarak pahalıdır; kullanım özen ister; depolama önlemleri gerektirir; kalibrasyon organik madde içeriği değişiminden etkilenir.
Nötronmetre	Nötron probu ve giriş boruları	Aynı yer ve derinlikte ard arda okumalar yapılabilir; çabuk ve doğru sonuçlar alınır.	Göreceli olarak pahalıdır; kullanımı özen ister.
TDR	Time Domain Refraktometre	Aynı yer ve derinlikte ard arda okumalar yapılabilir; çabuk ve doğru sonuçlar alınır.	Kalibrasyon sorunlarının yaşanması

Tansiyometre

Tansiyometre, bir ucu seramik gözenekli bir yapıda olan bir vakum göstergesi ile sızdırmaz, hava geçirmez, su dolu bir borudan ibarettir.

Toprağın su emişini (negatif basınç) ölçer. Bu emiş bir bitkinin topraktan su almak amacıyla uygulaması gereken kuvvet veya enerjiye eşdeğer gerilim

olarak ifade edilmiştir. Toprakta su emişi genel olarak bar (b), santibar (cb) yada kilopaskal (kpa) birimleri cinsinden ifade edilir. Bir bar 100 santibara (cb) ve 100 kpa'a eşittir. 0-80 cb aralığında çalışır.

Tansiyometrelerden okunan değerler toprak karakteristik (pF) eğrisi kullanılarak su içeriğine dönüştürülür. Genellikle kaba ve orta bünyeli topraklarda kullanımı uygundur (Killi ve siltli topraklarda 80 cbar ve üzeri emişlerde bitkiye yararlı suyun %50 si bulunabilir). Düşük maliyetli ve kullanımı kolaydır.

Elektriksel direnç blokları

Direnç blokları suyun elektriği iletmesi prensibine göre çalışır. Elektriksel direnç blokları, gözenekli bir materyal içerisine yerleştirilmiş iki elektrottan ibarettir. Bloklar genellikle jips (alçı taşı) olduğu gibi bazen fiberglas ya da naylon olabilir. Naylon ya da fiberglas bloklar toprakta çözünmüş tuzlara çok duyarlıdır. Bu yüzden alçı bloklar en yaygın tipleridir. Elektrotlar toprak yüzeyine yukarı doğru uzanan yalıtımlı kılavuz tellere bağlanır.

Bloklar toprağa düzgün bir şekilde yerleştirildiklerinde kendilerini saran topraktaki su ile gözeneklerindeki su dengededir. Toprak nemi değiştikçe, gözenekli bloğun su içeriği de değişir. Gözenekli blokta su içeriği azalırken iki elektrot arasındaki elektrik direnci artar. Bloğun direnci, bir kalibrasyon eğrisi ile toprağın su içeriği ile ilişkilendirilebilir. Toprak su içeriğini ölçmek için blok içerisindeki plakalara bağlı telin iki ucu direnç (ohm) metreye bağlanır. Daha çok killi ve siltli topraklar için kullanımı uygundur.

Nötronmetre

Toprakların hacimsel su içeriklerinin ölçülmesinde nötronmetreler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknik; giriş borusu, yüksek enerji veya hızlı nötron kaynağı ile detektörü gerektirir. Toprak profilinin istenilen derinliğine yerleştirilen alüminyum giriş borusu aracılığı ile farklı katmanlara sarkıtılan nötron kaynağından belirli sürelerde saçılan hızlı nötronlar (15-30 s) toprak suyundaki hidrojen atomları ile çarpıştığında enerjisini kaybederek yavaşlar. Yavaşlayan nötronlar aygıtın detektörü aracılığı ile sayılır. Yavaşlayan nötronların göndermiş olduğu sinyaller ile hacimsel su içeriği arasında doğrusal bir ilişki vardır.

TDR (Time Domain Refractometre)

TDR toprak nemini ölçmede göreceli olarak yeni bir yöntemdir. Hacimsel su içeriğini belirlemede doğruluk derecesi çok yüksektir. Kalibrasyon gereksinimi minimum düzeydedir.

TDR aygıtının çalışma ilkesi toprak içine yerleştirilmiş L uzunluğundaki iletim hattı boyunca elektromanyetik bir dalganın yayılma hızı (v) TDR test aygıtı tarafından oluşturulan bir sinyalin tepki süresinden belirlenir (Tülün, 2005). Ölçümün temeli toprak su içeriğine bağlı olarak, toprak dielektrik sabitesinin (ϵ) değişmesi ile izah edilmiştir. Elektromagnetik bir dalganın, toprak içine gömülmüş iki paralel metal iletkenler boyunca 50 MHz veya daha yüksek frekanslardaki yayılma bağıntısıyla belirlendiği üzere ortamın dielektrik sabitesine (ϵ) bağlı olarak değişir.

Çizelge 3. Bazı materyallerin dielektrik (ϵ) değerleri.

Materyal	Dielektrik (ϵ)
Su	80
Buz	3
Hava	1
Toprak Mineralleri	3-7
Toprak Organik Maddesi	2-5
Etanol	24

3. İklim Parametresini Esas Alan Teknikler

Bitki su tüketimi; doğrudan ölçülmekte veya iklim verilerinden yararlanarak tahmin edilmektedir. Doğrudan ölçme yöntemleri daha sağlıklı sonuç vermesine karşın hem oldukça pahalı, hem de zaman alıcıdır. Bu nedenle, bitki su tüketiminin doğrudan ölçülmesi ancak iklim verilerinden tahmin eşitliklerinin kalibrasyonu ve yöresel bitki katsayılarının bulunması amacıyla yapılmaktadır. Dolayısıyla uygulamada bitki su tüketimi değerleri, yaygın olarak iklim verilerine dayalı tahmin eşitlikleri kullanılarak belirlenmektedir.

İklim verilerinden yararlanarak bitki su tüketiminin tahmininde kullanılabilecek çok sayıda eşitlik geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları birkaç

iklim faktörünün dikkate alınmasıyla geliştirilen, çözümü kolay ancak uzun periyotlar için sağlıklı sonuç verebilen eşitliklerdir. Bazıları ise, bitki su tüketimine etkili olan birçok iklim faktörü göz önüne alınarak geliştirilmiş, kısa periyotlar için bile sağlıklı sonuç verebilen ancak oldukça karmaşık eşitliklerdir.

Bitki su tüketimi kestirimlerinde, iklim parametrelerini esas alan ampirik metotlar kullanılır.

- a. Penman-Monteith
- b. Blaney-Cridle
- c. Pan Buharlaşması

Sulama zamanının planlanması açısından, bitki su tüketimi değerlerinin en çok on günlük periyotlar için elde edilmesi ve kıyas bitki su tüketimi hesaplamalarında iklim faktörlerinin uzun yıllar ortalaması yerine, sulama yapılan sezondaki iklim faktörlerinin kullanılması daha doğrudur. Kısa periyotlu bitki su tüketimi tahminlerinde A sınıfı buharlaşma kapları çok kullanışlıdır (Yıldırım, 2010).

KAYNAKÇA

- Bozkurt Çolak, Y., 2010. Akdeniz Bölgesinde Flame Seedless ve Italia Sofralık Üzüm Çeşitlerinde Yaprak Su Potansiyeline Göre Sulama Programlarının Oluşturulması. Ç. Ü. Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı. Doktora Tezi. Adana.
- Topp, G.C., Davis, J.L., Annan, A.P., 1980. Electromagnetic determination of soil water Content: Measurement in Coaxial Transmission Lines. Water Resour. Res. 16, 574-582.
- Tülün, 2005. Ç. Ü. Toprak Su İçeriğinin ve Yarayıslı Su Düzeylerinin TDR (Time Domain Reflectometry) ile Ölçülmesi ve Aletin Çeşitli Toprak Bünyelerinde Kalibrasyonu Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı. Yüksek lisans Tezi. Adana.
- Uytun, A., Pekey, B., Kalemci, M., 2013. Toprak Nemi Ölçümleri. VIII. Ulusal Ölçüm Bilim Kongresi, 26-28 Eylül, Gebze-Kocaeli, S No:1-9
- Yazar, A., 2012. Sulama Mühendisliği Ders Notları. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü Adana.
- Yazar, A., Tangolar., S., Sezen, S.M., Bozkurt Çolak, Y., Bilir, H., Gençel, B., Sabır. A., 2010. Yaprak Su Potansiyeli Kullanılarak Çukurova Koşullarında Yüksek Kaliteli Verim İçin Optimum Sulama Zamanının Belirlenmesi. TÜBİTAK 106O747 Nolu Proje Sonuç Raporu, 110s.
- Yıldırım, O., 2010. Sulama. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü. Yayın No:1580, Ders Kitabı: 532.

BÖLÜM 12
TARIMDA İNOVATİF DÖNÜŞÜM: TERMAL KAMERA
KULLANIMI İLE HASSAS VE SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM
UYGULAMALARI

Dr. Emrah RAMAZANOĞLU¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13685100>

¹ Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü
Şanlıurfa, Türkiye. eramazanoglu@hotmail.com, Orcid ID: 0000-0002-7921-5703

GİRİŞ

Küresel iklim değişikliğiyle birlikte artması beklenen kuraklık, tarımda suyun daha etkin kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir. Sınırlı bir doğal kaynak olan suyun verimli kullanımı, su yönetiminin daha hassas yapılmasını gerektirir. Bu bağlamda, hassas tarım uygulamaları, suyun bitkiye ihtiyaç duyduğu miktarda, doğru zamanda ve doğru yerde verilmesini sağlayarak sürdürülebilir bir su yönetimi sağlar (López-Moreno ve ark., 2009; Çelik ve Akça, 2021). Uzaktan algılama teknolojileri, tarımda hassas su yönetimini mümkün kılarak, arazi içerisindeki toprak ve bitki ekosistemlerindeki mekansal farklılıklara göre sulama stratejilerinin uygulanmasına olanak tanır. Ancak, aynı arazi içerisinde bitkilerin su ihtiyaçlarının farklı olması, hassas sulama uygulamalarını zorlaştırmaktadır. Bu zorlukların aşılması, gerekli verilerin toplanması ve farklı alanlarda uygun sulama stratejilerinin geliştirilmesi ile mümkündür.

Bitki su potansiyelinin belirlenmesinde, bitki taç sıcaklığının ölçülmesi alternatif bir yöntem olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yöntemin tercih edilmesinin özel bir nedeni vardır: Bitki su stresi yaşadığında, stomaların kapanmasıyla terleme oranı azalır ve bu durum bitkinin yaprak sıcaklığının artmasına neden olmaktadır (Maes, 2012; Idso ve ark., 1981). Yaprak sıcaklığındaki bu artış, bitkilerde su stres indeksinin (CWSI) hesaplanmasında önemli bir referans değer oluşturur. CWSI, su stresi olmayan bitkilerin yaprak sıcaklıkları ile stres altındaki bitkilerin yaprak sıcaklıkları arasındaki farktan yararlanarak hesaplanan ve bitkinin su durumunu doğru bir şekilde değerlendiren bir indekstir (Taghvaeian ve ark., 2014). Bu indeksin hesaplanmasında bitki yaprak sıcaklığını ölçen termal kameralar, tarımsal ekosistemlerde büyük bir yenilik olarak öne çıkar.

Termal görüntüleme, bitki su stresini izlemek ve sulama yönetimini optimize etmek için güçlü bir araç olarak kullanılır. Yüzey sıcaklığı, uzaktan algılama cihazlarıyla kolayca belirlenebilir ve bu sayede su stresi yaşanan bölgeler tespit edilebilir (DeJonge, 2015). Sıcaklık, bitki fonksiyonlarının tüm biyokimyasal süreçlerinde kritik bir rol oynar. Bitki sıcaklığı ölçümlerinde en sık yapılan ölçüm, yaprak sıcaklığıdır, çünkü yapraklar bitki metabolizması, su ve enerji döngüsü için çok önemlidir (Jayalakshmy ve Philip, 2010; Still ve ark., 2022). Termal görüntüleme ile belirlenen yaprak sıcaklığı, bitki yüzeyinin özellikleri, kızılotesi emilim ve terleme hızı gibi çeşitli fonksiyonel veya

yapısal faktörlerle dolaylı olarak ilişkilidir. Stomaların açılıp kapanması, bir bitkinin gelişimi ve büyümesi için hayati bir unsurdur. Fotosentez ve terlemeyi kontrol ederek, karbon ve su dengesi üzerinde önemli bir katkı sağlar (Endo ve Torii, 2019). Bu nedenle, verim ve çevresel streslere tolerans, suya olan stomatal iletkenlik (gs) ile bağlantılıdır ve gs, yaprak sıcaklığı ile güçlü bir şekilde ilişkilidir (Prashar ve ark., 2013).

Termal kameralarla yapılan erken ve hızlı tespitler, sulamadan kaynaklı verim kaybını önemli ölçüde azaltabilir. Mikro insansız hava araçları (UAV) ile elde edilen termal görüntüler, manuel termometrelere kıyasla daha geniş alanların izlenmesini sağlar. Küçük ve orta ölçekli parsellerde, tarımda su kullanım etkinliğini artırmak amacıyla UAV monte edilen termal kameralar önemli avantajlar sunmaktadır.

Bitki sağlığı, sadece suyun yetersiz olduğu durumlarda değil, aynı zamanda bitkinin yeterli miktarda besin elementi alamadığı koşullarda da olumsuz etkilenir. Termal görüntüleme teknolojileri, bitkilerde su stresine ek olarak besin yetersizliklerinin neden olduğu stres belirtilerini de tespit edebilir. Örneğin, azot, potasyum ve fosfor gibi temel besin maddelerinin eksiklikleri, bitkinin metabolik süreçlerini olumsuz yönde etkileyebilir ve bu durum bitkilerin yaprak sıcaklığında değişimlere yol açabilir. Bu sıcaklık değişimleri, termal kameralar aracılığıyla izlenebilir ve bitkinin besin durumu hakkında önemli bilgiler sunabilir (Fabeiro Ark., 2003). Termal görüntüleme, besin eksikliğinin erken tespit edilmesini sağlayarak bitki sağlığının korunmasına ve optimum verim elde edilmesine yardımcı olabilir.

Tarımda sürdürülebilirlik, su ve toprak kaynaklarının etkin ve uzun vadeli kullanımıyla doğrudan ilişkilidir (Çelik ve ark., 2023). Dünya nüfusunun artması ve su kıtlığının derinleşmesi, bitkilerde su stresini değerlendirme ve hassas sulama yöntemlerinin geliştirilmesi ihtiyacını daha da kritik hale getirmiştir. Su stresi, tarımsal üretimdeki başlıca abiyotik stres faktörlerinden biri olarak kabul edilir (García-Tejero ve ark., 2017) ve bu durum, bitkilerin ihtiyaç duyduğu suyun doğru şekilde sağlanması, toprak neminin korunması ve su ile enerji gibi kaynakların optimum kullanımı açısından büyük önem taşır. Tarımda kullanılan termal görüntüleme gibi sensör teknolojileri, bu süreçte bitkilerin su durumunu izlemek, besin durumunu değerlendirmek, verim tahmini yapmak ve sulama yönetimini optimize etmek için önemli bir rol oynar. Bu teknolojiler, bitkilerdeki fizyolojik stresleri azaltarak su ve besin

kullanımını daha verimli hale getirir ve tarımsal üretimde sürdürülebilirliği artırır. Tarımsal üretimin geleceği, bu tür yenilikçi ve hassas teknolojilerin entegre edilmesiyle su ve enerji kaynaklarının daha sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesine bağlıdır.

Termal Görüntüleme Kullanımı

1980 ve 1990'ların başında, uydular bitki örtüsü alanlarındaki günlük buharlaşmayı belirlemek için termal kızılötesi veriler sağlama konusunda yaygın olarak kullanılıyordu (Caselles ve ark., 1992). Ancak, uyduların sağladığı görüntüler, hem düşük mekansal çözünürlük hem de düşük frekansla sınırlıydı. 2000'lerde termal sensörlerdeki teknolojik gelişmelerle birlikte, uyduların yerini mahsul su stresi tespitinde yer tabanlı ve insansız hava aracı (İHA) tabanlı platformlara entegre edilen termal kameralar almaya başladı (Araújo-Paredes ve ark., 2022).

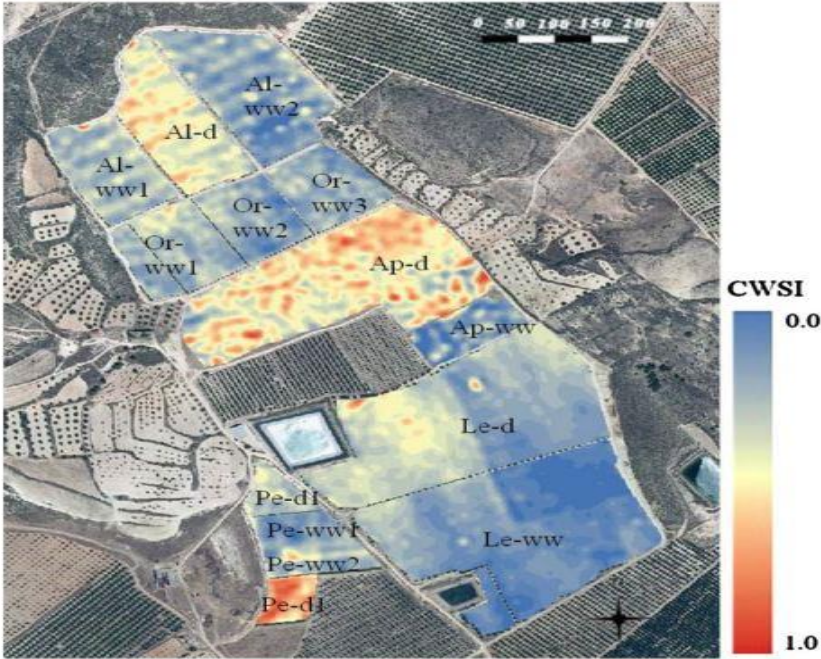
Termal kameralar, görüntü dedektörlerinin türüne göre soğutmalı ve soğutmasız olarak sınıflandırılır. Soğutmalı kızılötesi termal kameralar, hedef üzerindeki daha küçük sıcaklık farklarını daha iyi algılayıp ayırt edebilir. Ancak, bu kameraların büyük boyutları, yüksek maliyetleri ve yüksek enerji tüketimleri nedeniyle tarla veya bahçe ortamlarında kullanımları pratik değildir (Ribeiro ve ark., 2017). Buna karşın, soğutmasız termal kameralar daha hafif ve uygun fiyatlıdır, bu da onları hem yer tabanlı hem de İHA tabanlı platformlar için uygun hale getirir. Ancak, soğutmasız termal kameralar, düşük kontrastlı termal görüntüler nedeniyle orto görüntülerin oluşturulmasında hatalara yol açabilir. Bu sorun, termal olarak kontrol edilen düz levha kara cisimler kullanılarak yapılan kalibrasyonlarla giderilebilir.

Soğutmasız termal kameraların doğru şekilde kalibre edilmesi için çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. Gomez-Vidal ve ark. (2016), yer üzerindeki dört hedefin bilinen sıcaklıklarını referans alarak, termal kameraların herhangi bir dış müdahale olmaksızın kendi kendini kalibre edebileceği bir program geliştirmişlerdir. Ribeiro ve ark. (2017), ise soğutmasız termal kameraların radyometrik kalibrasyonu için sinir ağına dayalı bir algoritma geliştirmiştir. Soğutmasız kızılötesi termal kameralar, uygun maliyetleri ve esnek kullanım özellikleri nedeniyle, mahsul su stresi tespitinde taç sıcaklığı ölçümünde en yaygın kullanılan cihazlar arasındadır.

Tarımsal Ekosistemlerde Termal Kamera Kullanımı

İspanya'nın Murcia bölgesinde yaklaşık 42 hektarlık bir ticari meyve bahçesinde yapılan bu çalışma, tarımsal sulama yönetiminde termal kameraların kullanımını incelemektedir. Bahçede badem, kayısı, şeftali, limon ve portakal ağaçları yer almakta olup, çalışmanın amacı bu ağaçların su stresini belirlemek için termal görüntüleme tekniklerinden yararlanmaktır (Şekil 1). Çalışma, insansız hava aracı (İHA) üzerine monte edilen termal kameralarla gerçekleştirilmiştir.

Araştırmada Gonzalez-Dugo ve ark. (2013), Bitki Su Stresi İndeksi (CWSI) hesaplayarak bu değeri ağaçların gövde su potansiyeli ile karşılaştırmışlardır. CWSI, bitkilerin su stresine maruz kalıp kalmadığını tespit etmek için kullanılan bir göstergedir. Elde edilen sonuçlar, termal görüntülerden hesaplanan CWSI ile gövde su potansiyeli arasında yüksek bir korelasyon olduğunu göstermiştir. Bu durum, termal kameralarla elde edilen verilerin doğruluğunu ve güvenilirliğini ortaya koymaktadır.



Şekil 1. İHA ile Alına Termal Görüntü

Murcia bölgesinin su kaynaklarının sınırlı olduğu göz önünde bulundurulduğunda, termal kameralarla yapılan bu çalışmanın önemi daha da artmaktadır. Geniş alanlarda yapılan termal görüntüleme, ağaçların su durumlarını mekansal olarak doğru bir şekilde tahmin edebilmekte ve sulama yönetiminde etkili bir çözüm sunmaktadır. Çalışma, su kaynaklarının etkin kullanımının önem kazandığı tarımsal uygulamalarda, su ihtiyacının belirlenmesi ve sulama stratejilerinin optimize edilmesi açısından termal kameraların önemli bir araç olduğunu vurgulamaktadır.

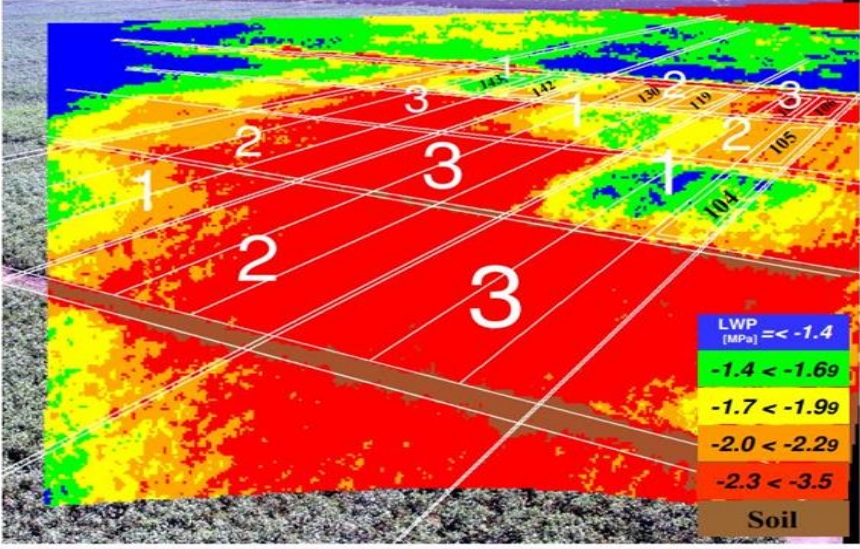
Sonuç olarak, bu araştırma, geniş çaplı tarımsal alanlarda termal kameraların su yönetimi açısından sunduğu potansiyeli açıkça ortaya koymaktadır. Termal görüntüleme ile su stresinin doğru bir şekilde tespit edilmesi, özellikle suyun sınırlı olduğu bölgelerde sulama yönetiminin iyileştirilmesine katkı sağlayarak, tarımsal üretimde su kaynaklarının daha verimli kullanılmasına imkan tanımaktadır.

İsrail'in Şamir Kibbutzu bölgesinde pamuk ekili bir alanda gerçekleştirilen bir çalışmada, termal kameraların tarımsal sulama yönetimindeki etkinliğini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Alchanatis ve ark. (2010), tarafından yürütülen bu çalışmada, pamuk bitkisinin su ihtiyacını tespit etmek ve sulama stratejilerini optimize etmek üzere arazi dört farklı sulama bölgesine ayrılmıştır (Şekil 2). Araştırmacılar, tam sulama yapılan alanı referans olarak kabul etmiş ve bu alan termal görüntülemeye koyu mavi renkte görünmektedir. Bu renk, bitkilerin su ihtiyacının tamamen karşılandığını ifade etmektedir.

Çalışmada sulama zamanlamasının geciktirilmesiyle bitkilerin su stresine nasıl tepki verdiği termal kameralar aracılığıyla gözlemlenmiştir. Sulama 2 gün geciktiğinde termal görüntülerde renk sarıya, 4 gün gecikmeyle koyu turuncu, 6 gün gecikmeyle ise su stresinin belirgin hale geldiği ve rengin kırmızıya döndüğü rapor edilmiştir. Bu renk değişimleri, bitkilerin su durumu ve su stresinin mekansal olarak termal görüntülerle çok net bir şekilde belirlenebildiğini göstermektedir.

Araştırmanın bir diğer önemli bulgusu ise yaprak su potansiyeli ile Bitki Su Stresi İndeksi (CWSI) arasında oldukça yüksek bir korelasyonun ($R^2 = 0.93$) tespit edilmiş olmasıdır. Bu, termal kameralarla elde edilen CWSI değerlerinin bitkinin su durumu hakkında güvenilir bir gösterge olduğunu doğrulamaktadır. CWSI, bitkilerin su stresine maruz kalıp kalmadığını tespit etmekte kullanılan

bir ölçüttür ve yüksek regresyon katsayısı, bu değerin doğruluğunu ve sulama yönetiminde kullanılabilirliğini desteklemektedir.



Şekil 2. Pamuk Bitkisinin farklı sulama zamanına ait termal görüntüleme

Çalışmanın sonuçları, termal kameraların pamuk bitkisi gibi geniş tarım alanlarında su stresinin izlenmesinde ne kadar etkili olabileceğini ortaya koymaktadır. Farklı sulama zamanlamalarının bitkide oluşturduğu değişiklikler, termal görüntülerdeki renk farklarıyla kolayca tespit edilebilmiştir. Özellikle suyun kısıtlı olduğu bölgelerde bu tür bir izleme, bitkilerin su ihtiyacının zamanında belirlenmesine ve sulama stratejilerinin daha verimli bir şekilde uygulanmasına olanak tanımaktadır.

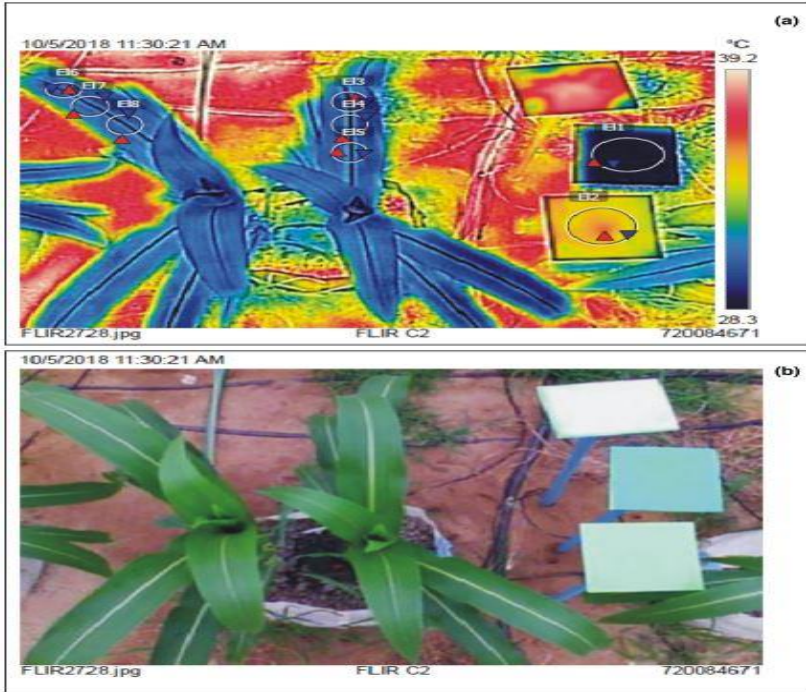
Sonuç olarak, İsrail’de pamuk ekili bu alanda yapılan çalışma, termal kameraların su yönetiminde ne kadar etkili olduğunu göstermektedir. Pamuk bitkisinin su stresinin mekansal olarak termal görüntülerden izlenebilmesi, tarımda suyun doğru yönetilmesine ve sulama zamanlamasının optimize edilmesine önemli katkılar sunmaktadır. Bu teknoloji, özellikle geniş alanlarda hassas tarım uygulamalarının bir parçası olarak su yönetiminde büyük bir potansiyele sahiptir.

Kontrollü koşullarda mısır yetiştiren Pradawet ve ark. (2021), su stresini incelemek amacıyla bir çalışma gerçekleştirmiştir. Hem saha hem de saksı ortamında yetiştirilen mısır bitkilerine iki farklı su seviyesi uygulanmış ve bitki

gelişimi boyunca termal kamera kullanılarak elde edilen görüntülerden Bitki Su Stresi İndeksi (CWSI) hesaplanmıştır.

Araştırmanın sonuçları, termal kameralarla elde edilen verilerin mısır verimi ile ilişkilendirilebileceğini göstermiştir (Şekil 3). Araştırmacılar, hesaplanan CWSI değerinin mısır verimini tahmin etmekte etkili bir gösterge olduğunu rapor etmişlerdir. Bu, termal kameralarla elde edilen sıcaklık verilerinin, bitkinin su stresini doğru bir şekilde belirlemek için kullanılabilirliğini ve buna bağlı olarak verim tahminlerinin yapılabilirliğini ortaya koymaktadır.

Ayrıca, çalışmada mısır bitkisinin gövde sıcaklığının 5 günlük periyotlarla ölçülmesinin verim tahmininde daha iyi sonuçlar sağlayabileceği belirtilmiştir. Bu bulgu, bitki gelişiminin belirli aralıklarla izlenmesinin verim tahmininde önemli bir rol oynayabileceğini göstermektedir. Termal görüntüleme teknikleri, bitki sıcaklığındaki değişiklikleri izleyerek, su stresini ve dolayısıyla bitkilerin genel sağlık durumunu belirlemede etkili bir araç olarak öne çıkmaktadır.



Şekil 3. Mısır bitkisinden alınan termal görüntüleme

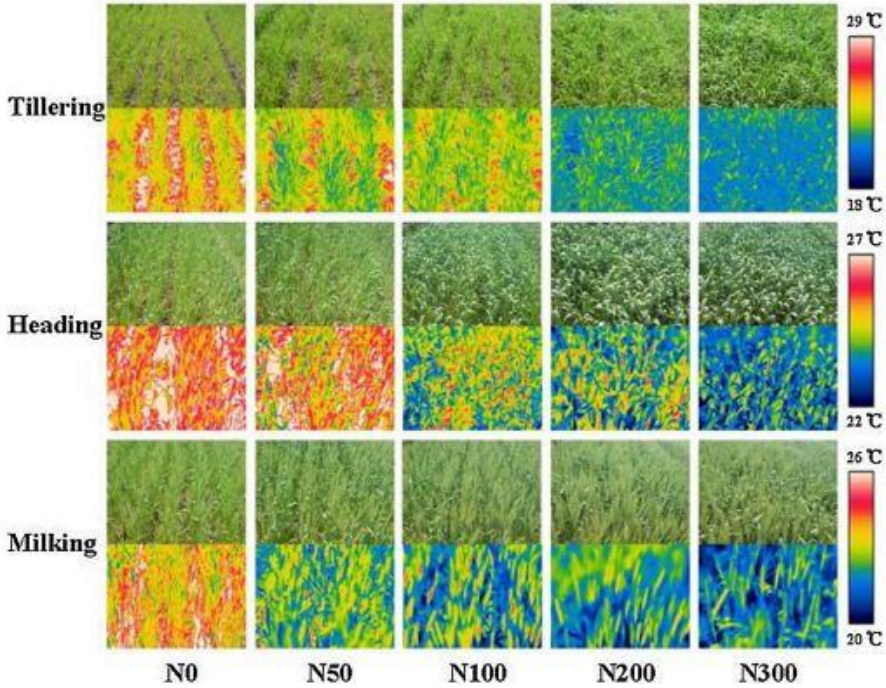
Sonuç olarak, bu çalışma, kontrollü koşullarda termal kameraların tarımsal verim tahmini ve su stres yönetiminde nasıl kullanılabileceğine dair önemli bulgular sunmaktadır. Mısır bitkisinin su stresi düzeyini belirlemek ve verim tahmininde bulunmak için termal görüntüleme ile elde edilen CWSI değerleri, tarımda hassas sulama ve verim artırma stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilecek pratik bilgiler sunmaktadır.

Bitki azotunun termal görüntüleme ile izlenmesi

Termal kameraların tarımsal ekosistemlerde sadece su yönetimi için değil, aynı zamanda bitki beslenmesi ve azot yönetimi gibi önemli unsurların izlenmesinde de etkili olabileceği, son yıllarda yapılan birçok araştırma tarafından ortaya konulmuştur. Azot, bitki büyümesi ve verimliliği üzerinde doğrudan etkili olan en önemli besin maddelerinden biridir. Bitkilerdeki azot miktarı, fotosentez hızını, biyokütle artışını ve genel olarak bitki sağlığını belirleyen bir faktördür. Termal kameralar, bitkilerin sıcaklık değişimlerini izleyerek azot seviyelerinin değerlendirilmesine yardımcı olabilir, çünkü bitki sıcaklığı genellikle azot ve diğer besin elementlerinin varlığına ve dağılımına bağlı olarak değişir.

Çin’de Guo ve ark. (2016), tarafından üç farklı lokasyonda yapılan bir çalışmada, azotlu gübre uygulamalarının bitki sıcaklığı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada, buğday bitkisine farklı oranlarda azotlu gübreler uygulanmış ve bitkilerin termal görüntüleri kardeşlenme, başaklanma ve süt olum dönemlerinde alınmıştır (Şekil 4). Termal kameralarla elde edilen bu görüntüler, bitki sıcaklığı ile biyokütle, stoma iletkenliği ve transpirasyon oranı arasındaki ilişkiyi anlamak için kullanılmıştır.

Araştırma sonuçlarına göre, bitki sıcaklığı ile biyokütle arasında hem başaklanma döneminde ($R^2 = 0.89$) hem de süt olum döneminde ($R^2 = 0.83$) yüksek bir korelasyon tespit edilmiştir. Yeterli azot alımına sahip bitkiler, daha güçlü bir fotosentez kapasitesine sahip olduğundan, daha düşük bir bitki sıcaklığı sergilemekte ve daha fazla biyokütle üretmektedir. Stoma iletkenliği de bitkilerin su yönetimi ve gaz alışverişi süreçlerinde kritik bir parametredir.



Şekil 4. Farklı Gelişim Dönemlerinde Buğday Bitkisinden Alınan Termal Görüntüler

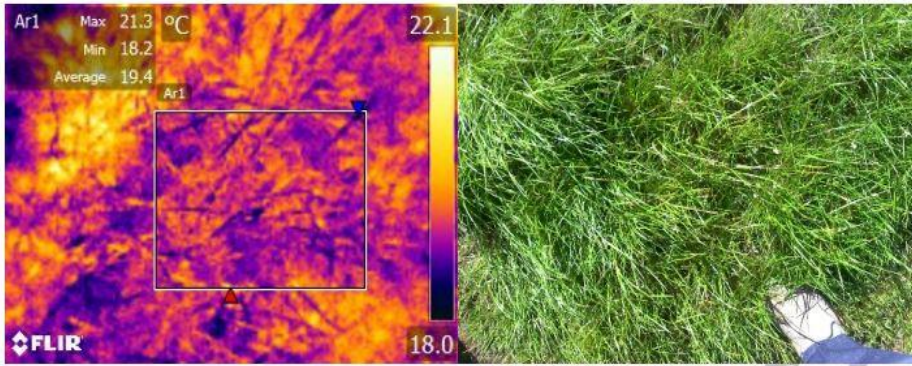
Araştırmada, bitki sıcaklığı ile stoma iletkenliği arasında hem başaklanma ($R^2 = 0.62$) hem de süt olum ($R^2=0.86$) dönemlerinde anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Stoma iletkenliği, azot seviyeleri ile doğrudan ilişkili olduğundan, termal görüntüleme bu parametrenin izlenmesinde de etkili bir araç olabilir. Azot eksikliği yaşayan bitkilerde stoma iletkenliği düşer, bu da bitki sıcaklığının artmasına neden olur. Termal kameralar, bu sıcaklık değişimlerini hassas bir şekilde tespit ederek bitkideki azot durumunu dolaylı yoldan izleyebilir.

Transpirasyon oranı, bitkilerin su kaybını ve su yönetimini ifade eder. Çalışmada, transpirasyon oranı ile bitki sıcaklığı arasında başaklanma ($R^2=0.82$) ve süt olum ($R^2=0.89$) dönemlerinde güçlü bir ilişki bulunmuştur. Yüksek azot seviyeleri, bitkilerin daha iyi bir su yönetimi sergilemesine ve dolayısıyla daha düşük bir bitki sıcaklığına yol açar. Bu da, transpirasyonun verimli bir şekilde gerçekleştiğini gösterir.

Bu çalışma, tarımda azot yönetiminin optimize edilmesinde termal kameraların etkinliğini vurgulamaktadır. Bitki sıcaklığının biyokütle üretimi, stoma iletkenliği ve transpirasyon gibi kritik parametrelerle ilişkilendirilmesi, termal görüntülemenin çok yönlü kullanımını desteklemektedir. Tarımda azotlu gübre kullanımının izlenmesi ve optimize edilmesi, verimliliği artırırken aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği sağlamada önemli bir rol oynar. Bu bağlamda, termal kameraların kullanımı, daha verimli tarımsal uygulamalara geçişte büyük bir potansiyele sahiptir.

Çayır mera alanlarının ot veriminin artışı, büyük ölçüde azotlu gübreleme kullanım etkinliğine bağlı olarak gerçekleşmektedir. Safa ve ark. (2019), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, azotlu gübrelemenin bitki azot içeriği üzerindeki etkisi ve bunun bitki sıcaklıkları üzerindeki yansımaları incelenmiştir. Araştırmacılar, artan bitki azot içeriğinin fotosentez etkinliğini artırarak bitki sıcaklıklarında değişikliklere yol açabileceğini vurgulamışlardır.

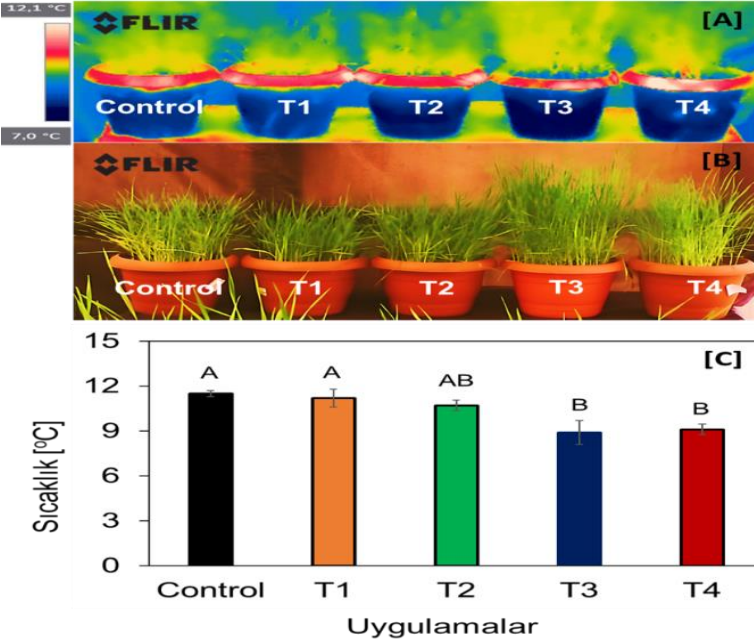
Çalışmada, bitkilerde farklı azot içeriklerine ulaşmak için 6 farklı azot uygulaması yapılmıştır. Bu uygulamalar, bitkilerin azot içeriği ile bitki sıcaklıkları arasındaki ilişkinin detaylı bir şekilde incelenmesine olanak sağlamıştır. Araştırmanın temel bulguları, bitki sıcaklıklarının azot içeriğine göre önemli ölçüde farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Yüksek azot içeriğine sahip bitkilerde, daha etkin bir fotosentez süreci gözlemlenmiş ve bu da bitki sıcaklıklarının düşmesine neden olmuştur. Buna karşılık, düşük azot içeriği ile beslenen bitkilerde daha yüksek bitki sıcaklıkları kaydedilmiştir.



Şekil 5. Çayır mera alanında alınan termal görüntü

Araştırmacılar, topladıkları verilerle geliştirdikleri model aracılığıyla, çayır mera alanlarında termal kamera kullanarak elde ettikleri görüntülerden bitki azot içeriğini %94 doğrulukla tahmin edebildiklerini rapor etmişlerdir. Bu sonuç, termal kameraların çayır mera alanlarında bitki azot seviyelerini izlemek ve değerlendirmek için etkili bir araç olabileceğini göstermektedir. Çalışma, azotlu gübrelemenin yönetimi ve izlenmesi açısından tarımda termal görüntülemenin potansiyelini ortaya koymaktadır.

Buğday bitkisine uyguladığı farklı oranlardaki vermikompostun bitki gelişimini olumlu etkilediğini belirten Ramazanoglu (2024), artan vermikompostun bitki fotosentez etkinliğini artırarak yapraklarda sıcaklık değişimine yol açtığını bildirmiştir. Araştırmacı, termal görüntüleme kullanarak bu durumu açıklamış ve vermikompost oranı arttıkça bitki yaprak sıcaklığının azaldığını rapor etmiştir (Şekil 6). Bu sonuçlar, vermikompost uygulamasının bitki fizyolojisi üzerindeki etkilerini izlemek için termal görüntülemenin etkili bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 6. Vermikompost Uygulaması Yapılan Saksılardan Alınan Termal Görüntü

SONUÇ

Tarımda kullanılan inovatif teknolojiler, iklim değişikliği, su kıtlığı ve artan nüfus gibi küresel zorluklarla başa çıkmada büyük bir potansiyele sahiptir. Bu bağlamda, termal görüntüleme teknolojisi, bitki fizyolojisi ve ekosistem yönetiminde devrim niteliğinde bir araç olarak öne çıkmaktadır. Çalışma boyunca ortaya konan bulgular, termal kameraların sadece bitkilerin su durumu ve stres seviyelerini izlemekle kalmadığını, aynı zamanda besin yönetimi, azot kullanım verimliliği ve genel bitki sağlığının optimize edilmesine de katkı sunduğunu göstermektedir.

Özellikle, bitkilerin su stresine ve azot eksikliğine bağlı olarak gösterdikleri fizyolojik değişikliklerin erken tespit edilmesi, tarımsal uygulamalarda kritik kararların zamanında alınmasını sağlamaktadır. Bitki taç sıcaklığının izlenmesi ve buna dayalı olarak su stres indekslerinin (CWSI) hesaplanması, tarımsal sulama stratejilerinin doğru bir şekilde planlanmasına olanak tanımaktadır. Aynı şekilde, bitki azot içeriğinin termal görüntüleme ile %94'e varan doğruluk oranıyla tahmin edilebilmesi, azotlu gübreleme stratejilerinin optimize edilmesini ve tarımsal üretimde çevresel etkilerin en aza indirilmesini mümkün kılmaktadır.

Bunun yanı sıra, termal kameraların insansız hava araçlarıyla (İHA) entegre edilmesi, geniş alanların kısa sürede ve yüksek doğrulukla izlenmesine olanak tanımaktadır. Gerek çayır mera alanlarında gerekse ticari tarım alanlarında yapılan araştırmalar, termal görüntülemenin mekansal farklılıkları tespit edebilme kabiliyeti sayesinde su ve besin yönetiminin daha hassas bir şekilde yapılabileceğini göstermektedir. Bu da, hem suyun hem de gübrenin daha verimli kullanılmasına, tarımsal üretimin sürdürülebilirliğinin artırılmasına katkı sağlamaktadır.

Sonuç olarak, tarımsal üretimde termal görüntüleme teknolojilerinin entegrasyonu, hassas tarım uygulamalarının geleceği açısından kritik bir rol oynamaktadır. Hem sulama yönetiminde hem de besin yönetiminde sağladığı yenilikçi çözümler, tarımsal verimliliği artırırken aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir. İklim değişikliği ve doğal kaynakların azalması gibi küresel sorunlar göz önünde bulundurulduğunda, termal görüntüleme gibi ileri teknolojilerin tarım sektöründe daha geniş çapta benimsenmesi, gelecekteki tarımsal sürdürülebilirliğin anahtarı olacaktır. Bu çalışma, termal görüntüleme teknolojisinin tarımda nasıl etkin bir şekilde

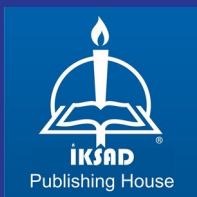
kullanılabileceğine dair önemli bulgular sunmakta ve gelecekte bu tür teknolojilerin daha yaygın olarak kullanılmasının gerekliliğini vurgulamaktadır. Bu kapsamda, tarımda teknolojik dönüşümün hızlanması, kaynak verimliliğini artırarak hem ekonomik hem de ekolojik açıdan büyük faydalar sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Alchanatis, V., Cohen, Y., Cohen, S., Moller, M., Sprinstin, M., Meron, M., Sela, E. (2010). Evaluation of different approaches for estimating and mapping crop water status in cotton with thermal imaging. *Precision Agriculture*, 11: 27-41.
- Araújo-Paredes, C., Portela, F., Mendes, S., Valín, M. I. (2022). Using aerial thermal imagery to evaluate water status in *Vitis vinifera* cv. Loureiro. *Sensors*, 22 (20): 8056.
- Caselles, V., Sobrino, J. A., Coll, C. (1992). On the use of satellite thermal data for determining evapotranspiration in partially vegetated areas. *International Journal of Remote Sensing*, 13 (14): 2669-2682.
- Çelik, A., Kılıç, M., Ramazanoğlu, E., Bellitürk, K., Sakin, E. (2023). Comparison of Biological Indicators of Soil Quality of Horticultural Crops Based on No-tillage and Non-synthetic Systems. *Erwerbs-Obstbau*, 65(6), 2605-2613.
- DeJonge, K. C., Taghvaeian, S., Trout, T. J., Comas, L. H. (2015). Comparison of canopy temperature-based water stress indices for maize. *Agricultural water management*, 156: 51-62.
- Endo, H., Torii, K. U. (2019). Stomatal development and perspectives toward agricultural improvement. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 11 (5): a034660.
- Fabeiro, C., de Santa Olalla, F. M., Lopez, R., Dominguez, A. (2003). Production and quality of the sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivated under controlled deficit irrigation conditions in a semi-arid climate. *Agricultural Water Management*, 62 (3): 215-227.
- García-Tejero, I. F., Hernández, A., Padilla-Díaz, C. M., Díaz-Espejo, A., Fernández, J. E. (2017). Assessing plant water status in a hedgerow olive orchard from thermography at plant level. *Agricultural Water Management*, 188: 50-60.
- Gomez-Vidal, J. C., Tirawat, R. (2016). Corrosion of alloys in a chloride molten salt (NaCl-LiCl) for solar thermal technologies. *Solar energy materials and solar cells*, 157: 234-244.
- Gonzalez-Dugo, V., Zarco-Tejada, P., Nicolás, E., Nortes, P. A., Alarcón, J. J., Intrigliolo, D. S., Fereres, E. J. P. A. (2013). Using high resolution UAV

- thermal imagery to assess the variability in the water status of five fruit tree species within a commercial orchard. *Precision Agriculture*, 14: 660-678.
- Guo, J., Tian, G., Zhou, Y., Wang, M., Ling, N., Shen, Q., Guo, S. (2016). Evaluation of the grain yield and nitrogen nutrient status of wheat (*Triticum aestivum* L.) using thermal imaging. *Field Crops Research*, 196: 463-472.
- Idso, S. B., Jackson, R. D., Reginato, R. J. (1977). Remote-Sensing of Crop Yields: Canopy temperature and albedo measurements have been quantitatively correlated with final harvests of wheat. *Science*, 196 (4285): 19-25.
- Jayalakshmy, M. S., Philip, J. (2010). Thermophysical properties of plant leaves and their influence on the environment temperature. *International journal of Thermophysics*, 31: 2295-2304.
- López-Moreno, J. I., Goyette, S., Beniston, M. (2009). Impact of climate change on snowpack in the Pyrenees: Horizontal spatial variability and vertical gradients. *Journal of Hydrology*, 374 (3-4): 384-396.
- Maes, W. H., Steppe, K. (2012). Estimating evapotranspiration and drought stress with ground-based thermal remote sensing in agriculture: a review. *Journal of experimental botany*, 63 (13): 4671-4712.
- Öztürkmen, A. R., Ramazanoğlu, E., Çelik, A., Arslan, M. (2021). Adıyaman İli'nde Farklı Arazi Kullanımlarının Bazı Toprak Özelliklerine Etkileri. *European Journal of Science and Technology*, (25), 594-600.
- Pradawet, C., Khongdee, N., Pansak, W., Spreer, W., Hilger, T., Cadisch, G. (2023). Thermal imaging for assessment of maize water stress and yield prediction under drought conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 209 (1): 56-70.
- Prashar, A., Yildiz, J., McNicol, J. W., Bryan, G. J., Jones, H. G. (2013). Infra-red thermography for high throughput field phenotyping in *Solanum tuberosum*. *PLoS One*, 8 (6): e65816.
- Ramazanoğlu, E. (2024). Effects of vermicompost application on plant growth and soil enzyme activity in wheat (*Triticum aestivum* L.) monitored by thermal imaging. *Cogent Food & Agriculture*, 10 (1): 2373872.
- Ribeiro-Gomes, K., Hernández-López, D., Ortega, J. F., Ballesteros, R., Poblete, T., Moreno, M. A. (2017). Uncooled thermal camera calibration

- and optimization of the photogrammetry process for UAV applications in agriculture. *Sensors*, 17 (10): 2173.
- Safa, M., Martin, K. E., Kc, B., Khadka, R., Maxwell, T. M. R. (2019). Modelling nitrogen content of pasture herbage using thermal images and artificial neural networks. *Thermal Science and Engineering Progress*, 11: 283-288.
- Still, C. J., Page, G., Rastogi, B., Griffith, D. M., Aubrecht, D. M., Kim, Y., Richardson, A. D. (2022). No evidence of canopy-scale leaf thermoregulation to cool leaves below air temperature across a range of forest ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119 (38): e2205682119.
- Taghvaeian, S., Comas, L., DeJonge, K. C., Trout, T. J. (2014). Conventional and simplified canopy temperature indices predict water stress in sunflower. *Agricultural water management*, 144: 69-80.



ISBN: 978-625-367-816-6