

SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM VE ÇEVRE İÇİN TEKNOLOJİK DEĞİŞİM

EDİTÖRLER

Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN

Doç. Dr. Ahmet ÇELİK



İKSAD
Publishing House

SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM VE ÇEVRE İÇİN TEKNOLOJİK DEĞİŞİM

EDİTÖRLER

Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN

Doç. Dr. Ahmet ÇELİK

YAZARLAR:

Prof. Dr. Ahmet Konuralp ELİÇİN

Prof. Dr. Mahmut İSLAMOĞLU

Prof. Dr. Osman GÖKDOĞAN

Doç. Dr. Mustafa YAŞAR

Doç. Dr. Osman ÖZBEK

Dr.Öğr.Üyesi Hülya SAYGI

Dr.Öğr.Üyesi Miraç KILIÇ

Dr.Öğr.Üyesi M. Murat TURGUT

Dr. Ayşe Nuran ÇİL

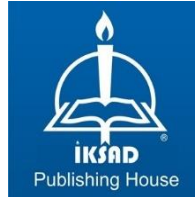
Arş. Gör. Dr. Gizem KAMÇI TEKİN

Zir. Yük. Müh. Mustafa YILDIRIM

Zir.Yük. Müh. Y.Ahu ÖLMEZ

Zir. Müh. Ayşe Gül KARAKOÇ

Zir. Müh. Zübeyde YELBOĞA



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. The first degree responsibility of the works in the book belongs to the authors.

Iksad Publications – 2024©

ISBN: 978-625-378-019-7

Cover Design: Büşra ÖZTOPRAK

December / 2024

Ankara / Türkiye

Size = 16x24 cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ

Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN

Doç. Dr. Ahmet ÇELİK.....1

BÖLÜM 1

PROTOTİP SERADA HİDROPONİK YETİŞTİRİCİLİKTE

KULLANILAN OTOMASYON SİSTEMLERİNİN OPTİMİZASYONU

Zir. Müh. Ayşe Gül KARAKOÇ

Prof. Dr. Ahmet Konuralp ELİÇİN3

BÖLÜM 2

TARIMDA YAPAY ZEKÂ KULLANIMI

Prof. Dr. Mahmut İSLAMOĞLU.....31

BÖLÜM 3

İTALYAN ÇİMİ ÜRETİMİNDE GİRDİ ENERJİ MİKTARINA BAĞLI

SERA GAZI EMİSYONUNUN BELİRLENMESİ

Zir. Yük. Müh. Mustafa YILDIRIM

Doç. Dr. Osman ÖZBEK

Prof. Dr. Osman GÖKDOĞAN63

BÖLÜM 4

AYÇİÇEĞİ (*Heliantus annus L.*) ISLAHI

Dr. Ayşe Nuran ÇİL

Doç. Dr. Mustafa YAŞAR

Zir.Yük. Müh. Y. Ahu ÖLMEZ.....77

BÖLÜM 5

GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİ 2030 YILI TARIM MAKİNALARI PROJEKSİYONU

Dr. Öğr. Üyesi M. Murat TURGUT.....97

BÖLÜM 6

NOHUTTA (*Cicer arietinum* L.) KURAKLIK STRESİNİN MORFOLOJİK, FİZYOLOJİK, ENZİMATİK ETKİLERİ ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME

Arş. Gör. Dr. Gizem KAMÇI TEKİN.....109

BÖLÜM 7

SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM SÜRECİNDE TEKNOLOJİNİN ROLÜ

Dr. Öğr. Üyesi Hülya SAYĞI135

BÖLÜM 8

HİDROPONİK SİSTEMLERDE MEKANİZASYON FARKLILIKLARI

Zir. Müh. Zübeyde YELBOĞA

Prof. Dr. Ahmet Konuralp ELİÇİN.....155

BÖLÜM 9

DOĞU ANADOLU BÖLGESİ HAYVANCILIĞINDA 2030 YILI TARIM MAKİNALARI PROJEKSİYONU

Dr. Öğr. Üyesi M. Murat TURGUT.....175

BÖLÜM 10

MALATYA HAVZASINDAKİ SU DENGESİ DİNAMİKLERİNİN UZAKTAN ALGILAMA VE GOOGLE EARTH ENGINE KULLANILARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Miraç KILIÇ.....187

ÖNSÖZ

Sürdürülebilir tarım ve çevre günümüzün en popüler konuları arasında yer almaktadır. Neden çok konuşulmaya ve tartışılmaya başlandı? Çünkü, hızla artan küresel nüfus, tarımsal üretimin yapıldığı arazi varlıklarının kentsel yerleşimler ve endüstriyel büyüme nedeniyle daralmasına neden olmuştur. Özellikle değişen iklim koşulları, çevreyi ve tarım sektörünü yıllık verim artışı açısından oldukça zorlamıştır. Bu durum, sürdürülebilir tarımsal üretim uygulamalarını zorunluluk haline getirmiştir.

Sürdürülebilir tarımın temel hedefi, gıda üretimini artırırken çevresel etkileri minimize etmektir. Bu bağlamda, süreç yönetimine en önemli katkı teknolojik değişimle mümkündür. Teknolojik değişimle ortaya çıkan problemlerin etkin çözümlerle giderek ivme kazanması mevcut kaynakların en doğru şekilde yönetilmesini ortaya koymuştur. Bu amaç doğrultusunda, modern tarımın erişilebilir kaynakları son on yıllarda esas olarak geleneksel genetik yaklaşımlarla kullanılmıştır. Başka açıdan değerlendirildiğinde teknolojik değişim, tarımsal üretim süreçlerinde verimliliği artırmak ve doğal kaynakların daha akılcı kullanımını sağlamak için kritik bir araçtır. Örnek vermek gerekirse, yurt dışında ve ülkemizde birçok üniversitenin araştırmasına konu olan hassas tarım teknolojileri sayesinde toprağın, suyun ve gübrenin daha etkin bir şekilde yönetilmesi mümkün hale gelmiştir. Yine kullanım alanları hızla artan GPS tabanlı ekipmanlar ve sensör teknolojileri, çiftçilere tarım arazilerinin durumunu gerçek zamanlı olarak izleme ve ihtiyaçları doğrultusunda müdahale etme imkânı tanımaktadır. Bu ve buna benzer uygulamaların temel hedefi, tarım sektöründe hem üretim maliyetlerini düşürmek hem de çevresel zararları en aza indirmektir.

İklim değişikliği ile mücadelede teknolojik yenilikler hayati önem taşır mı? Taşımaktadır çünkü, bu yenilikler gelecekte yaşanabilecek birçok olumsuz senaryonun da önüne set olacaktır. Özellikle iklime dayanıklı tohumların geliştirilmesi, değişen hava koşullarına uyum sağlamayı kolaylaştırırken, su tasarrufu sağlayan sulama sistemleri kuraklık gibi sorunlara çözüm sunar. Bunun yanı sıra, tarımsal atıkların geri dönüştürülerek enerjiye dönüştürülmesi gibi döngüsel ekonomi yaklaşımları, kaynakların daha sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını sağlayacaktır.

Teknolojik dönüşümün sağladığı bir diğer önemli faktör de veri analitiği ve yapay zeka tabanlı uygulamaların etkinliğidir. Bu alanda üretilen teknolojiler, tarımsal üretimin yapıldığı farklı alanlarda ve bu süreçlerin yönetilmesinde daha doğru kararlar alınmasını ve önceden tahmin edilemeyecek potansiyel risklerin tespit edilmesini sağlamaktadır. Yine bir örnek vermek gerekirse, hastalık ve zararlıların erken teşhisi veya verimlilik artışı için yapılması gereken besleme ile ilgili değişikliklerin önceden tahmin edilebilmesi üreticinin işini kolaylaştırmakla beraber birim alandan elde edeceği gelir düzeyini de artıracaktır.

Özetle, günümüz ve gelecekteki tarımsal ihtiyaçları karşılamak ve aynı zamanda gelecek nesillere sağlıklı bir dünya bırakmak istiyorsak sürdürülebilir tarım ve çevre için teknolojik değişim öncelikli bir gerekliliktir. Bu değişim ve dönüşüm hem ekonomik büyümeyi destekleyen hem de çevre dostu yenilikçi yaklaşımlar sunar. Yapılacak çevre ve tarım politikaları teknolojik gelişmelerin ve değişimin merkezinde planlandığında sürdürülebilir hedeflere erişmek daha hızlı olacaktır.

Kitabımıza destek ve katkı sunan tüm yazarlarımıza Teşekkürlerimizi sunarız.

Aralık, 2024
Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN
Doç. Dr. Ahmet ÇELİK

BÖLÜM 1
PROTOTİP SERADA HİDROPONİK YETİŞTİRİCİLİKTE
KULLANILAN OTOMASYON SİSTEMLERİNİN
OPTİMİZASYONU

Zir. Müh. Ayşe Gül KARAKOÇ¹

Prof. Dr. Ahmet Konuralp ELİCİN^{1*}

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14503656>

¹Dicle Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye

* *Bu çalışma, Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından ZIRAAT-23.011 numaralı destekle, Yüksek Lisans Tez çalışması olarak gerçekleştirilmiştir.

*Sorumlu Yazar: elicin@dicle.edu.tr

1.GİRİŞ

Otomasyon, bir süreci insan müdahalesine gerek kalmadan, her aşamada yönetip kontrol eden ve geri bildirim sağlayan bir kontrol sistemidir. Bu teknoloji, tarım sektöründe de giderek daha fazla kullanılmaktadır, çünkü zaman, iş gücü ve karlılık açısından büyük avantajlar sunmaktadır. Teknolojinin hızlı gelişimiyle birlikte, tarımda yeni teknolojilerin entegrasyonu artmakta ve bu da üretim süreçlerini daha verimli hale getirmektedir (Boyacı ve Güleç,2011). Özellikle otomasyon sistemlerindeki ilerlemeler, tarım işlerinde verimlilik sağlarken, insanların yaşamını kolaylaştırmakta ve iş gücü ihtiyacını azaltmaktadır. Bu gelişmeler, tarımda daha sürdürülebilir ve karlı üretim yöntemlerinin önünü açmaktadır.

Tarım ve tarımsal üretim, insanların hayatta kalabilmesi için temel bir ihtiyaçtır. Tarımsal üretim sürecinde, özellikle yetiştiricilik aşamasında kullanılan kontrol sistemleri büyük bir öneme sahiptir (Adak ve ark., 2020). Bu sistemler, ürünlerin kalitesini artırarak, verimliliği en üst düzeye çıkarmak ve sınırlı kaynakların etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamak için kritik bir rol oynamaktadır. Modern kontrol sistemleri, tarımda çevresel faktörlerin, su, gübre ve enerji gibi kaynakların verimli bir şekilde yönetilmesine yardımcı olarak daha sürdürülebilir ve karlı üretim yöntemlerinin önünü açmaktadır. Böylece, hem ürün kalitesi hem de üretim miktarı artırılabilir.

Seralar, bitki yetiştirme veya bitki örtüsünü koruma amacıyla tasarlanmış, kapalı veya yarı kapalı alanlardır. Bitki yetiştirmek için özel olarak inşa edilen bu yapılar, çevresel koşulları kontrol etme imkânı sağlamaktadır (Tüzel ve ark., 2020). Sıcaklık, nem oranı ve ışık miktarını optimize etmek amacıyla kullanılan seralar, bitkilerin büyüme süreçlerini hızlandırarak, gelişimlerini daha verimli hale getirmektedir. Ayrıca, bu kontrollü ortamlar, bitkilerin stres faktörlerinden korunmasını sağlamaktadır. Seralar, özellikle soğuk iklimlerde veya kısa üretim mevsimlerinde, üreticilere bitki yetiştirme sürecinde daha fazla kontrol sağlar ve mevsimsel sınırlamaları ortadan kaldırarak, yıl boyu verimli tarım yapılmasına olanak tanımaktadır (Kadalı, 2016).

Artan çevresel kirlilik, tarım sektörünü olumsuz etkileyerek, sağlıksız ve düşük kaliteli ürünlerin üretilmesine neden olmaktadır. Ayrıca, dünya genelinde artan besin maddesi talebi, tarım ürünlerinin ticaretini daha da önemli hale getirmiştir. Bu durum ülkelerin ihracat ve ithalat faaliyetlerini hızlandırmıştır. Türkiye'nin bu küresel pazara etkin bir şekilde katılması,

ekonomik büyüme ve tarımsal sürdürülebilirlik açısından büyük bir fırsat sunmaktadır. Bu hedefe ulaşmak için alınacak önlemlerden biri, Türkiye'nin iklim koşullarına uygun sera işletmelerinin teşvik edilmesidir. Seralar, çevresel faktörlerden bağımsız olarak, kaliteli ve sürekli ürün üretme potansiyeline sahip olup, hem iç pazarda hem de dış ticarete rekabet gücünü artırabilir.

1.1. Otomasyon

Otomasyon, bir sürecin veya işlemin, insan müdahalesi olmadan, önceden belirlenmiş bir plana veya programlamaya göre otomatik olarak yürütülmesidir. Bu sistem, süreçlerin daha hızlı, doğru ve verimli bir şekilde yapılmasını sağlamaktadır. Otomasyon, makinelerin veya yazılımların belirli görevleri üstlenmesiyle, insan gücünün yerini almakta ve daha az hata ile yüksek kaliteli sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Bu teknoloji, endüstriyel üretimden hizmet sektörüne kadar pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Otomasyon, makineler veya bilgisayar sistemleri kullanarak tekrarlayan görevlerin veya işlemlerin daha verimli, hassas ve hızlı bir şekilde yapılmasını sağlayan bir süreçtir. Bu teknoloji, insan müdahalesini minimize ederek, işlemlerin daha az hata ile ve daha tutarlı bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır (Kadalı, 2016). Otomasyon, üretim süreçlerinden hizmet sektörüne kadar pek çok alanda zaman ve maliyet tasarrufu sağlarken, aynı zamanda verimliliği artırmakta ve iş gücünün daha stratejik görevlere odaklanmasına yardımcı olmaktadır.

Sistem içinde meydana gelebilecek arızalar veya hatalar için verilen uyarılar, kullanıcıya müdahale etme imkânı sunmakta ve bu sayede sistemin kontrol edilebilirliğini artırmaktadır. Teknolojinin gelişmesi, sistemdeki değişikliklerin kolayca entegre edilmesine olanak tanırken, bu da sistemin esnekliğini sağlamaktadır. Sera işletmeleri, bazen kişisel nedenlerle sera içindeki üretim verimliliğini etkili bir şekilde kontrol etmekte zorlanabilmektedirler. Ancak, bilgisayar tabanlı sera yönetim sistemleri, işletme sahipleri için önemli bir yenilik sunmaktadır. Bu sistemler sayesinde, sera içindeki sıcaklık, nem, ışık ve diğer çevresel faktörler bilgisayarlar tarafından izlenip kontrol edilebilir hale gelmektedir. Böylece, üretim süreçleri daha verimli, düzenli ve doğru bir şekilde yönetilebilir, verimlilikte artma ve işletme sahiplerinin iş yükü hafiflemektedir (Baytorun ve Gügercin, 2015).

PLC otomasyon sistemi, günümüzde yaygın olarak bilinse de, otomasyonu oluşturan yedi farklı sistem bulunmaktadır (Karaçor ve Keleş, 2007). Bu sistemler, endüstriyel otomasyonun çeşitli alanlarında kullanılarak, süreçlerin daha verimli ve kontrollü bir şekilde yönetilmesini sağlamaktadır. Bu yedi sistem şunlardır:

1. ERP/MES (Enterprise Resource Planning / Manufacturing Execution System): ERP, bir işletmenin kaynaklarını ve süreçlerini entegre bir şekilde yönetirken, MES, üretim süreçlerini izleyen ve kontrol eden bir sistemdir. Bu iki sistem birlikte, üretimden stok yönetimine kadar pek çok alanda veri akışını ve kaynak kullanımını optimize etmektedir.

2. SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition): SCADA, geniş alanlardaki endüstriyel tesislerin ve altyapıların izlenmesi ve kontrol edilmesi için kullanılan bir sistemdir. SCADA, veri toplama, izleme ve sistem kontrolü sağlar, özellikle enerji üretimi, su arıtma ve benzeri büyük tesislerde kullanılmaktadır.

3. DCS (Distributed Control System): DCS, proses kontrol sistemleri için kullanılan bir yapıdır. Bu sistemde, kontrol fonksiyonları merkezi bir birim yerine, dağıtık modüller aracılığıyla yapılır. DCS, genellikle kimya, petrol ve enerji sektörlerinde kullanılmaktadır.

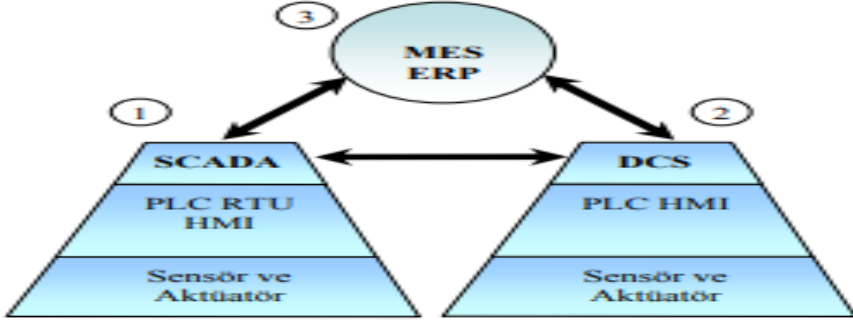
4. PLC (Programmable Logic Controller): PLC, endüstriyel otomasyonun temel bileşenlerinden biridir ve genellikle üretim hattı ve makinelerde kullanılan programlanabilir mantık denetleyicisidir. PLC, makinelerin ve üretim süreçlerinin otomatik kontrolünü sağlamaktadır.

5. RTU (Remote Terminal Unit): RTU, uzaktaki ekipmanlardan veri toplamak ve bu verileri merkezi bir sisteme iletmek için kullanılan cihazlardır. Genellikle SCADA sistemleri ile birlikte çalışarak, uzak bölgelerdeki tesislerin kontrolünü sağlamaktadır.

6. HMI (Human Machine Interface): HMI, kullanıcı ile otomasyon sistemleri arasında etkileşimi sağlayan arayüzdür. HMI, kullanıcıların makineleri ve sistemleri izleyip kontrol etmelerini kolaylaştırır. Genellikle dokunmatik ekranlar veya bilgisayarlar aracılığıyla kullanılmaktadır.

7. Sensör ve Aktüatörler: Sensörler, çevresel koşulları (sıcaklık, basınç, nem vb.) ölçerek otomasyon sistemlerine veri sağlar. Aktüatörler ise bu verilere göre

hareket eder ve sistemdeki mekanik işlemleri gerçekleştirir. Sensörler ve aktüatörler, otomasyon sistemlerinin temel bileşenlerindedir.

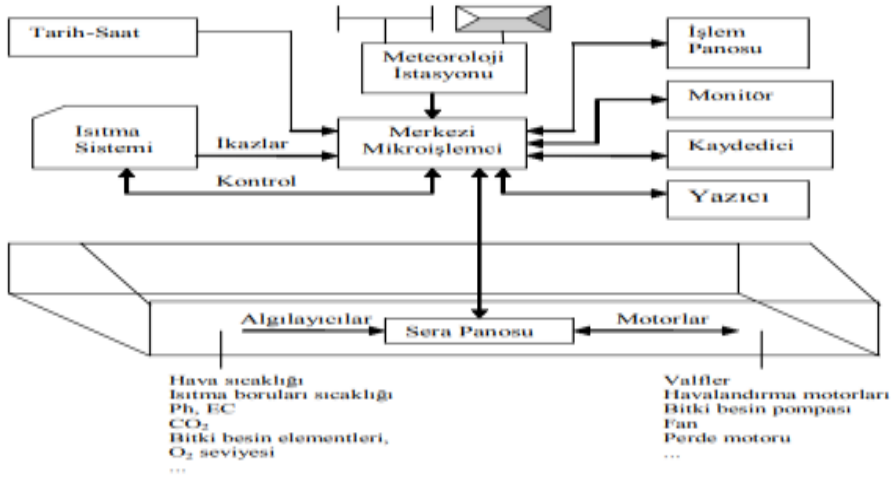


Şekil 1. Otomasyon sistemlerinin bileşenleri

Bu yedi sistem bir arada çalışarak, endüstriyel otomasyon süreçlerinin yönetilmesini ve kontrol edilmesini mümkün kılar (Şekil 1). Her bir sistem, farklı görev ve fonksiyonlara hizmet ederek verimlilik, güvenlik ve esneklik sağlamaktadır (Anonim, 2024).

1.1. Örtüaltı Otomasyon Sistemleri

Sera otomasyonu, seracılık alanında kullanılan otomasyon teknolojilerinin entegre edilerek sera içindeki bitki yetiştirme süreçlerini daha verimli, hassas ve kontrol edilebilir hale getirilmesidir. Bu sistem, bitkilerin sağlıklı bir şekilde büyüebilmesi için gerekli çevresel koşulları sürekli izleyerek gerekli ayarlamaları sağlamaktadır. Böylece, ürün verimi artırılırken kaynaklar daha verimli kullanılmaktadır. Sera otomasyonu, genellikle şu temel özellikleri ve bileşenleri içermektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Bir seradaki otomasyon sistemlerini kontrol eden bilgisayar ünitesi ve çevre birimleri

1.2.1. Çevresel koşulların izlenmesi ve kontrolü

Sera otomasyon sistemleri, sıcaklık, nem, ışık, karbondioksit (CO₂) seviyesi ve toprak nemi gibi çevresel parametreleri sürekli izlemektedir (Sabuncu ve Aydın, 2010; Tokgöz, 2019). Bu parametreler, bitkilerin optimum gelişim koşullarına uygun olarak düzenlenir.

- *Sıcaklık ve Nem Kontrolü:* Isıtma ve soğutma sistemleri ile sıcaklık kontrolü sağlanırken, nem seviyeleri su buharlaştırma sistemleri veya nemlendiricilerle ayarlanmaktadır.

- *Işıklandırma:* Bitkilerin fotosentez yapabilmesi için gerekli olan ışık miktarı kontrol edilmekte ve doğal ışık koşullarına bağlı olarak yapay aydınlatma sistemleri devreye girmektedir.

- *CO₂ Yönetimi:* Bitkilerin büyümesi için gerekli olan karbondioksit seviyeleri, CO₂ tüpleri veya doğal havalandırma ile düzenlenebilmektedir.

1.2.2. Su ve sulama yönetimi

Otomatik sulama sistemleri, bitkilerin su ihtiyacını doğru bir şekilde karşılamak için kullanılan önemli bileşenlerdir. Sera otomasyonu, bitkilerin su gereksinimlerini izler ve buna göre sulama yapar. Sistemi oluşturan parçalar,

- *Damla Sulama:* Su tüketimini minimuma indirirken, bitkilerin köklerine doğrudan su iletimi sağlamaktadır.

- *Toprak Nem Sensörleri:* Toprak nem seviyelerini ölçerek sulama zamanını otomatikleştirmektedir.

- *Gübreleme:* Suyun besin maddeleriyle karışımını sağlayarak, besin çözeltisiyle sulama yapılmasıdır.

Günümüzde su tüketimi hızla artarken, bu tüketimin büyük bir bölümü tarım sektöründe kullanılmaktadır. Ancak, tarımda suyun verimsiz ve bilinçsiz kullanımı, su kaynaklarının tükenmesine ve ekosistemlerin bozulmasına yol açan önemli bir sorun haline gelmiştir. Tarımda suyun aşırı ve yanlış kullanımı, yer altı su seviyelerinin düşmesine, sulama sistemlerinin verimliliğinin düşmesine ve suyun kirlenmesine neden olmaktadır. Bu durum, gelecekte gıda güvenliği ve sürdürülebilir tarım için büyük bir tehdit oluştururken, suyun daha verimli ve bilinçli bir şekilde kullanılması, sulama teknolojilerinin iyileştirilmesi ve su tasarrufu sağlamak amacıyla sürdürülebilir tarım yöntemlerinin uygulanması kritik önem taşımaktadır (Altıkatoğlu ve Işıldak, 2017).

Otomasyonlu sulama sistemlerinde, bitki ve çevresinden toplanan veriler, özel işlemciler ve sensörler aracılığıyla değerlendirilmektedir. Bu veriler, sulama kararlarının alınmasında temel bir rol oynamaktadır (Emekli, 2007). Sistem, bitki ihtiyaçlarını, toprak nemini, hava koşullarını ve suyun mevcut durumunu sürekli izleyerek, elde edilen bilgiler doğrultusunda, sulama işlemleri optimal bir şekilde uygulamaktadır.

Bu sulama sistemlerinin temel amacı, bitki, su ve toprak arasındaki dengeyi korumaktır. Her bir faktörün doğru bir şekilde analiz edilmesi sağlanarak, sulama işlemi, suyun verimli kullanılması ve bitkinin ihtiyaç duyduğu su miktarının karşılanması açısından en verimli şekilde yapılmaktadır. Ayrıca, sistemin hızlı bir şekilde çevresel değişkenlere tepki vermesi sağlanmaktadır (Adak ve ark., 2020). Aniden artan bir sıcaklık veya yağış, sulama gereksinimlerini etkileyebilir ve bu değişiklikler otomatik olarak sistem tarafından algılanarak, sulama miktarı buna göre yeniden ayarlanmaktadır.

Bu şekilde, sulama sadece bitkilerin sağlıklı gelişmesini desteklemekle kalmaz, aynı zamanda suyun tasarruflu ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasına da olanak sağlamaktadır. Sistem, aşırı sulama gibi israfı

engelleyerek çevresel etkileri azaltarak kaynakların daha verimli kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

1.2.3. Veri izleme ve yönetim sistemleri

Sera otomasyonu, modern sensörler, veri toplama birimleri ve kontrol sistemleriyle donatılmıştır. Bu sayede çevresel veriler merkezi bir sistemde toplanıp ve analiz edilmektedir. Bu veriler üzerinden:

- *HMI (Human Machine Interface)*: Kullanıcılar, ekranlar veya dokunmatik paneller aracılığıyla sistemi izlemekte ve kontrol edebilmektedir.

- *Veri Kaydı ve Raporlama*: Bitki gelişimi ve çevresel koşullar hakkında raporlar oluşturulurularak saklanmakta ve gelecekteki kararlar için kullanılmaktadır.

1.2.4. İklim kontrol sistemleri

İklim koşullarının sürekli olarak izlenmesi ve ayarlanması, sera verimliliğini artıran bir diğer önemli özelliktir. Bu sistemler:

Isı Yalıtım ve Havalandırma Sistemleri: Sera içindeki hava sirkülasyonu sağlanarak, sıcaklık kontrolü yapılmaktadır.

Otomatik Panjur ve Cam Açma/Kapama Sistemleri: İhtiyaca göre sera pencereleri açılarak, doğal havalandırma sağlanmakta veya kapatılarak içeriye daha fazla ışık girmesi ve sıcaklık artışı sağlanmaktadır.

Seralarda ısıtma sistemi, seranın içindeki sıcaklık dengesini sağlamak ve bitkilerin sağlıklı bir şekilde büyümesi için gerekli olan uygun ortamı yaratmak amacıyla kullanılan önemli bir teknolojidir. Sıcaklık, bitki büyümesi ve gelişimi için kritik bir faktördür (Baytorun ve ark. 2013). Her bitkinin farklı sıcaklık gereksinimleri vardır. Bu gereksinimleri karşılamak için sera içindeki sıcaklığın doğru bir şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir.

Seralar, doğal iklim koşullarından etkilenebilen yapılar olduğundan, dış hava koşullarındaki ani değişiklikler (örneğin soğuk hava dalgaları veya aşırı sıcak günler) serada bitkilerin gelişimini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu nedenle, ısıtma sistemi, seranın iç sıcaklığını belirli bir aralıkta tutarak, bitkilerin ihtiyaç duyduğu sabit ve kontrollü sıcaklık koşullarını sağlamaktadır (Yılmaz ve Doğan, 2016). Sıcaklık kontrolü, serada kullanılan ısıtma sistemleri, ortam sıcaklığını belirli bir seviyede tutarak, soğuk havalarda

bitkilerin donmasını engellemekte ve sıcak havalarda ise aşırı ısınmayı önlemektedir (Akyüz ve ark., 2017). İleri düzey sera sistemlerinde, yer altı ısıtma, hava üfleyicili ısıtma sistemleri veya sıvı ısıtma sistemleri (örneğin sıcak su boru hatları) gibi çeşitli ısıtma yöntemleri kullanıldığı görülmektedir. Otomasyonlu ısıtma sistemlerinde ise sıcaklık sensörleri sayesinde ortamın sıcaklık değeri sürekli izlenmekte ve ihtiyaç duyulduğunda ısıtma cihazları devreye girerek enerji verimliliğine katkı sağlamaktadır.

1.2.5. Havalandırma sistemleri

Seralarda havalandırma sistemi, seranın içindeki hava ile dışarıdaki hava arasındaki değişimi sağlayarak bitkilerin sağlıklı bir şekilde büyümesine yardımcı olmaktadır (Alpay, 2018). İyi bir havalandırma sistemi, seranın iç ortamındaki sıcaklık, nem ve hava kalitesi gibi faktörleri düzenler. Bu, bitkilerin verimli bir şekilde gelişebilmesi için kritik bir öneme sahiptir. Çünkü seralarda, özellikle kapalı ortamda hızla ısınabilir ve hava kalitesi hızla bozulabilir. Ayrıca, seralarda yüksek nem seviyeleri ve karbondioksit (CO₂) birikimi, bitkilerin sağlığını olumsuz etkileyebilmektedir. İyi tasarlanmış bir havalandırma sistemi, hem iç hava akışını iyileştirmekte hem de seranın verimli bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır.

Seralarda kullanılan havalandırma sistemleri, bitkilerin sağlıklı büyümesi ve gelişmesi için sıcaklık, nem ve hava kalitesinin optimal düzeyde tutulmasını sağlar. Bu sistemler, seraların iç ortam koşullarını sürekli izleyerek, bitkilerin ihtiyaç duyduğu taze havayı, uygun sıcaklık ve nemi sağlayarak verimliliği artırmaya yardımcı olur. Özellikle otomasyon teknolojilerinin entegrasyonu ile, havalandırma sistemleri daha hassas bir şekilde kontrol edilebilir ve enerji verimliliği sağlanabilir.

1.2.6. Gölgeleme sistemi

Seralarda gölgeleme sistemleri seraların içindeki sıcaklık, nem, ışık seviyeleri ve bitkilerin sağlıklı gelişimi için gerekli koşulları düzenlemeye yönelik kullanılan bir kontrol sistemidir. Bu sistemler, özellikle yaz aylarında aşırı sıcaklıkların ve yoğun güneş ışığının bitkilere zarar vermesini engellemek amacıyla seranın üzerine veya iç kısmına yerleştirilen gölgeleme malzemeleri ile çalışır (Yılmaz, 2017). Gölgeleme sistemi, seradaki iklim koşullarını iyileştirerek, bitkilerin büyüme süreçlerini daha sağlıklı hale getirir ve verimliliği artırır. Güneş ışığı, seralarda hızlı bir şekilde ısınmaya yol açabilir. Aşırı ısınma, özellikle hassas bitkilerde stres yaratmakta, bu da büyümeyi olumsuz etkileyerek verim kaybına yol açmaktadır (Ciğer, 2010). Gölgeleme

sistemi, seranın içindeki sıcaklık seviyesini kontrol altına alırken seranda istenilen sıcaklık aralığının korunmasına yardımcı olmaktadır. Bitkiler fotosentez yapabilmek için ışığa ihtiyaç duyar, ancak fazla güneş ışığı da gelişmelerini engellemektedir. Gölgeleme sistemi, ışık seviyelerini düzenleyerek bitkilerin en verimli şekilde fotosentez yapmalarını sağlamaktadır. Bu, özellikle yüksek sıcaklıkların olduğu bölgelerde bitkilerin sağlıklı gelişimini desteklemektedir. Bununla birlikte güneş ışığı, serada nemin hızla buharlaşmasına yol açabilir. Gölgeleme, nem kaybını azaltıp ve nem seviyesini dengeleyerek bitkilerin su ihtiyacını daha verimli bir şekilde karşılamalarını sağlamaktadır. Bu da sulama maliyetlerini düşürmektedir. Gölgeleme sistemleri, özellikle güneşli günlerde sera içindeki sıcaklığı düşürerek seranın soğutma ihtiyacını azaltmaktadır. Bu da enerji tüketimini ve işletme maliyetlerini düşürmektedir. Seralarda bitkiler doğru ışık koşullarında gelişmelerinde daha sağlıklı ve verimli olmaktadır. Gölgeleme, bitkilerin aşırı sıcaklık veya ışık nedeniyle zarar görmesini engeller daha kaliteli ve yüksek verimli ürünler elde edilmesini sağlamaktadır.

Seralarda genellikle elle açılıp kapanabilen gölgeleme perdeleri veya branda sistemleri ile yapılmaktadır. Üreticiler, belirli bir süre boyunca ışığın yoğunluğuna göre bu sistemleri manuel olarak ayarlamaktadır. Bu sistemler sürekli takip edilmesi gerektirdiğinden daha az verimlidir Otomatik gölgeleme sistemleri, sensörler ve otomatik kontrol panelleri aracılığıyla çalışmaktadır. Güneş ışığı seviyesine, sıcaklığa ve nem oranına göre gölgeleme sistemleri otomatik olarak devreye girmektedir. Bu tür sistemler daha verimlidir ve üreticiye zaman kazandırmaktadır.

Sera içinde veya üzerine gerilen gölgeleme branda veya perde sistemleri, güneş ışığını azaltarak sera içindeki ışık miktarını kontrol etmektedir. Gölgeleme malzemeleri genellikle alüminyum kaplamalı kumaşlar, çift katmanlı kumaşlar veya ağlar şeklinde olabilir. Bu malzemeler, ışığı %30 ile %70 oranında kesebilen özelliktedir.

Naylon ve polyester ağlar, genellikle seraların dış kısmında kullanılmaktadır. Çeşitli kalınlıklarda ve renklerde mevcuttur ve farklı ışık seviyelerini geçirebilmektedir. Bu ağlar, güneş ışığını doğrudan engellemeyip, ışığın yayılmasını sağlar, böylece bitkiler aşırı sıcaklık ve doğrudan güneş ışığına maruz kalmadan ihtiyaç duydukları ışığı alabilmektedir. Hafif renkli gölgeleme malzemeleri, farklı türdeki bitkilerin ihtiyaç duyduğu ışık

spektrumunu sağlamak için kullanılmaktadır (Emekli, 2007). Özellikle gri, beyaz veya yeşil renkli malzemeler, güneş ışığını farklı oranlarda kırarak bitkilerin fotosentez için ihtiyaç duydukları ışık yoğunluğunu optimize etmektedir.

1.2.7. Gübreleme ve besin yönetimi

Seralarda gübreleme sistemleri bitkilerin sağlıklı büyüebilmesi ve yüksek verim elde edebilmesi için kritik öneme sahiptir. Bu sistemler, bitkilerin ihtiyaç duyduğu besin maddelerini düzenli ve doğru bir şekilde sağlamaktadır. Seralarda gübreleme genellikle manuel olarak yapıldığı gibi, modern otomasyon sistemleri ile de daha verimli ve hassas bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Otomasyonlu sistemler, gübreleme sürecini daha verimli hale getirerek, insan hatalarını ortadan kaldırmakta ve kaynakların daha etkin kullanılmasını sağlamaktadır.

Otomasyonlu gübreleme sistemlerinde, bitkilerin ihtiyaç duyduğu besin maddeleri ve su miktarı sensörler aracılığıyla sürekli olarak izlenmektedir. Toprak nemi, sıcaklık, pH seviyesi ve besin maddeleri gibi faktörler göz önünde bulundurularak gübre ve su ihtiyacı belirlenmektedir. Bu veriler doğrultusunda, sistem otomatik olarak doğru miktarda gübreyi suya karıştırarak bitkilere iletmektedir. Her bitki türü, farklı miktarda gübre ve suya ihtiyaç duymaktadır. Otomatik gübreleme sistemleri, bitki türünü ve gelişim aşamalarını dikkate alarak gübreleme sürecini özelleştirmektedir. Kimyasal gübreler, bitkilerin büyümesini hızlandırabilir, ancak aşırı kullanımı çevresel sorunlara da yol açmaktadır. Otomatik gübreleme sistemleri, bu tür gübrelerin kullanımını minimize etmekte ve her bitkinin ihtiyacı kadar besin maddesi sağlamaktadır. Gübreleme sistemleri, bitkinin suya ve besin maddelerine ihtiyaç duyduğu zamanları belirlemek için otomatik zamanlama kullanmaktadır. Bu, gübreleme işlemlerinin aşırıya kaçmasını önlemekte ve bitkilerin sürekli olarak besin maddelerine ulaşmasını sağlamaktadır. Gübreleme sıklığı ve süresi, bitkilerin gelişim aşamalarına göre ayarlanabilmektedir. Bununla birlikte otomatik gübreleme sistemlerinde, fertigasyon adı verilen yöntemlerde kullanabilmektedir. Bu yöntemde, gübreler bitkilere sulama suyu ile birlikte verilerek besin maddelerinin bitkiye daha hızlı ve etkili bir şekilde ulaşması sağlamaktadır. Fertigasyon, özellikle hidroponik sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Modern otomatik gübreleme sistemleri, sürekli olarak veri toplama ve işleme işlevini yerine getirmektedir. Bu sayede gübre miktarı, sulama süresi, pH seviyesi gibi parametreler uzaktan izlenebilmekte ve gerektiğinde ayarlamalar yapılabilmektedir. Böylece sistemin verimliliği ve bitkilerin sağlığı sürekli olarak izlenebilmektedir (Üye ve Durmuşoğlu, 2016). Otomatik gübreleme sistemleri, seralarda bitkilerin ihtiyaçlarına göre besin maddelerinin hassas bir şekilde sağlanmasını ve verimli bir üretim sürecinin sürdürülmesini sağlamaktadır. Bu sistemlerin kullanımı, tarımda verimliliği artırmak, kaynakları verimli kullanmak ve çevresel etkileri azaltmak açısından büyük önem taşımaktadır. Hem bitkiler için hem de üreticiler için uzun vadeli faydalar sağlayan bu sistemler, modern tarımın olmazsa olmazlarından biridir.

1.2.9. Uyarı sistemleri

Sera otomasyon sistemleri, çevresel parametrelerin belirli bir eşiği aştığı durumlarda, kullanıcıyı uyarın sistemlere sahiptir. Bu, olası arızaların veya anormalliklerin erken tespit edilmesini sağlamaktadır. Uyarı sistemleri, sera otomasyon sistemlerinin doğru çalışmasını sağlamak ve ortaya çıkabilecek sorunları anında tespit etmek amacıyla kritik bir öneme sahiptir.

Sistem arızaları (örneğin, sulama sisteminin bozulması, sıcaklık regülatörünün çalışmaması vb.) tespit edildiğinde alarm devreye girmektedir. Alarm sistemi, kullanıcıya sesli uyarılar, görsel bildirimler veya mobil/uzak erişimle bildirim göndererek, olası hasarları engellemeye çalışmaktadır. Sistem arızalarının bitkilere zarar vermemesi için alarm, hızlı bir şekilde içeriye müdahale yapılmasını sağlar. Örneğin, aşırı sıcaklık veya nem seviyeleri alarm vererek, bitkilerin strese girmesini engellemektedir. Alarm sistemi, sadece teknik aksaklıkları değil, aynı zamanda güvenlik tehditlerini de izlemektedir. Sisteme kontrolsüz girişlerin olması durumunda alarm devreye girerek, olası hırsızlık veya zarar verme durumlarına karşı güvenlik sağlamaktadır. Bu tür sistemler, seradaki çevresel koşullara, ekipmanlara ve ürünlere zarar verebilecek her türlü tehlikeye karşı da uyarı vermektedir. Alarm sistemleri, meydana gelen arıza veya olağanüstü durumları kayıt altına da almaktadır. Böylece, geçmişteki hatalar veya sistem aksaklıkları izlenebilmekte ve sorunların tekrarlanmaması için çözüm üretilmektedir. Ayrıca, alarm sisteminin kaydettiği veriler, bakım ve onarım gereksinimlerinin belirlenmesi için de faydalıdır. İleri düzey alarm sistemlerinde, kullanıcılar uzaktan erişim ile sistemin durumunu izleyebilmekte ve gerekiyorsa müdahalelerde

bulunabilmektedir. Bu, özellikle büyük seracılık işletmeleri için oldukça faydalıdır.

1.2.9. Otomatik Ürün Toplama ve Dağıtım Sistemleri

Bazı ileri düzey sera otomasyon sistemlerinde, ürünlerin olgunlaşması ve toplanması da otomatik hale getirilebilir. Bunun yanı sıra, ürünlerin depolama ve dağıtım süreçleri de otomatik olarak yönetilebilir. Sera otomasyonunun temel bileşenleri, bitki üretimini daha kontrollü, sürdürülebilir ve verimli hale getirirken, çevresel faktörlerin etkisini minimize etmektedir. Bu sistemler, üretim sürecinde insan müdahalesini azaltarak, hata risklerini ortadan kaldırır ve sera içindeki tüm koşulların optimum düzeyde tutulmasını sağlamaktadır.

1.2. Hidroponik Sistemler

Hidroponik tarım, bitkilerin toprak yerine su içinde yetiştirilmesi yöntemidir. Bu sistemde, bitkiler suyun içindeki besin maddelerini doğrudan almakta ve toprakta olduğu gibi kökler aracılığıyla besin alımı sağlanmaktadır (Kürklü ve Çağlayan, 2005). Hidroponik tarım, modern tarım yöntemlerinin en önemli ve yenilikçi uygulamalarından biridir. Özellikle verimli toprakların azalması, su kaynaklarının kısıtlı olması ve iklim değişikliklerinin etkileriyle giderek daha fazla tercih edilmektedir.

Hidroponik sistemler, tarımda sürdürülebilirliği sağlamak ve çevresel faktörlere bağlı verimlilik kayıplarını engellemek amacıyla geleceğin tarım yöntemlerinden biri olarak öne çıkmaktadır (Önder ve Baytorun, 2016). Verimli su kullanımı, daha hızlı büyüme, kaliteli ürün elde etme gibi avantajlarıyla, hidroponik tarım dünya çapında hızla yayılmaktadır. Ancak, her sistemin kendine özgü gereksinimleri ve bakım ihtiyaçları olduğundan, uygulama aşamasında dikkat edilmesi gereken faktörler bulunmaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Çalışmada, Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Laboratuvarı'nda marul yetiştiriciliği için bir prototip borulu hidroponik sistem kurulmuştur. Bu sistemde, 75 mm çapında ve 1 metre uzunluğunda 6 adet PVC boru kullanılmıştır. Borular üzerine, çapları 50 mm

olan 26 adet delik açılarak şaşırtmalı şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 3). Marul fideleri, pomza taşı yardımıyla yetiştirme sepetlerine dikilmiştir.



Şekil 3. Çalışma materyalleri

Sistemin kontrolü, açık kaynaklı yazılım ve kodlar ile yapılmış, böylece sistemin düzgün çalışması sağlanmıştır. Çalışmada kullanılan bitki türü ise Antalya Bölgesi'nden temin edilen Caipira (Yeşil kıvrıkcık marul) çeşidi olmuştur.

Hidroponik sistem, geleneksel topraklı tarım yöntemlerine kıyasla su ve alan tasarrufu sağlarken, marul gibi hızlı büyüyen bitkilerin verimli bir şekilde yetişmesini mümkün kılar. Sistemde kullanılan açık kaynak yazılımlar ise, kontrol sistemlerinin daha esnek ve geliştirilebilir olmasını sağlamıştır.

2.2. Yöntem

Bu sistemde, üretim sürecinin tamamen otomatikleştirilmesi ve herhangi bir insan müdahalesi gerektirmemesi hedeflenmiştir. Sistemin temel bileşenleri ve çalışma prensipleri, aşağıdaki gibi özetlenebilir:

2.2.1. Su dolaşım sistemi

Gübreli suyun saatte 15 dakika boyunca dolaşması hedeflenmiştir. Bu süre, suyun düzgün bir şekilde bitkilere ulaşmasını ve yeterli besin sağlanmasını temin eder. Bu süre zarfında dolaşım sağlayan suyun debisi sürekli olarak izlenmiştir. Şekil 4'de sistemde kullanılan debi ölçer görülmektedir.



Şekil 4. Akış sensörü

2.2.2. Bitki büyütme lambaları

Lambaların açık kalma süresi saatte 45 dakika olarak planlanmıştır. Bu, bitkilerin ihtiyaç duyduğu ışık süresini karşılamak için optimize edilmiştir (Şekil 5). Lambaların yüksek ısı ürettiği için, lambalar açıkken fanların da çalışması gerekmektedir. Fanlar, lambaların ürettiği ısının bitkilere zarar vermemesi için ayrıca ortamın da havalandırılması sağlanmıştır.



Şekil 5. Bitki büyütme lambası

2.2.3. pH ve EC (Elektriksel İletkenlik) kontrolü

pH ve EC sensörlerinden, dakikada bir adet veri alınarak sistemin bu parametrelerdeki sapmalar izlenmektedir (Şekil 6). Eğer pH ve EC değerleri %5'lik bir sapma gösterirse, motor sürücüler devreye giremekte ve pompalardan gübre solüsyonu pompalanarak pH ve EC dengelenmektedir. Bu işlem, her bir sapma için 10 saniye süresince gerçekleştirilmektedir.



Şekil 6. pH sensörü

2.2.4. Bitki izleme sistemi (LDR sensörleri)

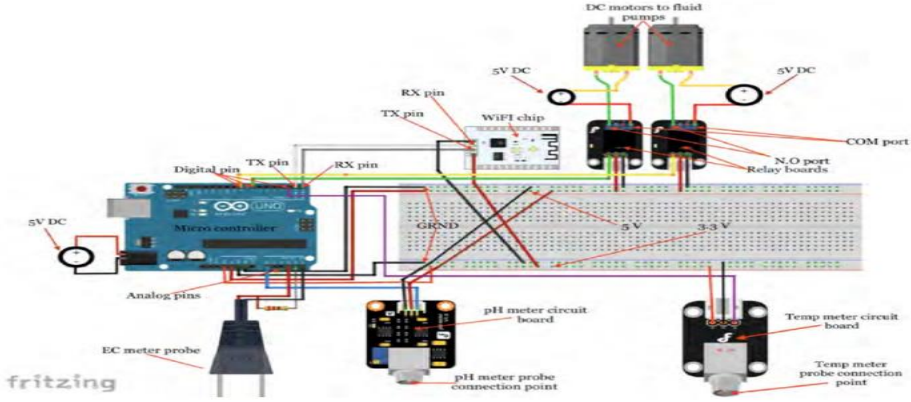
Her bir bitki için bir LDR (Light dependent resistor) sensörü yerleştirilmiştir (Şekil 7). Bu sensörler, bitkilerin çevresindeki ışık miktarını izlemekte ve dakikada bir veri göndermektedir. Bu sensörler sayesinde, bitkilerin ışık alım durumu ve ortam ışık koşulları hakkında sürekli veri toplanmaktadır.



Şekil 7. LDR sensörü

2.2.5. Sistemin kalibrasyonu ve bağlantı şeması

Tüm sistem bileşenleri, laboratuvarında bulunan ölçü aletleriyle kalibre edilmiştir. Kalibrasyon, sistemin doğru ve hassas ölçümler yapmasını sağlamıştır. Sistemde kullanılan donanım bileşenlerinin şematik gösterimi ve bağlantı şeması Şekil 8’de gösterilmektedir. Bu şema, sistemin tüm bileşenlerinin nasıl bağlandığını ve birbirleriyle nasıl etkileşimde bulduklarını göstermektedir.



Şekil 8. Sistemin bağlantı şeması

Sistem, tüm bu parametreleri (su dolaşımı, ışık, sıcaklık, pH, EC ve ışık sensörleri) izleyerek ve gerektiğinde müdahalelerde bulunarak, bitkilerin ideal büyüme koşullarını sağlamayı amaçlamaktadır. Bu otomatik kontrol mekanizması, üreticinin herhangi bir müdahalesine gerek kalmadan marul üretimini sürdürmeyi mümkün kılmaktadır (Şekil 9).



Şekil 9. Sistemin görünümü

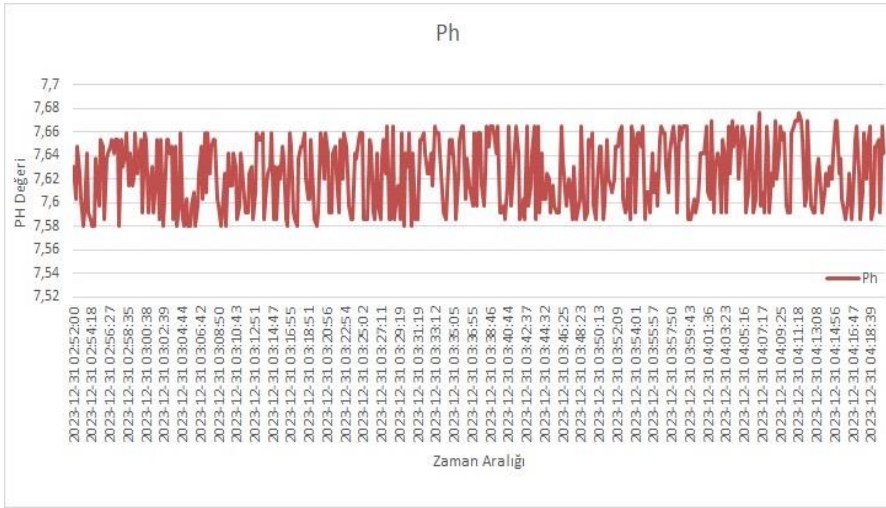
3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu tasarım, tamamen otomatikleştirilmiş bir hidroponik sistemin temel bileşenlerini içermekte olup, tüm parametrelerin izlenmesi ve denetlenmesiyle bitkilerin sağlıklı bir şekilde büyümesini hedeflememiştir. Sistem, verimli su

kullanımı ve bitki sağlığına odaklanarak, tarımsal üretimi optimize etmeyi amaçlamıştır. Bu amaçla sistemde bitkilerin sağlıklı büyümeleri için gerekli pH, EC, ortam nemi, ortam sıcaklığı, ortam CO₂ değerleri ve sistemde dolaşan suyun sıcaklık değerleri sürekli izlenmiş ve Raspberry PI 5 anakart kullanılarak açık kaynak kodlarla yazılan program sayesinde motor sürücülerini ile sistem sürekli kumanda edilmiştir.

3.1. pH Değerleri

Yapılan tez çalışmasının temel amacı, kurulan prototip sistemden alınan verilere dayanarak, pH ve EC değerlerini istenilen seviyelerde tutmak için otomatik müdahaleler yapmaktır. Bu amaç doğrultusunda geliştirilen sistemin çalışma prensibi, bitkilerin gelişim evrelerine göre pH ve EC değerlerinin dengeye getirilmesi üzerine odaklanmıştır. Şekil 10'da belirli bir zamana aralığında pH değerlerindeki değişimler ve sistem tarafından yapılan müdahaleler görülmektedir.



Şekil 10. Belirli zaman aralığında pH değerlerindeki değişim

Sistem, pH değerlerini her 20 saniyede bir ölçerek kayıt altına almaktadır. Bu sürekli izleme, sistemin pH seviyelerindeki değişiklikleri anlık olarak takip etmesine olanak tanımıştır. Bu veriler, pH seviyelerinin istenilen aralıkta olup olmadığını değerlendirmek için kullanılmıştır.

Bitkilerin gelişim evreleri dikkate alınarak, her evre için ideal pH ve EC değerleri yapılan literatür çalışmalarına göre önceden sisteme tanıtılmış ve olması gereken sınır değerleri belirlenmiştir. Bu değerler, sistemin otomatik

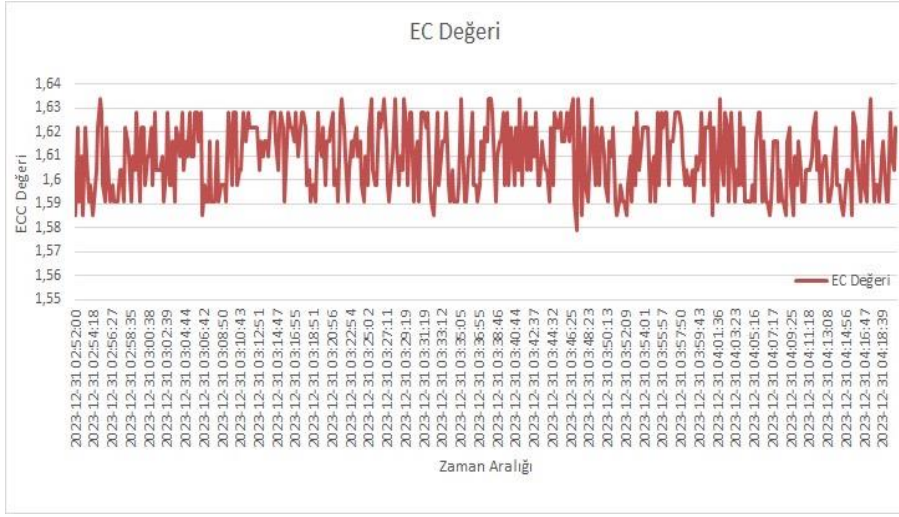
olarak ulaşması gereken hedeflerdir. Eğer pH değeri belirlenen hedef aralığın dışına çıkarsa, sistem bu durumu düzeltmek için devreye girmektedir. pH dengesinin sağlanması için, azot (N), fosfor (P), potasyum (K) ve diğer gübre bileşenlerinin bulunduğu depolardan pompalara motor sürücüler üzerinden komutlar verilmiştir. Pompalar, gübre solüsyonu eklemek için devreye girmiştir. pH düzeltme işlemi sırasında pompalar 10 saniye süreyle çalışması için programlanmıştır. Bu süre, gübre solüsyonunun suya karışması ve pH'ı etkili bir şekilde dengelemesi için yeterlidir. Sistem pH'ı dengelemek için gerekli gübre miktarı, sistem dengeleninceye kadar kesikli bir şekilde sağlamaktadır.

Pompa çalışma süresi sonrasında, 5 dakika boyunca yeni pH ölçümleri yapılmamış ve suyun dolaşması beklenmiştir. Bu bekleme süresi, sistemdeki suyun karışarak doğru pH seviyesine ulaşmasını sağlar. 5 dakikalık bu bekleme süresi sonunda, pH değeri hala hedef aralığın dışındaysa, pompa tekrar çalışmaktadır. Sistem, sürekli olarak pH değerlerini izlemekte ve bu değerlerin belirtilen sınırları aşmaması için otomatik olarak müdahale etmektedir. Pompa mekanizması ve su dolaşım sistemi arasındaki etkileşim sayesinde, pH değerinin stabilize olması sağlanmıştır.

Bitkilerin farklı gelişim evrelerinde farklı gübre karışımları kullanılması gerekmiştir. Bu nedenle, gübre solüsyonu pompalama işlemi sırasında, her bitki evresine uygun özelleştirilmiş gübre karışımları sisteme eklenmiştir. Bu sayede, bitkilerin her aşamada ihtiyaç duyduğu besin maddeleri sağlanmıştır.

3.2. EC (Elektrik iletkenliği) Değerleri

Sistemin çalışması sırasında sensörler, EC (Elektriksel İletkenlik) miktarındaki değişimleri algılamış ve bu değerleri pH değeri ile ilişkilendirerek bitkilerin kullandıkları gübre miktarlarını belirlemiştir. Elde edilen verilere karşılık, EC ve pH değerleri sabit hale gelene kadar pompalar, gerekli bitki besin elementlerini sisteme göndermiştir (Şekil 11).

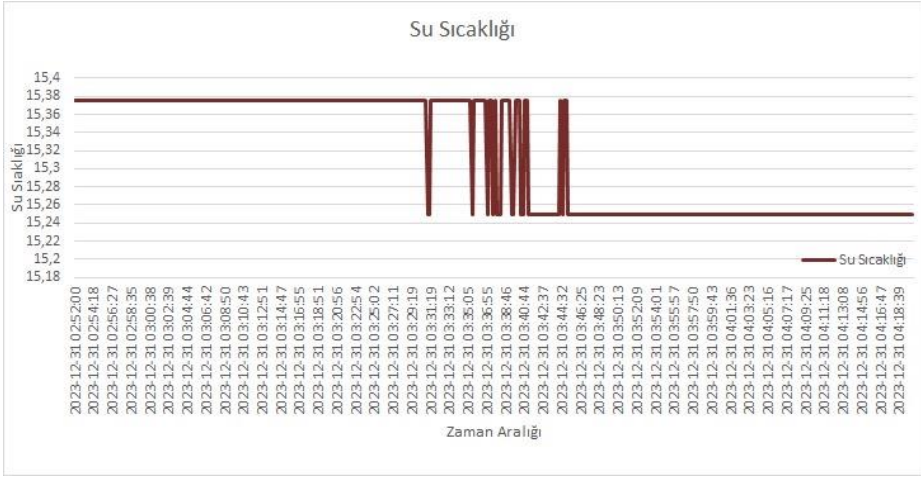


Şekil 11. Belirli bir zaman aralığında EC değerlerindeki değişim

Sistemin EC değerlerinin istenilen aralıktta dengelenebilmesi için, besin elementlerine ait pompalar 10 saniye boyunca çalıştırılmakta, ardından pompaların kapanmasından 5 dakika sonra yeni ölçümlere göre pompalar tekrar devreye alınmaktadır. Aynı pH kontrolünde olduğu gibi, bu süre zarfında suyun dolaşması sağlanmıştır. Sistem önce pH'ı dengelemekte ve sonra EC değerlerini mukayese ederek EC dengelemesi yapmaktadır. Böylelikle sistemde pH ve EC sürekli istenilen aralıklarda tutulmuştur.

3.3. Su Sıcaklık Değerleri

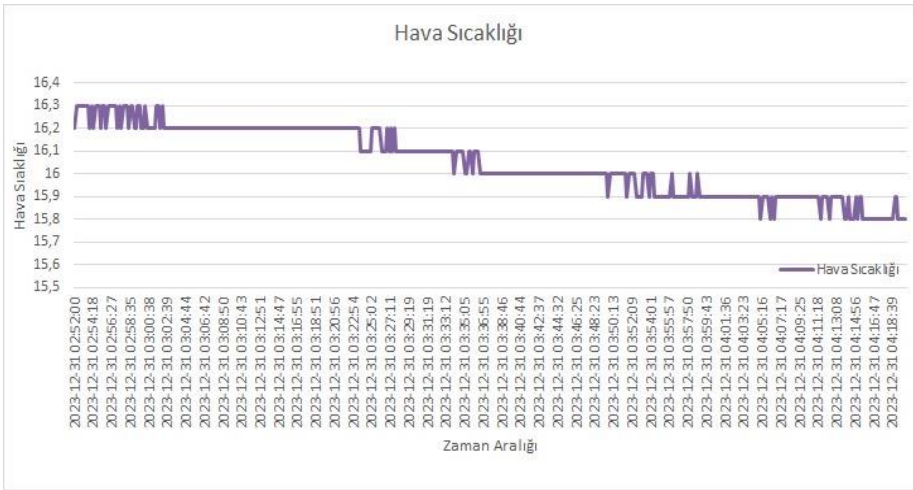
Sistemin çalışması sırasında sıvı sıcaklık sensörü, su sıcaklıklarındaki değişimleri algılamış ve buna bağlı olarak sistemde kullanılan dalgıç tip ısıtıcıyı devreye sokmuştur. Bitkilerin kök bölgesinin gelişmesi için sistemde dolaşan suyun sıcaklığı büyük önem taşımaktadır. Isıtma sistemi, otomasyon ve kontrol sistemleriyle entegre bir şekilde çalışarak, hedeflenen sıcaklık aralığına ulaşılması için ısıtıcıyı açmış ve kapatmıştır (Şekil 12). Deneme sırasında veriler her 2 saniyede bir alınarak kaydedilmiş ve gerekli müdahaleler yapılmıştır.



Şekil 12. Belirli bir zaman aralığında su sıcaklık değerlerindeki değişim

3.4. Ortam Sıcaklık Değerleri

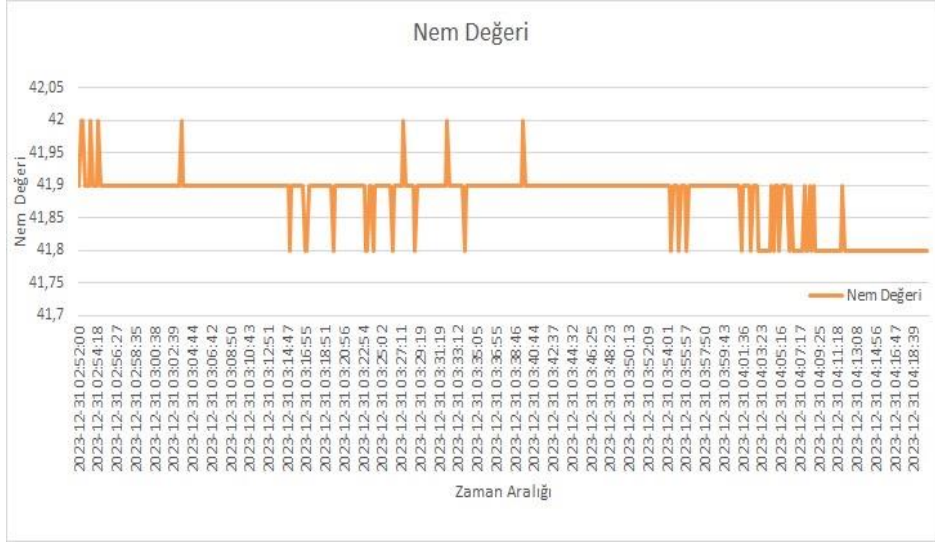
Sistemin çalışması sırasında, hava sıcaklık sensörü her 2 saniyede bir hava sıcaklığı verilerini algılamıştır. Veriler, istenilen değerlerin dışına çıktığında, ortam sıcaklıklarını kontrol altına almak için fanlar devreye girmiş ve bitki büyütme lambalarının çalışması durdurulmuştur. Bu sayede ortam sıcaklıkları düzenlenmiştir. Sistem, verileri dakikada bir kez olacak şekilde kaydetmiştir (Şekil 13).



Şekil 13. Belirli bir zaman aralığında ortam sıcaklık değerlerindeki değişim

3.5. Ortam Nem Değerleri

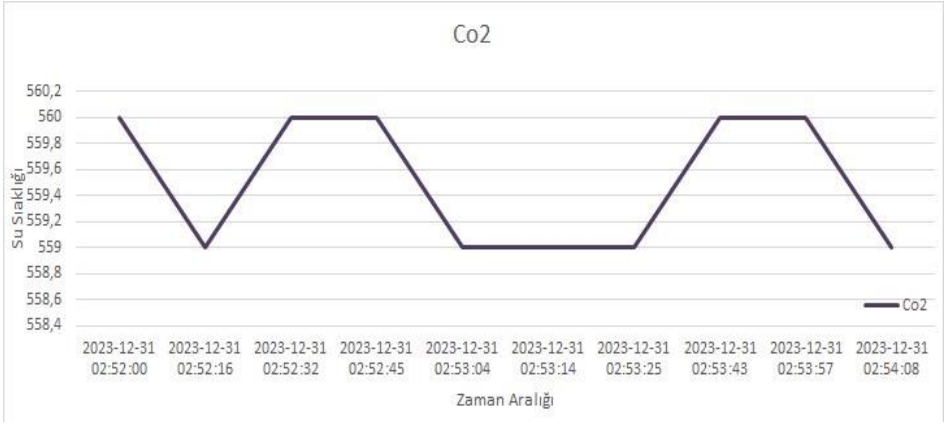
Sistemin çalışması sırasında, nem sensörü her 2 saniyede bir nem verilerini algılamıştır. Verilerin istenilen değerlerin dışına çıkması durumunda, ortam havalandırılarak ve fanlar çalıştırılarak nem seviyelerinin hedeflenen bitki yetiştirme koşullarına ulaşması sağlanmıştır (Şekil 14).



Şekil 14. Belirli bir zaman aralığında ortamın nem değerlerindeki değişim

3.6. Ortam CO₂ Değerleri

Sistemin çalışması sırasında, CO₂ sensörü her 16 saniyede bir ölçüm yapmıştır. CO₂ seviyeleri istenilen değerlerin dışına çıktığında, ortam havalandırılarak ve fanlar çalıştırılarak CO₂ düzeylerinin hedeflenen bitki yetiştirme koşullarına ulaşması sağlanmıştır. Şekil 15'de belirli bir zaman aralığında CO₂ degerlerindeki değişim görülmektedir.



Şekil 15. Belirli bir zaman aralığında ortam CO₂ değerlerindeki değişim

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından ZIRAAT.23.011 numaralı destekle, Yüksek Lisans Tez çalışması olarak gerçekleştirilmiştir. Tüm elektronik devre elemanları, kartlar, mikroişlemciler, motor sürücüler, sensörler vb. elektronik malzemeler temin edilerek sistem tam otomasyonlu hale getirilmiştir. Sistemin çalışması için açık kaynak kodlar kullanılarak modüler küçük yazılımlar yazılmıştır. Sistemde kaydedilen çok fazla sayıda veri vardır. Ancak sonuçlarda belli tarihlerde belli değerlere yer verilmiştir. Sistem istenilen tüm iklim senaryolarına göre çalıştırılmış ve tam zamanlı kontroller sağlanmıştır. Tasarlanılan sistemle aşağıda belirtilen tüm hedeflere ulaşılmıştır.

- Kolay kurulabilir, esnek yapılı, bilgisayar programının kolay kullanılabilir olmasının yanında, uygulanabilir ve maliyetinin düşük olması sağlanmıştır.
- Sıcaklık, bağıl nem vb. çevresel faktörler, bilgisayar kontrollü olarak düzenlenerek, her türlü sera kontrol sistemine uyum gösterecek donanım ve yazılımla tasarlanmıştır.
- Sistemin tek bir sera ya da sera içerisinde tek bir ürün çeşidi için değil, sera içerisindeki tüm ürünlerin değişmesi halinde bile sistemin yeniden ayarlanmasıyla yeni ürünlere adaptasyon yapılabilmesi sağlanmıştır.
- Sistemin ilk kurulduğu şekliyle değil, gelecekte yapılacak iyileştirmelerde de sorunsuz bir şekilde uyum gösterebilmesi sağlanmıştır.
- Sisteminin uzaktan yönetilmesi için gerekli veri tabanları hazırlanmış, dünyanın her hangi bir yerinden sisteme bağlanılarak sistemin anlık değişim bilgilerine erişilebilmesi alt yapısı hazırlanmıştır.

- İşletme ve işçi maliyetlerinin düşürülmesi sağlanmıştır.
- Ürün veriminin ve bitki kalitesinin artırılması optimum düzeyde sağlanmıştır.
- Bitkinin uygun yaşam ve fotosentez koşulları altında tutulması sağlanmıştır.
- Üretimde süreklilik sağlanmıştır.
- Bitki ihtiyaçlarının, kontrol elemanları tarafından hızlıca saptanması ve müdahale edilmesi sağlanmıştır.
- Dışarıdan bir müdahale olmaksızın sistemin kendi kendini yönlendirebilmesi sağlanmıştır.
- İşletme durumunda sistemin kararlı çalışmasının sağlanması sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Adak, N., Yavuzlar, E. E., Karadal, S., & Durmaz, B. (2020). Topraksız çilek yetiştiriciliğinde mikoriza ve yetiştirme ortamı hacminin bitki gelişimi üzerine etkileri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 35(3), 292-300.
- Akyüz, A., Baytorun, A. N., Çaylı, A., Üstün, S., & Önder, D. (2017). Seralarda Isıtma Sistemlerinin Projelenmesinde Gerekli Olan Isı Gücünün Belirlenmesinde Yeni Yaklaşımlar. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 20(3), 209-217.
- Alpay, Ö. (2018). Sera uygulamalarında bulanık mantık tabanlı uzaktan kontrol sistemi. *Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ*.
- Altıkatoğlu, M., & Işıldak, İ. (2017). İyon-Seçici sensörler kullanılarak bazı sebzelerin topraksız bitki yetiştirme ortamlarındaki nitrat, potasyum ve kalsiyum tayini. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 4(1), 65-70.
- Anonim (2024). Otomasyon Sistemi. Erişim: [<https://esular.com/sera-otomasyon-sistemi>] Erişim Tarihi: 11.04.2024
- Baytorun, A. N., Üstün, S., Akyüz, A., & Önder, D. (2013). Seralarda Isı Enerjisi Gereksiniminin Belirlenmesinde Kullanılan Farklı Yöntemlerin Karşılaştırılması. *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 28(2), 21-32
- Baytorun, A. N., & Gügercin, Ö. (2015). Seralarda enerji verimliliğinin artırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(2), 125-136.
- Boyacı, S., & Güleç, D. (2021). Seralarda Yalıtım Değerleri Farklı Isı Perdelerinin Enerji Tasarrufuna Etkisinin Belirlenmesi: Kırşehir İli Örneği. *Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 1(2), 81-93.
- Ciğer, M. (2010). Bilgisayar kontrollü internet destekli sera otomasyonu. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri Ana Bilim Dalı, *Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, Adana.
- Emekli, N. Y. (2007). Antalya ili Kumluca ilçesindeki seraların teknik ve yapısal yönden incelenmesi. *Yüksek Lisans, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Antalya*.
- Kadalı, B. (2016). Sera Otomasyonu Tasarımı. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya.
- Karaçor, M., & Keleş, K. (2007). Otomasyon sistemlerinin bileşenleri. *VI. Otomasyon Sempozyumu, Samsun*.

- Kürklü, A., & Çağlayan, N. (2005). Sera otomasyon sistemlerinin geliştirilmesine yönelik bir çalışma. *Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture*, 18(1), 25-34.
- Önder, D., & Baytorun, A. N. (2016). Akdeniz Bölgesi İklim Koşullarında Seralarda Kullanılan Isı Perdelerinin Sera İçi Sıcaklığına ve Enerji Tasarrufuna Etkilerinin Belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(3).
- Sabancı, K., & Aydın, C. (2010). Seralarda Sıcaklık ve Oransal Nemin PLC ile Kontrolü, 26. *Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi*. Hatay.
- Toksöz, A. (2019). Örtü altı tarımda uzaktan izleme ve yönetim sistemi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, Denizli.
- Tüzel, Y., Gül, A., Öztekin, G. B., Engindeniz, S., Boyacı, F., Duyar, H., & Durdu, T. (2020). Türkiye’de örtüaltı yetiştiriciliği ve yeni gelişmeler. *Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi*, 13(17), 725-750.
- Üye, S. & Durmuşoğlu, V. (2016). Sera Otomasyon Sistemi. (Karabük Üniversitesi Bitirme Tezi). Yayımlanmamış, Karabük.
- Yılmaz, A., & Doğan, H. (2016). Sera İçi Hava Şartlarının Otomasyon Sistemi İle Üretim Kalitesinin Artırılması ile İlgili Bir Çalışma. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 6(2/2), 145-159.
- Yılmaz, C. (2017). Seralar İçin Çok Fonksiyonlu Akıllı Kontrol Sistemleri. *Elimko Elektronik İmalat Ve Kontrol Ltd. Şti., Ww. Elimko. Com. Tr, Ankara*.

BÖLÜM 2

TARIMDA YAPAY ZEKÂ KULLANIMI

Prof. Dr. Mahmut İSLAMOĞLU^{1*}

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14503672>

¹Adıyaman Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü Adıyaman, Türkiye.
mislamoglu@adiyaman.edu.tr, Orcid ID: ORCID: 0000-0003-2835-4735
Sorumlu Yazar: mislamoglu@adiyaman.edu.tr

1. GİRİŞ

Tarım, dünyanın en eski ve en kritik endüstrilerinden biri olup, küresel nüfus artışıyla birlikte gıda ve istihdam taleplerinde önemli bir artış yaşanmaktadır. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'ne göre, dünya nüfusunun 2050 yılı itibarıyla 9 milyara ulaşması beklenmektedir. Bu artış, gıda taleplerini karşılamak için geleneksel tarım yöntemlerinin yetersiz kalmasına yol açmakta ve yeni, akıllı tarım sistemlerinin geliştirilmesine ve uygulanmasına olanak tanımaktadır (Bannerjee ve ark., 2018). Hızla artan dünya nüfusu, azalan tarım arazileri, sınırlı doğal kaynaklar, düzensiz iklim değişiklikleri ve değişen pazar talepleri, tarımsal üretimde ciddi sıkıntıların yaşanacağını işaret etmektedir. Bu zorlukların üstesinden gelmek için, verimliliği artıran, daha üretken ve iklim değişikliklerine karşı dayanıklı, sürdürülebilir tarımsal sistemlerin geliştirilmesi hayati önem taşımaktadır (Herrero ve ark., 2017). Tarımda üretimi sınırlayan bir çok biyotik ve abiotic faktörler bulunmaktadır (Jha ve ark., 2018). Bu faktörler içerisinde Tarımsal ürünlerin miktar ve kalitelerini sınırlayan en önemli faktörler arasında biyotik faktörler ilk sırada yer almaktadır (Avan, 2022). Ayrıca, bitkilerde parazit olan ve fitofag böcekler ve bitki hastalıkları kültür bitkilerine zarar vermesi nedeniyle insanlarla rekabet ederler (Karaat ve ark., 2021; Avan, 2021b). Böcekler bitki hastalıkları ile birlikte önemli ürün kayıplarına neden olurlar (Roush ve McKenzie, 1987; Avan ve Kotan, 2021; Atay ve Soylu, 2022). Böylece dünyada üretilen gıdalar önemli oranda kaybolmasına neden olurlar.

Çiftçiler, iş gücü eksikliği, sıkılaştıran mevzuatlar, artan küresel nüfus ve azalan çiftçi sayısı gibi sorunlarla karşı karşıya kalırken, bunları aşmak için yenilikçi çözümler arayışına girmektedirler. Günümüzde geliştirilen nesnelere interneti (IoT), Yapay Zeka (AI) ve Makine Öğrenimi (ML) gibi teknolojiler, her sektörde yer almakta ve tarım sektörü de bu gelişmelerden önemli ölçüde faydalanmaktadır. "Akıllı çiftçilik" uygulamaları, tarımsal ürünlerin kalitesini ve verimliliğini artırmayı amaçlayan sürekli bir araştırma konusu haline gelmiştir ((Bannerjee ve ark., 2018; Smith ve ark., 2018). Bu bağlamda, pestisitlerin doğru alanlara, zamanlamalara ve miktarlara göre uygulanmasını sağlayan hassas tarım yönetim sistemleri giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

2. TARIM

Tarım, gıda ve gıda dışı ürünler için mahsul ve hayvancılık üretimini, su ürünleri yetiştiriciliğini ve ormancılığı kapsayan bir sektördür (FAO, 2021). Tarım, yerleşik insan medeniyetlerinin yükselişinde önemli bir rol oynamış, evcilleştirilmiş türlerin çiftçiliği, insanların şehirlerde yaşayabilmesini sağlayacak gıda fazlalıklarını üretmiştir. İnsanlar, en az 105.000 yıl önce tahıl toplamaya başlamış, ancak tarım faaliyetleri yalnızca yaklaşık 11.500 yıl önce başlamıştır. Koyun, keçi, domuz ve sığır gibi hayvanlar yaklaşık 10.000 yıl önce evcilleştirilmiş olup, bitkiler dünyanın en az 11 bölgesinde bağımsız olarak yetiştirilmiştir. 20. yüzyılda ise, büyük ölçekli monokültürlere dayalı endüstriyel tarım, tarımsal üretimi büyük ölçüde domine etmiştir. Ancak Ülkemiz bitkiler açısından oldukça zengin bir flora sahiptir (Avan, 2021a)

Tarım, insanların beslenmesini sağlayan, giyinmelerine yardımcı olan, inşa ettikleri evler için kereste temin eden ve toprakta yetişen ya da toprağın yerine geçen organik materyallerin kaynağı olan yiyecek, yem ve lif üretimini kapsayan bir sektördür (Kekane ve ark., 2013). Hayvancılık da, yediğimiz et, süt ve yumurta ile giydiğimiz yünü sağlayan süreçlerin bir parçasıdır. Tarım, ulusal ekonomilerde son derece önemli bir rol oynamaktadır. Bir ülke için tarımın önemi, birden fazla işlevi yerine getirmesinden kaynaklanmaktadır. Öncelikle, tarım, döviz kazanımı sağlayan bir sektör olarak işlev görür. Tarım ürünlerinin ihracatı, bu ekonomik işlevi yerine getirir. Tarımın bir diğer önemli rolü ise, endüstriler için hazır bir pazar oluşturmaktır (Johnston ve Kilby, 1975). Özellikle, tarım sektörüne yönelik ekipman ve malzeme talepleri, ilgili endüstrilerin gelişmesini teşvik eder, bu da ulusal kalkınmaya katkı sağlar. Tarımın temel amacı, bir ülkenin vatandaşları için gıda üretmek olsa da, sektörü etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır (Dekle ve Vandembroucke 2012)

Tarım, herhangi bir ekonominin sürdürülebilirliğinin temel unsurlarından biri olarak kabul edilmektedir (Kekane ve ark., 2013). Uzun vadeli ekonomik büyüme ve yapısal dönüşümde kritik bir rol oynamakla birlikte, bu etki ülkeler arasında farklılıklar gösterebilmektedir (Dekle ve Vandembroucke, 2012; Kekane ve ark., 2013). Geçmişte, tarımsal faaliyetler büyük ölçüde gıda üretimi ve mahsul yetiştiriciliği ile sınırlıydı (Fan ve ark., 2012). Ancak son yirmi yıl içinde, tarımsal faaliyetler, mahsul ve

hayvancılık ürünlerinin işlenmesi, üretimi, pazarlanması ve dağıtımına kadar genişlemiştir. Bugün itibarıyla, tarım; geçim kaynağı sağlamak, gayri safi yurtiçi hasılayı (GSYİH) artırmak (Oyakhilomen ve Zibah, 2021) ulusal ticaretin önemli bir kaynağı olmak, işsizlik oranlarını düşürmek, diğer endüstriler için hammadde temin etmek ve genel ekonomik kalkınmayı desteklemek gibi kritik işlemlere sahiptir (Dekle ve Vandenbroucke, 2012; Kekane ve ark., 2013).

3. YAPAY ZEKÂ

Yapay zeka, insan bilişini, öğrenme süreçlerini ve problem çözme becerilerini taklit etmeyi amaçlayan disiplinler arası bir çalışma alanıdır (Liu, 2020). Yapay zekanın temeli, insan zekasının bir bilgisayar tarafından her düzeyde taklit edilerek, öğrenme, muhakeme ve algılama süreçlerinin gerçekleştirilebilmesidir (Ben ve ark., 2020). Bu alandaki gelişmeler, iş süreçlerini otomatikleştirmek amacıyla akıllı makinelerin kullanımını teşvik etmektedir. Yapay zeka, her alanda önemli bir etkiye sahiptir ve farklı sektörlerde işlerin otomasyonunu sağlayan bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır (Jung ve ark., 2021). Tarımda ise bu teknoloji, basitten karmaşığa kadar birçok görevi yerine getirebilme potansiyeline sahiptir. Bu, dünyayı iyileştirme adına büyük bir fırsat sunmakta ve akıllı makinelerin kullanımıyla birçok işlemin basitleştirilmesine olanak sağlamaktadır (Javaid ve ark., 2022).

Tarımda, verimliliği artırmak amacıyla bu teknolojilerden yararlanılmaktadır. Yapay zeka, çiftçilere uygun ürün türlerini seçme, toprak ve besin yönetimi uygulamalarını iyileştirme, zararlıları ve hastalıkları kontrol etme, ürün üretimini tahmin etme ve emtia fiyatlarını öngörme gibi alanlarda yardımcı olabilir (Shadrin ve ark., 2019).

Günümüzde, yapay zeka teknolojileri, çiftçilerin kararlarını daha bilinçli bir şekilde alabilmeleri için hava durumu, sıcaklık, su kullanımı ve toprak koşulları gibi çiftlik verilerini gerçek zamanlı olarak izlemelerini sağlamaktadır (Linaza ve ark., 2021). Yapay zekâ, verimi artırırken çiftçilerin kayıplarını azaltacak akıllı tarım uygulamaları geliştirilmesine olanak tanır. Yapay zekâ, makine öğrenimi ve derin öğrenme algoritmalarını kullanarak, verilerden öğrenme ve bunları yorumlama amacı güden bir bilgisayar bilimi dalıdır. Bu yöntemler, girdi ve çıktı değişkenlerini dinamik olarak birleştirerek tahminler

yapar ve bu tahminler, hem basit hem de karmaşık problemlere çözüm önerileri sunar (Sharma ve ark., 2022).

4. TARIMDA YAPAY ZEKÂ

Makine öğrenimi algoritmaları, çiftçilere ürün fiyatlarını artırma ve israfi azaltma amacıyla, ürünlerin kalite özelliklerini doğru bir şekilde tespit etme ve sınıflandırma konularında önemli bir yardımcıdır. Ayrıca, tarımsal faktörlerin çevresel, agronomik ve iklimsel etkileşimlerle şekillenmesi nedeniyle, su yönetimi gibi temel unsurlar üzerinde yapılan makine öğrenimi tabanlı uygulamalar, sulama sistemlerinin etkinliğini artırmak için önemli bir araç sunmaktadır. Su ihtiyacının yönetimi, buharlaşma tahminleriyle sulama verimliliğini artırırken, hava durumu tahminleri de bu süreçlere rehberlik etmektedir (Ampatzidis ve ark., 2020; Bolandnazar ve ark., 2021).

Yapay zekânın tarımsal sorunların çözülmesindeki etkinliği, erişebildiği verilerin kalitesine doğrudan bağlıdır. Yapay zeka, özellikle çiftçilerin gerekli bilgilere ulaşmada karşılaştıkları zorluklar göz önünde bulundurulduğunda, tarımda devrim yaratabilecek potansiyele sahiptir. Tarım makinelerinin kullanım verimliliği, yabancı ot temizliği, erken hastalık teşhisi, ürün hasadı ve sınıflandırması gibi alanlarda, görüntü sınıflandırma tekniklerinin yerel ve uzaktan algılama verileriyle entegrasyonu sayesinde önemli ölçüde iyileştirilebilir. Bu yapay zeka çözümleri, yüksek değerli tarım ürünlerinin sürekli izlenmesini mümkün kılmaktadır (Vijayakumar ve ark., 2021; Subeesh ve ark., 2021).

Çiftçiler, ürün verimliliğini artırma amacıyla giderek daha fazla yapay zeka ve makine öğrenimi modellerine başvurmaktadır. Bu durum, gıda teknolojisi sektörüne büyük bir ivme kazandırmakta ve robotlar ile sensörler, mahsul yönetimi ve izlenmesinde aktif bir rol oynamaktadır. Veri toplama işlemleri ise tarımsal üretkenliği artırmak için kullanılmaktadır. Bu gelişmeler, çevresel etkileri azaltarak verimliliği artırmaya yönelik dijital tarım uygulamalarının büyümesini sağlamaktadır (Awasthi ve ark., 2020; Skvortsov ve ark., 2020).

AI teknolojilerinin tarıma entegrasyonu, doğal ekosistemler üzerindeki olumsuz etkilerin azaltılmasına yardımcı olmanın yanı sıra, işçi güvenliğini artırarak tarım sektöründe çalışma koşullarını iyileştirmektedir. Sonuç olarak,

bu gelişmeler gıda fiyatlarını düşük tutarak, artan nüfusla uyumlu bir şekilde gıda üretiminin devamlılığını sağlamaktadır (Shadrin ve ark., 2019).

Tarımdaki emek yoğunluk artışı, yapay zekâ ve otomasyonun önemini giderek daha fazla vurgulamaktadır. Yapay zeka, çiftçilere teknolojik araçlar ve uygulamalar konusunda önemli ölçüde yardımcı olmakta, tahminsel analizler ve geliştirilmiş çiftlik yönetim sistemleri aracılığıyla ürün kalitesini ve arzını garanti altına almaktadır (Vijayakumar ve ark., 2021). Uydu görüntüleri ve meteorolojik veriler kullanılarak, tarımsal işletmeler ekim alanlarını belirleyebilir ve mahsul sağlığını gerçek zamanlı olarak izleyebilir. Ayrıca, büyük veri, yapay zeka ve makine öğrenimi teknolojileri, işletmelerin fiyat tahminleri yapmalarına, domates verimi gibi üretim çıktılarının hesaplanmasına ve zararlılarla hastalıkların tespitine olanak tanımaktadır (Sharma, 2021) . Bu teknolojiler, çiftçilere talep seviyeleri, en karlı ürün çeşitleri, pestisit kullanımı ve gelecekteki fiyat dalgalanmaları hakkında rehberlik edebilir (Mohr ve Kühl 2021)

Tarımda yapay zekanın küresel olarak benimsenmesi, sektördeki en heyecan verici potansiyellerden biridir. Çiftçiler, iklim değişikliği, monokültür ve aşırı pestisit kullanımı gibi faktörlerin neden olduğu riskleri yönetmekte zorlanmaktadır. Bu unsurlar, çiftçilere yeni engeller oluşturmakta ve çiftçilik, doğa koşullarına bağlı bir sektör olduğundan, çiftlikler üzerindeki stres giderek artmaktadır. Tarım sektörünün önümüzdeki yıllarda büyük ölçüde ölçeklenmesi gerektiği ve çiftlik verimliliğinin iki katına çıkarılması gerektiği göz önünde bulundurulduğunda, yapay zeka bu zorlukları aşmada önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır (Beloev ve ark., 2021; Lee ve ark., 2020)

Yapay zeka ve makine öğrenimi, tarımsal verilerin toplanması ve analizi yoluyla mahsul sağlığının izlenmesi, hastalık ve zararlı tespiti gibi önemli süreçlere katkı sağlamaktadır. Bu teknolojiler, çiftçilere mahsullerinin genetik özelliklerini ve potansiyel hastalıkları daha iyi anlama imkânı sunmaktadır. Hesaplama gücündeki ilerlemeler ve bulut bilişiminin artan yaygınlığı ile AI, dünya ekonomisinin her alanında etkisini hissettirirken, tarım sektörü de bu gelişmelerden faydalanmaktadır. Yabani ot kontrolü, mahsul sağlığı izleme ve hasat zamanlaması gibi uygulamalar, yapay zekanın tarımda geniş bir kullanım alanına sahip olduğunu göstermektedir (Blessy ve ark., 2021).

Yapay zeka, mahsul hastalıkları, zararlılar ve bitki beslenmesindeki eksikliklerin tespiti konusunda da önemli bir rol oynamaktadır. Çiftçiler, AI destekli dronlar sayesinde ürünlerinin sağlık durumunu izleyebilir ve dronlar

tarafından çekilen görüntüler analiz edilerek çiftliklerin genel sağlık durumu raporlanabilir. Tarım robotları da çiftçilerin manuel olarak gerçekleştirdiği zaman alıcı ve fiziksel olarak zorlu işleri üstlenerek iş gücü verimliliğini artırmaktadır (Mohr ve Kühl 2021; Blessy ve ark., 2021).

Yapay zekanın temel rolü, tarlalara stratejik olarak yerleştirilmiş IoT cihazlarından veri toplama ve entegre etme gibi devasa bir görevi üstlenmesidir. Toprak nem sensörlerinden sıcaklık göstergelerine kadar, bu cihazlar, nem seviyeleri, mahsul sağlığı göstergeleri ve toprak koşulları gibi hayati verileri toplar. Bu verilerin işlenmesi ve birleştirilmesi, AI algoritmalarının becerilerini gerektirir ve sonuç olarak tarımsal ortamın daha önce hiç olmadığı kadar kapsamlı bir görünümünü elde ederiz. Ayrıca, AI destekli anormallik tespiti, mahsul verimini tehdit eden usulsüzlükleri hızla belirleyerek, çiftçilerin olumsuz durumlara karşı proaktif önlemler almasını sağlar (Beloev ve ark., 2021; Lee ve ark., 2020; Mohr ve Kühl 2021).

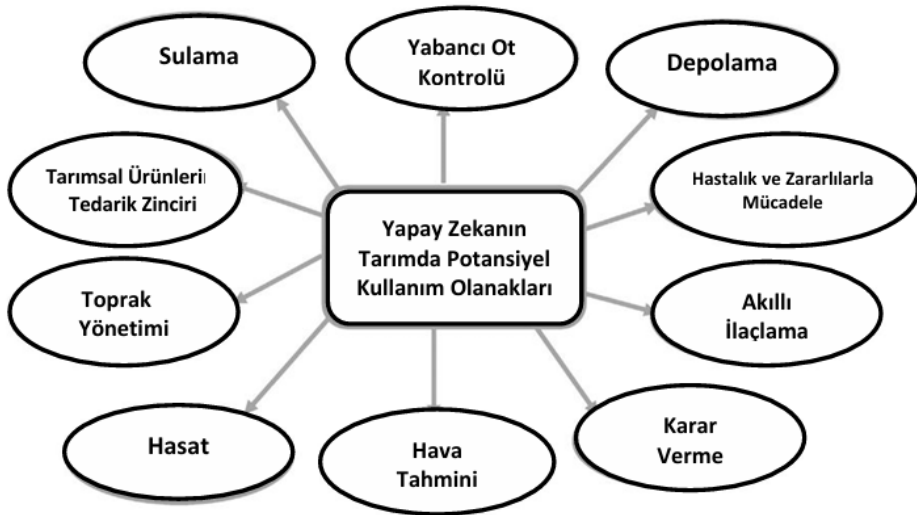
Tarımda yapay zeka, danışmanlık hizmetleri, veri analitiği, IoT, kameralar ve sensörler gibi teknolojik unsurların kullanımını kapsamaktadır. Bu teknoloji, hava durumu, toprak, ürün performansı ve sıcaklık gibi verileri inceleyerek, tarımdaki riskleri daha doğru bir şekilde tahmin etmeye olanak tanır. Bu sayede, yapay zeka, bitki hastalıklarının hızla tespit edilmesini ve tarımsal kimyasalların etkili bir şekilde uygulanmasını mümkün kılmaktadır. Makine öğrenimi ise hızlı bitki fenotiplemesi, toprak bileşimi değerlendirmesi ve verim tahmini gibi alanlarda yardımcı olmaktadır. Giderek artan sayıda çiftçi, arazilerinin verimliliğini artırmak için yapay zeka, IoT ve diğer teknolojik gelişmeleri benimsemektedir (Mohr ve Kühl 2021; Blessy ve ark., 2021; Sharma, 2021) .

Öngörücü analiz, ürün verimi tahmini için IoT güvenliğinde AI dağıtımının vazgeçilmez bir başka yönüdür. Geçmiş ve gerçek zamanlı verilerden yararlanarak, AI geleceğe ışık tutan ürün verimlerini tahmin eden modeller oluşturabilir. Bu içgörüler, çiftçilerin sulama programları, gübreleme uygulamaları ve yetiştirme stratejileri hakkında bilinçli kararlar almasını sağlar. Ayrıca, AI algoritmaları, mahsul görüntülerini inceleyerek zararlı istilası ve hastalıkların erken belirtilerini tespit edebilir, yayılmayı engelleyebilir ve mahsul kayıplarını en aza indirebilir. Bu, önemli ekonomik kayıpları önlemenin yanı sıra, kimyasal işlemlere olan ihtiyacı da azaltır, sürdürülebilir ve çevre dostu çiftçilik uygulamalarını teşvik eder (Shadrin ve ark., 2019; Awasthi ve ark., 2020; Skvortsov ve ark., 2020).

Sonuç olarak, yapay zeka, tarımda kaynak optimizasyonu, verimlilik artırımı ve çevresel etkiyi azaltma noktasında önemli bir rol oynamaktadır. Çiftçiler, AI destekli karar destek sistemleri sayesinde, ürün verimini en üst düzeye çıkarırken sürdürülebilir arazi yönetimi uygulamalarını da teşvik edebilirler. Yapay zeka, otonom çiftçilik sistemlerinin hayata geçmesini sağlayarak, tarım makineleriyle entegre bir şekilde hassas ekim, verimli hasat ve sürekli ürün izleme gibi görevleri daha verimli hale getirir (Mohr ve Kühl 2021; Blessy ve ark., 2021; Sharma, 2021; Mohr ve Kühl 2021).

5. YAPAY ZEKANIN TARIMDA KULLANIM ALANLARI

Tarımda yapay zekânın yoğun olarak kullanılan alanlar Şekil 1’de verilmiştir



Şekil 1. Yapay zekânın tarımda yoğun olarak kullanılan alanlarlar

5.1 Sulama

Yapay zekâ, tarımda su yönetimi ve sulama sistemlerinin etkinliğini önemli ölçüde dönüştüren bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır. Geleneksel sulama yöntemleri, genellikle sabit zaman aralıklarına veya elle yapılan tahminlere dayalıdır; ancak yapay zeka ve makine öğrenimi (MÖ) teknolojileri, sulama süreçlerini daha hassas ve verimli bir şekilde yönetmek için devrim

niteliğinde çözümler sunmaktadır (Rizvi ve ark., 2021). Bu bağlamda yapay zeka tabanlı sistemler, toprak nemi, sıcaklık, hava durumu ve diğer çevresel faktörleri gerçek zamanlı olarak analiz ederek sulama ihtiyaçlarını optimize etmektedir. Bu sistemler, toprak verisi üzerinde yapılan analizlerle her bir alanın suya olan ihtiyacını belirler ve sulama miktarını ve zamanlamasını otomatik olarak ayarlar. Örneğin, toprak nemi düşük olan bölgelerde daha fazla su uygulanırken, nemi yüksek alanlarda sulama kısıtlanır. Böylece su israfı önlenir ve bitkilerin sağlıklı gelişimi sağlanır (Singh ve ark., 2022; Rizvi ve ark., 2021). Yapay zeka, sulama sistemlerinin daha hassas bir biçimde uygulanmasına olanak tanır. Geleneksel sulama yöntemleri, tüm tarlaya aynı miktarda su verilmesini öngörürken, yapay zeka tabanlı sistemler her bitki veya toprak bölgesinin özel ihtiyaçlarına göre su dağıtımını yapar. Bu yaklaşım, suyun verimli kullanılmasını sağlar, tarımsal su israfını azaltır ve verimliliği artırır ((Tzachor ve ark., 2022) . Ayrıca, yapay zeka, tarımda sulama için kullanılan hava durumu ve evapotranspirasyon tahminlerini geliştirir. Evapotranspirasyon, toprak yüzeyinden buharlaşan su ve bitkilerden salınan suyun toplamını ifade eder. Yapay zeka algoritmaları, bu tahminleri doğru bir şekilde hesaplayarak sulama ihtiyacını belirler ve su kaybını en aza indirir (Barenkamp, 2020).

Yapay zeka destekli otonom robotlar ve dronlar, sulama işlemlerini daha hızlı ve verimli hale getirmektedir. Bu cihazlar, tarım alanlarındaki su ihtiyacını haritalayarak yalnızca ihtiyaç duyulan bölgelerde sulama yapar. Ayrıca, robotlar insan iş gücüne olan bağımlılığı azaltarak iş gücü maliyetlerini düşürür ve tarım süreçlerini hızlandırır (Al-bayati JSH, Üstündağ, 2020). Bununla birlikte yapay zekâ, su kaynaklarının daha verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayarak sürdürülebilir tarımı destekler. Özellikle su kıtlığına duyarlı bölgelerde, bu teknolojiler su israfını engeller ve çevresel etkileri azaltır. Ayrıca, sulama süreçlerinin sürekli izlenmesi ve optimize edilmesi, suyun doğru miktarda ve doğru zamanda kullanılmasını sağlayarak tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini artırır (Tzachor ve ark., 2022; Al-bayati JSH, Üstündağ, 2020).

5.2 Yabancı Ot Kontrolü

Yapay zekâ, tarımda yabancı ot mücadelesinde önemli bir rol oynamakta ve bu alandaki kullanımı, geleneksel yöntemlere kıyasla verimliliği artırmak, maliyetleri düşürmek ve çevresel etkileri azaltmak açısından büyük bir

potansiyel sunmaktadır (Barenkamp, 2020). Yabani otlar, tarımsal verimi olumsuz yönde etkileyen, bitkilerle kaynaklar için rekabet eden istenmeyen bitkilerdir. Yapay zeka tabanlı sistemler, yabancı otların tespiti, kontrolü ve izlenmesinde daha hassas, hızlı ve etkili çözümler sağlamaktadır (Sane, 2021).

Yapay zekâ, teknolojileri, özellikle bilgisayarla görme ve makine öğrenmesi algoritmalarını kullanarak tarla üzerindeki yabancı otların doğru bir şekilde tespit edilmesini mümkün kılmaktadır. Yüksek çözünürlüklü kameralar ve drone'lar aracılığıyla elde edilen görüntüler, tarla üzerindeki yabancı otların kültür bitkilerinden ayrılmasını sağlayarak, erken aşamalarda yüksek doğrulukla tespit yapılmasına olanak tanımaktadır (Singh ve ark., 2022; Rizvi ve ark., 2021). Derin öğrenme modelleri, görüntü verilerini analiz ederek yabancı otların türlerini sınıflandırabilir ve bunların tarla üzerindeki yayılımını izleyebilir. Bununla birlikte, yapay zeka sadece yabancı otları tespit etmekle kalmaz, aynı zamanda bu otların etkili bir şekilde kontrol edilmesine de imkan verir (Fuentes ve ark., 2018; Sane, 2021). Otonom robotlar ve dronlar, tarla üzerinde hareket ederek yalnızca yabancı otları hedef alır ve bu otları otomatik olarak yok edebilir. Bu yöntem, herbisit kullanımını minimize eder, çevresel etkileri azaltır ve maliyetleri düşürür. Dronlar, havadan görüntü alarak yabancı otların tespiti için gerekli verileri sağlar ve herbisitlerin yalnızca ihtiyaç duyulan alanlara uygulanmasını mümkün kılar, böylece gereksiz ilaç kullanımını engeller (Bharti ve Bhan, 2018).

Yapay zeka, tarla yönetiminde de yabancı otların, bitkilerin sağlığı ve verimi üzerindeki etkilerini sürekli izleme imkanı sunar. Sensörler ve drone'lar ile yapılan izlemeler sayesinde, çiftçiler tarlarındaki yabancı ot yoğunluklarını gerçek zamanlı olarak takip edebilir (Quinn ve ark., 2014; Bharti ve Bhan, 2018). Yapay zeka, yabancı ot yoğunluğuna dayalı olarak verim tahminleri yaparak, hangi alanlarda müdahale edilmesi gerektiği konusunda çiftçilere yönlendirmeler sunar. Ayrıca, yapay zekânın sürdürülebilir tarım uygulamalarına katkısı oldukça büyüktür. Yabancı ot mücadelesinde herbisitlerin aşırı kullanımını azaltmak, çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir öneme sahiptir. Yapay zeka teknolojilerinin kullanımı, herbisitlerin gereksiz şekilde kullanılmasını engeller ve çevresel etkileri minimize eder (Fuentes ve ark., 2018). Ayrıca, hassas tarım uygulamaları sayesinde su, enerji ve diğer girdilerin daha verimli kullanılması sağlanarak, kaynaklar daha verimli bir şekilde yönetilebilir. Yapay zeka tabanlı yabancı ot kontrol sistemlerinin ekonomik ve çevresel faydaları da dikkate değerdir. Bu sistemler, herbisit ve iş

gücü maliyetlerini önemli ölçüde düşürür, böylece çiftçilere maliyet tasarrufu sağlar. Herbisitlerin doğru ve hedeflenmiş bir şekilde kullanılması, ekosisteme zarar verme riskini azaltarak çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlar (Quinn ve ark., 2014)

5.3. Depolama

Yapay zeka, tarımda depolama süreçlerinin iyileştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle tahıl depolama, ürünün kalitesinin uzun süre muhafaza edilmesi için doğru koşulların sağlanması gereken bir süreçtir. Bu bağlamda, yapay zeka destekli uygulamalar, depolama işlemlerini daha verimli, güvenli ve sürdürülebilir hale getirmekte büyük katkı sağlamaktadır (Perea ve ark., 2019). Yapay zeka, tahıl depolama süreçlerinde çevresel koşulların sürekli izlenmesi ve optimizasyonunda kritik bir rol oynar. Kablosuz sensör ağları (WSN) ve Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojileri aracılığıyla sıcaklık, nem ve hava akışı gibi faktörler sürekli izlenir, analiz edilir ve depolama koşullarının ürün kalitesi üzerindeki etkileri öngörülebilir (Choudhary ve ark., 2019). Böylece, tahılın kalite kaybı engellenir ve depolama alanındaki koşullar ürün için ideal seviyede tutulur. Örneğin, yapay zeka algoritmaları, sıcaklık ve nemdeki değişiklikleri gerçek zamanlı izleyerek, bu parametrelerin uygun sınırlar içinde kalmasını sağlar ve böylece ürünlerin bozulma riski minimuma iner (Spanaki ve ark., 2019).

Yapay zeka, büyük veri analizi yaparak depolama koşullarının optimizasyonuna da katkı sağlar. Depolama sürecinde ürünlerin nem içeriği, CO2 seviyeleri ve sıcaklık gibi parametreler sürekli değişir. Yapay zeka, bu değişimleri analiz ederek kalite kayıplarını önceden tahmin edebilir ve küf ya da zararlılar gibi tehditleri erken aşamalarda tespit edebilir. Yapay zeka tabanlı tahmin sistemleri, geçmiş verilerle eğitilerek gelecekteki koşulları tahmin eder ve depolama koşullarının ne zaman ve nasıl değişeceğini öngörerek uygun önlemler alınmasına yardımcı olur (Mkrtrchia, 2021). Ayrıca yapay zeka destekli depolama sistemlerinde, sensörlerden alınan verilerle otomatik erken uyarı sistemleri kurulabilir. Yapay zeka, anormal değişiklikleri algılayarak depolama koşullarındaki bozulmalar hakkında uyarılar gönderir. Sıcaklık veya nem seviyesindeki ani değişiklikler gibi anormallikler tespit edildiğinde, Yapay zeka sistemi, depolama koşullarını düzeltmek için otomatik müdahale önerileri sunar. Örneğin, nem oranı çok yüksekse, hava akışını artırarak nemin düşürülmesi için önerilerde bulunabilir. Yapay zeka destekli sistemler,

depolama sürecindeki kayıpları azaltmada da etkilidir. CO2 seviyeleri ve denge nemi gibi parametreleri izleyen yapay zeka algoritmaları, tahılın korunmasında önemli rol oynar ve bozulmayı engelleyecek koşullar oluşturur (Perea ve ark., 2019; Mkrtrtchia, 2021). Ayrıca, yapay zeka tabanlı sistemler tahılın ne kadar süreyle taze kalacağını tahmin edebilir, böylece üreticiler ve depo yöneticileri, ürünleri doğru zamanda piyasaya sunabilirler (Chen ve Yu, 2021).

Yapay zeka, akıllı depolama ve taşıma sistemlerinde de önemli bir rol oynar. Depolama ve taşıma süreçlerinde kullanılan robotlar ve otonom araçlar, yapay zeka algoritmaları ile optimize edilerek, ürünlerin en verimli şekilde taşınmasını sağlar. Örneğin, tahıl depoları arasında taşıma yapan robotlar, sıcaklık ve nem seviyelerini göz önünde bulundurarak tahılların bozulmasını engelleyecek şekilde yönlendirilir (Perea ve ark., 2019; Mkrtrtchia, 2021). Veri merkezli karar destek sistemleri, yapay zekânın depolama süreçlerinde sunduğu önemli bir avantajdır. Bu sistemler, depolama, taşıma ve yönetim süreçlerine dair veri kümelerini analiz ederek olası sorunları en aza indirmek için stratejiler önerir ve depolama alanındaki mevcut koşullara göre en uygun muhafaza yöntemlerini belirler. Yapay zeka, sürdürülebilir depolama uygulamalarını destekler (Mkrtrtchia, 2021; Chen ve Yu, 2021).Yapay zeka algoritmaları, enerji verimliliğini artırarak depolama alanlarının çevre dostu olmasına katkı sağlar. Soğutma ve nem kontrolü süreçlerinin optimizasyonu, enerji tasarrufu sağlamada önemli bir rol oynar. Ayrıca, Yapay zeka, depolama alanlarındaki atıkları azaltma ve enerji tüketimini minimize etme konusunda stratejiler geliştirebilir.

5.4. Hastalık ve Zararlılarla Mücadele

Yapay zekâ, özellikle tarımda hastalıklar ve zararlı böceklerin yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır. Yapay zeka tabanlı uygulamalar, bu sorunların erken tespiti, izlenmesi ve yönetilmesi için etkili araçlar sunarak, tarımsal verimliliği artırırken çevresel etkilerin de azalmasına katkı sağlar. Yapay zekânın bu alandaki etkilerini çeşitli açılardan incelemek mümkündür (Papadimitriou, 2012; Singh, 2018). Öncelikle, yapay zekâ, hastalıkların ve zararlı böceklerin erken tespitine olanak tanır. Yapay zeka tabanlı sistemler, büyük veri analizi ve makine öğrenimi teknikleri ile çevresel faktörleri (sıcaklık, nem, toprak durumu vb.) göz önünde bulundurarak, hastalıkların ve zararlıların gelişim süreçlerini modelleyebilir (Partel ve ark., 2021). Bu sayede çiftçilere erken uyarılar gönderilir, böylece hastalıkların veya zararlıları

yayılmadan önce müdahale edilmesi sağlanır. Uydu görüntüleri, dronlar ve sensörler gibi araçlar, hastalık ve zararlı aktivitelerinin izlenmesine olanak tanır ve doğru zamanda yapılacak müdahalelerle etkili bir yönetim sağlanır (Singh, 2018).

Yapay zeka ayrıca, pestisit kullanımını optimize etmek için de önemli bir rol oynar. Gerçek zamanlı veri toplama ve analiz, herbisit ve pestisit uygulamalarını yalnızca ihtiyaç duyulan bölgelerde ve doğru miktarda yapılacak şekilde yönlendirir. Bu, aşırı kimyasal kullanımının önlenmesine ve çevresel etkilerin azaltılmasına yardımcı olur (Singh, 2018; Klerkx ve ark., 2019). Yapay zekâ tabanlı sistemler, zararlı aktiviteleri izlerken, bu aktivitelerdeki eğilimleri tespit edebilir ve çiftçilere doğru zamanda uyarı vererek, çevresel etkileri en aza indirir.

Böcek türlerinin doğru bir şekilde tanımlanması ve sınıflandırılması da yapay zekanın katkı sağladığı bir diğer önemli alandır. Derin öğrenme ve görüntü tanıma algoritmaları, farklı böcek türlerini hızlı ve doğru bir şekilde ayırt edebilir. Bu, özellikle tarım alanlarında zararlı türlerin hızla tespit edilmesini ve daha hedeflenmiş, etkili mücadele yöntemlerinin uygulanmasını sağlar (Partel ve ark., 2021). Yapay zekânın sağladığı veri merkezli yaklaşımlar, model merkezli yaklaşımlardan daha güvenilir sonuçlar elde edilmesine olanak tanır. Çevresel değişkenler ve böcek türlerinin çeşitliliği dikkate alınarak geliştirilen veri odaklı sistemler, sahadaki farklı koşullara uyum sağlar ve daha etkili böcek yönetimi stratejilerinin uygulanmasına katkıda bulunur (Singh, 2018;Klerkx ve ark., 2019).

Yapay zekâ, hastalık ve zararlı takibi konusunda da önemli bir rol oynar. Tarımsal ürünler üzerinde etkili bir denetim sağlayarak, hastalıkların yayılmasını engellemeye ve zararlılarla mücadele etmeye yönelik bilinçli kararlar alınmasını sağlar. Yapay zeka, yaprak dökülmesi, renk değişimi veya böcek hareketliliği gibi erken uyarı işaretlerini analiz ederek hastalıkların tespitine yardımcı olur (Papadimitriou, 2012).

5.5. Akıllı İlaçlama

Yapay zekâ, tarımda ilaçlama süreçlerini optimize ederek hem verimliliği artırmakta hem de çevresel etkileri azaltmaktadır. Geleneksel tarım ilaçlama yöntemlerinde, tüm tarlaya eşit miktarda ilaç uygulanmakta, bu da

hem maliyet artışına hem de çevresel zararlara yol açabilmektedir. Yapay zeka teknolojileri, bu süreci daha hassas ve hedeflenmiş hale getirerek ilaçlamanın yalnızca ihtiyaç duyulan alanlarda yapılmasını sağlar (Fazal ve ark., 2022).

Yapay zeka, tarımda ilaçlamayı daha hassas bir şekilde gerçekleştirebilir. Bitkilerdeki hastalık belirtilerini, zararlı böcekleri veya yabancı otları tespit etmek için görüntü işleme ve makine öğrenimi teknikleri kullanır. Bu sayede, ilaç yalnızca zararlılara veya hastalığa maruz kalan alanlara uygulanır, gereksiz ilaç kullanımı ortadan kalkar, bu da maliyetleri düşürür ve çevresel etkileri azaltır (Fazal ve ark., 2022; Partel ve ark., 2019). Yapay zekâ ayrıca, hastalıkların ve zararlıların erken tespit edilmesini sağlar. Derin öğrenme algoritmaları ve görüntü işleme teknikleri ile tarım alanlarındaki zararlıların ilk belirtileri yakalanabilir. Erken tespit, ilaçlamanın doğru zamanda yapılmasını sağlar ve hastalıklar yayılmadan kontrol altına alınabilir. Bu sayede, ilaçlama maliyetleri azalırken, ürün kayıpları da en aza indirilir (Su, 2020).

Tarımda ilaçlama kararları, yapay zekanın veri odaklı yaklaşımı ile alınır. IoT cihazları, sensörler ve dronlar gibi araçlardan toplanan veriler, tarlanın durumu hakkında bilgi verir. Bu veriler, toprak nemi, hava durumu, bitki sağlığı ve zararlı popülasyonları gibi faktörleri içerir. Bu sayede hangi alanların ilaçlanması gerektiği, hangi pestisitlerin kullanılacağı ve en uygun ilaçlama zamanları belirlenebilir. Veri tabanlı karar verme, ilaçlamanın etkinliğini artırırken, daha doğru ve hedeflenmiş uygulamalar yapılmasını sağlar (Partel ve ark., 2019).

Yapay zeka destekli otonom tarım araçları, ilaçlama süreçlerini otomatikleştirir. Dronlar ve robotlar, ilaçları hedeflenen bölgelere hassas bir şekilde uygulayabilir. Bu araçlar, bitkileri görsel verilerle izler ve yalnızca zararlılara maruz kalan alanları tespit eder. İnsan gücüne olan bağımlılığı azaltarak ilaçların sadece gerekli alanlarda uygulanmasını sağlar ve çevresel etkileri minimize eder (Partel ve ark., 2019; Fazal ve ark., 2022). Ayrıca, yapay zeka, gereksiz ilaç kullanımını azaltarak pestisitlerin çevresel etkilerini sınırlar. Zararlılar hedef alınırken, çevre dostu ve düşük dozda pestisitlerin kullanımı sağlanır. Bu, toprağın ve suyun kirlenmesini önler, biyolojik çeşitliliği korur ve insan sağlığını tehdit eden pestisit kalıntılarını minimuma indirir. Pestisit kullanımının azaltılması, tarımsal üretimin sürdürülebilirliğine de katkı sağlar (Partel ve ark., 2019; Fazal ve ark., 2022).

Yapay zeka, yabancı ot kontrolünde de önemli bir rol oynar. Görüntü işleme ve yapay zeka algoritmaları, yabancı otları tespit ederek doğru zamanda ve doğru miktarda herbisit uygulamasını sağlar. Bu, özellikle büyük ölçekli tarım işletmelerinde verimliliği artırır ve gereksiz herbisit kullanımını engeller, çevresel zararları azaltır. Yapay zeka tabanlı ilaçlama sistemleri, verimliliği artırırken maliyetleri düşürür. İlaçlar daha verimli bir şekilde kullanılır, gereksiz ilaçlamanın önüne geçilir ve hem finansal kaynaklar hem de doğal kaynaklar korunmuş olur (Rozhkova ve Rozhkov, 2022).

5.6. Karar verme

Tarım endüstrisi, karar verme süreçlerini iyileştirmek amacıyla yapay zeka teknolojilerini giderek daha fazla benimsemektedir. Bu süreçte, tarımsal faaliyetlerde daha fazla veri analiz edilmekte ve bu veriler, karar alma aşamalarında etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Banthia ve ark., 2022). Sensörlerin yaygınlaşması, uydu görüntülerine daha hızlı erişim, veri kaydedicilerinin maliyetlerinin düşmesi, dronların kullanım alanlarının genişlemesi ve veri arşivlerine daha kolay erişim gibi teknolojik yenilikler, tarımsal süreçlerin verimli hale gelmesini sağlamaktadır. Bu gelişmeler, özellikle iş gücü yoğun süreçlerin otomatikleştirilmesine olanak tanımaktadır (Hemming ve ark., 2019).

Yapay zeka tabanlı sistemler, tarihsel hava durumu verileri, toprak kalitesi verileri gibi faktörleri analiz ederek tarımsal verimliliği artırmaya yönelik değerli içgörüler sağlamaktadır (Leal Filho ve ark., 2022).. Bu bağlamda, hassas tarım, tarımın tekrarlayan ve iş gücü yoğun yönlerini, yüksek hassasiyetli konum belirleme sistemleri, otomatik yönlendirme teknolojileri, coğrafi bilgi sistemleri (GIS), sensörler, uzaktan algılama ve entegre elektronik iletişim teknolojileriyle değiştirmektedir. Bu yenilikler, tarımın daha kontrollü, verimli ve sürdürülebilir bir biçimde yönetilmesine olanak tanımaktadır (Banthia ve ark., 2022).

Ayrıca, yapay zeka tabanlı sistemler, çiftçilere ürün rotasyonu, karlılık, verimlilik ve uzun vadeli sürdürülebilirlik gibi konularda tavsiyeler vererek, tarımsal üretim planlamasında önemli bir rol oynamaktadır (Banthia ve ark., 2022). Tarım, birçok süreçten oluşan dinamik bir sistem olup, uygun teknolojilerle desteklendiğinde yapay zeka, bu süreçlerin en karmaşık ve rutin görevlerini etkin bir şekilde yerine getirebilmektedir. Diğer teknolojilerle

birleşen yapay zeka, dijital platformlarda büyük miktarda veri toplama ve işleme yeteneğine sahip olup, en uygun tarımsal politikaların belirlenmesi ve uygulanmasına yardımcı olmaktadır (Leal Filho ve ark., 2022; Taberkit ve ark., 2021).

Çevresel faktörler, hava koşulları, su kullanımı ve toprak durumu gibi tarımsal verilerin kapsamlı bir şekilde analiz edilmesi, daha bilinçli ve etkin kararların alınmasını sağlamaktadır (Banthia ve ark., 2022). Bu veriler, tarımsal süreçlerde karşılaşılan zorlukları azaltmaya, kaynakları daha verimli kullanmaya ve sürdürülebilir tarımsal üretimi teşvik etmeye olanak tanımaktadır. Yapay zekâ ve dijital teknolojilerin birleşimi, tarım sektöründe yenilikçi ve verimli çözümler sunarak, üreticilerin daha bilinçli kararlar almasına ve küresel tarım trendleriyle uyum içinde olmasına yardımcı olmaktadır (Taberkit ve ark., 2021).

5.7. Hava Tahmini

Yapay zeka, tarımda hava tahminlerinin doğruluğunu artırarak, çiftçilere daha doğru, zamanında ve etkili bilgi sunar. Bu sayede, verimlilik artar, kaynaklar daha verimli kullanılır ve potansiyel riskler önceden tahmin edilerek önlemler alınır. Hava durumu, tarımsal faaliyetler üzerinde doğrudan etkisi olan en kritik faktörlerden biridir. Yapay zeka, hava tahminlerini daha doğru ve kişiselleştirilmiş hale getirerek çiftçilere birçok avantaj sunmaktadır (Al-bayati, 2020)

Yapay zeka, büyük veri kümeleri ve geçmiş hava verilerini analiz ederek daha doğru yerel hava tahminleri yapabilir. Özellikle tarım arazisinin özel koşullarına göre mikro iklim tahminleri yapılabilmesi, sulama, ekim ve hasat zamanlarını optimize etmek için önemlidir. Bu, çiftçilere daha verimli ve isabetli kararlar alma imkanı sağlar (Tzachor ve ark., 2020). Ayrıca, yapay zeka destekli sistemler, hava koşullarındaki anormal değişimlere karşı erken uyarılar geliştirerek, çiftçilerin bu olaylardan zarar görmeden önlem almasına yardımcı olur. Ani soğuk hava dalgaları, don, aşırı yağışlar, fırtınalar veya seller gibi ekstrem hava olayları, erken uyarılar sayesinde daha az zarara yol açar ve ürün kayıpları en aza indirilir. Yapay zeka, yağış tahminlerini analiz ederek sulama yönetimini iyileştirir. Hava durumu, toprak nemi, sıcaklık ve rüzgar gibi faktörler göz önünde bulundurularak sulama zamanlamaları doğru bir şekilde yapılır. Böylece su kaynakları daha verimli kullanılır, su tasarrufu sağlanır ve

tarımsal verimlilik artar (Al-bayati, 2020). Hava koşulları, bitki hastalıklarının ve zararlılarının yayılmasında önemli bir rol oynar. Yapay zeka, hava durumu verilerini analiz ederek bu tehditleri öngörebilir ve önleyici tedbirlerin alınmasını sağlar. Sıcaklık, nem ve rüzgar hızının belirli koşullarda bir araya gelmesi, zararlılar ve hastalıkların yayılma riskini artırır. Bu veriler ışığında, pestisit ve ilaç kullanımı optimize edilir (Tzachor ve ark., 2020).

Yapay zeka, hava durumu tahminlerini ve toprak durumunu analiz ederek ekim zamanlamalarını iyileştirir. Hava koşullarının ve toprak neminin doğru şekilde değerlendirilmesi, hangi mahsulün hangi dönemde daha iyi gelişeceğini belirlemeye yardımcı olur. Ayrıca, hasat dönemi hava koşullarına göre en verimli şekilde planlanabilir (Al-bayati, 2020; Tzachor ve ark., 2020). Yapay zeka, iklim değişikliğinin tarım üzerindeki uzun vadeli etkilerini modelleyerek çiftçilere gelecekteki hava koşullarını tahmin etme konusunda yardımcı olur. Bu, tarımın iklim değişikliği gibi çevresel tehditlere karşı uyum sağlamasına yardımcı olur. Farklı iklim senaryoları değerlendirilerek sürdürülebilir tarım uygulamaları benimsenebilir (Barenkamp, 2020).

Son olarak, yapay zeka, hasat zamanını hava koşullarına göre en uygun şekilde belirleyerek ürün kayıplarını azaltır. Olumsuz hava koşulları, özellikle yağış veya aşırı sıcaklık, ürünlerin kalitesini ve verimini olumsuz etkileyebilir. Yapay zeka, hava durumunu analiz ederek, çiftçilerin hasat zamanını doğru bir şekilde öngörmelerini sağlar, böylece ürün kayıpları minimize edilir. Yapay zeka, hava tahminlerini iyileştirerek çiftçilerin daha bilinçli kararlar almasını sağlar ve bu da tarımsal verimliliği artırırken, kaynakların daha verimli kullanılmasına ve potansiyel zararların en aza indirilmesine yardımcı olur. Yapay zeka'nın bu alandaki katkıları, tarımın daha sürdürülebilir ve verimli hale gelmesine olanak tanır (Singh ve Kaur, 2022).

5.8. Hasat

Yapay zeka, tarımsal ürünlerin hasadına olan olumlu etkileriyle, çiftçilere daha verimli, sürdürülebilir ve zamanında hasat yapma imkânı sunarak, ürün kayıplarını azaltmayı, verimliliği artırmayı ve kaynak kullanımını optimize etmeyi hedeflemektedir. Tarım süreçlerini daha hassas ve veriye dayalı bir şekilde yönetmek için kullanılan çeşitli yapay zeka teknolojileri, hasat sürecine önemli katkılar sağlamaktadır (Orchi. ve ark., 2021).

Yapay zeka, hava durumu, toprak koşulları, bitki büyüme verileri ve geçmiş hasat bilgilerini analiz ederek mahsulün hasat için en uygun zamanını tahmin edebilir. Bu sayede, doğru zamanda yapılan hasat, ürünün kalitesini ve verimini artırırken aşırı olgunlaşma ya da erken hasat nedeniyle yaşanabilecek kayıpları engeller (Orchi. ve ark., 2021). Ayrıca, yapay zeka, tarladaki ürünlerin gelişim durumunu takip ederek, hasat öncesi verim tahminlerinde bulunabilir. Bu tahminler, çiftçilere hangi alanların daha fazla veya daha az verim sunduğunu gösterir ve kaynakların daha verimli kullanılmasına yardımcı olur. Erken uyarı sistemleri sayesinde olumsuz hava koşulları veya hastalıklar önceden tahmin edilerek gerekli önlemler alınabilir, bu da hasat sırasında yaşanabilecek kayıpları azaltır (Chougule ve Mashalkar, 2022).

Yapay zeka destekli otonom robotlar ve makineler, tarımsal ürünlerin toplama işlemini otomatikleştirir. Bu robotlar, sensörler ve kameralar aracılığıyla mahsullerin olgunluk seviyelerini analiz eder ve en uygun şekilde hasat yapar. Özellikle meyve toplama gibi hassas işler, robotlar sayesinde daha verimli ve doğru bir şekilde yapılabilir. Bu teknolojiler, insan iş gücüne olan bağımlılığı azaltarak iş gücü maliyetlerini düşürür (Sishodia.ve ark., 2020). Hasat sonrası ürünlerin kalitesini izlemek de mümkündür. Yapay zeka, yüksek çözünürlüklü kameralar ve sensörler kullanarak, mahsullerin olgunluk, renk, boyut ve kalite gibi faktörlerini değerlendirir. Bu analizler, ürünlerin doğru şekilde depolanmasını ve pazarlanmasını sağlar. Ayrıca, hastalıklar veya hasar tespiti erken aşamalarda yapılabilir, böylece kalite kayıplarının önüne geçilir (Saheb ve ark., 2022).

Yapay zeka destekli tarım yönetim sistemleri, hasat sürecini optimize etmek için kullanılan su, enerji ve iş gücü gibi kaynakların yönetimini iyileştirir. Sulama, gübreleme ve ilaçlama süreçlerinin optimize edilmesi, mahsullerin daha sağlıklı gelişmesini sağlar, verimliliği artırır ve kaynakların daha verimli kullanılmasına olanak tanır (Chougule ve Mashalkar, 2022). Yapay zeka destekli görüntüleme teknolojileri, dronlar veya uydu fotoğrafları aracılığıyla tarlayı sürekli izler. Bu görüntüler, bitki hastalıkları, zararlılar ve çevresel stres faktörlerini tespit etmek için kullanılır. Bu erken uyarılar, hasat sırasında yaşanabilecek ürün kayıplarını önlemeye yardımcı olur (Sagan ve ark., 2021).

Yapay zeka, geçmiş hasat verileriyle makine öğrenimi modelleri geliştirerek her sezon daha doğru tahminler yapılmasını sağlar. Sürekli öğrenen

bu sistemler, farklı hava koşullarına, toprak türlerine ve mahsul çeşitlerine göre optimize edilerek her yıl daha iyi sonuçlar elde edilmesini mümkün kılar. Ayrıca, sensörler ve robot teknolojileri kullanarak hasat işlemini minimum fiziksel zarar ile gerçekleştirmek mümkündür (Chougule ve Mashalkar, 2022). Bu, özellikle meyve ve sebzelerin zarar görmeden toplanmasını sağlayarak, ürünlerin kalite kaybını önler. Yapay zeka tabanlı karar destek sistemleri, çiftçilere daha bilinçli ve hızlı kararlar alma konusunda yardımcı olur. Örneğin, hasat zamanları, ürünlerin nasıl işleneceği veya depolanacağı ve hangi pazar segmentine yönelmesi gerektiği konusunda öneriler sunar (Chougule ve Mashalkar, 2022; Sagan ve ark., 2021).

Son olarak, yapay zeka, süreçleri otomatikleştirerek ve kaynakları daha verimli kullanarak zaman ve iş gücü maliyetlerini azaltır. Otonom sistemler, ürün toplama işlemini hızlandırırken insan hatasını ve iş gücü maliyetlerini minimuma indirir. Yapay zekanın tarımda hasat süreçlerine katkıları, verimliliği artırmak, kaynakları optimize etmek ve ürün kayıplarını en aza indirmek adına büyük önem taşır (Saheb ve ark., 2022). Bu teknolojiler, tarımsal faaliyetlerin daha verimli, doğru ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesini sağlar, aynı zamanda çiftçilerin iş gücüne olan bağımlılıklarını azaltarak daha yüksek kaliteli ve verimli ürünlerin elde edilmesine olanak tanır (Orchi. ve ark., 2021; Saheb ve ark., 2022).

5.9. Toprak Yönetimi

Yapay zeka, tarımda toprak yönetimini dönüştüren ve sürdürülebilirlik, verimlilik ve çevresel koruma açısından önemli avantajlar sağlayan güçlü bir araçtır. Toprak kalitesini iyileştirmek, su kullanımını optimize etmek ve organik madde dengesini sağlamak gibi birçok alanda yapay zeka çözümleri, çiftçilere daha verimli ve bilinçli kararlar almada yardımcı olur (Sishodia.ve ark., 2020). Yapay zeka, toprak sağlığını izlemek için sensörler, dronlar ve diğer teknolojilerden elde edilen verileri analiz ederek toprak pH'ı, organik madde oranı, besin düzeyleri ve mikrobiyal aktivite gibi unsurları değerlendirebilir. Bu sayede topraktaki besin eksiklikleri ve asidite gibi sorunlar tespit edilerek, hangi besin maddelerinin eklenmesi gerektiği konusunda çiftçilere bilgi sağlanır. Bu, doğru gübreleme ve bakım teknikleri uygulayarak toprak sağlığının iyileştirilmesine olanak tanır (Sishodia ve ark., 2020).

Toprak işlenebilirliği, yoğunluğu ve sulama uygunluğu gibi faktörleri analiz eden yapay zeka, çiftçilerin toprağı daha verimli kullanmalarına yönelik stratejiler geliştirmelerine yardımcı olur. Geçmiş analizler ve toprak örnekleriyle yapılan test sonuçlarını işleyerek, hangi alanlarda ek gübreleme veya su kullanımının optimize edilmesi gerektiğı konusunda tavsiyeler sunar. Aynı zamanda, su ve hava kalitesinin izlenmesinde de önemli bir rol oynar Sishodia.ve ark., 2020. Toprağın su tutma kapasitesi, sulama ihtiyacı ve suyun kirlenip kirlenmediğı yapay zeka uygulamalarıyla takip edilebilir. Hava kalitesi, sıcaklık ve nem verileri de analiz edilerek, su kayıplarını minimize etmek ve toprak nemini daha etkili bir şekilde yönetmek için optimal sulama planları oluşturulabilir (Wang, 2019).

Yapay zeka, toprak erozyonunu tahmin etmek ve önlemek için de kullanılabilir. Dronlardan alınan görseller ve toprak yapısı verileriyle hava durumu koşulları analiz edilerek, erozyona yatkın bölgeler belirlenebilir ve bu bölgelerde uygun toprak koruma önlemleri alınabilir (Kodama ve ark., 2020). Ayrıca, toprak sağlığı biyolojik ve kimyasal dengeye dayalıdır ve yapay zeka, toprakta bulunan mikroorganizmaların aktivitelerini ve kimyasal bileşenlerini izleyerek zararlı organizmaların erken teşhis edilmesini sağlar. Böylece, gerekli önlemler zamanında alınarak, toprağın organik madde seviyelerinin korunmasına yardımcı olunur (Widianto ve ark., 2022).

Verimli sulama ve su yönetimi, yapay zekanın bir diğer önemli katkısıdır. IoT cihazlarıyla entegrasyon sağlayarak, toprak nem seviyeleri gerçek zamanlı olarak takip edilebilir ve tahminler yapılarak sulama sistemleri otomatik olarak kontrol edilebilir. Bu, su kaynaklarının daha verimli kullanılmasını sağlar. Yapay zeka ayrıca, tarımın çevresel etkilerini minimize etmek için geniş veri setlerinden yararlanarak, kullanılan kimyasalların çevresel etkilerini değerlendirir. Örneğın, daha düşük miktarda gübre kullanımı ve daha etkili pestisit uygulamaları önerilebilir (Kodama ve ark., 2020).

Sürdürülebilir tarım uygulamaları, yapay zekânın desteklediğı bir diğer önemli alan olup, doğru analizler yapılarak toprak aşırı kullanımının, kimyasal gübrelerin ve suyun aşırı harcanmasının önüne geçilir. Bu sayede çevre dengesi korunarak uzun vadede sürdürülebilir üretim sağlanır . Makine öğrenimi, her yıl daha iyi tahminler yapılmasına olanak tanır. Yapay zeka tabanlı sistemler, toprak koşullarındaki değişimleri sürekli olarak analiz eder ve çiftçilere toprak

sağlığını iyileştirecek değişiklikler hakkında bilgi sunar (Widianto ve ark., 2022).

Ayrıca, toprak sağlığını tehdit edebilecek potansiyel sorunlar için erken uyarı sistemleri oluşturulabilir. Yapay zeka, topraktaki anormal değişiklikler, hastalıklar veya zararlılar hakkında uyarılar sağlayarak çiftçilere bu sorunları önceden tespit etme fırsatı sunar (Kodama ve ark., 2020; Widianto ve ark., 2022). Sonuç olarak, yapay zeka toprak yönetiminde devrim yaratma potansiyeline sahiptir. Toprak sağlığını izlemek, sulama yönetimini optimize etmek, biyolojik ve kimyasal dengeyi sağlamak ve çevresel etkileri minimize etmek gibi alanlarda Yapay zeka çözümleri, tarımda daha verimli ve sürdürülebilir üretimi teşvik eder. Çiftçilere doğru kararlar alabilmek için güvenilir ve gerçek zamanlı veriler sunarak, tarımda daha bilinçli ve çevre dostu uygulamaların gelişmesine katkı sağlar (Widianto ve ark., 2022; Kodama ve ark., 2020).

5.10. Tarımsal Ürünlerin Tedarik Zinciri

Yapay zeka, tarımsal ürünlerin tedarik zincirinde önemli bir etkiye sahiptir ve bu etki, verimliliği artırmak, maliyetleri düşürmek, kaynakları daha verimli kullanmak ve tedarik zincirinin her aşamasını optimize etmek için kullanılır. Tarımda tedarik zinciri, ürünlerin üreticiden tüketiciye ulaşana kadar geçtiği tüm süreçleri kapsar; üretim, hasat, depolama, işleme, taşıma, dağıtım ve perakende satış bu sürecin temel aşamalarıdır. Yapay zeka, bu aşamaların her birinde önemli iyileştirmeler sağlayarak verimliliği artırır ve maliyetleri düşürür (Salehin ve ark., 2020).

Tüketici taleplerini doğru bir şekilde tahmin etmek, tarımda tedarik zincirinin en büyük zorluklarından biridir. Yapay zeka, büyük veri analizleri kullanarak hava durumu, ekonomik göstergeler, tüketici trendleri ve geçmiş satış verileri gibi faktörleri değerlendirir (Widianto ve ark., 2022). Bu verilerle yapılan talep tahminleri, üreticilerin ve çiftçilerin üretim planlarını daha doğru yapmalarını sağlar ve stok yönetimini optimize eder. Böylece gereksiz stok birikmelerinin önüne geçilir, maliyetler azalır ve tedarik zincirindeki israf minimize edilir (Hadidi ve ark., 2021).

Yapay zeka, tedarik zincirinin her aşamasındaki verilerin izlenmesine imkan tanır. Sensörler, IoT cihazları, dronlar ve GPS teknolojileri ile entegre

çalışanYapay zeka çözümleri, ürünlerin üretimden nihai tüketime kadar her adımda nerede olduğunu takip edebilir. Bu sayede, tedarik zincirindeki şeffaflık artar, ürün kayıpları ve bozulmalar azalır. Ayrıca, kalite kontrolü sağlamak amacıyla anlık veri analizleri yapılabilir (Parasuraman ve ark., 2021).

Hasat zamanlaması, tarımsal üretim süreçlerinde verimliliği doğrudan etkileyen bir faktördür. Yapay zeka, toprak sağlığı, hava durumu ve çevresel faktörler göz önünde bulundurularak hasat zamanını belirlemeye yardımcı olur Kodama ve ark., 2020. Üretim planlamasını optimize ederek, çiftçilerin ürünleri en uygun zamanda hasat etmelerini sağlar, bu da taze ürünlerin pazara daha hızlı ulaşmasını ve tedarik zincirindeki bozulmaları azaltır (Marinoudi ve ark., 2019)

Taşıma ve dağıtım süreçlerinde deYapay zeka önemli bir rol oynar. Taşıma rotalarını analiz ederek daha kısa ve verimli güzergahlar belirler ve taşıma araçlarının yükünü optimize eder. Böylece ürünlerin daha az yakıtle ve zaman kaybı olmadan taşınmasını sağlar. Bu, lojistik maliyetlerini düşürürken, karbon ayak izini de azaltır (Hadidi ve ark., 2021).

Gıda israfı, tarımda tedarik zincirinde karşılaşılan büyük bir sorundur. Yapay zeka, ürünlerin depolama, taşıma ve dağıtım aşamalarını optimize ederek israfı en aza indirir Kodama ve ark., 2020. Depolama koşullarını izleyen sensörler, nem, sıcaklık ve ışık gibi faktörleri takip ederek ürünlerin bozulmasını engeller. Ayrıca, talep tahminleri sayesinde üreticiler fazla üretim yapmaktan kaçınarak israfı önleyebilir (Salehin ve ark., 2020).

Kalite kontrolünde de yapay zekanın katkıları büyüktür. Görüntü işleme ve makine öğrenimi algoritmaları, ürünlerin kalite düzeyini değerlendirebilir ve düşük kaliteli veya hatalı ürünleri hızlı bir şekilde tespit edebilir.Yapay zeka tabanlı sistemler, tarımsal ürünlerin hasat, işleme ve dağıtım aşamalarındaki kaliteyi izleyerek, ürünlerin pazara ulaşmadan önce standartlara uygun olmasını sağlar (Hadidi ve ark., 2021).

Envanter yönetimi, tedarik zincirindeki maliyetlerin kontrol altında tutulmasında kritik bir rol oynar. Yapay zeka, envanterin durumunu, talep tahminlerini ve geçmiş satış verilerini analiz ederek fazla ürün stoğunun önüne geçer ve gereksiz maliyetlerin engellenmesine yardımcı olur Marinoudi ve ark., 2019. Ayrıca, tedarikçi ve dağıtıcı ilişkilerini daha verimli yönetmek içinYapay

zeka çözümleri kullanılabilir. Tedarikçiler ve dağıtıcılar arasındaki bilgi akışını hızlandırarak, her ürünün doğru zaman ve koşullarda teslim edilmesini sağlar (Hadidi ve ark., 2021)..

Fiyatlandırma stratejileri konusunda da yapay zeka önemli bir araçtır. Talep, hava durumu, üretim verimliliği ve pazar koşullarını analiz ederek, ürünlerin en uygun fiyatlarla satılmasına yardımcı olur. Dinamik fiyatlandırma stratejileri, çiftçilere ve tedarikçilere daha yüksek kar marjları elde etme imkanı sunar (Marinoudi ve ark., 2019).

Son olarak, yapay zeka tedarik zincirindeki çevresel etkileri izleyip azaltma konusunda da önemli bir araçtır. Enerji tüketiminin optimize edilmesi, karbon salınımının izlenmesi ve su kullanımının yönetilmesi gibi uygulamalar, çevresel sürdürülebilirliği artırır. Tedarik zincirinin her aşamasında çevresel etkilerin izlenmesi, doğaya zarar vermeden verimli bir şekilde üretim ve dağıtım yapılmasını sağlar (Parasuraman ve ark., 2021).

Yapay zeka, tarımsal ürünlerin tedarik zincirini daha verimli, sürdürülebilir ve çevre dostu hale getirebilir. Talep tahmini, lojistik optimizasyonu, kalite kontrolü, maliyet yönetimi ve çevresel etki azaltma gibi alanlarda sunduğu çözümlerle, tedarik zincirindeki her aşamayı daha verimli hale getirir, israfı önler, maliyetleri düşürür ve çiftçilerle tüketiciler için daha sürdürülebilir bir tarım pratiği oluşturur (Salehin ve ark., 2020).

6. SONUÇ

Sonuç olarak, yapay zeka, tarım sektöründe verimliliği artıran, kaynakları daha sürdürülebilir bir şekilde kullanan ve çevresel etkileri minimize eden önemli bir teknolojik dönüşüm sağlamaktadır. Sulama, yabani ot mücadelesi, hastalık ve zararlı yönetimi, ilaçlama, toprak sağlığı takibi, hasat zamanlaması ve tedarik zinciri yönetimi gibi birçok alanda sağladığı çözümlerle, tarımsal üretimi daha verimli ve sürdürülebilir hale getirmektedir. Yapay zeka tabanlı sistemler, çiftçilere daha bilinçli ve verimli kararlar alabilme imkânı tanırken, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasına da katkı sağlamaktadır. Gelecekte, bu teknolojilerin daha da yaygınlaşması, tarımın hem ekonomik hem de çevresel açıdan daha dayanıklı ve verimli bir hale gelmesine olanak tanıyacaktır.

Sonuç olarak, tarımda yapay zekâ kullanımı, sektördeki verimliliği artırarak, kaynakların daha etkin ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Sulama, pest kontrolü, toprak sağlığı yönetimi, hasat zamanlaması gibi kritik alanlarda sağladığı yenilikçi çözümler, tarımsal üretimi daha çevre dostu ve verimli hale getirmektedir. Ayrıca, yapay zeka teknolojilerinin tedarik zincirindeki optimizasyonu, israfı önleyerek, maliyetleri düşürmekte ve çevresel etkileri azaltmaktadır. Bu teknolojilerin tarımda yaygınlaşması, hem üreticilere hem de küresel ekosisteme büyük faydalar sağlayarak, sürdürülebilir tarım uygulamalarının gelişmesine katkı sunacaktır. Gelecekte, yapay zeka tabanlı sistemlerin daha da evrilmesiyle, tarım sektörü daha verimli, esnek ve çevre dostu bir yapıya kavuşacaktır.

KAYNAKLAR

- Al-bayati JSH, Üstündag BB. Artificial intelligence in smart agriculture: modified evolutionary optimization approach for plant disease identification. In: 2020 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT). IEEE; 2020, October:1–6.
- Al-bayati JSH, Üstündag BB. Artificial intelligence in smart agriculture: modified evolutionary optimization approach for plant disease identification. In: 2020 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT). IEEE; 2020, October:1–6.
- Ampatzidis Y, Partel V, Costa L. Agroview: cloud-based application to process, analyze and visualize UAV-collected data for precision agriculture applications utilizing artificial intelligence. *Comput Electron Agric.* 2020;174, 105457.
- 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. (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), 129-156.
- Awasthi Y. Press “A” for artificial intelligence in agriculture: a review. *JOIV: Int. J. Inf. Visual.* 2020;4(3):112–116.
- B. F. Johnston, P. Kilby, *Agriculture and Structural Transformation: Economic Strategies in Late-Developing Countries*, Oxford University Press, 1975
- Bannerjee G, Sarkar U, Das S, Ghosh I. Artificial intelligence in agriculture: a literature survey. *Int. J. Sci. Res. Comput. Sci. Appl. Manag. Stud.* 2018;7(3):1–6.

- Banthia V, Chaudaki G. The study on use of artificial intelligence in agriculture. J. Adv. Res. Appl. Artif. Intell. Journal of Advanced Research in Applied Artificial Intelligence and Neural Network. 2022;5(2):18–22.
- Barenkamp M. A New IoT Gateway for Artificial Intelligence in Agriculture. 2020 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE). IEEE; 2020, June:1–5.
- Barenkamp M. A New IoT Gateway for Artificial Intelligence in Agriculture. 2020 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE). IEEE; 2020, June:1–5.
- Beloev I, Kinaneva D, Georgiev G, Hristov G, Zahariev P. Artificial intelligence driven autonomous robot for precision agriculture. Acta Technol Agric. 2021;24(1): 48–54.
- Ben Ayed R, Hanana M. Artificial intelligence to improve the food and agriculture sector. J Food Qual. 2021:2021.
- Bharti VK, Bhan S. Impact of artificial intelligence for agricultural sustainability. J Soil Water Conserv. 2018;17(4):393–399.
- Blessy JA. Smart irrigation system techniques using artificial intelligence and IoT. In: 2021 Third International Conference on Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks (ICICV). IEEE; 2021, February:1355–1359.
- Bolandnazar E, Rohani A, Taki M. Energy consumption forecasting in agriculture by artificial intelligence and mathematical models. Energy Sources, Part A Recovery, Util Environ Eff. 2020;42(13):1618–1632.
- Chougule MA, Mashalkar AS. A comprehensive review of agriculture irrigation using artificial intelligence for crop production. Comput. Intell. Manuf. 2022: 187–200.
- Ennouri K, Smaoui S, Gharbi Y, et al. Usage of artificial intelligence and remote sensing as efficient devices to increase agricultural system yields. J Food Qual. 2021:2021.
- FAO. 2021. *The State of Food and Agriculture 2021. Making agrifood systems more resilient to shocks and stresses*. Rome, FAO.
- Fazal N, Haleem A, Bahl S, Javaid M, Nandan D. Digital management systems in manufacturing using industry 5.0 technologies. In: Advancement in Materials, Manufacturing and Energy Engineering. vol. II. Singapore: Springer; 2022:221–234.
- Fuentes S, Gonzalez Viejo C, Cullen B, Tongson E, Chauhan SS, Dunshea FR. Artificial intelligence applied to a robotic dairy farm to model milk

- productivity and quality based on cow data and daily environmental parameters. *Sensors*. 2020; 20(10):2975.
- Hadidi A, Saba D, Sahli Y. The role of artificial neuron networks in intelligent agriculture (case study: greenhouse). In: *Artificial Intelligence for Sustainable Development: Theory, Practice and Future Applications*. Cham: Springer; 2021:45–67.
- Hemming S, de Zwart F, Elings A, Righini I, Petropoulou A. Remote control of greenhouse vegetable production with artificial intelligence—greenhouse climate, irrigation, and crop production. *Sensors*. 2019;19(8):1807.
- Herrero, M., Thornton, P. K., Power, B., Bogard, J. R., Remans, R., Fritz, S., ... Havlík, Petr (2017). Farming and the geography of nutrient production for human use: A transdisciplinary analysis. *The Lancet Planetary Health*, 1(1), e33–e42. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(17\)30007-4](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30007-4).
- Javaid M, Haleem A, Singh RP, Suman R. Artificial intelligence applications for industry 4.0: a literature-based study. *J. Indus. Integrat. Manag.* 2022;7:83–111, 01
- Jha K, Doshi A, Patel P, Shah M. A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. *Artif. Intell. Agric.* 2019;2:1–12.
- Jung J, Maeda M, Chang A, Bhandari M, Ashapure A, Landivar-Bowles J. The potential of remote sensing and artificial intelligence as tools to improve the resilience of agriculture production systems. *Curr Opin Biotechnol.* 2021;70:15–22.
- Klerkx L, Jakku E, Labarthe P. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: new contributions and a future research agenda. *NJAS- Wageningen J Life Sci.* 2019;90, 100315.
- Kodama T, Hata Y. Development of classification system of rice disease using artificial intelligence. In: *2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*. IEEE; 2018, October:3699–3702.
- Leal Filho W, Wall T, Mucova SAR, et al. Deploying artificial intelligence for climate change adaptation. *Technol Forecast Soc Change.* 2022;180, 121662.
- Lee J, Nazki H, Baek J, Hong Y, Lee M. Artificial intelligence approach for tomato detection and mass estimation in precision agriculture. *Sustainability.* 2020;12(21): 9138.

- Linaza MT, Posada J, Bund J, et al. Data-driven artificial intelligence applications for sustainable precision agriculture. *Agronomy*. 2021;11(6):1227.
- Liu SY. Artificial intelligence (AI) in agriculture. *IT Prof*. 2020;22(3):14–15.
- M. A. Kekane, “Indian agriculture-status, importance and role in Indian economy”, *International Journal of Agriculture and Food Science Technology*, Vol. 4, No. 4, pp. 343-346, 2013
- M. Fan, J. Shen, L. Yuan, R. Jiang, X. Chen, W. J. Davies, F. Zhang, “Improving crop productivity and resource use efficiency to ensure food security and environmental quality in China”, *Journal of Experimental Botany*, Vol. 63, No. 1, pp. 13-24, 2012
- Marinoudi V, Sørensen CG, Pearson S, Bochtis D. Robotics and labour in agriculture. A context consideration. *Biosyst Eng*. 2019;184:111–121.
- Mohr S, Kühl R. Acceptance of artificial intelligence in German agriculture: an application of the technology acceptance model and the theory of planned behavior. *Precis Agric*. 2021;22(6):1816–1844.
- O. Oyakhilomen, R. G. Zibah, “Agricultural production and economic growth in Nigeria: Implication for rural poverty alleviation”, *Quarterly Journal of International Agriculture*, Vol. 53, No. 3, pp. 207-223, 2014.
- Orchi H, Sadik M, Khaldoun M. On using artificial intelligence and the internet of things for crop disease detection: a contemporary survey. *Agriculture*. 2021;12(1): 9.
- Papadimitriou F. Artificial Intelligence in modelling the complexity of Mediterranean landscape transformations. *Comput Electron Agric*. 2012;81:87–96.
- Parasuraman K, Anandan U, Anbarasan A. IoT-based smart agriculture automation in artificial intelligence. In: 2021 Third International Conference on Intelligent Communication Technologies And Virtual Mobile Networks (ICICV). IEEE; 2021, February:420–427.
- Partel V, Costa L, Ampatzidis Y. Smart tree crop sprayer utilizing sensor fusion and artificial intelligence. *Comput Electron Agric*. 2021;191, 106556.
- Partel V, Nunes L, Stansly P, Ampatzidis Y. Automated vision-based system for monitoring Asian citrus psyllid in orchards utilizing artificial intelligence. *Comput Electron Agric*. 2019; 162:328–336.
- Quinn J, Frias-Martinez V, Subramanian L. Computational sustainability and artificial intelligence in the developing world. *AI Mag*. 2014;35(3):36–47.

- R. Dekle, G. Vandenbroucke, “A quantitative analysis of China’s structural transformation”, *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 36, No. 1, pp. 119-135, 2012
- Rizvi AT, Haleem A, Bahl S, Javaid M. Artificial intelligence (AI) and its applications in Indian manufacturing: a review. *Curr. Adv. Mech. Eng.* 2021; 825–835.
- Rizvi AT, Haleem A, Bahl S, Javaid M. Artificial intelligence (AI) and its applications in Indian manufacturing: a review. *Curr. Adv. Mech. Eng.* 2021; 825–835.
- Rozhkova AV, Rozhkov SE. Artificial intelligence technologies in the agro industrial complex: opportunities and threats. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. vol. 981. IOP Publishing; 2022, February. No. 3, p. 032013
- Sagan V, Maimaitijiang M, Paheding S, et al. Data-driven artificial intelligence for calibration of hyperspectral big data. *IEEE Trans Geosci Rem Sens.* 2021; 60:1–20
- Saheb T, Dehghani M, Saheb T. Artificial intelligence for sustainable energy: a contextual topic modeling and content analysis. *Sustain. Comput.: Inf. Syst.* 2022; 35, 100699.
- Salehin I, Talha IM, Hasan MM, Dip ST, Saifuzzaman M, Moon NN. An Artificial intelligence based rainfall prediction using LSTM and neural network. In: *2020 IEEE International Women in Engineering (WIE) Conference On Electrical And Computer Engineering (WIECON-ECE.* IEEE; 2020, December:5–8.
- Sane TU, Sane TU. Artificial intelligence and deep learning applications in crop harvesting robots-A survey. In: *2021 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE).* IEEE; 2021, June:1–6.
- Shadrin D, Menshchikov A, Ermilov D, Somov A. Designing future precision agriculture: detection of seeds germination using artificial intelligence on a low power embedded system. *IEEE Sensor J.* 2019;19(23):11573–11582.
- Shadrin D, Menshchikov A, Somov A, Bornemann G, Hauslage J, Fedorov M. Enabling precision agriculture through embedded sensing with artificial intelligence. *IEEE Trans Instrum Meas.* 2019;69(7):4103–4113.
- Sharma A, Georgi M, Tregubenko M, Tselykh A, Tselykh A. Enabling smart agriculture by implementing artificial intelligence and embedded sensing. *Comput Ind Eng.* 2022;165, 107936.

- Sharma R. Artificial intelligence in agriculture: a review. In: 2021 5th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS). IEEE; 2021, May: 937–942.
- Singh KK. An artificial intelligence and cloud based collaborative platform for plant disease identification, tracking and forecasting for farmers. In: 2018 IEEE International Conference on Cloud Computing in Emerging Markets (CCEM). IEEE; 2018, November:49–56.
- Singh P, Kaur A. A systematic review of artificial intelligence in agriculture. *Deep Learning. Sustain. Agric.* 2022;57–80.
- Singh P, Kaur A. A systematic review of artificial intelligence in agriculture. *Deep Learning. Sustain. Agric.* 2022;57–80.
- Sishodia RP, Ray RL, Singh SK. Applications of remote sensing in precision agriculture: a review. *Rem Sens.* 2020;12(19):3136.
- Skvortsov EA. Prospects of applying artificial intelligence technologies in the regional agriculture. *Ekonomika Regiona. Econ. Reg.* 2020;(2):563.
- Smith MJ. Getting value from artificial intelligence in agriculture. *Anim Prod Sci.* 2018;60(1):46–54.
- Su WH. Crop plant signaling for real-time plant identification in smart farm: a systematic review and new concept in artificial intelligence for automated weed control. *Artif. Intell. Agric.* 2020; 4:262–271.
- Subeesh A, Mehta CR. Automation and digitization of agriculture using artificial intelligence and internet of things. *Artif. Intell. Agric.* 2021; 5:278–291.
- Taberkit AM, Kechida A, Bouguettaya A. Algerian perspectives for UAV-based remote sensing technologies and artificial intelligence in precision agriculture. In: *Proceedings of the 4th International Conference On Networking. Information Systems & Security*; 2021, April:1–9.
- Tzachor A, Devare M, King B, Avin S, OhEigartaigh S. Responsible artificial intelligence in agriculture requires systemic understanding of risks and externalities. *Nat Mach Intell.* 2022;4(2):104–109.
- Tzachor A, Devare M, King B, Avin S, OhEigartaigh S. Responsible artificial intelligence in agriculture requires systemic understanding of risks and externalities. *Nat Mach Intell.* 2022;4(2):104–109.
- Vijayakumar V, Balakrishnan N. Artificial intelligence-based agriculture automated monitoring systems using WSN. *J Ambient Intell Hum Comput.* 2021;12(7): 8009–8016.
- Wang H. The rationality evaluation of green agriculture industry structure in heilongjiang province based on artificial intelligence technology. In:

2019 12th International Conference on Intelligent Computation Technology And Automation (ICICTA). IEEE; 2019, October:719–723.

Widianto MH, Ardimansyah MI, Pohan HI, Hermanus DR. A systematic review of current trends in artificial intelligence for smart farming to enhance crop yield. J. Rob. Cont. 2022;3(3):269–278.

BÖLÜM 3

İTALYAN ÇİMİ ÜRETİMİNDE GİRDİ ENERJİ MİKTARINA BAĞLI SERA GAZI EMİSYONUNUN BELİRLENMESİ

Zir. Yük. Müh. Mustafa YILDIRIM^{1*}

Doç. Dr. Osman ÖZBEK²

Prof. Dr. Osman GÖKDOĞAN³

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14503730>

*: Bu çalışma Mustafa YILDIRIM'ın yüksek lisans tez çalışmasından özetlenmiştir.

¹Jandarma Genel Komutanlığı, Jandarma Komando Tabur Komutanlığı, Ankara, Türkiye, ORCID ID: 0009-0001-9705-1327, e-mail: my151525012@gmail.com)

²Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği, Konya, Türkiye, ORCID ID: 0000-0003-0034-9387 e-mail: ozbek@selcuk.edu.tr

³Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği, Isparta, Türkiye, ORCID ID: 0000-0002-4933-7144, osmangokdogan@gmail.com

**Sorumlu Yazar: my151525012@gmail.com

1. GİRİŞ

Ülkemizde en çok silaj, mısırdan yapılmaktadır. İtalyan çimi (*Lolium italicum* L.) buğdaygil yem bitkisi silajının besin madde içeriğinin iyi olması, hayvanlar tarafından sevilerek yenmesi, aynı zamanda süt sığırcılığında olumlu sonuçlar vermesi nedeni ile son zamanlarda ekimi yaygınlaşmaktadır. İtalyan çimi (*Lolium italicum* L.) buğdaygil yem bitkisinin silajı yapılarak ve kuru ot olarak ruminantlara verilmektedir. İlk olarak İtalya’da yetişmeye başlanmış İtalyan çimi günümüzde dünyanın serin iklim kuşağına sahip olan hemen her yerinde yetişmektedir (Tosun, 1974). İtalyan çiminin anavatanı Güney ve Batı Avrupa ile Kuzey Afrika ve Güney Batı Asya’dır (Soya ve ark., 1997).

İtalyan çimi (*Lolium italicum* l.) bir buğdaygil yem bitkisi olup geniş yapraklı, çok lezzetli ve kolay sindirilebilen tek yıllık, bazen yüksek rakımlarda iki yıllık buğdaygil yem bitkisidir. Enerji, protein ve besin değerleri oldukça yüksek olan İtalyan çimi, yeşil ot olarak kullanılabilceği gibi silajlık ve kuru ot olarak da değerlendirilebilmekte olup farklı bitkiler ile de silajı yapılması mümkündür. Çok erken dönemde biçildiği takdirde protein oranı yüksek, fakat verimi düşük olabilir. Biçim geciktikçe, kaba yem özelliğini veren ve sindirilmesini zayıflatacak lifli maddeler artmakta olup, protein değerlerinde azalma görülmektedir (Özköse ve Acar, 2018).

Kısa sürede otlatma boyuna ulaşabilen bir yem bitkisi olmasından dolayı, mera ıslahı içinde uygundur. İtalyan çimi mısır ile nöbetleşe ekildiğinde toprakta organik maddeyi arttırdığı için toprakta iyileşme gerçekleştiği görülmektedir. İtalyan çimi, mısır ekiminden sonra toprakta kalan azotu (N) iyi kullanabilmekte, lifli kök yapısı ile toprak erozyonu önlemede ve hayvanlar tarafından sevilerek yenilen bir yem bitkisidir (Özkuş ve ark., 2012).

Enerji sistemleri ile enerji üretiminden, tüketimine ve atılmasına kadar gerçekleşen farklı aşamalarda, çevreye değişik emisyonlar bırakır. Bunlardan en önemlileri GHG emisyonlarıdır. Bu emisyonda, CO₂ (Karbon dioksit), CH₄ (Metan), N₂O (Nitröz Oksit), HFCs (Hidroflorür karbonlar), PFCs (Perfloro karbonlar), SF₆ (Sülfürhekza florid) gibi atmosferde ısı tutma özelliğine sahip gazlar bulunmaktadır ve bu bileşiklere sera gazı ismi verilmektedir (Eren, 2011).

Tarımda GHG emisyonları, makine kullanımı, yakıt tüketimi, kimyasal ilaç kimyasal gübre kullanımı, hayvancılık ve elektrik tüketiminden kaynaklanmaktadır. Enerji etkinliğini artırmak için girdileri azaltarak verimi arttırmamız gerekmektedir. Enerji tüketiminde en büyük paya sahip olan yakıt, kimyasal gübreler, tarımsal ilaçlar, makine ve traktör girdilerinin minimum seviyeye indirilmesi gerekmektedir (Çelen, 2016).

Sürekli artan nüfus miktarına paralel olarak insan yaşamının vazgeçilmez bir parçası olan enerji tüketimi de artmaktadır. Doğal kaynak tüketiminin ve çevre kirliliğinin hızla artması aynı zamanda yüksek enerji maliyetleri gibi faktörler göz önünde bulundurulduğunda enerjinin, tarımsal üretim, endüstri, bina, hizmet, ulaştırma gibi alanlarda daha verimli ve etkin kullanılması gerekli hale gelmiştir. Günümüzde enerji, ekonomi ve çevre üçlüsü bir arada incelenmekte olup, enerji kullanımından kaynaklanan GHG emisyonları ve iklim değişikliğine olan etkileri ayrıca incelenmektedir. Enerji kullanımının çevreye olan zararlarını azaltmadaki birincil yöntem enerji kullanımını etkinliğini arttırmaktır. Enerji kaynaklarının düzensiz ve dikkatsiz kullanımı sonucu ortaya çıkan yan etkiler, enerji tüketimini planlı ve dikkatli kullanmayı tetiklemektedir (Öztürk ve ark., 2009).

Sera gazları (GHG) güneşten gelen ve yerden yansıyan radyasyonu tutarak atmosferin ısıl dengesini sağlamaktadır. Yaşamsal faaliyetlerin devamlılığı için kullanılan enerjilerin açığa çıkarmış olduğu çeşitli sera gazları 20. yüzyılda karşımıza çıkan en büyük sorun olup, atmosferin ısınmasındaki birincil sebeptir. Bu bağlamda daha fazla güneş radyasyonu tutularak, yerküre ısınmaktadır (Bekiroğlu, 2011).

Enerji kullanımı, sera gazı emisyonları ve bunların küresel iklim değişikliklerine olan potansiyel etkileri en çok konuşulan konulardandır. Buna bağlı olarak, daha çok enerji kullanımı, insan sağlığını etkileyen ve sera gazı emisyonları gibi önemli çevresel sorunları ortaya çıkarmaktadır, bu nedenle girdilerin daha ekonomik kullanılması sürdürülebilir tarımsal üretim açısından önemli bir hale gelmektedir (Şanlı ve ark., 2017).

Tarımda sera gazı emisyonları, makine kullanımı, yakıt tüketimi, kimyasal ilaç, kimyasal gübre kullanımı, hayvancılık ve elektrik tüketiminden ortaya çıkmaktadır. Enerji etkinliğini artırmak için verimin artırılması veya girdilerin azaltılması gerekmektedir. Enerji kullanımı içerisinde birincil yere sahip yakıt, kimyasal gübreler, tarım ilaçları, makine ve traktör gibi

girdilerinin azaltılması gerekmektedir (Çelen, 2016).

TÜİK'in yayımladığı GHG emisyonu istatistikleri sonuçlarına göre 2021 yılı toplam sera gazı emisyonu bir önceki yıla göre %7.63 artarak 564.4 milyon ton (Mt) CO₂ eşdeğeri olarak belirlenmiştir. Kişi başı toplam GHG emisyonu 2010 yılında 5,41 ton CO₂ eşdeğeri, 2020 yılında 6.27 ton CO₂ eşdeğeri ve 2021 yılında 6,6 ton CO₂ eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Ülkemizde toplam sera gazı emisyonlarının 2021 yılında sektörel dağılımı %71.28 ile enerji sektörlerinden, %13.30'u endüstriyel, %12.77'si tarım sektöründen ve %2.48'i atıklardan kaynaklanmaktadır (Anonim, 2021a). Türkiye'nin yıllara göre İtalyan Çimi ekim alanı ve üretimi Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Türkiye'nin yıllara göre İtalyan çimi ekim alanı ve üretimi (Anonim, 2020)

Yıllar	İtalyan Çimi	
	Ekim Alanı (da)	Yeşil ot (ton)
2014	4832	17023
2015	15196	58046
2016	48001	210935
2017	77268	348046
2018	103410	448086
2019	164452	616709

İtalyan çimi üretimindeki enerjiyi en etkili şekilde kullanmak ve çevresel duyarlılığın hızla arttığı günümüzde enerji tüketiminden kaynaklı GHG emisyonlarını belirlemek amacıyla bu çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada Konya ili ilçelerinde İtalyan çimi üretiminde kullanılan enerji tüketimi ve sera gazı emisyonları incelenmiştir.

2. KONU İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Taghavifar ve Mardani (2015) İran'da elma üretiminde enerji kullanımı ve GHG emisyonlarının belirlemişlerdir. Toplam enerji girdisini 77064.24 MJ ha⁻¹, enerji çıktısını 80269.52 MJ ha⁻¹, toplam GHG emisyonunu 1195.79 kg CO₂eş ha⁻¹ olarak hesaplamışlardır. Yenilenebilir enerji kaynakları payının %45.37, yenilenemeyen enerji kaynakları payının ise %46.97 olduğunu tespit

etmişlerdir.

Mardani ve Taghavifar (2016) İran'da üzüm üretiminde, toplam enerji girdisini $39968.49 \text{ MJ ha}^{-1}$, enerji çıktısını $218,71 \text{ MJ ha}^{-1}$, toplam GHG emisyonunu ise $858.62 \text{ kg CO}_{2\text{eş}} \text{ ha}^{-1}$ olarak saptamışlardır.

Ozalp ve ark. (2018) Antalya ilinde nar üretiminde, toplam enerji girdisini $50605.5 \text{ MJ ha}^{-1}$, enerji çıktısını $76252.3 \text{ MJ ha}^{-1}$, toplam GHG emisyonlarını ise $1.73 \text{ tCO}_{2\text{eş}} \text{ ha}^{-1}$ olarak hesaplamışlardır.

Baran ve ark. (2019) Adana koşullarında yetiştirilen nohut üretiminde, enerji çıktı/girdi oranını 1,82, özgül enerji değerini 9.99 MJ kg^{-1} , enerji üretkenliğini 0.10 kg MJ^{-1} net enerji verimi ise $8319.86 \text{ MJ ha}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Nohut üretimi için toplam sera gazı emisyonunu $1638.85 \text{ kgCO}_{2\text{eş}} \text{ ha}^{-1}$ olarak belirlemişlerdir.

Baran ve ark. (2021) Diyarbakır ili Bismil ilçesinde pamuk yetiştiriciliğinin GHG oranını hesaplamak amacı ile 73 farklı işletme ile yüz yüze anket yaparak analiz etmiştir. Pamuk yetiştiriciliğinde toplam GHG emisyonunu $60482.36 \text{ kgCO}_{2\text{eş}} \text{ ha}^{-1}$, en büyük oranın %47.94 ile elektrik enerjisine ait olduğunu ve GHG oranını $1.16 \text{ kgCO}_{2\text{eş}} \text{ kg}^{-1}$ olduğunu saptamışlardır.

Konu ile ilgili Çelik ve ark. (2024) pıkan cevizi üzerine, Ağızan ve ark. (2024) üzüm üzerine, Özbek ve ark. (2024) susam üzerine, Yalçın Dokumacı ve ark. (2023) nar üzerine, Özbek ve ark. (2023) limon üzerine, Özbek ve ark. (2021) susam üzerine, Çıtlı ve ark. (2020) çim üzerine, Konak ve ark. (2005) mısır üzerine çalışmalar yapmışlardır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışma kapsamında yapılan bütün analizler ve hesaplamalar 2023 yılı içerisinde yapılmış olup; Konya ilinde İtalyan çimi üretimi yapan işletmelerden 2022 yılı hasat sezonuna ait verilerden elde edilmiştir. Çalışma verileri Konya ilinde toplam İtalyan çimini üretiminin %90.5'ine sahip olan

Karapınar ve Ereğli ilçelerinden elde edilmiştir. Bunun dışında Tarım ve Orman İl ve İlçe Müdürlüklerinden veriler elde edilmiştir. Toplanan veriler sınıflandırılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Konya, İç Anadolu bölgesinin güney tarafında yer alan, Ankara, Aksaray, Niğde, Mersin, Karaman, Antalya, Isparta ve Eskişehir illerine komşu olan, 36° 22' ve 39° 08' kuzey paralelleri ile 31° 14' ve 34° 05' doğu meridyenleri arasında yer alan toplamda 31 ilçeye sahip olan ilimizdir. Türkiye yüzölçümünün %5.24'lük kısmına karşılık gelerek, göllerde dâhil olmak üzere 40832 km²'lik alan ile Türkiye'nin en büyük yüzölçümüne sahiptir (Şekil 3.1). Bu yüzölçümü içerisinde tarım arazisi olarak kullanılan alan 18500 km² ile toplam yüz ölçümünün %46.2'lik kısmını oluşturmaktadır (Anonim, 2021b).

3.1. Yöntem

Çalışmamızın ana materyalini Konya ili İlçelerinde, İtalyan çimi üreticileri ile yüz yüze yapılan anketlerden elde edilen veriler oluşturmuştur. Bölgedeki bütün işletmeler ile anket yapılması yerine, sadece İtalyan çimi üretiminin yoğun olduğu Karapınar ve Ereğli bölgelerinde tam sayım yöntemi kullanılarak anket sayısı belirlenmiştir (Çiçek ve Erkan, 1996; Güneş ve Arıkan, 1998). Seçilen bu bölgedeki ulaşılabilen toplam 58 işletme ile yüz yüze anket çalışması yapılmış ve veriler toplanmıştır. Tarımsal üretimdeki girdilerden oluşan GHG emisyonlarının belirlenmesinde gerekli eşdeğerler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Tarımsal üretimdeki girdilerin sera gazı emisyon eşdeğerleri

Girdiler	Birim	Enerji eşdeğeri (MJ birim ⁻¹)	Kaynaklar
İnsan işgücü	h	0.360	Houshyar ve ark., 2015; Ozalp ve ark., 2018
Makine	MJ	0.071	Dyer ve Desjardins, 2006; Ekinci ve ark., 2020
Dizel yakıt	L	2.760	Dyer ve Desjardins, 2006; Ekinci ve ark., 2020
N	kg	1.300	Lal, 2004; Ozalp ve ark., 2018
P	kg	0.200	Lal, 2004; Ozalp ve ark., 2018
Tohum	kg	7.630	Clark ve ark. 2016; Eren ve ark., 2019
Sulama suyu	m ³	0.270	Houshyar ve ark., 2015; Ozalp ve ark. 2018

Sera gazı emisyonunun belirlenmesinde aşağıda verilen eşitlikten faydalanılmıştır (Hughes ve ark., 2011).

$$GHG_h = \sum_{i=1}^n R_i \times EF_i$$

GHG_{ha} : Sera gazı emisyonu (kgCO_{2eş} ha⁻¹)

$R(i)$: i girdisinin uygulama miktarı (birimgirdi ha⁻¹)

$EF(i)$: i girdisinin GHG emisyon eşdeğeri (kgCO_{2eş} birim_{girdi}⁻¹)

Sera gazı emisyon oranı; birim alandan elde edilen verim başına düşen sera gazı emisyon miktarı olarak tanımlanmakta olup aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$I_{GHG} = GHG_{ha}$$

I_{GHG} : GHG oranı (kgCO_{2eş} kg⁻¹)

Y : Verim (kg ha⁻¹)

4. ÇALIŞMA BULGULARI

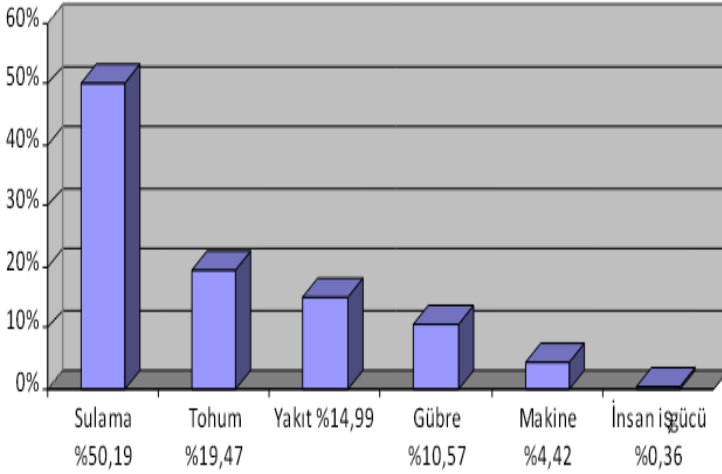
Anket yapılan 58 işletmelerden elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Hesaplanan değerlere ilişkin sonuçlara dayanarak İtalyan çimi üretiminde sera gazı emisyonları hesaplanmıştır. Anket kapsamında, toplam 3383 da ekili alan olup, İtalyan çimi üretiminde yeşil ot verimi 20316.29 kg ha⁻¹ ve kuru ot verimi ise 4567.10 kg ha⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

Girdi enerji miktarına bağlı olarak oluşan sera gazı emisyonu miktarı, birim alandaki girdi kullanımı ve girdilere ait GHG emisyonları değerleri Çizelge 4.1'de GHG emisyonları yüzdesel dağılımı ise Şekil 4.1'de verilmiştir. Birim alan başına girdi miktarı, gerekli sera gazı emisyon eşdeğeri ile çarpılarak sera gazı emisyonu miktarı hesaplanmış olup toplam sera gazı içerisindeki oranları belirtilmiştir.

İtalyan çimi üretiminde kullanılan girdi miktarına bağlı olarak açığa çıkan sera gazı emisyonu toplamda 1981.29 kgCO₂eş ha⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Açığa çıkan toplam GHG emisyonu içerisinde en yüksek payı 994.35 kgCO₂eş ha⁻¹ ile sulama, 385.79 kgCO₂eş ha⁻¹ ile tohum, 297.07 kgCO₂eş ha⁻¹ ile yakıt, 209.42 kgCO₂eş ha⁻¹ ile gübre, 87.54 kgCO₂eş ha⁻¹ ile makine ve 7.13 kgCO₂eş ha⁻¹ ile insan işgücü oluşturduğu belirlenmiştir. Toplam GHG emisyon oranı 0.43 kgCO₂eş kg⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Bu değer toplam GHG miktarının, çıktı enerjisi ile oranlanmasıyla hesaplanmakta olup, bir kg İtalyan çimi üretimi için açığa çıkan GHG oranını göstermektedir. Girdilerin toplam GHG emisyonları içerisindeki oransal dağılımı incelendiğinde GHG emisyonlarının %50.19'u sulama, %19.47'si tohum, %14.99'u yakıt, %10.57'si gübre, %4.42'si makine, %0.36'sı insan işgücü girdilerinin oluşturduğu görülmektedir (Şekil 4.2).

Çizelge 4.6. İtalyan çimi üretiminin sera gazı emisyonu

Girdiler	Birim	Enerji eşdeğeri (MJ birim ⁻¹)	Hektar başına miktar (birim ha ⁻¹)	GHG emisyonları (kgCO ₂ eş ha ⁻¹)	Oran (%)
İnsan işgücü	h	0.360	19.80	7.13	0.36
Makine	MJ	0.071	1232.91	87.54	4.42
Dizel yakıt	L	2.760	107.64	297.07	14.99
N	kg	1.300	142.15	184.80	9.33
P	kg	0.200	123.08	24.62	1.24
Tohum	kg	7.630	50.56	385.79	19.47
Sulama suyu	m ³	0.270	3682.79	994.35	50.19
Toplam	-	-	-	1981.29	100
GHG oranı (kg başına)	-	-	-	0.43	-



Şekil 4.2. GHG emisyonları yüzdesel dağılımı

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma sonucunda toplam 58 işletme ile tam sayım yöntemi kullanılarak anketler oluşturulmuş, elde edilen veriler değerlendirilerek İtalyan çimi üretiminde kullanılan girdi çeşitleri ve miktarları belirlenmiş, enerji analizleri yapılmış ve açığa çıkan sera gazı emisyonları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

İtalyan çimi üretiminde ortalama yeşil ot verimi $20316.29 \text{ kg ha}^{-1}$ ve kuru ot verimi $4567.10 \text{ kg ha}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. İtalyan çimi üretiminde toplam sera gazı emisyonu $1981.29 \text{ kgCO}_2\text{eş ha}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.

Açığa çıkan toplam GHG emisyonu içerisinde en yüksek payı $994.35 \text{ kgCO}_2\text{eş ha}^{-1}$ ile sulama, $385.79 \text{ kgCO}_2\text{eş ha}^{-1}$ ile tohum, $297.07 \text{ kgCO}_2\text{eş ha}^{-1}$ ile yakıt, $209.42 \text{ kgCO}_2\text{eş ha}^{-1}$ ile gübre, $87.54 \text{ kgCO}_2\text{eş ha}^{-1}$ ile makine ve $7.13 \text{ kgCO}_2\text{eş ha}^{-1}$ ile insan işgücü oluşturduğu belirlenmiştir.

Toplam GHG emisyon oranı $0,43 \text{ kgCO}_2\text{-eş kg}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer toplam GHG miktarının, çıktı enerjisi ile oranlanmasıyla hesaplanmakta olup, bir kg İtalyan çimi üretimi için açığa çıkan GHG oranını göstermektedir.

Üretim girdileri ve GHG emisyonları içerisinde en yüksek payı sulama enerjisi aldığı görülmektedir.

Sulama işlemlerinde salma sulama yerine damla sulama veya yağmurlama sulama tercih edilmelidir. Üretim sonucu ortaya çıkabilecek çevresel sorunlara önlem olarak sürdürülebilir tarım için yenilenebilir enerji kaynaklarının tarımda kullanılmasına önem verilmelidir.

Gerekli ekipman ve güç kaynağı seçimi yapılarak aynı zamanda enerji verimliliği yüksek olan teknolojilerden faydalanılarak enerji verimliliğinde artış sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- Ağızan, K., Bayramoğlu, Z., Özbek, O. & Gökdoğan, O. (2024). Determination of energy use efficiency greenhouse gas emissions and production costs in organic table grape production in Turkey. *Applied Fruit Science*, 66: 269-278.
- Anonim. (2020). Türkiye İstatistik Kurumu. http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1001 (Erişim tarihi: 09.03.2021).
- Anonim. (2021a). Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2021-49672> (Erişim tarihi: 10.06.2023).
- Anonim. (2021b). Konya İl Tarım ve Orman Müdürlüğü Koordinasyon ve Tarımsal Veriler Şube Müdürlüğü Enformasyon Birimi, Konya Tarımı Brifingi. <https://konya.tarimorman.gov.tr/Belgeler/liflet/KonyaTar%C4%B1m%C4%B12021kitab%C4%B1son.pdf> (Erişim tarihi: 05.05.2023).
- Baran, M.F., Gökdoğan, O. & Yılmaz, Y. (2021). Determination of energy balance and greenhouse gas emissions (GHG) of cotton cultivation in Turkey: A case study from bismil district of Diyarbakır province. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(2): 322-332.
- Baran, M.F., Karaağaç, H.A., Bolat, A., Çil, A. & Çil, A.N. (2019). Yerfıstığı üretiminde enerji kullanım etkinliğinin belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 15: 103-111.
- Bekiroğlu, O. (2011). Tarımda Karbon Ayak İzi Sürdürülebilir Kalkınmanın Yeni Kuralı: Karbon Ayak İzi. https://www.emo.org.tr/ekler/49c17cab08ed10e_ek.pdf (Erişim tarihi: 11.05.2023).
- Clark, S., Khoshnevisan, B. & Sefeedpari, P. (2016). Energy efficiency and greenhouse gas emissions during transition to organic and reduced-input practices: Student farm case study. *Ecological Engineering*, 88: 186-194.
- Çelen, İ.H. (2016). Tarımsal uygulamalarda enerji kullanımı üzerine bir değerlendirme. *Electronic Journal of Vocational Colleges*, 18-29.
- Çelik, S.A., Özbek, O., Ayran Çolak, İ. & Gökdoğan, O. (2024). Determination of energy use efficiency and greenhouse gas GHG Emissions of Pecan (*Carya illinoensis*) Production in Türkiye. *Applied Fruit Science*, 66: 1955-1962.

- Çıtıl, E., Marakoğlu, T., Kırılmaz, H. & Çarman, K. (2020). İtalyan çimi tarımının mekanizasyon özelliklerinin ve enerji verimliliğinin belirlenmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 24(3): 336-346.
- Çiçek, A. & Erkan O. (1996). *Tarım Ekonomisinde Araştırma ve Örnekleme Yöntemleri*. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları No:12, Ders Notları Serisi 6, 118s, Tokat.
- Dyer, J.A. & Desjardins R.L. (2006). Carbon dioxide emissions associated with the manufacturing of tractors and farm machinery in Canada. *Biosystems Engineering*, 93(1): 107-118.
- Ekinci, K., Demircan, V., Atasay, A., Karamursel, D. & Sarica D. (2020). Energy, economic and environmental analysis of organic and conventional apple production in Turkey. *Erwerbs-Obstbau*, 62: 1-12.
- Eren, O., Gokdogan, O. & Baran, M.F. (2019). Determination of greenhouse gas emissions (GHG) in the production of different plants in Turkey. *Fresenius Environ Bull*, 28(2A): 1158-1166.
- Eren, Ö. (2011). Çukurova Bölgesinde Tatlı Sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Üretiminde Yaşam Döngüsü Enerji ve Çevresel Etki Analizi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı. Doktora Tezi, Adana.
- Güneş, T. & Arıkan, R. (1998). *Tarım Ekonomisi İstatistiği*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 1049, Ankara.
- Houshyar, E., Dalgaard, T., Tarazgar, M.H. & Jorgensen, U. (2015). Energy input for tomato production what economy says, and what is good for the environment. *J Clean Prod*, 89: 99-109.
- Hughes, D.J., West, J.S., Atkins, S.D., Gladders, P., Jeger, M.J. & Fitt, B.D. (2011). Effects of disease control by fungicides on greenhouse gas emissions by UK arable crop production. *Pest Management*. 67: 1082-1092.
- Konak, M., Marakoğlu, T. & Özbek, O. (2005). Mısır üretiminde enerji bilançosu. *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(34): 28-30.
- Lal, R. (2004). Carbon emission from farm operations. *Environment International*, 30: 981-990.
- Mardani, A. & Taghavifar, H. (2016). An overview on energy inputs and environmental emissions of grape production in West Azerbaijan of Iran, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54: 918-924.
- Ozalp, A., Yılmaz, S., Ertekin, C. & Yılmaz I. (2018). Energy analysis and emissions of greenhouse gases of pomegranate production in Antalya province of Turkey. *Erwerbs-Obstbau*, 60: 321-329.

- Özbek, O., Gökdoğan, O. & Baran, M. F. (2021). Investigation on energy use efficiency and greenhouse gas emissions GHG of onion cultivation. *Fresenius Environmental Bulletin*, 30(2): 1125–1133.
- Özbek, O., Çelik, S.A., Ayran Çolak, İ. & Gökdoğan, O. (2024). Energy balance and greenhouse gas GHG emissions of sesame (*Sesamum indicum* L.) production in Türkiye. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 12(6): 911–917.
- Özbek, O., Yalçın Dokumacı, K. & Gökdoğan, O. (2023). Analysis of energy use efficiency and greenhouse gas emissions of lemon (*Citrus lemon* L.) production in Turkey, 65: 1715-1712.
- Özköse, A. & Acar, R. (2018). Tek yıllık çim: İtalyan çimi, *Tarlasera* 89: 78-80.
- Özkuş, H., ve ark. 2012, Ruminant beslemede karamba (*Lolium Multiflorum* cv. *Caramba*) otunun kullanımı. *Hayvansal Üretim*, 53(1): 21-26.
- Öztürk, Ö., Ada, R. & Akınerdem, F. (2009). Bazı aspir çeşitlerinin sulu ve kuru koşullarda verim ve verim unsurlarının belirlenmesi. *Selçuk Üniversitesi, Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 23(50): 16-27.
- Soya, H., Avcıoğlu, R. & Geren, H. (1997). *Yem bitkileri*, İstanbul, Hasad Yayıncılık,
- Şanlı, B., Bayrakdar, S. & İncekara, B. (2017). Küresel iklim değişikliğinin etkileri ve bu etkileri önlemeye yönelik uluslararası girişimler. *Süleyman Demirel Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(1): 201-212.
- Taghavifar, H. & Mardani, A. (2015). Prognostication of energy consumption and greenhouse gas (GHG) emissions analysis of apple production in West Azarbayjan of Iran using artificial neural network, *Journal of Cleaner Production*, 87: 159-167.
- Tosun, F. (1974). *Baklagil ve Buğdaygil Yem Bitkileri Kültürü*, Atatürk Üniversitesi Basımevi, Erzurum.
- Yalçın Dokumacı, K., Özbek, O. & Gökdoğan, O. Determination of energy balance and greenhouse gas (GHG) emissions from Pomegranate (*Punica Granatum* L.) cultivation in Turkey. *Erwerbs-Obstbau*, 65: 2597–2603.

BÖLÜM 4

AYÇİÇEĞİ (*Heliantus annuus* L.) ISLAHI

Dr. Ayşe Nuran ÇİL^{1*}

Doç. Dr. Mustafa YAŞAR²

Yaşar Ahu ÖLMEZ³

DOI:

¹ Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Adana/Türkiye, ORCID: 0000-0001-8663-3260, aysenuran.cil@tarimorman.gov.tr

² Muş Alparslan Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Bitkisel Üretim ve Teknolojileri Bölümü, Muş/Türkiye, ORCID: 0000-0001-9348-7978 mustafa.yasar@alparslan.edu.tr

³ Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Adana/Türkiye, ORCID: 0000-0003-1922-1228, yasarahu.olmez@tarimorman.gov.tr

Sorumlu Yazar: aysenuran.cil@tarimorman.gov.tr

GİRİŞ

Ayçiçeği (*Helianthus annuus L.*), dünya genelinde en önemli yağ bitkisi olup, genellikle yağ üretimi amacıyla yetiştirilmektedir. Covid-19 pandemisi ile birlikte, özellikle küresel gıda krizlerinin ön plana çıkmaya başladığı günümüzde, yağ üretimine olan ihtiyaç daha da artmıştır. Bu bitki, yüksek verimliliği ve yağ verimi açısından önemli bir tarım ürünü olmasının yanı sıra, küresel gıda güvenliği ve ekonomik kalkınma açısından da stratejik bir öneme sahiptir. Ayçiçeği üretimi, yalnızca biyolojik üretim süreçleriyle değil, aynı zamanda ticari ve endüstriyel boyutlarıyla da küresel ekonomik sistemde önemli bir yer tutmaktadır. Bu bağlamda, ayçiçeği yetiştiriciliği ve yağı, beslenme, sağlık ve sürdürülebilir tarım uygulamaları açısından önemli bir araştırma alanı oluşturmaktadır (Yaşar ve ark., 2023)..

Ayçiçeği (*Heliantus annuus L.*) bitkisinin orijini Kuzey Amerika ve ABD'nin orta batı bölgeleri olup, yapılan çok sayıda ki arkeolojik araştırmalardan elde edilen bilgilere göre, Kuzey Amerika'nın yerli halkı tarafından besin, ilaç ve renk verici olarak kullanıldığı ortaya konulmuştur. 1700'lü yıllardan itibaren ticaret yolları aracılığıyla Mısır, Afganistan, Hindistan, Çin ve Rusya'ya yayılarak önemli bir tarımsal ürün haline gelmiştir. Yaklaşık 1850'li yıllarda İspanyol gezginler tarafından ilk olarak İspanya'da bahçelerde süs bitkisi olarak yetiştirilmiş, daha sonra Avrupa'ya süs bitkisi olarak yayılmıştır. 1976 yılında ayçiçeğinin endüstriyel amaçla kullanımı, İngiltere'de bitkinin tohumlarından yağ ekstraksiyonu yapılmasıyla başlamıştır (Fick ve Miller, 1997, González-Pérez & Vereijken, 2007; Seiler & Gulya, 2016). Amerika kıtası kökenli olmasına rağmen, ayçiçeği günümüzde Doğu Avrupa ülkeleri için önemli bir ticari ürün haline gelmiştir (González-Pérez & Vereijken, 2007). Ülkemizde ise ilk defa 1950'li yıllarda Bulgaristan'dan gelen vatandaşlarımızın getirdiği tohumlarla Trakya bölgesinde tarımı yapılmaya başlanmıştır (Kaya, 2022).

Türkiye'de 1965 yılına kadar ayçiçeği tarımı ve üretiminde fazla bir gelişme olmamıştır. 1970'li yıllarda diğer önemli yağ bitkilerinden kolzanın üretimden kalkması ve haşhaş ekimlerinin asgari düzeyde

sınırlandırılması; ayçiçeği tarımının ekonomik önemini artırmıştır. Türkiye için ayçiçeği çok önemli bir tarımsal ürün olup, yıllık yaklaşık 2,4 milyon tonluk üretimiyle (FAOSTAT, 2023) dünyada altıncı sırada yer almaktadır. Bununla birlikte, yurt içi üretim talebi tam anlamıyla karşılamadığı için Türkiye, ayçiçeği ithalatında önde gelen ülkelerden biridir (Yaşar ve Sezgin, 2022). Türkiye’de yağlı tohumlu bitkiler üretimi içerisinde ayçiçeğinin payı yaklaşık olarak %30’dur. Yağlı tohumlu bitkiler içerisinde en fazla ekim alanına ve üretime sahip olması, halkın genelde bitkisel yağ olarak ayçiçeğini tercih etmesi ve özellikle Trakya bölgesinde ekim nöbetinde temel bitki oluşu (buğday-ayçiçeği) ayçiçeğinin önemini daha da artırmaktadır (Kaya, 2000).

Ayçiçeği, insan tüketimi için tohum yağı ve unu, hayvan yemi olarak yağlı tohum küspesi, oleo kimya endüstrisi ve biyoyakıt hammaddesi gibi çok sayıda çeşitli alanda önem taşır (Davey & Jan, 2010). İnsan nüfusundaki sürekli artış ve gıdaya olan yüksek talep, açlık, salgın, hastalık ve hatta açlıktan ölümle sonuçlanmıştır (Pveey, 2018). İnsan nüfusunun beslenme ihtiyacını karşılayabilmek amacıyla, tarımsal faaliyetlerin başlangıç aşamalarında doğru ve mantıklı kararların alınması büyük önem taşımaktadır. Bu süreç, sürdürülebilir gıda üretiminin sağlanabilmesi için kritik bir rol oynamaktadır. Tarımda maksimum verimlilik ve fayda elde edebilmek, bilimsel temellere dayalı planlamalar ve stratejik yaklaşımlar gerektirmektedir. Bu bağlamda, üretim yöntemlerinin etkinliği ve kaynakların verimli kullanımı, dünya nüfusunun gıda güvenliğini sağlayabilmek adına temel faktörler arasında yer almaktadır (Yaşar ve Sezgin, 2022). Ayçiçeğinin önemli bir yağlı tohum bitkisi olarak gelişimi, esasen 20. yüzyılın ikinci yarısındaki önemli ıslah çalışmalarıyla sağlanmıştır. Bunlar arasında, 1920-1960 yılları arasında Eski Sovyetler Birliği’nde ayçiçeği akenlerindeki yağ oranındaki belirgin artış (Gundaev, 1971) ve sitoplazmik erkek kısırlık sisteminin geliştirilmesi ile nükleer genler aracılığıyla doğurganlığın sağlanması (Leclercq, 1969; Kinman, 1970) öne çıkar. Takip eden çalışmalar, kısa boylu, yüksek yağ içerikli ve makineli tarıma uygun hibrit çeşitlerin geliştirilmesiyle ayçiçeği, ticari anlamda önemli bir ürün

konumuna gelmiş ve ayçiçek yağı dünya ticaretinde önemli bir yere sahip olmuştur (Fernández-Martínez ve ark., 2010).

Ayçiçeği, bilimsel adıyla (*Helianthus annuus* L.), güneş ve çiçek anlamına gelen Yunanca "helios" ve "anthos" kelimelerinden türetilmiş olup, *Helianthinae* alt kabilesine, *Asteroideae* alt ailesine ve *Compositae* familyasına ait bir diploid türdür ($2n = 2x = 34$) (Seiler ve Rieseberg, 1997). *Helianthus annuus* L. bitkisi, 72 farklı ülkede, ılıman ve subtropikal iklim bölgelerinde yetiştirilmektedir (Seiler et al., 2017). Bu bitki, hem ekonomik hem de ekolojik açıdan önemli bir tarım ürünüdür. *Helianthus annuus*, geniş bir adaptasyon yeteneğine sahip olması ve çeşitli iklim koşullarında verimli bir şekilde yetişebilmesi nedeniyle dünya genelinde yaygın olarak yetiştirilmektedir. Ayrıca, ayçiçeği, özellikle yağ üretimi açısından büyük öneme sahip olup, biyoteknolojik araştırmalara ve genetik iyileştirme çalışmalarına konu olan bir bitki türüdür.

1968 yılında Leclercq tarafından *H.petiolaris* ile yapılan melezleme sonucu, bulunan ve sitoplazmayla ilişkili olması nedeniyle, CMS olarak adlandırılan erkek kısırlığın keşfinin ardından, Kinman'ın 1970'li yılların başlangıcında bu kısırlığı restore eden genleri keşfetmesiyle, ayçiçeğinde ilk hibritler ABD'de geliştirilmiş ve 5 yıl içinde üretim %80 civarına ulaşmıştır (Skorić, 2012). Bu durum dünyada ayçiçeği üretiminin artmasına neden olmuştur. Ülkemiz de ise hibrit ayçiçeği üretim oranı %90'ın üzerine çıkmıştır (Evcı, 2011; 2016). Son yıllarda geliştirilen hastalık ve yabancı otlara dayanıklı yüksek yağ içerikli ve dane verimli hibrit ayçiçeği çeşitleriyle üretim istenilen seviyelere gelmiştir (Marek, 2016; Pilorgé, 2020).

Bugün ayçiçeğinde yüksek verim için mutlaka farklı genetik kaynaklara sahip kendilenmiş ebeveyn hatlara ihtiyaç vardır. Bu farklı genler, ayçiçeğinde çok sayıda tek veya çok yıllık yabancı ayçiçeği türlerinde mevcut olup, bu yeni genotip kaynakların kültürü yapılan tek yıllık *Helianthus annuus* L. türüne bir an önce aktarılması gerekmektedir. Ancak bu gen kaynaklarının kullanılması, türler arası melezlemeler ile mümkün olup, bunların klasik ıslah metotlarını kullanarak elde

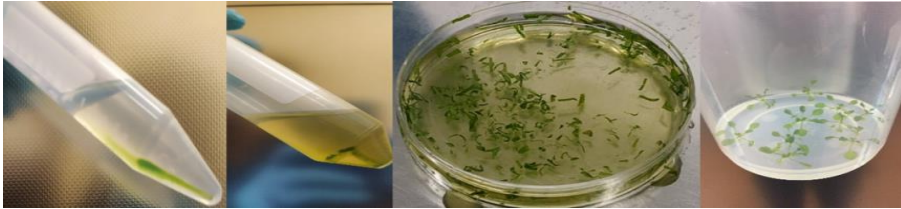
edilmesine olanak yoktur (Bidney ve Scelonge, 1997). Bu genlerin, yabani türlerden tarımı yapılan kültür bitkilerine aktarılması, ancak biyoteknolojik metotların kullanılmasıyla mümkündür. Bu nedenle, son on yılda bu çerçevede yapılan çalışmalar gün geçtikçe önem kazanmakta ve her yıl yeni başarılar elde edilmektedir.

Ayçiçeğinde Kullanılan Moleküler Yöntemler Yapılan çalışmalar çerçevesinde, ayçiçeğinde başarı ile uygulanabilen biyoteknolojik ve moleküler metotlar şunlardır:

In vitro kültürü teknikleri:

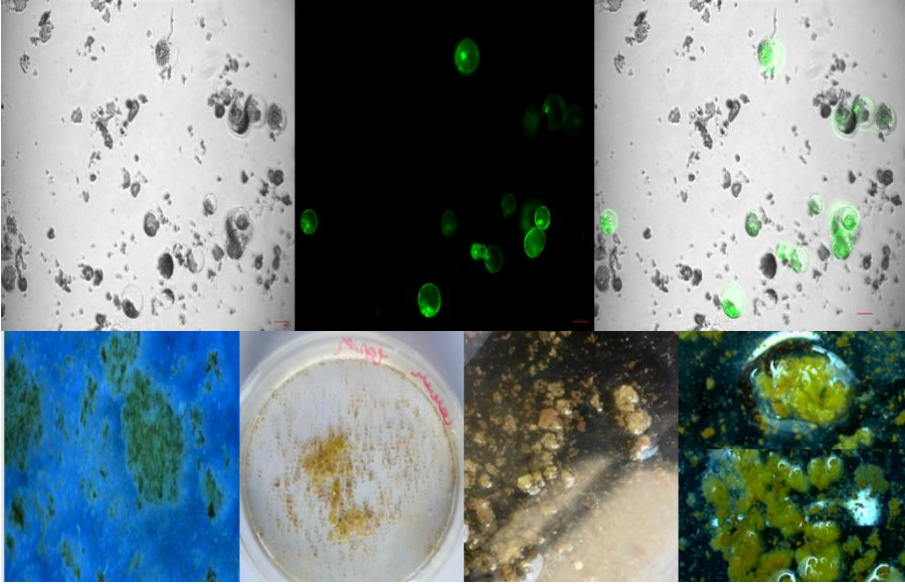
Ayçiçeğinde son on yıldır hızlı çoğaltım (propagation), in vitro ve gen transferi ayrıştırılmasına uygun doku kültürü tekniklerini belirlemek amacıyla birçok çalışma yapılmıştır (Hosoki ve Ark., 1995; Nestares ve Ark., 1996; Fisher ve Ark., 1996; Sarrafi ve Ark., 1996; Vasic ve Ark., 2001; Faure ve Ark., 2002a). Ancak yapılan tüm bu testlerden sadece üç doku kültürü yönteminin uygulamada kullanımı mümkün olabilmıştır: Bunlar, genç fidelerin kotiledon yaprakları, olgunlaşmamış zigotik embriyo (ZE), genç fidelerin apikal meristemleri.

a) Protoplast ile çoğaltım: Yapılan birçok araştırma, ayçiçeğinin yabani türlerinin gerçekten kök oluşturma ve çimlenme yeteneklerinin tahmin edilenden daha fazla olduğunu ortaya koymuştur (Alibert ve Ark., 1994). Bu geniş potansiyel, türler arası melezlemeler yoluyla kültür yapılan ayçiçeğinin bazı karakterler açısından iyileştirme ve geliştirmesinde kullanılabilir. Olgunlaşmış zigotik embriyo, biyoteknoloji açısından kullanılması oldukça zahmetli olmasına rağmen, transformasyon dahil bir çok değişik uygulama için geniş bir potansiyele sahiptir (Fiore ve Ark., 1997).



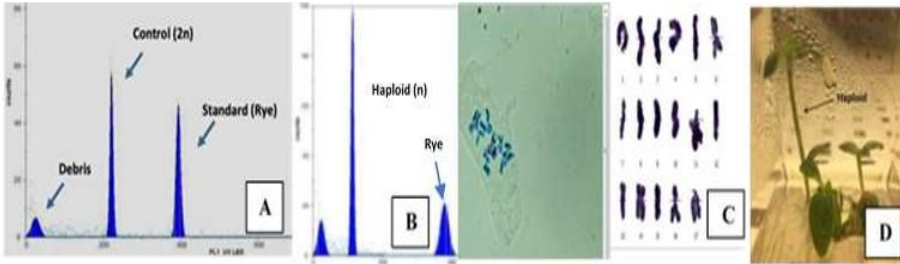
Resim 1. Protoplast Çoğaltım Örnekleri

b) Protoplast Kültürü: İzole edilmiş protoplast kültürü; tek bir gen seviyesinde çalışmayı hedefleyen gen transferi, türler arası melezlemeler, çok hücreli bitkilerden hızlı çoğaltmayı temel alan yeniden üreme sistemlerine göre bir çok avantaja sahiptir. Bununla birlikte, protoplast ile yeniden üreme, ayçiçeğinde oldukça zor olup, ayrıca yüksek oranda kullanılan genotipe bağlıdır (Fischer ve Ark., 1997). Protoplast kültürü günümüzde ayçiçeğinde pratik olarak kullanımından halen uzak olsa da, son beş yılda yapılan çalışmalar, bu sistemin yakın gelecekte en azından türler arası melezlemeler kadar yararlı ve gerekli olacağını göstermektedir (Bolandi ve Ark., 1999). Yabani türlerdeki bazı önemli genlerin genom transferi ile kültürü yapılan türlere aktarılması imkanlarının artmasıyla gelecekteki araştırmaların bu alana yönelik olarak yapılması, ayçiçeğinin geleceği açısından oldukça büyük önem arz etmektedir. Yeniden üreme işleminin mekanizmasının belirlenmesi ve burada etkili olan faktörlerin ortaya konulması, fazla miktarda genotipler için olası bir uygun protokol geliştirmeye imkan verecektir.



Resim 2. Protoplast Kültürü Örnekleri

c) Double Haploidlerin Üretilmesi: Ayçiçeğinde en son ümit veren gelişme, *H. tuberosus*, *H. laetflorus* ve *H. resinosus* gibi yabancı ayçiçeği türlerinden anter kültürü kullanarak, türler arası melezlerin elde edilmesidir. Direk embriyogenez (embriyogenesis) yoluyla kallus oluşturulmasından sonra, kısa sürede çok sayıda bitkinin çoğaltılarak elde edilmesi mümkün olmuştur. Todorova ve Ark., (1997), yirmi adet tek ve çok yıllık *Helianthus* türünü incelemişler ve *H. mollis*, *H. salicifolius* ve *H. smithii* türlerinden anter kültürü yoluyla köklerini çoğaltmayı başarmışlardır. Aynı zamanda, özellikle diploid türlerde, kallus oluşumunda yüksek oranda varyasyon gözlemlemişlerdir. Araştırmacılar ayrıca, ışınlanmış polen yardımıyla partogenez (partogenesis) oluşturularak geliştirilen gynogenic metot ile bir çok embriyo ve double haploid elde etmişler ve bunları ana olarak kullanarak restorer (baba) hat ile kombinasyonu ile melezleme yaparak ticari hibritler elde etmişlerdir. Özetle, yapılan araştırmalar haploid tekniğinin, ayçiçeğinde orta vadede kullanılmasının mümkün olduğunu ortaya koymuştur. Ancak bu yaklaşımın, ayçiçeği ıslahında kullanımı için daha da iyileştirilmesi gerekir.



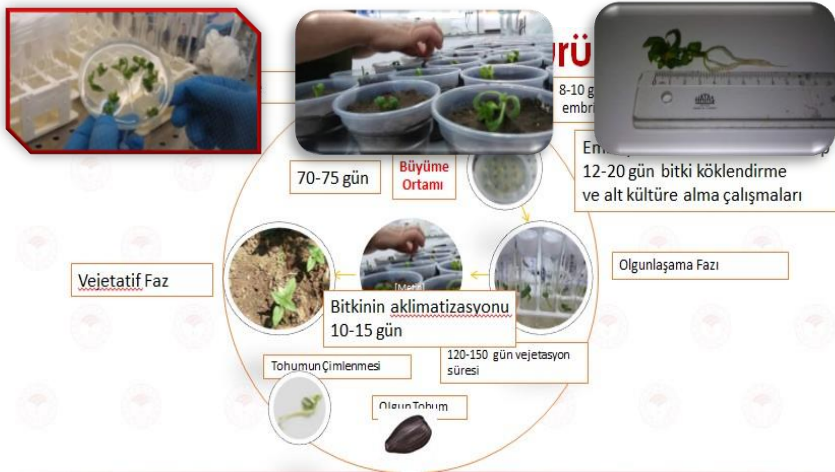
Resim 3. Double Haploidleri Üretim Örnekleri

(A) Diploid kontrol ayçiçeği bitkisinden (2n) ve indüklenmiş partenogenezle elde edilen haploidden (B) alınan dokuların bir karışımının akış sitometrisi histogramı (n). (C) Haploid hücrenin ayçiçeği kök parçasındaki kromozom sayısı (n = 17). (D) İn vitro kültüre edilmiş haploid ayçiçeği bitkisi.

d) Embriyo Kültürü

Ayçiçeği, yüksek düzeyde yabancı tozlanan bir tür olduğundan, homozigot hatların eldesi hem genetik çalışmalar hem de hibrit tohum üretimi için önemlidir. Klasik yöntemlerle homozigot hatları elde etmek için en az altı kuşak gerekmektedir. Alternatif yöntemlerden olan olgunlaşmamış embriyo kültürü yöntemi ise generasyon döngüsünü yarı yarıya kısaltabilme avantajına sahiptir. Olgunlaşmamış ayçiçeği embriyolarının embriyo kültürüne verdiği yanıt ve yöntemin başarısı, donör bitkinin genotipine, donör bitkinin yetiştirme koşullarına, embriyonun yaşına, in vitro kültürde kullanılan besi ortamının bileşimine, in vitro kültür koşullarına ve kültür süresine bağlıdır. (Çil ve ark., 2021)

Kuraklığa dayanıklı veya yüksek dayanıklı ebeveyn hatları geliştirmek için yürütülen bir çalışmada, 8 ayçiçeği genotipi üzerinde fizyolojik taramalar yapılmıştır. Deneylerde bir yılda iki buçuk jenerasyona ulaşılabileceği bulunmuştur. (Çil A.N., 2023)



Resim 4. Embriyo Kültürü Üretim Örnekleri

Embriyo kültürü yöntemiyle 1 yılda 4-5 generasyon alınabildiği için hızlı ıslahat kullanılması önerilen tekniklerden biridir.

Genetik Transformasyon

Double haploidlerin androgenetik veya gynogenetik yoluyla üretiminde önemli ilerlemeler kaydedilmesine rağmen, ayçiçeğinin genetik transformasyonu alanında ilginç gelişmeler ortaya çıkmıştır. Tüm transformasyon protokollarında en büyük problemin ayçiçeğinde rejenerasyon oranlarının düşüklüğü olarak belirlenmiştir (Bidney ve Scelonge, 1997; Alibert ve Ark., 1999). Yapılan araştırmalar yabani türlerde bu oranın, kültürü yapılan türlere göre, daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle, türler arası melezlerin kök meristem hücrelerinden elde edilen kökçüklerin rejenerasyon kabiliyetleri araştırılmıştır. Yapılan bir araştırmada, ticari hibritlerin ana hattından, *H. mollis*, *H. giganteus* ve *H. strumosus* türlerinden elde edilen türler arası melezlerin, belirgin biçimde daha fazla sayıda kökçük elde edildiği vurgulanmıştır (Müller ve Ark., 1998). Bu alışılmışın dışında türler arası melezler ve kendilenmiş hatlar, ayçiçeğinde bu protokollarının iyileştirilmesiyle elde edilmiştir. *Agrobacterium tumefaciens* yoluyla ayçiçeğinde gen transferini normalde az miktarda, fakat GUS raportör gen kullanılarak yapılan çalışmada ise, üretilebilir oranda olduğu gözlemlenmiştir (Weber ve Ark., 1998). Tüm bu gelişmelere rağmen, ayçiçeğinde transformasyonun pratik olarak kullanımın henüz mümkün olmadığı görülmektedir.

Molekular metotların uygulaması

a) PCR Markır Sistemleri: PCR uygulamasını temel alan moleküler markır sistemleri, stres koşullarına ve hastalıklara dayanıklılık, yağ kalitesi, CMS gibi ayçiçeğinde önemli bazı karakterleri ile ilişkili markır genlerin izolasyonu ve belirlenmesinde oldukça önemli potansiyel arz etmektedir. Bu sistemler arasında RAPD (Randomly Amplified Polymorphic DNA), laboratuarda kolaylıkla uygulanması ve basit olması nedeniyle, ayçiçeğinde oldukça kullanışlı bir metot olarak tespit edilmiştir (Bidney ve Scelonge, 1997). Ayçiçeğinde özellikle hastalıklara dayanıklılık genlerinin tespiti ve kalıtımı üzerine, RAPD markır kullanılarak bir çok çalışma yapılmıştır (Brahm ve Ark., 2000; Roeckel-Drevet ve Ark., 2003; Tang ve Ark., 2003). Bunun yanında

RAPD ve PCR kullanılarak, türler arası melezlemelerden sonra genetik uzaklığın tahmini, introgression un kanıtlanması ve geriye melezleme sırasında ayçiçeği içerisindeki yabancı türlerden kalan genom kısımlarının ortaya çıkarılması sağlanmıştır (Pankovic ve Ark., 1997; Horn ve Ark., 2003). Ayrıca direk olarak türler arası döller ve yinelenen ayçiçeği ebeveynleri arasında genetik benzerlikler, yine bu teknikler yardımıyla karşılaştırılıp farklı gen havuzlarının seçilerek, yüksek oranda genetik farklılığın ortaya çıkarılabileceği tespit edilmiştir (Sossey-Alaoui ve Ark., 1999; Iuoras ve Ark., 1999; Vasic ve Ark., 2000; Faure ve Ark., 1998 ve 2002b). Bu konudaki yoğun araştırmalar, PCR markır sistemlerinin ayçiçeğinde bir çok özelliğin genetiğini ve kalıtımını incelemede, oldukça yararlı bir araç olduğunu kanıtlamıştır (Madjidian ve Ark., 1998; Bouzidi ve Ark., 2002; Burke ve Ark., 2002; Radwan ve Ark., 2003). Bununla birlikte, özellikle RAPD marker sistemlerinin, yakın bir gelecekte ayçiçeği ıslahında pratik olarak uygulanmasının mümkün olacağı sanılmaktadır. Çünkü, markır yardımıyla seleksiyonun başlayabilmesi için, şu anda yeteri sayıda olmayan RAPD markır sayısının, yakın gelecekte artacak olması ve RAPD analizinin diğer moleküler metotlar ile karşılaştırıldığında, uygulaması en kolay ve en ucuz metot olması, bu kanıyı güçlendirmektedir.

Yapılan araştırmada, (Çil A.N., 2019) ISSR moleküler markör tekniği kullanılarak değişik kaynaklardan temin edilen 96 ayçiçeği genotipinin genetik karakterizasyonu yapılmıştır. Doksan altı adet ayçiçeği genotipi PCR ürünü veren 16 adet ISSR primeri kullanılmıştır. PCR ürünü veren 16 ISSR primeri toplam 246 bant üretmiş olup bunların tamamının polimorfik olduğu saptanmıştır ve ortalama polimorfizm oranı % 100 olarak hesaplanmıştır. Toplam bant sayısı bakımından primerler karşılaştırıldığında; en yüksek bant sayısı 21 adet ile UBC 835 primerinden, en düşük bant sayısı ise 10 adet ile UBC 807 primerinden elde edilmiştir. ISSR primerlerinin sahip olmuş olduğu PIC değerlerinin de 0.03 ile 0.64 arasında değiştiği saptanmıştır.

Markıra dayalı seleksiyon ile, genetik kaynakların karakterizasyonu, genetik varyasyonun belirlenmesi, genotipler arasında

genetik ilişkilerin saptanması ve çeşit tanımlanmalarında başarılı bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılabilir.

b) RFLP ve AFLP: RFLP ve AFLP (Amplified fragment length polymorphisms) metotları moleküler aşamada genom analizi için mutlak gerekli araçlardır. Özellikle dominant kalıtımı nedeniyle, RFLP birçok türün genom haritalarının çıkarılmasında yoğun olarak kullanılmıştır. RFLP markır analizi ile ortaya çıkan genom setindeki bağları temel alarak, bu haritalar, yüksek oranda polimorfizm nedeniyle, AFLP's ile doyurularak *Helianthus* cinsinde 4 adet RFLP haritası oluşturulmuştur. Bunlardan üçü kültürü yapılan türler olup, diğeri de *H. anomalus* türüdür (Berry ve Ark., 1995; Jan ve Ark., 1998). Ayçiçeğinde RFLP kullanılarak elde edilen QTL ve diğer genomik haritaların başarılı bir şekilde oluşturulması, ortaya çıkan bu sonuçları desteklemektedir (Lu ve Ark., 1999; Faure ve Ark., 2000; Gedil ve Ark., 2001). Ayrıca son zamanlarda geliştirilen AFLP tekniği, co dominant RFLP kullanımında ve özellikle de genom haritalarının çıkarılmasında oldukça önemli bir araç olarak görünmektedir (Röcher ve Ark., 1998; Kim ve Ark., 1999; Berrios ve Ark., 2000; Mokrani ve Ark., 2002; Langar ve Ark., 2003). Bunun yanında, dominant markırlar olarak AFLP'ler, hastalığa dayanıklılık gibi özelliklerde ve genetik farklılıkların belirlenmesindeki haritaların çıkarılmasında da başarılı şekilde kullanılmaktadır.

c) Mikrosatelit: Ayçiçeğindeki genetik ilişkilerin incelenmesinde, mikrosatelite kullanımının oldukça başarılı olduğu görülmüştür (Jung ve Ark., 1995; Paniego ve Ark.,2002). Ancak bu tekniğin uygulaması, oldukça fazla işçilik ve maliyet gerektirmektedir (Dehmer ve Friedt, 1998). Kullanımı çok az olmasına rağmen, mikro satellite uygulamalarının hızlı uygulama ve çoğaltma işlemleri imkan vermesi nedeniyle, hibrit ıslahı yoluyla melez azmanlığının fazla miktarda ortaya çıkmasına yardımcı olacak farklı genetik havuzların oluşturulması ve karakterizasyonu için en önemli moleküler araçlardan biri olarak gün geçtikçe önem kazanmaktadır.

d) Moleküler Klonlama: PFGE (Pulsed-Field Gel Electrophoresis) ve YAC (Yeast artificial cloning) veya BAC (Bacterial Artificial

Cloning) (bakteriyel yapay kromozom) teknikleri kullanılarak oluşturulan genomik kitaplık oluşumları ışığında, son zamanlarda 1 megabase büyüklüğünde DNA fragmentleri (parçaları) elde edilmiş ve daha geniş alanda çalışma imkan sağlanmıştır (Bidney ve Scelonge, 1997). Ayçiçeğinde BAC kitaplık oluşturulması, genom haritaları kullanılarak genlerin daha kolay klonlanmasına imkan vermektedir (Gentzbittel ve Ark., 2002). Ancak YAC ve BAC genomik kitaplık oluşturulması ve için, yüksek moleküler ağırlıklı DNA ların mutlaka hazırlanması gereklidir (Köhler ve Ark., 1998; Özdemir ve Ark., 2002). Ayçiçeği İslahında Biyoteknolojinin Kullanımı Ayçiçeğinde bugüne kadar yapılan gerek klasik ıslah, gerekse biyoteknolojik metotlar ile üstün verim ve kalite özelliklerine sahip birçok hat ve çeşitler geliştirilmiş, hastalıklara, orobanşa ve zararlılara dayanıklı, yabancı ot ilaçlarına dominant olan hibritler elde edilmiştir. Yüksek yağ oranı, orobanşa, herbisitlere, hastalık ve zararlılara dayanıklılık gibi önemli verim öğelerinde, moleküler marker metotları yardımıyla ayçiçeği ıslahında istenilen karakterlerin elde edilmesi, biyoteknolojinin ıslaha en önemli katkılarındanıdır. Moleküler markır yöntemlerinin ayçiçeği ıslahında ilk kullanımı ayçiçeği kendilenmiş hatlarının erken devrelerde izozim çeşitliliği (isozyme polymorphism) yoluyla tanımlanması ile başlamıştır (Quilet ve Ark., 1992; Kirichenko ve Ark., 1999). Yine bu genetik tanımlamada daha sonraları DNA markırları kullanılmıştır (Tang ve Ark., 2002; Yu ve Ark., 2002). Bu çerçevede yapılan çalışmalar sonucunda: öncelikle ayçiçeğinde RLFP analiziyle, Gentzbittel ve Ark. (1992) 44 *Helianthus* cinsini inceleyerek ayçiçeği cinsinin soy ağacı çıkarmışlar, Riseberg ve Seiler (1990), ribozomal RNA ve kloroplast moleküler markırları kullanarak, kültürü yapılan ayçiçeğinin orijinini belirlemişlerdir. Bu çalışmalarını takiben, öncelikle yabani türler incelenerek basit bir ayçiçeği genomik RFLP haritası hazırlanmış, daha sonra bu harita genişletilmiştir. Yine RAPD teknikleriyle ayçiçeği çeşit ve hatların, ve yabani türlerinin genetik farklılıkları ortaya çıkarılarak, ıslahta istenilen özelliklerin moleküler markır kullanılarak yapılan seleksiyon yoluyla belirlenmesine yönelik çalışmalara da olanak sağlanmaktadır. Özellikle Avrupa Topluluğu ve ülkemizin halen karşı olduğu transgenik bitkiler, yani soya, mısır, pamukta olduğu gibi, başka

bir organizmadaki genlerin ayçiçeğine aktarılmasıyla elde edilen çeşitler ABD de ıslah edilmesine rağmen, henüz ticari olarak satışa sunulmamıştır. Ancak ayçiçeğinde özellikle yabancı ot ve orobanşı kontrol eden IMI (Imidazolinone) herbisit grubuna dayanıklı genler, klasik geriye melezleme yoluyla ve embriyo kültürü uygulanıp generasyon süresi kısaltılarak, yabancı türlerden elde edilip ticari çeşitlere aktarılmış, bu yıl içerisinde ülkemizde ve dünyada piyasaya sürülmüştür (Kaya ve Ark., 2003).

Ayçiçeği ıslahında başarıyı etkileyen birden çok faktör bulunmaktadır ve yapılan ıslah çalışmaları bu sorunları ortadan kaldırmaya yönelik çalışmalardır. Yukarıda bahsettiğimiz faktörlerden bi tanesi biyotik ve abiyotik stres faktörleridir. Bu faktörler ayçiçeği ıslahında verim ve kalite düşüşleri ile sonuçlanmaktadır. Bu nedenden dolayı dayanıklı çeşitler ıslah etmek büyük önem taşımaktadır.

Diğer bir faktör ise Orabanş (Canavar otu) parazitine dayanıklı çeşitlerin ıslah edilmesidir. Türkiye florasında Orobanche spp. ve Phelipanche spp. familyalarına dahil olan yaklaşık 38 canavarotu türü kültür bitkilerinde yabancı ot olarak önemlidir (Parker, 2013; Uludağ ve Nemli, 2009; Zare vd., 2013). Orobanş paraziti yaklaşık her 20 yılda bir dayanıklılık mekanizmasını kırarak kendini yenilemekte, dünyada ve ülkemizde ırk kompozisyonu sıklıkla değişmektedir (Kaya vd., 2004). Orobanşın A ırkı olarak bilinen ilk popülasyonlarına karşı Rus ıslahçılar *H.tuberosus* ile yapılan melezlemeler sonucunda orobanş parazitine dirençle birlikte bazı hastalık ve zararlılara dayanıklılık sağlamışlardır (Skorić, 2012). Bu sayede türler arası melezlemeler, orobanş parazitine direnç için ıslahın ana gen kaynağı olmuştur (Fernández-Martínez, 2008). Günümüze değin tek yıllık yabancı türler olan, *H.annuus*, E ırkı, *H.anomalous*, *H.deserticola*, *H.exillis*, E-F ırkı, *H.argophyllus*, F ırkı, *H.debilis*ssp. *tardiflorus*, G ırkı, *H.petiolaris* ve *H.praecox*, A-G ırklarına, çok yıllık olan *H. tuberosus* ve *H. maximiliani* gibi yabancı türlerde de bazı orobanş ırklarına dayanıklılık genleri tespit edilmiş ve melezleme yoluyla kültür ayçiçeği türlerine aktarılmıştır (Christov vd., 2009; Fernandez-Martinez vd., 2009; Seiler ve Jan, 2014).

Islah çalışmalarında başarıyı etkileyen diğer bir faktör ise Mildiyö hastalığıdır. Mildiyö dayanıklılığı ayçiçeğinde Pl genleri tarafından kontrol edilmektedir. Pl genlerinde tek bir ırkın kontrolü ve kalıtsallığı dominanttır. Kalıtsallık yönünden P11 ve P12, genleri ile bağlantılar olduğuna dair kanıtlar, yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur. Türler arası melezler ile dayanıklılık için yapılan çalışmalarda H.annuus, H.praecox melezlerinden sırasıyla P16,P17 ve H.agrophyllus melezlerinden P18, P118, P135 genleri tanımlanmıştır (Miller ve Gulya, 1988; Qi vd., 2016; 2019). Mildiyö hastalığına dayanıklılık mekanizmasının anlaşılmasında klasik ıslah tekniklerinin yanı sıra, PCR (Polymerase Chain Reaction) ve RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism) analizleri gibi moleküler teknikler yoluyla, mildiyö hastalığı ile ilişkili moleküler markırların bulunması, MAS (Markır Destekli Seleksiyon) uygulamaları yoluyla, ayçiçeği ıslahı çalışmalarına önemli katkılar sağlayacaktır (Kaya vd., 2017). Tek ve çok yıllık yabani ayçiçekleri, hastalığa dayanıklılık içeren Pl genlerini barındırmaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışmalarda H.argophyllus, H. annuus, H. petiolaris, H. bolanderi, H. salicifolius türlerinin mildiyöye karşı dayanıklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Şu ana kadar bilinen tüm ırklara dayanıklı PlArg adlı geni taşıyan H.argophyllus türünden RHA419 ve RHA 420 gibi USDA hatları geliştirilmiştir (Imerovski vd., 2014; Kaya vd., 2016; Qi vd., 2016; 2019). USDA tarafından H.annuus türünden yapılan melezlerden P16 geni bulunan, HA335- HA336, H.praecox türünden, P17 geni bulunduran HA337-HA338-HA339 hatları, H. runyonii ve H. argophyllus türleriyle yapılan melezlerden ise, P18 geni taşıyan hatlar bulunmuştur (Molinero - Ruiz, 2022).

SONUÇ

Şimdiye kadar yapılan çalışmalardan uygulamalı ıslaha aktarılacak olan en önemli teknik doku kültüründe embriyo kültürü yöntemidir ve moleküler sistemlerde ise ISSR markırları ayçiçeğinde iyi bir karakterizasyon yapmak için kullanılabilir markır sistemlerinde yine markıra dayalı seleksiyon (MAS) ıslahıyla ayçiçeğinde mildiyöye dayanıklılık çalışmaları ile başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Ayçiçeğinde en iyi genlerle klasik ıslahla melezleme yapılmalı markırlarla seçilmeli embriyo kültürüyle bir yılda 4-5 generasyon alınarak kısa sürede ayçiçeği ıslah ebevyn hatları geliştirmek ve hibrit ıslahına gidilebilir. Embriyo kültürüyle Hızlı Generasyon alma çalışmaları, doku kültürü embriyo yöntemi, markıra dayalı seleksiyon ıslahı tekniklerinin beraber kullanılmasıyla ayçiçeği ıslahında kısa sürede ebevyn hat ve çeşit geliştirmesine imkan sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- Çil, A. N., (2019). Ayçiçeğinde Kendilenmiş Hatların Morfolojik Ve Moleküler Yöntemlerle Karakterizasyonu Doktora Tezi Tarla Bitkiler Anabilim Dalı Çukurova Üniversitesi Adana
- Çil, A. N., Çil, A., Burun, H., Hızlı, H., vd. (2021). Ayçiçeğinde Olgunlaşmamış Embriyo Kültürünün Generasyon Atlama Amaçlı Kullanımında Uygun Embriyo Yaşının Saptanması. Türk Doğa Ve Fen Dergisi, 10(2), 6-11. <https://doi.org/10.46810/tdfd.760836>
- Çil AN (December 1, 2023) Breeding Sunflower (*Helianthus annuus*) Assisted With Speed Breeding & Drough Tolerance Tests. Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences 37 3 474–486.
- Christov, M., Batchvarova, R., Hristova-Cherbadzhi, M. (2009). Wild species of *Helianthus* L.: Sources of resistance to the parasite *Orobanche cumana*. *Helia*, 32(51): 65-74.
- Davey, M.R.; Jan, M. Sunflower (*Helianthus annuus* L.): Genetic Improvement Using Conventional and In Vitro Technologies. *J. Crop Improv.* 2010, 24, 349–391.
- Evcı G., Akın K., Kaya Y., Pekcan V., Yılmaz M.I. (2011). Bazı ayçiçeği hatlarının Trakya Bölgesindeki ayçiçeği mildiyösüne (*Plasmopara halstedii* (Farl.) Berl. & De Toni.) dayanıklılıklarının belirlenmesi. *Anadolu, J. of AARI* 21: 36–43.
- FAOSTAT. (2023). Dünya’da 2021/2022 Üretim Yılında Ayçiçeği Üreten Ülkeler. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
- Fernández-Martínez, J., Domínguez, J., Pérez-Vich, B., & Velasco, L. (2008). Update on breeding for resistance to sunflower broomrape. *Helia*, 31(48), 73-84.
- Fernandez-Martinez, J. M., Perez-Vich, B. Velasco, L. (2010). Sunflower. In: *OilCrops, Handbook of Plant Breeding, V.4*, Vollmann, J. And Rajcan, I. (Eds.), Springer, 155-232.
- Fick, G. N., Miller, J. F. (1997). Sunflower breeding: Sunflower technology and production, Editors: Schneiter, A. A., ASA. SCSA. and SSSA Monograph. No: 35. Madison, WI, USA. 395-440 pp.
- Gundaev, A.I. (1971) Basic principles of sunflower selection. In: *Genetic Principles of Plant Selection*. Nauka, Moscow, pp. 417–465.
- González-Pérez, S., & Vereijken, J. M. (2007). Sunflower proteins: overview of their physicochemical, structural and functional properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(12), 2173-2191.

- Imerovski, I., Dimitrijevic, A., Miladinovic, D., Jovic, S., Dedic, B., Cvejic, S., and Surlan-Momirovic, G. (2014). Identification and validation of breeder-friendly DNA markers for PIArg gene in sunflower. *Mol. Breeding* 34:779-788.
- Leclercq, P. (1969) Une sterilité cytoplasmique chez le tournesol. *Ann. Amélior. Plant* 19, 99–106.
- Kaya, Y., Tan Ş. ve Kaya, G. 2000. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Sanayi Bitkileri Alt Komisyon Raporu (Ayçiçeği), Edirne-izmir.
- Kaya, Y., G. Evci, V. Pekcan, T. Gucer. (2004). Determining new broomrape infested areas, resistant line sand hybrids in Trakya Region of Turkey. *27: 40. 211- 218.*
- Kaya, Y. (2016). Ülkemizde yağlık ayçiçeğinin mevcut durumu ve gelecekteki yönü. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 25(Özel sayı-2):322-327.*
- Kaya Y. (2022). Ayçiçeğinin Ülkemiz ve Dünyadaki Durumu, Kökeni ve Tarihi. *Ayçiçeği Tarımı. Tarım Gündem Dergisi, Nobel Yayıncılık. 8-18.*
- Kinman, M.L. (1970) New developments in the USDA and state experiment station sunflower breeding programs. In: *Proc. 4th Int. Sunflower Conf. Memphis, TN, USA, pp. 181–183.*
- Marek, L.F. (2016). Sunflower genetic resources. In: Y. Kaya and S. Hasancebi, Editors, *Proceedings of the 19th International Sunflower Conference, Edirne, Turkey, 29 May–3 June 2016. International Sunflower Association, Paris. p.31– 44.*
- Miller, J.F., T.J. Gulya. Registration of six downy mildew resistant sunflower germplasm lines. *CropSci. 28:1040-1041. (1988).*
- Molinero-Ruiz, L. (2022). Sustainable and efficient control of sunflower downy mildew by means of genetic resistance: A review. *Theoretical and Applied Genetics* <https://doi.org/10.1007/s00122-022-04038-7>.
- Parker, C., (2013). *The Parasitic Weeds of the Orobanchaceae. In Parasitic Orobanchaceae (pp. 313-344). Springer, Berlin, Heidelberg.*
- Pveey, G. (2018). Challenges and Future Prospects of Agri-Nano-Technology for Sustainable Agriculture in India. *Environmental Echnology & Innovation, 11, 299–307. https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.06.012.*
- Seiler G, and Rieseberg, L.G. (1997) Systematics, origin, and germplasm resources of the wild and domesticated sunflower. In: *Schneiter AA (ed) Sunflower Science and Technology. Agronomy Series. ASA, CSSA, and ASSA, Madison, WI, pp 21–66.*

- Seller, G. J. & Gulya, T. J. (2016). Sunflower: Overview. C. W. Wrigley, H. Corke, K. Seetharaman & J. Faubion (Ed.). içinde Encyclopedia of food grains (Volume-1) (s. 247-253). Oxford: Elsevier.
- Seiler, G.J., Qi, L.L., Marek, L.F. 2017. Utilization of sunflower crop wild relatives for cultivated sunflower improvement. *Crop Science*, 57(3): 1083-1101.
- Qi, L. L., Foley, M. E., Cai, X. W., and Gulya, T. J. (2016). Genetics and mapping of a novel downy mildew resistance gene, Pl18, introgressed from wild *Helianthus argophyllus* into cultivated sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Theor. Appl. Genet* 129:741-752.
- Qi LL, Ma GJ, Li XH ve ark. (2019). Diversification of the downy mildew resistance gene pool by introgression of a new gene, Pl35, from wild *Helianthus argophyllus* into oil seed and confection sunflowers (*Helianthus annuus* L.). *Theor Appl Genet* 132: 2553–2565.
- Seiler, G.J., C.C. Jan. (2014). Wild sunflower species as a genetic resource for resistance to sunflower broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.). *Helia* 37:129–139.
- Škorić, D., Maširević, S., & Medić-Pap, S. (2012). Is there appearance of new broomrape race in Serbia? Proceedings of 18th International Sunflower Conference, Mar del Plata & Balcarce, Argentina, 27 April-1 March 2012.
- Uludağ, A., Nemli, Y. (2009). Proceedings 10th World Congress on Parasitic Plants, 8- 12. June 2009, Kusadasi, Turkey, 57.
- Yaşar, M., Çil, A.N., Çil, A., 2023. Investigation of Genotype × Environment Interaction in Some Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Genotypes in Different Environmental Conditions *MAS Journal of Applied Sciences*, 8(1): 41-55. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.7636963>.
- Yaşar M, Sezgin M, (2022). Farklı Çevre Şartlarında Yetiştirilen Yağlık Ayçiçeği Genotiplerinin AMMI Analizi ile Genotip x Çevre İnteraksiyonlarının İncelenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(4): 2532 - 2542.
- Zare, G., & Dönmez, A. A. (2013). Two new records of the genus *Orobanche* (*Orobanchaceae*) from Turkey. *Turkish Journal of Botany*, 37(3), 597–603. <https://doi.org/10.3906/bot-1205-44>.

BÖLÜM 5

GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİ 2030 YILI TARIM MAKİNALARI PROJEKSİYONU

Dr. Öğr. Üyesi M. Murat TURGUT¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14505401>

¹Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, ORCID iD: 0000-0002-27731-4910, E-mail: mmturgut@dicle.edu.tr

GİRİŞ

Tarım, artan nüfusu besleme, sanayiye hammadde sağlama, istihdam ve milli gelire katkısından dolayı, önemli bir sektördür (Sayın ve ark., 2015). Tarımsal mekanizasyon; ileri teknolojilerin uygulanmasını, ayrıca toprak, su, gübre, ilaç vb. girdilerin etkin kullanımını olanaklı kılarak tarımda verimliliği sağlayan önemli bir üretim aracıdır (Evcim ve ark., 2010) ve tarımsal üretim içerisinde toplam girdilerin yaklaşık yarısını oluşturmaktadır. Bu nedenle tarım alet, makina ve sistemlerinin işletmelerin koşullarına uygun olarak, ileri tarım teknolojilerinin kullanımı da dahil edilerek seçilmesi önemlidir (Gökdoğan, 2013; Eryılmaz ve ark., 2014; Demir ve Kuş, 2016).

Güneydoğu Anadolu Bölgesi; Fırat ve Dicle havzaları ile yukarı Mezopotamya ovası olarak tabir edilen alandaki 9 ili kapsamaktadır. Bölgede Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP), Türkiye'nin güneydoğusunda ekonomik ve sosyal kalkınmayı teşvik etmeyi amaçlayan büyük ölçekli, çok sektörlü bir kalkınma projesidir. Tarım, enerji, altyapı ve sosyal hizmetler gibi çeşitli sektörleri kapsamaktadır. GAP, 1970'lerde Bölge'nin su ve toprak kaynaklarının geliştirilmesine dayalı bir program olarak ele alınmış; Fırat-Dicle Havzası'nda sulama ve hidroelektrik enerji üretimine yönelik 22 baraj, 19 hidroelektrik santrali ile 1,8 milyon ha alanda sulama yatırımlarının yapımı planlanmıştır. GAP bölgesi Adıyaman, Batman, Diyarbakır, Gaziantep, Kilis, Mardin, Siirt, Şanlıurfa ve Şırnak illerini kapsamaktadır. Yüzölçümü 75358 km² olup, Türkiye yüzölçümünün %9,7'sine karşılık gelmektedir (Sessiz vd., 2006; Gürsoy vd., 2013; Anonim, 2023a).

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin en önemli sektörü tarımdır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde işlemeli tarıma elverişli I., II. ve III. sınıf arazi miktarı 2467.5 bin ha olup, toplam arazinin %33'ü kadardır. Kısıtlı işlemeye uygun 649.3 bin ha arazi de (IV. sınıf) hesaba katıldığında, Güneydoğu Anadolu Bölgesinin topraklarının % 42.2'si tarıma elverişlidir (Anonim, 2023b; Yaman, 2023). Bölgede 7.5 milyon hektarlık alanın 3.2 milyon hektarı tarımsal faaliyetler için uygundur. Sulama, GAP'ın en önemli parçasıdır ve en önemli altyapı yatırımlarından biridir. Yaklaşık 2.1 milyon ha'lık brüt alan sulama potansiyeline sahiptir. Bu alan Türkiye'nin ekonomik olarak sulanabilir arazisinin %20'sine karşılık gelmektedir (Anonim, 2023a).

Bölge bereketli toprakları, bol su kaynakları ve uygun iklim koşulları varlığıyla, yılın mevsimlerine göre birçok farklı ürünün üretilebildiği havzalar topluluğundan meydana gelmektedir. Dahası bu bölgede uzun yıllardır işlenmemiş alanlarla, gübre, hormon ve zirai ilaç gibi kimyasalların

kullanılmadığı alanlar da bulunmaktadır. Bölgedeki ürün çeşitliliği ve desenine bakıldığında; her türlü tahıl ve sebze üretiminin yanında bağcılık, ceviz, antepfıstığı, badem, kuru üzüm, nar gibi meyvelerle, yağlı tohumlar, hububat ürünleri, baharat ve şifalı bitki üretiminin ön planda olduğu görülmektedir (Çetinkaya ve ark., 2013).

Tarımsal mekanizasyon düzeyi ve dağılımı, ülkemizde farklı seviyelerde gelişme ve dağılım göstermektedir. Bu çalışmada, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin 2030 yılına kadar tarımsal mekanizasyon projeksiyonunun belirlenmesi ve bu değerlerin bölgedeki mekanizasyon planlarına yön vermesi amaçlanmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada materyal olarak, Türkiye İstatistik Kurumunun (TÜİK) Güneydoğu Anadolu Bölgesine ilişkin 2014-2023 yıllarına ait istatistikleri kullanılmıştır (Anonim, 2024). Bu veriler, ilgili yıllar analiz edilerek her bir tarımsal alet ve makine için artış ya da azalış olmak üzere yüzde oranlarını belirlemek için kullanılmıştır. Daha sonra tarım makinelerinin 10 yıllık kullanım miktarları dikkate alınarak sayılarındaki artış ve azalış yüzdelik oranları hesaplanmış ve bu yüzdelik oranların ortalama katsayıları belirlenmiştir. Önceki yılların verilerine dayanarak belirlenen katsayılar kullanılarak, Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yaygın olarak kullanılan tarım alet ve makinelerinin 2030 yılı projeksiyonları, atıfta bulunulan bundan önceki benzer çalışmalardaki aynı yöntem kullanılarak hesaplanmıştır (Demir and Kuş 2016; Akbaş, 2019; Baran et al., 2019; Ertop et al., 2021; Baran and Kaya, 2021).

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yoğun tarım uygulamalarının yaygın olarak uygulandığı Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde geleneksel toprak işleme uygulamaları hala önemli bir yer tutmaktadır. Bu durumun bir göstergesi olarak işletmelerde kulaklı pullukların varlığı halen azımsanmayacak sayıdadır. Bununla birlikte, son yıllarda artan çevre bilinci, değişen iklim koşulları ve artan yakıt fiyatları nedeniyle çiftçiler koruyucu toprak işleme ekipmanlarına yönelmeye başlamıştır.

Tablo 1'de görüldüğü üzere, bölgede en çok kullanılan tarım alet ve makinaları arasında en yüksek projeksiyon katsayısı pozitif %14.95 değeri ile rototillerde gerçekleşmiştir. Rototilleri sırasıyla %6.12, %4.74, %3.19, %2.65, %2.62,

%2.52, %1.92, %1.48 ve %0.54 pozitif projeksiyon katsayısı değerleriyle dipkazan, toprak frezesi, diskaro, kültivatör, merdane, kanal açma pulluğu, diskli tip traktör pulluğu, diskli tip anız pulluğu (vanvey), kulaklı traktör pulluğu ve kulaklı anız pulluğu takip etmektedir.

Tablo 1. Bölgede Yoğun Olarak Kullanılan Toprak İşleme Alet ve Makineleri Projeksiyonu

YILLAR	Kulaklı traktör pulluğu	Kulaklı anız pulluğu	Diskli traktör pulluğu	Diskli anız pulluğu (Vanvey)	Kanal açma pulluğu	Kültivatör	Diskli tırmık (Diskaro)	Rototiller	Toprak frezesi (Rötivatör)	Dipkazan	Merdane
2014	47161	5022	10215	3521	5388	50838	6702	317	1412	1387	5966
2015	47660	5215	10325	3539	5492	51315	6967	381	1450	1423	5991
2016	48113	5090	10481	3590	5582	52182	6867	426	1515	1483	5944
2017	48883	5125	10805	3675	5631	53361	7080	472	1512	1543	6200
2018	47977	3952	10941	3687	5684	54248	7201	524	1510	1628	6262
2019	48387	4019	11149	3792	5814	55032	7232	579	1534	1712	6328
2020	49195	4114	11382	3893	5981	56462	7331	743	1687	1856	6338
2021	51217	4509	11644	3984	6301	59391	8298	874	1835	2031	6886
2022	52282	4711	12059	4089	6512	61568	8648	976	1938	2132	6991
2023	53755	5063	12396	4176	6735	64295	8832	1099	2129	2361	7499
YILLAR	Yüzdelerik değişim										
2014-2015	1.06	3.84	1.08	0.51	1.93	0.94	3.95	20.19	2.69	2.60	0.42
2015-2016	0.95	-2.40	1.51	1.44	1.64	1.69	-1.44	11.81	4.48	4.22	-0.78
2016-2017	1.60	0.69	3.09	2.37	0.88	2.26	3.10	10.80	-0.20	4.05	4.31
2017-2018	-1.85	-22.89	1.26	0.33	0.94	1.66	1.71	11.02	-0.13	5.51	1.00
2018-2019	0.85	1.70	1.90	2.85	2.29	1.45	0.43	10.50	1.59	5.16	1.05
2019-2020	1.67	2.36	2.09	2.66	2.87	2.60	1.37	28.32	9.97	8.41	0.16
2020-2021	4.11	9.60	2.30	2.34	5.35	5.19	13.19	17.63	8.77	9.43	8.65
2021-2022	2.08	4.48	3.56	2.64	3.35	3.67	4.22	11.67	5.61	4.97	1.52
2022-2023	2.82	7.47	2.79	2.13	3.42	4.43	2.13	12.60	9.86	10.74	7.27
Projeksiyon Katsayısı	1.48	0.54	2.18	1.92	2.52	2.65	3.19	14.95	4.74	6.12	2.62
YILLAR	Projeksiyonlar										
2024	54551	5090	12666	4256	6905	66001	9113	1263	2230	2505	7696
2025	55356	5063	12942	4338	7079	67752	9404	1452	2336	2659	7897
2026	56173	5036	13224	4421	7257	69549	9703	1669	2446	2822	8104
2027	57002	5008	13512	4506	7440	71394	10012	1919	2562	2994	8317
2028	57844	4981	13807	4592	7627	73288	10331	2206	2684	3177	8413
2029	58700	4954	14108	4681	7819	75232	10660	2535	2811	3372	8634
2030	19597	4928	14415	4771	8016	77228	11000	2914	2944	3578	8734

Tablo 2’de görüldüğü üzere %7.06 projeksiyon katsayısı ile sayısal olarak en yüksek artışa sahip olan anıza ekim makinesinin 2030 yılında 340 adete yükseleceğini söylemek mümkündür. Bu sayı hali hazırda çok düşük olmasına rağmen, önümüzdeki süreçte daha da artması beklenen çevre ve toprak koruma bilinci ile birlikte doğrudan ekime yönelimin artabileceği de belenen bir durumdur. Bölgede yüzdelerik artış (%6.27) olarak ikinci sırada yer alan pnömatik ekim makinesi varlığı olmuştur. Sulamaya açılan tarım

alanlarının artmasıyla birlikte bölgede ürün deseni artmaya başlamıştır. Sulu tarım sayesinde aynı yıl içerisinde II. ürün ekimi yaygınlaşmıştır. Bu nedenle farklı tohumları aynı makinayla ekebilme kapasitesine sahip pnömomatik düzenlere rağbet artmıştır. Yıllara göre çiftlik gübresi dağıtma makinasındaki projeksiyon katsayısı oranı (%5.19), kimyevi gübre dağıtma makinesine ait %4.47'lik oranı geçmiştir. Bölgede 2030 yılında ulaşılabilecek tahmin edilen 499 adet çiftlik gübresi dağıtma makinası istenen sayıda olmasa da artış ümit vericidir.

Tablo 2. Bölgede Yoğun Olarak Kullanılan Ekim ve Gübreleme Makineleri Projeksiyonu

YILLAR	Traktörle çekilen hububat ekim makinesi	Kombine hububat ekim makinesi	Pnömomatik ekim makinesi	Anıza ekim makinesi	Üniversal ekim makinesi	Çiftlik gübresi dağıtma makineleri	Kimyevi gübre dağıtma makinesi
2014	14822	16303	2222	117	932	225	4170
2015	14881	16782	2280	145	932	248	4299
2016	15076	17070	2350	153	932	274	4336
2017	15239	17610	2483	151	950	289	4557
2018	15056	17813	2630	154	925	263	4614
2019	17235	17985	2808	153	884	272	4623
2020	17617	18254	3005	173	931	294	4891
2021	17879	19558	3257	199	923	318	5259
2022	18630	20126	3567	206	1004	339	5681
2023	19597	21093	3833	211	1056	350	6158
YILLAR	Yüzdeler Değişim						
2014-2015	0.40	2.94	2.61	23.93	0.00	10.22	3.09
2015-2016	1.31	1.72	3.07	5.52	0.00	10.48	0.86
2016-2017	1.08	3.16	5.66	-1.31	1.93	5.47	5.10
2017-2018	-1.20	1.15	5.92	1.99	-2.63	-9.00	1.25
2018-2019	14.47	0.97	6.77	-0.65	-4.43	3.42	0.20
2019-2020	2.22	1.50	7.02	13.07	5.32	8.09	5.80
2020-2021	1.49	7.14	8.39	15.03	-0.86	8.16	7.52
2021-2022	4.20	2.90	9.52	3.52	8.78	6.60	8.02
2022-2023	5.19	4.80	7.46	2.43	5.18	3.24	8.40
Projeksiyon katsayısı	3.24	2.92	6.27	7.06	1.48	5.19	4.47
YILLAR							
2024	20232	21709	4073	226	1072	368	6433
2025	20887	22343	4329	242	1087	387	6721
2026	21564	22995	4600	259	1104	407	7021
2027	22263	23667	4888	277	1120	429	7335
2028	22984	24358	5195	297	1136	451	7663
2029	23729	25069	5521	318	1153	474	8006
2030	24498	25801	5867	340	1170	499	8363

Güneydoğu Anadolu Bölgesinde bahçecilik, bağcılık ve zeytincilik önemli bir yere sahiptir. Özellikle sırt pülverizatörleri bu alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Tablo 3 incelendiğinde, bölgede tarımsal savaş mekanizasyonunda kullanılan makinalarda en büyük artışın (% 4.38) kuyruk milinden hareketli pülverizatörlerde olduğu görülmektedir. Bunları pozitif yüzde katsayıları ile sırasıyla sırt pülverizatörü ve motorlu pülverizatörler takip etmektedir. Sedyeli pülverizatör, kombine atomizer ise negatif yüzdeleri projeksiyon oranı göstermiştir.

Tablo 3. Bölgede Yoğun Olarak Kullanılan Tarımsal Savaş Makineleri Projeksiyonu

YILLAR	Sırt pülverizatörü	Sedyeli pülverizatör, kombine atomizer	Kuyruk milinden hareketli pülverizatör	Motorlu pülverizatör	Atomizer	Tozatar
2014	23658	18	17664	2925	5133	16
2015	24607	16	18426	2978	5188	16
2016	25001	16	19349	3100	5238	16
2017	25151	16	20379	3188	5288	16
2018	26180	16	21249	3215	5405	16
2019	26531	16	22089	3299	5465	17
2020	27372	17	22776	3507	5524	16
2021	28491	16	24045	3553	5614	16
2022	29689	16	24880	3759	5787	16
2023	32162	16	25660	4042	5913	17
YILLAR	Yüzdelerik Değişim					
2014-2015	4.01	-11.11	4.31	1.81	1.07	0.00
2015-2016	1.60	0.00	5.01	4.10	0.96	0.00
2016-2017	0.60	0.00	5.32	2.84	0.95	0.00
2017-2018	4.09	0.00	4.27	0.85	2.21	0.00
2018-2019	1.34	0.00	3.95	2.61	1.11	6.25
2019-2020	3.17	6.25	3.11	6.30	1.08	-5.88
2020-2021	4.09	-5.88	5.57	1.31	1.63	0.00
2021-2022	4.20	0.00	3.47	5.80	3.08	0.00
2022-2023	8.33	0.00	3.14	7.53	2.18	6.25
Projeksiyon katsayısı	3.49	-1.34	4.38	3.20	1.51	0.05
YILLAR						
2024	33285	16	26783	4171	6002	17
2025	34448	16	27956	4305	6093	17
2026	35651	15	29180	4443	6185	17
2027	37380	16	30595	4658	6485	18
2028	38686	16	31934	4808	6584	18
2029	40037	16	33332	4962	6683	18
2030	41979	16	34949	5202	7007	19

Bölgede yaygın olarak kullanılan hasat ve harman makineleri Tablo 4'te verilmiştir. Saman aktarma ve boşaltma makinesi için %10.82, balya makinesi

için %7.66, mısır hasat makinesi için %4.94, pamuk toplama makinesi için %4.79, oranında pozitif bir yansıtma katsayısının söz konusu olduğu görülmektedir. Sap döver harman makinesi için ise negatif projeksiyon katsayısı -%0.44 ortaya çıkmıştır. Özellikle sap parçalama ve saman yapma ünitelerine sahip biçerdöverler bölgede oldukça popülerdir. Dolayısıyla bölge genelinde saman makinelerine olan talep zaman içinde azalacaktır.

Tablo 4. Bölgede Yoğun Olarak Kullanılan Hasat ve Harman Makineleri Projeksiyonu

YILLAR	Sapdöver harman makinesi	Pamuk toplama makinesi	Saman aktarma boşaltma makinesi	Sap toplamalı saman yapma	Mısır silaj makinesi	Balya makinesi
2014	7943	522	324	1188	453	388
2015	7931	541	334	1200	480	400
2016	7924	556	364	1228	515	420
2017	7973	585	401	1290	525	467
2018	7857	615	411	1309	536	482
2019	7452	621	427	1244	545	513
2020	7446	631	634	1331	612	557
2021	7401	732	700	1378	652	625
2022	7449	762	732	1416	683	659
2023	7618	790	771	1429	696	750
YILLAR	Yüzdelerik Değişim					
2013-2014	-0.15	3.64	3.09	1.01	5.96	3.09
2014-2015	-0.09	2.77	8.98	2.33	7.29	5.00
2015-2016	0.62	5.22	10.16	5.05	1.94	11.19
2016-2017	-1.45	5.13	2.49	1.47	2.10	3.21
2017-2018	-5.15	0.98	3.89	-4.97	1.68	6.43
2018-2019	-0.08	1.61	48.48	6.99	12.29	8.58
2019-2020	-0.60	16.01	10.41	3.53	6.54	12.21
2020-2021	0.65	4.10	4.57	2.76	4.75	5.44
2021-2022	2.27	3.67	5.33	0.92	1.90	13.81
Projeksiyon katsayısı	-0.44	4.79	10.82	2.12	4.94	7.66
YILLAR						
2024	7550	868	947	1490	766	869
2025	7452	938	1126	1558	837	1001
2026	7355	1015	1339	1629	914	1152
2027	7260	1098	1592	1704	999	1327
2028	7165	1188	1893	1781	1091	1527
2029	7072	1285	2250	1863	1192	1758
2030	6980	1390	2676	1947	1302	2025

SONUÇ ve ÖNERİLER

Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Türkiye'nin tarımsal üretiminde önemli bir rol oynayan ve özellikle geniş tarım alanlarına sahip bir bölgedir. Bölgede buğday, pamuk, mısır, fıstık, arpa, üzüm gibi ürünlerin üretimi yapılırken, aynı zamanda sulama ile ilgili ciddi zorluklar ve iş gücü temini gibi problemler de yaşanmaktadır. Tarımsal mekanizasyonun bu bölgedeki önemi, tarımın verimliliğini artırmak, iş gücü verimliliğini iyileştirmek, su kaynaklarını etkin kullanmak ve bölgesel kalkınmayı desteklemek açısından büyük bir rol oynamaktadır. Bölge geniş toprak alanlarına sahip olup, bu alanların işlenmesi çoğu zaman zaman alıcı ve fiziksel olarak zorlayıcıdır. Tarımsal mekanizasyon, ekimden hasada kadar tüm süreçlerde verimliliği artırarak, işlerin daha hızlı ve etkin yapılmasını sağlar.

Bölgedeki tarımsal üretim genellikle aile iş gücü ile yapılmaktadır, ancak kırsal nüfusun yaşlanması ve gençlerin tarımdan uzaklaşması, iş gücü açığını artırmaktadır. Mekanizasyon, daha az iş gücü ile aynı hatta daha yüksek verimlilikle tarım yapılmasını sağlar. Bu, tarımın sürdürülebilirliğini sağlamak adına kritik bir rol oynar. Tarımsal Mekanizasyonun gelişmesi, ürünlerin daha yüksek kalitede hasat edilmesine olanak tanır. Ayrıca, uygun mekanizasyon araçları kullanılarak yapılan tarımsal uygulamalar ürün kalitesini yükseltmektedir. Bununla beraber üretim maliyetleri düşecek, ürünlerin pazara sunulma fiyatları değişecek ve bu da tarımsal faaliyetlerin daha rekabetçi olmasını sağlayacaktır. Bunun yanı sıra, tarımsal mekanizasyon sektörü, makine satışları, bakım ve onarım hizmetleri gibi yan sektörlerde istihdam yaratır, böylece Bölgenin ekonomik kalkınmasına da katkıda bulunacaktır.

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde tarımsal mekanizasyon, verimliliği artırma, iş gücü verimliliğini iyileştirme, su kaynaklarını etkin kullanma, toprak koruma ve sürdürülebilir tarım gibi pek çok açıdan kritik bir öneme sahiptir. Bu bölgedeki tarımsal üretimi modernleştirerek daha rekabetçi, sürdürülebilir ve verimli bir tarım sektörü yaratmak, bölgedeki ekonomik kalkınmanın temellerini güçlendirecektir. Tarımsal mekanizasyon, bölgenin tarımda karşılaştığı zorluklarla başa çıkabilmesi için önemli bir araçtır.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2023a. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı GAP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı. Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) Bölge Kalkınma Programı 2021-2023. <http://www.gap.gov.tr/upload/dosyalar/pdf/icerik/BKP2021-2023.pdf>, (erişim: 13 November 2024).
- Anonim, 2023b. Güneydoğu Anadolu Projesi, 2023. <https://docplayer.biz.tr/4068895-Guneydogu-anadolu-projesi.html>, (erişim: 11 November 2024)
- Anonim, 2024. Türkiye İstatistik Kurumu web sayfası. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=134&locale=tr>, (erişim: 14 November 2024)
- Akbaş, T. 2019 Aydın İlinin Tarımsal Mekanizasyon Projeksiyonunun Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma, 29 Ekim Bilimsel Araştırmalar Sempozyumu, İksad.org.tr /www.29ekim.org, S:344-350.
- Altuntaş, E., 2016. Türkiye'nin Tarımsal Mekanizasyon Düzeyinin Coğrafik Bölgeler Açısından Değerlendirilmesi. Türk Tarım - Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4 (12): 1157-1164.
- Baran, M.F, Gökdoğan, O, Eren, Ö, Bayhan, Y., (2019), Projection of Technology Equipment Usage in Agricultural in Turkey, Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 6(1): 1-9, 2019, <https://doi.org/10.30910/turkjans>.
- Baran, M.F., Kaya, A.İ., 2021. Projection of Tool and Machine Utilization in Agriculture (A Case Study of Şanlıurfa Province for 15 Years). Sustainable Agriculture and Livestock for Food Security Under the Changing Climate. Iksad Publications. pp:8-35.
- Çetinkaya, H., Kendal, E., Sayar, M. S., 2013. Ekolojik Tarım Açısından Güneydoğu Anadolu Bölgesi. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi (1), 195-198.
- Demir, B., Kuş, E., 2016. İç Anadolu Bölgesinin Tarımda Teknoloji Kullanım Projeksiyonu. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5, S: 89-95.
- Ertop, H., Atılğan, A., Gökdoğan, O., Saltuk, B. 2021. Projection of Machine Usage in Agriculture of Ardahan Province. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Sayı 27, S:259-266.
- Eryılmaz, T., Gökdoğan, O., Yeşilyurt, M.K., 2014. Yozgat İlinin Tarımsal Mekanizasyon Durumunun İncelenmesi, Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi 1(2): 262-268.

- Evcim, H.Ü., Ulusoy, E., Gülsoylu, E., Tekin, B., 2010. Tarımsal Mekanizasyon Durumu, Sorunları ve Çözüm Önerileri. Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi", 11-15 Ocak, Ankara.
- Gökdoğan, O., 2013. Türkiye'nin Tarımsal Mekanizasyon Durumu. 28. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi, 4-6 Eylül, 46-50 s, Konya.
- Sayın C, Gülçubuk B, Bozoğlu M, Koçak A, Özalp A, Sav O, İlbasmış E, Ceylan M (2015) Türkiye'de Tarımsal Yapıda Değişim ve İzlenen Politikalar. Türkiye Ziraat Mühendisliği VIII. Teknik Kongresi, 12-16 Ocak, Ankara, 9-32.
- Sessiz, A., Turgut, M.M., Pekitkan, F.G., Esgici, R., 2006. Diyarbakır İlindeki Tarım İşletmelerinin Tarımsal Yapı ve Mekanizasyon Özellikleri. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi 2(1): 87-93
- Yaman, N., 2023. Diyarbakır'ın Su Kaynakları, Tarımsal Sulamanın Dünü, Bugünü ve Gelecek Projeksiyonları. Diyarbakır'ın Tarım Potansiyeli ve Gelişimi. Akademisyen Yayınevi, s: 29-43.

BÖLÜM 6

NOHUTTA (*Cicer arietinum* L.) KURAKLIK STRESİNİN MORFOLOJİK, FİZYOLOJİK, ENZİMATİK ETKİLERİ ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME

Arş. Gör. Dr. Gizem KAMÇI TEKİN¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14505414>

¹ Şırnak Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, İdil, Şırnak, Türkiye.
Mail: gzmcmc2@gmail.com

GİRİŞ

Nohut (*Cicer arietinum*), genellikle insan tüketimi için yetiştirilen tek yıllık bir baklagil bitkisidir. Yüksek oranda lif, enerji, vitamin, mineral ve protein içeriği nedeniyle besinsel öneme sahiptir. Bu özellikler nohutu birçok bölgede temel gıda haline getirir ve gelişmiş ülkelerde sağlıklı gıda olarak sınıflandırılmaktadır (Abbo vd., 2003). *Cicer* cinsi; 49 takson, dokuz tek yıllık tür, 40 çok yıllık tür ve yetiştirilen tür *Cicer arietinum* L'den oluşmaktadır. Yabani akrabalar arasında *Cicer reticulatum* kültür çeşidiyle olan yakın genetik ilişkisi morfolojik, sitolojik ve moleküler çalışmalarla doğrulanmıştır (Labdi vd., 1996; Ahmad, 2000; Iruela vd., 2002).

Nohut, simbiyotik azot fiksasyonu yoluyla toprak verimliliğini artırır ve ekim nöbetinde önemli bir yer tutmaktadır. Türkiye, Kuzey ve Doğu Afrika, Güney Asya, Batı Asya, Kuzey ve Güney Amerika, Güney Avrupa ve Avustralya dahil olmak üzere 32'den fazla ülkede yaygın olarak yetiştirilmektedir (Jodha & Subbarao, 1987; Maiti, 2001). 2021 yılında küresel nohut üretimi 13 milyon tona ulaşırken, ortalama verimi 10.57 kg/da olmuştur. Yaygın olarak ekilmesine rağmen nohut verimi diğer baklagillerden daha düşüktür (Cho ve ark., 2002). Bunun nedeni hem ascochyta yanıklığı (*Ascochyta rabiei*), fusarium solgunluğu (*Fusarium oxysporum* f.sp. ciceri) ve bakla kurdu (*Helicoverpa armigera*) gibi biyotik streslere hem de kuraklık ve soğuk gibi abiyotik stresler olarak sıralanabilir. (Ryan, 1997). Yabani nohut akrabalarının kullanımı, özellikle tohum verimi gibi özelliklerde ürün gelişimine önemli katkı sağlamıştır (Stalker, 1980; Prescott-Allen and Prescott-Allen 1988).

Kuraklık stresi, tarım sektörünün karşı karşıya kaldığı en önemli çevresel sorunlardan biridir. Nohut verimini hastalıklardan sonra ikinci olarak etkileyen abiyotik stres faktörüdür (Singh vd. 1994). Millan vd. (2006) kuraklık stresinin neden olduğu kayıpların ortalama %40-50 olduğunu bildirmişlerdir. Su kaynaklarının azalması ve düzensiz yağışlar, tarım ürünlerinin gelişimini ve verimini sınırlamakta, bu durum da gıda güvenliğini doğrudan tehdit etmektedir. Kuraklık stresi bitkiler üzerinde birçok olumsuz etkiye sahiptir. Kuraklık; hücrelerin gelişimini ve bölünmesini yavaşlatır, yaprak, gövde, kök gelişimini engeller, bitkilerin besin ve su kullanım performansını engelleyerek hücre dehidrasyonuna neden olarak ciddi verim kayıplarına yol açmaktadır (Jukanti vd., 2012, Vavilov, 1926). Kuraklık toleransı, bitkilerin sınırlı su

teminiyle hayatta kalma ve iyi büyüme yeteneğidir (Passioura ve Angus 2010). Kuraklığa yanıt olarak, bitkiler fizyolojik morfolojik ve moleküler düzeyde stres tolerans mekanizmaları geliştirirler (Farooq vd. 2009). Bitkiler su kaybını önlemek ve kuraklık stresi altında su alımını artırmak için stomaları kapatır, yaprak sayısını, boyutunu ve kök mimarisini değiştirmektedir. (Turner vd. 2001). Ozmolitlerin birikmesi yoluyla ozmotik ayarlama, bitkilerin kuraklık altında hayatta kalmasına ve daha iyi büyümeye, verim oluşumuna yardımcı olur (Farooq vd. 2009). Bitkiler ayrıca hücre zarlarını ve makromolekülleri kuraklığın neden olduğu oksidatif stresin zararlı etkisinden korumak için enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidanların aktivitesini artırmaktadırlar (Gill ve Tuteja 2010). Özellikle nohut gibi suya duyarlı bitkiler, kuraklık dönemlerinde büyük bir risk altındadır. Bu nedenle, kuraklık stresi ile mücadele edebilmek için ıslah çalışmalarına önem verilmelidir.

Kuraklık stresinin bitkide oluşturduğu etkiler, tohum çıkışı, fide gelişimi, fizyolojik parametreler biyokimyasal parametreler, ozmotik düzenleme reaktif oksijen türleri, antioksidan seviyesi, moleküler ve gen ifadesi düzenlemesi besin alımı, nodül oluşumu, verim ve verim bileşenleri dahil olmak üzere niceliksel ve nitel parametrelerden tahmin edilebilmektedir (Ingram ve Bartels 1996, Turner vd. 2007, Mafakheri vd. 2010, Sabaghpour vd. 2006, Baby ve Jini 2011).

Kuraklığın Nohut Bitkisinde Morfolojik, Fizyolojik, Biyokimyasal Etkileri

Nohut, kurak ve yarı kurak bölgelerde yetiştirilmektedir. Kuraklık stresi nohut verimini %50'ye kadar azaltmaktadır (Sabaghpour vd., 2006). Kuraklık stresi bitkilerde CO₂ mevcudiyeti, fotosentez, solunum, hücre büyümesi, stoma iletkenliği ve diğer temel hücresel metabolizmalar gibi temel fizyolojik ve biyokimyasal süreçleri bozmaktadır (Chaves vd., 2009; Pinheiro ve Chaves, 2011).

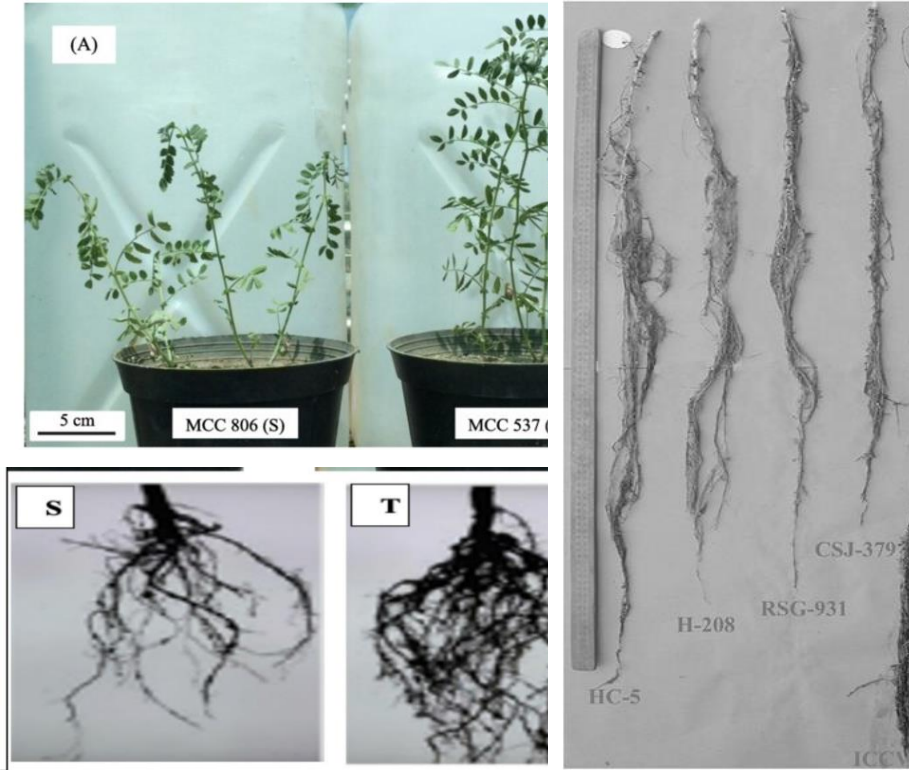
Akdeniz ve Subtropikal bölgelerde nohutta bakla bağlama dönemi son kuraklıklarla karşı karşıya kalır ve bu durum polen canlılığı, polen tüpü büyümesi, stigma oluşumu gibi üreme organlarında işlev bozukluğuna neden olmaktadır (Leport vd., 1998; Pang vd., 2017). Düşük nem çimlenme, fide gelişimi ve bitki büyümesini olumsuz etkilemektedir. Kuraklığa dayanıklı çeşitler ve çevresel faktörler çimlenmeyi etkileyen önemli faktörler arasındadır.

Kuraklık, çimlenmeyi engelleyerek toprak ozmotik potansiyelini azaltır ve -0,8 MPa'da çimlenmenin tamamen durduğu çalışmalarda bildirilmiştir (Sleimi ve ark. 2013). Çimlenmenin başlaması ortamda bulunan su ile doğru orantılıdır (Vessal ve ark. 2012).

Saxena ve ark. (1993), nohut tohumlarının çimlenmesi için su ihtiyacının toprağın tarla kapasitesinin altında olduğunu bildirirken, düşük nem stresi altında nohut genotipleri arasında önemli genetik çeşitlilik gözlemlenmiştir. Tohum doldurma aşamasındaki sınırlı su mevcudiyeti de stres altındaki tohumların çimlenmesini ve fide oluşumunu olumsuz etkilemiştir (Hosseini vd., 2009; Weber vd., 2005).

Macar vd. (2009), kuraklık etkisiyle nohutta fide gelişimi düşer, sürgün-kök oranı azalmaktadır. Kök gelişiminde meydana gelen değişiklikler incelenecek olan çeşitlerde kuraklığa duyarlılığının iyi bir göstergesi olacağı bildirilmiştir Nem oranının yetersizliği plumula ve kökçük uzunluğunu, fide kuru ağırlığını önemli ölçüde etkilemektedir (Ajirloo vd. 2011).

Bitkilerin ilk gelişim döneminde meydana gelen kuraklık bitkilerde bodurluğa, biyoküttelede azalmalara neden olmaktadır (Siddique vd., 1999). Farklı nem ortamlarında yapılan çalışmalarda yetersiz nem koşullarında kök uzunluklarında azalmalar olduğu bildirilmiştir. (Smita ve Nayyar 2005). Bitki boyu, birincil dallar, ikincil dallar, gövde, kök ve yaprak kuru ağırlığı, kök uzunluğu, kuru madde, yaprak uzunluğu, yaprakçık uzunluğu ve yaprakçık genişliği gibi tüm morfolojik özellikler kuraklık stresinden olumsuz yönde etkilenmektedir. Kuraklık stresi, soya fasulyesinde çimlenme oranı önemli ölçüde azalmaktadır (Heatherly, 1993). Awari ve Mate (2015), su eksikliği altında nohutta çimlenme oranında bir düşüş olduğunu bildirmiştir. Li vd., (2018) kuraklık stresinin genellikle fide aşamasında meydana geldiğini ve fasulyede verimi önemli ölçüde azalttığını gözlemlemiştir.



Şekil 1. Beş gün süren susuzluk stresine 28 günlük nohut fidelerinin morfolojik tepkisi. Kuraklığa Duyarlı (MCC806.S) ve Kuraklığa Dayanıklı (MCC537.T) Nohut Genotipleri, Yağmur koşullarında nohut genotiplerinin köklenme derinliği (Kaynak: Vessal, vd., 2020; Kumar vd. 2012).

Vessal, vd., (2020), seçilmiş toleranslı (MCC537.T) ve hassas (MCC806.S) nohut genotipinin 28 günlük fidelerinde kuraklığa dayanıklılıktaki farklılıkları belirlemek için dehidratasyon stresine karşı fizyolojik tepkiler inceledikleri çalışmada hassas olan genotipin dayanıklı olan çeşide göre daha düşük bitki boyu ve zayıf kök yapısının olduğunu tespit etmişlerdir (Şekil 1).

Kuraklık stresiyile stoma iletkenliği doğru orantılıdır. Stoma iletkenliği optimum koşullarda %31-91 arasında değişirken şiddetli kuraklık altında normal iletkenliğin %93'üne kadar azaldığı çalışmalarda bildirilmiştir (Pouresmael vd. 2013). Nohut genotiplerinde kuraklık stresi altında CO₂ asimilasyon oranı (A) da düşmektedir. CO₂ asimilasyonu çiçeklenme ve bakla oluşumunun erken evrelerinde hem normal hem de stres koşullarında toleranslı genotiplerde duyarlı olanlardan daha yüksek olmaktadır (Rahbarian vd. 2011).

Kök biyokütlesi, topraktaki nemin az olduğu durumlarda bile avantajlı olduğundan suyun emilmesinde önemli rol oynar. **Vejetatif dönemde; kurağa hassas genotipler, toleranslı genotiplere göre daha fazla su emer. **Kurağa toleranslı genotipler ise generatif dönemde daha fazla su emerler.

Kuraklık stresi, kuraklığın uzunluğuna ve derecesine göre değişen klorofil içeriğinde bir azalmaya neden olmaktadır. Vejetatif evredeki kuraklık stresi hem vejetatif hem de çiçeklenme evrelerinde klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil içeriğini azaltmaktadır. Klorofil a/b oranı üzerindeki etki eksikliği, klorofil b'nin klorofil a'dan daha kuraklığa duyarlı olmadığını göstermektedir (Mafakheri vd., 2010). Kuraklık stresi altındaki bitkilerde, klorofil a konsantrasyonunun klorofil b konsantrasyonundan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kuraklık stresinde klorofil a ve klorofil b içeriği bitki tür ve çeşidine göre farklılık göstermektedir. Mafakheri vd. (2010), ILC 482 nohut çeşidinin vejetatif dönemde yüksek klorofil a değerine sahipken, Pirouz çeşidinde en düşük klorofil a seviyesine sahip olduğunu ve ILC 482 çeşidinin kuraklığa daha dayanıklı olduğunu tespit etmiştir.

Kuraklık stresi yaprak sıcaklığını artırmaktadır, dayanıklı genotipler duyarlı genotiplere kıyasla yaprak sıcaklığındaki artışa direnç göstermektedir. Kuraklık stresi altında dayanıklı genotiplerin yaprak sıcaklığı duyarlı genotiplere kıyasla daha düşük kalmaktadır. Kuraklığa dayanıklı nohut genotipi 'Gökçe' ICARDA tarafından geliştirilmiştir ve şiddetli kuraklık stresi altında gelişen tek genotiptir. (Imtiaz ve Malhotra 2009).

Kuraklık nedeniyle su miktarı azaldığından, bitkilerde toplam besin alımı ve doku konsantrasyonlarının azalması yaygındır. N, Si, Mg ve Ca gibi birçok önemli besin elementi, suyla birlikte kökler tarafından alınır; ancak kurak şartlarda, besin elementlerinin difüzyon ve kütle yoluyla taşınmasını engellenir ve bitki büyümesinin yavaşlamalar meydana gelmektedir. Baklagillerin nodüllerine asimilatların bulunabilirliğindeki ve oksijen akışındaki azalma nedeniyle kuraklık biyolojik N-fiksasyonunu azaltmaktadır. Kuraklık; yaprak nitrat redüktaz aktivitesini ve kök nitrat seviyelerini sınırlayarak azot bulunabilirliğinde azaltır, nodüllere karbonhidrat bulunabilirliğini ve nodüllerdeki sakarozu hidrolize eden sakaroz sentaz enziminin aktivitesini sınırlayarak nitrojenaz aktivitesinde düşüğe neden olmaktadır (Ullah ve Farooq, 2021). Kuraklık stresi, nitrat redüktaz, sakaroz sentaz ve baklagil-rizobiyum

simbiyotik ilişkisini azaltarak baklagillerin besin kullanım verimliliğini düşürmektedir (Khatun vd. 2021).

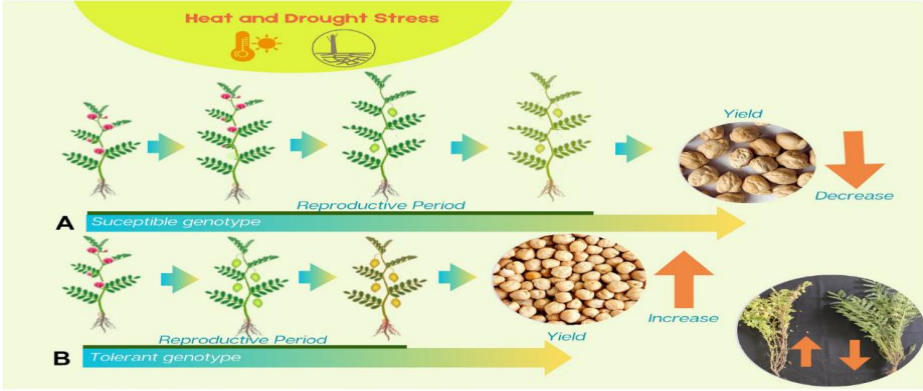
Ozmotik ayarlama (OA), kuraklık direncini artırır, turgor basıncını dengeleyerek bitkilerin fizyolojik dönemlerini korumaya yardımcı olmaktadır (Morgan 1984). Nohutta ozmotik ayarlama çeşide göre değişkenlik gösterdiği birçok çalışmada bildirilmiştir (Moinuddin ve Khanna-Chopra 2004). Ozmotik ayarlamaya dayanıklı çeşitler, duyarlı çeşit ve genotiplerle yapılacak ıslah çalışmaları nohutta kuraklığa direnci artırabilmektedir. Uygun koşullar altında OA ile verim arasında pozitif bir korelasyon olduğu, kuraklık stresiyle OA arasında ters orantı olduğu tespit edilmiştir (Moinuddin ve Khanna-Chopra 2004, Turner ve ark. 2007).

Kuraklık stresi koşullarında bitkiler reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumunu ve birikimini artırır ve lipid peroksidasyonuna, Deoksiribo Nükleik Asitte (DNA) hasara ve enzimlerin inaktivasyonu gibi metabolik işlev bozukluklarıyla oksidatif strese neden olmaktadır (Tounekti ve ark.,2013, Kamçı Tekin vd., 2024). Bitkilerin ROS oluşumuna karşı katalaz (CAT), Askorbatlar, glutatyon peroksidaz (GPX), karotenoidler, glutatyon, tokoferoller, süperoksit dismutaz (SOD), peroksidazlar gibi antioksidan savunma mekanizmaları mevcuttur. Kuraklığa dayanıklı nohut genotipleri duyarlı genotiplere göre lipid peroksidasyonu daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Mohammadi vd. 2011).

Kuraklığın Verime etkisi

Verim ve verime bağlı özellikler için yalnızca fenotipik seleksiyon, abiyotik stres altında bitkilerin oluşturdukları savunma mekanizmaları ve genetik kazanımlar gibi önemli fizyolojik özelliklerin göz ardı edilmesine yol açmıştır (Reynolds ve Langridge, 2016).

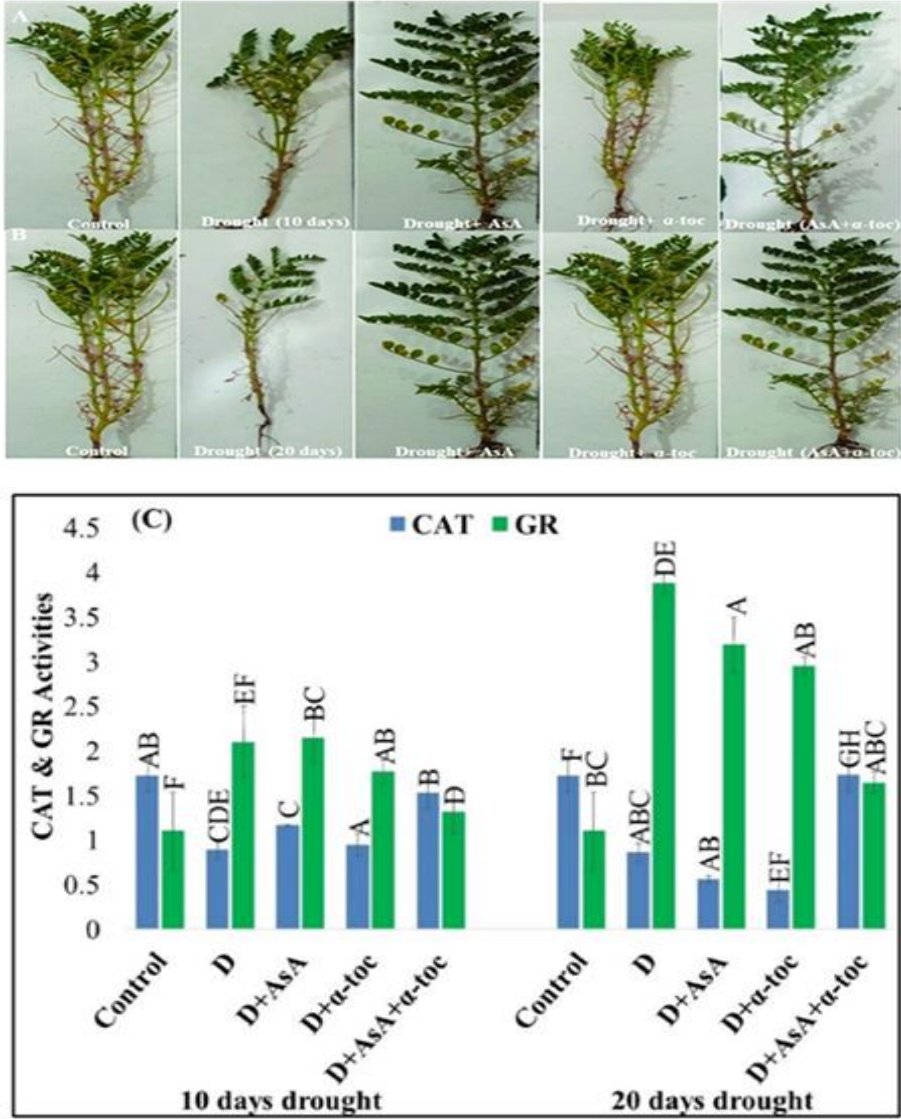
Bitki ıslah programlarına “fizyolojik özelliklerin” dahil edilmesi, “verim için kümülatif gen eylemi” şansını artırma fırsatı sunmaktadır (Cossani ve Reynolds, 2012). Ancak, çeşitli fizyolojik özelliklerin dahil edilmesinin başarısı, özelliklerin tane verimi ile nasıl ilişkilendirildiğine, kalıtım derecelerine, seçim yanıtının ve ölçümünün kolaylığına ve yıkıcı olmayan yapılarına bağlıdır (Monneveux vd, 2012).



Şekil 2. Gecikmiş olgunlaşmanın neden olduğu uzatılmış üreme evresi, bakla oluşumunun gecikmesine yol açtı ve sonuçta birleşik stres koşulları altında verimin azalmasına neden oldu. A Gecikmiş bakla oluşumu, duyarlı genotiplerde gecikmiş olgunlaşmaya ve verimin azalmasına neden oldu. B Zamanında bakla oluşumu, toleranslı genotiplerde verimin artmasına yol açtı. (Gurumurthy ve ark. 2024).

Terminal kuraklık bitkilerin döllenme ve bakla bağlama döneminde yani geç dönemde olarak adlandırılan zamanda maruz kaldıkları kuraklık tipidir. Artan sıcaklıklar ve düzensiz yağışlar kuraklığı artırmaktadır. Özellikle bitkilerin çiçeklenme zamanında ve bakla bağlama döneminde meydana gelen kuraklıklar tane verimde ciddi verim kayıplarına neden olmaktadır (Farooq vd., 2014).

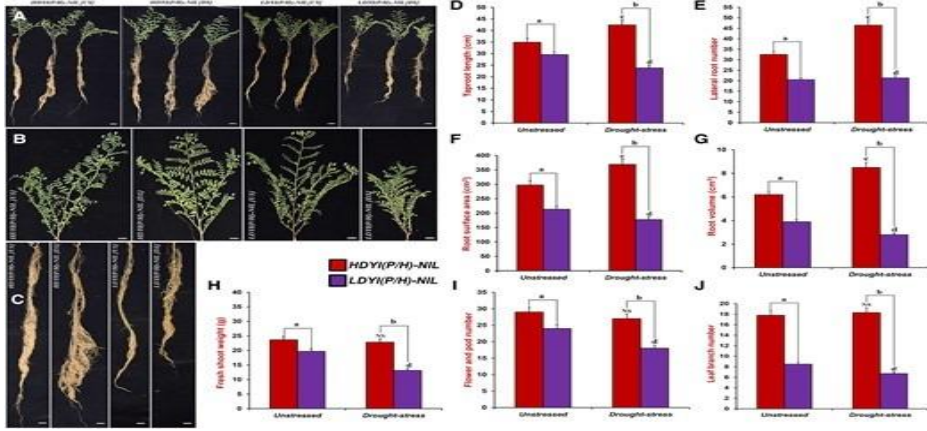
Bitkide verim genotip \times çevre interaksiyonundan oldukça fazla etkilenmektedir. Toprak yapısı, toprak işleme yöntemleri, ekim yöntemleri, ekim zamanı, ekim sıklığı, sıra arası mesafe sulama zamanı ve sulama yöntemleri, gübreleme verimi etkileyen önemli koşullardır. Su stresinden kaynaklı oluşan kuraklıklar ve artan sıcaklıklar çiçek sayısı, bakla sayısı, tane verimini olumsuz yönde etkilemektedir (Aghanejad vd., 2015). Şiddetli kuraklıklar yaprakların stresten kaynaklı erken ölmesine bundan kaynaklıda fotosentezde büyük azalmalara ve sonuç olarak da verimde düşüslere neden olmaktadır. Nohutta çiçeklenme zamanında meydana gelen kuraklık çiçeklenme zamanını kısaltmakta bundan kaynaklı daha az çiçek, daha az bakla ve bitki başına daha az sayıda tohum üretimine neden olmaktadır. Nohutta bakla oluşumu sırasında su eksikliği, bakla oluşumunu olumsuz etkiler ve bakla dökülmesine neden olabilecek Absisik asiti (ABA) artırarak sonuçta önemli verim kayıplarına yol açabilmektedir (Pang ve ark., 2017).



Şekil 3. *C. arietinum*'un (A) 10 günlük kuraklık ve (B) 20 günlük kuraklık stresi altında AsA ve α -toc'a morfolojik tepkisi. (Kaynak: El-Beltagi vd., 2022)

Kuraklık stresi son yıllarda toprak yapısını, bitki agronomisini metabolizmasını ve fizyolojisini etkileyen önemli bir tarımsal kısıtlama haline gelmiştir. Kuraklık stresi, toprak yapısındaki değişikliklerden sorumludur, kuraklık toprak organik maddesini etkilemesi nedeniyle toprak sıcaklığındaki değişiklik, ayrışmaya ve aşırı CO₂ salınımına yol açmaktadır. El-Beltagi vd.,

(2022), kuraklık stresi altındaki bitkilere α -toc dışarıdan püskürtülmüş ve bitkilerin agronomik, fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerinin önemli ölçüde olumlu etkilendiğini tespit etmiştir (Şekil 3).



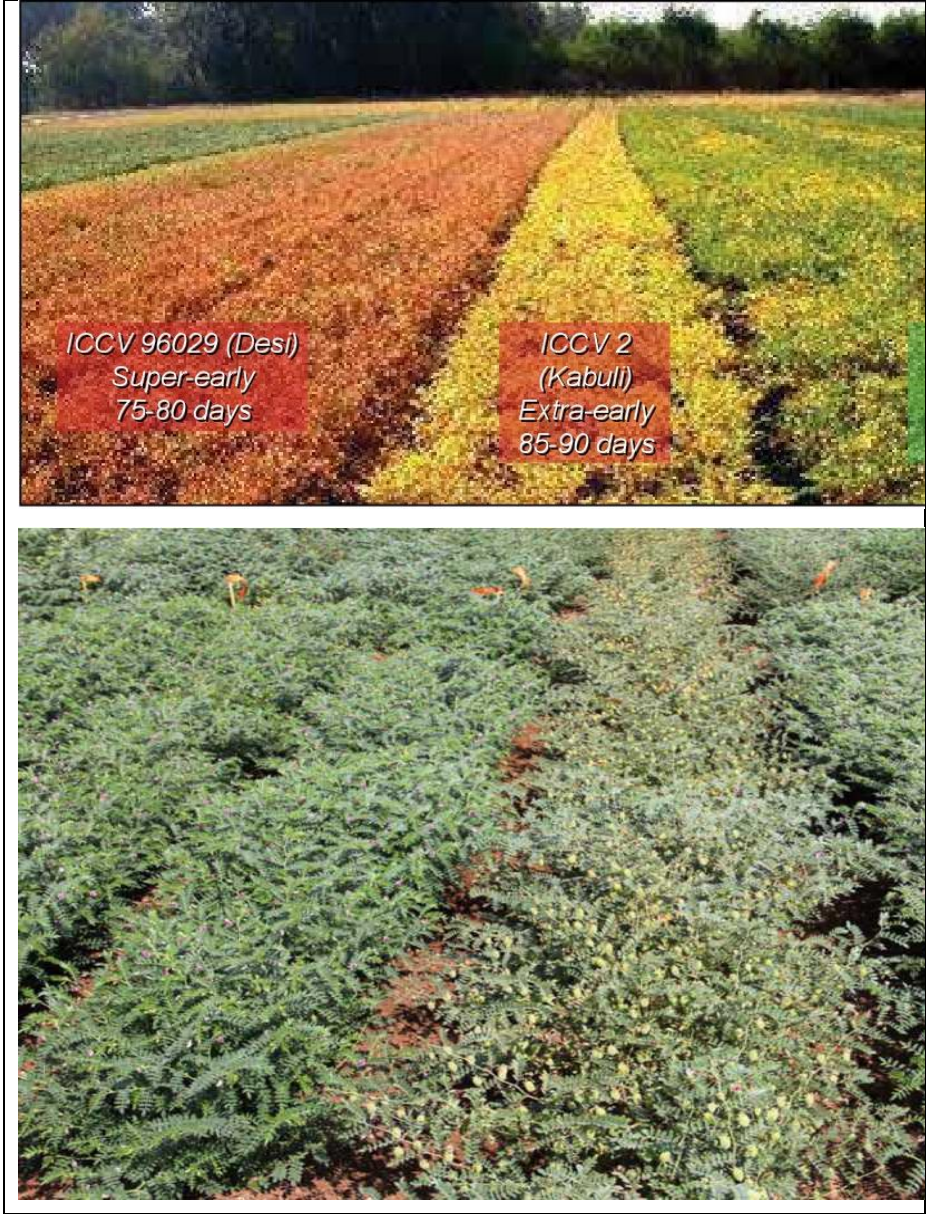
Şekil 4. Saha fenotipleme, kuraklık stresi sırasında kuraklığa dayanıklı CabHLH10 gen haplotipi introgresyonlu hatlarda sürgün büyümesi/gelişimini telafi etmeden gelişmiş kök fizyolojik özellik karakteristikleri gösterdi. A–C, Yüksek [HDYI(P/H)-NILCabHLH10(HAPB)] ve düşük [LDYI(P/H)-NILCabHLH10(HAPA)] DYI-NIL'lerin 45-60 günlük silindir toprakta yetiştirilen bitkilerinin köklerinin ve sürgünlerinin tarımsal-morfolojik özellik tabanlı fenotipleme, kontrollü stressiz (US) ve kuraklık stresi (DS) koşulları altında bir yağmur barınağında değerlendirildi. D–J, (D) kazık kök uzunluğu (cm), (E) yanıl kök sayısı, (F) kök yüzey alanı (cm²), (G) kök hacmi (cm³), (H) taze sürgün ağırlığı (g), (I) çiçek ve bakla sayısı ve (J) hem düşük hem de yüksek DYI(P/H) NIL'lerde yaprak dalı sayısı dahil olmak üzere kök ve sürgün agro-morfolojik özellikleri için fenotipik varyasyon. ABD (a) ile DS (b) altında HDYI(P/H)-NIL ve LDYI(P/H)-NIL arasındaki söz konusu kök/sürgün morfolojik özellik özelliklerinde anlamlı fark ($P < 0,001$, iki kuyruklu t-testi). ABD (a) ile DS (b) altında DS sırasında kök/sürgün morfolojik özellik özelliklerinde anlamlı fark ($P < 0,001$, iki kuyruklu t-testi). ABD HDYI(P/H)-NIL (c) ve LDYI(P/H)-NIL (d) ile karşılaştırıldığında kök/sürgün morfolojik özellik özelliklerinde anlamlı fark ($P < 0,001$, iki kuyruklu t-testi). Dikey hata çubukları ortalama \pm standart sapmayı temsil eder ($n = 3$, NIL başına 3 bağımsız bitki). Genotip (G) ve DS Tedavisi (T) iki faktör olarak ve $G \times T$ Genotip ve Tedavi etkileşimi olarak kullanılarak iki yönlü ANOVA gerçekleştirildi. G: $P < 0,001$, T: $P < 0,001$ ve $G \times T$: $P < 0,01$. F: Her NIL'de yetişen çiçekler/baklalar. NS: Önemsiz. HAP: haplotip; LDYI(P/H) ve HDYI(P/H): bitki/hektar başına düşük ve yüksek kuraklık verim indeksi. Ölçek çubukları: 1 cm. NIL: izogenik çizgiye yakın. Sürgün (B) ve kök (C) görüntüleri (A)'da tasvir edilen aynı örneklerden alınmıştır. (Virevol vd., 2023)

Virevol vd., (2023), nohutta bitkisinde yapmış oldukları agro-morfolojik değerlendirmelerde, kuraklık ve ABA stresi altında HDYI(P/H)-NIL'lerde LDYI(P/H)-NIL'lere kıyasla sadece taze sürgün ağırlığında bir azalman, verim kaybı ile kök hacminde önemli bir artış olduğunu tespit etmişlerdir (Şekil 4).

Nohutta kuraklık stresi ayrıca simbiyotik N₂ fiksasyon süreçlerinin olumsuz etkilenmesine yol açarak ciddi verim kayıplarına neden olabilir (Wery ve ark., 1993). Nohut genellikle değişen derecelerde son kuraklıkla karşı karşıya kalır ve bu koşullar altında verim istikrarı, verimliliği artırmak için önemli bir konudur. Bu nedenle, son kuraklık koşulları altında verim istikrarını iyileştirmek için araştırmalara daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır.

Kuraklık Stresine Karşı Uyum Stratejileri

Terminal aşamadaki kuraklık nohutta verimi kısıtlayan en önemli etkidir ve küresel verim kayıplarının yaklaşık %50'sini oluşturmaktadır (Gaur vd., 2012). İklim değişikliği bitkilerin üretimini olumsuz yönde etkilemektedir ve nohut verimi, mevsimsel yağışta %31'lik bir azalma ile birlikte 0,1 °C'lik bir sıcaklık artışıyla 385,0 kg/da azalmıştır (Dubey vd. 2011). Fotosentez, terleme, solunum ve diğer temel biyokimyasal süreçler dahil olmak üzere tüm temel biyolojik süreçler kuraklık stresinden ciddi şekilde etkilenmektedir. Erken fenoloji (erken çiçeklenme, erken baklalanma ve erken olgunlaşma) son kuraklık stresinden kaçmak için en önemli mekanizmadır. Kuraklıktan kaçınma, köklerin daha derin toprak katmanlarından su alması, ozmotik ayarlama ve su kaybını azaltma (stoma iletkenliği veya yaprak alanında azalma) ile sağlanabilir. Kuraklığa tolerans, hücrelerin düşük yaprak su durumunda metabolizmayı sürdürme yeteneğini ifade etmektedir.



Şekil 5. Erken olgunlaşma ile kuraktan kaçma özelliği gösteren nohut çeşitleri (Kaynak: İnternet (anonim))

Bitkilerde kuraklık stresine karşı ‘kaçış, tolerans, kaçınma, dayanıklılık’ isimli dört farklı tepki mekanizması tanımlanmıştır. Kuraklıktan kaçış, kuraklıktan kaçınma ve kuraklık toleransı dahil olmak üzere birkaç mekanizma

kuraklık stresine karşı direnci tanımlamaktadır (Blum 1989, Aslam vd., 2015). Levitt (1980), kaçış, kaçınma ve toleransla ilişkili bitki özelliklerinin kuraklık direnci olduğunu belirtmiştir. Kuraklık direnci stratejileri, bitkileri kuraklığın zararlı etkilerinden koruyan uyarlanabilir tekniklerdir. Kuraklıktan kaçınma mekanizması, minimum su kaybı ve maksimum su kullanımını içermektedir. Genellikle, nohuttun depolanmış toprak nemi altında ve yüksek su tutma kapasiteli toprağa sahip olarak yetiştirildiği Orta ve Güney Hindistan koşullarında, nohut kuraklıktan kaçış ve kuraklıktan kaçınma mekanizmalarını kullanarak kuraklık stresine direnç göstermektedir. Ancak, bu kuraklıktan kaçınma stratejisi, düşük su tutma kapasiteli toprağa sahip Batı Avustralya'daki Akdeniz iklimlerinde etkisiz kalmaktadır (Berger vd., 2006). Bu streslere karşı direnç kaynakları, ya kültür bitkilerinde (sıcaklık ve kuraklık stresi) ya da yabancı akrabalarda (soğuk stresi) mevcuttur ve strese dayanıklı nohut çeşitleri geliştirmek için kullanılabilir. Nohut bitkisinde terminal kuraklıkların önlenmesi amacıyla süper erkenci (ICCV 96029) yetiştirme hatları geliştirilmiştir (Şekil 5).

Kuraklık Stresine Karşı Genetik Çeşitlilik

Genetik çeşitlilik bitkilerde nohut dahil olmak üzere kuraklık stresine dayanıklılığı artırmada önemli bir rol oynamaktadır. Çeşitli morfo-fizyolojik özellikler ve tane verimiyle ilişkili parametreler kuraklık stresine tolerans için önemlidir (Krishnamurthy vd., 2010; Jha vd., 2014; Pang vd., 2017). Nohut bitkisine kuraklığa dayanıklılığı kazandırmak için yabancı türler (*Cicer microphyllum*, *Cicer anatolicum* ve *Cicer songaricum*) ıslah çalışmalarında kullanılmaktadır. (Toker vd., 2007). Ayrıca Kashiwagi vd. (2005) Orta Asya, Batı Asya ve Akdeniz bölgelerindeki nohut yerel çeşitlerini kuraklığa dayanıklı genotiplerin geliştirilmesinde kullanılabileceğini bildirmiştir.

Tablo 1. Abiyotik strese toleranslı yabancı nohut türleri

Vahşi Türler	Abiyotik Stres Toleransının Alellerinin Kaynağı	Referanslar
<i>Cicer reticulatum</i>	Kuraklık, sıcak, soğuk ve tuzluluk	Canci vd., 2009; Singh vd., 1995; Toker, 2005; Berger vd., 2012
<i>Cicer echinospermum</i>	Soğuk	Singh vd., 1995; Berger vd., 2012
<i>Cicer bijugum</i>	Soğuk	Toker, 2005; Berger vd., 2012
<i>Cicer judaicum</i>	Soğuk ve kuraklık	Berger vd., 2012
<i>Cicer pinnatifidum</i>	Kuraklık ve sıcaklık	Canci vd., 2009
<i>Cicer microphyllum,</i>	Kuraklık	Toker vd., 2007
<i>Cicer anatolicum</i>	Kuraklık	Toker vd., 2007
<i>Cicer songaricum</i>	Kuraklık	Toker vd., 2007

Kaynak : Arriagada vd., 2022

Kök yapısı ve mimarisi kuraklık stresi altında bitki performansını iyileştirmek için önemli parametrelerdir (Wasaya vd., 2018; Ye vd., 2018). Derin kök yapısına sahip bitkiler toprağın derinliklerindeki suyu bularak su stresi altında terlemeyi en aza indirir ve kuraklığa adaptasyonda kritik bir rol oynar (Berger vd., 2016).

Birçok çalışmada nohutta kök uzunluğu ve kök uzunluğu yoğunluğu, kök biyokütlesi, derin kök kuru ağırlığı, toplam kök kuru ağırlığı gibi diğer kökle ilgili parametrelerin kuraklık stres toleransına nasıl katkıda bulunduğu araştırılmıştır (Krishnamurthy vd., 2003; Gaur vd, 2008; Kashiwagi vd., 2015; Purushothaman vd., 2016; Chen vd., 2017).

ICC 4958 ve ICC 8261 genotipleri diğer genotiplere göre daha büyük kök uzunluğu, derin kök sistemleri ve yüksek kök biyokütlesine sahip olduğundan kuraklığa dayanıklı nohut çeşitleri geliştirmek için önemli bitki materyali olarak kullanılmaktadır (Saxena ve ark., 1993; Gaur ve ark., 2008). Bu genotipler (ICC 4958 ve ICC 8261) yukarıda belirtilen özellikleri elit nohut çeşitlerine aktarmak ve kuraklığa dayanıklı QTL'leri çözmek için haritalama popülasyonları geliştirmek amacıyla kuraklığa dayanıklı ıslah programlarına istikrarlı bir şekilde dahil edilmiştir (Gaur ve ark., 2012).



Şekil 6. Temsili introgresyon hatlarının (IL) ebeveyn hatlarıyla birlikte kök özelliği fenotipleme. (Kaynak: Varshney vd., 2013)

Aynı zamanda, kuraklık ve sıcağa dayanıklı genomik bölgelere/QTL'lere sahip ICCV 00108, ICC 4958, ICCV 97105 JG 130, JAKI 9218, ICCV 10, JG 16, ve JG 130 genotipleri de ıslah çalışmalarında kullanılmaktadır (Devasirvatham ve Tan, 2018). Mannur vd., 2009 A1 x ICC4958; ICCV2 x ICC4958 melezlerini kuraklık toleransına katkıda bulunan fizyolojik özellikler (tane verimi, kök biyokütlesi, erkencilik) açısından değerlendirmiştir ve erkencilik ve kök kütlesi gibi farklı kuraklıktan kaçınma mekanizmaya sahip melez kombinasyonlarının, gelişmiş kuraklık toleransı yetiştirmek için önemli olduğunu bildirmiştir.

Varshney vd. (2013), Etiyopya'da, JG 11 × ICC 4958 arasındaki çaprazlamadan 'Geletu' adlı yüksek verimli ve kuraklığa dayanıklı bir nohut çeşidi geliştirmişlerdir.



Şekil 7. Kökler Kenya'daki Egerton Üniversitesi'nde Chania Desi II x ICC 4958 melezlemesinden elde edilmiştir
(Kaynak: Kosgei vd.,2022)

Tablo 2. Kuraklık Stresine Karşı Öne Çıkan Nohut Genotipleri ve Çeşitleri

Genotip/Çeşit	Özellikleri	Kullanım Alanı	Referanslar
ICC 4958	Derin kök yapısı, yüksek kök biyokütlesi	Kuraklık stresine dayanıklılık ıslahı	Singh vd., 1998
ICCV 10	Erken olgunlaşma, kuraklığa dayanıklı	Akdeniz iklim bölgelerinde yaygın	Saxena, N. P. (2003).
JG 11	Yüksek verim, kuraklık ve sıcağa dayanıklılık	Sıcak ve kurak bölgelerde ıslah çalışmaları	Varshney vd., 2016
ILC 482	Yüksek klorofil içeriği, düşük lipid peroksidasyonu	Vejetatif dönemde kuraklık stresine dayanıklı	Mafakheri vd. (2010)
JG 16	Orta büyüklükte tohum, kuraklık stresine uyumlu	Güney Asya tarım alanlarında kullanılır	Devasirvatham ve Tan, 2018
ICCV 97105	Yüksek azot fiksasyonu, kuraklık stresine toleranslı	Tarımsal sürdürülebilirlik projeleri	Saxena, N. P. (2003).
ICCV 00108	Düşük su tüketimi, yüksek verim	Düşük yağış alanlarında verim artırımı	Devasirvatham ve Tan, 2018
Pirouz	Düşük klorofil içeriği, orta seviyede dayanıklılık	Kontrollü stres çalışmaları	Varshney vd., 2016
Gökçe	Türkiye'de geliştirilen, şiddetli kuraklık altında dayanıklı	Türkiye ve çevre bölgelerde yaygın	Toker, C., & Canci, H. (2003).
ICCV 96029	Süper Erkencilik özelliği	Farklı ekosistemlerde ıslah programları	Kumar ve Rao, 2001
BG-362	Orta seviyede kuraklık toleransı, yüksek verim potansiyeli	Kontrollü stres çalışmaları ve üretim	Kashiwagi vd., (2006).
P-256	Yüksek adaptasyon kabiliyeti, kuraklık stresine dayanıklı	Farklı ekosistemlerde ıslah programları	Kashiwagi vd., (2006).

SONUÇ

Kuraklık stresi, nohut üretiminde önemli verim kayıplarına yol açan ve gıda güvenliğini tehdit eden bir sorundur. Bu çalışma, kuraklık stresinin nohut bitkisi üzerindeki morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler etkilerini kapsamlı bir şekilde ele almış, bu etkilerle mücadeleye yönelik genetik ıslah ve agronomik stratejileri incelemiştir. Nohut bitkisinde kuraklığa dayanıklılığı artırmak için genetik çeşitlilik ve modern ıslah tekniklerinden yararlanılması, özellikle kök yapısı ve antioksidan mekanizmalarının geliştirilmesi önemli bir çözüm olarak öne çıkmaktadır.

Gelecekte yapılacak çalışmalar, kuraklık stresine karşı dayanıklılığı artıracak yeni genotiplerin geliştirilmesine ve bu genotiplerin geniş ölçekte tarımsal üretime entegre edilmesine odaklanmalıdır. Ayrıca, sürdürülebilir tarım uygulamaları ile su kaynaklarının daha verimli kullanımı ve bitki stres yönetiminin iyileştirilmesi, tarımsal üretimin devamlılığı için kritik öneme sahiptir. Nohut gibi stratejik ürünlerde kuraklık stresiyle mücadele hem tarımsal hem de ekonomik sürdürülebilirlik açısından küresel ölçekte bir zorunluluktur.

KAYNAKLAR

- Abbo, S., Shtienberg, D., Lichtenzveig, J., Lev-Yadun, S., & Gopher, A. (2003). The chickpea, summer cropping, and a new model for pulse domestication in the ancient Near East. *The Quarterly Review of Biology*, 78(4), 435–448.
- Aghanejad, M., Mahfoozi, S., & Sharghi, Y. (2015). Effects of late-season drought stress on some physiological traits, yield, and yield components of wheat genotypes. In *Biological Forum* (Vol. 7, No. 1, p. 1426). Research Trend.
- Ahmad, F. (2000). A comparative study of chromosome morphology among nine annual species of *Cicer* L. *Cytobios*, 101, 37–53.
- Ajirloo, A. R., Mohammadi, G. R., & Ghobadi, M. (2011). The effect of priming on seed performance of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 1, 1349–1351.
- Aslam, M., Maqbool, M. A., & Cengiz, R. (2015). Drought stress in maize (*Zea mays* L.): Effects, resistance mechanisms, global achievements, and biological strategies for improvement. *Springer Briefs in Agriculture*, 1–74.
- Awari, V.R. & Mate, S.N. (2015). Effect of drought stress on early seedling growth of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. *Life Sci. Int. Res. J.*, 2, 356–361.
- Baby, J., & Jini, D. (2011). Development of salt stress-tolerant plants by gene manipulation of antioxidant enzymes. *Asian Journal of Agricultural Research*, 5, 17–27.
- Berger, J., Palta, J., & Vadez, V. (2016). An integrated framework for crop adaptation to dry environments: Responses to transient and terminal drought. *Plant Science*, 253, 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.09.007>
- Berger, J. D., Kumar, S., Nayyar, H., Street, K. A., Sandhu, J. S., Henzell, J., Kaur, J., & Clarke, H. (2012). Temperature-stratified screening of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genetic resource collections reveals very limited reproductive chilling tolerance compared to its annual wild relatives. *Field Crops Research*, 126, 119–129.
- Blum, A. (1989). Osmotic adjustment and growth of barley genotypes under drought stress. *Crop Science*, 29(1), 230–233.
- Canci, H., & Toker, C. (2009). Evaluation of yield criteria for drought and heat resistance in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195, 47–54.
- Chaves, M. M., Flexas, J., & Pinheiro, C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, 103, 551–560. <https://doi.org/10.1093/aob/mcn125>

- Cho, S., Kumar, J., Shultz, J. L., Anupama, K., Tefera, F., & Muehlbauer, F. J. (2002). Mapping genes for double podding and other morphological traits in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Euphytica*, *128*, 285–292.
- Cossani, C. M., & Reynolds, M. P. (2012). Physiological traits for improving heat tolerance in wheat. *Plant Physiology*, *160*, 1710–1718. <https://doi.org/10.1104/pp.112.207753>
- Devasirvatham, V., & Tan, D. K. (2018). Impact of high temperature and drought stresses on chickpea production. *Agronomy*, *8*(8), 145.
- Dubey, S. K., Sah, U., & Singh, S. K. (2011). Impact of climate change in pulse productivity and adaptation strategies as practiced by the pulse growers of Bundelkhand region of Uttar Pradesh. *Journal of Food Legumes*, *24*, 230–234.
- El-Beltagi, H. S., Shah, S., Ullah, S., Sulaiman, Mansour, A. T., & Shalaby, T. A. (2022). Impacts of ascorbic acid and alpha-tocopherol on Chickpea (*Cicer arietinum* L.) grown in water deficit regimes for sustainable production. *Sustainability*, *14*(14), 8861.
- Farooq, M., Gogoi, N., Hussain, M., Barthakur, S., Paul, S., Bharadwaj, N., ... & Siddique, K. H. (2017). Effects, tolerance mechanisms, and management of salt stress in grain legumes. *Plant Physiology and Biochemistry*, *118*, 199–217.
- Farooq, M., Hussain, M., & Siddique, K. H. (2014). Drought stress in wheat during flowering and grain-filling periods. *Critical Reviews in Plant Science*, *33*, 331–349.
- Gaur, P. M., & Varshney, R. K. (2017). Breeding approaches for improving drought tolerance in chickpea. *Plant Breeding*, *136*(5), 584–595.
- Gaur, P. M., Jukanti, A. K., & Varshney, R. K. (2012). Impact of genomic technologies on chickpea breeding strategies. *Agronomy*, *2*, 199–222. <https://doi.org/10.1002/9783527675265.ch31>
- Gaur, P. M., Krishnamurthy, L., & Kashiwagi, J. (2008). Improving drought-avoidance root traits in chickpea (*Cicer arietinum* L.)—current status of research at ICRISAT. *Plant Production Science*, *11*, 3–11. <https://doi.org/10.1626/pp.11.3>
- Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, *48*(12), 909–930.
- Heatherly, L. G. (1993). Drought stress and irrigation effects on germination of harvested soybean seed. *Crop Science*, *33*(4), 777–781.
- Gurumurthy, S., Sanjay, U. N., Amaregouda, A., Apoorva, A., Kruthika, S., Durga, G., ... & Rane, J. (2024). Understanding the impact of combined heat and drought stress on the reproductive process of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Plant Physiology Reports*, *29*(1), 76–87.
- Hosseini, N. M., Palta, J. A., Berger, J. D., & Siddique, K. H. M. (2009). Sowing soil water content effects on chickpea (*Cicer arietinum* L.):

- Seedling emergence and early growth interaction with genotype and seed size. *Agricultural Water Management*, 96, 1732–1736.
- İmtiaz, M., & Malhotra, R. S. (2009). Reduce stress: Breed for drought tolerance. *ICARDA Caravan Science and Food Security*, 26, 34–36.
- İnternet Kaynağı (Anonim):
<https://www.semanticscholar.org/paper/Chickpea-%28Garbanzos%29%3A-An-emerging-crop-for-the-and-Mula-Gonzales/ae743dfdc2bf4192d522ed1a62de2e41816c2cf0/figure/4>
- Ingram, J., & Bartels, D. (1996). The molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 47(1), 377–403.
- Iruela, M., Rubio, J., Cubero, J. I., Gill, J., & Millan, T. (2002). Phylogenetic analysis in the genus *Cicer* and cultivated chickpea using RAPD and ISSR markers. *Theoretical and Applied Genetics*, 104(4), 643–651.
- Jha, U. C., Chaturvedi, S. K., Bohra, A., Basu, P. S., Khan, M. S., & Barh, D. (2014). Abiotic stresses, constraints, and improvement strategies in chickpea. *Plant Breeding*, 133, 163–178.
<https://doi.org/10.1111/pbr.12150>
- Jodha, N. S., & Subba Rao, K. V. (1987). Chickpea: World importance and distribution (*Cicer arietinum*).
- Jukanti, A. K., Gaur, P. M., Gowda, C. L. L., & Chibbar, R. N. (2012). Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): A review. *British Journal of Nutrition*, 108(S1), S11–S26.
- Kamçı, G., Akalp, E., Piriç, V., & Tonçer, Ö. (2024). Adaçayı (*Salvia officinalis* L.)’nda tuzluluk (NaCl) stresi üzerinde salisik asit uygulamalarının etkisi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(2), 500–511.
- Kashiwagi, J., Krishnamurthy, L., & Gaur, P. M. (2006). Relationships between transpiration efficiency and carbon isotope discrimination in chickpea. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 192(5), 319–327.
- Kashiwagi, J., Krishnamurthy, L., Upadhyaya, H. D., Krishna, H., Chandra, S., Vadez, V., et al. (2005). Genetic variability of drought-avoidance root traits in the mini-core germplasm collection of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Euphytica*, 146, 213–222. <https://doi.org/10.1007/s10681-005-9007-1>
- Kosgei, A. J., Kimurto, P. K., Gaur, P. M., Yeboah, M. A., Offei, S. K., & Danquah, E. Y. (2022). Introgression of drought tolerance root traits into Kenyan commercial chickpea varieties using marker assisted backcrossing. *African Crop Science Journal*, 30(1), 31–50.
- Khatun, M., Sarkar, S., Era, F. M., Islam, A. M., Anwar, M. P., Fahad, S., ... & Islam, A. A. (2021). Drought stress in grain legumes: Effects, tolerance mechanisms, and management. *Agronomy*, 11(12), 2374.
- Krishnamurthy, L., Kashiwagi, J., Gaur, P. M., Upadhyaya, H. D., & Vadez, V. (2010). Sources of tolerance to terminal drought in the chickpea (*Cicer*

- arietinum L.*) minicore germplasm. *Field Crops Research*, 119, 322–330. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.08.002>
- Kumar, N., Nandwal, A. S., Waldia, R. S., Singh, S., Devi, S., Sharma, K. D., & Kumar, A. (2012). Drought tolerance in chickpea as evaluated by root characteristics, plant water status, membrane integrity and chlorophyll fluorescence techniques. *Experimental Agriculture*, 48(3), 378–387.
- Labdi, M., Robertson, L. D., Singh, K. B., & Charrier, A. (1996). Genetic diversity and phylogenetic relationships among the annual *Cicer* species as revealed by isozyme polymorphism. *Euphytica*, 88, 181–188.
- Leport, L., Turner, N. C., French, R. J., Tennant, D., Thomson, B. D., & Siddique, K. H. M. (1998). Water relations, gas exchange, and growth of cool-season grain legumes in a Mediterranean-type environment. *European Journal of Agronomy*, 9, 295–303. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(98\)00042-2](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(98)00042-2)
- Levitt, J. (1980). *Responses of plants to environmental stresses. Vol. II. Water, radiation, salt and other stresses* (2nd ed.). Academic Press, New York, NY.
- Li, Y., Ruperao, P., Batley, J., Edwards, D., Khan, T., Colmer, T. D., et al. (2018). Investigating drought tolerance in chickpea using genome-wide association mapping and genomic selection based on whole-genome resequencing data. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00190>
- Macar, T. K., Turan, O., & Ekmekci, Y. (2009). Effects of water deficit induced by PEG and NaCl on chickpea (*Cicer arietinum L.*) cultivars and lines at early seedling stages. *Gazi University Journal of Science*, 22, 5–14.
- Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P. C., & Sohrabi, Y. (2010). Effect of drought stress on yield, proline, and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Australian Journal of Crop Science*, 4, 580–585.
- Maiti, R. K. (2001). The chickpea crop. In *Advances in chickpea science* (pp. 1–31).
- Millan, T., Clarke, H., Siddique, K. H. M., Buhariwalla, H., Gaur, P., Kumar, J., Gil, J., Kahl, G., & Winter, P. (2006). Chickpea molecular breeding: New tools and concepts. *Euphytica*, 147, 81–103.
- Mohammadi, A., Habibi, D., Rohami, M., & Mafakheri, S. (2011). Effect of drought stress on antioxidant enzymes activity of some chickpea cultivars. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science*, 11, 782–785.
- Moinuddin, & Khanna-Chopra, R. (2004). Osmotic adjustment in chickpea in relation to seed yield and yield parameters. *Crop Science*, 44, 449–455.
- Monneveux, P., Jing, R., & Misra, S. (2012). Phenotyping for drought adaptation in wheat using physiological traits. *Frontiers in Physiology*, 3, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00429>

- Morgan, J. M. (1984). Osmoregulation and water stress in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 35, 299–319.
- Pang, J., Turner, N. C., Du, Y. L., Colmer, T. D., & Siddique, K. H. M. (2017). Pattern of water use and seed yield under terminal drought in chickpea genotypes. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01375>
- Passioura, J. B., & Angus, J. F. (2010). Improving productivity of crops in water-limited environments. *Advances in Agronomy*, 106, 37–75.
- Pinheiro, C., & Chaves, M. M. (2011). Photosynthesis and drought: Can we make metabolic connections from available data? *Journal of Experimental Botany*, 62(3), 869–882.
- Pouresmael, M., Khavari-Nejad, R. A., Mozafari, J., Najafi, F., & Moradi, F. (2013). Efficiency of screening criteria for drought tolerance in chickpea. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 1–19.
- Prescott-Allen, R., & Prescott-Allen, C. (1988). Genes from the wild: Using wild genetic resources for food and raw materials. International Institute for Environment and Development, Earthscan Publications, London.
- Purushothaman, R., Krishnamurthy, L., Upadhyaya, H. D., Vadez, V., & Varshney, R. K. (2016). Shoot traits and their relevance in terminal drought tolerance of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Field Crops Research*, 197, 10–27. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.07.016>
- Rahbarian, R., Khavari-Nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A., & Najafi, F. (2011). Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence, and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 53, 47–56.
- Reynolds, M., & Langridge, P. (2016). Physiological breeding. *Current Opinion in Plant Biology*, 31, 162–171. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2016.04.005>
- Ryan, J. G. (1997). A global perspective on pigeon pea and chickpea sustainable production systems: Present status and future potential. In A. P. Asthana & Masood Ali (Eds.), *Recent Advances in Pulses Research* (pp. 1–31). Indian Society of Pulses Research and Development, Kanpur, India.
- Sabaghpour, S. H., Mahmodi, A. A., Saeed, A., Kamel, M., & Malhotra, R. S. (2006). Study on chickpea drought tolerance lines under dryland condition of Iran. *Indian Journal of Crop Science*, 1, 70–73.
- Saxena, N. P., Johansen, C., Saxena, M. C., & Silim, S. N. (1993). Selection for drought and salinity tolerance in cool-season food legumes. In K. B. Singh & M. C. Saxena (Eds.), *Breeding for Stress Tolerance in Cool Season Food Legumes* (pp. 245–270). John Wiley and Sons, Chichester.

- Sheldrake, A. R., Saxena, N. P., & Krishnamurthy, L. (1978). The expression and influence on yield of the 'double-podded' character in chickpeas (*Cicer arietinum* L.). *Field Crops Research*, 1, 243–253.
- Siddique, K. H. M., Loss, S. P., Regan, K. L., & Jettner, R. L. (1999). Adaptation and seed yield of cool-season grain legumes in Mediterranean environments of southwestern Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*, 50, 375–388. <https://doi.org/10.1071/A98096>
- Singh, K. B., & Ocampo, B. (1997). Exploitation of wild *Cicer* species for yield improvement in chickpea. *Theoretical and Applied Genetics*, 95(3–4), 418–423.
- Singh, K., Malhotra, R., Halila, M., Knights, E., & Verma, M. (1994). Current status and future strategy in breeding chickpea for resistance to biotic and abiotic stresses. In *Expanding the Production and Use of Cool Season Food Legumes*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 572–591.
- Sleimi, N., Bankaji, I., Touchan, H., & Corbineau, F. (2013). Effects of temperature and water stresses on germination of some varieties of chickpea (*Cicer arietinum*). *African Journal of Biotechnology*, 12, 2201–2206.
- Smita, K. J., & Nayyar, H. (2005). Carbendazim alleviates effects of water stress on chickpea seedlings. *Biologia Plantarum*, 49, 289–291.
- Toker, C. (2005). Preliminary screening and selection for cold tolerance in annual wild *Cicer* species. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 52, 1–5.
- Toker, C., & Canci, H. (2003). Selection criteria in chickpea under drought stress conditions. *Field Crops Research*, 88(1), 143–152.
- Tounekti, T., Hernández, I., & Munné-Bosch, S. (2013). Salicylic acid biosynthesis and role in modulating terpenoid and flavonoid metabolism in plant responses to abiotic stress. In *Salicylic Acid* (pp. 141–162).
- Turner, N. C., Abbo, S., Berger, J. D., Chaturvedi, S. K., French, R. J., Ludwig, C., Mannur, D. M., Singh, S. J., & Yadava, H. S. (2007). Osmotic adjustment in chickpea (*Cicer arietinum* L.) results in no yield benefit under terminal drought. *Journal of Experimental Botany*, 58, 187–194. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl192>
- Ullah, A., & Farooq, M. (2021). The challenge of drought stress for grain legumes and options for improvement. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 1–18.
- Varshney, R. K., Gaur, P. M., Chamarthi, S. K., Krishnamurthy, L., Tripathi, S., Kashiwagi, J., Samineni, S., Singh, V. K., Thudi, M., & Jaganathan, D. (2013). Fast-track introgression of “QTL-hotspot” for root traits and other drought tolerance traits in JG 11, an elite and leading variety of chickpea. *Plant Genome*, 6, 1–9.

- Vavilov, N. I. (1926). Studies on the origin of cultivated plants. *Institut de Botanique Appliquée et d'Amélioration des Plantes*.
- Vessal, S., Palta, J. A., Atkins, C. A., & Siddique, K. H. M. (2012). Development of an assay to evaluate differences in germination rate among chickpea genotypes under limited water content. *Functional Plant Biology*, 39, 60.
- Vessal, S., Arefian, M., & Siddique, K. H. (2020). Proteomic responses to progressive dehydration stress in leaves of chickpea seedlings. *BMC genomics*, 21, 1-15.
- Thakro, V., Malik, N., Basu, U., Srivastava, R., Narnoliya, L., Daware, A., ... & Parida, S. K. (2023). A superior gene allele involved in abscisic acid signaling enhances drought tolerance and yield in chickpea. *Plant Physiology*, 191(3), 1884-1912. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiac550>
- Wasaya, A., Zhang, X., Fang, Q., & Yan, Z. (2018). Root phenotyping for drought tolerance: A review. *Agronomy Journal*, 8, 1-19. <https://doi.org/10.3390/agronomy8110241>
- Weber, H., Borisjuk, L., & Wobus, U. (2005). Molecular development of legume seed development. *Annual Review of Plant Biology*, 56, 253-279.
- Wery, J., Turc, O., & Lecoer, J. (1993). Mechanism of resistance to cold, heat and drought in cool-season legumes, with special reference to chickpea and pea. In *Food Legumes* (pp. 271-291). Wiley.
- Ye, H., Rorkiwal, M., Valliyodan, B., Zhou, L., Chen, P., Varshney, R. K., & Nguyen, H. T. (2018). Genetic diversity of root system architecture in response to drought stress in grain legumes. *Journal of Experimental Botany*, 69, 3267-3277. <https://doi.org/10.1093/jxb/ery08>

BÖLÜM 7

SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM SÜRECİNDE TEKNOLOJİNİN ROLÜ

Dr. Öğr. Üyesi. Hülya SAYGI¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14505421>

¹ Çukurova University Yumurtalık Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Adana, Türkiye husaygi@gmail.com, ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-2327-566X>

1. GİRİŞ

Tarım doğada yürütülen bitkisel ve hayvansal üretim faaliyetlerinden oluşan en temel ekonomik faaliyettir. İnsan varlığının korunması, devamlılığının sağlanması ve geliştirilmesi için sağlıklı ve güvenli gıda ihtiyacının karşılanması amacıyla yürütülen tarımsal üretim faaliyetleri aynı zamanda günümüz medeniyetinin oluşmasında büyük payı olan diğer sanayi kollarının ihtiyacı olan üretim girdilerinin üretiminde de önemli bir rol üstlenmiştir (Demirkol, 2022). Genelde doğada doğal koşullar altında, doğal koşullara bağımlı olarak gerçekleştirilen tarımsal üretim faaliyetleri bu yönü ile doğayı etkilerken, tarımsal üretim faaliyetleri sürecinde gerek üretim girdilerinden kaynaklanan atıklar, gerek doğada tarıma uygun olan/olmayan alanların tarımda hatalı kullanımları sonucu toprak/doğa kaynağının kendini yenileyebilme, zararlı atıkları dönüştürebilme ve mevcut dengesini yeniden sağlayabilme yeteneğine zarar vererek doğayı olumsuz yönde etkileyen bir yapıdadır. İlk çağlardan bu güne tarım insanların en temel ekonomik etkinliği olarak yapılagelmiştir. Ancak sanayi devrimi ile birlikte ekonomik faaliyetlerde meydana gelen değişim ve dönüşüm sürecinin yansımaları tarımsal üretim faaliyetlerinde de kendisini göstermiştir (Demirkol, 2022). Emeğe bağlı ve küçük düzeylerde üretim süreçleri, bilimsel alandaki elde edilen bilimsel bilgilerin insan yaşamını kolaylaştıran çözümlere dönüşmesi anlamında teknolojiye bağlı olarak sermaye bağlı ve kitlesel üretim süreçlerine dönüşmüştür. Bu dönüşümün olumsuzlukları doğa aleyhine ve sürekli bir gelişme göstermiş ve doğal denge bu süreçte onarılamaz hasarlar almıştır. İnsan yaşamını kolaylaştıran teknoloji iki tarafı keskin bir bıçak gibi doğru kullanıldığında doğayı, dolayısıyla ona bağlı tüm süreçleri iyileştirecek çözümler üretebildiği gibi bugün olduğu gibi yanlış kullanıldığında ise aynı şekilde kendine bağlı tüm süreçleri yok edecek sorunlar üretebilmektedir.

İnsan teknolojiyi kullanarak kendi medeniyetini oluştururken doğada yapmış olduğu tarım dahil tüm ekonomik faaliyetleri gerçekleştirirken uzun vadede kendisinin de varlığı için gerekli olan doğayı koruması gerektiği bilincinde olması gerekir. Ancak fiili durum tam tersi gerçekleşmiş, doğa bu süreçte büyük zararlar görmüş ve bu zararların nihai etkileri insan varlığını tehdit eder boyuta ulaşmıştır. Bu sonuç bilimsel çalışmalarla da kanıtlanmış ve mevcut üretim süreçleri ile devam edilirse doğa dolayısıyla insan varlığı yok olma süreci ile karşı karşıya kalacağı sağlıklı bir çevre oluşacağı yapılan bilimsel araştırma verilerinden elde edilen projeksiyonlarda görülmüştür.

“Problemi doğru anlamak yarı yarıya çözmektir” cümlesinden hareketle bu gün sahip olunan teknoloji düzeyi ile geçmişte tarımsal üretim faaliyetlerinde yapılan hatalı uygulamaların etkisini tersine çevirecek imkan insanların elinde mevcut. Ki bunu doğrulayan dünyada birçok bilimsel çalışma ve uygulama örnekleri bulunmaktadır. Bu çalışmada insan varlığının korunması, devamlılığının sağlanması ve geliştirilmesi için sağlıklı ve güvenli gıdanın ve diğer üretim süreçlerinin ihtiyaçlarının karşılanmasında önemli bir yeri olan tarımsal üretim faaliyetlerinin sürdürülebilir kılınmasında teknolojinin olumlu/olumsuz etkileri değerlendirilecektir.

2. SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM

Tarım kısaca doğada yürütülen bitkisel ve hayvansal üretim faaliyetleri; Sürdürülebilirlik insan ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılan kaynakların (doğa, çevre tüm evren) aslını korumak, devamlılığını sağlamak ve geliştirmek yoluyla birinci seferde ve her defasında beklenen faydayı üretebilme kabiliyetidir (Sargın ve Dursun, 2024). Bu aynı zamanda gelecek nesillerin hakkını korumak ve bu kaynaklardan yararlanmalarını sağlamak anlamındadır. Mevcut tarım ve diğer ekonomik faaliyetlerdeki üretim sistemleri ne yazık ki bunu başarmaktan çok uzaktadır. Bilimsel alanda yürütülen çalışma sonuçları ve gerçek yaşamda karşılaşılan sağlıksız gıda ve çevrenin yarattığı zararlı etkiler birim alandan en yüksek verimi almak için doğayı göz ardı eden mevcut tarımsal üretim faaliyetlerinin sürdürülemez olduğunu kanıtlamıştır. Maalesef bu gerçek büyük bir çevresel maliyetle karşılaşıncaya kadar dikkate alınmamıştır.

Tarımsal üretim faaliyetlerinin nasıl bir yıkıcı etkisi olduğunu anlamak için dünyanın dördüncü büyük tatlı su kaynağı olan Aral Gölü'nün hikayesini incelemek yeterlidir. Sovyetler Birliği Devleti'nin artan pamuk ihtiyacını karşılamak amacıyla hayata geçirdiği hatalı tarımsal uygulamalar insanlardan yaklaşık 5 milyon yıl önce var olduğu bilinen Aral Gölü'nü (Goller.gen.tr, 2024). Yaklaşık 50 (1960 – 2014) yıl gibi kısa bir sürede kurutmuş ve çöle çevirmiştir. Bu çevre felaketi Aral Gölü'nü besleyen iki ırmak Seyhun (Siriderya) ve Ceyhun (Amuderya) ırmaklarının sularının pamuk üretiminde kullanılması amacıyla kesilmesi ile başlamıştır. Devam eden süreçte kuruyan gölün kalıntıları dünyanın en genç çölü, Aralkum Çölü'ne dönüşmüştür. Aralkum Çölü'nde meydana gelen fırtınaların taşıdığı zararlı kum ve toz zericiklerinin bölgedeki ülkelere verdiği zararların yıllık maliyetinin 100

milyon dolar olduğu belirtilmektedir. Bugün gelinen noktada 1960 yılında 68 m derinliği, 1083 m³ su hacmi ve 68 bin km² alana sahip (AA, 2023) Aral Gölü bölgenin önemli bir geçim ve biyoçeşitlilik kaynağıydı. 2022 yılına gelindiğinde gölün derinliği 20 m'ye, su hacmi 75 m³'e ve yüzölçümü 8 bin km²'ye düşmüştür (AA, 2023). Gölden geriye doğa, insan ve diğer canlı varlıkların varlığını, bölgedeki yaşam biçimini olumsuz yönde etkileyen silah testleri, gübre ve pestisitlerden kaynaklanan toksik kimyasalların neden olduğu asit yağmurları, toz fırtınaları yitip giden canlı Gölü kurtarma ve bölgeyi yeniden canlandırma amacıyla yapılması planlanan projelerin toplam maliyetleri yaklaşık 8.5 milyar dolar olacağı bildiriliyor (TÜRKİSTANDER, (2014).

Aral Gölü hatalı tarımsal üretim faaliyetlerinin doğaya o doğada varlığını sürdüren insana verebileceği tüm olumsuz etkilerin sonuçlarının yaşandığı bir örnektir. Bu anlamda yıkıcı görünmeyen ancak yapılan projeksiyonlarda çok kısa bir zaman içinde aynı sonuçları yaşatacak tarımsal üretim faaliyetlerinin artık sonlandırılması gerektiği ve doğayı koruyan, devamlılığını sağlayan ve geliştiren uygulamaları barındıran sürdürülebilir tarımsal üretim faaliyetlerinin hayata geçirilmesi gerektiği bilimsel çalışmalarla kanıtlanmış bir gerçektir.

3. TEKNOLOJİ

Teknoloji, insan ürünü, insan ihtiyaçlarını karşılamada insanın medeniyetini kurmak için doğayı dönüştürüp şekillendirdiği kendi konfor alanının oluşturulmasında kullandığı yaşamsal deneyimlerle ve/veya bilimsel araştırma süreçleri sonunda ulaşılan bilgilerin insan yaşamını kolaylaştıran çözümleri üretme sürecidir (Koçdar, 2015). İnsan varlığının korunması, devamlılığının sağlanması ve geliştirilmesi insan ihtiyaçlarının en üst düzeyde karşılanması ile olabilir. En temelde yeme, içme ve barınma fizyolojik ihtiyaçlar olmak üzere güvenlik, ait olma ve saygı görme gibi psikolojik ve sosyoekonomik boyuttaki ihtiyaçların karşılanması doğanın (insan yaşam çevresi, evren) sunduğu kaynaklar ile mümkün olabilmektedir (Şengöz, 2022). İhtiyaçların karşılanmasında kullanılan doğal kaynakların faydalı olabildikleri bir kapasiteleri bir limitleri bulunmaktadır. Ekonomi bilimi bu durumu kıtlık kavramı ile ifade etmektedir. Kıtlık kavramı ihtiyaçları karşılamada kullanılan doğadaki kaynakların sonsuz olmadığını, her insanın her ihtiyacını karşılamada yetersiz kalacağını bu nedenle doğru ve verimli bir şekilde kullanılmaları gerektiğini açıklar (Kanbir, 2023). Tarımsal üretim faaliyetlerinde kullanılan

doğa (para/sermaye, işgücü/emek, doğa/hammadde ve bilgi/teknoloji) kıt bir kaynaktır. Kıt kaynaklardan daha fazla fayda üretmenin yolu ise teknolojidir. Teknoloji tarımsal üretim faaliyetlerine etkisi olumlu/olumsuz kullanım amacına göre değişim göstermektedir. Bu anlamda teknolojinin tarımsal üretim faaliyetlerine faydaları ve zararlarını iki başlıkta değerlendirilebilir.

3.1. Tarımsal Üretim Faaliyetlerine Zararları

Tarım teknolojisinin tarımsal üretim faaliyetlerine olumsuz etkilerinin başında tarım üretim faaliyetlerinde kullanılan enerjinin çoğunlukla fosil kaynaklı yakıtlardan oluşması ve bu yakıtların kullanımı ile iklim değişikliğine neden olan atmosfere sera gazı salınımıdır (Saygı, 2022). Bu anlamda iklim değişikliğine neden olan ve tarımsal üretim faaliyetlerinde enerji kaynağı olarak yoğun olarak fosil yakıt kullanılan tarım teknolojilerinin olumsuz etkilerinden etkilenmeyen hiçbir ekosistem yoktur.

Tarım teknolojisinin çevre üzerindeki olumsuz etkilerden diğeri kullanılan sulama teknolojisidir. Salma sulama, karık sulama, tava sulama ve border sulama gibi düşük teknoloji imkanlarına bağlı yüzey sulama yöntemleri aşırı ve bilinçsiz su kullanımına neden olarak su kaynaklarını tüketilmesi, kirletilmesi, toprak yapısını bozan tuzluluk oranını artırması, erozyon ile toprak kaybına neden olması gibi olumsuz etkilere neden olmaktadır (Karaman ve Gökalp, 2010). Diğer yandan damla sulama, yağmurlama sulama, mikro sulama ve sızdırma sulama gibi daha ileri teknoloji imkanlara bağlı basınçlı sulama yöntemlerinde kullanılan enerji, yüksek üretim maliyetleri ve kullanılan plastik sulama materyallerinin atıkları olumsuz etkilere neden olmaktadır. Tarım teknolojisinin tarımsal üretim faaliyetlerine olumsuz etkileri bir diğeri arazi yönetimidir. Tarımsal üretim faaliyetlerinde teknoloji kullanımı sayesinde bir dönem içinde birkaç defa ürün alabilme verimlilik artışı sağlarken, toprak işleme sıklığının artması arazi yönetim maliyetleri ve etkileriyle genellikle sürdürülemez bir hale gelebilmektedir.

Tarımsal üretimde verim artışı sağlamak amacıyla kullanılan kimyasallar (bitki besleme ve zirai mücadele girdileri), yoğun toprak işleme teknolojinin tarımsal üretimde olumsuz etkileridir. Toprağın canlı yapısı mikroorganizmalar bu durumdan olumsuz etkilenmektedir. Mikroorganizmalar sağlıklı ve kaliteli bir toprak yapısında bitkilerin ihtiyaç duyduğu bitki besin elementlerini mineralize edip ayrıştırarak bitkinin almasını sağlar ve toprak bünyesindeki

çözülmemiş halde bulunan bitki besin elementlerini bitki kullandıkça çözülmesini sağlayarak bitkilere temel bitki besinleri sağlar (Ünver İkincikarakaya ve ark., 2013). Kimyasal gübreler bu süreci atlayarak bu mikroorganizmaları işlevsiz hale getirmekte, bitkilere genellikle aşırı miktarda olmak üzere anında besin sağlayarak toprak kalitesi ve sağlığını bozmaktadır (Ünver İkincikarakaya ve ark., 2013).

Tarımsal üretim faaliyetlerinde zararlı ve hastalıklara karşı kullanılan kimyasal mücadele girdileri tarım alanları ve çevresindeki canlı popülasyonlarında, genellikle hedef dışı canlıları da öldüren pestisitlerin yoğun kullanımını nedeniyle biyolojik çeşitlilik zarar görmektedir (Altıkat, 2013). Tarımsal üretim faaliyetleri kullanılan arazinin hazırlanması için yapılan toprak ıslahı, yer açma çalışmaları ve arazi temizleme faaliyetleri ortamda bulunan doğal bitki örtüsünü yok etmekte ve bitki biyolojik çeşitliliği azaltmaktadır (FAO, 2024). Bitki besin ve zirai mücadele kimyasalları kullanımında sulama, yağmur, rüzgar ve çeşitli faktörlerin etkisiyle önce suya, toprağa ve havaya karışmakta daha sonra tarım alanlarını çevreleyen dış topraklara yayılır (Pathak ve ark., 2022). Bu da iklim değişikliğine ve onun neden olduğu sayısız problemleri ortaya çıkarmaktadır. Önemlileri doğa üzerindeki zararlı etkileridir.

Teknolojinin tarımsal üretim faaliyetlerinde kullanımının çevre üzerindeki olumsuz etkileri tarım sektörü açısından da yaşanmaktadır (Demirkol, 2022). Tarımsal üretim faaliyetlerinde teknoloji kullanımı için gerekli eğitim ve uygulama deneyiminden yoksun çiftçiler, makine ve yazılımları etkili bir şekilde kullanamamakta ve bu durum onların günümüzün gelişmiş tarım teknolojilerinden faydalanmalarını engellemektedir (Boz Yılmaz ve Tunaliolu, 2024). Üretim sürecinde kullanılan tarım makinelerinin bakım/onarım maliyetlerinin yüksek olması üretim maliyetlerini de arttırmaktadır (Boz Yılmaz ve Tunaliolu, 2024). Yüksek verim ve kalitede ürün alabilmek için kullanılan kimyasalların zararlı etkileri sektör çalışanları ve insanların sağlığına zarar vermektedir. Daha önce de belirtildiği gibi teknolojinin bu olumsuz etkileri tarımsal üretim faaliyetlerinde kullanım amacına bağlı olarak ortaya çıkan olumsuz etkileridir.

3.2. Tarımsal Üretim Faaliyetlerine Faydaları

Tarımsal üretim faaliyetlerinde teknoloji kullanım bilgi çağının bir gereği olarak alanı giderek artmaktadır. Tarım işletmeleri, teknolojik yeniliklerin tarımsal üretim süreçlerini değiştirdiği bir dönemde yüksek verim ve kalite ürün elde etmek, sürdürülebilir tarımsal üretim faaliyetleri için teknolojiye güvenmekte ve kullanmaktadır. Çevre ve insan ve diğer canlı varlıklara büyük olumsuz etkileri olan iklim değişikliğini tetikleyen kimyasal girdilerin kullanımı teknolojinin sağlayacağı gelişmiş tarım yazılımlarının yardımıyla azaltılabilmektedir (EOS, 2024). Teknoloji tarımsal üretim faaliyetlerinde kullanılan enerji kaynağı fosil yakıtlara alternatif yeşil enerji kaynağı çözümleri üreterek karbondioksit gibi zararlı kirleticileri azaltmaya yardımcı olmaktadır (EOS, 2024). Bu, tarımsal üretim sürecini basitleştirerek ve gereksiz adımları ortadan kaldırarak mümkün oldu.

Tarımsal üretim faaliyetlerinde genetik teknolojisiyle, dünyanın farklı bölgelerindeki üreticiler için farklı iklim ve toprak türlerinin koşullarına daha uygun çeşitler üretilerek ürün verim ve kalitesinde en yüksek faydanın elde edilmesini sağlayabilmektedir. Teknolojik alet ve ekipmanlar gerçekleştirilen akıllı tarım uygulamaları, yetiştiricilik için uygun stratejiler belirleyerek gıda üretimindeki birçok zorluğun çözülmesine yardımcı olur (HEKTAŞ, 2022). Teknolojik alet ve ekipmanlar toprağa uygulanacak bitki besin ve zirai mücadele kimyasallarını uygulama zaman ve miktarını hassas bir şekilde belirleyerek üretim maliyetlerinden tasarruf sağlanmasına ve ürün verim kalitesinin artırılmasını sağlar (HEKTAŞ, 2022). Toprakta gerçekleştirilen üretim süreçlerinde makinelerin kullanımı ile ekim, hasat ve dağıtım dahil olmak üzere tarımsal üretim faaliyetlerinin genel verimliliğini ve etkinliğini artırır.

Teknoloji tarımsal üretim süreçlerinde veri yönetimi ile önemli çözümler sunmakta ve üretim maliyetlerini önemli ölçüde azaltmaktadır. Teknoloji ürünleri (drone teknolojisi, biyoteknoloji, nanoteknoloji ve bilgi ve iletişim teknolojileri) sayesinde sürdürülebilir tarımsal üretim faaliyetleri etkin ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi imkânı elde edilmektedir. Özetle tarımsal üretim faaliyetlerinde teknoloji kullanımı kısıtlı kaynakların etkin/verimli kullanılmasını sağlama, ürün verim ve kalitesi artırma, kaynak israfının azaltma, tarımsal ürünlerde arz-talep dengesi koruma, kimyasalların kullanımında azaltma faydalarını sağlamaktadır (HEKTAŞ, 2022).

4. SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM VE TEKNOLOJİ

Tarımda sürdürülebilirlik, bir tarımsal ekosistemin zaman içinde üretimi öngörülebilir bir şekilde sürdürme kapasitesiyle ilgilidir. Tarım, insan varlığının devamı için insanların ihtiyaç duyduğu gıdayı mevcut üretim teknolojilerini kullanarak sağlayan, insan medeniyetinin oluşturulmasında hayati bir öneme sahip bir ekonomik etkiliktir. Ancak teknoloji destekli modern tarım uygulamaları, toprak erozyonu, su tükenmesi ve kirlilik gibi önemli çevresel bozulmalara yol açmıştır (Demirkol, 2022). Bu zorluklarla mücadele etmek için sürdürülebilir tarım uygulanabilir bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır ve teknoloji bu hedefe ulaşmada önemli bir rol oynamaktadır (GrainChain, 2023). Doğada yapılan tarımsal üretim faaliyetleri ister metrekarelik alanda isterse binlerce dönümlük arazilerde yapılıyor olsun doğal ortamda yapay bir çalışma olduğunda doğal dengeyi etkilemektedir. Aynı şekilde doğal olmayan bir durum da dengesiz ve hızla artan insan nüfusu ve bununla ilişkili olarak artan hem gıda hem de barınma talepleri, doğal çevrenin taşıma kapasitesini aşmış ve dengesini sağlamada yetersiz kalmasına neden olmuştur.

Tarımsal üretim faaliyetleri nedeniyle bozulan doğal dengenin yeniden sağlanmasında günümüzün gelişmiş ileri teknolojilerinden faydalanılarak sürdürülebilir tarım uygulamaları önem kazanmıştır (GrainChain, 2023). Büyük ölçüde, teknoloji geliştirme hızı ve gelecekteki teknolojilerdeki yenilik derecesi, tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilirliğini ve üretkenliğini büyük ölçüde etkileyeceği açık bir gerçektir (Hutchins ve Gehring, 1993). Teknoloji, sürdürülebilir tarımda bitki besin maddeleri, hastalık ve zararlılarla mücadele ürünleri, ürün çeşitleri ve çiftlik ekipmanlarının geliştirilmesini ve kullanımını ile aynı zamanda bitki beslemede etkinliği artırma, genetik bilimi ile dayanıklı çeşitler üretme, doğal düşman yaratma ve yalnızca birim başına verimlilikle değil tarımsal üretim faaliyetlerinin tüm verimliliği sağlamaya odaklı tarımsal üretim yönetim tekniklerinin kullanımını da içerir.

Sürdürülebilir tarım, bir yandan tarımsal üretim faaliyetlerinde ürün verimi ve kalitesinde verimliliği ve üretim karlılığı sağlarken doğa, insan ve diğer canlı varlıkları koruyarak biyolojik çeşitliliği destekleyen üretim ilke, kural, yöntemleri ve tekniklerin kullanıldığı entegre bir tarımsal üretim sistemidir. Teknoloji tarımsal üretim faaliyetlerinden kaynaklanan çevresel etkiyi azaltan, verimliliği artıran ve verim kalitesini arttıran yenilikçi araçlar ve

yöntemler sağlayarak sürdürülebilir tarım ile ulaşılmak istenen amaçları gerçekleştirme imkanı sunmaktadır.

Sürdürülebilir tarımdaki en önemli teknolojik gelişmelerden biri hassas tarımdır. Hassas tarımda, GPS, sensörler ve dronlar teknolojileri ile üretim alanından toprak koşulları, hava durumu ve bitki sağlığı hakkında veri toplar ve bu verileri bilgi ve iletişim teknolojileri ile üretim atıklarını azaltmak ve verimliliği artırmak için tarımsal üretim faaliyetleri ekim, sulama ve gübreleme süreçlerini iyileştirmek için kullanılır (Koç, 2022; EOS, 2024). Sürdürülebilir tarımda önemli bir bileşen hastalık ve zararlılara dayanıklı aynı zamanda ürün verimi ve kalitesi yüksek çeşitlerin elde edilmesidir. Teknoloji genetik teknolojisi ile bu konuda sürdürülebilir tarıma çözümler sunmaktadır. Genetik teknolojisi bilim insanlarının zararlılara ve hastalıklara karşı daha dirençli bitkiler yaratmasına olanak tanır ve hastalık ve zararlılarla mücadelede kullanılan kimyasalların kullanımını azaltır (Azizoğlu ve Karabörklü, 2021). Genetik teknolojisi ile kuraklık, sel ve yüksek sıcaklık gibi aşırı hava koşullarına daha dayanıklı ürünler geliştirerek üretimde başarılı olma olasılığını arttırmada çözümler sunmaktadır.

Teknoloji, koruma amaçlı toprak işleme, toprak yapısını koruyan örtü bitkisi yetiştirme ve uygun münavebe çeşitlerinin seçimi gibi tarımsal üretim faaliyetlerin uygulanması ile sürdürülebilir tarımda etkinliğini ve verimliliğini artırılmasını sağlar. Koruma amaçlı toprak işleme, ekim ve yetiştirme sırasında toprak bozulmasını azaltmayı içerir ve bu da toprak yapısını korumaya ve erozyonu azaltmaya yardımcı olur (Aykas ve ark., 2010). Örtü bitkisi yetiştirme, toprak erozyonunu önlemek, toprak kalitesini iyileştirmek ve yabancı ot büyümesini azaltmak için üretim dönemi dışında bir ürün elde edilmesini sağlar. Münavebe, monokültür yetiştiriciliğin neden olduğu toprak yapısını bozma, ürün verim ve kalitesinde azalmayı önleyerek farklı bitki türlerini yetiştirilmesidir (Aykas ve ark., 2010). Böylece toprak sağlığı ve kalitesi korunarak toprak kaynaklı hastalık ve zararlı riski azaltılmasına destek olur.

Teknoloji, çiftlik ekipmanlarına güç sağlamak ve fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak için kullanılabilen güneş ve rüzgar enerjisi gibi alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesine yol açmıştır (ASGEN, 2022). Damla sulama ve toprak nem sensörleri gibi hassas sulama sistemleri, suyu doğrudan bitkilerin köklerine ve yalnızca ihtiyaç duyulduğunda ileterek su israfını azaltır (Sawjana, 2023).

Sürdürülebilir tarım doğa, insan ve diğer canlı varlıkların korunması, iyileştirilmesi ve geliştirilmesi için hayati öneme sahiptir (Saygı 2023). Bu noktada teknoloji bu hedefe ulaşmada hayati bir rol oynar (Turhan, 2005). Çiftçiler, gelecek nesiller için çevreyi korurken hassas tarım, genetik mühendisliği ve sürdürülebilir çiftçilik uygulamaları kullanarak atıkları azaltabilir, verimliliği artırabilir ve verimi yükseltebilir (Sawjana, 2023). Teknoloji gelişmeye devam ettikçe doğaya dost üretim sistemleri daha fazla uygulama alanı bulacak ve sürdürülebilir tarımsal üretim faaliyetleri de o ölçüde gelişmeye devam edecektir.

5. TARIMDA YENİ TEKNOLOJİK UYGULAMALAR

Sürdürülebilir tarımsal yaklaşım ve uygulamalar, insanların gıda ve diğer tarımsal ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılan doğayı gelecek nesillerin de bu kaynakları kullanmasını sağlayacak şekilde doğayı koruyan, iyileştiren ve geliştiren üretim yöntemleri ile gerçekleştirerek güvenli ve sağlıklı gıdaya erişimi düşük çevresel maliyetle gıda ve diğer tarımsal ürünleri üretmek için çözümler sunmaktadır (Muhie, (2022)). Bu süreçte en önemli bileşen amaca uygun kullanılan üretim teknolojileridir. Teknoloji insan yaşamını kolaylaştıran ve yaşam kalitesini arttıran çözümler sunan bilimsel araştırma yöntemi ile elde edilen bilgilerin gerçek yaşamda kullanılmasıdır. Tarım insan yaşamının devamlılığını sağlamada gerekli olan gıda ve diğer ürünlerin üretimi ile insan yaşamını kolaylaştıran ve yaşam kalitesini arttıran bir faktör olarak teknoloji ile bir bütünlük oluşturmaktadır. Çünkü kıtlık kavramı tarımsal üretim girdileri için de geçerlidir bu bakımda bu kıt kaynakların etkin ve verimli kullanılması bu suretle elde edilecek faydanın arttırılması teknolojinin sunacağı çözümlerle mümkün olabileceği açıktır. Artan insan nüfusunun gıda ve diğer ihtiyaçlarının karşılanması, kıt kaynaklar gerçeği teknoloji sürdürülebilir tarımın önemli bir bileşeni yapmaktadır (Hutchins, 2024).

Tarımsal üretim faaliyetlerinde etkinliği, verimliliği ve sürdürülebilirliği arttırmak için hassas tarım, akıllı sulama, biyoteknoloji ve otomasyon gibi çeşitli yeni teknolojik çözümler uygulama alanı bulmaktadır. Bu bölümde teknolojinin sürdürülebilir tarıma katkı sunan ve kullanım alanı bulan yeni tarımsal üretim çözümleri sunan uygulamalardan bazılarını kısaca değinilecektir.

5.1. İnsansız hava sistemleri

Zirai insansız hava araçları (ZİHA) sulama, ilaçlama ve bitki besleme gibi tarımsal süreçler dahil tarımsal alanlardan hasat zamanı, hastalık ve zararlı tespiti, haritalama, verim tahmini gibi veri toplama işlevlerini yerine getirerek sürdürülebilir tarım faaliyetlerine önemli çözümler sunmaktadır (Saygi 2023). ZİHA'lar tarımsal üretim süreçlerinde sahip oldukları görüntüler, videolar ve diğer sensör teknolojileri ile insanların fiziksel olarak sorunları tespit edemediği ortamlar için çözüm üretmekte, sahadan aldığı verilerle tarım işletmelerinde tarım alanlarının 3B haritalarını üretmekte, hasat için en uygun zamanı belirlenmesi ile verim, gıda güvenliği ve kârlılığı arttıran hassas tarım uygulamalarına geçişi sağlamaktadır (WİNSS, 2024).

ZİHA'lar sulama zamanlarının tespiti, toprak nem miktarı ve fazla suyun tahliyesi hakkında daha ayrıntılı veriler sunarak suyun daha verimli kullanılmasını sağlar (Cartlidge, 2023). Multispektral görüntü analizleri ile hangi alanların daha fazla veya daha az bitki besin girdisine ihtiyaç duyduğunu belirleyerek azot başta olmak üzere bitki besin elementleri yönetiminin iyileştirilmesine yardımcı olur (Cartlidge, 2023) ve gübre kullanımıyla ilişkili çevresel hasarı ve sera gazı emisyonlarını azaltabilir (WİNSS, 2024). ZİHA'lar ayrıca uzak noktalara hassas kimyasal yükleri taşınmasında, alandan sağladığı verilerle hastalık ve zararlara neden olabilecek unsurları analiz ederek zararlı ve hastalık risklerini önceden tahmin edilmesini ve erken müdahale edilmesini sağlamaktadır (Cartlidge, 2023).

ZİHA'lar Avrupa'da mahsul sorunlarını erken tespit eden ve hayvancılık yönetimi sağlayan ICAERUS projesi, İsviçre'de çiftçilere hassas ürün içgörülerini sağlamak için hiperspektral görüntüleme hizmeti veren Gamaya Şirket uygulamaları, Avrupa Birliği havadan toprak sağlığını izliyor CHAMELEON projesi gibi sürdürülebilir tarımı hedeflerine ulaşmayı sağlayan teknolojiden yararlanan örnek uygulamalar hayata geçirilmiştir (WİNSS, 2024). Bu uygulamalar tarımsal üretim kaynaklarının korunmasını, arazi trafiğini azaltılmasını, karbon ayak izinin azaltılmasında ürettiği çözümler ile ZİHA'lar sürdürülebilir tarım ile amaçlanan doğayı olumlu yönde korumak, iyileştirmek ve geliştirmek gerçekleştirilmesini sağlamaktadır.

5.2. Blockchain ve Diğer Teknolojileri

Blockchain ve diğer teknolojiler, gıda sisteminde şeffaflığı, izlenebilirliği ve hesap verebilirliği artırarak sürdürülebilir tarımda veri yönetimi ve analizi ile önemli bir avantaj yaratabilir (Blockchain Türkiye, 2023). Blockchain ve diğer teknolojilerin sunduğu çözümler, üreticilerin ve tüketicilerin gıda ürünlerini üretin noktasında tüketim noktasına kadar yolculuğunu takip etmelerine sağlayarak sürdürülebilir bir şekilde tedarik edileceğinden emin olurlar (Blockchain Türkiye, 2023). Bu bilgiler, tarım ürünleri pazarlarındaki sürdürülebilir uygulamaları teşvik eder, ürün sahteciliğini azaltır ve tüketicilerin gıda tedarikçilerine olan güvenini artırır. Blockchain ve diğer teknolojilerin sunduğu çözümleri kullanan örnek uygulamalar; ABD’de faaliyet gösteren gıda ve ilaç satıcısı Albertsons Şirketi tüketicilerinin riskli ürünlerin takibinde büyük Fransız Carrefour şirketi blockchain ve diğer teknolojiler ile tüketicilerin hasattan tüketim noktasına kadar et, süt ve meyve gibi tarım ürünlerinin bilgilerini görmelerini ve buna göre karar vermelerini kolaylaştıran çözümler üretmede kullanılmaktadır (Blockchain Türkiye, 2023).

5.3. Otomasyon ve Robotik Teknolojiler

Tarımsal üretim faaliyetleri klasik anlamda emek yoğun bir faaliyet algısı otomasyon ve robotik teknolojilerinin sunduğu çözümlerle değişmektedir. Tarımsal üretim faaliyetler toprak hazırlığı/sürüm, yetiştiricilik/ekim ve pazarlama/hasat gibi bu görevler, yapay zeka donanımlı, GPS özellikli otonom makineler (robotlar) tarafından gerçekleştirilmektedir (Tomer, 2024). Bu otomatik sistemler üretimde sürdürülebilir tarım adına hata riskini azaltarak üretimde etkenlik ve verimliliği artırmakta, işçilik maliyetleri düşürmektedir. otomasyon ve robotik teknolojiler üretim sürecinde ürüne zarar veren yabancı ot kontrolü yaparak bu alanda da otları kontrol etmede kullanılan çevreye doğa, insan ve diğer canlı varlıklara zararlı olan kimyasalların kullanımına ortadan kaldırmaktadır (Tomer, 2024). Robotik ot ayıklayıcılar, otları hassas bir şekilde tespit etmek için makine görüşü ve yapay zeka kullanarak, bunları seçici bir şekilde ortadan kaldırarak kimyasallara olan ihtiyacı azaltır. Bu, yalnızca sürdürülebilir tarım uygulamalarını teşvik etmekle kalmaz, aynı zamanda toprak verimliliğini ve biyolojik çeşitliliği de korur.

Muddy Machines Şirketi 16 saate kadar otonom olarak çalışan kuşkonmaz hasat makinesi; HUGO Green Solution Şirketi bitkileri koruyan,

biyostimülanları uygulayan, ekim görevlerini gerçekleştiren ve toprak analizi yapabilen bitki izleme ve analiz robotu; AGRobotics şirketi meyve bahçelerinde hastalık ve zararlı mücadelesi hasat gibi işlemleri otonom yapan haşere kontrol ve ayıklama robotu geliştirmiştir. Hassas sulama ve gübreleme, otomatik ekim makineleri, hayvancılık yönetimi, toprak analizi, budama gibi tarımsal üretim faaliyetlerini yapabilen ve böylece sürdürülebilir tarım amaçlarına hizmet eden otomasyon ve robotik teknoloji ürün çözümlere ait örnek uygulamalar bulunmaktadır (StartUs, 2024).

5.4. Genetik (Biyoteknoloji) Teknolojileri

Genetik teknolojileri (biyoteknoloji), tarımsal üretim sürecinde kullanılan bitki materyalini hastalık/zararlılara ve olumsuz çevre koşullarına karşı dirençli hale getiren bir dizi genetik mühendislik ve diğer biyoteknolojik teknikleri kullanarak sürdürülebilir tarımın geliştirmede önemli çözümler sunmaktadır. Genetiği hastalık/zararlılara ve olumsuz çevre koşullarına karşı dirençli hale getirilmiş bitkiler üretim miktar ve kalitesini olumsuz etkileyen hastalık/zararlılardan etkilenmeyeceğinden zararlı kimyasalların uygulamasına gerek kalmaz ve üretimde başarı olasılığını artırır (Tomer, 2024). Benzer şekilde, tarımsal üretimde kullanılan bitki türleri iklim değişikliğinden kaynaklanan kuraklık, aşırı sıcaklık, tuzluluk gibi olumsuz yetiştiricilik ortamı koşullarına dirençli olacak şekilde özelliklere sahip olarak yetiştirilmesi ve/veya genetiğinin değiştirilmesi ile üretim cabalarının başarılı olma olasılığını artıran çözümler sunmaktadır.

Biyoteknoloji, canlı DNA'larında hedefli ve hassas değişiklikler yapmasına imkân sağlayan CRISPR uygulamaları tarımda potansiyelini de artıran nispeten yeni bir gen düzenleme biçimidir (Automata, 2024). CRISPR, bitkilerin genetik ayrıntılarının daha yüksek doğrulukla hedeflenen şekilde değiştirilmesini sağlar ve böylece kalite iyileştirme yoluyla yüksek verim ve hasat edilen ürünler için tat tercihleri gibi önemli niteliklere olanak tanır (Automata, 2024). Bu gelişmeler, tarım uygulamalarının çevre üzerindeki etkisini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda gıdanın besin değerini ve kalitesini iyileştirme fırsatları da sunar.

CRISPR ile ilgili pirinç ve buğday üretiminde bitki besleme üzerine yapılan bilimsel bir çalışmada bitkilerin havadaki azotu kullanmasını

sağlayacak şekilde bitki yapısında gerçekleştirilen değişimler ile azot kullanım oranını %50 azalttığı gözlemlenmiştir (SeedWorld, 2024).

6. SONUÇ

Tarımsal üretim faaliyetleri insan varlığının korunması, devamlılığının sağlanması ve geliştirilmesinde hayati öneme sahip bir ekonomik faaliyettir. Ekonomik faaliyetlerde geçerli olan ve çözüm aranan temel problemler karşılanması gereken sayısız insan ihtiyaçları, buna karşılık kıt kaynaklar, kıt kaynaklarla hangi ihtiyaçlar öncelikli olarak karşılanacağına karar verme, üretimde en fazla fayda elde etme için etkenlik ve verimliliği sağlama ve elde edilen ekonomik kazanımlar nasıl bölüşüleceğine karar vermek. Bu problemler ekonomik bir etkinlik olan tarımsal üretim faaliyetleri içinde geçerlidir. Diğer ekonomik faaliyetler ve tarımda doğada doğanın sağladığı kıt kaynaklar ile insan ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla üretim/tüketim faaliyetlerini mevcut üretim teknolojilerini kullanarak gerçekleştirir.

Teknoloji iki ucu keskin bir bıçak gibi üretim/tüketim süreçlerinde etkinliği ve verimliliği sağlarken kullanım amacına göre doğaya, insana ve diğer canlı varlıkların yaşamını kolaylaştıran ve kalitesini arttıran çözümler üretebildiği gibi tam tersi bir durum da söz konusudur. Ki gelinen noktada yaşanan tecrübeler mevcut üretim/tüketim süreçleri doğa, insan ve diğer canlı varlıkların yaşamını tehdit eden ve sürdürülemez faaliyetler olduğu anlaşılmıştır. Sonuç olarak sürdürülebilir ekonomik faaliyetler önem kazanmış bu anlamda tarımsal üretim faaliyetlerinde de doğaya, insana ve diğer canlı varlıklara sürdürülebilir tarım uygulamaları önem kazanmıştır. Sürdürülebilir tarımın hayata geçirilmesinde en büyük etken kullanılacak üretim teknolojisi olacağı açıktır. Çünkü teknoloji doğru ve amaca uygun kullanıldığında sürdürülebilir tarım ile elde edilen kazanımların etkenliğini ve verimliliğini arttırarak değerli kılan, istenen hedeflere ulaşılmasını sağlayan çözümleri üretecek olan kaynaktır.

KAYNAKLAR

- AA, 2023. Orta Asya'nın en büyük çevre felaketi: Aral Gölü'nün kuruması. Bahtiyar Abdülkerimov Haberi, Anadolu Ajansı (AA). <https://www.aa.com.tr/tr/yasam/orta-asyanin-en-buyuk-cevre-felaketi-aral-golunun-kurumasi/2992556> E. T. 02.12.2024
- Altıkat, A., Turan, T., Ekmekyapar Torun, F., Bingül, Z. (2013). Türkiye'de Pestisit Kullanımı ve Çevreye Olan Etkileri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 40(2), 87-92. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ataunizfd/issue/3011/41813> E. T. 02.12.2024
- ASGEN (2022). Tarımda Güneş Enerjisi Kullanımı. <https://www.asgen.com.tr/blog/icerik/tarimda-gunes-enerjisi-kullanimi> E.T. 02.12.2024
- Automata, (2024). CRISPR in agriculture: applications, benefits & risks - <https://automata.tech/blog/crispr-agriculture/> E. T. 02.12.2024
- Aykas, E., Yalçın, H., & Çakır, E. (2010). Koruyucu Toprak İşlemede Yöntemler, Örtü Bitkisi ve Ekim Nöbetinin Önemi. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 6(4), 247-252. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tarmak/issue/11546/137551> E.T. 02.12.2024
- Azizoğlu, U., & Karabörklü, S., (2021). Role of Recombinant DNA Technology to Improve the Efficacy of Microbial Insecticides. Microbes for Sustainable Insect Pest Management Hydrolytic Enzyme & Secondary Metabolite (pp.152-189), Geneve: Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-67231-7>
- Blockchain Türkiye, (2023). Blokzinciri, gıda sektöründe şeffaflığı ve izlenebilirliği nasıl sağlıyor? <https://bctr.org/blokzinciri-gida-sektorunde-seffafliigi-ve-izlenebilirliigi-nasil-sagliyor-14081/> E. T. 02.12.2024
- Boz Yılmaz, E., & Tunahöğlü, R. (2024). Çiftçiler ve Tarımı Destekleyen Kurum Teknik Elemanlarının Bakış Açısıyla Akıllı Tarım Uygulamalarının Değerlendirilmesi. Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi, 10(1), 70-89. <https://doi.org/10.61513/tead.1456818>
- Cartlidge, E. (2023). Six scalable technologies for sustainable agriculture. <https://www.paconsulting.com/newsroom/agri-tech-tomorrow-six-scalable-technologies-for-sustainable-agriculture-18-october-2023> E. T. 02.12.2024

- Demirkol, E. C. (2022). Impacts of modern agriculture on environment and sustainable agriculture. *Journal of Life Economics*, 9(3), 171-182. <https://dergipark.org.tr/en/pub/jlecon/issue/72159/1161655> E. T. 02.12.2024
- EOS, (2024). Agricultural Technologies & Advanced Ways Of Farming. EOS Data Analytics. <https://eos.com/blog/agricultural-technology/> E. T. 02.12.2024
- FAO, 2024. Chapter 3 Land degradation. <https://www.fao.org/4/x6625e/x6625e02b.htm> E. T. 02.12.2024
- Goller.gen.tr, (2024). Aral gölü nasıl oluşmuştur ve tarihçesi nedir? <https://www.goller.gen.tr/aran-golu-nasil-olusmustur-ve-tarihcesi-nedir.html> E. T. 02.12.2024
- GrainChain, (2023). The Green Revolution and Sustainability in Agriculture. <https://grainchain.medium.com/the-green-revolution-and-sustainability-in-agriculture-c19f9cf7f228> E.T. 02.12.2024
- HEKTAŞ, (2022). Tarımda Teknoloji Kullanımı ve Popüler Tarım Teknolojileri. <https://hektas.com.tr/blog/tarimda-teknoloji-kullanimi-ve-populer-tarim-teknolojileri> E. T. 02.12.2024
- Hutchins, S. H. (2024). The Role of Technology in Sustainable Agriculture. <https://ipmworld.umn.edu/hutchins> E. T. 02.12.2024
- Hutchins, S.H. & P.J. Gehring. (1993). Perspective on the Value, Regulation, and Objective Utilization of Pest Control Technology. *Amer. Entomol.* 39: 12-15. <https://doi.org/10.1093/ae/39.1.12>
- Kanbir, Ö. (2023). Ekonomik Gelişme ve Ekoloji. *Liberal Düşünce Dergisi*(109), 79-103. <https://doi.org/10.36484/liberal.1216629>
- Karaman, S., Gökalp, Z., (2010). Küresel Isınma ve İklim Değişikliğinin Su Kaynakları Üzerine Etkileri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi* 3(1): 59-66. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/412801> E. T. 02.12.2024
- Koç, Ö.F. (2022). Tarım 4.0, Akıllı Tarım, Hassas Tarım, AgTech gibi kavramlar nedir? <https://medium.com/move-on-ai/tar%C4%B1m4-0-ak%C4%B1l%C4%B1-tar%C4%B1m-hassas-tar%C4%B1m-agtech-gibi-kavramlar-nedir-3d871269626a> E. T. 02.12.2024
- Koçdar, S., (2015). Teknoloji, Toplum ve İnsan. *Temel Bilgi Teknolojileri I* (pp.162-178), Anadolu Üniversitesi Yayınları.
- Moges, M. M., Abay, D., Engidayehu, H. 2018. Investigating reservoir sedimentation and its implications to watershed sediment yield: The case

- of two small dams in data-scarce upper Blue Nile Basin, Ethiopia Lakes Reserv., 23 (2018), pp. 217-229, <https://doi.org/10.1111/lre.12234>
- Muhie, S.H. (2022). Novel approaches and practices to sustainable agriculture. *Journal of Agriculture and Food Research*. 10, 100446. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100446>
- Pathak, V. M., Verma, V. K., Rawat, B. S., Kaur, B., Babu, N., Sharma, A., Dewali, S., Yadav, M., Kumari, R., Singh, S., Mohapatra, A., Pandey, V., Rana, N., & Cunill, J. M. (2022). Current status of pesticide effects on environment, human health and it's eco-friendly management as bioremediation: A comprehensive review. *Frontiers in microbiology*, 13, 962619. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.962619>
- Sargin, S., & Dursun, Y. (2024). The effect of environmental ethics awareness, ecological intelligence and the love of nature on sustainable consumption behavior. *Gazi İktisat Ve İşletme Dergisi*, 10(2), 290-313. <https://doi.org/10.30855/gjeb.2024.10.2.007>
- Sawjana, (2023). Sürdürülebilir Tarımda Teknolojinin Rolü. <https://seeds.ca/schoolfoodgardens/12245-2/> E.T. 02.12.2024
- Saygı, H. (2022). Bölüm 10, Tarımda İklim Değişikliğinin Olumsuz Etkileri Ve Çözüm Yolları İn İklim Değişikliği Ve Tarımda Dönüşüm, Ed. BARAN MF, and ÇELİK A., Iksad Publications, 259-289. <https://iksadyayinevi.com/wp-content/uploads/2022/06/İklim-Degisikligi-ve-Tarimda-Donusum.pdf> E. T. 01.12.2024
- 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. (2023). Use of Agricultural Unmanned Aerial Vehicles in Agricultural Production. In *Latest Studies and Developments, in Agriculture And Environment*, Ed. Çelik, A., ve diğ., İKSAD Uluslararası Yayınevi, Ankara, ss.233-260. <https://iksadyayinevi.com/wp-content/uploads/2023/10/LATEST-STUDIES-AND-DEVELOPMENTS-IN-AGRICULTURE-AND-ENVIRONMENT-1.pdf> E. T. 02.12.2024
- SeedWorld, (2024). Three Radically Different Examples of How CRISPR Will Transform Agriculture. <https://www.seedworld.com/us/2024/03/26/three-radically-different-examples-of-how-crispr-will-transform-agriculture/> E. T. 2024
- StartUs, (2024). Discover 10 Applications of Robotics in Agriculture (2025 & Beyond). <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/robotics->

- in-agriculture/#:~:text=3.-
,Weeding%20and%20Pest%20Control,for%20selective%20elimination
%20of%20weeds. E. T. 02.12.2024
- Şengöz, M. (2022). Maslow'un İhtiyaçlar Hiyerarşisi Modeli'nin Bütünleşik Bir Süreç Olarak Yeniden Yorumlanması. Eğitim Ve Toplum Araştırmaları Dergisi, 9(1), 164-173. <https://doi.org/10.51725/etad.977931>
- Tomer S. K. (2024). Tarım Teknolojisi Sürdürülebilir ve Endüstriyel Tarımın Yüzünü Nasıl Değiştiriyor? <https://www.globalagtechinitiative.com/digital-farming/analytics/how-agri-tech-is-changing-the-face-of-sustainable-and-industrial-agriculture/> E. T. 02.12.2024
- Turhan Ş. (2005). Tarımda Sürdürülebilirlik ve Organik Tarım. Tarım Ekonomisi Dergisi 2005; 11(1), 13 - 24. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/253316> E. T. 02.12.2024 E.T. 02.12.2024
- TÜRKİSTANDER, (2014). Aral Gölü için 3 milyar dolar. <https://turkistanlilar.org/2014/11/03/aran-golu-icin-3-milyar-dolar/> E. T. 02.12.2024
- Ünver İkincikarakaya, S., Beyaz, K. B., & Rezaei, F. (2013). Doğal Kaynaklar ve Tarım. Turkish Journal of Scientific Reviews(1), 104-109. <https://dergipark.org.tr/en/pub/derleme/issue/35088/389207> E. T. 01.12.2024
- WINSS, (2024). This is How Drones Are Transforming Sustainable Agriculture Right Now! <https://www.winssolutions.org/how-drones-transform-sustainable-agriculture-now-by-reducing-environmental-impact-and-increasing-farm-productivity/> / E.T. 02.12.2024

BÖLÜM 8

HİDROPONİK SİSTEMLERDE MEKANİZASYON FARKLILIKLARI

Zir. Müh. Zübeyde YELBOĞA¹

Prof. Dr. Ahmet Konuralp ELİÇİN²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14505431>

¹ Dicle Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye.

² Dicle Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye.

1. GİRİŞ

Topraksız tarım, bitkilerin gelişimi için gerekli olan bitki besin elementlerini ve suyu kök bölgelerine, toprak dışında farklı katı veya sıvı ortamlar kullanılarak bitki yetiştiriciliğinin yapıldığı gelişmiş üretim tekniği olarak tanımlanabilir (Şahin, 2020). Ayrıca, topraksız tarım sistemlerinde, su, pH, bitki besin elementleri, sıcaklık gibi bitkiler için optimum gelişme şartlarını sağlaması açısından da son derece önemlidir (Schnitzler, 2004). Topraksız tarımın, pestisit ve herbisit kullanımını minimize etmesi, çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir katkı sağlamakla birlikte, bu yöntemin enerji tüketimi, başlangıç maliyetleri ve teknik bilgi gereksinimi gibi bazı zorlukları da bulunmaktadır. Topraksız tarımın şehir içi tarım uygulamaları ile entegrasyonu, yerel gıda üretiminin artırılmasına ve gıda güvenliğinin sağlanmasına katkıda bulunma potansiyeli taşımaktadır (Şahin, 2020). Son yıllarda gıdaya ve tarıma gösterilen giderek artan öneme rağmen, günümüzde insanlık faaliyetleri sonucu ortaya çıkan küresel ısınma, aşırı nüfus artışı, plansız ve hızlı kentleşme, tahrip edilen tarım ve orman arazileri gibi pek çok sorun gıda güvenliğini tehdit etmektedir. Şu anki durumun devam etmesi durumunda, bu tehdidin gelecekte artarak ciddi bir soruna dönüşebileceği öngörülmektedir (Gökırmaklı ve Bayram, 2017).

İleriye dönük tahminlerde, küresel ekonomik toparlanma dikkate alınsa bile 2030 yılında yaklaşık 670 milyon insanın (dünya nüfusunun %8'i) açlık tehlikesiyle karşı karşıya kalacağı tahmin edilmektedir. 2015 yılında başlatılan 2030 yılı “Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi” kapsamındaki açlık, gıda güvensizliği ve yetersiz beslenmeyi sona erdirmeye hedefleri içerisinde yer almaktadır (FAO, 2023). Bütün bu sorunlara köklü bir çözüm olmak üzere Amerika ve Avrupa’da toprağın devre dışı bırakıldığı, çok çeşitli topraksız yetiştirme yöntemleri günümüzde geliştirilmiş olup, pratikte yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Topraksız yetiştiricilik Amerika’da ilk defa 1920’li yıllarda ticari anlamda kullanılmış, Avrupa’da ise teknolojik gelişime bağlı olarak 1965’ten sonra hızla gelişerek bugünkü durumuna gelmiştir (Başar, 2000). Bu nedenle, mevcut sorunların üstesinden gelmek ve geleceği güvence altına almak için gelişmiş üretim teknikleriyle birleştirilmiş yeni teknolojiler geliştirmek giderek önem arz etmektedir.

Mevcut sorunların giderilmesi, topraksız tarım sistemlerinin avantajları ve artan pazar talebi nedeniyle, çalışmalar hidroponik sistemlerin teknolojik olarak geliştirilmesine doğru kaymıştır. 2018 yılındaki verilere göre, dünyada pazar değeri 23.94 milyar dolar olan sektörde, 2018 yılından 2024 yılına kadar

%6.8 artması öngörüldüğünde, pazar değerinin 2024 yılında 35.5 milyar dolara yükseleceği düşünülmektedir. Bu üretimlerde Amerika ve Avrupa ülkeleri ilk sıralarda yer almaktadır. Avrupa ülkeleri 2018 yılında bu pazarda %47.3 oran ile en büyük üretime sahiptir (Okumuş, 2019). Şekil 1'de topraksız tarım sistemlerinin Dünya üzerindeki pazar dağılımları görülmektedir.



Şekil 1. Topraksız tarım sistemlerinin dünya üzerindeki pazar dağılımları

FAO (2024) verilerine göre, Türkiye'nin de dahil olduğu Batı Asya ve Kuzey Afrika (WANA) bölgesinde, 1980'li yıllardan bu yana topraksız tarım üzerine gerçekleştirilen araştırma ve projelerin desteklendiğini ortaya koymakla birlikte, Türkiye'de bu konuda uzun dönemli ve sistematik bir desteklemelerin olmadığını ortaya koymaktadır. Günümüzde seracılık faaliyetlerinin geliştiği illerde topraksız tarım kültürü ile yapılan faaliyetlerin arttığı görülmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Türkiye'de topraksız tarım yetiştiriciliğinde öne çıkan iller

Dünya genelinde topraksız tarım sistemleri ile en fazla üretim yapan ülkelere bakıldığında ABD, Brezilya, Kanada, Avustralya, Yeni Zelanda, Fransa ve İtalya ilk sıraları aldığı görülmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Topraksız tarım sistemleri ile en fazla üretim yapan ülkeler

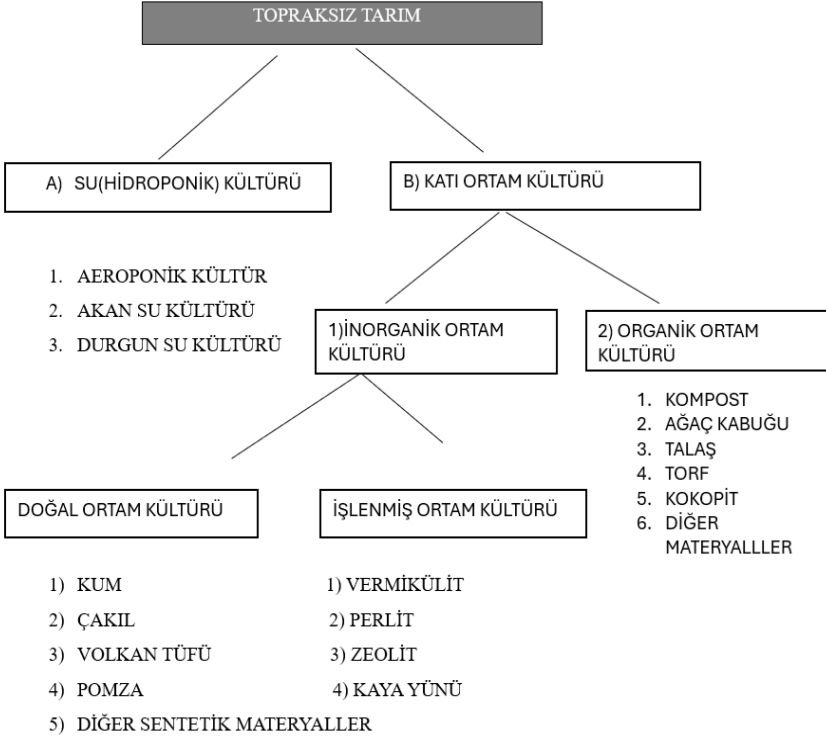
Çizelge 1: Toprak işlemenin yapılmadığı tarım alanlarının dağılımı (FAO, 2023)

Ülkeler	KTA (ha)	KTA/TAO (%)	Ülkeler	KTA (ha)	KTA/TAO (%)
Amerika	122344000	76,77	Asya	10193000	6,50
Amerika	35613000	22,72	Çin	6670000	4,25
Brezilya	31811000	20,79	Kazakistan	2000000	1,28
Arjantin	29181000	18,62	Hindistan	1500000	0,96
Kanada	18313000	11,68	Kuzey Kore	23000	0,01
Paraguay	3000000	1,91	B. Asya/K. Afrika	88200	0,06
Uruguay	1072000	0,68	Türkiye	45000	0,03
Bolivya	706000	0,45	Suriye	30000	0,02
Venezüella	300000	0,19	Tunus	8000	-
Şili	180000	0,19	Fas	4000	-
Kolombiya	127000	0,11	Lübnan	1200	-
Meksika	41000	0,03	Güney ve Orta Afrika	1223440	0,78
Avrupa	7091000	4,52	Güney Afrika	368000	0,23

Rusya	4500000	2,87	Zimbabve	332000	0,21
Ukrayna	700000	0,45	Zambiya	200000	0,13
İspanya	672000	0,43	Mozambik	152000	0,10
İtalya	380000	0,24	Malavi	65000	0,04
Fransa	200000	0,13	Kenya	33100	0,02
Almanya	200000	0,13	Gana	30000	0,02
Finlandiya	200000	0,13	Tanzanya	25000	0,02
İngiltere	150000	0,09	Sudan	10000	-
Slovakya	35000	0,02	Madagaskar	6000	-
Portekiz	32000	0,02	Lesotho	2000	-
İsviçre	17000	0,01	Namibya	340	-
Macaristan	5000	-	Avustralya-Y. Zelanda	1785700 0	11,39
Hollanda	500	-	Avusturalya	1769500 0	11,29
Belçika	268	-	Yeni Zelanda	162000	0,10
Korumalı toplan alan				1567524 08	

2. TOPRAKSIZ TARIM ve YÖNTEMLERİ

Savvas ve ark. 2013 yılında yaptıkları bir çalışmada bu tarım biçimini “topraksız bir ortamda bitki yetiştirmenin her türlü tekniği” olarak tanımlamışlardır (Şekil 4). Sistemde kökler, sulama suyu vasıtasıyla inorganik bileşenlerin eridiği bir su kabının içerisinde yer almaktadır. Bu yöntem genellikle çözüm kültürü veya su kültürü adını vermişlerdir.



Şekil 4. Topraksız tarım yöntemleri

Hidroponik sistem, topraksız tarım için tasarlanmış bir dizi sistemdir ve bitki besin çözeltilerini kullanarak ürün yetiştirmeyi amaçlayan bir sistemdir (Tarboush and Barqain, 2023). Bu yöntem hem su verimliliği sağlamak hem de tarımsal üretimi artırmak amacıyla giderek daha fazla tercih edilmektedir (Çizelge 2). Topraksız tarımda, sadece besin eriyikleri değil, aynı zamanda Hindistan cevizi lifi (cocopeat), talaş, perlit ve vermikülit gibi katı materyaller de kullanılmaktadır. Bu malzemeler, bitkilerin kök gelişimini destekleyerek su ve besin maddelerinin etkili bir şekilde tutulmasını sağlamaktadır. Böylelikle, bitkilerin büyüme koşulları optimize edilmekte ve toprak kökenli hastalıkların etkisi azaltılmaktadır.

Çizelge 2. Topraksız tarımın geleneksel tarım ile arasındaki farklar

Topraksız Tarım	Geleneksel Tarım
Yetiştirilmek istenen tarım ürünü için iklime bağımlılık bulunmamaktadır.	Yetiştirilecek tarım ürünü için iklime bağımlılık vardır.
Yetiştirilen tarım ürünleri tuz stresine karşı dayanıklıdır.	Tuzlu topraklarda yetiştirilen ürünler etkilenmektedir.
Yetiştirilen tarım ürünleri için ihtiyaç duyulan bitki besin elementlerin kontrollü verilmesinden kaynaklı eksikliği görülmemektedir.	Yetiştirilen tarım ürünü için toprağın sürekli bitki besin elementi kontrolü olmadığından eksiklik durumu görülebilmektedir.
Yoğun bir işçi sayısına ihtiyaç duyulmamakta ve sistem tam otomatik olarak yürütülmektedir.	Çalışan personel sayısı fazladır ve bu durum üretim sürecinde girdi maliyetini artırır.
Ürünlerin yetiştirilmesi için daha az alana ihtiyaç duyulmaktadır.	Ürünlerin yetiştirilmesi için daha fazla alan kullanımı söz konusudur.
Bitki gelişimi hızlıdır.	Bitki gelişimi olağan sürecinde devam eder.
Bitkinin su ihtiyacı kontrollü ve azdır.	Bitkinin büyümesi için daha fazla su gereksinimi bulunmaktadır.
Genellikle bitki verimleri yüksektir.	Bitki verimi toprak kalitesine, iklim koşullarına ve uygulanan tarım tekniklerine bağlıdır.
Başlangıç maaliyeti yüksektir ve girdi fazladır.	Başlangıç maaliyeti düşüktür ve girdi azdır.

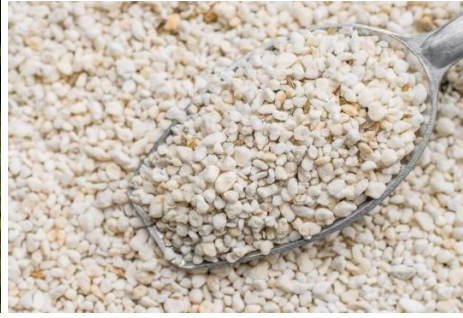
İklim koşullarından bağımsız olarak bitki yetiştirme imkânı sunan topraksız tarım, özellikle kırsal alanların dışında, şehir merkezlerinde de uygulanabilir olması avantajları arasında yer almaktadır (Şahin, 2020). Bu da şehirlerde taze gıda teminini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca, topraksız tarım, tarımsal üretimin çevresel etkilerini azaltarak sürdürülebilir kalkınmayı da desteklemektedir (Tarboush and Barqain, 2023).

2.1. Katı Ortam Kültürleri

Bitki köklerinin büyüme ve gelişmesi için ihtiyaç duyulan besin elementlerinin saksı, torba, yatak gibi uygun ortamın hazırlanarak bitki beslenmesinin sağlanmasıdır. Bitki besin elementlerini direkt olarak katı ortamdan alır ve su tutma kapasitesi yüksek olmasından kaynaklı istenen optimum şartlar da sağlanmış olur.



Hindistan Cevizi (cocopeat)



Perlit



Vermikülit



Talaş

Şekil 5. Bazı katı ortam malzemeleri

2.2. Su Kültürleri

Hidroponik sistem, mahsullerin kum, çakıl, vermikülit, taş yünü, perlit, turba yosunu, Hindistan cevizi veya talaş gibi mekanik destek kullanılarak veya kullanılmadan besin solüsyonlarında (eriyik haldeki bitki besin maddeleri içeren) ve toprak kullanılmadan (topraksız kültür) yetiştirilebildiği bitki yetiştirme tekniğidir (Şekil 5).

Su kültürü sistemlerinde, geleneksel tarımda da kullanılan bitki besin elementlerinde bulunan nitrat ve fosfat kaynaklı su kaynaklarında meydana gelen kirlenme önemli ölçüde azalmaktadır (Amina Richa, 2020). Su kültürü sistemlerinde genellikle, marul (*Lactuca sativa*), nane (*Mentha piperita*), ıspanak (*Spinacia oleracea*), frenk soğanı (*Allium schoenoprasum*), salatalık (*Cucumis sativus*), domates (*Solanum lycopersicum*), çilek (*Fragaria*), dereotu (*Anethum graveolens*), kekik (*Thymus*), biberiye (*Rosmarinus officinalis*), anason (*Pimpinella anisum*), dolmalık biber (*Capsicum annuum* var. *annuum*), su teresi (*Nasturtium officinale*), fasulye (*Phaseolus vulgaris*), karpuz (*Citrullus lanatus*) ve kavun (*Cucumis melo*) yetiştirilebilmektedir (Yavuz ve ark., 2023).

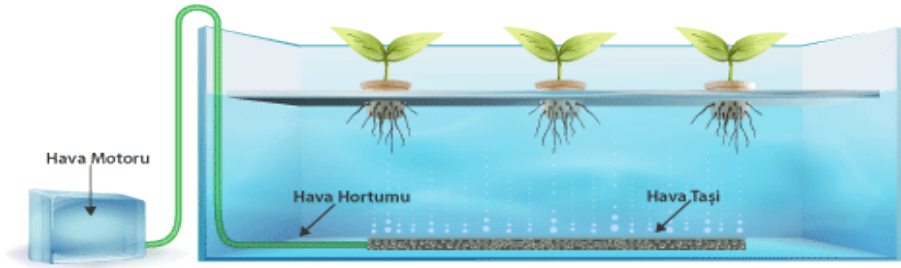
Hidroponik sistemde toprak kullanılmamasından kaynaklı yabancı ot, zararlı ve toprak hastalıkları görülme riski bulunmamaktadır. Bununla birlikte sistemin içerisine verilen suyun az olması bitki yetiştiricisi bakımından tasarruf sağlamaktadır. Bitki büyümesini kontrollü şekilde yapılmasını ve olgunlaşma süreleri üzerinde kontrollü bir izlem yapılmasına yardımcı olmaktadır. Daha çevreci ve kontrollü olarak yapılan bu sistem oldukça avantajlı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Sistemin negatif yönleri ise, ilk kurulum maliyetinin yüksek olması, üretici için ilk etapta uzak durmasına neden olunabilecek bir etken olabilmektedir. Bu tür sistemler, hassas ve zaman alıcı bir üretim serüveniyle birlikte üreticinin sürekli gözlemine dayalı sistemlerdir. Üreticinin teknik bilgisi gerekir ve sistem her bitki için de kullanılmadığından kaynaklı üretici için bir tercih sebebi olmayabilmektedir (Bingöl, 2019).

2.2.1. Durgun Su Yetiştiricilik Sistemi

Durgun su kültürü sisteminde bitkiler, kökleri suda olacak şekilde su yüzeyinde strafor vb. materyaller yardımıyla sabit bir şekilde yüzdürülmektedir. Durgun su tekniği bitki yetiştirme amacıyla tercih edilen en eski, uygulaması en basit ve yapraklı sebzelerin yetiştiriciliğinde dünyada kullanılan en yaygın topraksız tarım tekniği olarak karşımıza çıkmaktadır (Okudur ve Ercan, 2016). Durgun su kullanımı, bitkilerin optimal büyüme koşullarını sağlamada kritik bir rol oynamaktadır. Bu yöntem, su tasarrufu açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Geleneksel tarım yöntemlerine kıyasla hidroponik sistemler, suyun daha verimli kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

Suyun büyük bir kısmı bu sistemlerde geri kazanılmaktadır. Ayrıca, toprak kullanılmadığı için, kök hastalıkları ve zararlılarla karşılaşma olasılığı azalmaktadır. Bu durum, kimyasal gübre ve pestisit kullanımını en aza indirerek daha doğal bir yetiştirme ortamı sağlamaktadır (Şekil 6). Sonuç olarak, hidroponik sistemlerde durgun su kültürü, sürdürülebilir tarım uygulamalarının geliştirilmesine önemli katkılar sunmaktadır. Hem çevresel etkileri azaltması hem de gıda üretim verimliliğini artırması, bu yöntemi modern tarımın geleceği için vazgeçilmez kılmaktadır. Bu bağlamda, hidroponik uygulamaların daha geniş ölçekte benimsenmesi, gıda güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir adım olarak değerlendirilmektedir.



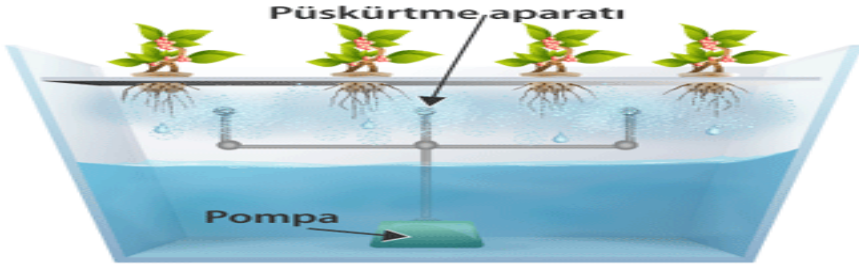
Şekil 6. Durgun su yöntemi

2.2.2. Akansu Yetiştiricilik Yöntemi

Bitkinin ihtiyaç duyduğu besinlerin çözelti olarak, sürekli veya belirli aralıklarla yatay borular ya da kanallar içerisinde akıtılarak bitki kökleriyle buluşturulduğu yetiştiricilik sistemidir. Bu sistemde tankların içinde sıvı halde bulunan besinler, pompalanarak köklerle temas ettirilmekte ve azalan besinlerin yerine rutin takviyeleri yapılmaktadır. Besin elementlerinin alınımının kolaylaşması ve sistemin havalanması için besin çözeltisi bitki kökleri boyunca ince bir tabaka halinde dolaşmaktadır (Şekil 7) (Kargın ve Bilgüven, 2018).

Besin tankı ışık almamalı ve çözelti sıcaklığını korumalıdır. Özellikle sıcak bölgelerde su içerisinde oluşabilecek hastalıklar bu tür sistemler için risk oluşturmaktadır. Bu nedenle kök bölgesinde sıcaklık takibi çok önemlidir. Besin çözeltisi, besleme tankından bitkilerin yetiştiği kanallara pompalanmakta ve kanallarda yerçekimine bağlı olarak akarak toplama tankına geri

maliyetlerini karşılayabilecek değerli ürünlerin yetiştirilmesi gereklidir. Aeroponik sistemlerde LED aydınlatma, bitkilerin büyüme süreçlerini desteklemek için önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemlerde güneş ışığı yerine LED ışıkları kullanılmaktadır. LED aydınlatmanın en büyük avantajlarından biri enerji verimliliği olup geleneksel aydınlatma kaynaklarına göre daha az enerji tüketmektedir. Bu lambalar fotosentez için en etkili dalga boyları olan kırmızı ve mavi ışıkları sağlamaktadır. Kırmızı ışık, bitkilerin çiçeklenmesi ve meyve vermesi üzerinde olumlu bir etki yaparken, mavi ışık yaprak gelişimini artırdığı bilinmektedir. Bu özellikler, bitkilerin ihtiyaçlarına göre özelleştirilmiş bir büyüme ortamı sunmaktadır. Yüksek yoğunluklu LED'ler, bitkilerin ihtiyaçlarını karşılamak üzere ayarlanabilmektedir (El-Kazzaz and El-Kazzaz, 2017)



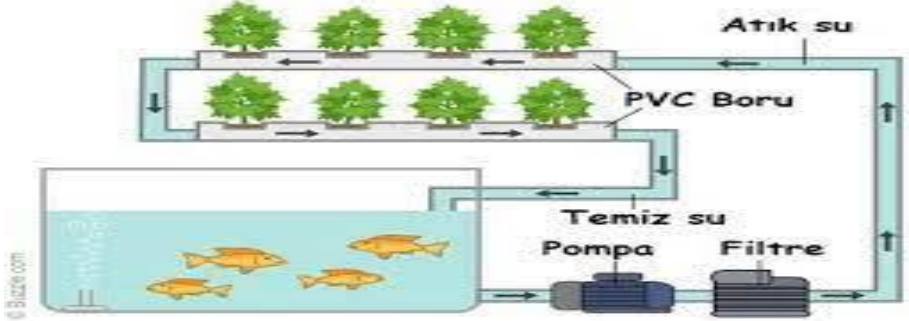
Şekil 8. Aeroponik hidroponik sistem

2.2.4. Akuaponik Sistemler

Akuaponik sistem, su ürünleri yetiştiriciliği (akuakültür) ile topraksız tarımın (hidroponik sistem) birleştirilmesiyle elde edilen alternatif bir sürdürülebilir üretim yöntemidir. Akuakültür sistem ile hidroponik sistem arasındaki su geçişi kontrollü yapıldığından birbirlerini olumsuz etkilemeleri de önlenmektedir. Akuakültür kısmında oluşan balık atıkları ayrıştırılarak hidroponik kısımdaki bitkiler beslenmektedir (Kargın ve Bilgüven, 2018). Akuaponik kelime anlamı ve teknik olarak topraksız bitki yetiştiriciliği (hidroponik) ve su ürünleri yetiştiriciliği (akuakültür) kavramlarının entegrasyonu ile ortaya çıkan bir besin üretim modeli olarak tanımlanmaktadır (Şekil 9).

Bir su tankında yetiştirilen balıkların ürettiği nitrojen bakımından zengin atıklar bitkilere su pompaları aracılığıyla iletilmektedir. Bitkiler aldıkları bu atık su ile hem kendini besleyerek hem de bu suyu dönüştürerek temiz su elde

edilmesini sağlanmaktadır. Böylelikle genellikle kapalı devre olan bu tip yetiştiricilik sistemlerinde hem balık hem de bitki yetiştirilmesi sağlanmaktadır.



Şekil 9. Aeroponik hidroponik sistem

3. HİDROPONİK SİSTEMLERDE YAPISAL FARKLILIKLAR

Hidroponik sistemler katı ortam kültürü veya su kültürü şeklinde yapılabilir. Su kültüründe bitki besin elementleri bitki kökleri aracılığıyla yapılırken katı ortam kültüründe ise katı bir destek ortamı sağlanmaktadır. Hidroponik sistemler de açık ve kapalı sistemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Açık sistemlerde köklere verilmiş olan besin elementlerinin tekrar kullanımı söz konusu değilken kapalı sistemlerde bitki besin elementleri sistem tarafından sürekli bir döngü olacak şekilde kullanılır.

Kapalı sistemlerde bitki kökleri strafor içerisine, plastik kesit vb. bir yapı içerisine yerleştirilir ve besin solüsyonu ise bitki köklerinin beslenmesi açısından belirli aralıklarla bitki köklerine pompalanmaktadır. Diğer yöntemde ise bitkiler geniş bir platform üzerinde yüzdürülür ve aralıklı olarak hareket ettirilmektedir. Aeroponik sistemde kökler aracılığıyla beslenen bitki köklerine ya da yapraklara besin solüsyonu püskürtülmektedir.

Açık sistemlerde özellikle bitki besin elementlerinin tekrar kullanımının söz konusu olmamasından kaynaklı su tutma kapasitesi yüksek özel malzemeler tercih edilmektedir. Kök büyümesini desteklemek amacıyla hava boşluğunun en az %18 olması da gerekir.

Hidroponik sistemlerin tarım teknikleri yönünden karşılaştırılmaları Şekil 10'da görülmektedir.

Özellikler	Durgun su kültürü	Yatay akan su kültürü	Dikey akan su kültürü
Tanım	Bitkilerin besin çözeltisi içeren durgun su tanklarında yetiştirilmesi	Bitki köklerinin sürekli akan ince bir besin çözeltisi filmi içinde yetiştirilmesi	Bitki köklerinin besin çözeltisi alması damlatılacak şekilde köklere verilir
Su kullanımı	Bitkilerin besin çözeltisini içeren durgun su tanklarında yetiştirilmesi	Daha az su kullanımı, su sürekli olarak dolaşır	En az su kullanımı, besin çözeltisi damlatılarak verilir.
Oksijen seviyesi	Düşük, ek oksijenlenme gerekebilir.	Yüksek, akan suda daha fazla oksijenlenme sağlanır.	Çok yüksek, kökler doğrudan oksijene maruz kalır.
Besin dağılımı	Homojen, ancak besinlerin çökme riski var.	Eşit, besinler sürekli akar.	Besinler kökler aracılığıyla yukarıdan aşağıya doğru bir akış görülür.
Kurulum maliyeti	Düşük, basit ekipmanlarla kurulabilir.	Orta pompa ve borulama sistemi gerekebilir.	Yüksek kontrol sistemleri gerekebilir.
Bakım gereksinimleri	Düşük, su değişimleri ve temel temizlik yeterlidir.	Orta pompa ve boruların düzenli kontrolü gerekir.	Sistemlerinin düzenli kontrolü ve bakımı gereklidir.
Bitki büyüme hızı	Orta oksijen sınırlı olabilir.	Hızlı, iyi oksijenlenme ve sürekli besin akışı	Hızlı, iyi oksijenlenme ve sürekli besin akışı
Uygun bitki türleri	Marul, ıspanak, fesleğen gibi küçük bitkiler	Çilek, marul, otlar gibi hafif bitkiler	Marul, ıspanak gibi bitkiler
Avantajlar	Kurulumu kolay ve ucuz	İyi besin ve oksijen dağılımı ve su tasarrufu	İyi besin ve oksijen dağılımı ve su tasarrufu
Dezavantajlar	Oksijen eksikliği, su durgunluğu sorunları ve kök hastalıkları	Pompa arıza riski, kök tıkanmaları	Yüksek maliyet ve karmaşık sistem

Şekil 10. Hidroponik sistemlerin tarım tekniği yönünden karşılaştırılması

4. HİDROPONİK SİSTEMLERDE BESLENME FARKLILIKLARI

Durgun su kültüründe, genellikle bir pompa yardımıyla havuzun içinde hareketlendirilen besin solüsyonu, bitkilerin köklerinin altından geçer ve köklere besin maddeleri ve oksijen sağlamaktadır. Yatay hidroponik sistemlerde, genellikle bitkiler yatay bir yüzeyde bulunmakta ve besin solüsyonu bu yüzeye dağıtılmaktadır. Besin solüsyonu, genellikle büyüme yataklarının üstüne dökülerek veya püskürtülerek dağıtılmaktadır (Schnitzler, 2004). Bu solüsyon, genellikle yatay yüzeyin eğimiyle birlikte hareket etmekte ve bitkilerin köklerine eşit şekilde dağıtılmaları sağlanmaktadır. Yatay hidroponik sistemlerde, kullanılan büyüme yataklarının altına bir drenaj sistemi yerleştirilerek ve suyun geri dönüşü sağlanmaktadır.

Dikey hidroponik sistemlerde, besin solüsyonu, genellikle en üstteki büyüme yataklarına pompa yardımıyla iletilmektedir. Bu solüsyon, genellikle en üstteki yataklardan başlayarak yerçekimi yardımıyla aşağıya doğru akmaktadır. Besin solüsyonu, bitkilerin köklerine ulaşmak için en üstteki

yataklardan dökülerek veya püskürtülerek alttaki yataklara kadar ulaştırılmaktadır. Bu işlem, suyun üstten aşağıya doğru akması veya alttan üste doğru pompalanması şeklinde olabilir. Dikey hidroponik sistemlerde, her bir büyüme yatağının altına bir drenaj sistemi yerleştirilir ve suyun geri alınması sağlanmaktadır.

5. ENERJİ KULLANIM FARKLILIKLARI

Hidroponik sistemlerin enerji maliyetleri, kullanılan sistem türüne, büyüklüğüne ve yerel koşullara bağlı olarak değişmektedir. Dikey, yatay ve durgun su hidroponik sistemleri arasındaki enerji farklılıkları, kullanılan ekipmanın verimliliğine, yerel enerji fiyatlarına ve suyun maliyetine bağlı olarak değişebilmektedir. Durgun su hidroponik sistemlerinde bitkiler, besin çözeltisi içinde yetiştirilir. Yapıları basit olduğundan enerji tüketimi, pompa ve besin çözeltisi dolaşımıyla ilişkilidir. Genellikle düşük güçlü pompalar yeterlidir (Şekil 11).



Şekil 11. Küçük güçlü pompalar

Dikey hidroponik sistemler, bitkilerin dikey olarak düzenlenmiş katmanlar halinde yetiştirilmesini sağlamaktadır. Bu sistemler, özellikle kentsel alanlarda veya sınırlı araziye sahip bölgelerde tercih edilmektedir. Enerji tüketimi, aydınlatma ve sulama sistemlerinin kullanımıyla ilişkilidir. Ortam koşulları nispeten daha iyi kontrol edilebilmektedir. Yatay hidroponik sistemler, bitkilerin yatay bir düzlemde yetiştirildiği sistemlerdir. Enerji tüketimi, aydınlatma ve sulama sistemlerinin kullanımına bağlıdır. Uzun sistemler

olduğundan dikey hidroponik sistemlere göre daha büyük güçlü pompalara gerek duyulmaktadır.

6. OTOMASYON FARKLILIKLARI

Durgun su sistemlerinin yapıları basit ve ilk yatırım maliyetlerinin düşük olması hedeflendiğinden pompa haricinde bir kontrol gerektiren bir cihaz olmadığından otomasyona ihtiyaçları bulunmamaktadır. Besinli suyun akışını ve debi ayarları için zamanlayıcı otomasyon kullanılabilir. Yatay ve dikey hidroponik sistemlerde, pH, EC, TDO (suda çözülmüş oksijen miktarı), ışıklandırma şiddeti ve süresi, ısıtma-soğutma-havalandırma, su dolaşımı ve bitki besin elementi miktarının kontrolü gibi otomasyon sistemleri ve yazılımları kullanılmaktadır (Şekil 12).



Şekil 12. Otomasyon sistemler

SONUÇ

Topraksız tarım geleneksel tarım yöntemine alternatif bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntem modern teknolojilerin entegrasyonu sayesinde yüksek verimlilik, su tasarrufu, kontrollü ortam, yer tasarrufu, hızlı büyüme, yıl boyu üretim süreci gibi avantajlar sağlamaktadır (Şekil 12). Bu hem tarımsal üretimde hem de çevresel etkileri minimize ederek yaşanabilir bir dünya sunmayı desteklemektedir.

Topraksız tarım sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması, teknik bilgi gereksiniminin olması, hassas sistemler olması, elektrik kesintisi gibi durumlarından kaynaklı sistemsel arızaların yaşanabilmesinden dolayı özellikle küçük ölçekli çiftçiler için engel teşkil etmektedir. Bu yöntemin gıda güvenliğinde üretimin durumunu daha stabil hale getirilmesinden ve fiyat dalgalanmalarından kaynaklı güvensiz ortamı daha sürdürülebilir ve güvenli bir

alana dönüştürmede öncelikli bir üretim sistemidir. Şehirleşme ile artan gıda talebine cevap vererek küresel anlamda gıda temini sağlayacak olması bakımından bu tür yetiştiricilik yöntemleri öncelikli hedef olarak görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Anonim 2023. <https://www.fao.org/turkiye/news/detail-news/tr/c/1598907/>
Erişim tarihi: 10.11.2024
- Anonim. 2024. https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/211174/mod_resource/content/0/Hidroponik%20Teknolojisi%209.%20HAFTA.pdf. Erişim tarihi: 14.10.2024
- Amina Richa, S. T. (2020). Recent advances and perspectives in the treatment of hydroponic wastewater: a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. DOI:10.1007/s11157-020-09555-9
- Başar, H. (2000). Bazı Topraksız Yetiştiricilik Yöntemlerinin. *Anadolu, J. of AARI*, 169 - 182.
- Bingöl, B. (2019). Alternatif Tarım Yöntemleri; Aeroponik, Akuaponik, Hidroponik. <https://www.researchgate.net/publication/346052997>
- El-Kazzaz, K.A. and El-Kazzaz, A.A. (2017). Soilless Agriculture a New and Advanced Method for Agriculture Development: an Introduction. *Agricultural Research&Technology Open Access Journal*. Vol:3, Issue:2, pp:63-71, DOI: 10.19080/ARTOAJ.2017.03.555610
- Garzon, J., Montes, L., Garzon, J. and Lampropoulos, G. (2023). Systematic Review of Technology in Aeroponics: Introducing the Technology Adoption and Integration in Sustainable Agriculture Model. *Agronomy*. 13(10)doi.org/10.3390/agronomy13102517
- Gökırmaklı, Ç. ve Bayram, M. (2017). Gıda İçin Gelecek Öngörülleri. *Akademik Gıda Bilimi ve Teknolojisi Dergisi*, Cilt:16 Sayı:3, 351-360. doi:10.24323/akademik-gida.475396
- Kargın, H ve Bilgüven, M. (2018). Akuakültürde Akuaponik Sistemler ve Önemi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 32(2), 159-173.
- Maroya, N.G., Balogun, M. O. and Robert, A. (2014). Seed Yam Production in an Aeroponics System: A Novel Technology. Technical Report. YIIFSWA Working Paper Series No. 2, ISBN 978-978-8444-37-4
- Okudur, E. ve Ercan, N. (2016). Farklı Gübre Uygulamalarının Durgun Su Kültüründe Yetiştirilen Marullarda Verim ve Kaliteye Etkileri. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*. Vol: 5, s:69-76. DOI: 10.17100/nevbiitek.210967
- Okumuş, A. (2019). *Hydroponic Agriculture in the World*. <https://www.researchgate.net/publication/337827935>

- Okur, A. (2015). Gelecek ticari kentsel tarımda mı?. *Yalın Enstitü*.
<https://www.lean.org.tr/gelecek-ticari-kentsel-tarimda-mi-2/>
- Savvas, D., Gianguinto, G., Tuzel, Y. and Gruda, N.S. (2013). Soilless culture. Good agricultural practices principles for greenhouse vegetable production in the Mediterranean Region. 303-354, ISBN 978-92-5-107649-1
- Schnitzler, W. (2004). Pest and disease management of soilless culture. *Acta Horticulturae* 648(23):191-203. doi:10.17660/ActaHortic.2004.648.23
- Şahin, A. U. (2020). *Artan nüfus ihtiyaçları ve toprak sorunlarına alternatif çözüm: topraksız tarım*. Türk Tarım Ve Orman Dergisi. <http://www.turktarim.gov.tr/Haber/398/artan-nufus-ihtiyaclari-ve-toprak-sorunlarina-alternatif-cozum-topraksiz-tarim>. Erişim tarihi 03.09.2024
- Tarboush, M.A. and Baqain, R. (2023). *Soilless agriculture guidelines*. IUCN Regional Office for West Asia.
- Yavuz, K., Toksöz, O. ve Berber, D. (2023). Topraksız tarım teknolojileri gelecek için sürdürülebilir bir çözüm mü? *Frontiers in Life Sciences and Related Technologies*. Vol:4, Issue:3, pp:157-170. <https://doi.org/10.51753/flsrt.1357745>

BÖLÜM 9

DOĞU ANADOLU BÖLGESİ HAYVANCILIĞINDA 2030 YILI TARIM MAKİNALARI PROJEKSİYONU

Dr. Öğr. Üyesi M. Murat TURGUT¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14505435>

¹Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, ORCID iD: 0000-0002-27731-4910, E-mail: [mmturgut@dicle.edu.tr](mailto:mmmturgut@dicle.edu.tr)

GİRİŞ

Doğu Anadolu Bölgesi, Ağrı, Ardahan, Bingöl, Bitlis, Elazığ, Erzincan, Erzurum, Iğdır, Kars, Malatya, Muş, Siirt, Tunceli ve Van olmak üzere 14 ili kapsayan ülkemizin yedi coğrafi bölgesinden birisidir. Doğu Anadolu Bölgesi, kuzeyde Karadeniz Bölgesi, batıda Orta Anadolu Bölgesi, güneyde Akdeniz Bölgesi, doğuda ise Ermenistan, İran, Irak, Azerbaycan (Nahçıvan) ve Gürcistan gibi komşu ülkelerle sınır oluşturur. Doğu Anadolu Bölgesi, Türkiye'nin en geniş coğrafi bölgesidir. Yüzölçümü 164000 km² civarındadır. Yüzölçümü bakımından Türkiye topraklarının %21'ini kaplar. Bu geniş alan, bölgenin dağlık yapısı, ova ve vadilerle çeşitlenmiş coğrafyası ve çok sayıda büyük göl ile akarsuyun bulunduğu bir bölge olarak dikkat çeker. Doğu Anadolu'nun büyük bir kısmı yüksek dağlarla kaplıdır ve bu dağlık alan, bölgenin yüzölçümünü büyük ölçüde etkiler. Bölgenin en önemli ekonomik faaliyeti tarım ve hayvancılıktır. Bununla beraber bölgede yüksek dağ ve platolardan oluşan topografik yapı, tarım alanlarını ve tarımsal faaliyetleri sınırlar. Bu sınırlılık sert karasal iklim koşullarına bağlı olarak yükseklere çıkıldıkça artar. Bölgenin ekilebilir alanlarının büyük bir kısmı, Malatya, Erzincan, Van ve Iğdır illerindeki tarıma uygun alanlardan oluşmaktadır.

Doğu Anadolu Bölgesi'nde ekonomik kaynakların kıt oluşu buna karşılık çayır ve mera alanlarının geniş olması hayvancılığın önemini arttırmıştır. 2019 yılı itibarı ile Türkiye toplam çayır mera alanlarının ise yaklaşık olarak %32'si Doğu Anadolu Bölgesinde yer almaktadır (Özkurt ve Çınar, 2020). 2023 verilerine göre Bölgenin çayır mera alanı yaklaşık 5.7 milyon ha alana ulaşmıştır. Bu alanlardaki ortalama kuru ot verimi ise 900 kg olarak tespit edilmiştir (Anonim, 2024b). Bundan dolayı Türkiye'de hayvancılığın yoğun şekilde yapıldığı bölgelerin başında Doğu Anadolu Bölgesi gelmektedir. Bölgede tarım gelirleri içerisinde hayvancılığın payı %62'dir. Erzurum-Kars bölümünde büyükbaş, diğer bölümlerde ise küçükbaş hayvancılık faaliyetleri yoğunlaşmıştır (Koday, 2005). Bölge, Türkiye'deki büyükbaş hayvan varlığının yaklaşık %18.66'sına ve küçükbaş hayvan varlığının ise %24.14'üne sahiptir (Anonim 2024b).

Zengin bir biyoçeşitlilik kaynağı olan ve erozyonun önlenmesi, ekolojik dengenin korunması ve iyileştirilmesi gibi çok çeşitli faydalar sağlayan meralar, aynı zamanda hayvancılığın en önemli girdi kalemi olan kaliteli kaba yemi, kolay ve ucuz yoldan sağlayan önemli doğal kaynaklardır. Bu kaynakları

en iyi şekilde değerlendirmenin yolu da hayvan otlatmasıdır. Bu yüzden bölgede yüzyıllardır meraya dayalı ekstansif hayvancılık, işletme gelirlerinin en önemli bileşenini meydana getirmiştir (Kara ve Kızıloğlu, 2013; Özek, 2022). İkliminin yem bitkisi üretimine uygun olması hayvancılığın bölgede gelişmesine katkıda bulunurken, kışların uzun ve sert geçmesi olumsuz bir durum olarak ortaya çıkmaktadır. Mera ve çayırların uzun süre karla kaplı olması hayvanların ahırda kalma süresini artırmaktadır (Kara ve Kızıloğlu, 2013; Anonim, 2024c).

Doğu Anadolu Bölgesinin hayvancılığa elverişli olan, kaliteli ve geniş meralara sahip olması, hayvancılığı ön plana çıkarmaktadır. Bölgede hayvancılık halkın geçiminde önemli yer tutmakla birlikte tekniklerle yapılmamaktadır. Tarımın her alanında mekanizasyonun önemi yadsınamaz olduğu gibi hayvancılıkta da mekanizasyon kullanımı daha etkin, kârlı ve sürdürülebilir bir üretim için olmazlar arasındadır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada materyal olarak, Türkiye İstatistik Kurumunun (TÜİK) Doğu Anadolu Bölgesi'ne ilişkin 2014-2023 yıllarına ait, hayvansal üretimde yaygın olarak kullanılan tarım alet ve makinaları istatistikleri kullanılmıştır (Anonim, 2024d). Bu veriler, ilgili yıllar analiz edilerek her bir tarımsal alet ve makine için artış ya da azalış olmak üzere yüzde oranlarını belirlemek için kullanılmıştır. Daha sonra bu tarım makinelerinin 10 yıllık kullanım miktarları dikkate alınarak sayılarındaki artış ve azalış yüzdelik oranları hesaplanmış ve yüzdelik oranların ortalama katsayıları belirlenmiştir. Önceki yılların verilerine dayanarak belirlenen katsayılar kullanılarak, Doğu Anadolu Bölgesi'nde hayvansal üretimde yaygın olarak kullanılan tarım alet ve makinelerinin 2030 yılı projeksiyonları, atıfta bulunulan bundan önceki benzer çalışmalardaki aynı yöntem kullanılarak hesaplanmıştır (Demir and Kuş 2016; Akbaş, 2019; Baran et al., 2019; Ertop et al., 2021; Baran and Kaya, 2021).

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tablo 1'de görüldüğü üzere, bölgede en çok kullanılan çayır biçme alet ve makinaları arasında en yüksek projeksiyon katsayısı pozitif %14.54 değeri ile motorlu tırpanda gerçekleşmiştir. Motorlu tırpanı sırasıyla %4.93, %2.64 ve %0.32 pozitif projeksiyon katsayısı değerleriyle traktörle çekilen çayır biçme makinesi, biçerbağlar makinesi ve ot tırmağı takip etmektedir. En yüksek

negatif projeksiyon katsayısına (-%7.27) sahip olan orak makinasını, -%1.55 projeksiyon katsayısı ile hayvanla çekilen çayır biçme makinesi takip etmiştir.

Tablo 1. Bölgede Yaygın Olarak Kullanılan Çayır Biçme Alet ve Makineleri Projeksiyonu

YILLAR	Ot tırmığı	Orak makinesi	Bıçerbağlar makinesi	Hayvanla çekilen çayır biçme makinesi	Traktörle çekilen çayır biçme makinesi	Motorlu turpan
2014	60928	10825	1890	1471	24672	1255
2015	61467	10374	2148	1526	25136	1504
2016	61505	10411	2213	1525	25324	1630
2017	60725	8851	2272	1568	27531	2011
2018	62284	8859	2230	1406	28764	2296
2019	62854	7484	2063	1545	30182	2506
2020	61535	5259	1806	1595	33216	2809
2021	63846	5153	1981	1920	35016	3286
2022	59638	4786	2059	1042	36325	3691
2023	62417	5152	2318	1064	37927	4030
YILLAR	Yüzdelerik değişim					
2014-2015	0.88	-4.17	13.65	3.74	1.88	19.84
2015-2016	0.06	0.36	3.03	-0.07	0.75	8.38
2016-2017	-1.27	-14.98	2.67	2.82	8.72	23.37
2017-2018	2.57	0.09	-1.85	-10.33	4.48	14.17
2018-2019	0.92	-15.52	-7.49	9.89	4.93	9.15
2019-2020	-2.1	-29.73	-12.46	3.24	10.05	12.09
2020-2021	3.76	-2.02	9.69	20.38	5.42	16.98
2021-2022	-6.59	-7.12	3.94	-45.73	3.74	12.33
2022-2023	4.66	7.65	12.58	2.11	4.41	9.18
Projeksiyon katsayısı	0.32	-7.27	2.64	-1.55	4.93	14.54
YILLAR	Projeksiyonlar					
2024	62617	4777	2379	1047	39797	5287
2025	62818	4430	2442	1031	41759	5470
2026	63020	4108	2506	1015	43818	5659
2027	63222	3809	2573	1000	45978	5855
2028	63424	3532	2640	984	48245	6058
2029	63628	3275	2710	969	50623	6267
2030	63832	3037	2782	954	53119	6484

Tablo 2 incelendiğinde, bölgede sap döver ve harman makinesinin (batöz) miktarının fazlalığına rağmen yüzdelerik artış (%0.23) olarak düşük

kaldığı görülmektedir. En yüksek artış sırasıyla %30.92 ile mısır hasat makinesinde ve ardından %18.37 ile saman aktarma boşaltma makinesinde olmuştur. Bu makineleri %12.40 ile balya makinesi, %7.00 ile sap toplamalı saman yapma makinesi, %5.55 ile ot silaj makinesi, %4.37 ile mısır silaj makinesi, %3.12 ile sap parçalama makinesi takip etmektedir. Tınav makinasının ise negatif %0.49 değerle sayısı yıldan yıla azalmaktadır.

Tablo 2. Bölgede Yaygın Olarak Kullanılan Hasat ve Harman Makineleri Projeksiyonu

YILLAR	Mısır silaj makinesi	Mısır hasat makinesi	Ot silaj makinesi	Sap döver ve harman makinesi (batöz)	Sap toplamalı saman yapma makinesi	Saman aktarma boşaltma makinesi	Balya makinesi	Sap parçalama makinesi	Tınav makinesi
2014	951	12	190	29714	3369	789	2280	280	1640
2015	995	12	208	29541	3504	953	2445	278	1617
2016	1007	12	216	29757	3542	966	2569	282	1576
2017	1084	32	331	28532	3875	1048	2949	290	1551
2018	1127	33	351	29124	4046	1081	3164	297	1589
2019	1183	34	365	29044	4252	1223	3523	342	1586
2020	1213	57	395	29943	4188	1632	3775	358	1627
2021	1270	59	367	30117	4434	2200	4503	362	1583
2022	1337	61	261	30224	5661	2899	5571	355	1574
2023	1406	51	264	30126	5742	2829	6446	377	1173
Yıl	Yüzdelerik değışim								
2014-2015	4.63	0	9.47	-0.58	4.01	20.79	7.24	-0.71	-1,40
2015-2016	1.21	0	3.85	0.73	1.08	1.36	5.07	1.44	-2,54
2016-2017	7.65	166.67	53.24	-4.12	9.4	8.49	14.79	2.84	-1,59
2017-2018	3.97	3.13	6.04	2.07	4.41	3.15	7.29	2.41	2,45
2018-2019	4.97	3.03	3.99	-0.27	5.09	13.14	11.35	15.15	-0,19
2019-2020	2.54	67.65	8.22	3.10	-1.51	33.44	7.15	4.68	2,59
2020-2021	4.7	3.51	-7.09	0.58	5.87	34.8	19.28	1.12	-2,70
2021-2022	5.28	3.39	-28.88	0.36	27.67	31.77	23.72	-1.93	-0,57
2022-2023	5.16	-16.39	1.15	-0.32	1.43	-2.41	15.71	6.20	-25,48
Projeksiyon katsayısı	4.37	30.92	5.55	0.23	7.00	18.37	12.40	3.12	-0,49
YILLAR	Projeksiyonlar								
2024	1531	87	279	30267	6575	3964	7245	401	1161
2025	1584	90	294	31314	6802	4101	8144	415	1218
2026	1639	94	310	32397	7037	4243	9154	429	1189
2027	1696	97	328	33518	7281	4390	10289	444	1161
2028	1755	100	346	34678	7533	4541	11564	459	1134
2029	1815	104	365	35878	7793	4699	12998	475	1107

Tablo 3 incelendiğinde, çiftlik gübresi dağıtma makinasının %16.24'lük bir projeksiyona sahip olduğu görülmektedir. Yoğun toprak işleme uygulamalarıyla organik madde içeriği her geçen gün azalan ülkemiz tarım topraklarının sürdürülebilirliği açısından, toprakların organik gübrelerle desteklenmesi yararlı bir uygulamadır. Artan gübre fiyatları da çiftçilerin yönünü yeniden organik gübrelelere çevirmesine neden olabilmektedir. 2030 yılı projeksiyonunda bölgede yem hazırlama makinalarının sayısının 3458 adet olacağı hesaplanmıştır. 2030 yılında yem dağıtıcı römorkların sayısının da 452 adet olacağı hesaplanmıştır.

Tablo 3. Bölgede Yaygın Olarak Kullanılan Yem ve Gübre Hazırlama ve Dağıtma Makineleri Projeksiyonu

YILLAR	Yem hazırlama makinesi	Yem dağıtıcı römork	Çiftlik gübresi dağıtma makinesi
2014	1076	175	228
2015	1088	203	248
2016	1126	216	266
2017	1303	178	443
2018	1469	182	461
2019	1595	205	474
2020	1628	233	550
2021	1825	319	638
2022	2000	324	692
2023	2224	360	730
YILLAR	Yüzdelerik değişim		
2014-2015	1.12	16.00	8.77
2015-2016	3.49	6.40	7.26
2016-2017	15.72	-17.59	66.54
2017-2018	12.74	2.25	4.06
2018-2019	8.58	12.64	2.82
2019-2020	2.07	13.66	16.03
2020-2021	12.10	36.91	16.00
2021-2022	9.59	1.57	8.46
2022-2023	11.20	11.11	5.49
Projeksiyon katsayısı	8.18	8.98	16.24
YILLAR	Projeksiyonlar		
2024	2603	428	986
2025	2729	448	1034
2026	2861	449	1048
2027	3000	450	1062
2028	3145	451	1076
2029	3298	451	1090
2030	3458	452	1104

Doğu Anadolu Bölgesi'nde özellikle Bingöl ilinde süt endüstrisi alanında büyük yatırımlar yapılmıştır. Bu gelişmeler yöre halkını da teşvik etmiş ve özel yatırımlar artmaya başlamıştır. Birçok girişimci özellikle 2020-2021 yıllarında sağlanan devlet desteklerinin de yardımıyla çeşitli kapasitelerde süt sağım tesisi kurmuştur. Bu girişimler bölge istihdamına da katkıda bulunmuştur. Bölge genelinde sayıları 588'e ulaşan süt sağım tesislerinin sayısının 2030 yılında en az 647 adet olması beklenmektedir. Bölgedeki seyyar süt sağım makinalarının sayısındaki artış ta oldukça fazladır. Özellikle süt sağım tesislerine uzakta bulunan hayvanların meralarda otlama zamanlarında sağımına imkân tanıyan seyyar süt sağım durakları ve makinaları üreticiyi bu anlamda rahatlatmaktadır. Hâlihazırda 27343 adet olan seyyar süt sağım makinası sayısının 2030 yılında 49272 adet olacağı beklenmektedir.

Tablo 4. Bölgedeki Süt Hayvancılığına Ait Projeksiyon

YILLAR	Süt sağım tesisi	Süt sağım makinesi (seyyar)
2014	457	6861
2015	462	7478
2016	480	7946
2017	463	10621
2018	463	11411
2019	474	12627
2020	499	15694
2021	567	19578
2022	576	23518
2023	588	27343
YILLAR	Yüzdelerik değışim	
2014-2015	1.09	8.99
2015-2016	3.90	6.26
2016-2017	-3.54	33.66
2017-2018	0	7.44
2018-2019	2.38	10.66
2019-2020	5.27	24.29
2020-2021	13.63	24.75
2021-2022	1.59	20.12
2022-2023	2.08	16.26
Projeksiyon katsayısı	3.04	17.02
YILLAR	Projeksiyonlar	
2024	624	37444
2025	655	39260
2026	653	41085
2027	652	42996
2028	650	44995
2029	649	47087
2030	647	49277

Bölgede yukarıdaki tablolarda verilen makinaların dışında yıllar itibarı ile değişim miktarları belli olmayan, sadece 2023 yılı adetleri açıklanan makineler de bulunmaktadır. 2023 yılı verilerine göre bölgede 2403 adet Motorlu Çayır Bıçma Makinesi (Elle Sürülen), 2 adet Silaj makinası (paketleme), 5'er adet tandem dingilli ve çift dingilli silaj römorku ve 53 adet seyyar süt soğutma makinası bulunmaktadır. İlerleyen yıllarda bu makinelerinde sayısının artacağı öngörülebilir.

SONUÇ

Doğu Anadolu Bölgesi, Türkiye'nin hayvancılık açısından önemli bir bölgesi olmasına rağmen, zorlu iklim koşulları, coğrafi engeller ve tarımsal altyapı eksiklikleri gibi bazı dezavantajlarla karşı karşıyadır. Bu bağlamda, hayvancılıkta mekanizasyon, bölgedeki üretim süreçlerini daha verimli, sürdürülebilir ve kârlı hale getirme potansiyeline sahiptir. Doğu Anadolu'da tarımsal üretim genellikle aile iş gücüne dayalıdır ve bölgedeki nüfus azalması, gençlerin tarımdan uzaklaşması gibi sebeplerle iş gücü sıkıntısı yaşanmaktadır. Mekanizasyon, bu sorunu çözebilir; çünkü makineler, iş gücünün yetersiz olduğu durumlarda daha fazla işin yapılmasını sağlar. Özellikle büyükbaş hayvanların bakımı, sağımı ve yemlenmesi gibi işlemler mekanik sistemlerle yapılabilir, bu da insan gücü ihtiyacını azaltacaktır. Mekanizasyon, işlerin hızlanmasını sağlayarak, üretim maliyetlerini düşürür. Bu, özellikle büyükbaş hayvancılıkla uğraşan işletmeler için önemli bir avantajdır. Otomatik sağım makineleri, yemleme sistemleri ve diğer mekanize araçlar, iş gücünden tasarruf sağlar, zaman kaybını önler ve hayvanların daha düzenli bir şekilde bakılmasını sağlayarak verimliliği artırır. Bölgede hayvancılıkta mekanizasyonun önemi, hem üretim süreçlerinin verimliliğini artırmak hem de bölgenin ekonomik ve sosyal yapısına katkı sağlamak açısından büyüktür. Zorlu iklim koşullarında verimli bir üretim yapabilmek, iş gücü kaybını önlemek, hayvan sağlığını izlemek ve çevresel sürdürülebilirliği artırmak için mekanizasyon, büyük bir fırsat sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- Akbaş, T. 2019 Aydın İlinin Tarımsal Mekanizasyon Projeksiyonunun Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma, 29 Ekim Bilimsel Araştırmalar Sempozyumu, İksad.org.tr /www.29ekim.org, S:344-350.
- Anonim, 2024a. TÜİK web sayfası. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=101&locale=tr>, (erişim: Kasım, 2024)
- Anonim, 2024b. Tarım ve Orman Bakanlığı web sitesi. <https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/Cayir-Merave-Yem-Bitkileri>, (erişim: Kasım, 2024)
- Anonim, 2024c. Doğu Anadolu Bölgesi Büyükbaş Hayvancılık Çalıştay Raporu. <https://www.serka.gov.tr/store/file/common/e2fe2ffcd00f1a2e449248a4f14e4257.pdf>, (erişim: Kasım, 2024)
- Anonim, 2024d. TÜİK web sayfası. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=134&locale=tr>, (erişim: Kasım, 2024)
- Aydın, T., 2022. Doğu Anadolu Bölgesi'nin Coğrafi İşaretleri. 2.International Antalya Scientific Research and Innovative Studies Congress Proceedings. p:51-59.
- Baran, M.F, Gökdoğan, O, Eren, Ö, Bayhan, Y., (2019), Projection of Technology Equipment Usage in Agricultural in Turkey, Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 6(1): 1-9, 2019, <https://doi.org/10.30910/turkjans>.
- Baran, M.F., Kaya, A.İ., 2021. Projection of Tool and Machine Utilization in Agriculture (A Case Study of Şanlıurfa Province for 15 Years). Sustainable Agriculture and Livestock for Food Security Under the Changing Climate. Iksad Publications. pp:8-35.
- Demir, B., Kuş, E., 2016. İç Anadolu Bölgesinin Tarımda Teknoloji Kullanım Projeksiyonu. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5, S: 89-95.
- Ertop, H., Atılğan, A., Gökdoğan, O., Saltuk, B. 2021. Projection of Machine Usage in Agriculture of Ardahan Province. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Sayı 27, S:259-266.
- Kara, A., Kızıloğlu, S. 2013. Meraya Dayalı Hayvancılık Yapan İşletmelerde Optimum Ürün Bileşiminin Belirlenmesi: Erzurum İli Örneği. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg., 44 (1): 63-73, 2013

- Koday, S., 2005. Doğu Anadolu Bölgesi'nde Hayvancılık, Atatürk Üniversitesi Yayınları, Erzurum.
- Özek, K., 2022. TR22 Güney Marmara Bölgesinde Büyükbaş ve Küçükbaş Hayvancılığın Durumu, Kaba Yem Üretimi, Yeterliliği ve Hayvan Beslemedeki Önemi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(2): 1187-1200.
- Özkurt, M., Çınar, S., 2020. Türkiye, Doğu Anadolu Bölgesi ve Muş İlinde Çayır Mera Yem Bitkileri ve Hayvancılığın Bugünkü Durumu. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 8(10):2191-2201.

BÖLÜM 10

MALATYA HAVZASINDAKİ SU DENGESİ DİNAMİKLERİNİN UZAKTAN ALGILAMA VE GOOGLE EARTH ENGINE KULLANILARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Miraç KILIÇ^{1*}

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14505442>

¹ Malatya Turgut Özal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Malatya, Türkiye, mirac.kilic@ozal.edu.tr , ORCID ID 0000-0001-8026-5540

GİRİŞ

Su dengesi, iklim değişikliğinin hidrolojik sistemler ve tarım üzerindeki etkilerini anlamada kritik bir kavramdır. Belirli bir alandaki yağış, evapotranspirasyon ve yüzey akışı arasındaki dengeyi ifade eden su dengesi, iklim değişikliğinin suyun kullanılabilirliği, tarımsal verimlilik ve su kaynaklarının yönetimi üzerindeki etkileriyle önem kazanır. İklim parametrelerindeki değişimler, su dengesinin bileşenlerini doğrudan etkiler; örneğin, artan hava sıcaklıkları evapotranspirasyonu (ET) artırarak yıllık ortalama su dengesi değerlerini değiştirebilir (Cadro vd., 2018). Çalışmalar, iklim değişkenliğinden kaynaklanan hidrolojik değişimlerin, arazi kullanım değişikliklerinin etkilerinden daha büyük olduğunu ortaya koymuştur (Musie vd., 2020). Bu durum, gelecekteki su kullanılabilirliğini öngörmek ve kaynakları etkin yönetmek için bölgesel su dengesi dinamiklerini anlamının önemini vurgulamaktadır (Sadhvani & Eldho, 2023). Ayrıca, değişen su dengesi tarım sistemleri için derin etkiler taşımaktadır. İklim değişikliğinin yağış desenlerini değiştirmesi, ürün sulama gereksinimlerini ve tarımsal verimliliği önemli ölçüde etkileyebilir. Özellikle nemli tropikal bölgelerde, su dengesi bileşenlerindeki değişiklikler tarım sistemlerini iklim değişkenliğine karşı daha kırılgan hale getirebilir ve bu durum sürdürülebilir yönetim uygulamalarını gerekli kılmaktadır (Berhane, 2018). Ayrıca, iklim değişikliği ile su dengesi arasındaki etkileşim, taşkın riski değerlendirmesi ve kuraklık analizleri gibi etkili bölgesel su yönetimi süreçleri için hayati öneme sahiptir (Hamed, 2023).

Google Earth Engine (GEE), yenilikçi uzaktan algılama ve coğrafi analiz yetenekleriyle sürdürülebilir ekolojik uygulamaları destekleyen önemli bir araç olarak öne çıkmıştır. Platform, araştırmacıların ve uygulayıcıların geniş ölçekli çevresel izleme ve değerlendirmeleri verimli bir şekilde gerçekleştirmelerine olanak tanıyan geniş bir coğrafi veri kümesi deposuna erişim sağlamaktadır. Bu erişilebilirlik, ormansızlaşma, sulak alan dinamikleri ve iklim değişikliğinin etkileri gibi ekosistemlerdeki değişimlerin zamanında tespit edilmesine imkân tanıyarak sürdürülebilir ekolojik uygulamalar için kritik öneme sahiptir (Duo vd., 2023; Li vd., 2020). GEE'nin bulut tabanlı altyapısı, kapsamlı yerel hesaplama kaynaklarına ihtiyaç duymadan büyük veri setlerini işleyebilme yeteneği sunarak önemli bir yenilik getirmektedir. Bu yetenek, özellikle çok zamanlı ve çok kaynaklı verilerin analizinde faydalı olup, ekolojik eğilimlerin zaman içinde anlaşılması için gereklidir (Gujrati & Jha, 2018; Prayogo, 2021). Ayrıca, platformun uydu görüntüleri ve iklim verileri gibi çeşitli veri kümelerini

entegre edebilme yeteneği, ekolojik değerlendirmeler ve karar verme süreçlerinde kullanımını daha da artırmaktadır (Amani vd., 2020).

Bu çalışmanın amacı, Malatya Havzası'nda 2018-2023 yılları arasında yağış (CHIRPS veri seti) ve evapotranspirasyon (MOD16 veri seti) arasındaki farkları hesaplayarak su dengesi dinamiklerini anlamak ve mekânsal-zamansal değişimlerini analiz etmektir. Çalışmanın önemi, özellikle iklim değişikliğinin etkileri altında, bölgesel su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için uzun vadeli eğilimleri ortaya koyması ve tarımsal planlama süreçlerine katkı sağlamasında yatmaktadır. Çalışma, uzaktan algılama ve Google Earth Engine tabanlı analiz yöntemleriyle yüksek çözünürlükte ve geniş kapsamlı veriler kullanarak su dengesi modellemesi açısından özgün bir değer taşımaktadır. Elde edilen bulgular, iklim değişikliğinin etkilerinin modellenmesi, mikro düzeyde su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi ve bölgesel ölçekte sürdürülebilir tarım uygulamalarının desteklenmesi için bilimsel bir temel sunmaktadır.

Materyal ve Metot

Çalışma Alanı

Malatya, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Fırat Havzası'nda yer almakta olup, doğusunda Karakaya Baraj Gölü, batısında Nurhak ve Akçababaçalı Dağları, güneyinde Malatya Dağları ve kuzeyinde Ayrancı Dağı ile çevrili bir coğrafi yapıya sahiptir. Havzanın en düşük kotları, Karakaya Baraj Gölü kıyısında 690 metre seviyesindeyken, çevresindeki dağlık alanlar yer yer 2500 metreyi aşan yükseltilere sahiptir (Avcı & Esen, 2019; BALCIOĞLU vd., 2022). Malatya Havzası, tipik karasal iklim etkileri altındadır. Yıllık ortalama sıcaklık değerleri 13-15°C arasında değişirken, yaz mevsimleri sıcak ve kurak, kış mevsimleri ise soğuk ve kar yağışlıdır. Meteorolojik veriler, 1975-2017 yılları arasında ortalama, maksimum ve minimum sıcaklıklarda belirgin bir artış eğilimi olduğunu göstermektedir. Örneğin, yıllık ortalama sıcaklık artışı bu dönemde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş ve 2040 yılına kadar bu artış eğiliminin devam edeceği öngörülmüştür. Yağış açısından incelendiğinde, Malatya Havzası'nda yıllık toplam yağışlarda azalma eğilimi olduğu ve özellikle bahar aylarında yağış gün sayısında bir düşüş yaşandığı belirtilmiştir. 2040 yılına kadar bu azalmanın sürmesi beklenmektedir. Yağış rejimindeki bu düzensizlikler, tarımsal faaliyetlerin planlanması açısından önemli bir unsur oluşturmaktadır (Avcı & Esen, 2019).

Kullanılan Uzaktan Algılama Veri Setleri

Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS), yüksek çözünürlüklü yağış tahminleri sağlamak için geliştirilmiş önemli bir küresel yağış veri setidir. Uydudan elde edilen yağış verilerini yer istasyonu gözlemleriyle entegre ederek çeşitli bölgelerdeki yağış modellerini izlemek ve analiz etmek için sağlam bir araç sunar. CHIRPS özellikle 0,05°'lik (yaklaşık 5 km) ince mekansal çözünürlüğü ve günlük, pentadal ve dekadal verileri içeren zamansal kapsamı ile dikkat çekmektedir ve bu da onu çok çeşitli hidrolojik ve klimatolojik uygulamalar için uygun hale getirmektedir (Dinku vd., 2018; Garcia vd., 2023). Bu çalışmada, 1 Ocak 2018 - 31 Aralık 2023 tarihleri aralığında, aylık yağış miktarlarını hesaplamak amacıyla “precipitation” bandı kullanılmıştır.

Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi (MODIS), NASA'nın sırasıyla 1999 ve 2002 yıllarında fırlatılan Terra ve Aqua uydularında bulunan önemli bir araçtır. MODIS, görünürden termal kızılötesi dalga boylarına kadar değişen 36 spektral bantta yüksek çözünürlüklü veriler sağlayarak Dünya gözleminde önemli bir rol oynamaktadır. Bu geniş spektral kapsam, MODIS'in kara yüzeyi sıcaklığı, bitki örtüsü ve atmosferik koşullar dahil olmak üzere çeşitli çevresel parametreleri izlemesine olanak tanımaktadır (Levy vd., 2013; Yang vd., 2017). MODIS verilerinin uygulamaları arasında, toprak buharlaşması ve bitki terlemesinden kaynaklanan birleşik su akışı olarak tanımlanan evapotranspirasyonun (ET) tahmin edilmesi yer almaktadır. MODIS ET ürünü MOD16, Penman-Monteith denkleminde dayalı algoritmalar kullanır ve 1 km'lik bir uzamsal çözünürlükte ET tahminleri üretmek için arazi örtüsü, yaprak alanı indeksi (LAI), albedo ve meteorolojik veriler (örneğin hava sıcaklığı, nem ve güneş radyasyonu) dahil olmak üzere çeşitli girdileri entegre eder (Kim vd., 2012; Mu vd., 2009; Słazek, 2014). Bu ürün, özellikle yerinde ölçümlerin seyrek olduğu veya mevcut olmadığı bölgelerde, çeşitli ekosistemlerdeki su dengesi ve enerji akışları hakkındaki anlayışımızı ilerletmek için özellikle değerlidir. Ampirik araştırmalar MOD16 ET ürününü çok çeşitli iklim ve arazi örtüsü koşulları altında doğrularak evapotranspirasyon dinamiklerini temsil etmedeki etkinliğini vurgulamıştır (Aguilar vd., 2018). Bu çalışmada, MODIS/006/MOD16A2 veri seti kullanılmıştır. Çalışmada, 500 m uzamsal ve 8 günlük kompozit zamansal çözünürlük olan ET bandından 1 Ocak 2018 - 31 Aralık 2023 zaman aralığına ait veriler kullanılmıştır.

Water Balance Hesaplanması

CHIRPS veri setinde, yağış verileri (P), 2018-2023 zaman aralığında her ayın toplam yağış miktarı olarak toplanmıştır (Eşitlik 1). Evapotranspirasyon (ET), MODIS veri setinden aylık toplam ET miktarını hesaplamak için kullanılmıştır (Eşitlik 2).

$$P_{y,m} = \sum_{\text{days}} P_{\text{CHIRPS}} \quad (1)$$

Burada, P yağış olmak üzere, her yıl (y) ve ay (m) için CHIRPS veri setinden yağış miktarıdır.

$$ET_{y,m} = \left(\sum_{\text{8-day composites}} ET_{\text{MOD16}} \right) \times 0.1 \quad (2)$$

Burada ET, evapotranspirasyon, MOD16 ise MOD16A2 veri seti olmak üzere, y yılı m ise ayı temsil etmektedir.

Her yıl ve ay için Su Dengesi, yağış (P) ile buharlaşma-terleme (ET) arasındaki fark alınarak Eşitlik 3'e göre hesaplanmıştır ve bu işlem her bir piksele ayrı ayrı uygulanmıştır:

$$WB_{y,m} = P_{y,m} - ET_{y,m} \quad (3)$$

Aylık hesaplanan tüm WB değerlerinin zaman içinde ortalaması alınarak çalışma alanının genel su dengesi haritası Eşitlik 4'e göre oluşturulmuştur:

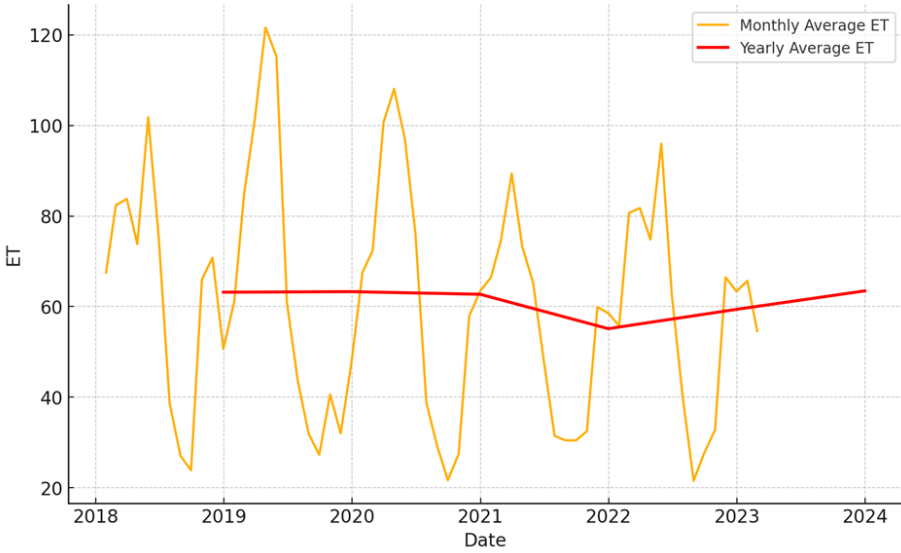
$$\overline{WB} = \frac{1}{N} \sum_{y=2018}^{2023} \sum_{m=1}^{12} WB_{y,m} \quad (4)$$

Burada N, toplam analiz edilen ay sayısını temsil etmektedir.

Bulgular ve Tartışma

Yıllık Evapotranspirasyon (ET) değerleri yaklaşık 58 mm - 65 mm arasında değişmektedir (Şekil 1). Bu, yıllık toplam ET'nin bölgesel iklim koşulları altında büyük dalgalanmalar göstermediğini ifade etmektedir. 2018'den 2022'ye kadar yıllık ortalama ET değerlerinde hafif bir azalma mevcuttur. 2018'de yıllık ortalama ET yaklaşık 67 mm iken, 2022'de bu değer yaklaşık 59 mm olarak gözlemlenmiştir (Şekil 1). 2020-2021 yıllarında ise ET değerlerinde belirgin bir düşüş vardır. Ancak, 2018 yılında ET değerlerinin genel olarak daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, 2018 yılının en yüksek sıcaklıkların gözlemlendiği yıllardan biri olmasıdır. 2018 yılı, 12.48°C'lik ortalama ile 2010 (12.53°C) ve 2020 (11.93°C) yılları ile birlikte sıcaklık

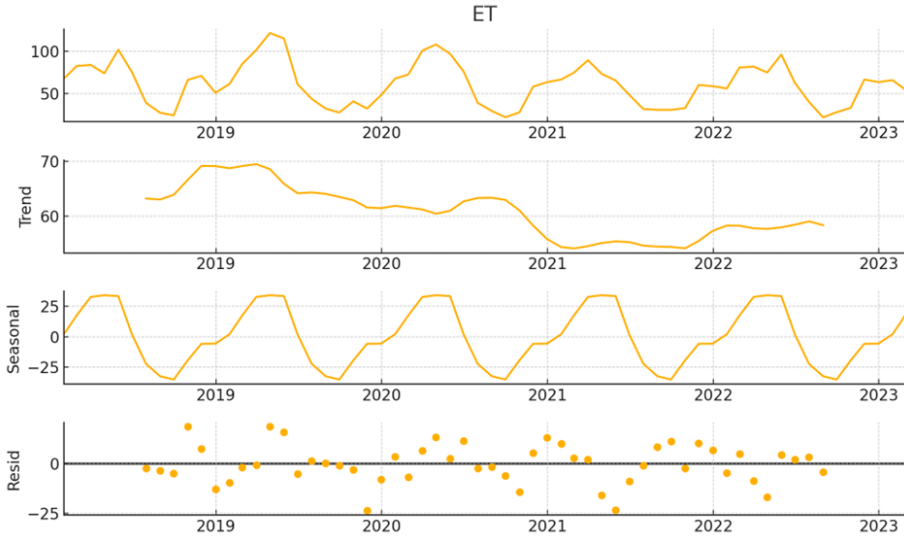
anomalilerinin zirve yaptığı yıllar arasında yer almaktadır. Özellikle bu dönemde ısıtıcı etkiler, Türkiye'deki uzun dönemli ısınma trendinin bir parçasıdır ve 2005 sonrası genel pozitif anomali eğilimlerinin bir yansımasıdır (Güler & Erlat, 2023). Sıcaklık anomalisinin ET üzerine etkisi literatürde de vurgulanmıştır. Nitekim, Ajjur & Al-Ghamdi, (2021), Orta Doğu ve Kuzey Afrika (MENA) bölgesindeki iklim değişikliğinin evapotranspirasyon (ET) ve su mevcudiyeti üzerindeki etkilerini incelemişlerdir ve MENA bölgesinde sıcaklık artışlarının, evapotranspirasyon kayıplarını artırarak su mevcudiyetini azalttığını bildirmişleridir. Benzer olarak araştırma alanında da sıcaklık artışı, azalan yağışlar veya belirli meteorolojik koşullar olduğu düşünülmektedir.



Şekil 1. Evapotranspirasyonda Aylık ve Yıllık Trendler

Evapotranspirasyon (ET) zaman serisinin mevsimsel ayrıştırma sonuçlarını göstermektedir. Trend bileşeni, 2018 ile 2021 yılları arasında ET değerlerinde belirgin bir azalma eğilimi ortaya koyarken, 2022 itibarıyla bu eğilim durağan bir seyir izlemektedir. Mevsimsel bileşen, ET'nin yıl boyunca düzenli bir döngü sergilediğini ve yaz aylarında maksimum (yaklaşık +25 mm), kış aylarında ise minimum (yaklaşık -25 mm) değerlere ulaştığını göstermektedir (Şekil 2). Bu durum, sıcaklık artışı ve bitki faaliyetinin yaz aylarında evapotranspirasyonu artırdığı, kış aylarında ise düşük sıcaklık ve azalan bitki faaliyeti nedeniyle buharlaşma ve transpirasyonun azaldığını ifade etmektedir. Nitekim, Wang vd., (2012), kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinden

yarı nemli ve nemli iklim bölgelerine geçiş gösteren Çin'in Yellow River Havzası üzerinde referans evapotranspirasyonun (ET0) uzun dönemli değişimlerini ve bu değişimlerin mekânsal ve mevsimsel farklılıklarını incelemeyi amaçlamışlardır. İlkbahar ve Yaz mevsimlerinde de ET'de artış görülmüştür. Özellikle yaz mevsiminde ET artışı, sıcaklık ve güneş ışığı süresinin etkisiyle daha belirgin hale gelmiştir. Tam tersi olarak sonbahar ve kış mevsimlerinde ET genellikle düşüş eğiliminde olmuştur. Araştırmacılar bunun nedeninin daha düşük sıcaklıklar ve sınırlı güneş ışığı süresi olduğunu bildirmişlerdir. Artık bileşen, trend ve mevsimsel etkiler çıkarıldıktan sonra ET değerlerinde gözlenen düzensizlikleri yansıtarak, belirli yıllarda iklimsel anomaliler, yerel etkiler veya veri kaynaklı hatalara işaret etmektedir. Genel olarak, bulgular ET'nin hem uzun vadeli değişimlere hem de güçlü mevsimsel varyasyonlara duyarlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 2. Seasonal Decomposition of Evapotranspiration (ET) Time Series

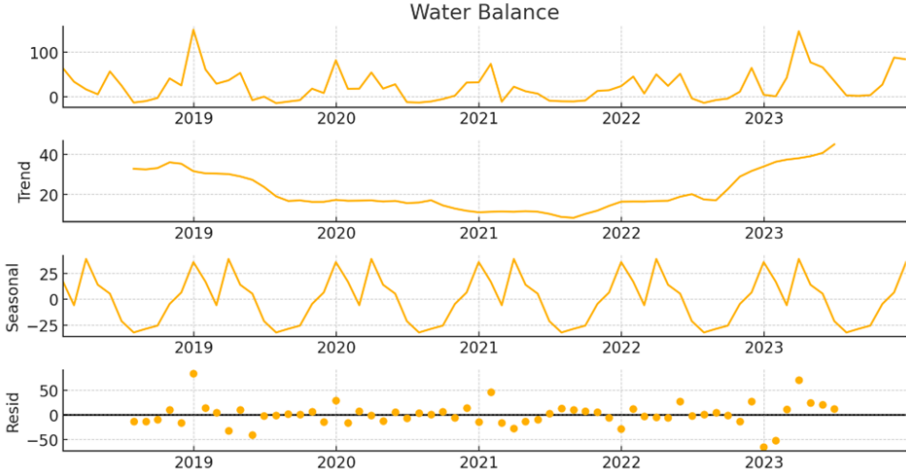
Su dengesi zaman serisinin mevsimsel ayrıştırma (seasonal decomposition) yöntemiyle analiz edilmesi sonucunda dört temel bileşenin incelenmesini sağlamıştır: orijinal zaman serisi, trend, mevsimsel bileşen ve artıklar (Şekil 3). İlk panelde yer alan orijinal zaman serisi, 2019-2023 yılları arasındaki toplam değişimleri göstermektedir. Veriler, dalgalı bir yapı sergilemekte ve özellikle 2019 ile 2023 yıllarında belirgin pikler gözlemlenmektedir. Bu durum, su dengesinde hem mevsimsel faktörlerden hem de ekstrem olaylardan kaynaklanan önemli değişikliklerin varlığına işaret

etmektedir. Serideki bu dalgalanmalar, mevsimsel desenler ve uzun vadeli eğilimlerin bir arada mevcut olduğunu göstermektedir. Trend bileşeni, uzun vadeli eğilimlerin analizine olanak tanımaktadır. 2019 yılı itibarıyla yüksek bir başlangıç eğilimi görülmekte, ancak 2020 ve 2021 yıllarında bu eğilimde belirgin bir azalma yaşanmıştır. Bununla birlikte, 2022 yılı itibarıyla trend yeniden yükselişe geçmiş ve 2023 yılı boyunca artış eğilimi devam etmiştir. Bu durum, son yıllarda su dengesinin genel olarak toparlanma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Uzun vadeli bu eğilim, çevresel ve iklimsel değişikliklerin etkilerini değerlendirmek açısından önem arz etmektedir. Mevsimsel bileşen, su dengesinin her yıl tekrar eden düzenli desenlerini ortaya koymaktadır. Bu bileşen, su dengesinin mevsimsel faktörlerden (örneğin yağış rejimi, buharlaşma ve tarımsal faaliyetler) düzenli olarak etkilendiğini göstermektedir. Her yıl benzer dönemlerde artışlar ve azalışlar yaşandığı görülmektedir, bu da mevsimsel döngülerin su dengesi üzerindeki etkilerinin istikrarlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Xu & Singh (1998), su dengesindeki mevsimsel değişimlerin temel olarak yağış, sıcaklık ve bitki örtüsü fenolojisindeki değişikliklerden kaynaklandığını bildirmişlerdir. Feng vd. (2015)'a göre, yağışlı mevsimlerde, artan yağışlar daha yüksek toprak nemi seviyelerine yol açarak evapotranspirasyon (ET) oranlarını artırabilir. Nitekim araştırmaları, mevsimsel olarak kurak iklimlerde yağışın ET, yüzeysel akış ve derin infiltrasyona bölünmesinin yağışın zamansal değişkenliğinden ve potansiyel ET'den önemli ölçüde etkilendiğini göstermiştir. Bu durum, yağışlı mevsimde suyun daha büyük bir kısmının ET için kullanılabilir olduğunu, kurak mevsimde ise azalan yağışların su kullanılabilirliğini sınırlayarak daha düşük ET'ye ve potansiyel toprak nemi açıklarına yol açtığını göstermektedir. Berghuijs vd. (2014)'a göre, yağışların zamanlaması mevsimsel su dengesinde kritik bir rol oynamaktadır. Tropikal ve Akdeniz iklimleri gibi farklı yağışlı ve kurak mevsimlere sahip bölgelerde su dengesi önemli ölçüde dalgalanabilir. Araştırmalarında, kar erimesi ve yağış zamanlamasının, dağlık bölgelerdeki su dengesinin önemli bir bileşeni olan akarsu akışı değişkenliğine katkıda bulunduğunu belirtmiştir. Karın mevsimsel olarak birikmesi ve erimesi, akarsu akışında farklı zirveler oluşturarak yılın farklı zamanlarında ekosistemler için genel su mevcudiyetini etkileyebilir.

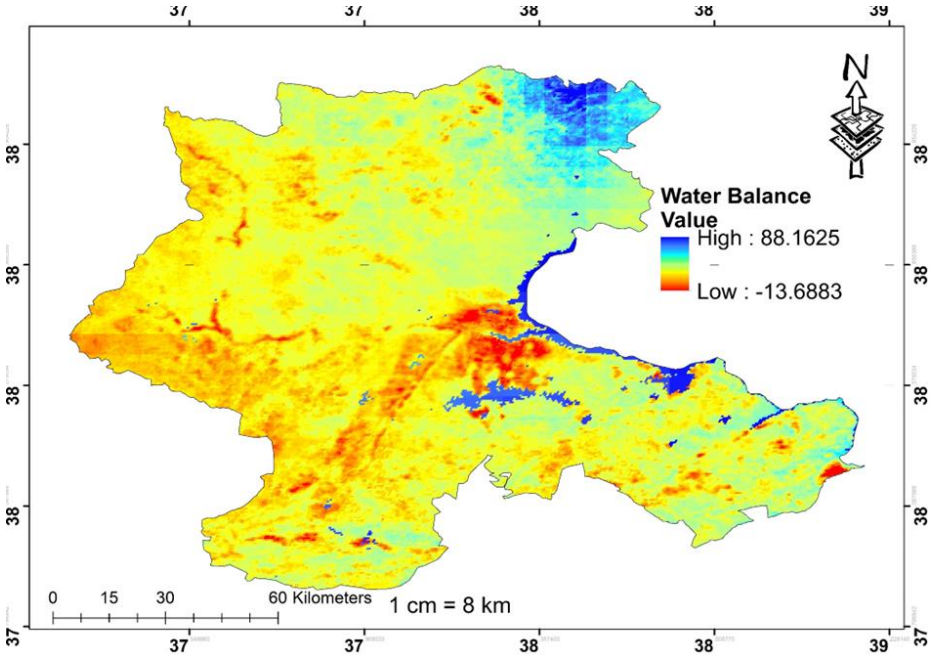
Artıklar (residuals) bileşeni, trend ve mevsimsel etkiler çıkarıldıktan sonra veride kalan rastgele varyasyonları temsil etmektedir. Bu bileşen, modele dahil edilmeyen dış faktörlerin veya ekstrem olayların etkisini değerlendirmek

açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle 2019 ve 2023 yıllarında önemli sapmalar gözlemlenmiştir; bu durum, ekstrem meteorolojik olayların veya bölgesel faktörlerin su dengesi üzerindeki etkilerini incelemeyi gerektirebilir.



Şekil 3. Su Dengesi Zaman Serilerinin Mevsimsel Ayrıştırılması

Çalışma alanına ait su dengesi değerlerinin mekânsal dağılımını Şekil 4'de görülmektedir. Su dengesi değerleri, yüksek (88.16) ve düşük (-13.69) seviyeler arasında değişim göstermektedir. Araştırma alanının kuzeydoğu kesiminde su dengesi değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, haritanın güney ve güneydoğu kesimlerinde su dengesi değerlerinin düşük olduğu alanlar dikkat çekmektedir. Mekânsal analiz, su dengesi değişkenliğinin homojen olmadığını ve bölgenin farklı alanlarında belirgin su dengesi gradyanlarının bulunduğunu göstermektedir. Yüksek su dengesi değerlerine sahip bölgeler, genellikle kuzeydoğuya odaklanırken, düşük su dengesi değerleri güneyde ve yer yer batıda daha yoğunlaşmıştır.



Şekil 4. Çalışma Alanı Genelinde Su Dengesi Değerlerinin Mekânsal Dağılımı

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma, Malatya Havzası'nda su dengesi dinamiklerini anlamaya yönelik kapsamlı bir analiz sunmuştur. Bölgedeki evapotranspirasyon ve yağış verilerinin zamansal ve mekânsal dağılımı incelenerek, yıllar boyunca değişen iklimsel ve çevresel faktörlerin etkileri değerlendirilmiştir. Bulgular, yıllık evapotranspirasyon değerlerinde belirgin mevsimsel desenler ve uzun vadeli eğilimler olduğunu göstermektedir. Özellikle yaz mevsimlerinde artan evapotranspirasyon, sıcaklık artışı ve bitki faaliyetleri ile ilişkilendirilirken, kış mevsimlerinde buharlaşma ve terlemenin azaldığı gözlemlenmiştir. Su dengesi analizleri, bölgenin kuzeydoğu kesimlerinde yüksek su dengesi değerlerine sahip alanların varlığını, güney ve güneydoğu kesimlerinde ise düşük su dengesi değerlerinin yoğunlaştığını ortaya koymuştur. Bu mekânsal farklılıklar, bölgedeki su yönetimi stratejilerinin mikro düzeyde planlanması gerektiğini vurgulamaktadır. Sonuç olarak, çalışma, Malatya Havzası'nda iklim değişikliği ve meteorolojik değişkenlerin su kaynakları üzerindeki etkilerini ortaya koyarak, sürdürülebilir su yönetimi ve tarımsal planlama için önemli veriler sağlamıştır. Elde edilen sonuçlar, özellikle iklim değişikliği senaryolarının bölgesel su kaynakları üzerindeki etkilerinin modellenmesi ve bu bağlamda önlemlerin alınması açısından önemli bir temel oluşturmaktadır. Bu bağlamda,

gelecek çalışmaların iklimsel değişkenlerin daha geniş veri setleriyle analizi ve bölgesel ölçekte uygulanabilir stratejiler geliştirilmesi yönünde genişletilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Aguilar, A. L., Flores, H., Crespo, G., Marín, M. I., Campos, I., & Calera, A. (2018). Performance assessment of MOD16 in evapotranspiration evaluation in Northwestern Mexico. *Water (Switzerland)*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/w10070901>
- Ajjur, S. B., & Al-Ghamdi, S. G. (2021). Evapotranspiration and water availability response to climate change in the Middle East and North Africa. *Climatic Change*, 166(3–4), 28. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03122-z>
- Amani, M., Ghorbanian, A., Ahmadi, S. A., Kakoei, M., Moghimi, A., Mirmazloumi, S. M., Moghaddam, S. H. A., Mahdavi, S., Ghahremanloo, M., Parsian, S., Wu, Q., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 5326–5350. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3021052>
- Avcı, A., & Esen, F. (2019). Malatya Havzası'nda Sıcaklık ve Yağışın Trend Analizi. *İnönü Üniversitesi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(1), 230–246.
- Balcıoğlu, Y. E., Kaya, C., & Demircan, M. (2022). İklim Değişikliğinin Malatya İlinde Kayısı Rekoltesi ve Coğrafi Dağılışına Etkileri. *JENAS Journal of Environmental and Natural Studies*, 4(2), 119–146. <https://doi.org/10.53472/jenas.1136337>
- Berghuijs, W. R., Sivapalan, M., Woods, R. A., & Savenije, H. H. G. (2014). Patterns of similarity of seasonal water balances: A window into streamflow variability over a range of time scales. *Water Resources Research*, 50(7), 5638–5661. <https://doi.org/10.1002/2014WR015692>
- Berhane, A. (2018). Climate Change and Variability Impacts on Agricultural Productivity and Food Security. *Journal of Climatology & Weather Forecasting*, 06(03). <https://doi.org/10.4172/2332-2594.1000240>
- Cadro, S., Miseckarte, O., Gavric, T., Baublys, R., & Zurovec, J. (2018). Impact of Climate Change on the Annual Water Balance in a Humid Climate. *The Journal "Agriculture and Forestry,"* 64(4). <https://doi.org/10.17707/agricultforest.64.4.15>
- Dinku, T., Funk, C., Peterson, P., Maidment, R., Tadesse, T., Gadain, H., & Ceccato, P. (2018). Validation of the CHIRPS satellite rainfall estimates

- over eastern Africa. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 144, 292–312. <https://doi.org/10.1002/qj.3244>
- Duo, L., Wang, J., Zhang, F., Xia, Y., Xiao, S., & He, B. J. (2023). Assessing the Spatiotemporal Evolution and Drivers of Ecological Environment Quality Using an Enhanced Remote Sensing Ecological Index in Lanzhou City, China. *Remote Sensing*, 15(19). <https://doi.org/10.3390/rs15194704>
- Feng, X., Porporato, A., & Rodriguez-Iturbe, I. (2015). Stochastic soil water balance under seasonal climates. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 471(2174). <https://doi.org/10.1098/rspa.2014.0623>
- Garcia, E. V., Hernandez, J. C. M., De Lourdes Romo Aguilar, M., Concepción, F. O. G., & Aja, R. C. (2023). Potential of the CHIRPS Database for Extreme Precipitation Risk Studies. Assessment in the State of Jalisco (Mexico). *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 18(3), 847–855. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.180320>
- Gujrati, A., & Jha, V. B. (2018). SURFACE WATER DYNAMICS of INLAND WATER BODIES of India USING GOOGLE EARTH ENGINE. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4(5), 467–472. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-5-467-2018>
- Güler, H., & Erlat, E. (2023). Türkiye’de 1950-2022 Döneminde Ortalama Hava Sıcaklıklarında Gözlenen Değişim ve Eğilimler. *Ege Coğrafya Dergisi*, 32(1), 1–17. <https://doi.org/10.51800/ecd.1281319>
- Hamed, M. H. (2023). Climate Parameter Uses as Indices For Assessment of Climate Change and Water Balance in Erbil Sub-Basin North –Iraq. *Iraqi Journal of Science*, 64(9), 4518–4537. <https://doi.org/10.24996/ij.s.2023.64.9.19>
- Kim, H. W., Hwang, K., Mu, Q., Lee, S. O., & Choi, M. (2012). Validation of MODIS 16 global terrestrial evapotranspiration products in various climates and land cover types in Asia. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 16(2), 229–238. <https://doi.org/10.1007/s12205-012-0006-1>
- Levy, R. C., Mattoo, S., Munchak, L. A., Remer, L. A., Sayer, A. M., Patadia, F., & Hsu, N. C. (2013). The Collection 6 MODIS aerosol products over land and ocean. *Atmospheric Measurement Techniques*, 6(11), 2989–3034. <https://doi.org/10.5194/amt-6-2989-2013>

- Li, Q., Qiu, C., Ma, L., Schmitt, M., & Zhu, X. X. (2020). Mapping the land cover of africa at 10 m resolution from multi-source remote sensing data with google earth engine. *Remote Sensing*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/rs12040602>
- Mu, Q., Jones, L. A., Kimball, J. S., McDonald, K. C., & Running, S. W. (2009). Satellite assessment of land surface evapotranspiration for the pan-Arctic domain. *Water Resources Research*, 45(9). <https://doi.org/10.1029/2008WR007189>
- Musie, M., Sen, S., & Chaubey, I. (2020). Hydrologic responses to climate variability and human activities in Lake Ziway Basin, Ethiopia. *Water (Switzerland)*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/w12010164>
- Prayogo, L. M. (2021). Mangrove Vegetation Mapping Using Sentinel-2A Imagery Based on Google Earth Engine Cloud Computing Platform. *International Journal of Science, Engineering and Information Technology*, 6(1), 249–255. <https://doi.org/10.21107/ijseit.v6i1.12175>
- Sadhwani, K., & Eldho, T. I. (2023). Assessing the Vulnerability of Water Balance to Climate Change at River Basin Scale in Humid Tropics: Implications for a Sustainable Water Future. *Sustainability (Switzerland)*, 15(11). <https://doi.org/10.3390/su15119135>
- Słazek, M. (2014). Analysis of evapotranspiration in the catchment of the Nurzec River, Poland using MODIS data. *Miscellanea Geographica*, 18(1), 44–51. <https://doi.org/10.2478/mgrsd-2014-0008>
- Wang, W., Shao, Q., Peng, S., Xing, W., Yang, T., Luo, Y., Yong, B., & Xu, J. (2012). Reference evapotranspiration change and the causes across the Yellow River Basin during 1957–2008 and their spatial and seasonal differences. *Water Resources Research*, 48(5). <https://doi.org/10.1029/2011WR010724>
- Xu, C. Y., & Singh, V. P. (1998). A Review on Monthly Water Balance Models for Water Resources Investigations. *Water Resources Management*, 12(1), 20–50. <https://doi.org/10.1023/a:1007916816469>
- Yang, A., Zhong, B., Wu, S., & Liu, Q. (2017). Evaluation on radiometric capability of Chinese optical satellite sensors. *Sensors (Switzerland)*, 17(1). <https://doi.org/10.3390/s17010204>.



ISBN: 978-625-378-019-7