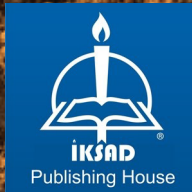


TARLA BİTKİLERİ ÜRETİMİNDE GELİŞMELER, SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM UYGULAMALARI VE TİCARET POTANSİYELİ

EDİTÖR
Prof. Dr. Rüveyde TUNÇTÜRK



TARLA BİTKİLERİ ÜRETİMİNDE GELİŞMELER, SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM UYGULAMALARI VE TİCARET POTANSİYELİ

EDİTÖR

Prof. Dr. Rüveyde TUNÇTÜRK

YAZARLAR

Prof. Dr. Murat TUNÇTÜRK

Prof. Dr. Rüveyde TUNÇTÜRK

Prof. Dr. Tamer ERYİĞİT

Doç. Dr. Ali Rahmi KAYA

Doç. Dr. Aylin KABAŞ

Doç. Dr. Erol ORAL

Doç. Dr. Fevzi ALTUNER

Doç. Dr. Haluk KULAZ

Doç. Dr. İbrahim ÇELİK

Doç. Dr. Selman ULUIŞIK

Doç. Dr. Solmaz NAJAFI

Dr. Öğr. Üyesi Burak ÖZDEMİR

Dr. Öğr. Üyesi Emre KAYGUSUZ

Dr. Öğr. Üyesi Lütüf NOHUTÇU

Dr. Öğr. Üyesi Meriç BALCI

Dr. İshak BARAN

Öğr. Gör. Dr. Ezelhan ŞELEM

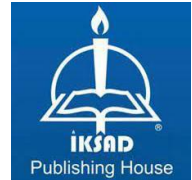
Dr. Yudum BURCU

Öğr. Gör. Fatih ERDİN

Ziraat Yük. Müh. İlhan SADIKOĞLU

Doktora Öğrencisi İsa KIRAN

Y.L. Öğrencisi Kübra ÇAĞLAYAN



Copyright © 2025 by iksad publishing house

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or transmitted in any form or by

any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social

Researches Publications®

(The Licence Number of Pubicator: 2014/31220)

TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75

USA: +1 631 685 0 853

E mail: iksadyayinevi@gmail.com

www.iksadyayinevi.com

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

Iksad Publications – 2025©

ISBN: 978-625-378-388-4

Cover Design: İbrahim KAYA

November / 2025

Ankara / Türkiye

Size: 16x24cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	1
------------	---

BÖLÜM 1

TARLA BİTKİLERİNDE VERİM VE KALİTE KAYIPLARI

Doç. Dr. Erol ORAL.....	3
-------------------------	---

BÖLÜM 2

TAHİL-BAKLAGİL KARIŞIK EKİM VE BESİN SİNERJİLERİ: BİYOLOJİK AZOT FİKSASYONU (BNF) KATKISI, P-ZN ETKİLEŞİMLERİ VE GÜBRE AZALTIM POTANSİYELİ

Dr. Öğr. Üyesi Meriç BALCI.....	27
---------------------------------	----

BÖLÜM 3

DÜNYA VE TÜRKİYE TAHİL TARIMI ÜZERİNE GÜNCEL DEĞERLENDİRMELER

Doç. Dr. Fevzi ALTUNER

Prof. Dr. Tamer ERYİĞİT

Dr. Öğr. Üyesi Burak ÖZDEMİR.....	73
-----------------------------------	----

BÖLÜM 4

BİTKİ HORMONLARININ FİZYOLOJİK ETKİLERİ VE ETKİ MEKANİZMALARI

Öğr. Gör. Fatih ERDİN

Doç. Dr. Haluk KULAZ

Dr. İshak BARAN.....	109
----------------------	-----

BÖLÜM 5

ANADOLU’NUN ALTIN ÇİÇEĞİ SAFRAN (*Crocus sativus* L.) BİTKİSİNİN ÜRETİMİ VE EKONOMİK POTANSİYELİ

Ziraat Yük. Müh. İlhan SADIKOĞLU

Prof. Dr. Rüveyde TUNÇTÜRK

Prof. Dr. Murat TUNÇTÜRK.....	131
-------------------------------	-----

BÖLÜM 6

TARIMDA YAPAY ZEKÂ UYGULAMALARI, SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Prof. Dr. Tamer ERYİĞİT,

Doç. Dr. Fevzi ALTUNER

Doç. Dr. Ali Rahmi KAYA.....165

BÖLÜM 7

TARLA BİTKİLERİNDE VERİM VE KALİTE KAYIPLARI

Dr. Yudum BURCU

Prof. Dr. Rüveyde TUNÇTÜRK.....215

BÖLÜM 8

TOPRAK BÜNYESİNDEKİ ENZİMLERİN İŞLEVLERİ VE BİTKİLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Dr. İshak BARAN

Doç. Dr. Haluk KULAZ

Öğr. Gör. Fatih ERDİN.....229

BÖLÜM 9

VAN İLİNİN ENDÜSTRİ BİTKİLERİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Öğr. Gör. Dr. Ezelhan ŞELEM

Prof. Dr. Murat TUNÇTÜRK.....255

BÖLÜM 10

YEŞİL GÜBRELEME SÜREÇLERİNDE TOPRAK İŞLEME MEKANİZASYONU: PRENSİPLER, UYGULAMALAR VE VERİMLİLİK ANALİZİ

Dr. Öğr. Üyesi Emre KAYGUSUZ.....275

BÖLÜM 11

BİTKİLERDE YÜKSEK SICAKLIK STRESİNE FİZYOLOJİK VE MOLEKÜLER YAKLAŞIMLAR

Doç. Dr. İbrahim ÇELİK

Doç. Dr. Aylin KABAŞ

Doç. Dr. Selman ULUIŞIK.....295

BÖLÜM 12

ÖLMEZ ÇİÇEK (*Helichrysum arenarium* (L.) Moench) BİTKİSİNİN BİYOAKTİF BİLEŞENLERİ VE TERÖPATİK KULLANIMI

Dr. Öğr. Üyesi Lütfi NOHUTÇU

Prof. Dr. Murat TUNÇTÜRK.....307

BÖLÜM 13

TARIM ÜRÜNLERİNİN İTHALATINDA GÜMRÜK VERGİLERİNİN ROLÜ

Y.L. Öğrencisi Kübra ÇAĞLAYAN

Prof. Dr. Murat TUNÇTÜRK.....327

BÖLÜM 14

BİTKİSEL KAYNAKLI POLİHERBAL FORMÜLASYONLARIN ANTİDİYABETİK ROLÜNÜN ARAŞTIRILMASI

Doktora Öğrencisi İsa KIRAN

Prof. Dr. Rüveyde TUNÇTÜRK.....361

BÖLÜM 15

BİTKİSEL ÜRETİMDE VERİM VE KALİTEYİ ARTTIRAN YENİLİKÇİ UYGULAMALAR

Doç. Dr. Solmaz NAJAFI

Dr. Öğr. Üyesi Burak ÖZDEMİR.....383

ÖNSÖZ



Tarım sektörü, insanlığın varoluşundan bu yana temel geçim kaynaklarından biri olmuş, ekonomik ve toplumsal gelişmenin itici gücü olarak önemini her dönemde korumuştur. Günümüzde artan nüfus, iklim değişikliği, doğal kaynakların azalması ve küresel gıda güvenliği sorunları, tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini her zamankinden daha kritik bir duruma getirmiştir. Tarla bitkileri üretiminde yaşanan yenilikler, modern teknolojilerin kullanımı, verimliliği arttırmaya yönelik sürdürülebilir uygulamalar ve  evre dostu üretim yöntemleri büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, tarla bitkileri üretimi, hem gıda güvenliği hem de ekonomik kalkınma açısından stratejik bir konumda yer almakta; modern tarımın dönüşüm sürecinde belirleyici bir rol üstlenmektedir.

Tarla bitkileri üretiminde son yıllarda kaydedilen bilimsel ve yenilikçi yaklaşımları, sürdürülebilir tarım uygulamalarını ve küresel ticaret potansiyelini bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirmeyi amaçlayan bu çalışmada, tarımsal üretimde verimlilik, kalite ve çevresel duyarlılığın nasıl dengelenebileceğine ilişkin güncel yaklaşımlar da tartışılmaktadır. Bu eser, hem akademik çevreler hem de tarım sektörü paydaşları için yol gösterici bir kaynak olmayı hedeflemektedir. Bu çalışmanın hazırlanmasında katkı sağlayan tüm bilim insanlarına teşekkür ederim.

Yayın Editörü

Kasım, 2025

Prof. Dr. Rüveyde TUNÇTÜRK

BÖLÜM 1

TARLA BİTKİLERİNDE VERİM VE KALİTE KAYIPLARI

Doç. Dr. Erol ORAL¹

<https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17635405>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye.
eroloral@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-9413-1092

GİRİŞ

Tarla bitkilerinde verim ve kalite kayıpları, üreticiler açısından yalnızca ürün miktarında azalma anlamına gelmez; aynı zamanda ekonomik gelir kayıplarına, girdi maliyetlerinin karşılanamamasına ve pazar rekabetinde geri kalmaya da neden olmaktadır. Bu kayıplar, ürünün hem fiziksel verimini hem de içerik kalitesini olumsuz etkileyerek, pazarlanabilirliğini düşürdüğü gibi ürünün alıcı bulma ihtimalinin azalmasına veya daha düşük fiyatlarla satılmasına neden olmaktadır (FAO, 2021). Ayrıca ürünün işlenebilirlik özelliği, depolama dayanıklılığı ve tüketici taleplerine uygunluğunun da azaldığı görülmektedir. Verim ve kalite kayıpları; iklim koşullarının (kuraklık, don, aşırı sıcaklık vb.) olumsuz etkileri, zararlı organizmaların (hastalıklar, böcekler, yabancı otlar) tarlaya zarar vermesi, yanlış veya yetersiz tarımsal uygulamalar (yanlış gübreleme, hatalı sulama, uygun olmayan ekim zamanı), hasat ve hasat sonrası işlemlerdeki ihmaller (geç hasat, kötü depolama, biçerdöver kayıpları) ve bölgeye uygun olmayan veya düşük kaliteli çeşitlerin tercih edilmesi gibi çok çeşitli faktörlerin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır (Özdemir, 2013). Bu durumlar, üretim sürecinin tüm aşamalarında dikkat ve bilgi gerektirdiğini, aksi takdirde tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilirliğinin tehlikeye gireceğini göstermektedir. Tarla bitkilerinde verim ve kalite kayıplarına neden olan başlıca nedenler aşağıdaki gibi sıralanmaktadır. TÜİK'in 2025 yılı ilk bitkisel üretim tahminlerine göre, iklim kaynaklı etkilerle ciddi düşüşler yaşanması beklenmektedir. 2024 ve 2025'te birçok ürünün üretiminde düşüş yaşanmaktadır. Buğday, arpa, patates, şeker pancarı gibi temel ürünler, hem 2024'te hem 2025'te ciddi kayıplar meydana gelmiştir. Özellikle yulaf'ta 2025 yılında sert bir düşüş (%23,1) öngörülmektedir. Çavdar ve soya gibi ürünlerde de hem rekolte düşük hem azalış yüksek; bu da kırılgan üretim yapısının bir sonucu olarak değerlendirilmektedir (Tablo 1).

Tablo 1: Belli ürünlerdeki azalışlar (Tahmini)

Ürünler	2024		2025 (Tahmini)	
	Azalış Miktarı (%)	Yıllık Rekolte(ton/yıl)	Azalış Miktarı (%)	Yıllık Rekolte(ton/yıl)
Buğday	5.5	20.8	5.8	19.6
Arpa	12.0	8.1	7.5	7.5
Çavdar	15.7	0.257	5.5	0.243
Yulaf	4.8	0.390	23.1	0.300
Mısır	10.0	8.1	4.9	8.5
Patates	21.1	6.9	13.0	6.0
Soya	30.9	0.180	11.1	0.160
Ayçiçeği	0.1	2.2	4.8	2.3
Şekerpancarı	8.9	23.0	6.5	21.5

TUIK (2024, 2025 c)

Tarla bitkilerinde verim ve kalite kayıplarının başlıca nedenleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

1.İKLİMSSEL FAKTÖRLERDEN KAYNAKLI KAYIPLAR

İklimsel faktörler, tarla bitkilerinin büyüme ve gelişme süreçlerinde belirleyici bir rol oynar. Özellikle kuraklık, aşırı sıcaklık, don olayları ve ani iklim değişiklikleri gibi olumsuz hava koşulları, bitkilerin fizyolojik faaliyetlerini olumsuz etkileyerek hem verim hem de kalite kayıplarına yol açmaktadır. Bu stres faktörleri, bitkide erken yaşlanma, gelişme geriliği, tane dökülmesi ve hastalıklara karşı direncin azalması gibi sorunlara neden olur. Dolayısıyla, iklimsel risklerin yönetilmesi ve uygun tarımsal uygulamalarla desteklenmesi, tarımsal üretimin sürdürülebilirliği için büyük önem taşımaktadır (Yılmaz, 2015). Bu kayıplara neden olan bazı iklimsel sebeplerden bazıları aşağıdaki gibidir (Şekil 1).



Şekil 1: Tarla bitkilerinde iklim kaynaklı kayıplar (Anonim, 2025a).

1.1. Kuraklık

Kuraklık, tarla bitkilerinde suyun yetersizliği nedeniyle bitkinin temel fizyolojik süreçlerinin bozulmasına yol açmaktadır. Bitki, su stresine maruz kaldığında fotosentez etkinliği azalır, hücre büyümesi yavaşlar ve metabolik faaliyetler olumsuz etkilenmektedir. Bu durum özellikle çiçeklenme ve tane tutumu dönemlerinde kritik öneme sahiptir; zira su yetersizliği, çiçek dökümüne ve tane sayısında azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir (Karam, 2016). Sonuç olarak, kuraklık stresi altında bitkilerde verim ciddi oranda düşerken, ürün kalitesi de olumsuz etkilenir. Ayrıca kuraklık, bitkide erken olgunlaşma ve gelişme geriliğine sebep olarak, tarımsal üretimde önemli kayıpların bir sebebidir (Farooq vd., 2009).

1.2. Aşırı yağış

Aşırı yağış, toprakta suyun aşırı birikmesine neden olarak kök bölgesinde oksijen yetersizliği oluşturur ve kök çürümesi gibi fizyolojik bozukluklara yol açar. Yüksek nem, mantar ve bakteriyel hastalıkların yayılmasını hızlandırırken, hasat işlemlerinde gecikmelere neden olarak ürün kalitesini olumsuz etkiler (Gupta ve Abrol, 2012).

1.3. Don zararı

Don zararı, özellikle genç fide dönemindeki tarla bitkileri için kritik bir stres faktörüdür. Düşük sıcaklıklar, hücre içindeki suyun donmasına yol açarak hücre zarlarının yapısını bozar ve hücre ölümü gerçekleşir. Bu fizyolojik hasar, bitkinin büyüme ve gelişmesini engeller, yapraklarda nekroz ve kurumaya sebep olur. Ağır don olaylarında ise fide tamamen zarar görerek ölür. Don zararları bitkide strese neden olurken, hastalıklara karşı direncin azalmasına da yol açar. Bu nedenle, don riskinin yüksek olduğu bölgelerde don önleyici uygulamalar ve erken uyarı sistemlerinin kullanılması üretim başarısı için önemlidir (Ashworth, 2008).

1.4. Dolu ve fırtına

Dolu ve fırtına, tarla bitkilerinde önemli mekanik zararlar oluşturmaktadır. Dolu taneleri bitki yapraklarını yırtar, gövde ve başaklarda kırılmalara neden olur; bu da fotosentez alanının azalmasına ve bitkinin besin üretim kapasitesinin düşmesine yol açmaktadır. Özellikle başak kırılması, tane tutumunu olumsuz etkileyerek verim kaybına direkt katkıda bulunduğu tespit edilmiştir. Şiddetli fırtına rüzgarları ise bitkileri devirebilir veya gövde ve dallarını kırabilir, böylece hasat verimliliğini azaltmaktadır. Ayrıca, yaprak kaybı bitkinin büyüme ve gelişmesini sınırlar, ürün kalitesinde düşüşe neden olur. Bu mekanik zararlar hem verim hem de ürün kalitesi üzerinde ciddi olumsuz etkiler meydana getirdiği bildirilmiştir (Gregory ve George, 2011)

Sonuç olarak, bitki uygun çevresel koşullar sağlanamadığında veya çeşitli stres faktörlerine maruz kaldığında yeterince gelişemez. Gelişimindeki aksaklıklar, bitkinin fotosentez kapasitesinin azalmasına, besin ve su alımında yetersizliğe yol açmaktadır. Bu durum, özellikle üreme organlarının başak, meyve veya tohumların oluşumunu engeller veya eksik kalmasına neden olmaktadır. Bitki bu nedenle tam potansiyeline ulaşamaz, tane sayısı ve ağırlığı düşer. Neticede, tarımsal üretimde verim ciddi oranda azaltılmaktadır. Üründe verim düşüklüğü hem üreticinin ekonomik kayıplar yaşamasına hem de piyasa arzında azalmaya yol açar, dolayısıyla gıda güvenliği üzerinde olumsuz etkiler yarattığı kaçınılmaz bir sonuçtur.

2. ZARARLILAR VE HASTALIKLARDAN KAYNAKLI KAYIPLAR

Tarla bitkilerinde zararlılar ve hastalıklar, üretim sürecinde önemli verim ve kalite kayıplarına yol açan biyotik stres faktörleridir. Bu organizmalar, bitkinin besin alımını engellemekten, dokularda doğrudan zarar vermeye kadar birçok farklı mekanizma ile bitki sağlığını olumsuz etkilemektedir (Şekil 2). Zararlıların ve hastalık etmenlerinin yoğunluğu ve türüne bağlı olarak, ürün miktarında ciddi azalmalar ve pazar değerinde düşüşler gözlenebilir. Etkili mücadele yöntemlerinin uygulanmaması halinde, ekonomik kayıplar büyüyerek tarımsal sürdürülebilirliği tehdit eder bir aşamaya geçebilmektedir (Pedigo ve Rice, 2009).



Şekil 2: Zararlı ve hastalıklardan kaynaklı kayıplar (Anonim, 2025b).

2.1. Fungal hastalıklar

Fungal hastalıklar, tarla bitkilerinde sıkça rastlanan ve ciddi verim ile kalite kayıplarına yol açan mikrobiyal enfeksiyonlardır. *Septoria*, yapraklarda lezyonlar oluşturarak fotosentez alanını daraltır ve bitkinin besin üretimini sınırlamaktadır. *Pas* hastalıkları (*Puccinia* türleri) yaprak, sap ve başaklarda spor kümeleri oluşturarak bitkinin gelişimini olumsuz etkilediği görülmektedir. Kök çürüklüğü hastalıkları ise, genellikle *Fusarium* ve *Rhizoctonia* gibi

patojenlerin neden olduğu, köklerde çürümeye yol açarak bitkinin su ve besin alımını sekteye uğratmaktadır. Bu durum, bitkide zayıflamaya, büyüme geriliğine ve ölümüne neden olabilir. Fungal hastalıklar, uygun çevresel koşullar ve yoğun enfeksiyonlarda hızla yayılabilir, bu da ürün verim ve kalitesinde önemli düşüslere sebep olmaktadır. Etkili kontrol yöntemleri uygulanmazsa, tarımsal üretimde büyük ekonomik kayıplar yaşanmaktadır (Lucas, 2011).

2.2. Viral ve bakteriyel hastalıklar

Tarla bitkilerinde görülen viral ve bakteriyel hastalıklar, bitki sağlığını tehdit eden ciddi biyotik stres faktörleri arasında yer almaktadır. Bu hastalıklar, enfekte bitkilerde fizyolojik işlevleri bozar, büyüme ve gelişmeyi sınırlar, verimi ve ürün kalitesini önemli ölçüde düşürdüğü görülmektedir (Schaad et al., 2001).

Viral hastalıklar, genellikle vektör böcekler (örneğin yaprak bitleri, beyaz sinekler, tripsler) aracılığıyla taşınır ve sistemik şekilde bitki dokularında yayılmaktadır. En bilinen örneklerden biri, buğdayda görülen Arpa sarı cücelik virüsü (BYDV)'dür. Viral enfeksiyonlar yapraklarda renk değişimleri, mozaik desenleri, kıvrılmalar ve bodur gelişme gibi semptomlara neden olmaktadır. Bitkilerde fotosentez etkinliği azalır, başaklanma yetersiz kalır ve dolayısıyla verim ciddi biçimde düşmektedir. Virüslere karşı etkili kimyasal tedavi olmadığından, vektör kontrolü ve dayanıklı çeşit kullanımı ön plana çıkmaktadır.

Bakteriyel hastalıklar ise genellikle yaralardan, stomalardan veya doğal açıklıklardan bitkiye girer. Bakteriler, dokular arasında yayılırken lezyonlara, yanıklıklara, yaprak, gövde veya meyvede su kaybına ve doku çürümesine yol açabilir. Örneğin, baklagillerde yaygın görülen bakteriyel yanıklık (*Xanthomonas* spp.), yapraklarda düzensiz sararma ve nekrotik lekelerle kendini gösterir. Bakteriyel hastalıklar da verimi azaltmakla kalmaz, aynı zamanda depolama sırasında da kaliteyi olumsuz etkileyebilmektedir. Her iki hastalık grubu da tarla bitkilerinde ürün kayıplarına neden olmakta ve ekonomik olarak çiftçiler için büyük tehdit oluşturmaktadır. Entegre hastalık yönetimi, hijyenik tarım uygulamaları ve hastalığa dayanıklı çeşitlerin kullanımı bu tür hastalıklarla mücadelede temel stratejidir (Schaad vd., 2001).

2.3. Böcek ve nematod zararları

Tarla bitkilerinde görülen böcek ve nematod kaynaklı zararlar hem doğrudan hem de dolaylı yoldan verim ve kalite üzerinde ciddi kayıplara neden olmaktadır. Bu canlılar bitkinin farklı organlarına saldırarak gelişmeyi engeller, enfeksiyonlara zemin hazırlar ve ekonomik üretimi tehdit edebilmektedir (Pedigo ve Rice, 2009). Böcekler; yaprak, gövde, kök, çiçek ve meyve gibi bitkinin farklı kısımlarını hedef alarak doğrudan fiziksel zarar oluşturur. Örneğin; yaprak bitleri, bitki özsuyunu emerek zayıflamaya, kıvrılmalara ve fotosentez yüzeyinin azalmasına neden olmaktadır. Süne ve kımlı gibi emici-sokucu böcekler, tahıllarda başak döneminde zarar vererek tanelerin dolmamasına ve kalitenin düşmesine sebep olmaktadır. Yaprak delici, gövde delen ya da kök bozan larvalar ise bitkinin genel direncini düşürerek kurumlara kadar ilerleyebilen zararlar oluşturabilmektedir. Ayrıca birçok böcek türü virüs taşıyıcısı (vektör) olarak görev yaparak dolaylı zarara da yol açmaktadır. Nematodlar, genellikle mikroskobik yapılı, toprakta yaşayan solucan benzeri canlılardır ve köklere saldırarak bitkinin su ve besin alımını sekteye uğratmaktadır. Özellikle kök ur nematodu (*Meloidogyne* spp.), köklerde ur oluşumuna neden olur ve kök sistemini işlevsiz hale getirmektedir. Bu da bitkide gelişme geriliği, solgunluk, verim düşüşü ve ürün kalitesinde bozulmaya yol açmaktadır. Bazı nematod türleri ise toprakta diğer hastalık etmenlerinin girişini kolaylaştırarak ikincil enfeksiyonlara neden olabilmektedir (Perry vd., 2009).

Böcek ve nematodlarla mücadelede entegre zararlı yönetimi (IPM), biyolojik mücadele, kültürel önlemler ve gerekirse kimyasal uygulamalar bir arada kullanılmalıdır. Bu zararlıların etkin kontrolü, sürdürülebilir verimlilik açısından büyük önem taşımaktadır (Perry vd., 2009).

2.4. Ot rekabeti (yabancı otlar)

Tarla bitkilerinde yabancı otlar, doğal ekosistemlerin bir parçası olsalar bile tarım alanlarında kültür bitkileriyle su, besin, ışık ve alan gibi kaynaklar için rekabete girerek verim ve kalite kayıplarına neden oldukları bilinmektedir. Bu durum yabancı ot rekabeti olarak isimlendirilmektedir.

Yabancı otlar, genellikle kültür bitkilerinden daha hızlı çimlenir ve gelişimini tamamladığı bilinmektedir. Bu özellikleri sayesinde, toprak altı ve üstü kaynakları daha erken ve etkili şekilde kullanarak, kültür bitkilerinin

büyümesini baskı altında tutabilmektedir. Özellikle bitkinin ilk gelişim dönemlerinde meydana gelen bu rekabet, ürünün verimini doğrudan etkilemektedir. Su ve besin maddelerine erişimi azalan kültür bitkisi zayıf gelişir, daha az dal veya başak oluşturur ve dolayısıyla daha düşük ürün verdikleri görülmektedir (Hatcher ve Melander, 2003). Ayrıca bazı yabancı otlar, kültür bitkilerine allelopatik (kimyasal baskılama) etkiler yaparak gelişmelerini engelleyebilmektedir. Yabancı otlar aynı zamanda hastalık ve zararlılar için konukçuluk yaparak dolaylı zarar da oluşturur. Hasat sırasında ürünle karışan yabancı ot tohumları, kaliteyi düşürerek pazarlama aşamasında da sorunlara yol açabilmektedir. Yabancı otların kontrolü, etkili bir yabancı ot yönetimi stratejisi (IPM) ile sağlanmalı; bu strateji içerisinde mekanik mücadele, kültürel önlemler, kimyasal herbisit kullanımı ve münavebe uygulamaları birlikte değerlendirilmelidir (Özer, 2003).

Sonuç olarak yabancı otlar, zararlılar, hastalıklar ve olumsuz çevre koşulları gibi stres faktörleri, bitkinin temel fizyolojik süreçlerini sekteye uğrattığı görülmektedir. Özellikle fotosentez sürecinin bozulması, bitkinin enerji üretimini doğrudan etkilemektedir. Yaprak yüzeyinde meydana gelen zararlar ya da yaprak alanının azalması, ışık Emilimini ve karbon fiksasyonunu sınırlamaktadır. Bu da bitkinin büyümesi ve gelişmesi için gerekli olan organik maddelerin üretimini azaltmaktadır. Aynı şekilde, besin ve su taşınımı da kök, gövde veya iletim dokularının zarar görmesiyle aksadığı görülmüştür. Su stresine giren veya kök bölgesinde hastalık oluşan bitkilerde, yapraklara ve meyveye ulaşan besin miktarı azaltmaktadır. Bu durum, tane dolumu sürecini sekteye uğratar; taneler tam olarak dolmaz, küçülür ya da buruşur. Bu fizyolojik aksaklıkların toplam etkisi, ürünün miktarında (verim) azalma ve pazar kalitesinde düşüş olarak ortaya çıkarmaktadır. Düşük tane ağırlığı, besin içeriğinin bozulması, renk ve yapı farklılıkları gibi kalite kriterleri olumsuz etkilenir. Sonuç olarak hem üreticinin kazancı düşer hem de ürünün endüstriyel veya tüketime uygunluğu azalır.

3. TARIM UYGULAMALARINDAN KAYNAKLI KAYIPLAR

Tarla bitkilerinde verim ve kalite kayıplarının önemli bir kısmı, yanlış veya eksik tarım uygulamalarından kaynaklanmaktadır. Tarımsal üretimin her aşamasında yapılan hatalı uygulamalar, bitkilerin fizyolojik dengesini bozarak

büyüme, gelişme ve ürün oluşum süreçlerini olumsuz etkilediği bildirilmiştir (Şekil 3). Buna göre bu uygulamalardan bazıları şunlardır;



Şekil 3. Tarımsal Uygulamalardan kaynaklı kayıplar (Anonim 2025 c)

3.1. Yanlış ekim zamanı

Tarla bitkilerinde ekim zamanı, verim ve kaliteyi belirleyen en kritik tarım uygulamalarından biridir. Bitkinin çimlenmesi, kardeşlenmesi, sapa kalkması, çiçeklenmesi ve tane dolumu gibi gelişme evrelerinin, çevresel koşullarla (sıcaklık, yağış, gün uzunluğu) uyum içinde gerçekleşmesi gerekir. Ancak yanlış zamanda yapılan ekim, bu uyumu bozar ve bitki gelişimi olumsuz etkilemektedir (Otegui ve Andrade, 2000). Örneğin;

- Geç ekim, çimlenme ve kardeşlenme döneminin soğuk ya da kurak döneme denk gelmesine neden olabilir. Bu durum kök gelişimini sınırlar ve kardeşlenme yetersiz olur.
- Erken ekim, bitkinin hızlı gelişmesine neden olabilir; ancak ilerleyen dönemlerde düşük sıcaklıklar veya geç don riski, çiçeklenme ve tane dolumu dönemlerini tehdit edebilir.
- Bitkinin generatif (üreme) döneminin aşırı sıcaklık, kuraklık veya gün uzunluğu gibi stres faktörleriyle çakışması, başaklanma veya meyve oluşumunu sınırlandırır.

Sonuç olarak, yanlış ekim zamanına bağlı olarak verim kaybı, düşük tane ağırlığı, boş başak oluşumu ya da gelişme geriliği gibi ciddi üretim problemleri ortaya çıkar. Ayrıca, geç olgunlaşma nedeniyle hasat gecikir, bu da ürünün yağmur veya dolu gibi hasar riskleriyle karşılaşmasına yol açabilir. Örneğin Buğdayda geç ekim, kardeşlenme dönemini kısaltır; bu da bitkinin yeterli başak oluşturamamasına neden olur. Sonuçta hem başak sayısı hem de başaktaki tane sayısı azaldığı için verimde düşüşler meydana gelmektedir (Çanakcı ve Gülmez, 2011).

3.2.Yetersiz veya fazla gübreleme

Tarla bitkilerinde doğru ve dengeli gübreleme, yüksek verim ve kaliteli ürün elde etmenin temel şartlarından biridir. Ancak, yetersiz ya da aşırı gübreleme, bitki fizyolojisini ve ürün kalitesini olumsuz etkileyerek beklenen verim artışının aksine zarar doğurabilir.

3.2.1. Yetersiz gübreleme

Bitkinin gelişme dönemlerinde ihtiyaç duyduğu temel besin maddeleri (özellikle azot, fosfor ve potasyum) yeterli düzeyde sağlanmadığında, bitkide besin eksikliği semptomları ortaya çıkmaktadır (Fageria, 2009). Bu durum:

- Yetersiz yaprak gelişimi,
- Cılız kök yapısı,
- Azalmış çiçeklenme ve başaklanma,
- Düşük dane tutumu ve
- Genel gelişme geriliği gibi olumsuzluklara neden olur. Sonuçta hem verim düşer hem de elde edilen ürünün besin değeri azalmaktadır (Fageria, 2009).

3.2.2. Fazla gübreleme

Özellikle azot, bitkinin büyümesini teşvik ederken, fazla verildiğinde bazı kalite sorunlarına yol açabilir. Örneğin:

- Bitki fazla yaprak ve sap oluşturur, bu da vejetatif gelişmenin generatif (üreme) gelişmeye göre baskın olmasına neden olmaktadır.
- Tane dolumu gecikir ve homojenlik bozulmaktadır.

- Buğday gibi tahıllarda aşırı azot, protein oranını artırabilir ancak gluten kalitesi düşer; bu da özellikle ekmeklik buğdayda işlenebilirliği olumsuz etkilemektedir.
- Şeker pancarında aşırı azot, şeker oranını düşürür, lif oranını artırmaktadır.
- Ayrıca fazla azot, bitkiyi yatma (lodging) riskine sokar ve hastalıklara karşı hassasiyeti artırabilmektedir (Öztürk, 2006). Öte yandan aşırı gübreleme, çevresel açıdan da risklidir. Özellikle azotlu gübrelerin fazlası, yeraltı sularına karışarak kirlilik oluşturabilmektedir.

3.2.3.Yanlış sulama

Tarla bitkilerinin sağlıklı gelişimi için su, en temel girdilerden biridir. Ancak yanlış sulama uygulamaları, yani zamanlama, miktar ya da yöntem hataları hem kuraklık stresi hem de su fazlalığına (su baskısına) neden olabilir. Bu iki uç durum da bitkilerde verim ve kalite kaybına yol açmaktadır (FAO, 2020).

Örneğin yetersiz sulama sonucunda;

- Bitki gelişiminin en kritik evrelerinde (örneğin çimlenme, çiçeklenme, tane dolumu) yeterli su sağlanmazsa, bitkiler fotosentez etkinliğini azaltır, stomalarını kapatır ve büyümeyi sınırlar.
- Kökler derine gitmek zorunda kalır, bitki besin alımında zorlanır.
- Bu durum özellikle buğday, mısır, ayçiçeği ve pamuk gibi ürünlerde verim düşüklüğüne, erken olgunlaşmaya ve boş başak veya küçük taneler oluşmasına yol açmaktadır.

Örneğin aşırı sulama sonucunda;

- Fazla su, toprakta oksijen yetersizliğine neden olur ve bu da kök çürüklüğü gibi fizyolojik ve patolojik sorunlara yol açar.
- Bitkinin kökleri boğulur, su ve besin emilimi azalır.
- Toprakta besin yıkanması görülür; özellikle azot gibi kolay taşınan elementler kök bölgesinden uzaklaşır.
- Aşırı nem, mantar ve bakteri kaynaklı hastalıkların yayılmasını da kolaylaştırır (örneğin mildiyö, kök çürüklüğü).
- Ayrıca, su baskısı bitkilerde gevrek dokular oluşmasına ve dayanıklılığın azalmasına neden olabilir.

Sonuç olarak; yanlış sulama, suyun verimli kullanımını engellediği gibi verim artışı yerine enerji, iş gücü ve su israfına yol açmaktadır. Ayrıca hem ürün miktarında azalma hem de ürün kalitesinde bozulma meydana getirmektedir. Aynı zamanda toprak yapısı da zarar görür; fazla sulama toprak sıkışmasına veya tuzluluğun artmasına neden olabilmektedir (FAO, 2020).

3.2.4. Toprak işleme hataları

Toprak işleme, tarla bitkilerinin yetiştirilmesinde toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirmek amacıyla yapılan temel işlemlerden biridir. Ancak bu işlemlerin yanlış zamanda, uygunsuz ekipmanla ya da gereğinden fazla yapılması, toprağın yapısını bozarak bitkilerin sağlıklı kök gelişimini ciddi şekilde kısıtlayabilmektedir (Hamza ve Anderson, 2005).

Örneğin toprak sıkışması (taban taşı oluşumu) sonucunda;

- Ağır makinelerle yapılan derin sürüm veya ıslak toprakta işleme, taban taşı (plow pan) denilen sıkışık bir katmanın oluşmasına neden olmaktadır.
- Bu katman suyun alt katmanlara süzülmesini engeller, su toprak yüzeyinde birikir veya göllenme olmaktadır.
- Kökler bu sert tabakayı geçemez ve yüzeyde kalır → Bitki kuraklık stresine, besin eksikliğine ve devrilmeye (lodging) karşı daha hassas hale gelmektedir.

Örneğin yetersiz toprak işleme sonucunda;

- Toprağın yeterince kabartılmaması, havalanmayı, su tutma kapasitesini ve köklerin yayılımını sınırlamaktadır.
- Yabancı ot kontrolü yetersiz kalır; bitki gelişimi olumsuz etkilenmektedir.
- Toprak yüzeyinde sıkışıklık ve kabuklanma olur → çimlenme ve çıkış zor olmaktadır.

Örneğin aşırı toprak işleme sonucunda;

- Gereğinden fazla sürüm yapılması, topraktaki organik maddeyi hızla parçalayıp toprak yapısında bozulma meydana gelmektedir.
- Toprağın erozyona açık hale gelmesine, su tutma kapasitesinin ve mikrobiyal aktivitenin azalmasına neden olmaktadır.
- Kökler yeterli destek bulamaz ve sağlıklı besin alımı sekteye uğramaktadır.

Sonuç olarak kök gelişiminin sınırlı olması, bitkinin su ve besin maddelerine erişimini kısıtlanarak bitki cılız gelişir, stres koşullarına karşı daha dayanıksız olur. Ayrıca verim düşer, ürün kalitesi bozularak, bitki hastalıklarına karşı savunmasız hale gelmektedir (Türker, 2011).

4. GENETİK FAKTÖRLER (ÇEŞİT KAYNAKLI)

Bitkisel üretimde genetik faktörler önemlidir Her bitki çeşidinin kendine özgü bir verim potansiyeli, iklim ve toprak koşullarına uyumu, hastalık ve zararlılara karşı dayanıklılığı ve kalite özellikleri vardır (Şekil 4). Eğer yanlış ya da bölgeye uygun olmayan bir çeşit tercih edilirse, ürün miktarında ve kalitesinde önemli kayıplar meydana gelebilmektedir (Anonim, 2025b).



Şekil 4: Genetik kaynaklar(Anonim, 2025 d)

4.1. Düşük verimli veya bölgeye uygun olmayan çeşit kullanımı

Tarla bitkilerinde verim ve kalite kayıplarının en yaygın nedenlerinden biri, çiftçilerin verim potansiyeli düşük ya da bölgenin iklim ve toprak koşullarına uygun olmayan çeşitleri kullanmalarındır.

Her bitki çeşidi, genetik yapısı gereği:

- Belirli bir iklim koşuluna (sıcaklık, yağış, gün uzunluğu),
- Belirli bir toprak yapısına (pH, tuzluluk, drenaj),
- Belirli hastalık ve zararlılara karşı toleransa sahiptir.

Eğer bu özellikler dikkate alınmazsa:

- Bitki yeterince gelişmez,
- Verim düşük kalır,
- Kalite düşer (örneğin küçük taneler, düşük protein, şekil bozuklukları),
- Hastalık ve streslere karşı dirençsiz hale gelir.

Örneğin; Güneydoğu’da geliştirilmiş, sıcak iklime uygun bir buğday çeşidi, Trakya’nın serin ikliminde başaklanma ve tane dolumu sorunları yaşar → %20–40 verim kaybı olur. Uzun gün isteyen bir hibrit çeşidin, kısa gün süresi olan bölgelerde ekilmesi → çiçeklenme gecikir, tane bağlamaz → verim sıfıra yaklaşır. Sanayi tipi kıvartmalık çeşit yerine, sofralık patatesin işlenmesi → kıvartmalarda kararma ve yağ çekme → kalite kaybı ve ekonomik zarar meydana gelmektedir. TAGEM çalışmaları: Bölgeye uygun olmayan çeşitlerle yapılan üretimde verim kaybı oranı %30 ila %60 arasında değişebiliyor. Ziraat Fakülteleri deneme sonuçları: Aynı tür içinde uygun çeşit kullanımıyla verimde 2 kata kadar artış sağlanabiliyor. Bu sorunların yaşanmasında;

- Çiftçinin yeterli bilgiye sahip olmaması
- Tohum seçiminde danışmanlık eksikliği
- Yerel bayilerde sınırlı çeşit sunulması
- Ucuz veya elde kalan tohumların kullanılması
- İklim değişikliği nedeniyle daha önce uygun olan çeşitlerin artık uygun olmaması

Bu durumda ne yapılmalı sorusuna cevaben;

- Tarım il/ilçe müdürlüklerinden ya da ziraat mühendislerinden çeşit önerisi alınmalı
- Sertifikalı ve bölgeye uyumlu çeşitler tercih edilmeli
- Tarımsal araştırma enstitülerinin önerdiği çeşit denemelerine katılım sağlanmalı
- İklim değişikliği göz önüne alınarak yeni çeşitlerin denenmesi teşvik edilmesi
- Kalite değeri düşük (düşük protein, düşük yağ vs.) çeşitlerin tercih edilmesi meydana gelebilecek kayıpların önüne geçmede faydalıdır.

5. HASAT VE HASAT SONRASI KAYIPLAR

Tarımda sadece üretim miktarı değil, ürünün tarladan sofraya kadar olan sürecindeki kayıplar da büyük önem taşır. Hasat ve hasat sonrası kayıplar, ürünün tarlada olgunlaştıktan sonra toplanması, taşınması, işlenmesi ve depolanması aşamalarında meydana gelen nicelik (miktar) ve nitelik (kalite) kayıplarıdır. Bu kayıplar, dünya genelinde ve Türkiye’de önemli düzeylerde dir. FAO’ya göre, gelişmekte olan ülkelerde hasat sonrası kayıplar ortalama %15–25 düzeyindedir. Bazı ürünlerde bu oran %40’a kadar çıkabilmektedir (Anonim, 2021). Hasat ve hasat sonrası süreçler olarak bilinen;

1. Hasat (Ürünün toplanması)
2. Taşıma (Tarladan depoya, pazara vs.)
3. Temizleme, sınıflama
4. İşleme (kurutma, kabuk soyma vb.)
5. Depolama
6. Pazarlama veya sevkiyat

Her aşamada uygun olmayan uygulamalar, ürünün hem miktarını hem kalitesini düşüslere neden olmaktadır (Tablo 2).

Tablo 2: Başlıca Kayıp Nedenleri

Aşama	Kayıp Nedeni	Açıklama
Hasat	Geç veya erken hasat	Verim ve kalite düşer. Dökülme, çürüme olur.
Bıçerdöver ayarları	Tane kaybı	Yetersiz bakım veya operatör hatası nedeniyle taneler ziyan olur.
Taşıma	Dökülme, ezilme	Açık kasa araçlar, uygunsuz torbalar ürün kaybına neden olur.
Kurutma	Yetersiz kurutma	Küflenme, aflatoksin oluşumu gibi kalite kayıpları görülür.
Depolama	Zararlılar, nem, sıcaklık	Böcek, mantar, fare vs. ürün kaybı ve bozulmaya yol açar.
Ambalajlama	Uygun olmayan malzeme	Ürün fiziki zarar görür, raf ömrü kısılır.

(TUİK, 2024; Anonim,2025 f).

Tablo 3: Örnek Kayıp Oranları (Türkiye’de Tahmini)

Ürün	Hasat ve Sonrası Kayıp Oranı (%)
Buğday	5–10
Mısır	6–12
Patates	10–25
Meyve-Sebze	20–40
Ayçiçeği	4–8
Baklagiller	6–10

(TUİK, 2024; Anonim, 2025 f).

Ekonomik ve gıda güvencesi açısından sonuçları;

- Gıda arzında azalma
- Üretici gelirinde düşüş
- Fiyat artışı ve tüketiciye yüksek maliyet
- Gıda israfı ve kaynakların boşa kullanımı (su, toprak, enerji)
- Gıda güvenliği açısından sağlıksız ürün riski ortaya çıkarmaktadır.

Çözüm Önerileri

1. Hasat zamanı doğru belirlenmeli
2. Biçerdöver ve diğer makineler düzenli bakımda olmalı
3. Taşıma sırasında kapalı, sağlam ambalaj kullanılmalı
4. Uygun kurutma sistemleri yaygınlaştırılmalı
5. Modern depo sistemleri (soğuk hava, havalandırma) desteklenmeli
6. Eğitim ve bilinçlendirme çalışmaları artırılmalıdır.

Sonuç olarak; tarımsal üretimde verim kadar ürünün korunması da kritik öneme sahiptir. Hasat ve hasat sonrası kayıpların azaltılması hem gıda güvenliği hem ekonomik sürdürülebilirlik açısından stratejik bir gerekliliktir. Bu nedenle çiftçilerin, üretim sonrası süreçlerde bilinçli hareket etmesi ve teknik destek alması son derece önemlidir (Anonim, 2024).

6. KALİTE KRİTERLERİNİN TUTMAMASI

Tarla bitkilerinde sadece verim yüksekliği değil, ürünün pazarlanabilirliği ve işlenebilirliği açısından kalite değerleri de büyük önem taşır. Bir ürünün kaliteli kabul edilebilmesi için hem fiziksel hem kimyasal hem

de teknolojik bazı kriterleri karşılaması gerekir. Ancak bu kriterlerin sağlanmaması durumunda ürün, sanayiye uygunluk dışı, ikinci sınıf, hatta kabul edilemez olarak değerlendirilir. Bu da üreticinin gelir kaybetmesine, ürünün değerini yitirmesine neden olur. Bu anlamda sorulacak sorulardan birisi kalite kriterleri nedir? Kalite kriterleri, bir tarımsal ürünün:

- Besin değeri
- Fiziksel özellikleri (şekil, renk, sertlik, tane iriliği vb.)
- Kimyasal içerik (protein, yağ, nişasta, şeker oranı vb.)
- Endüstriyel kullanım uygunluğu (örneğin unluk buğday, yağlık ayçiçeği gibi) gibi özellikleridir.

Bu kriterler genellikle alıcı firmalar, sanayi kuruluşları veya iç/dış piyasa standartları tarafından belirlenmektedir. (Anonim, 2022). Bir ürünün kalite standartlarının altında kalması, şu anlama gelir:

Tablo 4: Bazı kalite standartları

Kriter	Uygun Olmayan Durum	Sonuç
Protein oranı (buğdayda)	< 11%	Ekmeklik sınıfa girmez → düşük fiyat
Yağ oranı (ayçiçeğinde)	< 38%	Sanayi için yetersiz → düşük randıman
Tane iriliği (baklagillerde)	Küçük, çatlak, lekeli	Kalite dışı sınıf → alım dışı
Şeker oranı (şeker pancarında)	< %16	Fabrika alım kotası dışına düşer
Aflatoksin (mısır, fındık vb.)	Limit üstü	Tüketim ve ihracat yasağı

(TUİK, 2024; Anonim, 2025 f).

Kalite tutmamasının nedenleri:

1. Yanlış çeşit seçimi
2. Yetersiz gübreleme veya aşırı azot kullanımı
3. Hastalık ve zararlıların ürüne zarar vermesi
4. Yetersiz sulama veya aşırı sulama
5. Geç veya erken hasat
6. Uygun olmayan kurutma ve depolama

7. İklim stresleri (dolu, sıcaklık farkı, kuraklık)

Ekonomik Sonuçlar

- Ürün düşük fiyattan satılır veya alıcı bulamaz
- Sözleşmeli tarımda sanayi firması ürünü reddedebilir
- Sınıflandırma dışı ürün → yemlik ya da işlenemez hale gelir
- Pazarda rekabet şansı azalır

Örnek olarak; Yüksek verimli ama düşük proteinli buğday → ekmeklik değil → yemlik sınıfa düşmektedir. Ayrıca ton başına %20–30 fiyat farkı ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Başka bir örnek verecek olursak; Yağ oranı düşükse → fabrikada randıman düşer → fiyat düşer veya alım dışı kalma riski doğabilir. Patateste kızartmalık çeşit yerine sofralık çeşit kullanılırsa → siyahlaşma, fazla yağ çekme sonucunda sanayiye satılamaz → sofralık fiyata satılmaktadır (Anonim, 2025 d).

Bu sorunların çözümü için;

- Bölgeye uygun ve kaliteli ürün veren çeşitler seçilmeli
- Toprak analizi yapılarak dengeli gübreleme yapılmalı
- Uygun hasat zamanı seçilmeli
- Kuruma, depolama ve taşıma süreçleri kaliteyi bozmayacak şekilde düzenlenmeli
- Hastalık ve zararlılara karşı entegre mücadele uygulanmalıdır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tarla bitkilerinde verim ve kalite kayıpları, üretimin her aşamasında ortaya çıkabilen çok yönlü bir sorundur. Genetik faktörlerden iklim koşullarına, hasat zamanlamasından depolama süreçlerine kadar birçok etken, ürünün hem miktarını hem de pazar değerini doğrudan etkilemektedir.

Özellikle:

- Yanlış çeşit seçimi,
- Uygunsuz tarım uygulamaları,
- Zamanında ve doğru yapılmayan hasat,
- Kötü taşıma ve depolama koşulları,
- Kalite standartlarına uyumsuzluk, tarımsal üretimin verimliliğini azaltmakta ve ülke ekonomisine büyük zararlar vermektedir.

Bu sorunlar sadece üretici gelirini değil, aynı zamanda gıda güvencesini, sanayi entegrasyonunu ve ihracat potansiyelini de olumsuz etkilemektedir. Bu değerlendirme sonucunda yapılacak öneriler ise;

1. Bölgeye uygun ve kaliteli çeşit kullanımı
 - Tarım bölgelerine uygun, yüksek verimli ve kaliteli çeşitlerin tercih edilmesi sağlanmalıdır.
 - Sertifikalı tohum kullanımı yaygınlaştırılmalı, çiftçiler bilgilendirilmelidir.
2. Tarımsal eğitim ve yayım faaliyetlerinin güçlendirilmesi
 - Çiftçilere yönelik eğitimlerle; gübreleme, sulama, hastalık yönetimi ve hasat teknikleri konularında farkındalık artırılmalıdır.
 - Tarım danışmanlığı sistemi etkinleştirilmelidir.
3. Hasat ve sonrası teknolojilerinin modernleştirilmesi
 - Biçerdöver ve hasat makinelerinin bakımı ve operatör eğitimi sağlanmalıdır.
 - Kurutma, taşıma ve depolama süreçlerinde kayıpları azaltacak teknolojiler teşvik edilmelidir.
4. Toprak ve ürün analizleri yaygınlaştırılmalı
 - Toprak analizi ve bitki analizleri, gübreleme ve sulama kararlarının doğru verilmesi açısından zorunlu hale getirilmelidir.
5. Sanayi ve pazar standartlarına uygun üretim teşvik edilmeli
 - Sanayi ile entegre çalışan çiftçilere destek verilmeli, kaliteye göre fiyatlandırma sistemleri uygulanmalıdır.
 - Kalite dışı ürünlerin değerlendirilmesi için alternatif kullanım alanları (biyogaz, yem vs.) geliştirilmelidir.
6. İklim değişikliğine uyumlu tarım uygulamaları geliştirilmeli
 - Kuraklığa dayanıklı çeşitler yaygınlaştırılmalı.
 - Tarım sigortası sistemleri güçlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

- Anonim (2025 a). <https://chatgpt.com> (Erişim Tarihi: 27.08.2025).
- Anonim (2025 b). <https://chatgpt.com> (Erişim Tarihi: 27.08.2025).
- Anonim. (2025 c). *Tarım*. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111> (Erişim tarihi: 27.08.2025)
- Anonim. (2025 d). Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org?utm_source (Erişim tarihi: 28.08.2025 d)
- Anonim.(2025 e).<https://www.google.com/search?q=improper+soil+cultivation> Erişim tarihi: 28.08.2025).
- Anonim (2025 f). <https://www.ticaret.gov.tr> (Erişim tarihi: 28.08.2025).
- Anonim. (2024). *Tarım* Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111> (Erişim tarihi: 27.08.2025).
- Anonim (2021). <https://www.fao.org/home/en> (Erişim tarihi: 27.08.2025).
- Anonim (2022). <https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM> (Erişim tarihi: 27.08.2025).
- Ashworth, E. N. (2008). Plant responses to low temperature stress:Chilling and freezing injury. *Horticultural Reviews*, 10, 1–77.
- Çanakcı, M., & Gülmez, Y. (2011). Buğday tarımında ekim zamanının verim ve kalite üzerine etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 17(2), 120–126.
- Fageria, N. K. (2009). *The use of nutrients in crop plants*. CRC Press. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp227>
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(1), 185–212. <https://doi.org/10.1051/agro/2008021>
- Gregory, P. J., & George, T. S. (2011). Plant root growth and function in stressful environments. *Plant, Cell & Environment*, 34(10), 1820–1833. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02361>

- Gupta, P., & Abrol, I. P. (2012). Soil and crop response to waterlogging. *Agricultural Water Management*, 103, 38–49. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.08.019>
- Hatcher, P. E., & Melander, B. (2003). Combining physical, cultural and biological methods: Prospects for integrated non-chemical weed management strategies. *Weed Research*, 43(5), 303–322. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2003.00352.x>
- Hamza, M. A., & Anderson, W. K. (2005). Soil compaction in cropping systems. *Soil and Tillage Research*, 82(2), 121–145. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.08.009>
- Karam, F., & Saruhan, B. (2016). Bitkilerde kuraklık stresi ve bitki tepkisi *Tarım Bilimleri Dergisi*, 22(1), 45–58.
- Lucas, J. A. (2011). *Plant pathology and plant pathogens* (3rd ed.). Wiley-Blackwell. ISBN 8126542101
- Özdemir, N. (2013). Tarla bitkilerinde verim kayıplarının nedenleri ve önlenmesi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 145–153.
- Otegui, M. E., & Andrade, F. H. (2000). New trends in plant physiology research: Impact of sowing date on crop yield. *Field Crops Research*, 67(2), 201–213.
- Özer, H. (2003). Tarla bitkilerinde yabancı ot kontrolü. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17(2), 27–34.
- Öztürk, A. (2006). Gübrelemenin buğdayda verim ve kalite üzerine etkisi. *Türkiye Tarla Bitkileri Kongresi Bildirileri*, 2, 812–816.
- Schaad, N. W., Jones, J. B., & Chun, W. (2001). *Laboratory guide for identification of plant pathogenic bacteria* (3rd ed.). APS Press. ISBN 0890542635
- Pedigo, L. P., & Rice, M. E. (2009). *Entomology and pest management* (6th ed.). Pearson.
- Perry, R. N., Moens, M., & Starr, J. L. (Eds.). (2009). *Root-knot nematodes* (pp. 1–17). CABI Publishing.
- Türker, U. (2011). Toprak işleme yöntemlerinin tarla bitkilerinin gelişimi üzerindeki etkileri. *Türkiye Tarım Dergisi*, 3(2), 45–51.

- TAGEM. (2022). Türkiye’de tahıl kalitesi araştırma projeleri.
<https://www.tarimormman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/Mayıs> (Erişim
Tarihi: 28.08.2025)
- Yıldız, M. (2015). Tarla bitkilerinde stres faktörleri ve verim üzerindeki etkileri. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 21(3), 120–130.

BÖLÜM 2

TAHİL-BAKLAGİL KARIŞIK EKİM VE BESİN SİNERJİLERİ: BİYOLOJİK AZOT FİKSASYONU (BNF) KATKISI, P-ZN ETKİLEŞİMLERİ VE GÜBRE AZALTIM POTANSİYELİ

Dr. Öğr. Üyesi Meriç BALCI¹

<https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17637875>

¹Akdeniz Üniversitesi, Manavgat Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Programı, Antalya, Türkiye. mericbalci@akdeniz.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-8916-0702

GİRİŞ

Küresel ölçekte hızlanan iklim krizi, jeopolitik dalgalanmalar ve girdi fiyatlarındaki artış, tarımsal üretimi hem biyofiziksel hem de ekonomik açıdan baskı altına almaktadır (Schmidhuber ve Qiao, 2022; Intergovernmental panel on Climate Change, 2023; Rice ve Vos, 2024). Azot, fosfor ve çinko gibi temel besin elementlerinin etkin ve dengeli yönetimi, bu baskıların azaltılmasında belirleyici bir kaldıraçtır (Lal, 2020; Fahad vd. 2021). Bu bağlamda tahıl-baklagil karışık ekim sistemleri, bitki besleme verimliliğini yükseltme, dışa bağımlı mineral gübre kullanımını azaltma ve toprak sağlığını iyileştirme potansiyeliyle öne çıkmaktadır (Liu vd. 2023; Chimonyo vd., 2023; Li vd., 2023). Karışık ekim, basit bir “iki türü yan yana yetiştirme” pratiğinin ötesinde, kök mimarisi, rizosfer kimyası ve bitki-mikrop etkileşimleri üzerinden işleyen ekosistem temelli bir besin yönetimi yaklaşımıdır (Maitra vd., 2021).

Biyolojik azot fiksasyonu (BNF), baklagillerin simbiyotik bakterilerle kurduğu ortaklık sayesinde atmosferik azotun bitkinin kullanabileceği forma dönüştürülmesini sağlar (Ladha vd., 2022; Guo vd., 2023). Bu süreç, yalnızca baklagilin kendi azot ihtiyacını karşılamakla kalmaz; rizosferdeki N dinamiklerini tahılların yararlanabileceği şekilde dönüştürerek sistem düzeyinde bir azot ekonomisi yaratır. BNF’in zamansal ve mekânsal eşleşmesi, karışık ekimde tahılların kritik büyüme aşamalarında azota erişimini kolaylaştırabilir (Kebede, 2021). Böylece mineral N gübresi bağımlılığı azalırken nitrat yıkanması ve N₂O emisyonu gibi çevresel kayıplar da düşebilir (Pierre vd. 2025).

Azotun yanı sıra, fosfor (P) ve çinko (Zn) tarımsal verimlilikte ve ürün kalitesinde stratejik rol oynar (Amanullah vd., 2020; Yu vd., 2022). P, enerji metabolizmasının ve kök gelişiminin merkezinde yer alırken, Zn enzimatik fonksiyonlar, oksidatif stres kontrolü ve hormon düzenlemesinde kritiktir (Shrivastav vd., 2020). Ancak P ve Zn arasındaki etkileşimler karmaşıktır: yüksek P uygulamaları Zn alımını baskılayabilir; Zn eksikliği ise P’un etkin kullanımını sınırlandırabilir (Kumar vd., 2021; Romera vd. 2021). Tahıl-baklagil karışık ekimde, türlerin farklı besin alma stratejileri, rizosfer pH’sını ve organik asit salgısını değiştiren kök salgıları ve mikorizal birliktelikler sayesinde P-Zn dengesinin daha biyoyararlanabilir bir pencereye taşınması mümkündür (Ebbisa, 2022). Bu sayede aynı verim düzeyini daha düşük gübre

girdisiyle elde etmek veya aynı gübre girdisiyle daha yüksek verim ve kalite sağlamak hedeflenebilir.

Türkiye özelinde, artan gübre maliyetleri, kuraklık ve toprakların organik madde fakirliği gibi yapısal sorunlar, karışık ekim gibi düşük maliyetli, bilgi yoğun çözümlere olan ihtiyacı artırmaktadır (Gustafon, 2025; Uzel vd. 2025). Orta Anadolu'nun yarı kurak tahıl kuşağından Ege ve Akdeniz'in ılıman iklim kuşağına kadar farklı agroekolojik zonlarda, karışık ekim sistemlerinin su kullanımı verimliliğini yükseltme, kış-yaz nöbeti içinde toprak azotu ve fosfor döngüsünü istikrara kavuşturma ve çiftçi gelirini çeşitlendirme potansiyeli bulunmaktadır (International Water Management Institute, 2024). Ayrıca yem bitkileriyle yapılan karışımların kaba yem kalitesini iyileştirerek hayvansal üretim zincirine dolaylı katkı sağlaması, ulusal ölçekte gıda-yem güvenliği bağlamında ek bir değerdir (Doğrusöz vd., 2024).

Karışık ekim sistemlerinin faydaları yalnızca besin döngüleriyle sınırlı değildir. Fonksiyonel tamamlayıcılık sayesinde ışık, su ve besinler daha etkin paylaşılır; yabancı ot baskısı, toprak erozyonu ve bazı hastalık-zararlı döngüleri zayıflatılabilir (Akchaya vd., 2025). Kök derinliği ve mimarisi açısından farklılaşan türlerin bir araya gelmesi, yağışın ve sulama suyunun toprak profilinde tutulmasına, üst toprağın agregat stabilitesinin artmasına ve karbon depolama kapasitesinin güçlenmesine aracılık edebilir (Liang vd., 2025; Villat ve Nicholas, 2024). Bu da, uzun vadede toprak sağlığı ve iklim değişikliğine uyum başlıklarında çift yönlü kazanç anlamına gelir (Raveloaritiana ve Wanger, 2024).

Bununla birlikte, karışık ekimin tasarımı ve yönetimi ince ayar gerektirir. Ekim sıklığı ve sıra düzeni, tür ve çeşit seçimi, ekim zamanı, kök/gövde sürgün oranları, aşılı-aşısız baklagil kullanımı, mikorizal inokulantlar veya biyostimülan uygulamaları gibi kararlar, BNF verimini ve P-Zn etkileşimlerinin yönünü belirgin şekilde etkileyebilir (Demie vd., 2022). Örneğin, yüksek biyokütle üreten bir baklagil çeşidi, erken dönem gölgelenmeyle tahılın kardeşlenmesini baskılarken, başka bir çeşit gecikmeli tepe örtüsü oluşturarak tahılın kritik başlangıç büyümesini destekleyebilir (Griffin ve Jungers, 2025). Benzer şekilde, P-Zn antagonizmasını tetikleyebilecek bir gübreleme stratejisi, kök bölgesinde organik asit ve fosfataz aktivitesini artıran çeşitlerin seçimiyle dengeye taşınabilir (Toleikiene vd., 2025). Bu nedenle, karışık ekimin başarısı çoğu kez “hangi türler?” sorusunun

yanı sıra “hangi amaç için, hangi mekânda, hangi düzenle?” sorusuna verilecek yanıtlarla şekillenir (Demie vd., 2022).

Bu kitap bölümü, tahıl-baklagil karışık ekimi ekseninde üç temel alana odaklanmaktadır:

- Karışık ekimde azot sabitlemenin düzeyi, paylaşım mekanizmaları ve sistemin azot kullanım verimliliğine yansımaları;
- Rizosfer süreçleri, kök salgıları ve mikrobiyal ortaklıklar üzerinden P ve Zn biyoyararlanabilirliğinin şekillenmesi;
- Aynı veya daha yüksek verimi daha düşük mineral gübre girdisiyle elde etmeye yönelik tasarım ilkeleri, riskler ve fayda-maliyet boyutları.

Bölümün akışı şu şekilde yapılandırılmıştır: Önce karışık ekimin agroekolojik dayanakları ve sistem düşüncesindeki yeri ele alınacak, ardından BNF’in karışık ekimdeki davranışı zamanlama ve mekânsal düzen bağlamında tartışılacaktır. Devamında P-Zn etkileşimlerinin biyofiziksel temelleri ve yönetim önerileri, ardından da gübre azaltım potansiyeli çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarla birlikte değerlendirilecektir. Türkiye ve dünyadan uygulama örnekleri ölçeklenebilir modellerle sunulacak; son kısımda ise mikrobiyom hedefli ıslah, hassas tarım ve karar destek sistemleri gibi gelecek araştırma alanları tartışılacaktır.

Bölümün hedef kitlesi araştırmacılar, yayımcılar, politika yapıcılar ve saha uygulayıcılarıdır. İçerik, laboratuvar ve parsel denemelerinden çiftlik ölçeğine uzanan örneklerle, karar verdirici bir dille sunulmuştur. Beklenen katkı mekanistik açıklamaları yönetim ilkeleriyle birleştirerek farklı agroekolojik zonlara uyarlanabilir, pratikte uygulanabilir bir çerçeve sunmaktır.

1. TAHIL-BAKLAGİL KARIŞIK EKİM SİSTEMLERİNİN AGROEKOLOJİK TEMELİ

1.1. Tarihsel ve geleneksel uygulamalar

Tahıl ve baklagillerin birlikte yetiştirilmesi, modern tarım biliminin ötesinde köklü bir tarihsel geçmişe sahiptir. Anadolu’dan Afrika’ya, Asya’dan Latin Amerika’ya kadar farklı kültürlerde, arpa–mercimek, buğday–nohut, mısır–fasulye ya da darı–bezelye gibi karışımlar, geleneksel üretim

sistemlerinin temel taşları olmuştur (Chimonyo vd., 2020; Harwood, 2024). Bu uygulamaların çıkış noktası yalnızca verim artırma değil, aynı zamanda beslenme güvenliği ve risk dağılımı olmuştur. Tahılların enerji yoğunluğu ile baklagillerin protein zenginliği, küçük ölçekli çiftlikler için dengeli bir beslenme sağlayarak kültürel ve ekonomik sürdürülebilirliği desteklemiştir (Chimonyo vd., 2023). Geleneksel tarım bilgisi, günümüzün sürdürülebilir tarım arayışlarıyla birleştiğinde, bu uygulamaların yeniden değer kazanmasına zemin hazırlamaktadır (Sekhar vd., 2024).

1.2. Ekosistem hizmetleri

Karışık ekim sistemleri, yalnızca bitki verimliliğine değil, aynı zamanda ekosisteme de katkı sunmaktadır (Pokharel vd., 2023; Ray vd., 2025). Öncelikle, türlerin farklı kök derinlikleri ve besin alma stratejileri sayesinde toprak profili daha etkin kullanılır; bu da su tutma kapasitesini artırır ve erozyonu azaltır (Wen vd., 2022). Karışık ekim, yabancı ot baskısını da doğal bir şekilde kontrol altına alır. Tahılların hızlı çıkışı, baklagillerin ise boşlukları dolduran yaprak örtüsü, birlikte yabancı otların ışık ve besin kaynaklarına erişimini sınırlar (Rad vd., 2020; Gu vd., 2021)

Toprak yapısı açısından bakıldığında, baklagillerin BNF yoluyla toprağa sağladığı organik azot ve kök biyokütlesi, toprak organik maddesini zenginleştirir, agregat stabilitesini artırır ve uzun vadeli toprak sağlığına katkı yapar. Ayrıca, farklı bitki türlerinin kök salgıları, rizosfer mikrobiyotasının çeşitliliğini yükselterek toprak biyolojik aktivitesini canlandırır (Soumare vd., 2020; Kebede, 2021).

Hastalık ve zararlılar açısından, monokültür sistemlerinde görülen hastalık döngüleri karışık ekimle kırılabilir. Tahıllar ve baklagillerin farklı yaprak, gövde ve kök yapıları bir araya gelince, zararlılar hedefini kolay bulamazken; faydalı böceklerin yaşam alanı genişler, biyolojik denge desteklenir. Böylece biyolojik denge korunur ve kimyasal ilaç bağımlılığı azalır (Rakotomalala, vd., 2023)

1.3. Monokültür ile karşılaştırma

Monokültür sistemleri kısa vadede yüksek verim sunabilse de, uzun vadede toprak yorgunluğu, besin dengesizliği ve zararlı baskısının artması gibi sorunlara yol açmaktadır. Tek türün tekrarlı ekimi, özellikle azot ve mikro

elementler açısından toprakta tükenmeye neden olur (Kaur vd., 2024). Buna karşılık, tahıl-baklagil karışık ekim sistemleri, fonksiyonel tamamlayıcılık ilkesine dayanarak monokültürün bu kısıtlarını aşar (Shu vd., 2024). Tahıllar daha çok N tüketirken, baklagillerin BNF kapasitesi toprakta azot yenilenmesine katkı yapar. Aynı şekilde, tahılların güçlü kök sistemleri toprak yapısını gevşetirken, baklagillerin kök salgıları P çözünürlüğünü artırarak Zn biyoyararlanımını destekler (Bourke vd., 2021).

Karışık ekimin tasarımı, başarının anahtarıdır. Tür ve çeşit seçimi, ekim oranı, sıra düzeni, ekim zamanı ve baklagillerin aşılınıp aşılınmaması gibi kararlar, hem verim düzeyini hem de ekosistem hizmetlerini belirler. Örneğin, tahılların yüksek yoğunlukta ekilmesi baklagillerin gölgelenmesine yol açabilirken, dengeli bir ekim oranı iki türün de avantajlarını eş zamanlı ortaya çıkarabilir (Liu vd. 2023; Chimonyo vd., 2023; Li vd., 2023a). Bu nedenle, karışık ekim planlamasında tasarım parametreleri dikkate alınmalıdır (Bkz. Tablo 1).

Tablo 1. Tahıl-baklagil karışık ekimde tasarım parametreleri ve beklenen etkiler

Parametre	Açıklama	Beklenen Etkiler (BNF, P–Zn dengesi, verim)
Tür / Çeşit Seçimi	Farklı büyüme hızı, kök derinliği ve besin alma Fonksiyonel tamamlayıcılık, su-besin rekabetinin stratejilerine sahip kombinasyonlar	azalması, BNF artışı
Ekim Oranı	Tahıl ve baklagil tohum oranlarının ayarlanması (ör. Dengeli rekabet, tahıllarda yeterli kardeşlenme, 50:50, 60:40)	
Sıra Düzeni	Karışık (aynı sıra), şerit (alternatif sıra), blok ekim	
Ekim Zamanı	Eş zamanlı ekim veya ardışık ekim (staggered)	Rekabetin azaltılması, kök bölgesinde zamansal besin paylaşımı
Kök/At-Sürgün Oranı	Çeşitlerin kök gelişimi ve üst aksam büyümesi	Toprak yapısının iyileşmesi, su tutma kapasitesi, organik madde zenginleşmesi
Baklagil Aşılama (Rhizobium)	Bakteri inokulantları ile baklagillerin desteklenmesi	BNF veriminin artması, tahıllara dolaylı azot katkısı
Mikorizal İnokulantlar	Mikoriza mantarlarının toprak veya tohumla P çözünürlüğünün artması, Zn biyoyararlanımının uygulanması	yükselmesi
Biyostimülanlar	Bitki gelişim düzenleyicileri, humik asitler, deniz Kök gelişiminin güçlenmesi, stres toleransı, besin alım yosunu özleri vb.	verimliliğinin artması

Not: Bu tablo, ilgili literatürden derlenmiştir (Kaur vd., 2024; Shu vd., 2024; Bourke vd., 2021; Liu vd., 2023; Chimonyo vd., 2023; Li vd., 2023a).

2. BİYOLOJİK AZOT FİKSASYONU (BNF) VE KATKILARI

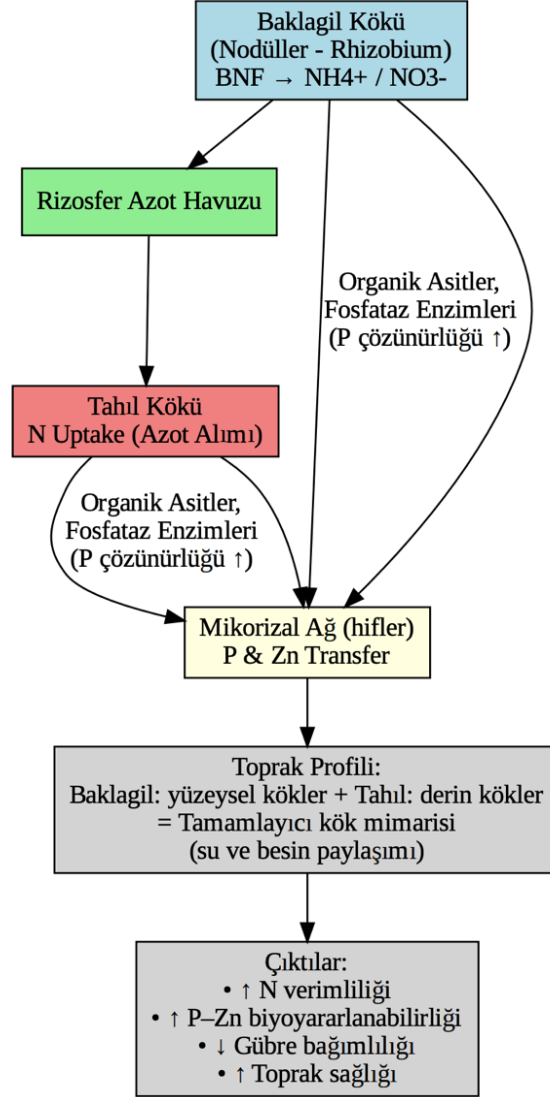
2.1. Baklagillerin simbiyotik azot fiksasyonu mekanizması

Baklagiller, kök nodüllerinde yaşayan *Rhizobium* türü bakteriler ile kurdukları simbiyotik ilişki sayesinde atmosferdeki serbest azotu (N_2), bitkinin doğrudan kullanabileceği amonyum formuna dönüştürebilir. Bu mekanizma, azot döngüsünün en temel biyolojik süreçlerinden biridir. Nodüllerde gerçekleşen bu dönüşüm, nitrojenaz enzim kompleksi aracılığıyla yürütülür ve enerji gereksinimi, bitkinin fotosentez yoluyla ürettiği karbon bileşiklerinden sağlanır. Bu simbiyoz sayesinde, baklagiller hem kendi gelişimleri için gerekli azotu karşılar hem de rizosferdeki azot havuzunu zenginleştirir (Raza vd., 2020).

2.2. Tahıllarla tamamlayıcılık: Azot ekonomisi

Tahıl-baklagil karışık ekim sistemlerinde, baklagillerin sabitlediği azotun bir bölümü rizosfer yoluyla tahıllara geçebilir. Bu geçiş doğrudan kök salgıları, nodül parçalanması ya da mikrobiyal mineralizasyon ile olurken, dolaylı olarak da toprak organik maddesinin artışıyla sağlanır (Zhao vd., 2020). Özellikle hızlı büyüyen tahıllar, kritik kardeşlenme ve salkım oluşturma dönemlerinde bu biyolojik azottan faydalanarak azot ekonomisinin bir parçası haline gelir. Böylece, sistem düzeyinde azot kullanımı daha verimli hale gelir ve azot kayıpları azalır. Karışık ekimde görülen bu tamamlayıcılık, tek ürün sistemlerinde gözlenen aşırı mineral N talebini dengeleyici bir işlev görür (Dang, 2024).

Bu etkileşim yalnızca bitki büyümesini desteklemekle kalmaz, aynı zamanda toprak mikrobiyotasının çeşitlenmesine de katkıda bulunur. Rizobiyal aktivite, mikorizal mantarlarla ve diğer faydalı rizosfer mikroorganizmalarıyla etkileşim içine girerek kök bölgesinde karmaşık bir besin paylaşım ağı oluşturur (Zhao vd. 2020). Bu süreçler, tahıl ve baklagil köklerinin farklı mimarileriyle birleştiğinde, su ve besinlerin daha adil paylaşılmasını sağlar (Dang, 2024). Bu kavramsal ağ, BNF'in yanı sıra P çözünürlüğü ve Zn alımıyla da bağlantılıdır (Amanullah vd., 2020; Yu vd., 2022) (Bkz. Şekil 1).



Şekil 1. Karışık ekimde rizosfer etkileşimleri (kavramsal şema)

Not: Şekil, ilgili literatürden derlenerek hazırlanmıştır (Raza vd., 2020; Zhao vd., 2020; Dang, 2024; Amanullah vd., 2020; Yu vd., 2022).

2.3. BNF'in kimyasal gübre kullanımını azaltmadaki rolü

BNF, tarımsal sistemlerde kimyasal gübre kullanımını azaltmanın en etkili biyolojik yollarından biridir (Mukherjee ve Sen, 2021). Karışık ekim sistemlerinde baklagillerin sağladığı biyolojik azot, mineral gübre ihtiyacını düşürerek hem ekonomik hem de çevresel fayda sağlar. Çiftçiler açısından bu durum, özellikle yüksek gübre maliyetlerinin baskısını hafifletir (Huss vd., 2022). Çevresel açıdan ise azalan mineral N uygulamaları, nitrat yıkanması, N₂O emisyonları ve su kirliliği risklerini azaltır (Soumare vd., 2020).

Uzun vadede, karışık ekim sistemlerinde biriken organik azot, toprak verimliliğini destekleyen yavaş salınımlı bir azot kaynağı oluşturur (Long vd. 2021). Bu da monokültür sistemlerine kıyasla daha dengeli bir besin döngüsü ve sürdürülebilir üretim demektir (Bourke vd., 2021). Dolayısıyla, BNF yalnızca anlık bir verim katkısı değil, aynı zamanda sürdürülebilir azot yönetimi için stratejik bir araçtır.

3. FOSFOR-ÇİNKO (P-Zn) ETKİLEŞİMLERİ

3.1. Tahıl ve baklagillerde P ve Zn beslenmesinin önemi

Fosfor (P) ve çinko (Zn), tahıl ve baklagillerin büyüme ve gelişiminde birbirini tamamlayan iki stratejik besin elementidir (Amanullah vd., 2020; Yu vd., 2022). P, özellikle enerji metabolizmasında, kök gelişiminde ve tohum oluşumunda belirleyici bir rol oynar (Shrivastav vd., 2020). Tahıllarda hızlı köklenme ve kardeşlenme döneminde P yeterliliği, verim potansiyelini doğrudan etkilerken (Zhang vd. 2021); baklagillerde nodül oluşumu ve BNF kapasitesi büyük ölçüde P mevcudiyetine bağlıdır (Dikr ve Abayechaw, 2022). Zn ise, fotosentez enzimlerinden oksidatif stres düzenleyicilerine kadar birçok metabolik süreçte yer alır ve hormon sentezi ile tane doldurma döneminde kritik işlevler üstlenir. Zn eksikliği, özellikle kireçli ve yüksek pH'lı topraklarda sık rastlanan bir sorun olup, tahıl ve baklagil üretiminde hem verim kaybına hem de besin değeri yetersizliklerine yol açabilir (Kachinski vd., 2020; Shrivastav vd., 2020; Mutambu vd., 2023).

3.2. Antagonistik ve sinerjik etkileşimler

P ve Zn arasındaki etkileşimler karmaşıktır (Romera vd. 2021). Yüksek düzeyde P uygulamaları, Zn alımını baskılayarak “indüklenmiş Zn

noksanlığı”na neden olabilir. Bu antagonistik etki, özellikle tahıllarda kloroz, cüceleşme ve düşük tane kalitesi olarak ortaya çıkar. Benzer şekilde, Zn eksikliği durumunda P metabolizması verimli yürüyemez ve enerji kullanım etkinliği düşer (Saha vd., 2022). Ancak bazı koşullarda P ve Zn etkileşimi sinerjik bir boyut da kazanabilir (Aboyeji vd., 2020; Bhardwaj vd., 2024). Örneğin, baklagillerin rizosferde salgıladığı organik asitler ve fosfataz enzimleri, hem bağlı P’u çözünür hale getirir hem de Zn’nin biyoyararlanabilirliğini artırır. Tahıllar ise derin kök sistemleriyle Zn mobilitesini kolaylaştırarak baklagillerin Zn alımına dolaylı katkı sunabilir. Bu karşılıklı etkileşimler, karışık ekimin besin yönetiminde ortaya çıkan komplementer etkilerinin temelini oluşturur (Korkmaz vd., 2021; Ahmad vd., 2024).

3.3. Karışık ekimde P–Zn dengesinin etkileri

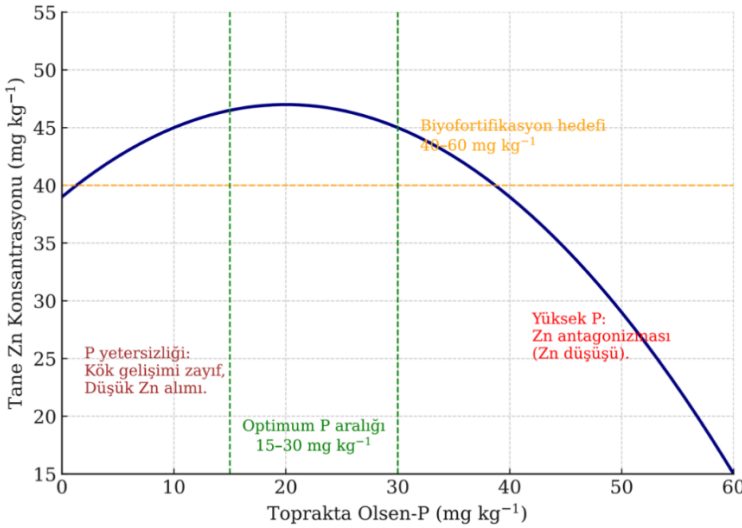
Tahıl-baklagil karışık ekim sistemleri, P–Zn etkileşimlerinin yönünü değiştirme ve dengeleme potansiyeline sahiptir (Chamkhi vd., 2022; Ebbisa, 2022; Nath vd., 2024; Yang vd., 2025). Rizosferdeki kök salgılarının çeşitlenmesi, mikorizal mantarların etkinliğinin artması ve besin alma stratejilerinin tamamlayıcılığı sayesinde, antagonistik etkiler sınırlandırılabilir ve daha dengeli bir biyoyararlanabilirlik penceresi oluşabilir (Saha vd., 2022; Bhardwaj vd., 2024; Yang vd., 2025). Bu durum yalnızca toplam verimi artırmakla kalmaz, aynı zamanda tane ve yem kalitesinde Zn zenginleşmesi yoluyla besinsel değer artışı sağlar (Gondal vd., 2021). Özellikle insan beslenmesinde mikronutrient eksikliklerinin yaygın olduğu bölgelerde, bu biyofortifikasyon etkisi stratejik önem taşır (Praharaş vd., 2021).

Karışık ekimde P–Zn dengesinin yönetilmesi, gübreleme stratejilerinde esneklik sağlar. Daha düşük P gübresi kullanılarak Zn antagonizması azaltılabilir; aynı zamanda Zn takviyesiyle BNF’in verimliliği ve tahılların kalite parametreleri yükseltilebilir. Dolayısıyla, doğru tasarlanmış bir tahıl-baklagil karışık ekim sistemi yalnızca yüksek verim değil, aynı zamanda yüksek besin değeri ve sürdürülebilir gübre kullanımı açısından avantajlıdır (Huss vd., 2022).

Çin’de yürütülen geniş ölçekli saha çalışmaları, Olsen-P’nin yaklaşık 15–30 mg kg⁻¹ aralığında bulunmasının hem verim hem de tane Zn konsantrasyonu için optimum koşulları sağladığını göstermektedir, Liu vd.

(2024a) ise bu aralığın üzerindeki yüksek P seviyelerinde Zn düşüşünün belirginleştiğini raporlamıştır. Bu aralıkta kök gelişimi desteklenmekte, P'nin biyoyararlanımı artmakta ve Zn alımı baskılanmadan gerçekleşmektedir. Ancak 30–40 mg kg⁻¹'in üzerindeki yüksek P düzeylerinde, P–Zn antagonizması belirginleşmekte ve tane Zn derişimi düşmektedir. Mikorizal mantarların varlığı bu antagonizmayı kısmen dengeleyebilmekte, Zn alımını desteklemektedir (Yu vd., 2020).

Modern buğday ve diğer tahıllarda tipik tane Zn konsantrasyonu 28–30 mg kg⁻¹ düzeyindedir; oysa insan beslenmesi için önerilen biyofortifikasyon hedefi 40–60 mg kg⁻¹ aralığıdır (Wang vd., 2020; Hui vd., 2025). Bu ilişkiler, kavramsal olarak Şekil 2'de gösterildiği üzere, düşük ve yüksek P koşullarında sınırlayıcı, orta düzeylerde ise verim ve kalite açısından optimum bir etki yaratmaktadır.



Şekil 2. P-Zn etkileşim penceresi.

Not: Şekil, ilgili literatürden derlenerek hazırlanmıştır (Chen vd., 2017; Yu vd., 2020; Wang vd., 2020; Liu vd., 2024a; Hui vd., 2025).

4. GÜBRE AZALTIM POTANSİYELİ

4.1. Tahıl-Baklagil sistemlerinde N, P ve Zn gübre ihtiyacının düşürülmesi

Tahıl-baklagil karışık ekim sistemlerinin en önemli ekolojik avantajlarından biri, mineral gübre ihtiyacını azaltma potansiyelidir (Huss vd.,

2022; Li vd., 2023b). Baklagillerin sağladığı biyolojik azot fiksasyonu (BNF), sistemdeki tahılların bir bölümünü doğrudan veya dolaylı olarak destekler. Bu sayede, toplam azot talebi düşer ve mineral azot gübrelerine olan bağımlılık azalır. Benzer şekilde, baklagillerin rizosferde salgıladığı organik asitler ve fosfataz enzimleri, bağlanmış fosforun çözünmesini kolaylaştırır ve tahılların fosfor erişimini artırır (Zhao vd., 2022). Çeşitli baklagil türleri Zn alımını teşvik eden kök salgıları sayesinde Zn biyoyararlanımını yükselterek mineral Zn gübre ihtiyacını da azaltabilir. Dolayısıyla karışık ekim sistemlerinde N, P ve Zn gübre uygulamaları, monokültür sistemlere kıyasla daha düşük seviyelerde planlanabilir (An vd., 2023; Nasar vd., 2024; Yang vd., 2025).

Jensen vd. (2020) çalışmalarında tahıl-baklagil karışımı sistemlerin sentetik N gübre ihtiyacını küresel ölçekte %26 düzeyinde azaltabileceği ileri sürülmüştür. Ayrıca, Pierre vd. (2025) mısır-baklagil karışımında toplam mineral N konsantrasyonlarında %27–53 azalma raporlamıştır. P açısından yapılan meta-analizler karışık ekim sistemlerinde P etkinliğini ~24 % artırabildiğini göstermektedir (LER_P $\approx$ 1,24) (Tang vd., 2021).

Benzer şekilde, Liu vd. (2024b) mısır/soya karışımında N gübresi ihtiyacında %31 tasarruf sağlandığını, Yan vd. (2024) ise Fransa'daki buğday karışık ekim denemelerinde azot gübresi ihtiyacının %38'e kadar düşürülebildiğini raporlamıştır. Fosfor açısından Qu vd. (2024) karışık ekim ile fosfataz aktivitesinin anlamlı şekilde arttığını ve toplam P alımının yükseldiğini göstermiştir. Ayrıca yakın tarihli bir meta-analizde karışık ekim sistemlerinde toprakta elverişli P konsantrasyonunun ortalama %14,68, fosfataz aktivitesinin ise %11,74 oranında arttığı bildirilmiştir (Gong vd., 2025).

4.2. Toprak verimliliği ve sürdürülebilir gübre yönetimi

Mineral gübrelerin daha düşük dozlarda kullanılması, yalnızca kısa vadeli ekonomik tasarruf sağlamaz; aynı zamanda uzun vadeli toprak verimliliği için de kritik bir stratejidir (Pahalvi vd., 2021; Finez ve Talimbay, 2023). Aşırı azot uygulamaları toprağın asitleşmesine, fosfor fazlalıkları çözünmeyen komplekslerin oluşmasına, çinko dengesizliği ise bitki metabolizmasının bozulmasına yol açabilmektedir (Yanardağ, 2024). Karışık ekim sistemlerinde bu riskler sınırlanır ve besin elementlerinin daha dengeli bir döngüsü sağlanır. Ayrıca, toprakta artan organik madde birikimi ve mikrobiyal çeşitlilik, besinlerin yavaş ve istikrarlı şekilde salınmasına aracılık eder.

Böylece, karışık ekim yalnızca mevcut sezon verimliliğini değil, aynı zamanda uzun vadeli toprak sağlığını da güvence altına alır (Li, vd., 2021; Akchaya vd., 2025).

Attallah vd. (2024) çalışmasında, karışık ekim sistemi ile toprakta toplam N içeriği %29–32 oranında artarken, aynı sistem buğdayın N alımını %21–26 aralığında yükseltmiştir. Tripathi vd. (2021) ise mısır + baklagil karışımının, sonraki yıl buğdayda kullanılan N gübresini %25 oranında azaltabildiğini bildirmiştir. Benzer şekilde, Gong vd. (2024) tarafından yapılan bir meta-analiz, karışık ekim sistemlerinde toprakta elverişli P konsantrasyonunun %14,68, fosfataz aktivitesinin ise %11,74 oranında arttığını ortaya koymuştur. Sun vd. (2024) ise azot sınırlı koşullarda karışık ekim uygulamalarının toprak organik karbonunu %14 ve partikül organik karbonu %31 oranında yükselttiğini raporlamıştır. Yimer vd. (2025) çalışmasında, mısır–fasulye karışık ekim sisteminin N ve P alımını istatistiksel olarak anlamlı şekilde artırdığı ($p < 0,05$) belirtilmiştir. Ayrıca, Thompson vd. (2024) buğday–soya karışım sistemlerinde toprak organik karbonu, mikrobiyal biyokütle ve enzim aktivitesini artırarak toprak agregasyonunu güçlendirdiğini göstermiştir.

4.3. Ekonomik ve çevresel faydalar

Gübre azaltımı, çiftçiler için doğrudan maliyet düşüşü anlamına gelir (Jensen, 2021). Özellikle son yıllarda artan gübre fiyatları göz önüne alındığında, biyolojik süreçlerden yararlanarak aynı verimin daha düşük mineral girdiyle elde edilmesi, üreticinin kâr marjını artırır (Ma vd., 2025). Tzemi vd. (2025) çalışmasında, karışık ekim sistemleri çiftçilerin NPV'sini yaklaşık %10 artırdığını, bunun büyük kısmının azalan N gübre maliyetinden kaynaklandığını bildirmiştir. Ayrıca Li vd. (2023b) karışık sistemlerde protein veriminde monokültüre göre %10 artış bulmuştur. Tripathi vd. (2021) ise karışık sistemin ardından gelen buğdayda net getiri ve fayda/maliyet (B:C) oranlarının anlamlı şekilde iyileştiğini raporlamıştır.

Ek olarak, Raza vd. (2025) çalışmasında pamuk-baklagil karışık ekim sistemlerinde net ekonomik kârlılığın %37–226 arasında artabildiği raporlanmıştır. Assefa vd. (2025)'in sorghum + mung bean denemesinde, karışık ekim sistemi kullanıldığında 83.309 ETB/ha net fayda elde edilmiş ve net fayda avantajı %21,43 olarak belirlenmiştir. Ayrıca Belay vd. (2024) araştırması, karışık ekim yapıların monokültür sistemlere kıyasla daha yüksek

kârlılık gösterdiğini bulmuştur. Manevska-Tasevska vd. (2024) çalışması da tahıl-baklagil karışımların benimsenmesinin olumlu ekonomik çıktılara yol açtığını ortaya koymuştur.

Çevresel açıdan bakıldığında ise, azalan mineral N uygulamaları ile birlikte N_2O emisyonları, nitrat yıkanması ve yeraltı suyu kirliliği gibi sorunlar azalır (Yu vd., 2025). Fosforun daha etkin kullanımı, göllerde ve akarsularda ötrofikasyon riskini düşürür (Hassan vd., 2022; McDowell ve Haygarth, 2024; Ogwu vd., 2025). Zn'nin biyolojik yollarla daha iyi yönetilmesi, mikronutrient döngülerinde istikrar sağlar (Sethi vd., 2025).

Son yıllarda yapılan çalışmalar, mineral gübrelerin kademeli olarak azaltılmasının hem ekonomik hem de çevresel açıdan faydalı olabileceğini ortaya koymaktadır. Kagan vd. (2024), azot gübrelemesinde yaklaşık %20 azaltım uygulandığında verimde yalnızca %5 düzeyinde bir düşüş gözlenmesine karşın, N_2O emisyonlarının %15, nitrat yıkanmasının ise %21 oranında azaldığını rapor etmiştir. Benzer şekilde, Valenzuela vd. (2024) Avrupa'daki sebze üretim sistemlerinde kimyasal azot uygulamalarını %25 oranında azaltmış ve bu durumda tarımsal verimde anlamlı bir kayıp olmadan azot kullanım etkinliğinde artış elde edildiğini göstermiştir. Modelleme temelli bir başka çalışmada, Flohr vd. (2024) yarı kurak buğday alanlarında %25–50 azot gübresi azaltımı senaryolarını incelemiş ve daha düşük girdili yönetimlerin hem çevresel etkileri azalttığını hem de belirli koşullarda üretim istikrarını koruduğunu bildirmiştir.

Bu bulgular, tahıl–baklagil karışık ekim sistemlerinde –25%, –50% ve –75% gibi kademeli azaltım senaryolarının denenmesini bilimsel açıdan gerekçelendirmektedir. Çünkü karışık ekim sayesinde biyolojik azot fiksasyonu, fosfor–çinko etkileşimlerindeki denge ve mikrobiyal süreçler, mineral gübrelerin daha düşük seviyelerde kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bu çerçevede, farklı azaltım düzeylerinin verim, kısmi faktörel verimlilik, ekonomik kazanç ve çevresel göstergeler açısından nasıl yansıdığını özetleyen değerlendirme Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Gübre azaltım senaryoları: Verim, kısmi faktörel verimlilik ve çevresel göstergeler

Senaryo	N, P, Zn Gübre Azaltımı (%)	Beklenen Verim (Göreceli %)	Kısmi Faktörel Verimlilik (PFP)	Ekonomik Etki	Çevresel Etki
Tam Gübreleme (Kontrol)	0%	100%	Referans değer	Yüksek girdi maliyeti	Yüksek N ₂ O, nitrat yıkanması, P kayıpları
Azaltım Senaryosu I	-25%	95-100%	↑ PFP (daha verimli kullanım)	Maliyet düşüştü	N ₂ O ve nitrat kayıplarında belirgin azalma
Azaltım Senaryosu II	-50%	85-95%	↑↑ PFP	Belirgin tasarruf	Düşük emisyon, ötrofikasyon riski azalır
Azaltım Senaryosu III	-75%	70-85%	Stabil PFP	Maliyet çok düşük	Besin yetersizliği riski, verimde dalgalanma
Tamamen Biyolojik Süreçler	-100% (yalnızca BNF + mikrobiyal katkılar)	50-70% (bölgeye göre değişken)	Düşük	Girdi maliyeti minimum	Çevresel etki çok düşük ama verim riski yüksek

Not: Tablo 2’de sunulan azaltım yüzdeleri, literatürdeki ampirik çalışmalar ve modelleme senaryolarından (ör. Kagan vd., 2024; Valenzuela vd., 2024; Flohr vd., 2024) derlenmiş olup, bölgeler arası toprak, iklim ve yönetim koşullarına göre değişiklik gösterebilir.

5. TÜRKİYE VE DÜNYA UYGULAMALARI

5.1. Türkiye’de tahıl-baklagil karışık ekim örnekleri

Türkiye, hem tahıllar hem de baklagiller açısından zengin genetik çeşitliliğe ve farklı agroekolojik bölgelere sahip olmasıyla karışık ekim sistemleri için uygun bir ülkedir. Orta Anadolu’da yaygın olan arpa-fiğ veya buğday-mercimek karışımları, kaba yem üretiminde uzun yıllardır kullanılmaktadır. Örneğin, Isparta koşullarında yapılan denemelerde Hungarian fiğ + arpa karışımı kuru ot verimini yaklaşık 4.5 t ha⁻¹ düzeyine çıkarırken, ham protein oranını %14.8’e yükseltmiştir; bu değer tek başına fiğ ekimine göre yaklaşık %20–25 daha yüksektir (Balabanlı vd., 2010). Benzer şekilde, bezelye-yulaf ve bezelye-arpa karışımları %55:45 ve %65:35 oranlarında ekildiğinde, kuru ot verimi ve ham protein oranı tek başına ekimlere kıyasla belirgin şekilde artmıştır (Koçer vd., 2010). Kayseri koşullarında Macar fiği (*Vicia pannonica*) + arpa karışımlarında iki yıllık denemeler, fiğ oranı arttıkça protein oranının yükseldiğini, NDF’nin azaldığını; en yüksek kuru madde veriminin ise saf arpadan geldiğini göstermiştir. Verim-kalite dengesi açısından %70 fiğ + %30 arpa oranı bölge ve benzer ekolojiler için önerilmektedir (Düzcekiç vd., 2022). Yozgat koşullarında çavdar ile Macar fiği/yem bezelyesi farklı oranlarda (20:80–80:20) karıştırıldığında, çavdar oranı arttıkça yeşil ve kuru ot verimlerinin yükseldiği, baklagil oranı arttıkça ham protein oranının yükseldiği; bütüncül değerlendirmede %80:20 (çavdar:baklagil) karışımlarının öne çıktığı rapor edilmiştir (Doğrusöz vd., 2023).

Marmara Bölgesi’nde de benzer uygulamalar raporlanmaktadır; Güney Marmara koşullarında 2009–2011 döneminde yürütülen yağmura dayalı çalışmada yaygın fiğ ile yulaf/arpa/buğday karışımlarında (%75:25, %50:50, %25:75) karışım oranına bağlı olarak kuru madde ve ham protein veriminin anlamlı biçimde değiştiği ve fiğ-yulaf 75:25 oranının öne çıktığı bildirilmiştir (Çarpıcı ve Tunalı, 2012). Bursa koşullarında yapılan bir diğer araştırmada ise fiğ-tritikale ve fiğ-İtalyan çimi karışımlarında en yüksek ot veriminin %50 fiğ + %50 tritikale kombinasyonunda elde edildiği, verim-kalite dengesi açısından %75 fiğ + %25 tritikale oranının önerildiği belirtilmiştir (Çarpıcı ve Çelik, 2014). Trakya Bölgesi’nde Tekirdağ koşullarında 2005–2007 döneminde yürütülen çalışmalarda 25 farklı ikili ve üçlü karışım değerlendirilmiş; en yüksek yeşil ot verimi “acı bakla + koca fiğ + Macar fiği” içeren karışımlardan

elde edilmiş, kuru ot veriminde de karışımlar yalın ekimlere göre üstün bulunmuştur (Orak ve Nizam, 2012).

Ege ve Akdeniz bölgelerinde ise yulaf-bezelye ya da mısır-soya karışımları, özellikle süt sığırcılığı işletmelerinde yem kalitesini artırmak amacıyla tercih edilmektedir. Ege koşullarında Bornova’da yürütülen denemelerde de iki fiğ çeşidi ile arpa ve yulafın farklı oranlardaki karışımlarında, ikinci biçimde %50 fiğ (Kubilay) + %50 yulaf (Faikbey) kombinasyonunun diğerlerine üstün geldiği rapor edilmiştir (Topçu vd., 2020). Antalya sahil kuşağında fiğ (*Vicia sativa*) + İngiliz çimi (*Lolium perenne*) karışımlarında, karışım ekimleri saf fiğe kıyasla yeşil ot ve kuru madde verimini artırmıştır; en yüksek yeşil ot verimi çaprazvari ekimde 1867 kg/da, en düşük değer saf fiğde 1201 kg/da; kuru madde verimi ise sırasıyla 525.8 ve 274.6 kg/da olarak rapor edilmiştir. Çalışma kalite parametreleri yayımlamadığından, karışımların kalite üstünlüğüne ilişkin bir sonuç bu makeden çıkarılamaz (Çakmakçı, 2005). Adana, Tarsus, Osmaniye, Kahramanmaraş ve Antalya istasyonlarında yürütülen Akdeniz Bölgesi altı sıralı arpa TDÖ denemelerinde tane verimi lokasyon ve yıla göre 205.0–760.0 kg/da aralığında değişmiştir; genel ortalama 544.5 kg/da, ‘Ay’ çeşit adayının ortalaması 529.3 kg/da, standartların ortalaması 517.8 kg/da’dır. Bu bulgular karışım denemesi olmasa da bölgedeki tahıl bileşenlerinin potansiyelini ortaya koymaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020). Ayrıca Şırnak’ın İdil ilçesinde yürütülen denemelerde fiğ–arpa karışımlarında toplam yaş ot verimi 1578–2995 kg/da, kuru ot verimi 369–1132 kg/da arasında değişmiş; ham protein oranı %10.57–19.90, NDF %47.63–61.68, ADF %27.66–32.64, SKM %63.48–67.35 ve nispi yem değeri 96.9–124.7 aralığında rapor edilmiştir (Zenger ve Yücel, 2025).

Doğu Karadeniz Bölgesi’nde Ordu koşullarında yapılan denemelerde yaygın fiğ ile tritikale ve yulafın 75:25, 50:50 ve 25:75 oranlarında karıştırıldığı çalışmalarda, özellikle %50:50 fiğ–tritikale karışımı yalın ekimlere göre daha stabil performans göstermiş ve Arazi Kullanım Eşdeğer Oranı (LER) değerleri her zaman 1’in üzerinde bulunmuştur (Aşcı ve Eğritaş, 2017). Ayrıca Samsun koşullarında Macar fiği ile tritikalenin farklı ekim oranları ve biçim dönemleri denendiğinde, hay verimi ve kalite parametrelerinin önemli ölçüde iyileştiği, rekabet indeksleri ve LER değerlerinin >1 bulunarak karışık ekim sistemlerinin yalın ekimlere göre üstünlük sağladığı rapor edilmiştir (Acar vd., 2017).

Güneydoğu Anadolu’da buğday–nohut kombinasyonu hem gıda hem de yem yönlü kullanımıyla dikkat çekerken, Karadeniz’de mısır–fasulye veya çavdar–fiğ karışımları, nemli toprak koşulları ve kısa vejetasyon süresiyle uyumlu çözümler sunmaktadır. Şanlıurfa koşullarında arpa–fiğ karışımlarından hazırlanan silajlarda %1.5–2 melas veya %0.4 fruktoz şurubu ilavesi, katkısız silaja göre pH’ı düşürerek fermentasyonu iyileştirmiş, in vitro organik madde sindirilebilirliği (IVOMD) ve metabolik enerjiyi artırmış; metan (CH₄) oluşumunu ise azaltmıştır. Bu sonuçlar, arpa–fiğ karışık ekiminin silaj potansiyelinin katkılarla daha da iyileştirilebildiğini ortaya koymaktadır (Aydın, 2022).

Doğu Anadolu Bölgesi’nde de karışık ekimle ilgili bulgular mevcuttur. Van koşullarında tüylü fiğ–arpa karışımlarında N (0–6 kg/da) ve P₂O₅ (0–12 kg/da) uygulamalarının yaş/kuru ot verimini ve otun N–P içeriğini anlamlı biçimde artırdığı; tesis gübrelemesi olarak 6 kg/da N ve 8–12 kg/da P₂O₅ uygulamasının önerildiği bildirilmiştir (Çimrin vd., 2001). Malatya’da 2020–2021 kışlık üretiminde Macar, adi ve tüylü fiğ ile arpa karışımlarında (100:0–0:100 dahil) karışım oranlarının Ca, Mg, K, P ve türev oranlar gibi mineral besin kompozisyonunu önemli ölçüde etkilediği rapor edilmiştir (Gül vd., 2022). Erzurum koşullarında yürütülen denemelerde ise fiğ–tahıl karışımlarında farklı oranların yem verimi ve kalite parametrelerini önemli ölçüde etkilediği bildirilmiştir. %40 fiğ + %60 arpa karışımı yüksek yeşil ot verimi sağlarken, %20 fiğ + %80 arpa karışımında kuru ot verimi 1629.3 kg da⁻¹ olarak rapor edilmiştir. Fiğ oranının artışı protein içeriğini yükseltirken, tahıl oranının artışı kuru madde verimini artırmış; biçim zamanının da verim ve kalite arasında dengeleyici rol oynadığı belirtilmiştir (Tan ve Serin, 1996).

Türkiye’de karışık ekim uygulamaları yalnızca ekonomik değil, aynı zamanda çevresel faydalar da sağlamaktadır. Harran Ovası’nda yürütülen çalışmalarda tamamlayıcı sulamanın arpa verimini %35–40 oranında artırdığı, su kullanım verimliliğini ise 1.1’den 1.5 kg tane m⁻³ su düzeyine çıkardığı rapor edilmiştir (Yıldız ve Tarı, 2018). Ayrıca, Türkiye genelinde yem baklagilleri tarımının potansiyeli oldukça yüksektir; 2020 yılı itibarıyla yem baklagilleri ekim alanı ~1.25 milyon ha, taze yem üretimi ise ~26.3 milyon ton olarak rapor edilmiştir (TÜİK, 2020). Nitekim yem bitkileri ekim alanı 2020 itibarıyla 2.31 milyon ha’a ulaşmış; ancak kaba yem açığı halen önemli bir kısıt olarak varlığını sürdürmektedir. Bu bağlamda Macar fiği ekim alanı 73,918 ha; kuru

ot üretimi 275,927 ton; birim alan verimi 3.73 t ha⁻¹ olarak bildirilmektedir. 2000'lerden bu yana yem bitkileri alanındaki %206'lık artışa rağmen, kaba yem talebinin hayvancılıktaki büyümeyle birlikte sürdüğü vurgulanmaktadır (Tan ve Yolcu, 2021). Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde bu tür uygulamalar, suyun daha etkin kullanılması ve toprağın organik madde içeriğinin korunması açısından avantaj sağlamaktadır. Ayrıca küçük ölçekli aile işletmelerinde karışık ekim, girdi maliyetlerini azaltarak ekonomik sürdürülebilirliği güçlendirmektedir.

Tablo 6.1. Türkiye’de Tahıl–Baklagil Karışık Ekim Uygulamaları: Bölgelere Göre Özet Bulgular.

Not: Tablo bulguları, 6.1 bölümünde detaylıca açıklanan yerel denemelerden derlenmiştir (ör. Balabanlı vd. 2010; Koçer ve Albayrak 2012; Düzcekiç vd. 2022;

Bölge / İl	Karışım Türü	En Önemli Bulgular
Orta Anadolu (Isparta, Kayseri, Yozgat)	Macar fiği + arpa; bezelye + arpa/yulaf; çavdar + fiğ/bezelye	Kuru ot verimi ~4.5 t/ha; HP %14.8; protein ↑ fiğ oranıyla, NDF ↓; optimum oran %70 fiğ + %30 arpa; çavdar oranı ↑ verimi artırdı, baklagil oranı ↑ proteini artırdı
Marmara (Bursa, Güney Marmara, Tekirdağ)	Fiğ + yulaf/arpa/buğday; fiğ + tritikale/İtalyan çimi; üçlü karışımlar	Fiğ–yulaf 75:25 oranı DM ve HP’de öne çıktı; %50 fiğ + %50 tritikale en yüksek ot verimi; %75 fiğ + %25 tritikale kalite dengesi için uygun; üçlü karışımlar (acı bakla + koca fiğ + Macar fiği) en yüksek yeşil ot verimi sağladı
Ege ve Akdeniz (Bornova, Antalya, Adana–Tarsus–Osmaniye–K.Maraş)	Fiğ + arpa/yulaf; fiğ + İngiliz çimi; mısır + soya; arpa çeşit denemeleri	%50 fiğ (Kubilay) + %50 yulaf (Faikbey) ikinci biçimde en yüksek performans; fiğ + İngiliz çimi yeşil ot 1867 kg/da, DM 525.8 kg/da; altı sıralı arpa denemelerinde ort. 544.5 kg/da tane verimi
Güneydoğu Anadolu (Şanlıurfa)	Arpa + fiğ (silaj); buğday + nohut	Silajda melas (%1.5–2) veya fruktoz (%0.4) eklenmesi pH’ı düşürdü, IVOMD ve ME ↑, CH ₄ emisyonu ↓
Doğu Anadolu (Van, Malatya, Erzurum)	Tüylü fiğ + arpa; Macar/adi/tüylü fiğ + arpa; fiğ + arpa	Van’da 6 kg/da N + 8–12 kg/da P ₂ O ₅ gübrelenmesi ot verimi ve N–P içeriğini artırdı; Malatya’da Ca, Mg, K, P kompozisyonu karışım oranlarına göre değişti; Erzurum’da %40 fiğ + %60 arpa en yüksek yeşil ot, %20 fiğ + %80 arpa en yüksek kuru ot (1629.3 kg/da) sağladı
Karadeniz (Ordu, Samsun)	Fiğ + tritikale/yulaf; Macar fiği + tritikale	Ordu’da %50:50 fiğ–tritikale en stabil performans, LER > 1; Samsun’da farklı oranlarda karışımlar verim ve kaliteyi artırdı, rekabet indeksleri ve LER > 1

Çarpıcı ve Tunali 2012; Çarpıcı ve Çelik 2014; Orak ve Nizam 2012; Topçu vd. 2020; Çakmakçı 2005; Tarım ve Orman Bakanlığı 2020; Zenger ve Yücel 2025; Aşçı ve Eğritiş 2017; Acar vd. 2017; Aydın 2022; Çimrin vd. 2001; Gül vd. 2022; Tan ve Serin 1996; Yıldız ve Tan 2018; TÜİK 2020; Tan ve Yolcu 2021)

5.2. Uluslararası literatürden başarı örnekleri

Dünya genelinde tahıl-baklagil karışık ekim sistemleri, farklı agroekolojik koşullarda önemli başarılar sergilemiştir. Afrika'da Sahel koşullarında yürütülen darı-yerfıstığı sistemlerinde, tüm karışım düzenlerinde arazi kullanım etkinliği (LER) 1'in üzerinde bulunmuş; LER artışı %19–41 aralığında rapor edilmiştir. Aynı çalışmada gübre uygulaması verimleri 200–600 kg ha⁻¹ artırmış ve yüksek yağışlı yılda verimler yaklaşık 300 kg ha⁻¹ daha yüksek gerçekleşmiştir (Maman ve Mason, 2023). Doğu Afrika'da mısır-bakla fasulyesi (faba bean) interkropları; gelir, toplam sistem verimi ve arazi kullanımı bakımından üstünlük sağlamış; LER>1 değerleri ve toprak verimlilik göstergelerinde iyileşmeler bildirilmiştir (Gidey vd., 2024). Ayrıca Afrika odaklı yakın tarihli bir sentez, baklagil içeren karışımların iklim değişikliğine dayanıklılığı güçlendirdiğini göstermektedir (Adam vd., 2025).

Asya'da, şerit-aktarmalı (relay) buğday-soya karışımlarında “geniş şerit” tasarımı, “dar şerit”e kıyasla toplam sistem verimini %19, toplam LER'i %24 ve net kârı %34 yükseltmiştir; toplam LER 1,04–1,35 aralığındadır (Raza vd., 2023). Ayrıca mısır-soya interkroplarında (Güneybatı Çin, 2 yıl) N gübresi yerel uygulamadan %25 azaltılmış olsa bile (225 kg N ha⁻¹ mısır; 100 kg N ha⁻¹ soya), interkrop mısır tane verimi 10.105–11.705 kg ha⁻¹ düzeyine ulaşmış; LER ve N için LER (LER_N) her zaman >1 bulunmuştur (Nasar vd., 2024). Bunun yanında, mısır-soya karışımı azot gübrelemesinin optimize edildiği sistemlerde mahsul azot alımı, azot kullanım etkinliği, N-asimilatör enzim aktivitesi ve tane veriminde artış sağlamıştır (Nasar vd., 2023; Zhang vd., 2024/2024a).

Uzun süreli relay mısır-soya karışımları, azot girdisi azaltılırken verim ve N kullanım verimliliğini koruyabilmekte; mekânsal farklılıklar N alımı ve verim tepkilerini şekillendirmektedir (Raza vd., 2023). Kurak bölgelerde mısır-bezelye karışımında azotun zamanlamasının optimize edilmesi, tane verimi ve gübre tasarrufunu birlikte iyileştirmektedir (Liu vd., 2024b).

Avrupa'da, arpa-bakla (field bean) karışımlarında 2 yıllık tarla denemeleri, tek-ekinlere kıyasla kaba protein (CP) verimini %46 ve toplam sindirilebilir besin (TDN) verimini %29 artırmıştır; yem kalite göstergeleri hedefleniyorsa N gübrelemesinin 50 kg N ha⁻¹'i aşmaması, besin verimi hedefleniyorsa ~150 kg N ha⁻¹ düzeyine çıkılabileceği önerilmiştir. Ayrıca Avrupa'da arpa-bakla (field bean) karışımları farklı azot dozlarında

incelenmiş; karışık ekim ve gübre azotu kaba protein ve besin verimini artırırken kalite metriklerinde bazı ödünleşmeler göstermiştir (Angeletti vd., 2024). Düşük girdili durum buğdayı–fiğ karışımlarında ise verim, azot dengesi ve işletme kârlılığı birlikte değerlendirilmiş ve azot gübresi bağımlılığını azaltan sonuçlar rapor edilmiştir (Denora vd., 2025). Bölgesel ölçekteki sentezler de bu eğilimleri desteklemektedir: 2022 tarihli kapsamlı bir meta-analiz, tahıl-baklagil interkroplarında tipik LER’in 1,22–1,55 aralığında olduğunu; tahıl bileşen verimlerinin tek-ekine göre %4–%27 arttığını, soya bileşen veriminde %28–%34 düşüş görülebilse de toplam arazi verimliliğinin belirgin şekilde yükseldiğini göstermiştir (Mudare vd., 2022). Ayrıca Avrupa koşullarında karışık ekim’in göreceli performansına yönelik meta-analitik kanıt tabanı hızla genişlemektedir (Paul vd., 2025).

Kuzey ve Güney Amerika’da, özellikle mısır–soya sistemlerinde karışık ekim/relay yaklaşımları aynı azot dozunda dahi mısır verimini ve toprak azotu (toplam, amonyum, nitrat) düzeylerini artırmış, azot verimliliğini yükseltmiştir (Zhang vd., 2024/2024a). Kanada ve ABD’de buğday–baklagil (ör. buğday–bakla/bezelye/mercimek) karışımları, azot gübresini kısarken ürün kalitesi ve kârlılığı korumayı/iyileştirmeyi hedefleyen stratejiler olarak rapor edilmektedir (McAuley vd., 2025). Brezilya’dan gelen çalışmalar, mısır sistemlerinde karışımların sera gazı/amonyak emisyonları ve azot dinamikleri üzerindeki etkilerini yönetimle birlikte ele almakta ve azot ihtiyacının düşürülebileceğini göstermektedir (Gazola vd., 2024).

Bu uluslararası deneyimler, karışık ekim sistemlerinin yalnızca küçük ölçekli geleneksel çiftliklerde değil, aynı zamanda modern tarım sistemlerinde de uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Farklı agroekolojik bölgelerde öne çıkan tür ve çeşit kombinasyonları, ekim oranları ve gübreleme stratejileri, azot gübresi azaltımı, kaynak kullanım etkinliği ve risk dağılımı boyutlarında yönetim paketleri halinde değerlendirilebilir. Bu paketlerin, Türkiye’nin farklı agroekolojik bölgelerine uyarlanması için sistematik bir sınıflandırma yapılabilir (Bkz. Tablo 3).

Tablo 3. Farklı kıtalarda tahıl–baklagil karışık ekim sistemleri: öne çıkan kombinasyonlar, verim ve kaynak kullanım göstergeleri.

Bölge / Kıta	Karışım Türü	En Önemli Bulgular	Nitel/Nitel Bulgular
Afrika (Sahel, Doğu Afrika)	Dan–yerfıstığı; mısır–faba bean	LER %19–41; gübre ile verim +200–600 kg/ha; LER>1; iklim dayanıklılığı güçleniyor	Nitel (LER, verim artışı) + Nitel (iklim dayanıklılığı)
Asya (Çin, Hindistan vb.)	Buğday–soya relay; mısır–soya; mısır–bezelye	N gübresi %25 azaltılsa bile mısır verimi 10–12 t/ha; LER 1.04–1.35; N verimliliği ↑; N-asimilatör enzim aktivitesi ↑	Nitel (verim, LER)
Avrupa	Arpa–bakla; durum buğdayı–fiğ	CP verimi +%46; TDN +%29; LER 1.22–1.55 (meta-analiz); N gübrelemesi kalite vs verim ödünleşmesi yaratıyor	Nitel (meta-analiz, % artışlar) + Nitel (ödünleşmeler)
Amerika (Kanada, ABD, Brezilya)	Mısır–soya; buğday–baklagil	N gübresini kısarken verim ve kalite korunuyor; toprak azotu ↑; GHG ve NH ₃ emisyonları ↓	Daha çok nitel (trend bilgisi), bazı nitel değerler

Not: Tablo 3’de verilen bulgular, ilgili bölgelere ait literatürden (Maman ve Mason, 2023; Gidey vd., 2024; Adam vd., 2025; Raza vd., 2023; Nasar vd., 2023; Nasar vd., 2024; Zhang vd., 2024/2024a; Angeletti vd., 2024; Denora vd., 2025; Mudare vd., 2022; Paul vd., 2025; McAuley vd., 2025; Gazola vd., 2024) derlenerek hazırlanmıştır.

6. GELECEK ARAŞTIRMA ALANLARI

6.1. Mikrobiyom araştırmaları

Tahıl-baklagil karışık ekim sistemlerinde rizosfer, yalnızca besinlerin paylaşım alanı değil; aynı zamanda simbiyotik bakteriler (rizobiyum), arbusküler mikorizal mantarlar (AMF) ve kök salgılarının etkileşerek besin akışını ve stres yanıtlarını şekillendirdiği bir biyokimyasal ağıdır. Bu ağ, sistemdeki biyolojik azot fiksasyonunun (BNF) büyüklüğünü etkiler ve ekolojik intensifikasyon için temel bir kaldıraçtır. Karışık ekim altında rizosfer mikrobiyomu modüle olabilir; bu da besin çevrimi ve verimlilik göstergelerine yansır (Ladha vd., 2022).

AMF, özellikle fosfor mevcudiyeti koşullarında köklerin P alım yollarını etkinleştirirken çinko (Zn) alımını ve taşınmasını da etkileyebilir. Mısırdaki farklı P düzeylerinde AMF ile Zn alımı arasındaki bu etkileşim deneysel olarak gösterilmiştir. Bu mekanizma karışık ekimde kök mimarisi ve sıra düzeniyle birleştiğinde P-Zn antagonizmasını yumuşatmaya yardımcı olabilir (Yu vd. 2024).

Yüksek çözünürlüklü omik yaklaşımlar (16S/ITS amplicon, tam metagenomik, metatranskriptomik ve kök salgısı metabolomikleri), karışık ekim bağlamında rizosferin topluluk yapısı → işlevsel genler → aktif yollar zincirini birlikte okumayı mümkün kılar. Bu sayede, fosfor çözünürlüğü (P-çözücülük) ve azot döngüsü (N çevrimi) enzimleri gibi işlevsel imzalar ortaya konabilir. Gelecek çalışmalar için özellikle metagenomik ve metatranskriptomik verilerin eşleştirilmesi önerilmektedir (Jagadeśh vd., 2024).

Mikrobiyom, kuraklık, yüksek sıcaklık ve tuzluluk gibi abiyotik streslerde bitki toleransını; fitohormon üretimi, antioksidan savunma, ozmotik düzenleme ve kök mimarisinin yeniden programlanması üzerinden modüle eder. Bu çerçevede mikrobiyom-yardımlı ıslah ve çoklu suş konsorsiyumlarına dayalı inokulant tasarımları öncelikli araştırma alanlarıdır (Singh vd. 2023)

BNF açısından, baklagil-rizobiyum simbiyozu sistemin azot ekonomisinin çekirdeğidir. 15N izlemeli çalışmalar, karışık ekim koşullarında sabitlenen azotun bir kısmının komşu tahıla transfer olabildiğini kantitatif olarak göstermektedir; bu akışın büyüklüğü kök salgılarının ve mikrobiyal mineralizasyonun zaman-mekân eşleşmesine duyarlıdır. Bu nedenle karışık

ekimde kök zonlaması ve sıra düzeni, mikrobiyal akışları ayarlamak için deneysel bir “ayar düğmesi” işlevi görebilir (Zhao vd., 2022)

6.2. Dijital tarım teknolojileri ve hassas gübreleme

Karışık ekim sistemleri mekânsal ve zamansal açıdan heterojen olduğu için, alan-içi değişkenliği yakalayabilen dijital araçlar verimlilik ve çevresel performansta büyük avantaj sağlar. UAV/drone multispektral görüntüler, yer sensörleri (toprak nemi, elektriksel iletkenlik), traktör üzeri sensörler (klorofil/SPAD, N sensörleri) ve uydu verilerinin birlikte kullanılmasıyla; bitki azot durumu, yaprak alan indeksi ve stres sinyalleri sahada sık aralıklarla haritalanabilir. Bu bilgilerle oluşturulan değişken doz (VRT) gübre reçeteleri, girdilerin “gerektiği yerde, zamanda ve miktarda” uygulanmasını mümkün kılar. Çok sayıda yaşam döngüsü ve ekonomik analiz, VRT’nin çoğu senaryoda çevresel etkiyi azalttığını göstermektedir (Bahmutsky vd., 2024).

Besine özgü karar destek: Yer-özümlü besin yönetimi (SSNM), alanın tepkisini ve verim noksanını dikkate alarak N ve P uygulamalarını optimize eder; tipik olarak verim ve besin kullanım etkinliğini (NUE) artırır. SSNM’in pirinç, mısır ve buğdayda (özellikle küçük üreticilerde) verim ve kârlılığı yükselttiği gösterilmiştir (Chivenge vd., 2022).

UAV tabanlı izleme: Kışlık buğdayda UAV görüntüleri, hava verileri ve makine öğrenmesi (ML) ile azot beslenme indeksi (NNI) güvenilir şekilde tahmin edilebilmekte; bu haritalar VRT-N reçetelerine doğrudan bağlanabilmektedir (Tanaka ve Gislum, 2025).

Karışık ekime özgü algılama: Sentinel-1/2, Landsat ve UAV zaman serileri ile ML algoritmaları, ürün tipi ve ekim desenini başarıyla haritalayarak, karışık ekimde bileşen bazlı doz haritalarının oluşturulmasına zemin hazırlar (Zhang vd., 2025).

Algoritmalar ve karar destek sistemleri: Makine öğrenmesi (RF, XGBoost, SVM, derin ağlar), verim tepki eğrilerinden doz-yanıt parametrelerini çıkararak reçete haritalarını iyileştirmektedir. Kural-tabanlı klasik DSS’lere kıyasla isabet oranını artırsa da, ölçeklenme sorunları (maliyet, veri/altyapı eksikliği, çiftçi benimsemesi) devam etmektedir. Başarılı uygulamalarda, çiftçilere yalın arayüzler, sensör tabanlı ekonomik geri bildirimler ve yerel doğrulama sağlanmaktadır (Brugler vd., 2024).

Karışık ekime özgü yönetim hattı (önerilen iş akışı):

1. **Sezon öncesi zonlama:** Çok yıllık verim, NDVI, elektriksel iletkenlik ve toprak örnekleriyle yönetim bölgeleri belirlenir; sıra düzeni/şerit genişliği, türler arası rekabet dengesine göre ayarlanır (Sharma vd., 2025).
2. **Erken dönem UAV taraması:** Sapa kalkma öncesi azot durumu (NDRE/NNI) haritalanır; tahıl ve baklagil şeritleri ayrı katmanlar olarak işlenir (Tanaka ve Gislum, 2025).
3. **Orta dönem gübre kararı:** SSNM/DSS kullanılarak azotun dozu ve zamanlaması (tahıllar için) ile fosfor-çinko uygulamaları (yaprak üstü veya bant) optimize edilir (Chivenge vd., 2022).
4. **Hasat sonrası geri besleme:** Verim haritaları ve uygulama kayıtlarıyla kısmi faktörel verimlilik (PFP-N/P), NUE ve girdi tasarrufu raporlanır; sonraki sezon için reçeteler güncellenir (Sharma vd., 2025).

Meta-analizler ve saha çalışmaları, iyi kalibre edilmiş VRT ve SSNM uygulamalarının %10–30 daha az gübre ile benzer veya daha yüksek verim sağladığını; NUE'nin arttığını ve N kayıplarının azaldığını göstermektedir. Ancak sonuçlar agroekolojik koşullara ve veri kalitesine duyarlıdır; bu nedenle model doğrulaması ve yerel kalibrasyon esastır (Bahmutsky vd., 2024; Chivenge vd., 2022).

6.3. İklim değişikliği senaryolarında karışık ekim potansiyeli

İklim değişikliği, kuraklık şiddeti ve sıklığındaki artış, sıcaklık dalgalanmaları ve besin yetersizliklerinin derinleşmesi yoluyla bitkisel üretimi baskılamaktadır. IPCC AR6 (WGII)'ın raporunda da belirtildiği üzere, tarımda uyum için çeşitlendirme ve toprak sağlığını güçlendiren uygulamalar öncelikli kaldıraçlar arasında değerlendirilmektedir (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2022; 2023). Bu çerçevede karışık ekim, hem uyum hem de azaltım hedeflerini aynı anda destekleyebilen önemli bir yönetim yaklaşımıdır.

Küresel düzeyde yapılan çalışmalar, karışık ekimin arazi kullanım etkinliğini genellikle $LER>1$ ile artırdığını ve tek ekime kıyasla üretimi çeşitlendirerek yıllararası verim dalgalanmalarını azalttığını göstermektedir. Meta-analizler, karışık ekim sistemlerinin aynı alanda birden fazla ürün

çıkıtısını optimize ederek tek ekimlerden daha yüksek performans sergilediğini, ayrıca verim istikrarını anlamlı ölçüde yükselttiğini rapor etmektedir. Bölgesel meta-analizler özellikle Afrika’da kurak yıllarda dahi LER ve toplam sistem çıktılarının avantajlı kaldığını ortaya koymaktadır (Li vd., 2023b). Bu bulgular, karışık ekimin kuraklık ve sıcaklık stresine karşı tamponlayıcı rolünü de destekler. Farklı ekolojilerde yapılan araştırmalar, kurak yıllarda LER’in yükseldiğini, sistem veriminin daha az düştüğünü ve bunun özellikle “en az bir türün baskın kalması” mekanizmasıyla açıklandığını göstermektedir. Böylece kurak koşullarda bile verimliliğin görece korunabildiği, sistem dayanıklılığının arttığı anlaşılmaktadır (Stubbs vd., 2025).

Baklagil–tahıl karışımları, biyolojik azot fiksasyonu sayesinde mineral azot gübresi ihtiyacını azaltarak N_2O emisyonlarında düşüş potansiyeli yaratmaktadır. Uzun dönemli veri setleri, karışık ekim sistemlerinin yalnızca verimi artırmadığını, aynı zamanda N_2O emisyonlarını da azalttığını ortaya koymaktadır. Azaltımın büyüklüğü, N girdisi ve yönetim süresine bağlı olmakla birlikte, küresel N_2O değerlendirmeleri tarımsal N girdilerinin optimizasyonunu en büyük azaltım kaldıraçlarından biri olarak tanımlamakta ve karışık ekim bu optimizasyona yapısal bir katkı sunmaktadır (Yu vd., 2025).

Toprak organik karbonu (SOC) ve mikrobiyal işlevler açısından da karışık ekimin belirgin avantajları bulunmaktadır. Baklagil içeren karışımlar, sap ayrışması ve mikrobiyal topluluk dinamiklerini değiştirerek SOC’un daha kararlı fraksiyonlarda tutulmasını teşvik etmektedir. Çok lokasyonlu ve uzun dönemli çalışmalar, özellikle Afrika ve Güney Asya’nın kurak bölgelerinde tahıl–baklagil sistemlerinin karbon birikimini iyileştirdiğini ve mikrobiyal enzim stokiyometrisini olumlu yönde etkilediğini göstermektedir. Böylece karışık ekim, iklim azaltım hedefleriyle (toprak karbonunun artırılması, N_2O emisyonlarının azaltılması) uyum hedeflerini (su ve besin tamponlama kapasitesinin yükselmesi) birlikte destekleyen bir strateji olarak öne çıkmaktadır (Wang vd., 2025).

Bu çerçevede, araştırma ve politika öncelikleri karışık ekimin iklim değişikliği senaryolarına daha etkin entegre edilmesi etrafında şekillenmektedir. Süreç-tabanlı modellerde (APSIM, DSSAT) gölgeleme, kök katmanlaşması, biyolojik azot fiksasyonu zamanlaması ve azot paylaşımı modüllerinin iyileştirilmesi, iklim projeksiyonlarına bağlanmış verim istikrarı ve sera gazı çıktıları üretecek senaryoların geliştirilmesi önerilmektedir (IPCC,

2022; 2023). Aynı şekilde, en az 5–10 yıl süren uzun dönemli ve çok lokasyonlu denemelerle verim, LER, N_2O , NH_3 , SOC fraksiyonları ve su verimliliğinin eşzamanlı olarak izlenmesi gerekmektedir (Yu vd., 2025). Yarı kurak bölgelerde derin köklü tahıllar ile orta veya erken gelişen baklagillerin kombinasyonları, ayırık sıra veya şerit (relay/strip) düzenleri ve zamanlanmış bölünmüş azot uygulamaları ile test edilmelidir (Stubbs vd., 2025). Azot girdisi $\times$ karışık ekim $\times$ mikrobiyal/AMF etkileşimlerini kapsayan protokoller geliştirilerek, aynı verimde %15–30 daha az azot kullanımı ve hektar başına N_2O emisyonlarında anlamlı düşüş hedeflenmelidir (Yu vd., 2025). Ayrıca SOC artışı ve N_2O azaltımı birlikte muhasebeleştirilmeli; karışık ekime yönelik iklim-akıllı teşvikler (kredi, prim vb.) ölç–raporla–doğrula (MRV) protokollerine entegre edilmelidir (Kuyah vd., 2023).

Sonuç olarak, iklim değişikliğinin baskın riskleri olan kuraklık, ısı dalgaları ve besin yetersizlikleri karşısında karışık ekim; arazi kullanım etkinliği ve verim istikrarını artırmakta, mineral azot gübresine bağımlılığı azaltarak sera gazı emisyonlarının düşmesine katkı sağlamakta ve toprak karbonu ile mikrobiyal işlevlerde iyileşmeler yaratmaktadır. Bu nedenle karışık ekim, yalnızca gıda güvenliğini değil, aynı zamanda iklim uyum ve azaltım stratejilerini de destekleyen çekirdek bir seçenek olarak değerlendirilmektedir (Li vd., 2023a).

7. SONUÇ

Bu bölüm, tahıl–baklagil karışık ekiminin yalnızca “iki ürünü yan yana yetiştirmek”ten ibaret olmadığını; BNF, kök-salgı kimyası, mikrobiyal ortaklıklar ve P–Zn etkileşimleri üzerinden işleyen bir besin yönetimi mimarisi sunduğunu gösterdi. Bu mimari, aynı verimi daha düşük mineral gübreyle koruyabilme ya da benzer girdilerle verim–kaliteyi yükseltebilme kapasitesine sahip. Baklagillerin sabitlediği azotun zamansal–mekânsal olarak tahıla açılması, fosforun kök bölgesinde çözünürlüğünün artması ve Zn biyoyararlanımının dengelenmesi; verim, kalite ve çevre performansını birlikte iyileştiren temel mekanizmalar olarak öne çıktı.

Türkiye örnekleri, farklı ekolojilerde doğru tür–oran–sıra düzeni kurulduğunda karışık ekimin hem kuru madde ve protein üretimini hem de stabiliteyi güçlendirdiğini ortaya koyuyor. Orta Anadolu’nun yarı kurak koşullarında N girdisinin akılcı azaltımı, Marmara’da verim–kalite dengesinin

biçim zamanı ile yönetimi, Ege–Akdeniz’de silaj odaklı kombinasyonların üstünlüğü ve Doğu Anadolu’da P bandı ile desteklenen karışımlar; uygulamada “tek reçete” yerine yerelleştirilmiş tasarımın gerekliliğini teyit ediyor. Bu bulgular, karışık ekimin yaygınlaştırılmasında bölgeye özgü küçük adımlı denemelerin ve öğrenen yönetimin önemini vurguluyor.

Dijital tarım araçları, karışık ekimin doğasında var olan mekânsal–zamansal heterojenliği görünür kılarak karar kalitesini artırıyor. UAV/uydu verileri, yer sensörleri ve makine öğrenmesi ile üretilen değişken doz haritaları ve yer-ölgül besin yönetimi yaklaşımları, %10–30 düzeyinde gübre tasarrufu ile verim eşitliği veya artışı sağlayabilecek operasyonel bir çerçeve sunuyor. Bu hat, yalnızca girdi optimizasyonu değil; aynı zamanda N₂O ve nitrat kayıplarının azaltımı gibi çevresel kazançlar için de pratik bir araç.

İklim değişikliğinin baskın riskleri (kuraklık, ısı dalgaları, besin yetersizlikleri) altında, karışık ekim verim istikrarını artıran, azot bağımlılığını düşüren ve toprak işlevlerini (SOC, mikrobiyal etkinlik) güçlendiren bir uyum–azaltım stratejisi olarak öne çıkıyor. Bunu mümkün kılan, türler arası fonksiyonel tamamlayıcılık ve rizosferin mikrobiyal olarak zenginleşmesidir. Önemizdeki dönemde, uzun süreli çok lokasyonlu denemeler, 15N temelli akış ölçümleri, P–Zn eşiklerinin farklı toprak tiplerinde doğrulanması ve karışım-bileşenine duyarlı karar destek algoritmalarının geliştirilmesi, bilim–uygulama köprüsünü daha da sağlamlaştıracaktır.

Sonuç olarak, karışık ekim; ekonomik rasyonalite (girdi tasarrufu, risk dağılımı), ekolojik bütünlük (besin sinerjileri, toprak sağlığı) ve iklim uyumu (istidamlı verim, sera gazı azaltımı) hedeflerini aynı anda taşıyabilen, ölçeklenebilir bir yol haritası sunuyor. Başarı, doğru tasarım ve titiz izleme ile başlıyor; basit, yinelenebilir protokoller ve bölgesel demonstrasyonlarla hızlanıyor. Bu yaklaşım benimsenirse, Türkiye tarımında gübre bağımlılığını azaltan, kaliteyi ve çevre performansını yükselten kalıcı bir dönüşüm mümkün.

KAYNAKÇA

- Aboyegi, C. M., Dunsin, O., Adekiya, A. O., Suleiman, K. O., Chinedum, C., Okunlola, F. O., Joseph, A., Ejue, S. W., Adesola, O. O., Olofintoye, T. A. J., & Owolabi, I. O. (2020). Synergistic and antagonistic effects of soil applied P and Zn fertilizers on the performance, minerals and heavy metal composition of groundnut. *Open Agriculture*, 5(1), 1-9.
- Acar, Z., Gulumsar, E., Asci, O. O., Basaran, U., & Mut, H. (2017). Effects of sowing ratio and harvest periods on hay yields, quality and competitive characteristics of Hungarian vetch-cereal mixtures. *Legume Research-An International Journal*, 40(4), 677-683.
- Adam, A. M., Giller, K. E., Rusinamhodzi, L., Rasche, F., Koomson, E., Marohn, C., & Cadisch, G. (2025). Enhancing the resilience of intercropping systems to changing moisture conditions in Africa through the integration of grain legumes: A meta-analysis. *Field Crops Research*, 321, 109663. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109663>
- Ağır, B. K., Ekinçi, M. S., & Çelik, Ş. (2025). Türkiye’de Yem Bitkileri Üretimi ve Hayvan Varlığı Arasındaki İlişki: Faktör Analizi Yaklaşımı. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(1), 137-144.
- Ahmad, I., Ahmad, W., Nepal, J., Junaid, M. B., Bukhari, N. A., Usman, M., Ahmad, N., & Khan, R. N. (2024). Synergistic enhancement of maize crop yield and nutrient assimilation via zinc oxide nanoparticles and phosphorus fertilization. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104(11), 6733-6745. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13500>
- Akchaya, K., Parasuraman, P., Pandian, K., Vijayakumar, S., Thirukumaran, K., Mustaffa, M. R. A. F., Rajpoot, S.K. & Choudhary, A. K. (2025). Boosting resource use efficiency, soil fertility, food security, ecosystem services, and climate resilience with legume intercropping: a review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9, 1527256. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1527256>
- Amanullah, Inamullah, Alkahtani, J., Elshikh, M. S., Alwahibi, M. S., Muhammad, A., Ahmad, M., & Khalid, S. (2020). Phosphorus and zinc fertilization influence crop growth rates and total biomass of coarse vs. fine types rice cultivars. *Agronomy*, 10(9), 1356. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101391>
- An, R., Yu, R. P., Xing, Y., Zhang, J. D., Bao, X. G., Lambers, H., & Li, L. (2023). Enhanced phosphorus-fertilizer-use efficiency and sustainable phosphorus management with intercropping. *Agronomy for Sustainable Development*, 43(5), 57. <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00916-6>
- Angeletti, F. G. S., Pampana, S., Arduini, I., Saia, S., & Mariotti, M. (2024). Can Nitrogen Fertilization and Intercropping Modify the Quality and

- Nutrient Yield of Barley–Field Bean Forage?. *Agronomy*, 14(6), 1166. <https://doi.org/10.3390/agronomy14061166>
- Assefa, A., Abate, M., Haile, M., & Hunegnaw, Y. (2025). Land productivity and economic benefit of sorghum (*Sorghum bicolor* L.), mung bean (*Vigna radiata* L.) intercropping using intercrop indices and Partial budget analysis in Lasta District, North Eastern Ethiopia. *Discover Plants*, 2(1), 153. <https://doi.org/10.1007/s44372-025-00232-1>
- Attallah, A., Hamdi, W., Souid, A., Farissi, M., L'taief, B., Messiga, A. J., Rebouh, N.Y., Jellali, S., & Zagarni, M. F. (2024). Impact of Cereal–Legume Intercropping on Changes in Soil Nutrients Contents under Semi–Arid Conditions. *Sustainability*, 16(7), 2725. <https://doi.org/10.3390/su16072725>
- Aydın, S. S. (2022). The effect of various additives addition to barley-vetch mixtures on silage quality characteristics and in vitro digestibility. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 6(4), 743-751.
- Balabanlı, C., Albayrak, S., Turk, M., & Yuksel, O. (2010). A research on determination of hay yields and silage qualities of some vetch+ cereal mixtures. *Turkish Journal of Field Crops*, 15(2), 204-209.
- Bahmutsky, S., Grassauer, F., Arulnathan, V., & Pelletier, N. (2024). A review of life cycle impacts and costs of precision agriculture for cultivation of field crops. *Sustainable Production and Consumption*, 52, 347-362. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.11.010>
- Belay, Y. B., & Melka, Y. (2024). Comparative Profitability Analysis of Monoculture and Intercropping Land-Use Systems: The Case of Smallholder Farmers in North-Western Ethiopia. *International Journal of Forestry Research*, 2024(1), 6322124. <https://doi.org/10.1155/2024/6322124>
- Bhardwaj, G., Brar, P. S., Sharma, U., & Kaushal, R. (2024). Study on synergistic and antagonistic interactions of P and Zn fertilization on sweet pepper. *Journal of Plant Nutrition*, 47(17), 2930-2939. <https://doi.org/10.1080/01904167.2024.2369088>
- Bourke, P. M., Evers, J. B., Bijma, P., van Apeldoorn, D. F., Smulders, M. J., Kuyper, T. W., Mommer, L., & Bonnema, G. (2021). Breeding beyond monoculture: Putting the “intercrop” into crops. *Frontiers in Plant Science*, 12, 734167. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.734167>
- Brugler, S., Gardezi, M., Dadkhah, A., Rizzo, D. M., Zia, A., & Clay, S. A. (2024). Improving decision support systems with machine learning: Identifying barriers to adoption. *Agronomy Journal*, 116(3), 1229-1236. <https://doi.org/10.1002/agj2.21432>
- Chamkhi, I., Cheto, S., Geistlinger, J., Zeroual, Y., Kouisni, L., Bargaz, A., & Ghoulam, C. (2022). Legume-based intercropping systems promote beneficial rhizobacterial community and crop yield under stressing

- conditions. *Industrial Crops and Products*, 183, 114958. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114958>
- Çarpıcı, E. B., & Tunali, M. M. (2012). Effects of mixture rates on forage yield and quality of mixtures of common vetch combined with oat, barley and wheat under a winter intercropping system of southern Marmara Region. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 10 (2, Part 2), 649–652.
- Çarpıcı, E. B., & Celik, N. (2014). Forage yield and quality of common vetch mixtures with triticale and annual ryegrass. *Turkish Journal of Field Crops*, 19(1), 66-69.
- Chen, X. P., Zhang, Y. Q., Tong, Y. P., Xue, Y. F., Liu, D. Y., Zhang, W., Deng, Y., Meng, Q. F., Yue, S. C., Yan, P., Cui, Z. L., Shi, X. J., Guo, S. W., Sun, Y. X., Ye, Y. L., Wang, Z. H., Hou, P., Wu, L., Ma, J., He, M.R., Zhang, X.Y., K, C.L., Li, Y.T., Tan, D.S., Çakmak, İ., Zhang, F.S., & Zhang, F. S. (2017). Harvesting more grain zinc of wheat for human health. *Scientific Reports*, 7(1), 7016. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-07484-2>
- Chimonyo, V. G., Wimalasiri, E. M., Kunz, R., Modi, A. T., & Mabhaudhi, T. (2020). Optimizing traditional cropping systems under climate change: a case of maize landraces and Bambara groundnut. *Frontiers in sustainable food systems*, 4, 562568. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.562568>
- Chimonyo, V. G. P., Govender, L., Nyathi, M., Scheelbeek, P. F. D., Choruma, D. J., Mustafa, M., Massawe, F., Slotow, R., Modi, A.T., & Mabhaudhi, T. (2023). Can cereal-legume intercrop systems contribute to household nutrition in semi-arid environments: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in nutrition*, 10, 1060246. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1060246>
- Chivenge, P., Zingore, S., Ezui, K. S., Njoroge, S., Bunquin, M. A., Dobermann, A., & Saito, K. (2022). Progress in research on site-specific nutrient management for smallholder farmers in sub-Saharan Africa. *Field crops research*, 281, 108503. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108503>
- Çakmakçı, S., Aydınoğlu, B., Arslan, M. E. H. M. E. T., & Bilgen, M. E. H. M. E. T. (2005). Farklı ekim yöntemlerinin fiğ (*Vicia sativa* L.)+ İngiliz çimi (*Lolium perenne* L.) karışımlarının ot verimine etkisi. *Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture*, 18(1), 107-112.
- Çimrin, K. M., Karaca, S., & Bozkurt, M. A. (2001). Fiğ+ arpa karışımlarında gübrelemenin otun verim ve kimyasal kompozisyonuna etkisi. *Journal of Agricultural Sciences*, 7(04), 32-36.
- Dang, P., Lu, C., Huang, T., Zhang, M., Yang, N., Han, X., Xu, C., Wang, S., Wan, C., Qin, X., & Siddique, K. H. (2024). Enhancing intercropping sustainability: Manipulating soybean rhizosphere microbiome through

- cropping patterns. *Science of the Total Environment*, 931, 172714. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172714>
- Denora, M., Mehmeti, A., Casiello, D., Casiero, P., Melone, D. M., Cardone, L., Mazzei, P., Ronga, D., Falco, E., & Perniola, M. (2025). Durum Wheat-Vetch Intercropping in Mediterranean Agroecological Systems: Effects on Yield, Nitrogen Balance, and Farm Profitability. *Italian Journal of Agronomy*, 100045. <https://doi.org/10.1016/j.ijagro.2025.100045>
- Demie, D. T., Döring, T. F., Finckh, M. R., van der Werf, W., Enjalbert, J., & Seidel, S. J. (2022). Mixture× genotype effects in cereal/legume intercropping. *Frontiers in Plant Science*, 13, 846720. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.846720>
- Dikr, W., & Abayechaw, D. (2022). Effects of phosphorus fertilizer on agronomic, grain yield and other physiological traits of some selected legume crops. *J. Biol. Agric. Healthc*, 12, 1-13. <https://doi.org/10.7176/JBAH/12-12-01>
- Doğrusöz, M. Ç., Hakkoymaz, O., Başaran, U., Mut, H., & Gülümser, E. (2023). Çavdar ile macar fiği ve yem bezelyesinin karışık ekim sisteminde ot verimi ve kalitesi. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 7(2), 442-450.
- Doğrusöz, Ç.M., Başaran, U., Gülümser, E., & Mut, H. (2024). The Forage Yield and Silage Quality of Maize-Sorghum-Sainfoin Mixtures. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 39(3), 469-483.
- Düzçekiç, Y., Özaktan, H., Okumuş, O., ve Uzun, S. (2022). Kayseri Ekolojik Koşullarında Macar Fiği (*Vicia pannonica* Crantz.) + Arpa (*Hordeum vulgare* L.) Karışık Ekim Sisteminde Uygun Karışım Oranlarının Belirlenmesi . *Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi* 5(2):50-55
- Ebbisa, A. (2022). Mechanisms underlying cereal/legume intercropping as nature-based biofortification: A review. *Food Production, Processing and Nutrition*, 4(1), 19. <https://doi.org/10.1186/s43014-022-00096-y>
- Elbasiouny, H., El-Ramady, H., Elbehiry, F., Rajput, V. D., Minkina, T., & Mandzhieva, S. (2022). Plant nutrition under climate change and soil carbon sequestration. *Sustainability*, 14(2), 914. <https://doi.org/10.3390/su14020914>
- Fahad, S., Sonmez, O., Saud, S., Wang, D., Wu, C., Adnan, M., & Turan, V. (Eds.). (2021). *Sustainable soil and land management and climate change*. CRC Press.
- Finez, D. D. E., & Talimbay, J. E. (2023). Advantages and Disadvantages of Using Inorganic Fertilizers for Agriculture.
- Flohr, B. M., Meier, E. A., Hunt, J. R., McBeath, T. M., & Llewellyn, R. S. (2024). A modelled quantification of reduced nitrogen fertiliser requirement and associated trade-offs from inclusion of legumes and

- fallows in wheat-based crop sequences. *Field Crops Research*, 307, 109236. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109236>
- Gazola, B., Mariano, E., Neto, L. V. M., & Rosolem, C. A. (2024). Greenhouse gas and ammonia emissions from a maize-soybean rotation under no-till as affected by intercropping with forage grass and nitrogen fertilization. *Agricultural and Forest Meteorology*, 345, 109855. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109855>
- Gidey, T., Berhe, D. H., Birhane, E., Gufi, Y., & Hailelassie, B. (2024). Intercropping maize with faba bean improves yield, income, and soil fertility in semiarid environment. *Scientifica*, 2024(1), 2552695. <https://doi.org/10.1155/2024/2552695>
- Gondal, A. H., Zafar, A., Dua-e-Zainab, Toor, M. D., Sohail, S., Ameen, S., Ijaz, A. B., Ch, B. I., Hussain, I., Haider, S., Ahmad, I. A., Rehman, B., & Younas, N. (2021). A detailed review study of zinc involvement in animal, plant and human nutrition. *Indian Journal of Pure & Applied Biosciences*, 9(2), 262-271. <http://dx.doi.org/10.18782/2582-2845.8652>
- Gong, X., Ji, X., Long, A., Qi, H., & Jiang, Y. (2025). The effect of intercropping on phosphorus availability in plant-soil systems: A meta-analysis. *Plant and Soil*, 511(1), 1121-1136. <https://doi.org/10.1007/s11104-024-07041-7>
- Griffin, A. J., & Jungers, J. M. (2025). Effects of intercropping perennial legumes on intermediate wheatgrass productivity. *Field Crops Research*, 330, 109954. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.109954>
- Gu, C., Bastiaans, L., Anten, N. P., Makowski, D., & van Der Werf, W. (2021). Annual intercropping suppresses weeds: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 322, 107658. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107658>
- Guo, K., Yang, J., Yu, N., Luo, L., & Wang, E. (2023). Biological nitrogen fixation in cereal crops: Progress, strategies, and perspectives. *Plant Communications*, 4(2).
- Gustafon, S. (2025) *Food, fertilizer prices continue to rise amid trade Uncertainties* Retrieved from IFPRI Food Security Portal.
- Gül, E., Akbay, F., & Erol, A. (2022). Farklı fiğ türleri ile arpa karışım oranlarının mineral besin elementi içeriklerine etkisi. *Uluslararası Anadolu Ziraat Mühendisliği Bilimleri Dergisi*, 4(2), 36-41.
- Harwood, J. (2024). The forgotten history of intercropping. *Plants, People, Planet*, 6(5), 1121-1128. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10502>
- Hassan, M. U., Aamer, M., Mahmood, A., Awan, M. I., Barbanti, L., Seleiman, M. F., Bakhsh, G., Alkharabsheh, H. M., Babur, E., Shao, J., Rasheed, A., & Huang, G. (2022). Management strategies to mitigate N2O emissions in agriculture. *Life*, 12(3), 439.
- Hui, X., Luo, L., Chen, Y., Palta, J. A., & Wang, Z. (2025). Zinc agronomic biofortification in wheat and its drivers: a global meta-analysis. *Nature*

- Communications*, 16(1), 3913. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-58397-y>
- Huss, C. P., Holmes, K. D., & Blubaugh, C. K. (2022). Benefits and risks of intercropping for crop resilience and pest management. *Journal of economic entomology*, 115(5), 1350-1362. <https://doi.org/10.1093/jee/toac045>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the IPCC* (H.-O. Pörtner et al., Eds.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the IPCC* (H. Lee & J. Romero, Eds.). IPCC. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- International Water Management Institute (IWMI). (2024, October 14). *Agricultural water management is a game changer in mixed farming systems*. Retrieved from IWMI website.
- Jagadesh, M., Dash, M., Kumari, A., Singh, S. K., Verma, K. K., Kumar, P., Bhatt, R., & Sharma, S. K. (2024). Revealing the hidden world of soil microbes: metagenomic insights into plant, bacteria, and fungi interactions for sustainable agriculture and ecosystem restoration. *Microbiological Research*, 285, 127764.
- Jensen, E. S., Carlsson, G., & Hauggaard-Nielsen, H. (2020). Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N: A global-scale analysis. *Agronomy for sustainable development*, 40(1), 5. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-0607-x>
- Kachinski, W. D., Ávila, F. W., Muller, M. M. L., Reis, A. R. D., Rampim, L., & Vidigal, J. C. B. (2020). Nutrition, yield and nutrient export in common bean under zinc fertilization in no-till system. *Ciência e Agrotecnologia*, 44, e029019. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202044029019>
- Kagan, K., Jonak, K., & Wolińska, A. (2024). The Impact of Reduced N Fertilization Rates According to the “Farm to Fork” Strategy on the Environment and Human Health. *Applied Sciences*, 14(22), 10726. <https://doi.org/10.3390/app142210726>
- Kaur, S., Bedi, M., Singh, S., Kour, N., Bhatti, S. S., Bhatia, A., Kumar, M., & Kumar, R. (2024). Monoculture of crops: A challenge in attaining food security. In *Advances in Food Security and Sustainability* (Vol. 9, pp. 197-213). Elsevier.
- Kebede, E. (2021). Contribution, utilization, and improvement of legumes-driven biological nitrogen fixation in agricultural systems. *Frontiers in*

- Sustainable Food Systems*, 5, 767998.
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.767998>
- Koçer, A., & Albayrak, S. (2012). Determination of forage yield and quality of pea (*Pisum sativum* L.) mixtures with oat and barley. *Turkish Journal of Field Crops*, 17(1), 96-99.
- Korkmaz, K., Akgün, M., Özcan, M. M., Özkutlu, F., & Kara, Ş. M. (2021). Interaction effects of phosphorus (P) and zinc (Zn) on dry matter, concentration and uptake of P and Zn in chia. *Journal of Plant Nutrition*, 44(5), 755-764.
<https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1845373>
- Kuyah, S., Muoni, T., Bayala, J., Chopin, P., Dahlin, A. S., Hughes, K., ... & Öborn, I. (2023). Grain legumes and dryland cereals contribute to carbon sequestration in the drylands of Africa and South Asia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 355, 108583.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108583>
- Ladha, J. K., Peoples, M. B., Reddy, P. M., Biswas, J. C., Bennett, A., Jat, M. L., & Krupnik, T. J. (2022). Biological nitrogen fixation and prospects for ecological intensification in cereal-based cropping systems. *Field Crops Research*, 283, 108541.
- Lal, R. (2020). Managing soils for negative feedback to climate change and positive impact on food and nutritional security. *Soil Science and Plant Nutrition*, 66(1), 1-9. <https://doi.org/10.1080/00380768.2020.1718548>
- Li, X.-F., Wang, Z.-G., Bao, X.-G., Sun, J.-H., Yang, S.-C., Wang, P., Wang, C.-B., Wu, J.-P., Liu, X.-R., Tian, X.-L., Wang, Y., Li, J.-P., Wang, Y., Xia, H.-Y., Mei, P.-P., Wang, X.-F., Zhao, J.-H., Yu, R.-P., Zhang, W.-P., Che, Z.-X., Gui, L.-G., Callaway, R. M., Tilman, D., & Li, L. (2021). Long-term increased grain yield and soil fertility from intercropping. *Nature Sustainability*, 4(11), 943-950.
<https://doi.org/10.1038/s41893-021-00767-7>
- Li, C., Stomph, T. J., Makowski, D., Li, H., Zhang, C., Zhang, F., & Van der Werf, W. (2023a). The productive performance of intercropping. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(2), e2201886120. <https://doi.org/10.1073/pnas.220188612>
- Li, Y., Wang, L., Zhao, B., Liu, P., Zhang, J., Dong, S., & Shi, D. (2023b). Crop productivity, economic advantage, and photosynthetic characteristics in a corn-peanut intercropping system. *Agronomy*, 13(2), 509. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020509>
- Liang, X., Yu, S., Ju, Y., Wang, Y., & Yin, D. (2025). Integrated management practices foster soil health, productivity, and agroecosystem resilience. *Agronomy*, 15(8), 1816.
<https://doi.org/10.3390/agronomy15081816>

- Liu, H., Struik, P. C., Zhang, Y., Jing, J., & Stomph, T. J. (2023). Forage quality in cereal/legume intercropping: A meta-analysis. *Field Crops Research*, 304, 109174. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109174>
- Liu, C., Wang, H., Ma, Y., Guan, P., Sun, Q., Wang, Z., & Shi, M. (2024a). Key factors influencing wheat grain zinc and manganese concentration in areas with different soil available phosphorus. *Field Crops Research*, 317, 109558. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109558>
- Liu, Y., Stomph, T., Zhang, F., Li, C., & van der Werf, W. (2024b). Nitrogen input strategies impact fertilizer nitrogen saving by intercropping: A global meta-analysis. *Field Crops Research*, 318, 109607. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109607>
- Long, G., Li, L., Wang, D., Zhao, P., Tang, L., Zhou, Y., & Yin, X. (2021). Nitrogen levels regulate intercropping-related mitigation of potential nitrate leaching. *Agriculture, ecosystems & environment*, 319, 107540. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107540>
- Ma, B., Liang, Z., Hua, W., Groot, J. C., Zhang, F., van der Werf, W., & Cong, W. F. (2025). Improved sustainability of grain production by intercropping and partial organic substitution in the North China Plain. *Field Crops Research*, 326, 109886. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.109886>
- Maman, N., & Mason, S. C. (2023). Pearl Millet–Groundnut Cropping Systems for the Sahel. *Agronomy*, 13(12), 3029. <https://doi.org/10.3390/agronomy13123029>
- Manevska-Tasevska, G., Huang, V. W., Chen, Z., Jäck, O., Adam, N., Ha, T. M., Weih, M., & Hansson, H. (2024). Economic outcomes from adopting cereal-legume intercropping practices in Sweden. *Agricultural Systems*, 220, 104064. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.104064>
- McAuley, W. P., Bourgault, M., & Congreves, K. A. (2025). Productivity, soil fertility and soil health benefits associated with intercropping small grains and oilseeds with legumes in the semi-arid environment of the Canadian Prairies. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 389, 109694. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2025.109694>
- McDowell, R. W., & Haygarth, P. M. (2024). Reducing phosphorus losses from agricultural land to surface water. *Current Opinion in Biotechnology*, 89, 103181. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2024.103181>
- Mudare, S., Kanomanyanga, J., Jiao, X., Mabasa, S., Lamichhane, J. R., Jing, J., & Cong, W. F. (2022). Yield and fertilizer benefits of maize/grain legume intercropping in China and Africa: A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(5), 81. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00816-1>
- Mukherjee, R., & Sen, S. (2021). Role of biological nitrogen fixation (BNF) in sustainable agriculture: A Review. *Int J Adv Life Sci Res*, 4(3), 01-07. <https://doi.org/10.31632/ijalsr.2021.v04i03.001>

- Mutambu, D., Kihara, J., Mucheru-Muna, M., Bolo, P., & Kinyua, M. (2023). Maize grain yield and grain zinc concentration response to zinc fertilization: A meta-analysis. *Heliyon*, 9(5). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16040>
- Maitra, S., Hossain, A., Brestic, M., Skalicky, M., Ondrisik, P., Gitari, H., Brahmachari, K., Shankar, T., Bhadra, P., Palai, J. B., Jena, J., Bhattacharya, U., Duvvada, S. K., Lalichetti, S., & Sairam, M. (2021). Intercropping—A low input agricultural strategy for food and environmental security. *Agronomy*, 11(2), 343. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020343>
- Nasar, J., Zhao, C. J., Khan, R., Gul, H., Gitari, H., Shao, Z., Abbas, G., Haider, I., Iqbal, Z., Ahmed, W., Rehman, R., Liang, Q.P., Zhou, X.B., & Yang, J. (2023). Maize-soybean intercropping at optimal N fertilization increases the N uptake, N yield and N use efficiency of maize crop by regulating the N assimilatory enzymes. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1077948. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1077948>
- Nasar, J., Ahmad, M., Gitari, H., Tang, L., Chen, Y., & Zhou, X. B. (2024). Maize/soybean intercropping increases nutrient uptake, crop yield and modifies soil physio-chemical characteristics and enzymatic activities in the subtropical humid region based in Southwest China. *BMC Plant Biology*, 24(1), 434. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05061-0>
- Ogwu, M. C., Patterson, M. E., & Senchak, P. A. (2025). Phosphorus mining and bioavailability for plant acquisition: environmental sustainability perspectives. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197(5), 572. <https://doi.org/10.1007/s10661-025-14012-7>
- Orak, A., & Nizam, İ. (2012). Tekirdağ Koşullarına Uygun Bazı Yıllık Yem Bitkileri Karışımlarının Ot Verimlerinin Saptanması. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, (2), 5-10.
- Pahalvi, H. N., Rafiya, L., Rashid, S., Nisar, B., & Kamili, A. N. (2021). Chemical fertilizers and their impact on soil health. In *Microbiota and biofertilizers, Vol 2: Ecofriendly tools for reclamation of degraded soil environs* (pp. 1-20). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4_1
- Paul, M. (2025, May). Intercropping in Europe: a meta-analysis. In *ARPHA Conference Abstracts* (Vol. 8, p. e152342). Pensoft Publishers. <https://doi.org/10.3897/aca.8.e152342>
- Pierre, J. F., Laboski, C. A., Latournerie-Moreno, L., Garruña, R., Jacobsen, K. L., & Ruiz-Sánchez, E. (2025). Nitrogen losses mitigated with maize–legume intercropping in the Yucatan Peninsula. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 8(1), e70066. <https://doi.org/10.1002/agg2.70069>
- Pokharel, S. S., Yu, H., Fang, W., Parajulee, M. N., & Chen, F. (2023). Intercropping cover crops for a vital ecosystem service: A review of the

- biocontrol of insect pests in tea agroecosystems. *Plants*, 12(12), 2361. <https://doi.org/10.3390/plants12122361>
- Praharaj, S., Skalicky, M., Maitra, S., Bhadra, P., Shankar, T., Brestic, M., Hejnak, v., Vachova, P. & Hossain, A. (2021). Zinc biofortification in food crops could alleviate the zinc malnutrition in human health. *Molecules*, 26(12),3509. <https://doi.org/10.3390/molecules26123509>
- Qu, X., Liao, Y., Pan, C., & Li, X. (2024). Positive effects of intercropping on soil phosphatase activity depend on the application scenario: A meta-analysis. *Soil and Tillage Research*, 235, 105914. <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105914>
- Rad, S. V., Valadabadi, S. A. R., Pouryoucef, M., Saifzadeh, S., Zakrin, H. R., & Mastinu, A. (2020). Quantitative and qualitative evaluation of Sorghum bicolor L. under intercropping with legumes and different weed control methods. *Horticulturae*, 6(4),78. <https://doi.org/10.3390/horticulturae6040078>
- Rakotomalala, A. A., Ficiciyan, A. M., & Tschardtke, T. (2023). Intercropping enhances beneficial arthropods and controls pests: A systematic review and meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 356, 108617. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108617>
- Raveloaritiana, E., & Wanger, T. C. (2024). Decades matter: Agricultural diversification increases financial profitability, biodiversity, and ecosystem services over time. *arXiv preprint arXiv:2403.05599*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.05599>
- Raza, A., Zahra, N., Hafeez, M. B., Ahmad, M., Iqbal, S., Shaukat, K., & Ahmad, G. (2020). Nitrogen fixation of legumes: Biology and Physiology. In *The plant family Fabaceae: biology and physiological responses to environmental stresses* (pp. 43-74). Singapore: Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4752-2_3
- Raza, M. A., Din, A. M. U., Zhiqi, W., Gul, H., Rehman, S. U., Bukhari, B., Haider, I., Rahman, M. H. U., Liang, X., Luo, S., El Sabagh, A., Qin, R., & Zhongming, M. (2023). Spatial differences influence nitrogen uptake, grain yield, and land-use advantage of wheat/soybean relay intercropping systems. *Scientific Reports*, 13(1), 16916. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-43288-3>
- Raza, M. A., Din, A. M. U., Yasin, H. S., Gul, H., Saeed, A., Mehmood, A., Rehman, S. U., Iqbal, Z., Iqbal, R., Al Kubaisi, N., Elshikh, M. S., Shah, G. A., Zhiqi, W., Rahman, M. H. U., Khalid, M. H. B., Haider, I., & Zhongming, M. (2025). Yield gains and resource use advantages driven by legume choice and row ratio in cotton/legume intercropping under arid-irrigated conditions. *Field Crops Research*, 324, 109789. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.109789>

- Ray, S., Maitra, S., Sairam, M., Sameer, S., Sagar, L., Divya, B., & Gitari, H. I. (2025). The nexus between intercropping systems, ecosystem services and sustainable agriculture: A review. *Research on Crops*, 26(1). <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2025.ROC-1166>
- Rice, B., & Vos, R. (2024, March 21). *Who's afraid of high fertilizer prices?* IFPRI Blog. International Food Policy Research Institute. Retrieved from <https://www.ifpri.org/blog/whos-afraid-high-fertilizer-prices>
- Romera, F. J., Lan, P., Rodríguez-Celma, J., & Pérez-Vicente, R. (2021). Nutrient interactions in plants. *Frontiers in Plant Science*, 12, 782505. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.782505>
- Saha, S., Verma, B. C., Bhaduri, D., & Roy, S. (2022). Management of phosphorus-zinc antagonism to improve nutrient use efficiency. *Food Sci Rep*, 3, 40-42.
- Schmidhuber, J., & Qiao, B. (2022). High input prices protract high food prices, creating a double burden for import-dependent countries. *FAO Food Outlook*.
- Sekhar, M., Rastogi, M., Rajesh, C. M., Saikanth, D. R. K., Rout, S., Kumar, S., & Patel, A. K. (2024). Exploring traditional agricultural techniques integrated with modern farming for a sustainable future: A review. *Journal of Scientific Research and Reports*, 30(3), 185-198. <https://doi.org/10.9734/JSRR/2024/v30i31871>
- Sethi, G., Behera, K. K., Sayyed, R., Adarsh, V., Sipra, B. S., Singh, L., Alamro, A.A., & Behera, M. (2025). Enhancing soil health and crop productivity: the role of zinc-solubilizing bacteria in sustainable agriculture. *Plant Growth Regulation*, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s10725-025-01294-7>
- Sharma, V., Vaddevolu, U. B. P., Bhambota, S., Ampatzidis, Y., Bayabil, H., & Singh, A. (2025). Variable Rate Technology and Its Application in Precision Agriculture: AE607, 1/2025. *EDIS*, 2025(1). <https://doi.org/10.32473/edis-AE607-2025>
- Shrivastav, P., Prasad, M., Singh, T. B., Yadav, A., Goyal, D., Ali, A., & Dantu, P. K. (2020). Role of nutrients in plant growth and development. In *Contaminants in agriculture: Sources, impacts and management* (pp. 43-59). Cham: Springer International Publishing.
- Shu, D., Banerjee, S., Mao, X., Zhang, J., Cui, W., Zhang, W., Zhang, B., Chen, S., Jiao, S., & Wei, G. (2024). Conversion of monocropping to intercropping promotes rhizosphere microbiome functionality and soil nitrogen cycling. *Science of The Total Environment*, 949, 174953. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174953>
- Singh, A., Mazahar, S., Chapadgaonkar, S. S., Giri, P., & Shourie, A. (2023). Phyto-microbiome to mitigate abiotic stress in crop plants. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1210890. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1210890>

- Soumare, A., Diedhiou, A. G., Thuita, M., Hafidi, M., Ouhdouch, Y., Gopalakrishnan, S., & Kouisni, L. (2020). Exploiting biological nitrogen fixation: a route towards a sustainable agriculture. *Plants*, 9(8), 1011. <https://doi.org/10.3390/plants9081011>
- Stubbs, L. R., Singh, S., Wysocki, D., Heineck, G., Neely, H. L., & Singh, S. (2025). Improving Sustainability of Inland Pacific Northwest Dryland Agriculture Systems with Pea-Canola Intercropping: A Review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9, 1639908. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1639908>
- Sun, T., Zhou, J., Fu, Y., Wu, L., & Zhang, T. (2024). Soil nitrogen availability mediates the positive effects of intercropping on soil organic carbon at global scales. *Soil and Tillage Research*, 239, 106063. <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106063>
- Tan, M., & Serin, Y. (1996). Değişik fiğ + tahıl karışımları için en uygun karışım oranı ve biçim zamanının belirlenmesi üzerine bir araştırma [A study on the determination of optimum mixture rates and cutting stages for different vetch + cereal mixtures]. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(4), 475–491.
- Tan, M., & Yolcu, H. (2021). Current status of forage crops cultivation and strategies for the future in Turkey: A review. *Journal of Agricultural Sciences*, 27(2), 114-121.
- Tanaka, T. S., & Gislum, R. (2025). Prediction of winter wheat nitrogen status using UAV imagery, weather data, and machine learning. *European Journal of Agronomy*, 164, 127534. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2025.127534>
- Tang, X., Zhang, C., Yu, Y., Shen, J., van der Werf, W., & Zhang, F. (2021). Intercropping legumes and cereals increases phosphorus use efficiency; a meta-analysis. *Plant and Soil*, 460(1), 89-104. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04768-x>
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2020). Akdeniz altı sıralı arpa çeşit tescil raporu. Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkezi Müdürlüğü. Erişim adresi: <https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/TTSM/Belgeler/Duyuru%20Belgeleri/2020/duyuru/nisan%20toplant%C4%B1/tescil%20raporlar%C4%B1/Arpa%20yulaf/akdeniz/akdeniz%20alt%C4%B1%20s%C4%B1ra%C4%B1%20arpa.pdf>
- Thompson, J. B., Döring, T. F., Bowles, T. M., Kolb, S., Bellingrath-Kimura, S. D., & Reckling, M. (2024). Seasonal soil health dynamics in soy-wheat relay intercropping. *Scientific Reports*, 14(1), 18989. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69903-5>
- Toleikiene, M., Skipityte, R., Bariseviciute, R., Martins, J. T., & Rasmussen, J. (2025). The effects of legume-cereal intercropping on the symbiotically fixed N₂ in soybean, N accumulation, and C allocation. *Plants*, 14(7), 1009. <https://doi.org/10.3390/plants14071009>

- Topçu, G. D., Behçet, K. I. R., Çelen, A. E., & Kavut, Y. T. (2020). Değişik fiğ+ tahıl karışımları için en uygun karışım oranı ve biçim zamanının belirlenmesi. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 4(2), 146-156.
- Tripathi, S. C., Venkatesh, K., Meena, R. P., Chander, S., & Singh, G. P. (2021). Sustainable intensification of maize and wheat cropping system through pulse intercropping. *Scientific Reports*, 11(1), 18805. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98179-2>
- Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK]. (2020). Bitkisel üretim istatistikleri. Ankara: TÜİK. Erişim adresi: <https://data.tuik.gov.tr>
- Tzemi, D., Peltonen-Sainio, P., Palosuo, T., Rämö, J., & Lehtonen, H. (2025). Profitability of intercropping legumes with cereals: A farm-level analysis. *Journal of Agriculture and Food Research*, 21, 101804. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101804>
- Uzel, G., Kuzu, M., Güler, A., & Gürlük, S. (2025). Asymmetric Effects of Agricultural Input Prices on Farmgate Prices in Türkiye. *Agriculture*, 15(6), 607. <https://doi.org/10.3390/agriculture15060607>
- Ülker, E., Yüksel, O., & Ergül, S. (2020). Ülkemizde Yem Bitkileri Tarımının Durumu, Tohumluk Üretimi ve Dış Ticareti. *Uşak Üniversitesi Fen ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 4(2), 127-138.
- Valenzuela, H. (2024). Optimizing the nitrogen use efficiency in vegetable crops. *Nitrogen*, 5(1), 106-143. <https://doi.org/10.3390/nitrogen5010008>
- Villat, J., & Nicholas, K. A. (2024). Quantifying soil carbon sequestration from regenerative agricultural practices in crops and vineyards. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1234108. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1234108>
- Wen, Z., Wu, J., Yang, Y., Li, R., Ouyang, Z., & Zheng, H. (2022). Implementing intercropping maintains soil water balance while enhancing multiple ecosystem services. *Catena*, 217, 106426. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106426>
- Xu, Z., Li, C., Zhang, C., Yu, Y., van der Werf, W., & Zhang, F. (2020). Intercropping maize and soybean increases efficiency of land and fertilizer nitrogen use; A meta-analysis. *Field Crops Research*, 246, 107661. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107661>
- Yan, E., Munier-Jolain, N., Martin, P., & Carozzi, M. (2024). Intercropping on French farms: Reducing pesticide and N fertiliser use while maintaining gross margins. *European Journal of Agronomy*, 152, 127036. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.127036>
- Yanardağ, A. B. (2024). Damage to Soil and Environment Caused by Excessive Fertilizer Use. *Agriculture, Forestry and Aquaculture Sciences; Serüven Publishing: Ankara, Turkey*, 203.

- Yang, J., Wang, R., Xu, J., Guo, Z., Liu, C., Chen, Y., Shi, M., & Wang, Z. (2025). Mitigating phosphorus–zinc antagonism in calcareous soils through the interaction of high–zinc wheat and the rhizospheric microbiome. *Field Crops Research*, 322, 109762. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.109762>
- Yıldız, N., & Tarı, A. F. (2018). Yarı Kurak Koşullarda Tamamlayıcı Sulamanın Arpada Verim ve Kaliteye Etkisi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 435-443.
- Yimer, T., Abera, G., Beyene, S., Gizachew, S., & Rasche, F. (2025). Maize–common bean intercropping effects on nitrogen fixation, nutrient uptake, and soil properties in southern Ethiopia. *Soil Science Society of America Journal*, 89(2), e70037. <https://doi.org/10.1002/saj2.70037>
- Yu, B. G., Chen, X. X., Cao, W. Q., Liu, Y. M., & Zou, C. Q. (2020). Responses in zinc uptake of different mycorrhizal and non-mycorrhizal crops to varied levels of phosphorus and zinc applications. *Frontiers in Plant Science*, 11, 606472. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.606472>
- Yu, B. G., Chen, X. X., Zhou, C. X., Ding, T. B., Wang, Z. H., & Zou, C. Q. (2022). Nutritional composition of maize grain associated with phosphorus and zinc fertilization. *Journal of Food Composition and Analysis*, 114, 104775. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104775>
- Yu, B., Zhou, C., Wang, Z., Bucher, M., Schaaf, G., Sawers, R. J., Chen, X., Hochholdinger, F., Zou, C., & Yu, P. (2024). Maize zinc uptake is influenced by arbuscular mycorrhizal symbiosis under various soil phosphorus availabilities. *New Phytologist*, 243(5), 1936-1950. <https://doi.org/10.1111/nph.19952>
- Yu, W., Zhao, P., Li, C., Wang, D., Ming, C., Chen, L., Ming, C., Chen, L., Zhou, L., Zhu, Q., Tang, L., Zhou, Y., & Long, G. (2025). Intercropping achieves long-term dual goals of yield gains and soil N₂O emission mitigation. *Resources, Environment and Sustainability*, 20, 100210. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2025.100210>
- Wang, M., Kong, L., Ma, H., Chen, L., Wang, P., & Cui, Z. (2020). Zinc in wheat grain, processing, and food. *Frontiers in Nutrition*, 7, 124. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00124>
- Wang, W., Li, M. Y., Wen, Q. H., Ma, Y., Zhang, Z. M., Rehman, M. M. U., ... & Xiong, Y. C. (2025). Cereal-legume intercropping stimulates straw decomposition and promotes soil organic carbon stability. *Science China Life Sciences*, 68(5), 1498-1508. <https://doi.org/10.1007/s11427-024-2683-y>
- Zenger, A., & Yücel, C. (2025). İdil/Şırnak İklim Koşullarında Yaygın Fiğın (*Vicia sativa* L.) Arpa (*Hordeum vulgare* L.) ile Farklı Karışım Oranlarının Ot Verimi ve Kalitesine Etkisi. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 40(1), 148-163.

- Zhang, C., Kerner, H., Wang, S., Hao, P., Li, Z., Hunt, K. A., ... & Shen, Y. (2025). Remote sensing for crop mapping: A perspective on current and future crop-specific land cover data products. *Remote Sensing of Environment*, 330, 114995. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2025.114995>
- Zhang, L., Feng, Y., Zhao, Z., Cui, Z., Baoyin, B., Wang, H., ... & Cui, J. (2024). Maize/soybean intercropping with nitrogen supply levels increases maize yield and nitrogen uptake by influencing the rhizosphere bacterial diversity of soil. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1437631. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1437631>
- Zhang, W., Zhang, W., Wang, X., Liu, D., Zou, C., & Chen, X. (2021). Quantitative evaluation of the grain zinc in cereal crops caused by phosphorus fertilization. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(1), 6. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00661-0>
- Zhao, Y., Liu, X., Tong, C., & Wu, Y. (2020). Effect of root interaction on nodulation and nitrogen fixation ability of alfalfa in the simulated alfalfa/triticale intercropping in pots. *Scientific reports*, 10(1), 4269. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61234-5>
- Zhao, Y., Tian, Y., Li, X., Song, M., Fang, X., Jiang, Y., & Xu, X. (2022). Nitrogen fixation and transfer between legumes and cereals under various cropping regimes. *Rhizosphere*, 22, 100546. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100546>

BÖLÜM 3

DÜNYA VE TÜRKİYE TAHIL TARIMI ÜZERİNE GÜNCEL DEĞERLENDİRMELER

Doç. Dr. Fevzi ALTUNER¹

Prof. Dr. Tamer ERYİĞİT²

Dr. Öğr. Üyesi Burak ÖZDEMİR³

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17637964>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Gevaş Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü. Van-Türkiye. faltuner@gmail.com, Orcid ID: 0000-0002-2386-2450

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Gevaş Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü. Van-Türkiye. tamereryigit@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-5069-8206

³ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü. Van-Türkiye. burakozdemir@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0009-0002-7766-4919

GİRİŞ

Tahıllar, insanlık tarihi boyunca medeniyetlerin inşasında ve gelişiminde kilit bir rol oynamıştır. Küresel gıda sisteminin temel taşı olan bu bitkiler, özellikle buğday, mısır ve pirinç gibi türleriyle, dünya genelinde milyarlarca insan için ana besin kaynağı olmaya devam etmektedir (Gupta vd., 2021; Jha vd., 2021; Nayik vd., 2023; Rawat vd., 2023). Küresel düzeyde tahıl üretimi, son yıllarda rekor seviyelere ulaşsa da, iklim değişikliği (Farooq vd., 2023), kuraklık (Havrlentová vd., 2021), artan enerji maliyetleri (Popescu vd., 2022) ve jeopolitik istikrarsızlık (Chiurciu vd., 2022) gibi faktörler nedeniyle ciddi risklerle karşı karşıyadır. Bu durum, hem üretim hem de tedarik zinciri dinamiklerini karmaşık hale getirerek, gıda güvenliği endişelerini (Saeed vd., 2023) beraberinde getirmektedir.

Uluslararası Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) gibi kuruluşların raporlarına göre, 2025 yılı dünya tahıl üretimi için rekor bir yıl olarak öngörülse de (Gauchan vd., 2022), ülkeler arasındaki üretim ve stok dengeleri değişkenlik göstermektedir (Hossain vd., 2025). Örneğin, Avustralya, Avrupa Birliği ve Rusya gibi bazı bölgelerde üretim artarken, bu artışlar küresel talepteki artışı tam olarak karşılayamayabilir (Olugbire vd., 2021). Özellikle Çin ve Türkiye gibi ülkelerden gelen güçlü talep (Chandio vd., 2021), uluslararası buğday ticareti hacmini artırırken, küresel stokların baskı altında kalmasına neden olmaktadır.

Anadolu toprakları, tahılın anavatanı olarak kabul edilen Bereketli Hilal'in bir parçasıdır ve bu durum Türkiye'yi tahıl üretimi konusunda stratejik bir konuma yerleştirmektedir (Ulaş, 2021). Türkiye, tarihsel olarak geniş buğday tarlalarıyla bilinirken, son yıllarda buğdayın yanı sıra arpa ve mısır gibi diğer tahılların üretimi de önem kazanmıştır (Gök ve Şahin, 2024). Ancak, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verileri, 2025 yılında tahıl üretiminde, özellikle buğdayda önemli bir düşüş yaşanabileceğine işaret etmektedir. Bu düşüşün ana nedenleri arasında kuraklık (Kortak ve Çakır, 2024), artan üretim maliyetleri ve çiftçilerin üretimden uzaklaşması gibi faktörler yer almaktadır.

Türkiye, buğday üretiminde kendi kendine yeterli bir seviyede olsa da (Yılmaz ve Tomar, 2022), özellikle gıda sanayisi ve ihracat için dışarıdan buğday ithal etmektedir (Ken ve Çakır, 2023). Bu durum, Türkiye'yi dünyanın en büyük un ve bulgur ihracatçısı konumuna taşıırken (Köten ve Satouf, 2024), aynı zamanda küresel piyasalardaki fiyat dalgalanmalarına karşı da savunmasız

hale getirmektedir. Ülkenin Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından yapılan çalışmalar ve Toprak Mahsulleri Ofisi (TMO) gibi kurumların stok yönetimi politikaları, bu hassas dengeyi korumaya yönelik kritik adımlardır.

Sonuç olarak, hem küresel hem de Türkiye ölçeğinde tahıl üretimi, bir yandan artan nüfus ve talep baskısı altındayken, diğer yandan iklim değişikliğinin getirdiği öngörülemez hava koşulları gibi çevresel zorluklarla mücadele etmektedir. Bu bağlamda, tarım politikalarının sadece üretimi arttırmaya odaklanması yeterli olmayıp, aynı zamanda sürdürülebilir tarım teknikleri, su kaynaklarının verimli kullanımı ve modern depolama sistemleri gibi unsurları da içermesi hayati önem taşımaktadır. Bu bütüncül yaklaşım, gelecekte gıda güvenliğini sağlamak ve tahılın stratejik önemini korumak için elzemdir.

Bu araştırmada Dünya ve Türkiye'nin tahıl üretimi ve kullanımında meydana gelen değişimler periyotlar eşliğinde ele alınarak güncel değerlendirmeler yapılmıştır.

1. DÜNYA TAHIL TARIMI

1.1. Küresel Tahıl Üretim Verileri Analizi

2000-2023 yılları arasında dünya genelindeki toplam tahıl üretiminin hasat alanı, verim ve üretim değerleri Tablo 1'de detaylı bir şekilde gösterilmektedir. Bu verilere dayanarak, dünya genelindeki tahıl üretimi hakkında önemli sonuçlar çıkarılabilir.

Tablo 1. 2000-2023 yılları beş yıllık periyotlarda dünya tahıl üretimi (FAO, 2025)

Tahıllar			
Dönem	Hasat Alanı (ha)	Verim (kg/ha)	Üretim (ton)
2000	671367658.0	3067.9	2059664795.4
2005	693840051.0	3267.2	2266912164.4
2010	694534234.0	3546.6	2463268366.8
2015	722961801.0	3925.3	2837866603.6
2020	731967441.0	4110.8	3008964668.9
2023	738760312.0	4242.6	3134293897.5

Tablo 1'e göre en dikkat çekici bulgu, tahıl üretiminin sürekli olarak artmasıdır. 2000 yılında yaklaşık 2,06 milyar ton olan üretim, 2023 yılında 3.13 milyar tona ulaşarak %52'lik önemli bir artış göstermiştir. Bu, artan dünya nüfusunun gıda talebini karşılamak için tarım sektörünün ne kadar büyüdüğünü ve verimliliğini artırdığını göstermektedir. Üretimdeki bu artışın ana itici gücü, birim alandan elde edilen verimin yükselmesidir. 2000 yılında hektar başına 3067 kg olan verim, 2023 yılında 4242 kg'a çıkarak %38'lik bir artış kaydetmiştir. Bu, modern tarım tekniklerinin, gelişmiş tohum çeşitlerinin ve teknolojik yeniliklerin, daha az ekim alanıyla daha fazla ürün elde etme becerisini artırdığını kanıtlamaktadır.

Toplam hasat alanı da zaman içinde artmıştır, ancak verimdeki artışa göre daha yavaş bir seyir izlemiştir. 2000 yılında 671 milyon hektar olan alan, 2023'te 738 milyon hektara ulaşmıştır. Bu durum, tahıl üretimindeki artışın sadece yeni ekim alanları açılmasıyla değil, aynı zamanda mevcut alanların daha verimli kullanılmasıyla sağlandığını göstermektedir.

Bu veriler, küresel ölçekte gıda güvenliği açısından olumlu bir tablo sunmaktadır. Birim alandan alınan verimin artması, sınırlı tarım arazilerinin daha etkin kullanılmasını sağlayarak gelecekteki gıda ihtiyaçlarının karşılanması için umut verici bir işaret olarak değerlendirilebilir. Aynı zamanda bu veriler, küresel tahıl üretiminin hem alan hem de verim bazında istikrarlı bir şekilde büyüdüğünü, ancak özellikle verimdeki artışın, genel üretim artışında kritik bir rol oynadığını net bir şekilde ortaya koymaktadır.

1.1.1. Dünyada Başlıca Serin Tahıl Üretim Verileri

Tablo 2, 2000-2023 yılları arasında dünya genelindeki buğday, arpa, yulaf, çavdar, Tiritikale ve mahlutun hasat alanı, verim ve üretim değerlerini detaylı bir şekilde göstermektedir.

Tablo 2. Belirli periyotlarda dünya buğday, arpa, yulaf, çavdar, Tiritikale ve mahlut hasat alanı, verim ve üretim değerleri (FAO, 2025).

Dönem	Buğday			Arpa		
	Hasat Alanı (ha)	Verim (kg/ha)	Üretim (ton)	Hasat Alanı (ha)	Verim (kg/ha)	Üretim (ton)
2000	215129132.0	2731.6	587648159.9	53543815.0	2454.2	131405721.3
2005	221665780.0	2828.7	627020836.3	55563777.0	2460.9	136735961.9
2010	215605057.0	2972.1	640802626.6	47586783.0	2594.4	123460822.1
2015	222965898.0	3327.2	741847015.2	49049425.0	3024.9	148370300.3
2020	217208936.0	3499.6	760144478.9	51420715.0	3068.2	157768313.1
2023	220407070.0	3625.0	798975306.4	46254750.0	3151.2	145759524.5

Dönem	Yulaf			Çavdar		
	Hasat Alanı (ha)	Verim (kg/ha)	Üretim (ton)	Hasat Alanı (ha)	Verim (kg/ha)	Üretim (ton)
2000	12595871.0	2073.3	26114484.3	9830646.0	2045.4	20107761.8
2005	11351905.0	2076.0	23566010.8	6838653.0	2225.3	15218033.7
2010	8981037.0	2141.5	19233197.9	5021433.0	2373.0	11916085.3
2015	9692363.0	2347.8	22755504.9	4461270.0	2924.4	13046413.4
2020	9791823.0	2586.0	25321169.3	4549523.0	3407.9	15504498.2
2023	8024447.0	2339.9	18776750.1	3981421.0	3184.9	12680515.5

Dönem	Tiritikale			Mahlut		
	Hasat Alanı (ha)	Verim (kg/ha)	Üretim (ton)	Hasat Alanı (ha)	Verim (kg/ha)	Üretim (ton)
2000	2466982.0	3662.1	9034411.8	1882144.0	2288.8	4307870.8
2005	3826919.0	3478.4	13311486.6	1758468.0	2808.4	4938448.7
2010	4003309.0	3431.9	13739080.8	1371177.0	3049.5	4181401.3
2015	4270157.0	3828.5	16348236.3	1021031.0	2893.7	2954589.7
2020	3824756.0	4019.9	15375167.3	919914.0	3319.0	3053223.9
2023	3598676.0	3835.7	13803611.7	561721.0	3155.1	1772295.2

Tablo 2’deki verilere dayanarak her bir dönem için toplam serin iklim tahılları üretim miktarları; 2000 dönemi:760.6 milyon ton, 2005 dönemi: 800.7 milyon ton, 2010 dönemi: 713.3 milyon ton, 2015 dönemi:945.3 milyon ton, 2020 dönemi: 988.9 milyon ton ve 2023 dönemi: 981.8 milyon şeklinde gerçekleşmiştir.

Bu verilere göre, serin iklim tahıllarının toplam üretimindeki genel eğilim artış yönündedir.

2000 yılında yaklaşık 760 milyon ton olan toplam üretim, 2023 yılında 981 milyon tonun üzerine çıkarak %29'luk önemli bir artış göstermiştir. Bu durum, küresel gıda ihtiyacının karşılanmasında bu tahıl grubunun artan rolünü vurgulamaktadır. Toplam üretim, 2005'ten sonra 2010 yılında bir düşüş yaşamış, ancak bu dönemden sonra güçlü bir toparlanma göstermiştir. Bu düşüşün ana nedeni, arpa, yulaf ve çavdar gibi tahılların üretimlerindeki azalmaların, buğday ve Tiritikale üretimindeki artışları dengeleyememesi olabilir.

Toplam üretimdeki bu artış, büyük ölçüde birim alandan elde edilen verimin yükselmesine bağlıdır. Hasat alanları toplamda dalgalı bir seyir izlerken, verimdeki sürekli iyileşme, daha az alandan daha fazla ürün elde edilmesini sağlamıştır.

Toplam üretimdeki en büyük pay sahibi buğdaydır. Buğday üretimi tek başına 2023 yılında 799 milyon tona ulaşarak, toplam serin iklim tahılı üretiminin yaklaşık %81'ini oluşturmaktadır. Bu durum, buğdayın küresel gıda güvenliği açısından ne kadar kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Diğer tahılların üretimdeki payı daha sınırlı kalmaktadır. Tablo 2'ye dayanılarak başlıca serin iklim tahıllarının ürün bazlı analizleri yapılacak olursa;

Buğday

Buğday, tüm serin iklim tahılları arasında en yüksek üretim miktarına sahiptir. 2000 yılında 587 milyon ton civarında olan üretim, 2023'te yaklaşık 799 milyon tona ulaşarak yaklaşık %36'lık önemli bir artış göstermiştir. Bu artışın ana nedeni, verimin (kg/ha) 2000'deki 2731 kg'dan 2023'te 3625 kg'a yükselmesidir. Hasat alanı ise dönem boyunca nispeten istikrarlı kalmıştır.

Arpa

Arpa üretimi, 2000 yılından 2023'e kadar dalgalı bir seyir izlemiştir. Üretim 2005'te zirve yapıp 2010'da düşüş yaşasa da, 2020'de tekrar 157 milyon ton ile en yüksek seviyesine ulaşmıştır. 2023'te ise bir miktar düşüşle 145 milyon ton seviyesine inmiştir. Arpa verimi, buğdayda olduğu gibi artış göstermiştir (2454 kg'dan 3151 kg'a).

Yulaf ve Çavdar

Yulaf ve çavdar üretiminde uzun vadeli bir düşüş eğilimi görülmektedir. Hem yulafın hem de çavdarın hasat alanları 2000 yılından bu yana önemli

ölçüde azalmıştır. Verimdeki artış, hasat alanındaki büyük düşüşü telafi edememiş ve sonuç olarak toplam üretimde azalma meydana gelmiştir.

Tiritikale ve Mahlut

Tiritikale, verimi ve üretimi sürekli artan nadir tahıllardan biridir. Hasat alanı dalgalı olsa da, verimdeki artış sayesinde toplam üretim 2000 yılından 2015'e kadar artmış, sonrasında ise nispeten sabit kalmıştır. Bu durum, Tiritikalenin tarımsal potansiyelini göstermektedir. Çavdar tanelerinin buğdaya karışmasından oluşan mahlutta ise, hem hasat alanında hem de üretimde sürekli bir düşüş gözlemlenmektedir.

Başlıca serin iklim tahıllarında en belirgin ortak trend, tüm tahıllarda birim alandan elde edilen verimin (kg/ha) artmasıdır. Bu durum, modern tarım tekniklerinin ve geliştirilmiş tohum çeşitlerinin küresel gıda üretimine olan olumlu etkisini ortaya koymaktadır. Buğdayın ekim alanı istikrarlı kalırken, yulaf, çavdar ve mahlut gibi daha az talep gören ürünlerin ekim alanlarında önemli azalmalar yaşanmıştır. Bu durum, küresel tarım stratejilerinin buğday gibi temel gıda ürünlerine odaklandığını göstermektedir. Buğday ve arpa gibi temel tahılların üretiminde genellikle artış veya dalgalı bir seyir görülürken, çavdar ve yulaf gibi ürünlerde azalan talep ve ekim alanları nedeniyle üretimde düşüş yaşanmıştır (Tablo 2). Bu veriler, küresel tarımsal üretimin verimliliğinin arttığını, ancak bu artışın tüm tahıl türlerine eşit olarak dağılmadığını ve pazar taleplerine göre değişimler gösterdiğini açıkça ortaya koymaktadır.

1.1.2 Dünyada Başlıca Sıcak İklim Tahıllarının Toplam Üretim ve Verim Değerleri (2000-2023)

Mısır, pirinç, sorgum, darı, karabuğday, fonio, kuşyemi ve kinoa gibi sıcak iklim tahıllarının belirli dönemler bazında hasat alanı, verim ve üretim miktarları Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3'teki verilere dayanarak her bir dönem için toplam üretim miktarları; 2000 dönemi: 1.3 milyar ton, 2005 dönemi: 1.4 milyar ton, 2010 dönemi 1.6 milyar ton, 2015 dönemi: 1.9 milyar ton, 2020 dönemi: 2.06 milyar ton ve 2023 dönemi: 2.13 milyar ton şeklinde gerçekleşmiştir.

Bu verilere göre, sıcak iklim tahıllarının toplam üretimindeki genel eğilim dramatik bir artış yönündedir. Buna göre 2000 yılında yaklaşık 1.28 milyar ton olan toplam üretim, 2023 yılında 2.13 milyar tonun üzerine çıkarak

%66'lık devasa bir artış göstermiştir. Bu durum, artan küresel gıda talebinin karşılanmasında sıcak iklim tahıllarının giderek artan önemini açıkça ortaya koymaktadır. Toplam üretim, incelenen her dönemde sürekli olarak artmıştır. Bu istikrarlı büyüme, küresel tarım sektörünün bu tahıl grubuna olan yoğun yatırımını ve bu ürünlerin yüksek verim potansiyelini göstermektedir. Toplam üretimdeki en büyük pay sahibi mısır ve pirinçtir. 2023 verilerine göre, mısır ve pirinç tek başına toplam üretimin yaklaşık %96'sını oluşturmaktadır. Mısır üretimindeki şaşırtıcı artış ve pirinç üretimindeki istikrarlı büyüme, toplam üretimin ana itici güçleridir. Diğer tahılların (sorgum, darı, karabuğday, fonio, kuşyemi, kinoa) toplam üretimdeki payı çok sınırlı kalmaktadır. Toplam üretimdeki bu devasa artış, büyük ölçüde birim alandan elde edilen verimin yükselmesine bağlıdır. Hasat alanları genel olarak artsa da, verimdeki sürekli iyileşme, daha az alandan daha fazla ürün elde edilmesini sağlayarak bu büyümeyi mümkün kılmıştır. Bu durum, sıcak iklim tahılları üretiminin küresel ölçekte nasıl bir seyir izlediğini ve mısır ile pirincin bu alandaki tartışmasız liderliğini net bir şekilde ortaya koymaktadır.

Tablo 3. Belirli periyotlarda dünya mısır, pirinç, sorgum, darı, karabuğday, fonio, kuşyemi ve kinoa hasat alanı, verim ve üretim değerleri (FAO, 2025).

Dönem	Mısır			Pirinç			Sorgum		
	Hasat Alanı (milyon ha)	Verim (kg/ha)	Üretim (milyon ton)	Hasat Alanı (milyon ha)	Verim (kg/ha)	Üretim (milyon ton)	Hasat Alanı (milyon ha)	Verim (kg/ha)	Üretim (milyon ton)
2000	136.9	4324.0	592.0	15.4	3890.5	598.9	41.1	1358.7	55.8
2005	148.2	4819.1	714.1	15.5	4087.4	634.6	46.5	1281.5	59.6
2010	165.3	5157.2	852.7	16.1	4324.0	696.4	42.2	1427.0	60.2
2015	191.0	5515.8	1053.8	16.1	4555.0	734.1	41.9	1574.0	65.9
2020	199.6	5787.3	1154.9	16.5	4693.8	775.1	39.9	1455.0	58.1
2023	208.2	5962.3	1241.6	16.8	4751.8	800.0	39.9	1437.8	57.3
Dönem	Darı			Karabuğday			Fonio		
	Hasat Alanı (milyon ha)	Verim (kg/ha)	Üretim (milyon ton)	Hasat Alanı (milyon ha)	Verim (kg/ha)	Üretim (milyon ton)	Hasat Alanı (ha)	Verim (kg/ha)	Üretim (ton)
2000	37.1	745.5	27.7	3.5	1090.6	3.8	380716.0	814.1	309957.6
2005	35.6	871.6	31.0	2.5	838.3	2.1	481977.0	770.0	371117.4
2010	36.0	911.0	32.8	1.9	761.1	1.5	553667.0	1011.5	560032.5

**TARLA BİTKİLERİ ÜRETİMİNDE GELİŞMELER, SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM
UYGULAMALARI VE TİCARET POTANSİYELİ| 82**

2015	29.8	960.5	28.6	2.0	949.9	1.9	888642.0	726.3	645390.4
2020	31.8	1018.3	32.3	1.9	973.5	1.8	884468.0	747.7	661331.4
2023	31.3	1008.4	31.6	2.2	1007.5	2.2	927798.0	742.9	689223.8

Dönem	Kuşyemi			Kinoa		
	Hasat Alanı (ha)	Verim (kg/ha)	Üretim (ton)	Hasat Alanı (ha)	Verim (kg/ha)	Üretim (ton)
2000	225139.0	955.2	215063.0	67036.0	785.0	52626.0
2005	307954.0	962.5	296417.0	68863.0	848.7	58443.0
2010	266590.0	792.0	211128.0	95979.0	829.7	79635.8
2015	255673.0	898.6	229737.2	197637.0	980.7	193822.2
2020	256415.0	1183.9	303569.8	189034.0	927.8	175381.9
2023	243463.0	816.9	198894.2	165838.0	676.9	112250.6

Tablo 3’te verilen 2000-2023 yılları arasında dünya genelindeki mısır, pirinç, sorgum, darı, karabuğday, fonio, kuşyemi ve kinoanın hasat alanı, verim ve üretim değerleri ürün bazlı incelendiğinde;

Mısır ve Pirinç

Mısır ve pirinç, incelenen tüm tahıllar arasında en yüksek üretim miktarına sahiptir ve küresel gıda tedarikinde baskın bir rol oynamaktadır.

2000 yılında 592 milyon ton civarında olan mısır üretimi, 2023'te 1.24 milyar tona ulaşarak %109'luk olağanüstü bir artış göstermiştir. Bu artışın ana nedeni, hem hasat alanının hem de verimin sürekli ve önemli ölçüde yükselmesidir.

Pirinç üretimi de 2000'deki 599 milyon tondan 2023'te 800 milyon tona çıkarak %33'lük bir artış kaydetmiştir. Bu artış, özellikle birim alandan elde edilen verimin artmasıyla desteklenmiştir.

Sorgum ve Darı

Sorgum ve darı, mısır ve pirince kıyasla daha küçük ölçekli üretim hacimlerine sahiptir. Sorgum üretimi dalgalı bir seyir izlemiştir. 2000'lerde bir artış görülse de, 2020'li yıllarda düşüşe geçmiştir. Hasat alanı 2000'den 2023'e kadar önemli bir değişim göstermemiştir, ancak verimdeki hafif düşüş üretimi etkilemiştir.

Darı hasat alanı 2000-2023 döneminde azalırken, verimdeki artış üretimin nispeten istikrarlı kalmasını sağlamıştır.

Diğer Tahıllar

Karabuğday, fonio, kuşyemi ve kinoa gibi daha niş tahıllar, daha küçük ölçekli üretim ve hasat alanlarına sahiptir.

Karabuğday: Üretimi dalgalı bir seyir izlemiştir ve 2000'deki seviyesine yakın bir noktada kalmıştır.

Fonio: Hasat alanı ve üretimi artan bir trend göstermektedir, bu da bu tahıla olan ilginin arttığına işaret etmektedir.

Kuşyemi ve Kinoa: Hem kuşyemi hem de kinoa üretiminde büyük dalgalanmalar görülmektedir. Kinoa hasat alanı ve üretimi 2015'te zirve yaparken, 2023'e doğru düşüşe geçmiştir. Bu dalgalanmalar, bu ürünlerin daha dinamik ve değişken pazar koşullarına sahip olduğunu göstermektedir.

Mısır ve pirinç, küresel tahıl üretiminin ezici bir çoğunluğunu oluşturmaktadır. Mısır üretimindeki dramatik artış, bu tahılın hem gıda hem de yem sektöründe artan talebini yansıtmaktadır. Tüm sıcak iklim tahıllarında, özellikle de mısır ve pirinçte, birim alandan elde edilen verimin (kg/ha) sürekli artması dikkat çekicidir. Bu durum, teknolojik gelişmeler, genetik iyileştirmeler ve modern tarım yöntemlerinin küresel gıda güvenliğine olan olumlu etkisini göstermektedir. Karabuğday ve sorgum gibi bazı tahıllar istikrar veya düşüş yaşarken, fonio gibi daha küçük tahılların ekim alanında ve üretiminde artış görülmektedir. Bu, bölgesel veya özel pazar taleplerinin değiştiğini işaret etmektedir. Küresel sıcak iklim tahıl üretiminin dinamik ve çeşitlilik gösteren bir yapıya sahip olduğunu, ancak büyük ölçekli gıda tedarikinde mısır ve pirincin açık ara liderliğini koruduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

2. TAHIL ÜRETİMİNDE ÖNDE GELEN ÜLKELER

2.1. Mısır, Buğday ve Pirinç Dünya Üretim Analizi

Mısır, buğday ve pirincin dünya geneli üretim verileri ve önde gelen bazı ülkelerin üretim değerleri ile dünya geneli üretim verisi içindeki payları Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 4. Mısır, buğday ve pirincin dünya ve önde gelen ülkeler üretim değerleri (USDA, 2025)

Ülke	Mısır Üretim (Milyon ton)	Oran (%)	Ülke	Buğday Üretim (Milyon ton)	Oran (%)	Ülke	Pirinç Üretim (Milyon ton)	Oran (%)
Dünya	1.23 milyar	100	Dünya	800.86	100	Dünya	540.93	100
ABD	377.63	31	Çin	140.1	17	Hindistan	150	28
Çin	294.92	24	Avrupa Birliği	122.12	15	Çin	145.28	27
Brezilya	135	11	Hindistan	113.29	14	Bangladeş	36.6	7
Avrupa Birliği	59.31	5	Rusya	81.6	10	Endonezya	34.1	6
Arjantin	50	4	ABD	53.65	7	Tayland	20.55	4
Hindistan	42.28	3	Kanada	35.94	4	Filipinler	12.37	2
Ukrayna	26.8	2	Avustralya	34.11	4	Burma	11.9	2
Meksika	23.1	2	Pakistan	31.44	4	Pakistan	9.72	2
Güney Afrika	16.5	1	Ukrayna	23.4	3	Kamboçya	8.47	2
Kanada	15.35	1	Türkiye	19	2	Diğer	108.19	20
Diğer	196.8	16	Diğer	160.17	20			

Tablo 4’e göre, mısır dünya genelinde en çok üretilen tahıldır ve toplam üretimi 1.23 milyar tonu aşmaktadır. Mısır üretiminde ABD, dünya üretiminin %31’ini tek başına gerçekleştirerek açık ara lider konumundadır. Çin %24, Brezilya ise %11’lik oranla onu takip etmektedir. Bu üç ülke, dünya mısır üretiminin dörtte üçüne yakını (yaklaşık %66) karşılamaktadır.

Buğday, dünya genelinde ikinci en çok üretilen tahıldır ve toplam üretimi 800,86 milyon ton civarındadır. Buğday üretiminde Çin (%17) ve Avrupa Birliği (%15) başı çekerken, bu ülkeleri Hindistan (%14) ve Rusya (%10) takip etmektedir. Tablo, buğday üretiminin mısır kıyasla daha geniş bir coğrafyaya yayıldığını göstermektedir. Buğday, Türkiye için de önemli bir üründür ve tabloya göre Türkiye dünya buğday üretiminin %2’sini karşılamaktadır.

Pirinç, dünya genelinde en çok tüketilen temel gıdalardan biridir ve toplam üretimi 540,93 milyon ton civarındadır. Pirinç üretiminde Hindistan (%28) ve Çin (%27) lider konumdadır ve dünya üretiminin yarısından fazlasını bu iki ülke gerçekleştirmektedir. Bu durum, pirincin Asya kıtası için ne kadar stratejik bir ürün olduğunu vurgulamaktadır.

Genel olarak bakıldığında, her üç tahılın da üretiminde birkaç büyük oyuncu küresel pazarın büyük bir kısmını domine etmektedir. Özellikle mısırdaki ABD ve Çin, pirinçte ise Hindistan ve Çin'in üstünlüğü dikkat çekmektedir. Bu durum, gıda güvenliği açısından bu ülkelerin ve bölgelerin küresel tedarik zincirindeki kritik rolünü ortaya koymaktadır.

2.2. Dünya Arpa, Sorgum ve Darı Üretimi İle Önde Gelen Ülkelerin Üretim Analizi

Dünya arpa, sorgum ve darı üretimi ile bu ürünlerde önde gelen ülkeler ve bunların küresel üretimdeki payları Tablo 5'te verilmektedir.

Tablo 5. Dünya arpa, sorgum, darı üretimi ve önde gelen ülkeler (USDA, 2025).

Arpa			Sorgum			Darı		
Ülke	Üretim (Milyon ton)	Oran (%)	Ülke	Üretim (Milyon ton)	Oran (%)	Ülke	Üretim (Milyon ton)	Oran (%)
Dünya	141.22	100	Dünya	54.79	100	Dünya	27	100
Avrupa Birliği	50.33	35	ABD	8.73	14	Hindistan	11.57	40
Rusya	16.25	11	Nijerya	6.5	10	Nijerya	3.84	13
Avustralya	13.27	9	Hindistan	6	9	Çin	2.7	9
Kanada	8.14	6	Brezilya	6	9	Mali	1.99	7
Birleşik Krallık	7.09	5	Meksika	4.2	7	Nijerya	1.55	5
Türkiye	7	5	Etyopya	4.1	6	Etyopya	1.13	4
Ukrayna	5.8	5	Arjantin	3.5	6	Senegal	1.1	4
Arjantin	4.85	4	Sudan	3.3	5	Burkina Faso	800 bin	3
Kazakistan	3.84	3	Çin	3	5	Sudan	793 bin	3
ABD	3.13	2	Avustralya	2.33	4	Çad	619 bin	2
Diğer	21.52	15	Diğer	15.86	25	Diğer	2.91	10

Tablo 5'e göre arpa üretimi, incelenen üç tahıl arasında en yüksek hacme sahiptir. Avrupa Birliği, dünya arpa üretiminin %35'ini tek başına gerçekleştirerek açık ara lider konumdadır. Rusya (%11), Avustralya (%9) ve Kanada (%6) onu takip etmektedir. Tablo 5'e göre Türkiye, dünya arpa üretiminin %5'ini karşılayarak önemli bir üretici olarak yer almaktadır.

Sorgum üretiminde coğrafi dağılım daha çeşitlidir. ABD, dünya üretiminin %14'ü ile ilk sırada yer alsa da, Nijerya (%10), Hindistan (%9), Brezilya (%9) ve Meksika (%7) gibi ülkeler de önemli paylara sahiptir. Bu

durum, sorgumun küresel çapta farklı iklim ve bölgelerde yetiştirilebilen bir ürün olduğunu göstermektedir. Sorgum üretiminde Afrika kıtasındaki ülkelerin (Nijerya, Etiyopya, Sudan) öne çıkması da dikkat çekicidir.

Darı üretimi ağırlıklı olarak Hindistan'ın (%40) kontrolündedir. Nijerya (%13) ve Çin (%9) de darı üretiminde önemli paya sahiptir. Sorgum gibi darı da özellikle Asya ve Afrika ülkelerinde yaygın olarak üretilmektedir. Darı üretiminde yer alan ülkelerin büyük çoğunluğu gelişmekte olan ülkelere olmaktadır, bu da darının bu bölgelerde temel bir besin kaynağı olduğunu göstermektedir.

Genel olarak, arpa üretiminin Avrupa ve Kuzey Amerika gibi daha çok ılıman iklim bölgelerinde yoğunlaştığı görülürken, sorgum ve darı üretiminin tropikal ve yarı kurak bölgelerdeki ülkelere daha yaygın olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum, tahıl türlerinin iklim koşullarına adaptasyon yeteneklerinin üretim yerlerini doğrudan etkilediğini ortaya koymaktadır.

2.3. Dünya Yulaf, Mahlut ve Çavdar Üretimi ve Önde Gelen Ülkelerin Analizi

Dünya yulaf, mahlut ve çavdar üretimi ile bu ürünlerde önde gelen ülkeler ve bunların küresel üretimdeki payları Tablo 6'da verilmektedir.

Tablo 6. Dünya yulaf, mahlut ve çavdar üretimi ve önde gelen ülkeler (USDA, 2025).

Ülke	Yulaf Üretim (Milyon ton)	Oran (%)	Ülke	Mahlut Üretim (Milyon ton)	Oran (%)	Ülke	Çavdar Üretim (Milyon ton)	Oran (%)
Dünya	22.9		Dünya	12.4	100	Dünya	10.6	100
Avrupa Birliği	7.75	34	Avrupa Birliği	11.8	96	Avrupa Birliği	6.9	65
Kanada	3.36	15	Kanada	253 bin	2	Rusya	1.2	11
Rusya	3	13	Birleşik Krallık	180 bin	1	Belarus	800 bin	8
Avustralya	1.32	6	İsviçre	48 bin	0,39	Kanada	421 bin	4
Brezilya Birleşik Krallık	1.04	5	Bangladeş	25 bin	0,20	ABD	374 bin	4
Krallık	986 bin	4	Diğer	0	0,01	Türkiye	320 bin	3
Çin	984 bin	4				Ukrayna	220 bin	2
Arjantin	556 bin	2				Norveç	50 bin	0,47
Şili	475 bin	2				Avustralya	32 bin	0,30
Diğer	3.44	15				Diğer	318 bin	3

Tablo 6'ya göre, yulaf, mahlut ve çavdar gibi tahılların küresel üretim dağılımını gözler önüne serilmekte ve bazı çarpıcı bölgesel yoğunlaşmalar ortaya çıkmaktadır.

Yulaf Üretimi

Yulaf üretiminde Avrupa Birliği, %34'lük payla en büyük üreticidir. Bu, AB'nin yulaf pazarındaki hakimiyetini göstermektedir. Kanada (%15) ve Rusya (%13) da önemli yulaf üreticileri arasında yer almaktadır. Diğer üreticiler ise dünya üretiminin %15'ini paylaşmaktadır.

Mahlut Üretimi

Mahlut üretimi, dünya genelinde oldukça sınırlı bir alanda yoğunlaşmıştır. Tablo 6'daki verilere göre, Avrupa Birliği bu tahılın üretiminin neredeyse tamamını, yani %96'sını tek başına gerçekleştirmektedir. Kanada (%2) ve Birleşik Krallık (%1) gibi diğer üreticilerin payları oldukça düşüktür. Bu durum, mahlutun daha çok belirli bölgelerin iklim ve tarım koşullarına uygun, özel bir tahıl olduğunu veya belirli bir hayvan yemi olarak kullanıldığını düşündürmektedir.

Çavdar Üretimi

Çavdar üretiminde de yine Avrupa Birliği dominant konumdadır ve dünya üretiminin %65'ini sağlamaktadır. Rusya (%11), Belarus (%8) ve Kanada (%4) onu takip etmektedir. Çavdar da Avrupa'da yaygın olarak yetiştirilen bir tahıldır. Tabloya göre, Türkiye dünya çavdar üretiminin %3'ünü karşılamaktadır.

Tablo 6'daki veriler, yulaf, mahlut ve çavdar üretiminin, mısır veya pirinç gibi daha yaygın tahıllara kıyasla çok daha bölgesel ve belirli coğrafyalarda yoğunlaştığını net bir şekilde göstermektedir. Özellikle Avrupa Birliği, bu üç tahılın tamamında lider konumdadır ve mahlut üretiminde neredeyse tekel konumundadır. Bu durum, AB'nin tarımsal çeşitliliği ve bu özel tahıllara yönelik ekolojik ve ekonomik adaptasyonunu ortaya koymaktadır.

3. TÜRKİYE TAHİL ANALİZİ

2000-2024 yılları arasında Türkiye'deki başlıca tahıl ürünlerinin toplam ekiliş alanı ve üretim değerleri Tablo 7'de gösterilmektedir.

Tablo 7'ye göre, Türkiye'de tahıl ekim alanları 2000 yılından itibaren genel olarak azalma eğilimi gösterirken, toplam üretim miktarı dalgalı bir seyir izlese de son dönemde artışa geçmiştir. Bu durum, birim alandan alınan verimin (verimliliğin) artmış olduğunu göstermektedir.

Tablo 7. Türkiye 2000-2024 dönemleri başlıca tahıl ürünleri ekiliş alanı ve üretim değerleri (TÜİK, 2025).

Dönem	Ekiliş alanı (da)	Üretim (ton)
2000	139 626 380	32 248 694
2005	138 932 410	36 471 600
2010	121 002 714	32 772 550
2015	117 132 230	38 637 138
2020	111 432 162	37 187 508
2024	115 449 134	39 019 653

Tablo 7'de gösterilen değerler analiz edildiğinde;

Ekiliş Alanı (da)

2000 yılında 139.6 milyon dekar olan toplam tahıl ekim alanı, 2020 yılına kadar düzenli olarak azalmıştır. 2020'de 111.4 milyon dekara kadar düşen alan, 24 yılda yaklaşık %20 oranında bir azalmaya işaret etmektedir.

Ancak, 2020 yılından sonra ekiliş alanlarında bir toparlanma görülmüş ve 2024'te 115.4 milyon dekara yükselmiştir. Bu artış, tarım politikalarındaki değişiklikler veya artan gıda güvenliği endişeleri gibi faktörlerle ilişkili olabilir.

Üretim (ton)

Ekiliş alanındaki azalışa rağmen, toplam üretim miktarı daha istikrarlı bir seyir izlemiştir. 2000'deki 32.2 milyon tonluk üretim, 2005'te 36.4 milyon tona yükselmiştir. 2010 yılında bir düşüş yaşansa da (32.7 milyon ton), 2015'ten sonra üretim yeniden artışa geçmiştir.

2024 yılında ulaşılan 39 milyon tonluk rekor üretim, ekiliş alanındaki azalmaya rağmen verimliliğin ne kadar arttığını açıkça ortaya koyuyor. Bu, modern tarım tekniklerinin, kaliteli tohum çeşitlerinin ve etkin sulama sistemlerinin yaygınlaşmasıyla açıklanabilir.

İncelenen veriler, Türkiye'deki tahıl üretiminde verimliliğin ekim alanlarından daha önemli hale geldiğini göstermektedir. Çiftçiler daha az alanda daha fazla ürün elde edebiliyor. Bu durum, bir yandan tarım arazilerinin azalmasının yarattığı baskıyı hafifletirken, diğer yandan ülkenin gıda güvenliği açısından olumlu bir gelişme olarak öne çıkmaktadır (TÜİK, 2025).

3.1. Türkiye Arpa ve Buğday Ekiliş Üretim ve Verim Değerlerinin Analizi

Türkiye'de 2000-2024 yılları arasındaki buğday ve arpanın kullanım amacına göre ekiliş alanı, verim ve üretim değerleri Tablo 8’de verilmektedir.

Tablo 8’e göre buğday ve arpanın genel durumu göz önüne alındığında; Buğdayda hem ekilen alan hem de üretim miktarı açısından dalgalı bir seyir görülmektedir. 2000’li yılların başındaki yüksek seviyelerden sonra ekilen alanlar genel olarak azalma eğilimi göstermektedir. Ancak, verimdeki artış sayesinde üretim miktarı daha istikrarlı kalmaktadır.

Arpada tıpkı buğdayda olduğu gibi, arpa ekim alanlarında da genel bir azalma görülmektedir. Üretim miktarı ise 2005’ten sonra bir miktar düşse de, 2024 itibarıyla 2005 seviyesine yakın bir noktada seyretmektedir.

Tablo 8. Türkiye 2000-2024 dönemleri buğday ve arpa ekiliş alanı, üretim ve verim değerleri (TÜİK, 2025).

	Buğday			Arpa		
	Toplam	Durum	Diğer	Toplam	Biralık	Diğer
Ekilen alan (da)						
2000	94 000 000	-	-	36 290 000	-	-
2005	92 500 000	20 000 000	72 500 000	36 500 000	3 500 000	33 000 000
2010	81 034 000	13 340 000	67 694 000	30 400 000	2 403 000	27 997 000
2015	78 668 874	12 737 734	65 931 140	27 835 830	1 806 444	26 029 386
2020	69 222 364	12 580 562	56 641 802	30 971 625	1 925 254	29 046 371
2024	70 238 078	13 332 026	56 906 052	32 548 667	659 004	31 889 663
Üretim (ton)						
2000	21 000 000	-	-	8 000 000	-	-
2005	21 500 000	4 500 000	17 000 000	9 500 000	900 000	8 600 000
2010	19 674 000	3 450 000	16 224 000	7 250 000	600 000	6 650 000
2015	22 600 000	4 100 000	18 500 000	8 000 000	620 000	7 380 000

2020	20 500 000	4 000 000	16 500 000	8 300 000	600 000	7 700 000
2024	20 800 000	4 400 000	16 400 000	8 100 000	300 000	7 800 000
Verim (kg/da)						
2000	223	-	-	220	-	-
2005	232	225	234	260	257	261
2010	243	259	240	238	250	238
2015	287	322	281	287	343	284
2020	296	318	291	268	312	265
2024	296	330	288	249	455	245

Tablo 8'deki veriler üzerinden buğday ve arpanın ürün bazlı değerlendirmesi yapıldığında;

Buğday

Ekilen alan, 2000 yılında 94 milyon dekar olan ekilen alan, 2024 yılında 70 milyon dekara kadar gerilemiştir. Bu, yaklaşık %25'lik bir azalmaya işaret etmektedir. Bu durum, tarım arazilerinin farklı amaçlarla kullanılması veya çiftçilerin diğer ürünlere yönelmesi gibi nedenlere bağlanabilir.

Üretim, 2000'de 21 milyon ton olan üretim, 2015'te 22.6 milyon tona ulaşarak en yüksek seviyesini görmüştür. 2024'te ise 20.8 milyon ton seviyesindedir. Ekilen alandaki azalmaya rağmen üretimin nispeten istikrarlı kalması, verimdeki artışla doğrudan ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Verim ile ilgili, en dikkat çekici nokta verimdeki sürekli artıştır. 2000 yılında dekar başına 223 kg olan verim, 2024'te 296 kg'a yükselmiştir. Bu, yeni tohum çeşitleri, modern tarım teknikleri veya sulama imkanlarının artması gibi faktörlerin bir sonucu olabileceği değerlendirilmektedir. Özellikle 2020 ve 2024 yıllarında verimin 296 kg'a çıkması, tarımsal teknolojiye gelişmeleri göstermektedir.

Arpa

Ekilen alan, 2000'de 36.2 milyon dekar olan arpa ekim alanı, 2024'te 32.5 milyon dekara gerilemiştir. Bu da yaklaşık %10'luk bir azalma anlamına gelmektedir.

Üretim, 2000'deki 8 milyon tonluk üretimden sonra 2010'da 7.25 milyon tona kadar düşen üretim, 2024'te 8.1 milyon tona çıkarak 2000'li yılların başındaki seviyeyi geçmiştir. Bu yükselişte yine verimin etkisi büyüktür.

Verim ile ilgili olarak, buğdayda olduğu gibi arpada da verim artışı görülmektedir. 2000 yılında dekar başına 220 kg olan verim, 2024'te 249 kg'a çıkmıştır. Ancak, arpa verimindeki artış buğdaya göre daha seviyeli.

Türkiye'de buğday ve arpa tarımında ekim alanları azalma eğiliminde olmasına rağmen, verim artışları sayesinde toplam üretim miktarı istikrarlı bir şekilde korunmaktadır. Bu durum, sınırlı tarım arazilerinden daha fazla ürün alma başarısını göstermektedir. Gelecekte ekim alanlarındaki azalış devam ederse, üretimi korumak için verimi artıracak yeni stratejiler daha da önem kazanacaktır.

3.2. Türkiye Mısır, Çeltik, Çavdar, Yulaf, Kaplıca ve Darı Ekiliş, Üretim ve Verim Analizi

2000-2024 yılları arasında Türkiye'deki bazı önemli tahıl ürünlerinin (Mısır, Çeltik, Çavdar, Yulaf, Kaplıca ve Darı) ekilen alan, üretim ve verim verileri Tablo 9'da verilmektedir.

Buna göre mısır ve çeltiğin, ekilen alan, üretim ve verim açısından en istikrarlı büyüme gösteren ürünler olduğu görülmektedir. Bu durum, bu ürünlerin tarımsal politikalar, pazar talebi ve modernizasyon gibi faktörlerden olumlu etkilendiğini göstermektedir.

Çavdar, Kaplıca ve Darı gibi ürünlerde ise ekim alanlarında ve üretimde genel bir düşüş eğilimi görülmektedir. Bu durum, çiftçilerin bu ürünler yerine daha kârlı veya talebi yüksek olan mısır ve çeltik gibi ürünlere yöneldiğini düşündürmektedir. Neredeyse tüm ürünlerde dekar başına alınan verimde artış görülmektedir. Bu, modern tarım tekniklerinin, kaliteli tohum kullanımının ve sulama olanaklarının geliştiğinin bir göstergesidir (Tablo 9).

Tablo 9. Türkiye 2000-2024 dönemleri mısır, çeltik, çavdar, yulaf, kaplıca ve darı ekiliş alanı, üretim ve verim değerleri (TÜİK, 2025)

	Mısır	Çeltik	Çavdar	Yulaf	Kaplıca	Darı
Ekilen alan (da)						
2000	5 550 000	580 000	1 470 000	1 536 000	85 000	30 000
2005	6 000 000	850 000	1 300 000	1 330 000	50 000	36 000
2010	5 940 000	990 000	1 410 000	883 900	38 780	29 330
2015	6 881 699	1 158 561	1 123 129	1 034 570	22 701	26 908
2020	6 916 324	1 253 980	1 043 651	1 132 633	15 217	18 517
2024	7 894 438	1 289 036	910 888	1 427 401	11 712	10 037

Üretim (Ton)						
2000	2 300 000	350 000	260 000	314 000	8 600	5 300
2005	4 200 000	600 000	270 000	270 000	7 400	7 200
2010	4 310 000	860 000	365 560	203 870	7 675	6 772
2015	6 400 000	920 000	330 000	250 000	4 700	6 219
2020	6 500 000	980 000	295 681	314 528	2 820	5 711
2024	8 100 000	1 019 000	257 000	390 000	2 361	3 774
Verim (kg/da)						
2000	414	603	177	204	101	177
2005	700	706	208	203	148	200
2010	726	869	259	231	198	231
2015	930	794	294	242	207	231
2020	940	782	283	278	185	308
2024	1 026	791	282	273	202	376

Tablo 9'daki verilerin ürün bazlı analizi yapıldığında;

Mısır

Mısır, tablodaki en değerlere sahip ürün olarak göze çarpmaktadır. Ekilen alan 2000'de 5.5 milyon dekar olan ekilen alan, 2024'te 7.9 milyon dekara yükselmiştir. Bu, %40'tan fazla bir artışa işaret etmektedir. Üretim miktarı da paralel olarak büyük bir artış göstermiştir. 2000'de 2.3 milyon ton olan üretim, 2024'te 8.1 milyon tona ulaşmıştır. Verimdeki artış oldukça çarpıcı görülmektedir. 2000'de dekar başına 414 kg olan verim, 2024'te 1,026 kg'a çıkarak iki kattan fazla artış göstermiştir. Bu, mısır tarımındaki teknolojik gelişmeleri ve tarım politikalarının sonuçlarını yansıtmaktadır.

Çeltik (Pirinç)

Ekilen alan ve üretimde istikrarlı bir yükseliş görülmektedir. 2000'de 580 bin dekar olan alan, 2024'te 1.2 milyon dekara; üretim ise 350 bin tondan 1 milyon tonun üzerine çıkmıştır. Bu, pirinç talebinin karşılanmasında önemli bir artışa işaret etmektedir. Verimdeki dalgalanmalara rağmen genel bir yükseliş eğilimi mevcuttur.

Çavdar ve Darı

Bu iki üründe de hem ekilen alanlar hem de üretim miktarları genel olarak azalma eğilimindedir. Çavdar ekim alanı 2000'deki 1.47 milyon dekardan 2024'te 910 bin dekara gerilemiştir. Darı ekim alanı da 30 bin dekardan 10 bin dekara kadar düşmüştür. Bu durum, bu ürünlerin ekonomik

olarak cazibesini yitirdiğini göstermektedir. Verim değerlerinde artış görülse de, bu artış ekim alanlarındaki kaybı telafi etmeye yetmemiştir.

Yulaf ve Kaplıca

Yulaf ekim alanı ve üretiminde dalgalı bir seyir olduğu gözlenmektedir. 2010'da düşüş yaşansa da 2024 itibarıyla 2000'li yılların başındaki seviyelere geri dönmüştür. Verimdeki artış, üretimin daha istikrarlı kalmasını sağlamıştır.

Buğdaygillerden olan kaplıca, ekilen alan ve üretimde en keskin düşüşü yaşayan ürünlerden biridir. Ekilen alan 2000'deki 85 bin dekardan 2024'te 11 bin dekara kadar gerilemiştir.

Tablo 9'daki veriler, Türkiye tarımında bir dönüşümü göstermektedir. Geleneksel tahıl ürünleri olan çavdar, kaplıca ve darı gibi ürünler yerini, mısır ve çeltik gibi daha yüksek verimli ve ekonomik getirisi yüksek ürünlere bırakmış durumdadır. Mısır ve çeltiğin verimindeki muazzam artış, tarımsal modernleşmenin ve teknolojik yatırımların bu ürünlerde ne kadar etkili olduğunu kanıtlamaktadır. Bu durum, gelecekte Türkiye'deki tahıl üretim politikalarının hangi yönde şekilleneceğine dair önemli ipuçları sunmaktadır.

3.3. Türkiye Kuşyemi, Mahlut, Tiritikale, Sorgum ve Karabuğday Ekiliş Alanı, Üretim ve Verim Analizi

Türkiye'de 2000-2024 yılları arasında kuşyemi, mahlut, Tiritikale, sorgum ve karabuğday gibi daha az bilinen bazı tarım ürünlerinin ekilen alan, üretim ve verim değerleri Tablo 10'da gösterilmektedir. Bu ürünlerin verileri, buğday ve mısır gibi ana ürünlere göre daha değişken ve özel eğilimler taşımaktadır.

Tablo 10'a göre en dikkat çekici ürün Tiritikaledir. Hem ekilen alan hem de üretim miktarı açısından yıllar içinde çok büyük bir artış göstermiştir. Mahlut, ekim alanı ve üretimde neredeyse tamamen ortadan kalkmıştır. 2000 yılında önemli bir yere sahipken, 2020 ve 2024 yıllarında hiç ekim yapılmamıştır. Kuşyemi ekim alanları ve üretimi, 2000'li yılların başındaki düşük seviyelerden sonra 2020'de rekor bir artış göstermiş, ancak 2024'te tekrar düşüşe geçmiştir. Bu, pazar talebine göre hızlı değişimlerin yaşandığını göstermektedir. Karabuğday, 2024 yılı itibarıyla tabloya yeni eklenmiş ve ekiminin başladığını göstermektedir.

Tablo 10. Türkiye 2000-2024 dönemleri kuşyemi, mahlut, tiritikale, sorgum ve kara buğday ekiliş alanı, üretim ve verim değerleri (TÜİK, 2025).

	Kuşyemi	Mahlut	Tiritikale	Sorgum	Karabuğday
Ekilen alan (da)					
2000	1 730	83 650	-	-	-
2005	750	44 800	320 000	860	-
2010	550	7 310	268 530	314	-
2015	2 385	5 500	372 063	10	-
2020	46 693	0	811 149	9	-
2024	22 713	0	1 096 049	115	21 229
Üretim (Ton)					
2000	234	10 560	-	-	-
2005	100	6 700	110 000	200	-
2010	83	1 100	93 270	220	-
2015	390	825	125 000	4	-
2020	12 551	0	276 212	5	-
2024	6 422	0	341 000	96	2 856
Verim (kg/da)					
2000	135	126	-	-	-
2005	133	150	344	233	-
2010	151	150	347	701	-
2015	164	150	336	400	-
2020	269	0	341	556	-
2024	283	0	311	835	135

Tablo 10 üzerinden ürün bazlı analiz yapıldığında;

Tiritikale

Ekilen alan, 2005 yılında 320 bin dekar olan ekilen alan, 2024'te 1 milyon dekarın üzerine çıkarak yaklaşık 3.5 kat artmıştır. Bu, Tiritikalenin Türkiye tarımında giderek daha önemli bir yer edindiğini göstermektedir. Ekilen alana paralel olarak üretim de ciddi oranda yükselmiştir. 2005'te 110 bin ton olan üretim, 2024'te 341 bin tona ulaşmıştır. Verimdeki artış çok çarpıcı olmasa da 2005'teki 344 kg/da seviyesi 2020'de 341 kg/da ile istikrarını korumuş, 2024'te ise hafif bir düşüş yaşamıştır.

Kuşyemi

Ekilen alan ve üretim bazlı,kKuşyemi, 2015-2020 yılları arasında dramatik bir büyüme göstermiştir. 2015'te sadece 2.385 da olan ekim alanı, 2020'de 46.693 da'ya fırlamıştır. Üretim de bu artışa paralel olarak 390 tondan 12.551 tona çıkmıştır. Ancak, 2024'te bu artışın sürdürülemediği ve ekim alanının yarı yarıya düştüğü görülmektedir. Bu dalgalanmalar, pazarın kısa vadeli taleplerinden etkilendiğini düşündürmektedir.

Mahlut

Mahlut, 2000 yılında 83.650 da ekim alanına sahipken, bu alan 2010'da 7.310 da'ya kadar gerilemiş ve 2020-2024 yılları arasında sıfıra düşmüştür. Bu ürünün tarımsal önemini tamamen yitirdiğini göstermektedir. Aynı zamanda modern tarım teknikleri ve makineleri sayesinde tarlada çavdar karışmış buğday anlamına gelen mahlutun, artık bu karışma olmadığından yok olma seviyesine geldiğini göstermektedir.

Sorgum ve Karabuğday

Sorgum ekimi, 2010 ve 2015'te neredeyse durma noktasına gelmişken, 2024'te tekrar artışa geçmiştir. Özellikle verimdeki keskin artış (2015'teki 400 kg/da'dan 2024'te 835 kg/da'ya) dikkat çekicidir. Bu durum, yeni tohum çeşitlerinin veya tarım tekniklerinin kullanılmaya başlandığını göstermektedir.

Karabuğday, tablodaki en yeni üründür. 2024 yılında 21.229 dekar ekim alanı ve 2.856 ton üretimle başlamıştır. Bu, Türkiye tarımında yeni ve alternatif ürünlere yönelim olduğunu göstermektedir.

Tablo 10'da görünen resim, Türkiye'deki tarım çeşitliliğinin ve dinamizminin altını çizmektedir. Tiritikale gibi ürünler, yaygınlaşırken, mahlut gibi bazıları tamamen terk edilmiştir. Kuşyemi gibi ürünler ise pazar talebine göre hızlı dalgalanmalar yaşayabilmektedir. Karabuğday gibi yeni ürünlerin ortaya çıkışı, sektörün sürekli arayış içinde olduğunu ve yeni pazarlara adapte olmaya çalıştığını göstermektedir. Verimdeki artış eğilimi, bu ürünlerde de modern tarım uygulamalarının yaygınlaştığını desteklemektedir.

3.4. Türkiye'nin Tahıl Üretimi ve İç Tüketim Dinamikleri: 2010-2024 Dönem Analizi

Gıda güvenliği ve tarımsal sürdürülebilirlik, ulusal stratejilerin merkezinde yer alan hayati konulardır. Bu bağlamda, tahıl ürünleri, hem temel gıda kaynağı hem de yem sanayisinin ana girdisi olması nedeniyle kritik bir öneme sahiptir. Türkiye, tarımsal potansiyeli yüksek bir ülke olmakla birlikte, artan nüfus, kentleşme ve endüstriyel taleplerin etkisiyle tahıl sektöründe önemli yapısal dönüşümler yaşamıştır.

Türkiye'nin 2010-2011, 2015-2016, 2020-2021 ve 2023-2024 piyasa yıllarına ait tahıl verileri Tablo 11'de sunulmaktadır. Bu veri seti, toplam tahıl, buğday, arpa ve mısır gibi ana kalemleri içermektedir.

Veriler, Türkiye'nin toplam tahıl üretiminde 2010-2011'den 2023-2024'e kadar %29'luk önemli bir artış sağladığını göstermektedir. Daha da önemlisi, bu üretim artışı, aynı dönemdeki yurt içi kullanım artışını (%14.6) geride bırakmıştır. Bu bulgu, önceki dönemlerin aksine, 2023-2024'te yerli üretimin yurt içi talebi karşılama yeterliliğinin arttığını ve tahıl arzında kendine yeterlilik yolunda pozitif bir ivme yakalandığını göstermektedir.

2023-2024'te kullanılabilir üretim (39.25 milyon ton), yurt içi kullanımın (35.09 milyon ton) üzerinde gerçekleşmiştir. Bu durum, yerli üretimin iç talebi karşılayabildiğini ve hatta bir miktar fazlalık yarattığını ortaya koymaktadır. Yurt içi buğday tüketimi, kullanılabilir üretimdeki artışla paralel gitmiş, bu da buğdayın stratejik önemini ve iç piyasadaki sürekli talebi göstermektedir. Mısır, artan hayvancılık sektörü talebiyle paralel olarak en hızlı büyüyen tahıl türüdür. Kullanılabilir üretimdeki büyük artış (%109), bu talebi karşılamak için yapılan üretimi ve verimlilik artışlarını yansıtmaktadır.

Toplam tahıl yönünden, 2010-2011'de ithalat (4.56 milyon ton) ve ihracat (3.86 milyon ton) arasında bir denge varken, 2023-2024'te her iki kalem de dramatik bir şekilde artmıştır. İthalat %172 artarken, ihracat %287'lik bir büyüme ile ithalatı geride bırakmıştır. Bu veriler, Türkiye'nin birincil tahıl ürünlerini (hammadde) uluslararası pazarlardan temin ederek, bunları un, makarna gibi katma değerli ürünlere dönüştürdüğünü ve bu ürünleri yüksek fiyatla yeniden ihraç ettiğini kanıtlamaktadır. Bu stratejik model, buğday verilerinde en net şekilde görülmektedir. İthal edilen buğdayın önemli bir kısmı iç tüketimden ziyade, gıda sanayisi girdisi olarak kullanılmış ve nihai ürün olarak küresel pazarlara sunulduğunu göstermektedir (Tablo 11).

Tablo 11. Türkiye 2010-2024 dönemi tahıl üretimi, kayıpları, yurtiçi kullanım ve dış ticaret dengesi (TÜİK, 2025)

Ürün	Piyasa yılı	Üretim (Ton)	Üretim kayıpları (Ton)	Kullanılabilir üretim (Ton)	Yurtiçi kullanım (Ton)	İthalat (Ton)	İhracat (Ton)	Arz= Kullanım (Ton)
Tahıl (toplam)	2023-2024	41 298 659	2 045 384	39 253 275	35 094 302	12 420 660	14 973 672	51 673 935
	2020-2021	36 207 508	1 831 617	34 375 891	35 304 638	10 952 302	8 913 746	45 328 193
	2015-2016	37 717 138	1 923 484	35 793 654	32 479 732	4 837 640	6 588 743	40 631 294

97 | TARLA BİTKİLERİ ÜRETİMİNDE GELİŞMELER, SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM UYGULAMALARI VE TİCARET POTANSİYELİ

	2010-2011	31 912 550	1 654 499	30 258 051	30 620 823	4 565 386	3 399 462	34 823 437
Arpa	2023-2024	9 200 000	552 000	8 648 000	7 473 539	378 371	114 320	9 026 371
	2020-2021	8 300 000	498 000	7 802 000	8 035 420	790 393	98 707	8 592 393
	2015-2016	8 000 000	480 000	7 520 000	7 063 919	107 351	21 131	7 627 351
	2010-2011	7 250 000	435 000	6 815 000	6 510 144	60 409	46 210	6 875 409
Buğday (toplam)	2023-2024	22 000 000	1 210 000	20 790 000	17 564 388	9 443 588	11 094 342	30 233 588
	2020-2021	20 500 000	1 127 500	19 372 500	18 934 082	8 237 981	7 583 765	27 610 481
	2015-2016	22 600 000	1 243 000	21 357 000	18 795 419	4 109 527	5 918 407	25 466 527
	2010-2011	19 674 000	1 082 070	18 591 930	18 187 098	4 174 105	3 228 101	22 766 035
Buğday (diğer)	2023-2024	17 700 000	973 500	16 726 500	15 786 583	9 255 570	8 362 084	25 982 070
	2020-2021	16 500 000	907 500	15 592 500	17 474 510	7 674 612	4 727 644	23 267 112
	2015-2016	18 500 000	1 017 500	17 482 500	16 141 796	3 826 006	4 609 061	21 308 506
	2010-2011	16 224 000	892 320	15 331 680	15 334 544	4 082 451	2 606 412	19 414 131
Buğday (durum)	2023-2024	4 300 000	236 500	4 063 500	1 777 805	188 018	2 732 258	4 251 518
	2020-2021	4 000 000	220 000	3 780 000	1 459 572	563 369	2 856 121	4 343 369
	2015-2016	4 100 000	225 500	3 874 500	2 653 623	283 521	1 309 346	4 158 021
	2010-2011	3 450 000	189 750	3 260 250	2 852 554	91 654	621 689	3 351 904
Mısır	2023-2024	9 000 000	270 000	8 730 000	9 046 243	3 272 202	3 350 694	12 002 202
	2020-2021	6 500 000	195 000	6 305 000	7 430 085	1 814 493	1 016 758	8 119 493
	2015-2016	6 400 000	192 000	6 208 000	5 912 901	603 739	603 844	6 811 739
	2010-2011	4 310 000	129 300	4 180 700	5 253 425	385 467	212 323	4 566 167
Yulaf	2023-2024	410 000	3 280	406 720	320 706	4 063	4 560	410 783
	2020-2021	314 528	2 516	312 012	319 731	8 642	923	320 654

**TARLA BİTKİLERİ ÜRETİMİNDE GELİŞMELER, SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM
UYGULAMALARI VE TİCARET POTANSİYELİ| 98**

	2015- 2016	250 000	2 000	248 000	249 632	1 744	41	249 744
	2010- 2011	203 870	1 631	202 239	214 518	8 549	9	210 788
Çavdar	2023- 2024	305 000	3 965	301 035	295 538	0	99	301 035
	2020- 2021	295 681	3 844	291 837	291 750	0	87	291 837
	2015- 2016	330 000	4 290	325 710	316 718	0	28	325 710
	2010- 2011	365 560	4 752	360 808	345 726	0	82	360 808
Diğer tahıllar	2023- 2024	383 659	6 139	377 520	393 888	38 239	21 871	415 759
	2020- 2021	297 299	4 757	292 542	293 570	21 782	20 754	314 324
	2015- 2016	137 138	2 194	134 944	141 143	6 579	380	141 523
	2010- 2011	109 120	1 746	107 374	109 912	2 729	191	110 103
Pirinç	2023- 2024	540 000	5 400	534 600	744 947	347 165	310 239	881 765
	2020- 2021	588 000	5 880	582 120	716 601	401 059	224 333	983 179
	2015- 2016	552 000	5 520	546 480	781 757	198 876	61 254	745 356
	2010- 2011	516 000	5 160	510 840	563 376	275 267	105 874	786 107

Tablodaki veriler ürün bazında incelendiğinde;

Buğday

Buğdayda kullanılabilir üretim, 2010-2011'den 2023-2024'e kadar %11.8 oranında artış gösterirken, yurt içi kullanım % 4 oranında azalmıştır. Bu durum, artan yerli üretime rağmen, tüketimin de sürekli yükseldiğini ve iç piyasada bir denge arayışının sürdüğünü göstermektedir. Buğdayın temel gıda maddesi olması, bu dengenin stratejik önemini artırmaktadır.

Türkiye'nin buğdayda bir ithalatçı olduğunu gösterse de, bu durumun ardında karmaşık bir ticaret modeli yatmaktadır. 2023-2024'te 9.44 milyon ton buğday ithal edilirken, buğday ve mamullerinin ihracatı 11.09 milyon tona ulaşmıştır. Bu durum, Türkiye'nin uluslararası piyasalardan uygun maliyetli buğdayı temin ederek, bunu un, makarna ve bulgur gibi katma değerli ürünlere dönüştürdüğünü ve bu ürünleri ihraç ettiğini kanıtlamaktadır.

Mısır

Mısır, incelenen dönemde en hızlı büyüyen tahıl türüdür. Kullanılabilir üretim %109'luk devasa bir artış göstermiştir. Bu artış, sulama altyapısındaki iyileştirmeler ve verimli çeşitlerin kullanımı gibi faktörlerle açıklanabilir. Ancak, yurt içi kullanım da %72'lik bir artışla hızla yükselmiştir. Bu durum, özellikle hayvancılık sektöründen gelen güçlü yem talebini açıkça yansıtmaktadır.

Mısırdaki dış ticaret dengesi, buğdaydan farklıdır. 2023-2024'te 3.27 milyon ton mısır ithalatına karşılık, ihracat 3.35 milyon ton'dur. Bu durum, ithal mısırın büyük bir kısmının ihracat amaçlı kullanıldığını göstermektedir.

Arpa

Arpa üretimi, 2010'dan 2023'e istikrarlı bir şekilde artarak %26.3'lük bir büyüme göstermiştir. Yurt içi kullanım ise %17'lik bir artışla üretimin gerisinde kalmıştır. Bu durum, arpada da iç talebin üretimden daha yavaş büyüdüğünü ve ithalatın bu nedenle düşük kaldığını göstermektedir. Arpa, özellikle yem ve malt sanayisinin ana girdilerindendir.

Arpada ithalat, 2023-2024'te 378.4 bin ton iken, ihracat 114.3 bin tondur. Bu büyük fark, ithal arpanın büyük bir kısmının iç piyasada kullanıldığını ve stratejik bir yeniden ihracat modelinin bu ürün için geçerli olmadığını göstermektedir.

3.4.1 Üretim Kayıpları

3.4.1.1. Mutlak Değer Açısından Üretim Kayıpları

Tabloda "Üretim Kayıpları (Ton)" sütunu incelendiğinde, hemen hemen tüm tahıl türleri için miktarın yıllar içinde arttığı görülmektedir. Buna göre 2010-2011'de 1.65 milyon ton olan toplam tahıl üretim kaybı, 2023-2024'te 2.04 milyon tona yükselmiştir. Toplam buğday kaybı, 2010-2011'de 1.08 milyon tondan, 2023-2024'te 1.21 milyon tona çıkmıştır. Arpa kayıpları, 435 bin tondan, 552 bin tona yükselmiştir.

Üretim kayıplarındaki bu artış, üretim miktarının kendisinin de arttığı düşünüldüğünde doğal bir sonuçtur. Daha fazla üretim, doğal olarak daha fazla hasat sonrası kayıp riski demektir. Ancak, bu mutlak artış, hammadde israfı ve ekonomik kayıp açısından önemli bir sorunu işaret etmektedir.

3.4.1.2. Göreceli Oran Açısından Üretim Kayıpları

Göreceli bir yaklaşım için, üretim kayıplarını toplam üretime oranlayarak incelemek gerekir.

Kayıp Oranı=(Üretim Kaybı/Toplam Üretim)×100 şeklinde formüle edilebilir.

Veriler incelendiğinde, bu oran genellikle sabit veya çok küçük değişimler göstermektedir.

Toplam Tahıl: 2010-2011'de kayıp oranı %5.1 (1.65/31.91), 2023-2024'te ise %4.9 (2.04/41.29)'dur.

Buğday (toplam): Kayıp oranı buğday için genellikle %5.5 seviyesinde seyretmektedir.

Arpa: Kayıp oranı arpa için genellikle %6 civarındadır.

Mısır: Kayıp oranı mısır için istikrarlı bir şekilde %3 civarındadır.

Bu durum, hasat sonrası kayıpların yönetiminde kayda değer bir kötüleşme ya da iyileşme olmadığını göstermektedir. Yani, üretilen her 100 ton tahıl için kaybedilen miktar, yıllar içinde aynı kalmıştır.

Üretim kayıpları, mutlak değer olarak artış göstermesine rağmen, toplam üretime oranı sabit kalmıştır. Bu durum, Türkiye'de tarımsal üretim büyürken, hasat, depolama ve lojistik süreçlerinde verimliliğin artmadığını, kayıp yönetimi konusunda önemli bir ilerleme kaydedilmediğini ortaya koymaktadır. Göreceli olarak, bu kayıpların azaltılması, gıda güvenliğini artıracak ve ekonomik verimliliği yükseltecektir. Üretim kayıplarının azaltılmasına yönelik politikalar, tarımsal üretimi arttırmak kadar büyük bir önem taşımaktadır.

3.5. Türkiye'de Tahılın Yurt İçi Kullanımı ve Dağılım Alanları

Türkiye'deki tahıl ürünlerinin yurt içi kullanım desenlerini 2010-2024'e kadar olan farklı piyasa yılları için detaylı bir şekilde Tablo 12'de verilmektedir. Bu veriler, tahılın hangi amaçlarla (insan tüketimi, yem, tohumluk, sanayi) kullanıldığını göstererek, sektördeki yapısal değişimleri ortaya koymaktadır.

Tablo 12. Türkiye 2010-2024 dönemi tahıl yurtiçi kullanımı ve dağılımları (TÜİK, 2025)

Ürün	Piyasa yılı	İnsan tüketimi (Ton)	Tohumluk kullanım (Ton)	Yemlik kullanım (Ton)	Endüstriyel kullanım (Ton)	Kayıplar (Ton)	Yurt içi kullanım (Ton)
Tahıl (toplam)	2023-2024	15 221 077	1 964 736	16 542 261	352 545	1 013 684	35 094 302
	2020-2021	16 198 858	1 931 152	15 879 281	277 844	1 017 502	35 304 638
	2015-2016	15 720 861	2 030 324	13 434 564	261 648	1 032 335	32 479 732
	2010-2011	17 249 262	2 123 655	10 046 983	327 256	873 667	30 620 823
Arpa	2023-2024	86 480	655 636	6 250 876	293 709	186 838	7 473 539
	2020-2021	78 020	619 433	6 907 865	229 217	200 886	8 035 420
	2015-2016	75 200	556 717	6 007 407	236 595	188 000	7 063 919
	2010-2011	68 150	608 000	5 440 443	223 176	170 375	6 510 144
Buğday (toplam)	2023-2024	13 638 919	1 229 868	2 170 447	.	525 154	17 564 388
	2020-2021	14 782 565	1 246 003	2 338 951	.	566 563	18 934 082
	2015-2016	14 399 259	1 416 040	2 343 285	.	636 836	18 795 419
	2010-2011	15 766 287	1 458 612	404 441	.	557 758	18 187 098
Buğday (diğer)	2023-2024	12 140 073	1 002 466	2 170 447	.	473 597	15 786 583
	2020-2021	13 849 281	1 019 552	2 081 441	.	524 235	17 474 510
	2015-2016	12 442 995	1 186 761	1 987 565	.	524 475	16 141 796
	2010-2011	13 349 468	1 218 492	306 634	.	459 950	15 334 544
Buğday (durum)	2023-2024	1 498 846	227 403	0	.	51 556	1 777 805
	2020-2021	933 284	226 450	257 510	.	42 328	1 459 572
	2015-2016	1 956 263	229 279	355 720	.	112 361	2 653 623
	2010-2011	2 416 819	240 120	97 087	.	97 808	2 852 554

**TARLA BİTKİLERİ ÜRETİMİNDE GELİŞMELER, SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM
UYGULAMALARI VE TİCARET POTANSİYELİ| 102**

Mısır	2023-2024	1 332 679	23 950	7 359 390	58 836	271 387	9 046 243
	2020-2021	1 151 515	17 291	5 989 750	48 627	222 903	7 430 085
	2015-2016	1 028 404	17 204	4 656 000	25 053	186 240	5 912 901
	2010-2011	1 263 167	14 850	3 745 907	104 080	125 421	5 253 425
Yulaf	2023-2024	87 072	16 585	207 427	.	9 621	320 706
	2020-2021	137 421	13 592	159 126	.	9 592	319 731
	2015-2016	103 297	12 415	126 480	.	7 440	249 632
	2010-2011	94 702	10 607	103 142	.	6 067	214 518
Çavdar	2023-2024	75 927	17 812	192 933	.	8 866	295 538
	2020-2021	49 337	18 786	214 875	.	8 753	291 750
	2015-2016	114 701	20 216	172 029	.	9 771	316 718
	2010-2011	56 956	25 380	252 565	.	10 824	345 726
Diğer tahıllar	2023-2024	0	20 884	361 188	.	11 817	393 888
	2020-2021	-	16 049	268 714	.	8 807	293 570
	2015-2016	.	7 732	129 362	.	4 048	141 143
	2010-2011	.	6 207	100 484	.	3 221	109 912
Pirinç	2023-2024	705 936	14 800	-	.	24 211	744 947
	2020-2021	678 263	15 048	-	.	23 290	716 601
	2015-2016	750 094	13 903	-	.	17 761	781 757
	2010-2011	526 974	19 800	-	.	16 602	563 376

Veriler incelendiğinde, toplam tahıl tüketiminde yıllar içinde istikrarlı bir artış olduğu görülmektedir. 2010-2011 sezonunda 30.6 milyon ton olan yurt içi kullanım, 2023-2024'te 35 milyon tonun üzerine çıkmıştır. Bu artış, Türkiye'nin artan nüfusu ve özellikle büyüyen hayvancılık sektörünün oluşturduğu taleple doğrudan ilişkilidir.

Tahılın en baskın kullanım alanı yemlik tüketim olarak öne çıkmaktadır. 2010-2011 sezonunda 10 milyon ton civarında olan toplam yemlik kullanım, 2023-2024'te 16.5 milyon tona yükselmiştir. Bu, toplam tahıl kullanımının yaklaşık yarısına denk gelmektedir. Bu durum, tahıl üretiminin büyük bir kısmının doğrudan insan gıdası yerine hayvansal ürünler (et, süt, yumurta vb.) için bir girdi olarak kullanıldığını göstermektedir. Bu, gıda sisteminin karmaşıklığını ve protein talebindeki artışın tahıl piyasası üzerindeki etkisini net bir şekilde ortaya koymaktadır.

İnsan tüketimi de önemli bir paya sahip olmakla birlikte, yemlik tüketim kadar doğrusal bir artış göstermemiştir. 2010-2011'de 17.2 milyon tonla en yüksek seviyeye ulaşmış, sonrasında dalgalı bir seyir izlemiştir. Kişi başına tüketim verileri bu dalgalanmayı daha iyi anlamamızı sağlayacaktır. İnsan tüketiminin stabil seyri, beslenme alışkanlıklarının yıllar içinde büyük bir değişim göstermediğini, ancak yemlik tüketimin hayvancılıktaki dinamiklere daha duyarlı olduğunu işaret etmektedir.

Tüm yıllarda 873 bin ile 1 milyon ton arasında seyreden kayıplar, ciddi bir kaynak israfına işaret etmektedir. Hasat sonrası süreçlerde, depolama ve lojistikte yaşanan kayıpların azaltılması, gıda güvenliği ve sürdürülebilirlik açısından büyük bir potansiyel barındırmaktadır.

Ürün bazlı kullanım analizi yapılacak olursa;

Buğday

Toplam buğdayın en büyük kullanım alanı açıkça insan tüketimidir. 2020-2021'de 14.7 milyon ton olan insan tüketimi, toplam buğday kullanımının büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır. Bu durum, buğdayın Türkiye'de temel bir gıda maddesi olarak stratejik önemini teyit etmektedir.

Buğdayın yemlik kullanımı, 2010-2011'de yalnızca 404 bin ton iken, 2023-2024'te 2.1 milyon tona yükselmiştir. Bu sıçrama, özellikle hayvancılık sektöründeki talep artışı ve buğdayın diğer yemlik tahıllara göre fiyat avantajı sağladığı dönemlerde daha fazla yem olarak kullanıldığını düşündürmektedir.

Durum buğdayı kullanımında ise yemlik kullanımın oldukça düşük veya sıfır olduğu görülmektedir. Neredeyse tamamı insan tüketimi ve tohumluk için kullanılmaktadır. Bu durum, durum buğdayının yüksek protein ve gluten kalitesi sayesinde makarna, bulgur gibi katma değerli ürünlerin üretiminde özel bir yere sahip olduğunu göstermektedir.

Mısır ve Arpa

Mısır ve arpada en büyük kullanım alanı açık ara yemlik tüketimdir. Mısır kullanımının yaklaşık %80'i, arpanın ise %80'den fazlası yem olarak değerlendirilmektedir. Bu durum, bu iki ürünün Türkiye'deki hayvancılık sektörünün temel hammaddeleri olduğunu ve bu sektörün gelişimiyle paralel olarak bu ürünlere olan talebin artacağını göstermektedir.

Pirinç

Pirinç kullanımının neredeyse tamamı insan tüketimine yöneliktir. Pirincin, Türk mutfağındaki temel gıda maddesi rolü bu verilerle desteklenmektedir.

Yulaf ve Çavdar

Bu ürünlere de en büyük kullanım alanı yemlik tüketimdir. Bu, bu tahılların öncelikle hayvan yemi endüstrisi için önemli kaynaklar olduğunu ve insan tüketimindeki paylarının sınırlı kaldığını göstermektedir.

Türkiye'nin tahıl tüketiminde temel bir yapısal değişimi gözler önüne sermektedir: Tahıl piyasasının ana motoru, geleneksel olarak insan gıdası olan buğdaydan, hayvancılık sektörünün yoğun talebi nedeniyle giderek yemlik tahıllara (mısır, arpa, yemlik buğday) kaymaktadır.

Bu değişim, Türkiye'nin tarım politikaları için önemli çıkarımlar içermektedir. Gelecekteki politikalar sadece insan gıdası güvenliğini değil, aynı zamanda yem güvenliğini de incelemeli, bu alandaki üretim ve ithalat stratejilerini dengeli bir şekilde yönetmelidir. Ayrıca, tahıl kayıplarının azaltılmasına yönelik etkin politikaların uygulanması, mevcut kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlayacaktır.

4.SONUÇ

Tahıl tarımı, küresel gıda güvenliğinin temelini oluşturmakta ve dünya genelinde artan nüfusun beslenmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Son yıllarda küresel tahıl üretimi, özellikle buğday, mısır ve pirinçte görülen artışlarla rekor seviyelere ulaşmıştır. Ancak, iklim değişikliği, kuraklık ve bölgesel çatışmalar gibi faktörler, üretimde dalgalanmalara neden olmakta ve gıda arz güvenliğini tehdit etmektedir. Bu durum, tahıl stoklarının dalgalanmasına yol açarak uluslararası piyasalarda fiyat istikrarsızlığı yaratmaktadır.

Türkiye, coğrafi konumu ve ekolojik çeşitliliği sayesinde önemli bir tahıl üreticisi konumundadır. Özellikle buğday ve arpa, Türkiye tarımının temelini oluşturmakta olup, makarnalık buğday üretiminde de dünya genelinde önemli bir paya sahiptir. Bununla birlikte, ülkemizde tahıl üretimi, büyük ölçüde iklim koşullarına bağlıdır. Yağış rejimindeki düzensizlikler, özellikle İç Anadolu gibi ana üretim bölgelerinde rekolteyi olumsuz etkileyebilmektedir.

Sürdürülebilir bir tahıl üretimi için hem küresel hem de ulusal düzeyde modern tarım tekniklerinin benimsenmesi, suya daha dayanıklı ve verimli tohum çeşitlerinin geliştirilmesi ve akıllı tarım uygulamalarının yaygınlaştırılması büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, çiftçilerin desteklenmesi, etkin piyasa düzenlemelerinin yapılması ve lojistik altyapının iyileştirilmesi, tahıl arz güvenliğinin sağlanması için hayati adımlardır.

KAYNAKÇA

- Chandio, A. A., Gokmenoglu, K. K., & Ahmad, F. (2021). Addressing the long- and short-run effects of climate change on major food crops production in Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(37), 51657-51673.
- Chiurciu, I. A., Certan, I., Dinu, T. A., Soare, E., & Stoicea, P. (2022). The contribution of the member states to the consolidation of the EU's role on the cereals market, in the context of the current geopolitical instability. In *Creșterea economică în condițiile globalizării* (pp. 308-317).
- FAO (2025). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Crops and livestock products. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCLUnited> (Erişim tarihi: 10.09.2025).
- Farooq, A., Farooq, N., Akbar, H., Hassan, Z. U., & Gheewala, S. H. (2023). A critical review of climate change impact at a global scale on cereal crop production. *Agronomy*, 13(1), 162.
- Gauchan, D., Timsina, K. P., Gairhe, S., Timsina, J., & Joshi, K. D. (2022). Cereal demand and production projections for 2050: Opportunities for achieving food self-sufficiency in Nepal. In *Agriculture, natural resources and food security: Lessons from Nepal* (pp. 19-35). Cham: Springer International Publishing.
- Gök, İ., & Şahin, M. (2024). Econometric Analysis of Corn Production in Türkiye. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG)*, 41(2), 33-39.
- Gupta, A. K., Jha, A. K., & Singhal, S. (2021). Optimisation of modification parameters for amaranth starch for the development of pudding and study of the quality traits of developed pudding. *Acta Alimentaria*, 50(1), 22-32.
- Havrlentová, M., Kraic, J., Gregusová, V., & Kováčsová, B. (2021). Drought stress in cereals—a review. *Agriculture*, 67(2), 47-60.
- Hossain, A., Farhad, M., Aonti, A. J., Kabir, M. P., Hossain, M. M., Ahmed, B., ... & Azim, J. (2025). Cereals production under changing climate. In *Challenges and solutions of climate impact on agriculture* (pp. 63-83). Academic Press.
- Jha, A. K., Kumari, S., Gupta, A. K., & Shashank, A. (2021). Improvement in pasting, thermal properties, and in vitro digestibility of isolated Amaranth starch (*Amaranthus cruentus* L.) by addition of almond gum

- and gum ghatti powder. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(10), e15829.
- Ken, E., & Semerci, A. (2023). Türkiye’de buğday üretimi ve destekleme politikaları. *International Congresses of Turkish Science and Technology Publishing*, 54-63.
- Kortak, V., & Çakır, Ö. (2025). Kuraklık Tehdidi Altında Türkiye Tarımı: Uzman Görüşleriyle Bir SWOT Analizi. *Turkish Journal of Agricultural & Natural Sciences*, 12(3).
- Köten, M., & Satouf, M. (2024, October). Bulgur: Üretim Süreci, Beslenme ve Sağlık Açısından Önemi. In *International Anatolian Agriculture, Food, Environment and Biology Congress* (pp. 332-339).
- Nayik, G. A., Tufail, T., Anjum, F. M., & Ansari, M. J. (Eds.). (2023). *Cereal grains: composition, nutritional attributes, and potential applications*. CRC Press.
- Olugbire, O. O., Olorunfemi, S., & Oke, D. O. (2021). Global utilisation of cereals: sustainability and environmental issues. *Agro-Science*, 20(1), 9-14.
- Popescu, A., Stanciu, M., Şerban, V., & Ciocan, H. N. (2022). Cereals production and price in the European Union. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development* (22)4.
- Rawat, M., Varshney, A., Rai, M., Chikara, A., Pohty, A. L., Joshi, A., ... & Gupta, A. K. (2023). A comprehensive review on nutraceutical potential of underutilized cereals and cereal-based products. *Journal of Agriculture and Food Research*, 12, 100619.
- Saeed, F., Afzaal, M., Niaz, B., Rasheed, A., Umar, M., Hussain, M., ... & Ansari, M. J. (2023). Quality and safety aspects of cereal grains. In *Cereal grains* (pp. 297-308). CRC Press.
- TÜİK, (2025). Bitkisel Üretim İstatistikleri. Tahıllar. biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr. (Erişim tarihi: 10.09.2025).
- Ulaş, B. (2021). Traditional wheat cultivation in South-Eastern Anatolia and its comparison to the archaeological context. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 68(1), 151-184.
- USDA (2025): U.S. Department of Agriculture. Production of grains. Corn | USDA Foreign Agricultural Service (Erişim tarihi: 10.09.2025).
- Yılmaz, A. M., & Tomar, O. (2022). Türkiye’de buğdayın kendi kendine yeterlilik ve ithalata bağımlılık açısından değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 449-456.

BÖLÜM 4

BİTKİ HORMONLARININ FİZYOLOJİK ETKİLERİ VE ETKİ MEKANİZMALARI

Öğr. Gör. Fatih ERDİN¹

Doç. Dr. Haluk KULAZ²

Dr. İshak BARAN³

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17638275>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Özalp Meslek Yüksek Okulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü Van, Türkiye. fatiherdin@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-1338-5582

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Van, Türkiye. halukkulaz@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-3044-5046

³ Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Van, Türkiye. ishakbrn571@gmail.com.tr, Orcid ID: 0000-0002-6299-8043

GİRİŞ

Bitkilerdeki gelişme ve metabolizma arasındaki eş zamanlılık genelde bitkinin bir ucundan diğer ucuna ulaştırılan kimyasal sinyallere dayanır. 19. Yüzyılda Alman botanikçi Von Sachs'a ait olan bu düşünceye göre, kimyasal haberciler değişik bitki organlarının büyümesinden sorumludur. Ayrıca yer çekimi gibi dış faktörlerin bitki içinde bu maddelerin dağılımını etkileyebileceğini de ileri sürmüştür. Sachs, bu kimyasal maddelerin kimliğini bilmemekle beraber düşünceleri daha sonraki buluşlara yol gösterici olmuştur. Ancak 20. yüzyılın başlarında bitki büyüme düzenleyicileri ile ilgili ilk bilgilere rastlanılmaktadır. Bitkilerin büyüme ve gelişmesinde, büyüme düzenleyicilerin rol aldıkları daha sonraki süreçte keşfedilmiş ve bu keşif sebze ve meyvelerin elde edilmesinde hayati öneme sahip doğal ve doğal olmayan maddelerin keşfine sebep olmuştur (Halloran ve Kasım, 2002).

Günümüzde bitkilerde meydana gelen iç olaylarla ilgili çoğu kavram hayvanlardaki benzer çalışmalardan kökenlenmiştir. Hayvanlarda hücreler arası iletişimi sağlayan kimyasal habercilere hormon denir. Hormonlar alıcı adı verilen özel hücresel proteinlerle işbirliği yaparlar.

Bitkiler de hormonlar adı verilen sinyal molekülleri üretirler. Son derece düşük konsantrasyonlarda üretilen hormonlar bitki gelişimi etkiler. Hormonlar bitkilerin diğer canlılarla iletişim kurmalarında ve iç sistemlerini muhafaza etmelerinde çok önemli rollere sahiptir. Bu kapsamda bitki büyüme düzenleyicileri veya bitki öncülleri olarak da adlandırılabilir. Hücre uzaması, farklılaşması ve bölünme olaylarını da başlatan bitki hormonları (Johri ve Mitra, 2001), çimlenmeden ölüme kadar gelişim ve büyümenin tüm safhalarında görev almaktadırlar (Ergun, M. 2017). Ayrıca patojen saldırısı, tuzluluk, kuraklık ve sıcaklık değişimi gibi çevresel stres koşulları için savunma mekanizmalarının geliştirilmesinde de hormonlar önemli rol üstlenmektedir (Peleg ve Blumwald, 2011).

Genellikle yaprakların, meyvelerin ve tohumların genç hücreleri ile gövde ve kök uçlarında bitkiler tarafından az miktarlarda meydana getirilen bitki hormonları kullanılacak yere taşınırlar. (Ergun, 2017).

Doğal yollarla meydana getirilen bitki hormonları oksin, etilen, sitokinin, gibberellin ve absisik asit olarak başlıca beş grupta toplanır. Son yıllarda ise sebze meyve hormonları olarak salisilik asit, nitrik asit, jasmonik asit,

brassinosteroidler ve poliaminler gibi adlandırılan yenileri ilave edilmiştir (Ergun, 2017).

1. BİTKİ HORMONLARI

Hormonlar bir hücredeki fonksiyonu düzenlemek için başka bir hücrede oluşturulup taşınan, hedef hücrenin özel protein reseptörleriyle iletişime geçerek iletim kanallarını uyaran organik bileşiklerdir. Bitki hormonları çok az miktarda bile etkili olabilmektedirler (Taiz vd., 2019).

Bitkide başlıca dokuz hormon grubu gelişimin düzenlenmesinde yer alır. Bunlar; oksinler, etilen, sitokininler, giberellinler, absisik asit, salisilik asit, brasinosteroidler, jasmonatlar ve strigolaktonlardır (Şekil 1) (Taiz vd., 2019).

Oksinler: Bitkinin her gelişim aşamasında görev alan, büyümesi için gerekli olan ve bitkilerde çalışılan ilk büyüme hormonu oksindir. Oksinler, koleopotilin fototropizması üzerine 1880 yılında Darwinler'in yaptıkları araştırmalarda ilk olarak keşfedilmiştir (Taiz vd., 2019).

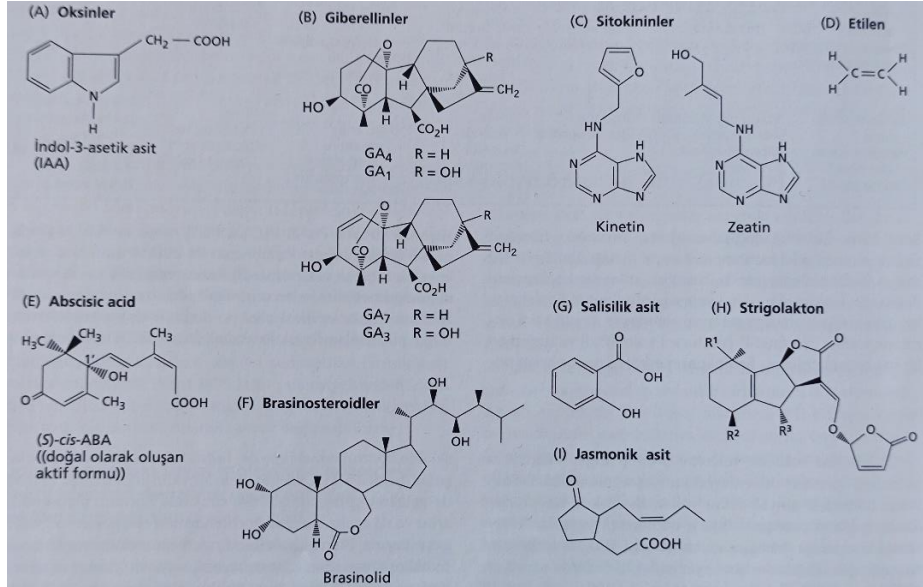
Etilen: Bitki gelişiminde hem teşvik hem de engelleyici etki gösterebilen etilen, meyve olgunlaşması, çiçek ile yaprak dökülmesi, stres tepkileri gibi fizyolojik olayların çoğunda rol alan ve gaz formunda olan tek bitki hormonudur (İqbal vd., 2017).

Sitokininler: Bitki organlarının farklılaşmasında oksinler ile beraber çalışan, yaşlanmayı geciktiren, hücre bölünmesini başlatan sitokininlerdir (Mok ve Mok, 2001). Ayrıca bitkilerin abiyotik ve biyotik faktörlerle karşılıklı etkilerinden dolayı sitokininler önemli görevlere sahiptirler (Taiz vd., 2019).

Giberellinler: Tarımsal faaliyetlerde büyümeyi teşvik etmesi nedeniyle çokça kullanılan giberellinler, meyvenin gelişmesi, tohumun çimlenmesi ve bilhassa gövde uzamasında rol almaktadırlar (Hedden ve Thomas, 2012).

Absisik asit (ABA): Absisik asit, tohum dormansisinin muhafazasında hayati öneme sahip olan, bilhassa tuzluluk ve kuraklık gibi çevresel streslere karşı bitkinin kendisini uyarlayabilmesinde görev alır. Bu özelliklerinden dolayı da stres hormonu olarak isimlendirilmiştir (Cutler vd., 2010).

Salisilik asit: Bitkide tüm sistemi etkileyen kazanılmış direnç işleyişini harekete geçirerek patojenlere karşı yapılandırır salisilik asit, bitkisel bağışıklık sisteminin ana unsurlarındandır (Vlot vd., 2009).



Şekil 1. Bitki hormonlarının kimyasal yapıları (Taiz vd., 2019)

Brasinosteroidler: Bitkilerde fotomorfogenez, çimlenme ile hücre uzaması, bölünmesi ve farklılaşması gibi gelişimle alakalı birçok aşamada brasinosteroidler önemli görevler almaktadırlar (Taiz vd., 2019).

Jasmonatlar: Patojenlerin saldırıları, fiziksel yaralanmalar ile çeşitli stres şartlarında üretimleri artan Jasmonatlar, bitkilerin savunma mekanizmalarında önemli rol oynarlar (Wasternack ve Hause, 2013).

Strigolaktonlar: Sürgün büyümesini kontrol ederek bitkinin yapısını oluşturan strigolaktonlar, bilhassa rizosfer bölgesinde bitkilerin kökleri ile simbiyotik mantarlar arasındaki etkileşimin yürütülmesinde rol alırlar (Al-Babili ve Bouwmeester, 2015).

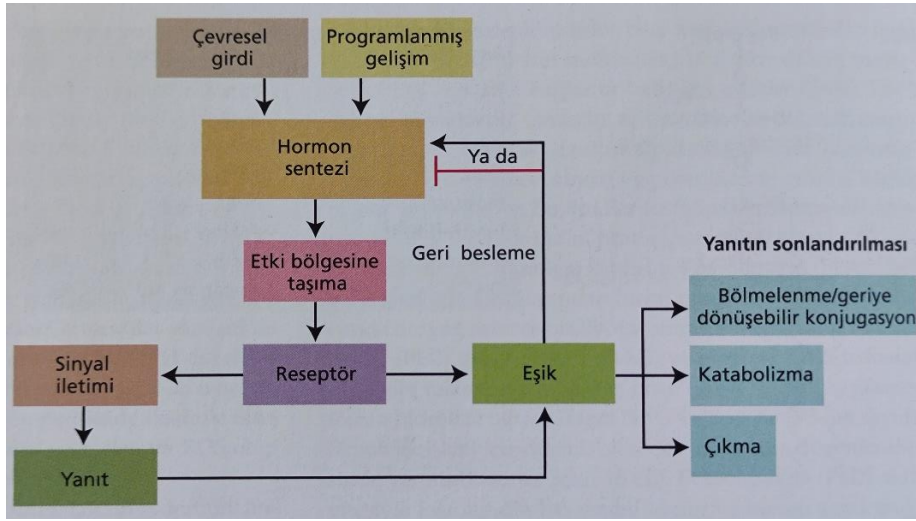
2. BİTKİ HORMONLARININ FİZYOLOJİK ETKİLERİ

Üretildikleri hücreden taşınarak etki göstereceği hücrede işlemleri ayarlayan hormonlar, kimyasal mesaj ileticileridir. Bu işlemleri özel protein olarak bulunan reseptörler ile etkileşim içinde yürütürler. Bitki hormonlarının büyük bir kısmı çok az miktarlarda hedef hücrelerde yanıtları aktive edebilirler. Hormonlar tarafından gelişim çeşitli şekillerde kontrol edilebilir. Şekil 2’de görüldüğü gibi sinyal algılanması ve gelişimin programlanması anında hormonun biyosentezi azalır veya artar. Sonrasında hedef bölgeye taşınan bu hormon, bir reseptör aracılığı ile hormonun algılanması ve transkripsiyon ya da fosforilasyon, iyon atılımı, protein döngüsü gibi olayların gerçekleşmesine neden olur (Taiz vd., 2019).

Bitki büyüme düzenleyicilerinin bitkide çeşitli fizyolojik tepkimelere neden olduğu bilinmektedir. Bu fizyolojik etkiler her bitki hormonu için ayrı ayrı ele alınarak aşağıda genel olarak açıklanmıştır.

2.1. Oksin

Oksin, Yunanca’da büyümek veya arttırmak anlamına gelen auxein kelimesinden türetilmiş bulunan ilk bitki hormonudur. Bitkilerin gelişim ve büyümesinde temel görev alır. Oksin koleoptillerin ışığa doğru kıvrılmasında rol alan hormon olarak keşfedilmiştir. Koleoptil gölge ve ışık alan taraflarındaki farklı hızda uzamaları nedeni ile kıvrılır (Taiz vd., 2019). Fenilasetik asit ve 4-kloro-IAA doğal oksin olarak görev alsada, şu ana kadar en çok bilinen, en bol bulunan ve fizyolojik olarak en önemli formu indol-3-asetik asit (IAA)’tir. Araştırmacılar IAA’nın basit yapıya sahip olmasından fazla sayıda oksin aktivitesi gösterebilen molekülü elde edebilmişlerdir. 2-metoksi-3,6-diklobenzoik asit (dicamba), 2,4-diklofenoksiasetik asit (2,4-D) ve naftalen asetik asit (NAA) tarımda herbisit ve büyüme düzenleyicileri olarak oldukça fazla kullanılmaktadırlar. Oksinler, embriyonun büyümesinden meyvenin yetiştirmesine kadar geçen her aşamada görev alan önemli düzenleyicilerdir (Taiz vd., 2019). Bitkilerde oksinin başlıca fizyolojik etkilerini şöyle sıralayabiliriz.



Şekil 2. Hormonların etkilerinin genel şeması, (Taiz vd., 2019)

• Oksinler, hücre uzamasını kök ve gövdenin meristematik dokularında su alımını kolaylaştırmak için hücre duvarını yumuşatarak sağlar. Acid growth hypothesis diye bilinen hücre duvarı asitleşmesini oksin meydana getirir (Rayle ve Cleland, 1992).

• Bitkinin dallanma ve büyüme şeklini belirlemede önemli role sahip olan oksinin, bitkide bulunan miktarı azalınca yan tomurcukların büyümesini tetiklerken, arttığında ise bu tomurcukların büyümesini baskılamaktadır.

• Bitkilerin gövde ve kökteki oksin miktarı, yerçekiminin etkisi ile yeniden yapılanarak yönlü gelişmeyi kontrol eder. Işığa bakan veya bakmayan bitki kısımlarındaki oksin miktarı farklılık gösterir. Bu durum gelişmeyi etkilemektedir. Işığa bakmayan gölgede kalan bitki tarafında oksin miktarı artarken, ışığa bakan kısmında azalacaktır. Bu durum bitkide simetrik olmayan bir büyüme meydana getireceğinden, bitkinin ışığa yönelimine neden olacaktır (Friml, 2003).

• Oksinlerin yan kök gelişimi ile adventif kök oluşumunda gerekli olması, köklendirme hormonu olarak fide yetiştiriciliğinde ve tarımsal üretimde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Bu konuda kullanılmasına sebep ise oksinin bitki parçalarında köklenmeyi etkin bir şekilde uyarmasındandır (Ljung, 2013).

• Meyve oluşumunu tetikleyen oksinler, tohum gelişimi başladıktan sonra meydana gelen oksinlerdir. Yapay oksinlerle ticari amaçlarla muz ve

domates gibi meyvelerde tohumuz meyve oluşumu uyarılarak uygulanabilmektedir (Srivastava ve Handa, 2005).

- Floem ve ksile dokularının değişmesini sağlayarak iletim dokularının meydana gelmesinde de oksinin belirleyici önemi vardır (Sachs, 1991).

2.2. Etilen

Bitki hormonu olan etilen, C_2H_4 formülü ile gösterilir ve diğer bitki hormonlarından ayrılan en önemli özelliği gaz şeklinde olmasıdır. Meyve olgunlaşması, çiçek ile yaprak dökülmesi, stres tepkileri gibi fizyolojik olayların çoğunda görev alarak, bitkilerin gelişiminde teşvik edici role sahip olduğu gibi engelleyici role de sahip bitki hormonudur (Iqbal vd., 2017). Bitkilerde etilenin başlıca fizyolojik etkilerini şöyle sıralayabiliriz.

- Domates, elma, muz, gibi meyvelerin olgunlaşmasında etilen esas rol almaktadır. Depolarda gerekli havalandırma yapılmadığında sebze ve meyvelerde daha çabuk gevşeme olgunlaşma ve bozulma etilen salgısı nedeniyle oluşur. Olgunlaşmayan ve hasat edilen muzlar, olgunlaştırılmak amacıyla karpit adı verilen ve etilen salgısı oluşturan bu madde ile aynı ortamda bekletilerek gerçekleştirilir. Ticari amaçla kullanılmak için etephone veya ethep isimleri ile sentetik etilen hormonları üretilmiştir.

- Yaprak ve meyve döküm alanlarında hücre duvarı çözünmesini etilen başlattığında, poligalakturonaz ve selüloz gibi hidrolaz enzimleri artarken auxin miktarının azalması sonucunda etilen etkisi artacaktır (Taylor ve Whitelaw, 2001). Bitkide zarar gören, yaşlanmış yaprak enerji koruma stratejisi ile atılır.

- Genellikle yaprak ve çiçeklerde yaşlanmayı (senesens) hızlandıran etilen hormonu, proteolitik ve lipid yıkım genlerini aktivitesini gen ekspresyonu seviyesinde gerçekleştirir. Kaynakların genç dokulara tekrar yönlendirilme olayı bu aşamada gerçekleşir.

- Abiyotik ve biyotik stres anında etkisini gösteren etilen, dokunma veya rüzgar gibi mekanik stres koşullarında kalın gövde ve kısa boylu yapıların gelişimini teşvik ederken, tuzluluk ve kuraklık gibi stres koşullarında büyümenin durdurulması ve stomaların kapatılması gibi adaptif tepkilerin oluşmasını diğer hormonlarla birlikte sağlayacaktır. Ayrıca salisilik asit ve jasmonat ile beraber patojenlere karşı savunma genlerini düzenlemektedir (Broekaert vd., 2006).

- Işığın olmadığı karanlık ortamda çimlenen fidelerde; kök büyümesinin baskılanması, apikal kanca oluşumu ile hipokotilin kısa ve kalın gelişmesine etilen hormonu sebep olacaktır.

2.3. Sitokininler

Bitkilerde sitokinez denilen hücre bölünme olayını tetiklemesi ile bilinen bitki hormonu sitokininler, bitkilerin gelişim ve büyüme aşamalarında yaprak yaşlanmasını geciktirmeyi, organların meydana gelmesi ile kaynak-yutak ilişkisini oksinlerle beraber gerçekleştirir (Sakakibara, 2006). Bitkilerde sitokininlerin başlıca fizyolojik etkilerini şöyle sıralayabiliriz.

- Doku kültüründe sitokininler, hücre bölünmesini arttıran öğeler olarak belirtilmişlerdir (Taiz vd., 2019).

- Sitokininler yaprak yaşlanmasını geciktirir, bunu yaparkende yaprakların klorofil içeriğini de muhafaza etmektedirler (Mutui, vd., 2014).

- Genç yapraklar ve meyveler gibi yeni oluşan organlara besinlerin naklini sağlayabilmek gayesi ile sitokininler bunları aktif bir yutak haline getirirler. Bilhassa tohum gelişimi ve meyve büyümesi gibi enerji gerektiren aşamalarda önemli olan bu mekanizma karbon ve azot metabolizmasında kaynak-yutak dengesini sağlamaktır (Werner vd., 2003).

- Kök büyümesini baskılayan, sürgün gelişimini teşvik eden sitokininler, oksin ile beraber çalışarak kök-sürgün dengesini sağlar. Bitkinin çevresel koşullara adapte olmasına ve morfolojik yapısına bu denge yön verir (Ioio vd., 2008).

- Bazı türlerin tohum çimlenme olayını teşvik eden sitokininler, absisik asit ile zıt etkiler meydana getirerek bilhassa dormansinin kırılma aşamasında embriyonun aktif olmasını gerçekleştirir (Kucera vd., 2005).

- Yapılan son çalışmalarda, patojen saldırısı, tuzluluk ve kuraklık gibi streslere karşı bitkinin adaptif reaksiyonlarında sitokininlerin rol aldığı görülmüştür. Patojen direncini arttırabilmek için bazı savunma genlerini uyarabilir, su kaybını stomaların kapanmasını etkileyerek kontrol edebilir (Choi vd., 2010).

2.4. Giberellinler

Bitkilerde temel büyüme aşamaları olan hücre uzaması ve bölünmesinde rol alan diterpenoid yapılı fitohormonlar olan giberellinler, çok fazla sayıda tanımlanmış olsa da en fazla aktif olarak kullanılan GA₁, GA₃, GA₄ ve GA₇'dir (Davies, 2010). Giberellinler, çimlenmeden meyve gelişimine kadar bitkilerin bir çok gelişim sürecine yön verirler. Bitkilerde giberellinlerin başlıca fizyolojik etkilerini şöyle sıralayabiliriz.

- Hücre uzaması ve bölünmesinde teşvik edici özelliğe sahip olan giberellinler bilhassa gövdede internodların uzamasını sağlar. Bu özelliği ile giberellinler büyüme regülatörü olarak cüce mutasyonların olduğu bitkilerde eksikliği gidermek gayesi ile kullanılmaktadır (Hedden ve Sponsel, 2015). Bilhassa buğday, arpa ve mısır gibi bitkilerde büyümeyi teşvik etmek gayesi ile giberellin uygulaması kullanılmaktadır.

- Giberellinler, dormant tohumlarda çimlenmeyi başlatan hormonlardır. Embriyo tarafından tohum çimlenme aşamasında meydana getirilen giberellinler, aleuron tabakasını uyarır sonra amilaz gibi hidrolitik enzimlerin üretimini başlatır. Üretilen enzimler nişastayı şekere dönüştürür böylece embriyo için enerji sağlanmış olur (Fincher, 1989). Bilhassa arpa gibi tahıllarda bu mekanizma iyi çalışılmış ve malt üretiminde kullanılmaktadır.

- Çiçeklenme ve cinsiyet belirlenmesinde önemli görevleri olan giberellinler, bilhassa fotoperiyota bağımlı kalmadan çiçeklenmeyi teşvik edebilmektedir. Giberellin uygulaması ile kısa gün şartlarında uzun gün bitkilerinde çiçeklenme başlatılabilir (Mutasa-Göttgens ve Hedden, 2009). Salatalık gibi bazı bitkilerde giberellinler erkek çiçek gelişimini teşvik ederken dişi çiçek gelişimini baskılayabilir.

- Meyve oluşumunu döllenme olmaksızın teşvik eden giberellinler, bu sayede verim artışına katkı sağlamaktadırlar. Bilhassa turunçgiller, domates ve üzümde çekirdeksiz ve daha büyük meyve elde etmek amacıyla giberellinler uygulanmaktadırlar (Singh vd., 2020).

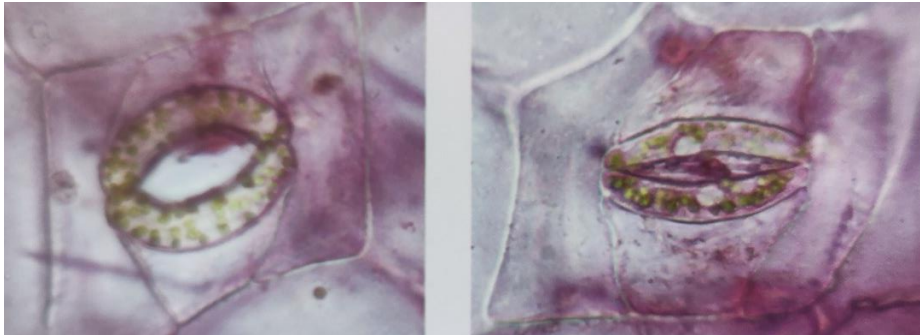
- Giberellinler, yaprak genişlemesinde, çiçek organlarının büyümesinde, polen ve stamenlerin gelişiminde görev alır. Eksikliğinde ise çiçek organlarında anormallikler görülebilir (Plackett vd., 2011).

2.5. Absisik asit (ABA)

ABA, dormansi, tohum çimlenmesi ve olgunlaşması üzerinde olumsuz etkileri olurken, bitkilerin abiotik strese toleransını arttırmada olumlu etki eder (Vishal ve Kumar, 2018). Stres şartlarında ABA, çok hızlı β -glukozidaz olarak üretilir (Lee vd., 2006). Bitkilerde ABA'nın başlıca fizyolojik etkilerini şöyle sıralayabiliriz.

- Tohumun dormansi halinin devam etmesinde çok önemli rolü olan ABA, uygun olmayan şartlarda erken çimlenmeyi engeller. Bunu da ABA miktarının embriyonun gelişimi aşamasında artması ile çimlenmeyi baskılayan genlerin ekspresyonu aracılığı ile sağlar. Dolayısı ile ABA miktarının fazla olduğu koşullarda tohumun dormansi hali devam edecektir. ABA miktarının düşmesi ve giberellin miktarının artması ile çimlenme aşaması başlatılır. Giberellin ile ABA oranının çimlenmede belirleyici rolleri vardır (Finkelstein vd., 2008).

- Stomaları kapatarak bitkilerin transpirasyon ile su kaybını kuraklık stresinde engelleyen ABA, bu yolla su verimliliğini arttırmaktadır. Susuzluğun arttığı durumda, gözenek hücrelerine mezofil hücrelerinden oluşturulup gönderilen ABA, hücre içi kalsiyum seviyesini artırır. Bu durumda da hücre su ve potasyum kaybettiğinden, turgoru azalır ve stomalar kapanır (Kim vd., 2010). Işığın olduğu ortamda gaz alışverişini yapabilmek için stomalar açılır. Fakat ABA uygulaması gündüz ışığın olduğu vakitlerde stomaların kapanmasına sebep olacaktır. Gündüz kuraklık stresi altında olduğunda bu kapanma olayı ile stoma kapanacaktır (Şekil 3) (Taiz vd., 2019).



Şekil 3. ABA'ya yanıt vererek açık iken kapanan stoma, (Taiz vd., 2019)

- Fazla tuzluluk, yüksek sıcaklık ve kuraklık streslerinde biriken ABA, gen ekspresyonunu bu streslere karşı olarak düzenlemektedir. ABA'nın aktive ettiği late embryogenesis abundant ve dehidrasyon yanıt genleri ile osmoprotektanın meydana getirilmesi teşvik edileceğinden hücrenel denge muhafaza edilir (Yamaguchi-Shinozaki ve Shinozaki, 2006).

- Su kaybını embriyonun gelişiminde düzenleyerek depolama proteinlerinin birikimini kontrol eder. Doku kültürü uygulamalarında kallus oluşumunu baskılaması sebebiyle dengelenmesi dikkatli bir şekilde yapılmalıdır.

2.6. Salisilik asit

Bitkisel bağışıklık sisteminin ana unsurlarından olan salisilik asit, bitkide tüm sistemi etkileyen kazanılmış direnç işleyişini harekete geçirerek patojenlere karşı yapılandırmada rol alır (Vlot vd., 2009). Bitkilerde salisilik asitin başlıca fizyolojik etkilerini şöyle sıralayabiliriz.

- Bazı virüsler ile bilhassa biyotrofik patojenlere karşı etkin bir savunma hormonu olan salisilik asit, enfeksiyon alanında hipersensitif yanıt ile hücre ölümünü başlatır. Savunma genlerinin ekspresyonunun artması salisilik asit seviyesinin artışı ile gerçekleşir. Dahası enfeksiyon alanından uzak dokularda, sistemik edinilmiş direncin başlatılması ile savunma sistemine sahip olması sağlanır (Durrant ve Dong, 2004).

- Salisilik asitin belirleyici rolde olduğu, bitkinin tamamına yayılım gösteren uzun vadeli savunma şekli sistemik edinilmiş dirençtir. Enfeksiyon sonrası salisilik asit lokal dokularda depolandığı gibi sistemik dokularda da depolanır. Savunma genlerini aktive eden nonexpresser of PR genes 1 proteini, redoks dönüşümleri ile aktifleşerek çekirdeğe iletilip transkripsiyonu başlatır (Dong, 2004).

- Bazı abiyotik stres faktörlerine karşı salisilik asit tolerans sağlamada etkili olup, metal toksisitesi, fazla ışık ve sıcaklık gibi koşullarda uygulanması durumunda antioksidan mekanizmasını başlatır. Reaktif oksijen türleri seviyesini ayarlayarak hücre zararı sınırlandırılır (Horváth vd., 2007).

- Konsantrasyonun artması büyümeyi engellerken, azalması durumunda çimlenme ve kök büyümesini teşvik eden salisilik asit çiçeklenmeyi başlatıcı rol oynar (Rivas-San Vicente ve Plasencia, 2011)

2.7. Brasinosteroidler

Brasinosteroidlerin, bitkilerde fotomorfogenez, çimlenme, hücre uzaması, bölünmesi ve farklılaşması gibi gelişimle ilgili süreçlerde önemli rolleri vardır (Taiz vd., 2019). Bitkilerde brassinosteroidlerin başlıca fizyolojik etkilerini şöyle sıralayabiliriz.

- Hücre bölünmesi ve uzamasını teşvik eden brassinosteroidler, hücre duvarında esnemeler sağlamasının yanı sıra selüloz ve ekspansin gibi bazı enzimlerin ekspresyonunu arttırıp hücre genişlemesini sağlar. Ayrıca sürgün ve kök uzamasına da pozitif katkı sunar (Zhiponova vd., 2013).

- Tohum çimlenmesi üzerindeki ABA'nın baskılayıcı etkilerini brassinosteroidler azaltarak tohum çimlenmesine katkı sunabilir (Finkelstein vd., 2008).

- Tohum bağlama, anter açılması ve polen gelişimi aşamalarında görev alan brassinosteroidler, çiçeklenmede bazı bitkilerde geciktirici etki gösterebilirken bazılarında ise teşvik edici olabilmektedir.

- Floem ve ksilem gelişimine katkı sunan brassinosteroidler, VND6/7 gibi vasküler dokunun meydana gelmesinde görev alan bazı genlerin ekspresyonunu çoğaltır (Yin vd., 2005).

- Brasinosteroid uygulaması ağır metal, tuzluluk, kuraklık ve sıcaklık gibi stres şartlarında ROS seviyesini ayarlarken antioksidan enzim aktivitesinin de artmasını sağlar (Divi vd., 2010).

2.8. Jasmonatlar

Patojenlerin saldırıları, fiziksel yaralanmalar ile çeşitli stres şartlarında üretimleri artan Jasmonatların, bitkilerin savunma mekanizmalarında önemli rolleri vardır (Wasternack ve Hause, 2013). Bitkilerde jasmonatların başlıca fizyolojik etkilerini şöyle sıralayabiliriz.

- Bitkilerde nekrotrofik patojenlere ve herbivor böceklerle karşı terpenoidler ve alkaloidler gibi savunma bileşenlerini teşvik eden Jasmonatlar, yaralanmalardan sonra hızla salınarak komşu hücrelerin savunmaya hazır olmalarını sağlar (Howe ve Jander, 2008). Nekrotrofik patojenlere karşı etilen ile beraber Jasmonatlar savunmada etkin rolleri vardır (Glazebrook, 2005).

- Yapraklarda oluşabilecek mekanik zararlar ile böcek saldırıları jasmonatların üretimini başlattıkları için zarar görmeyen alanların da savunma

genlerini sistemik sinyalleşme ile aktifleştirir. Bilhassa *Nicotiana* ve *Arabidopsis* türlerde hızlı bir sistemik sinyalleşme olduğu bildirilmiştir (Farmer vd., 2003).

- Erkek üreme organlarının gelişim süreçlerinde önemli rol alan jasmonatlar, anter açılması, stamen gelişimi ve polen olgunlaşma aşamalarında gerekli bir hormondur. Tozlaşmanın olmaması veya erkek kısırlık gibi problemlerin oluşması jasmonatların eksikliğinde görülebilir (Sanders vd., 2000).

- Genel olarak bitki büyümesini baskılayan jasmonatlar, hücre uzaması ve yaprak büyümesini engellediği gibi kök gelişimini de engeller (Yan vd., 2007).

- Yaprak yaşlanmasını teşvik eden jasmonatlar, etilen ile beraber klorofil yıkımını ve besin geri dönüşümünü yaşlanma aşamasında gerçekleştirir (He vd., 2002).

2.9. Strigolaktonlar

Sürgün büyümesini kontrol ederek bitkinin yapısını oluşturan strigolaktonlar, bilhassa rizosfer bölgesinde bitkilerin kökleri ile simbiyotik mantarlar arasındaki etkileşimin yürütülmesinde rol alır (Al-Babili ve Bouwmeester, 2015).

3. BİTKİ HORMONLARI ARASINDAKİ ETKİLEŞİM

Bitki hormonları yani fitohormonlar, bitkilerin gelişmesinde, büyümesinde, savunma mekanizmalarında ve stres tepkilerinde önemli rollere sahip organik moleküllerdir (Davies, 2010). Hormonlar, bitkilerde genel olarak yalnız olarak değil de kompleks bir ağ içerisinde rol alırlar. Hormonlar arasında antagonistic, permissive ve sinerjik etki olmak üzere üç ana gruba ayrılacak bir ilişki vardır (Peleg ve Blumwald, 2011). Antagonistik ilişkiye, sürgün ile kök gelişiminde sitokin ve oksinin dengede tutmasını örnek olarak gösterebiliriz (Müller ve Sheen, 2008), Antagonizm etkileşime, dormansi ve tohum çimlenmesi aşamalarında rol oynayan giberellin ve absisik asit arasındaki ilişki bir örnektir (Finkelstein, 2013). Diğer bir ilişki olan sinerjik etkiye ise, savunma mekanizmalarında etilen ve jasmonat hormonlarının etkili olmasını örnek olarak verebiliriz (Pieterse vd., 2012). Bu ilişkiler bitkilerin

yetiştirildikleri alanlarda değişen çevre koşullarına adapte olması ve elde olan kaynakların etkili kullanılmasında çok önemlidir. Gelişim aşamalarında, etilen sentezini oksinin teşviği ile meyvelerin olgunlaşması ve yaprakların dökülme aşamalarını kontrol ederken (Muday ve DeLong, 2001), stress şartlarında etilenin hassasiyetini ABA artırarak bu şartlara uyum sağlamasına destek olmaktadır (Acharya ve Assmann, 2009).

4. BİTKİ HORMONLARININ ETKİ MEKANİZMALARI

Her hormonun kendine özgü algılama (reseptör) sistemi ve sinyal iletimi vardır. Bu bölümü hormon bazında ayrı ayrı mekanizmalarıyla ele alacağız.

4.1. Oksin Etki Mekanizması

Hücre içinde Transport Inhibitör Response 1 / Auxin Signaling F Box (TIR1/AFB) alıcı proteinlerine bağlanan oksin, TIR1, AUX/IAA baskılayıcı proteinlerini ubiquitin vasıtası ile parçalar. Auxin Response Factor (ARF) transkripsiyon faktörleri serbest kalacağından hedef genlerin çalışmasını başlatır. Hücre bölünmesi, uzaması, farklılaşması sağlanır (Dharmasiri vd., 2005).

4.2. Giberellin Etki Mekanizması

Giberellin Insensitive Dwarf1 (GID1) alıcı proteine bağlanan giberellinler ile oluşan yapı, algıladığı büyümeyi durduran proteinleri proteazom vasıtası ile yok eder. Büyümeye mani olan proteinlerin bu engeli ortadan kalktığında transkripsiyon etkenleri gelişme ve büyüme genlerini etkin hale getirir. Böylece tohumun çimlenmesi, gövdenin uzaması, çiçeklenme gibi aşamalar hızlanır (Sun, 2011).

4.3. Absisik Asit (ABA) Etki Mekanizması

PYR/PYL/RCAR alıcı proteinlere bağlanan ABA, PP2C fosfatazlarını baskılar. Boş kalan SnRK2 kinazları fosforilasyon yaparak hedef protein ve transkripsiyon etkenlerini başlatır. Tohum dormansisi, stres yanıtları, stomanın kapanması kontrol edilir (Cutler vd., 2010).

4.4. Etilen Etki Mekanizması

Endoplazmik retikulum membranında bulunan ETR1 reseptörleri büyümeyi baskılayan CTR1 kinazı aktif olarak tutar. Etilen endoplazmik retikulumdaki ETR1 reseptörlerine bağlanınca baskı kalkar ve transkripsiyon faktörleri olan EIN2/EIN3 aktif hale geçer. Bunların sonucunda yaprak dökümü, meyve olgunlaşması, stres reaksiyonları kontrol altına alınır (Ju vd., 2012).

4.5. Jasmonat Etki Mekanizması

Çekirdekte bulunan COI1 alıcı proteine jasmonat bağlanır, JAZ repressor proteinlerini ubiquitin vasıtasıyla COI1 parçalar. Bu parçalanma ile birlikte transkripsiyon faktörleri serbest kalır ve jasmonat hedef genlerini aktiveleştirir. Bunların neticesinde, savunma reaksiyonları, büyüme değişimi oluşur (Chini vd., 2007).

4.6. Salisilik Asit Etki Mekanizması

Sitozolde bulunan NPR1 proteini vasıtası ile salisilat etkisini gösterebilir. NPR1, salisilatın birikmesi ile nükleusa iletilir ve burada PR genlerini aktiveleştirir. Bu aktiveleşme antioksidan savunmaları, sistemik direnç ve programlanmış hücre ölümünü tetikler (Fu ve Dong, 2013).

5. SONUÇ

Bitki hormonlarının, bitkilerin gelişme, büyüme ve stres şartlarına adapte olmalarında önemli rolleri vardır. Bu hormonların bitkilerde oluşturduğu fizyolojik etkileri, hücresel seviyede karmaşık sinyal iletim mekanizmaları vasıtası ile meydana gelirken, bitkilerin değişen çevresel farklılaşmalarda uyum sağlamasını ve gelişimini sürdürmesini sağlamaktadır. Ayrıca yapılan bazı araştırmalara göre, bu hormonlar tek başlarına değil, diğer hormonlarla beraber bitki fizyolojisinde önemli etkileşimlerde bulunduklarını göstermektedir.

Yapılacak araştırmalar ile daha ayrıntılı olarak bitki hormonlarının etki mekanizmalarının moleküler haritalarının oluşturulması, bitkilerin çeşitli stres koşullarına adapte olmaları yanı sıra bitkilerden daha fazla verim elde edilmesi gibi önemli gelişmelere yol açabilecektir. Dahası hormonların birbirleri ile etkileşime girerek oluşturdukları ve çevre şartlarına karşı meydana getirdikleri

sinyallerin daha iyi bilinmesi ile sürdürülebilir tarım çalışmalarında daha başarılı sonuçların elde edilebilmesi uygun hormon stratejilerinin geliştirilmesi ile olabilecektir.

Bitki hormonlarının fizyolojik etkileri ve etki mekanizmalarının incelenmesi ile tarımsal üretim ve bitkilerin değişen çevresel koşullara karşı direnç kazanmalarında kolaylıklar sağlayacaktır. Bu alanda yapılacak daha fazla araştırmalar ile gelecekte bitki hormonlarının uygulamalarında önemli gelişmelerin oluşmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Acharya, B. R., & Assmann, S. M. (2009). Hormone interactions in stomatal function. *Plant Molecular Biology*, 69(4), 451-462.
- Al-Babili, S., & Bouwmeester, H. J. (2015). Strigolactones, a novel carotenoid-derived plant hormone. *Annual Review of Plant Biology*, 66, 161-186. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-043014-114759>
- Broekaert, W. F., Delauré, S. L., De Bolle, M. F. C., & Cammue, B. P. A. (2006). The role of ethylene in host-pathogen interactions. *Annual Review of Phytopathology*, 44, 393-416.
- Chini, A., Fonseca, S., Fernández, G., Adie, B., Chico, J. M., Lorenzo, O., ... & Solano, R. (2007). The JAZ family of repressors is the missing link in jasmonate signalling. *Nature*, 448(7154), 666-671.
- Choi, J., Huh, S. U., Kojima, M., Sakakibara, H., & Paek, K. H. (2010). Cytokinin signaling in plant immunity: Regulation of cell death and defense gene expression by cytokinin. *Plant Physiology*, 152(2), 762-772.
- Cutler, S. R., Rodriguez, P. L., Finkelstein, R. R., & Abrams, S. R. (2010). Absciscic acid: Emergence of a core signaling network. *Annual Review of Plant Biology*, 61, 651-679.
- Davies, P. J. (Ed.). (2010). *Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action!* (3rd ed.). Springer.
- Dharmasiri, N., Dharmasiri, S., & Estelle, M. (2005). The F-box protein TIR1 is an auxin receptor. *Nature*, 435(7041), 441-445. <https://doi.org/10.1038/nature03543>
- Divi, U. K., Rahman, T., & Krishna, P. (2010). Brassinosteroid-mediated stress tolerance in Arabidopsis shows interactions with abscisic acid, ethylene and salicylic acid pathways. *BMC Plant Biology*, 10(1), 151.
- Dong, X. (2004). NPR1, all things considered. *Current Opinion in Plant Biology*, 7(5), 547-552.
- Durrant, W. E., & Dong, X. (2004). Systemic acquired resistance. *Annual Review of Phytopathology*, 42, 185-209.
- Ergun, M. (2017). Bahçe Ürünlerinin Muhafazası ve Pazara Hazırlanması, Somtaç Yayınları Ders Kitabı, pp. 85-111, Antalya.
- Farmer, E. E., Almeras, E., & Krishnamurthy, V. (2003). Jasmonates and related oxylipins in plant responses to pathogenesis and herbivory. *Current Opinion in Plant Biology*, 6(4), 372-378.
- Fincher, G. B. (1989). Molecular and cellular biology associated with endosperm mobilization in germinating cereal grains. *Annual Review of Plant Biology*, 40(1), 305-346.

- Finkelstein, R. (2013). Absciscic acid synthesis and response. *The Arabidopsis Book*, 11, e0166.
- Finkelstein, R., Reeves, W., Ariizumi, T., & Steber, C. (2008). Molecular aspects of seed dormancy. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 387–415.
- Friml, J. (2003). Auxin transport—shaping the plant. *Current Opinion in Plant Biology*, 6(1), 7–12.
- Fu, Z. Q., & Dong, X. (2013). *Annual Review of Plant Biology*, 64, 839–863.
- Gan, S., & Amasino, R. M. (1995). Inhibition of leaf senescence by autoregulated production of cytokinin. *Science*, 270(5244), 1986–1988.
- Glazebrook, J. (2005). Contrasting mechanisms of defense against biotrophic and necrotrophic pathogens. *Annual Review of Phytopathology*, 43, 205–227.
- Halloran, N. & Kasım, M.U. (2002). Meyve ve Sebzelerde Büyüme Düzenleyici Madde Kullanımı ve Kalıntı Düzeyleri. *Gıda*, 27 (5) : 351–359.
- He, Y., Fukushige, H., Hildebrand, D. F., & Gan, S. (2002). Evidence supporting a role of jasmonic acid in Arabidopsis leaf senescence. *Plant Physiology*, 128(3), 876–884.
- Hedden, P., & Sponsel, V. (2015). A century of gibberellin research. *Journal of Plant Growth Regulation*, 34(4), 740–760.
- Hedden, P., & Thomas, S. G. (2012). Gibberellin biosynthesis and its regulation. *Biochemical Journal*, 444(1), 11–25.
- Horváth, E., Szalai, G., & Janda, T. (2007). Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling. *Journal of Plant Growth Regulation*, 26(3), 290–300.
- Howe, G. A., & Jander, G. (2008). Plant immunity to insect herbivores. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 41–66.
- Ioio, R. D., Nakamura, K., Moubayidin, L., Perilli, S., Taniguchi, M., Morita, M. T., ... & Sabatini, S. (2008). A genetic framework for the control of cell division and differentiation in the root meristem. *Science*, 322(5906), 1380–1384.
- Iqbal, N., Khan, N. A., Ferrante, A., & Trivellini, A. (2017). Ethylene role in plant growth, development and senescence: Interaction with other phytohormones. *Frontiers in Plant Science*, 8, 475.
- Johri, M. M., & Mitra, D. (2001). Action of plant hormones. *Current Science*, 199–205.
- Ju, C., Yoon, G. M., Shemansky, J. M., Lin, D. Y., Yingling, Y. G., & Chang, C. (2012). CTR1 phosphorylates the central regulator EIN2 to control ethylene hormone signaling from the ER membrane to the nucleus in

- Arabidopsis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(47), 19486–19491.
- Kim, T. H., Böhmer, M., Hu, H., Nishimura, N., & Schroeder, J. I. (2010). Guard cell signal transduction network: Advances in understanding abscisic acid, CO₂, and Ca²⁺ signaling. *Annual Review of Plant Biology*, 61, 561–591.
- Kucera, B., Cohn, M. A., & Leubner-Metzger, G. (2005). Plant hormone interactions during seed dormancy release and germination. *Seed Science Research*, 15(4), 281–307.
- Kumlay, A. M., & Eryiğit, T. (2011). Bitkilerde büyüme ve gelişmeyi düzenleyici maddeler: bitki hormonları. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 1(2), 47-56.
- Lee, K. H., Piao, H. L., Kim, H. Y., Choi, S. M., Jiang, F., Hartung, W., ... & Hwang, I. (2006). Activation of glucosidase via stress-induced polymerization rapidly increases active pools of abscisic acid. *Cell*, 126(6), 1109-1120.
- Ljung, K. (2013). Auxin metabolism and homeostasis during plant development. *Development*, 140(5), 943–950.
- M. M. & Mitra, D. (2001). Action of Plant Hormones, *Current Science*, Vol. 80, 2.
- Mok, D. W., & Mok, M. C. (2001). Cytokinins: Chemistry, activity, and function. CRC Press.
- Muday, G. K., & DeLong, A. (2001). Polar auxin transport: controlling where and how much. *Trends in Plant Science*, 6(8), 346-350.
- Müller, B., & Sheen, J. (2008). Cytokinin and auxin interaction in root stem-cell specification during early embryogenesis. *Nature*, 453(7198), 1094-1097.
- Mutasa-Göttgens, E., & Hedden, P. (2009). Gibberellin as a factor in floral regulatory networks. *Journal of Experimental Botany*, 60(7), 1979–1989.
- Mutui, T. M., Mibus, H., & Serek, M. (2014). Cytokinins inhibit leaf senescence in pelargonium cuttings. In *V International Conference Postharvest Unlimited 1079* (pp. 325-330).
- Peleg, Z., & Blumwald, E. (2011). Hormone balance and abiotic stress tolerance in crop plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 14(3), 290–295. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2011.02.001>
- Pieterse, C. M., Van der Does, D., Zamioudis, C., Leon-Reyes, A., & Van Wees, S. C. (2012). Hormonal modulation of plant immunity. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 28, 489-521.

- Plackett, A. R. G., Thomas, S. G., Wilson, Z. A., & Hedden, P. (2011). Gibberellin control of stamen development: A fertile field. *Trends in Plant Science*, 16(10), 568–578.
- Rayle, D. L., & Cleland, R. E. (1992). The acid growth theory of auxin-induced cell elongation is alive and well. *Plant Physiology*, 99(4), 1271–1274.
- Rivas-San Vicente, M., & Plasencia, J. (2011). Salicylic acid beyond defence: Its role in plant growth and development. *Journal of Experimental Botany*, 62(10), 3321–3338.
- Sachs, T. (1991). *Pattern Formation in Plant Tissues*. Cambridge University Press.
- Sakakibara, H. (2006). Cytokinins: Activity, biosynthesis, and translocation. *Annual Review of Plant Biology*, 57, 431–449.
- Sanders, P. M., Lee, P. Y., Biesgen, C., Boone, J. D., Beals, T. P., Weiler, E. W., & Goldberg, R. B. (2000). The Arabidopsis DELAYED DEHISCENCE1 gene encodes an enzyme involved in jasmonic acid biosynthesis that is essential for male fertility. *Developmental Cell*, 2(4), 465–473.
- Singh, R. K., Jain, M., & Khurana, J. P. (2020). Gibberellins and their crosstalk with other phytohormones in plant development and stress responses. In R. P. Shukla & A. Varma (Eds.), *Phytohormones: A Window to Metabolism, Signaling and Biotechnological Applications* (pp. 77–96). Springer.
- Srivastava, A., & Handa, A. K. (2005). Hormonal regulation of tomato fruit development: A molecular perspective. *Journal of Plant Growth Regulation*, 24(2), 67–82.
- Sun, T. P. (2011). The molecular mechanism and evolution of the GA–GID1–DELLA signaling module in plants. *Current Biology*, 21(9), R338–R345.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M. & Murphy, A. (2019). *Bitki Fizyolojisi ve Gelişimi* (Çev. İ. Türkan) (Orjinal eser 2015). Palme yayınevi.
- Taylor, J. E., & Whitelaw, C. A. (2001). Signals in abscission. *New Phytologist*, 151(2), 323–339.
- Vishal, B., & Kumar, P. P. (2018). Regulation of seed germination and abiotic stresses by gibberellins and abscisic acid. *Frontiers in plant science*, 9, 838.
- Vlot, A. C., Dempsey, D. A., & Klessig, D. F. (2009). Salicylic Acid, a multifaceted hormone to combat disease. *Annual Review of Phytopathology*, 47, 177–206.
- Wasternack, C., & Hause, B. (2013). Jasmonates: biosynthesis, perception, signal transduction and action in plant stress response, growth and

- development. *An update to the 2007 review in Annals of Botany. Annals of Botany*, 111(6), 1021-1058.
- Werner, T., Motyka, V., Laucou, V., Smets, R., Van Onckelen, H., & Schmülling, T. (2003). Cytokinin-deficient transgenic *Arabidopsis* plants show multiple developmental alterations indicating opposite functions of cytokinins in the regulation of shoot and root meristem activity. *The Plant Cell*, 15(11), 2532–2550.
- Yamaguchi-Shinozaki, K., & Shinozaki, K. (2006). Transcriptional regulatory networks in cellular responses and tolerance to dehydration and cold stresses. *Annual Review of Plant Biology*, 57, 781–803.
- Yan, Y., Christensen, S., Isakeit, T., Engelberth, J., Meeley, R., Hayward, A., ... & Kolomiets, M. V. (2007). Disruption of OPR7 and OPR8 reveals the versatile functions of jasmonic acid in maize development and defense. *The Plant Cell*, 19(3), 770–786.
- Yin, Y., Vafeados, D., Tao, Y., Yoshida, S., Asami, T., & Chory, J. (2005). A new class of transcription factors mediates brassinosteroid-regulated gene expression in *Arabidopsis*. *Cell*, 120(2), 249–259.
- Zhiponova, M. K., Vanhoutte, I., Boudolf, V., Betti, C., Dhondt, S., Coppens, F., ... & Russinova, E. (2013). Brassinosteroid production and signaling differentially control cell division and expansion in the leaf. *New Phytologist*, 197(2), 490–502.

BÖLÜM 5

ANADOLU’NUN ALTIN ÇİÇEĞİ SAFRAN (*Crocus sativus* L.) BİTKİSİNİN ÜRETİMİ VE EKONOMİK POTANSİYELİ

Ziraat Yük. Müh. İlhan SADIKOĞLU ¹

Prof. Dr. Rüveyde TUNÇTÜRK ²

Prof. Dr. Murat TUNÇTÜRK ³

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17638342>

¹Van Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Tarla Bitkileri Bölümü Van, Türkiye. ilhan.sadikoglu@tarimorman.gov.tr, Orcid ID: 0009-0005-4218-6303

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Van, Türkiye. ruveydetuncurk@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-3759-8232

³Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Van, Türkiye. murattuncurk@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-7995-0599

GİRİŞ

Dünyada ve Türkiye’de tarımsal üretim, sadece temel gıda ürünlerine değil, aynı zamanda yüksek katma değerli, tıbbi ve aromatik bitkilere de yönelmiştir. Bu doğrultuda ekonomik getirisi yüksek, kültürel ve tarihsel değeri olan ürünlerin önemi giderek artmaktadır. Bu bitkiler arasında özel bir yere sahip olan Safran (*Crocus sativus* L.), hem tarih boyunca sahip olduğu çok yönlü kullanım alanları hem de günümüzdeki ekonomik değeri ile dikkat çeken nadir tarımsal ürünlerden biridir. *C. sativus*, zengin içeriğiyle geleneksel olarak uzun yıllardan beri kullanılmaktadır (Abdullaev ve Espinosa-Aguirre, 2004). Safran dünyanın pek çok dilinde küçük değişikliklerle kullanılmakta, Arapça asıllı zâferân sözü “sarı” anlamına gelmektedir. Bunun yanında, Çince “Fan hung hua”, Fransızca, Almanca ve Türkçe’de “Safran”, Yunanca’da “Zaforá”, Japonca’da da “Safuran” kelimeleri bu bitkiyi tanımlama amacıyla kullanılmıştır (Ceylan, 2005). Safran, Irisgiller (Iridaceae) familyasına ait, çok yıllık ve soğanlı bir bitki türüdür. Safranın 60’ın üzerinde taksonu bulunmaktadır (Davis 1988, 2000). Bitkinin en değerli kısmı, çiçeklerinden elle toplanan ve kurutulan kırmızı renkli stigmalarıdır. Bu stigmalarından elde edilen ürün, hem baharat hem de doğal boya olarak kullanılmakta, aynı zamanda ilaç ve kozmetik sektörlerinde çeşitli şekillerde değerlendirilmektedir. Safranın yatıştırıcı, uyarıcı ve sindirimi düzenleyici etkilerinin yanı sıra, hücre gelişimini baskılayarak kanser karşıtı özellik sergilediği belirlenmiştir. (Abdullaev, 1993; Aung ve ark, 2007). Safran, antik çağlardan günümüze kadar başta Asya ve Akdeniz coğrafyasında olmak üzere birçok kültürde hem dini törenlerde hem de tıbbi uygulamalarda kullanılmış; değerli oluşu nedeniyle zaman zaman "kırmızı altın" olarak da anılmıştır. Safran bitkisinin yetiştiriciliği, diğer birçok tarım ürününe kıyasla daha zor ve dikkat gerektiren bir süreçtir. Bitki; hafif yapılı, iyi drene edilmiş, kireççe zengin toprakları ve bol güneş alan iklimleri tercih eder. Ayrıca, üretim süreci büyük oranda manuel iş gücüne dayanır. Her bir çiçekten yalnızca üç stigma elde edilebilmesi, binlerce çiçeğin toplanmasını gerektirmekte ve Safran, meyvesiz bir bitki olduğundan tohumla üretilemez; çoğaltılması kormları aracılığıyla eşeysiz üreme olarak yapılır ayrıca hem üretimi hem de toplanması oldukça emek gerektirir (Göktürk ve Asil, 2018). Bu durum üretim maliyetlerini artırmaktadır. Bu nedenle, dünya genelinde sınırlı alanlarda üretilen ve yüksek fiyatla satılan bir ürün haline gelmiştir. Safranın kalitesi, kimyasal bileşimi ve

üretim teknikleriyle doğrudan ilişkilidir. Başta safranal, pikrokrosin ve krosin gibi bileşikler; ürünün aroma, acılık ve renk verme özelliklerini belirlemektedir. Bu bileşenlerin miktarı ve oranı; iklim, toprak yapısı, sulama düzeni, hasat zamanı, kurutma tekniği ve depolama koşulları gibi birçok faktöre bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu nedenle safranın kalitesini belirlemek için uluslararası düzeyde kabul görmüş analiz yöntemleri ve kalite sınıflandırmaları kullanılmaktadır. Kaliteli bir safran, hem ticari değerini artırmakta hem de pazarda rekabet avantajı sağlamaktadır. Ticari açıdan değerlendirildiğinde safran, yüksek ekonomik değeri nedeniyle dünya çapında önemli bir ihracat ürünüdür. Başta İran, dünya üretiminin büyük bir kısmını karşılamakta olup, onu Hindistan, Yunanistan, Fas ve İspanya gibi ülkeler takip etmektedir. Türkiye’de ise Karabük ilinin Safranbolu ilçesi, adını da aldığı bu bitkinin geleneksel üretim merkezidir. Ancak Türkiye’deki üretim hâlâ oldukça sınırlıdır ve bu durum, dışa bağımlılığı artırmaktadır. Öte yandan Türkiye, sahip olduğu uygun iklim ve toprak koşulları sayesinde safran yetiştiriciliğini genişletme potansiyeline sahiptir. Doğru planlama, üretici eğitimi ve destek politikalarıyla bu potansiyelin değerlendirilmesi, kırsal kalkınmaya katkı sağlayabileceği gibi, ülke ekonomisine de önemli bir gelir kazandırabilir.

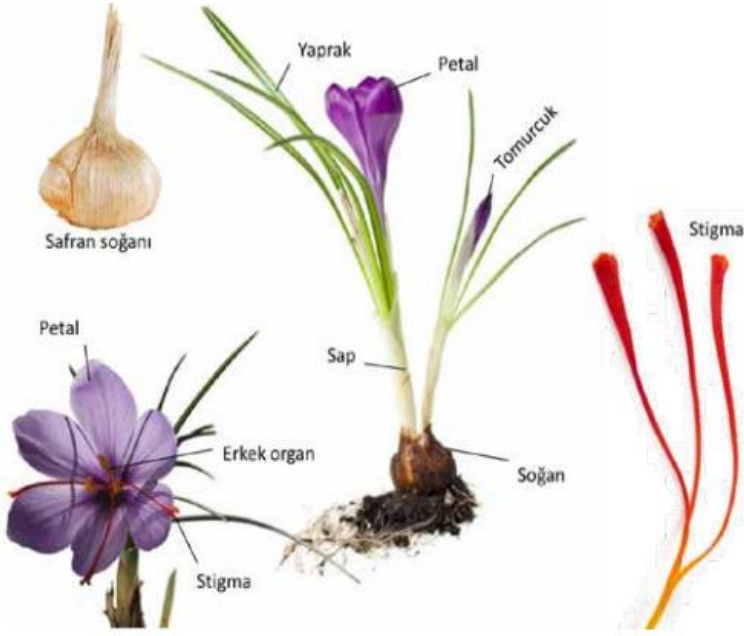


Şekil 1. Safran bitkisi (Van YYÜ Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Bahçesi)

1. SAFRAN BİTKİSİ VE BOTANİK ÖZELLİKLERİ

Kormlu bir bitki türü olan *Crocus spp.*, iki ya da çok yıllık özellik gösterir. Bitki boyu genellikle 25–50 cm arasında değişmekte olup, yaprakları hububatgiller yaprak formuna benzer. Yapraklar direkt gövdeye bağlı, dar yapılı, kenarları ince dişli ve yoğun yeşil renklidir. Safranın yaprakları, iki yana ayıran zarif beyaz bir çizgiyle belirginleşerek bitkiye karakteristik bir görünüm kazandırır. Bir safran bitkisinde genellikle 5 ila 12 arasında yaprak bulunmakta olup, bu yapraklar oldukça ensiz yapılıdır; yaklaşık 2 mm eninde ve 25–35 cm boyunda olmalarıyla karakterize edilir. Safran (*Crocus sativus*)’nın soğanları yaklaşık 2,5–3,0 cm çapında olup, beyazımsı bir örtüyle kaplanmış, iplikli yapıda, kahverengi tonlarında renge sahip ve kormlu morfolojik özellik göstermektedir. Safran kormu, karlı mevsim boyunca görünen organlarını

yitirir ve takip eden yıl aynı kormlardan tekrar filiz üretmektedir (Mathew, 1999). Safran soğanlarının dikimi, 8'inci ay içerisinde ve en geç 9'uncu ayının başlarına kadar tamamlanmalıdır. Soğanların toprakla buluşma derinliği 10-12 cm, sıra arası mesafe 30-45 cm ve aynı sıra üzeri mesafe de 10 cm olacak şekilde ekilmelidir. Soğan iriliği dekar başına 150-600 kg arasında değişmektedir. Aynı bitkiden 3-4 yıl arası ürün alınmaktadır. Safran bitkileri genellikle 9. ve 10. ayları arasında çiçek açmaktadır. Temel soğan, yılda birkaç küçük soğan üreterek yeni bitkiler oluştururlar. Her safran bitkisi birkaç (3-7) çiçek açmakta olup, bu çiçeklerin dıştaki büyük yaprakları açık mor renktedir. Her safran çiçeğinde, 1,5-3 cm uzunluğunda, üç bölmeli ve sarının daha yoğun tonu bir renge sahip dişicik organı yer almaktadır. Her bir safran çiçeğinden ortalama yaklaşık 0.007 g kuru dişicik organı olan stigma meydana gelir (Mathew, 1999; Baydar, 2016). Safran, bitkinin çiçeğinin göz kamaştırıcı al renginin yoğun tonu renkteki dişicik organın tepe kısmı ve dişicik organın borucuk bölümlerinden üretilir. Safranda her çiçekten genellikle 3 dişicik organı (stigma) elde edilmekte olup, çok az durumda 4 ile 8 dişicik organı (stigma) verimi de gözlenebilmektedir. Her bir çiçekten yaklaşık 30 mg nemli ve 7 mg toz safran üretilmektedir. En nihayetinde 150 adet çiçekten 1000 mg toz haldeki safran ortaya çıkmaktadır. 1000 g toz safran üretebilmek için aşağı yukarı 5000 g nemli safran işlenmesi gerekmektedir. Safran kuraklığa toleranslı bir bitkidir. Çiçek oluşumu için istenilen sıcaklık aralığı 23-27 °C olmasına karşın, 23 °C sıcaklık tercih edilen ve daha uygun sıcaklık olarak değerlendirilmektedir. Sıcaklık koşullarına bağlı olarak çiçeklenme süresi 50 ile 150 gün arasında değişkenlik göstermektedir (Molina vd., 2005: 361). 10 dönüm alandan ortalama olarak aşağı yukarı 6000 gram safran üretimi gerçekleştirilmektedir. Çiçekler sabah erken saatlerde, güneş çıkmadan toplanmalıdır. Safran hasatında makine kullanılmamaktadır. *Crocus sativus* bitkisinden ayrılan stigmalar 50- 80 °C'de 30-35 dakika kurutulur (Baytop, 1999: 20).



Şekil 2. Safran Bitkisinin kısımları (Foto: Prof.Dr.Sabri ERBAŞ - BAKA)

2. SAFRANIN YETİŞME KOŞULLARI

Safran, farklı iklim ve toprak koşullarına uyum göstererek yeryüzünün çeşitli alanlarında yüksek performans göstererek yetiştirilebilen bir bitkidir. Safran türlerinin doğal yayılış alanı, başlangıç meridyeninin 10° batı ile 80° doğu meridyenleri arasında ve ekvatorun 30° güney ile 50° kuzey paralelleri arasındaki bölgelerle sınırlıdır (Mathew, 1980). Safran türlerinde vejetatif ve generatif periyotlarını kontrol eden temel dış faktör sıcaklıktır. (Benschop, 1993). Yeryüzünün geniş bir coğrafyasında *Crocus* üretiminin yapıldığı 16 mınıtkada, 12 aylık ortalama sıcaklıkların 5,9–18,6 °C ve yağış değerlerinin 420–1370 mm arasında değişkenlik göstermesi, bu değerlerin safranının geniş bir iklim aralığında yetişebildiğini göstermektedir (Duke, 1979). *Crocus* bitkisinin vejetatif büyüme süresi aşağı yukarı 7 ay olarak kayıtlara geçmiştir. İdeal verimli safran üretimi için en elverişli iklim koşulları, yılın son aylarında optimum yağışın görüldüğü, yaz aylarının sıcak ve kışların kısmen ılıman geçtiği bölgeler olarak tabir edilmektedir (Fernandez, 2004). Safran, geçirgen yapılı, az yoğunluklu, yeterli su tutma yeteneğine sahip ve iyi drene edilen, killi,

kireçli ve humusça zengin topraklarda optimal şekilde yetişmektedir. Ürünün verim ve kalite açısından daha elverişli bir şekilde gelişebilmesi için, pH değeri yüksek, yani bazik karaktere sahip toprakların tercih edilmesi önem arz etmektedir (Jalali, 1962). Safran kuraklığa dayanıklı olsa da bazı dönemlerde su ister. Dikim sonrası (Temmuz – Eylül) bir defa can suyu verilmelidir. Çiçeklenme döneminde hafif sulama, verimi artırabilir. Aşırı sulama veya su birikintisi, soğan çürümesi ve mantar hastalıklarına neden olabilir. . Nemli ve su dolu topraklarda soğan çürümesi meydana gelir (Ganai vd., 2000). Hindistan'ın Keşmir ilinde safran yetiştiren toprakların, civardaki safran olmayan topraklara kıyasla biraz yüksek renk değerine sahiptir, daha alkalidir ve belirgin şekilde daha yüksek alkalın toprak karbonhidratlara sahiptir (Shinde vd., 1984). Kumlu veya kumlu-tınlı topraklara ihtiyaç duyar (Dhar, 1990). Dhar (2000), asidik ve yüksek derecede alkali toprakların uygun olmadığını, buna karşılık 6.8-7.8 aralığındaki toprağın pH'ının optimum kabul edildiğini savunur.

3.SAFRANIN TARİHÇESİ

3.1. Safran Yetiştiriciliğinin Tarihsel Süreci

Safran (*Crocus sativus* L.) yetiştiriciliği, insanlık tarihi kadar eski ve zengin bir geçmişe sahiptir. Bu değerli bitkinin yetiştirilmesi, binlerce yıl boyunca farklı medeniyetlerde çeşitli tekniklerle gerçekleştirilmiş, ekonomik ve kültürel açıdan büyük önem kazanmıştır. Safranın tarihsel süreç içindeki yetiştiriciliği, hem doğal yayılım alanları hem de insan eliyle tarımsal üretime dönüşümüyle şekillenmiştir. Safran, Akdenize komşu bölgelere Arap ticaret ehlinin yürüttüğü alış veriş yollarıyla gelmiştir. Ayrıca, safranın Fransa öncülüğünde olmak üzere Avrupa kıtasına, bilhassa Orta ve Kuzey Avrupa'ya, ilk kez Haçlı Seferleri vasıtasıyla giriş yaptığı bilinmektedir (Caiola ve Canini, 2010: 3). Safranın anavatanı Doğu Akdeniz, Orta Doğu ve Güneybatı Asya kabul edilir. Bugün genel kabul gören anlayış, bitkinin tarımının kökeninin ilk olarak İran'a dayandığı yönündedir. Bu bağlamda, literatürde bitkinin kökeninin, günümüz Batı İran coğrafyasında Türkiye'nin güneydoğu bölgesine denk gelen Hamedan kenti civarındaki Alvand Dağı çevresinde, Zağros (Zagros) Dağları'nın eteklerinde ortaya çıktığı yönünde bilimsel görüşler mevcuttur (Mousavi ve Bathaie, 2011: 60; Cardone vd., 2020: 2). Bitkinin doğada yabancı türleri bulunmamakla birlikte, *Crocus sativus*'un seleksiyon

yoluyla elde edilmiş ve klonal çoğaltmayla sürdürülen bir kültür bitkisi olduğu düşünülmektedir. Bu durum, safranın doğrudan insan müdahalesiyle evcilleştirilmiş ender bitkilerden biri olduğunu gösterir. İlk tarımsal üretim biçimleri, doğal habitatlarda bitkinin uygun iklim ve toprak koşullarına sahip vadilerde sınırlı alanlarda yapılmıştır. M.Ö 1500-1000 yıllarına tarihlenen arkeolojik kalıntılar, safranın eski uygarlıklarda tıbbi ve aromatik amaçlarla kullanıldığını göstermektedir. Safranın tarihine ilişkin en güçlü kanıt, Yunanistan'ın Santorini Adası'ndaki Akrotiri yerleşiminde bulunan ve M.Ö. 1650-1700 dönemine tarihlenen "Safran Toplayan Kadınlar" nakışlarında ortaya konmaktadır; bu nakışlarda, adından da anlaşılacağı üzere, safranın toplanması ve hasat edilmesi ayrıntılı bir şekilde tasvir edilmiştir. Buna ek olarak, Minos uygarlığının başkenti Knossos'taki saray nakışlarında, M.Ö. 1700-1450 tarihleri arasında safran toplama sahneleri betimlenmiştir (Basker ve Negbi, 1983: 228; Goliaris, 2006: 73; Caiola ve Canini, 2010: 2; Mousavi ve Bathaie, 2011: 60). İlk yetiştiricilik teknikleri, büyük olasılıkla doğal çiçeklerin toplanması ve soğanların seçilerek tekrar toprakla buluşturulması şeklinde basit yöntemlerle başlamıştır. Bu dönemlerde soğanların çoğaltılması el ile ve sınırlı alanda yapılmaktaydı. Eski Mısır, Mezopotamya, Yunan ve Roma medeniyetleri safran yetiştiriciliğini önemli ölçüde geliştirmiştir. Özellikle antik Mısır'da, safran tıbbi bitki bahçelerinde yer almış; firavunlar döneminde soğanların özel bahçelerde yetiştirildiğine dair kayıtlar vardır. Bu sayede, safranın toplanması ve işlenmesi kontrollü şekilde yapılmaya başlanmıştır. Yunanlılar safranı hem yiyeceklerde hem de ilaçlarda kullanmış, bitkinin yetiştirilmesi için düzenli ekim, bakım ve hasat teknikleri geliştirmiştir. Romalılar ise daha büyük ölçekli ve sistematik safran tarımı yapmış, özellikle Akdeniz bölgesinde yoğun üretim alanları oluşturmuşlardır. Bu dönemde, safran ticareti ile birlikte yetiştiriciliği de yaygınlaşmış ve bitkinin farklı iklim koşullarında adaptasyonu sağlanmıştır. Orta Çağ'da safran yetiştiriciliği, İslam coğrafyasında büyük bir gelişme göstermiştir. İran, Suriye, Kuzey Afrika ve İspanya'da safran üretimi önemli bir ekonomik faaliyet haline gelmiştir. Özellikle Endülüs Emevileri döneminde İspanya'da safran tarımı oldukça gelişmiş, bu da Avrupa'da safranın yaygınlaşmasını sağlamıştır. Bu dönemde safran üretim teknikleri gelişmiş; toprak hazırlığı, ekim yoğunluğu, sulama ve hasat yöntemlerinde ilerlemeler yaşanmıştır. İslam dünyasında tarım ilimleri gelişmiş, bu sayede safranın kaliteli ve verimli yetiştirilmesi üzerine bilgi

birikimi artmıştır. Safran üretimi ticaret yolları boyunca Avrupa'ya taşınmış ve orada da yaygınlaşmıştır. Rönesans döneminde Avrupa'da safran yetiştiriciliği özellikle İtalya, Fransa ve İspanya'da önem kazanmıştır. Bu dönemde safran, soylular ve zengin sınıfların sofralarında baş tacı olmuş, bunun sonucu olarak üretim tekniklerinde ve tarımsal organizasyonda gelişmeler yaşanmıştır. İspanya'nın La Mancha bölgesi ve Yunanistan'ın Kozani bölgesi, kaliteli safran yetiştiriciliğinin yapıldığı alanlar olarak öne çıkmıştır. Avrupa'da safran sahteciliğine karşı sert tedbirler alınmış; safran kalitesinin korunması için yasalar çıkarılmıştır. Aynı zamanda üretim, bazı bölgelerde kooperatifleşme yoluyla organize edilmeye başlanmıştır. Bu dönemden itibaren safran, ekonomik değeri yüksek ve stratejik bir tarım ürünü olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3. Safran toplayıcıları figürü

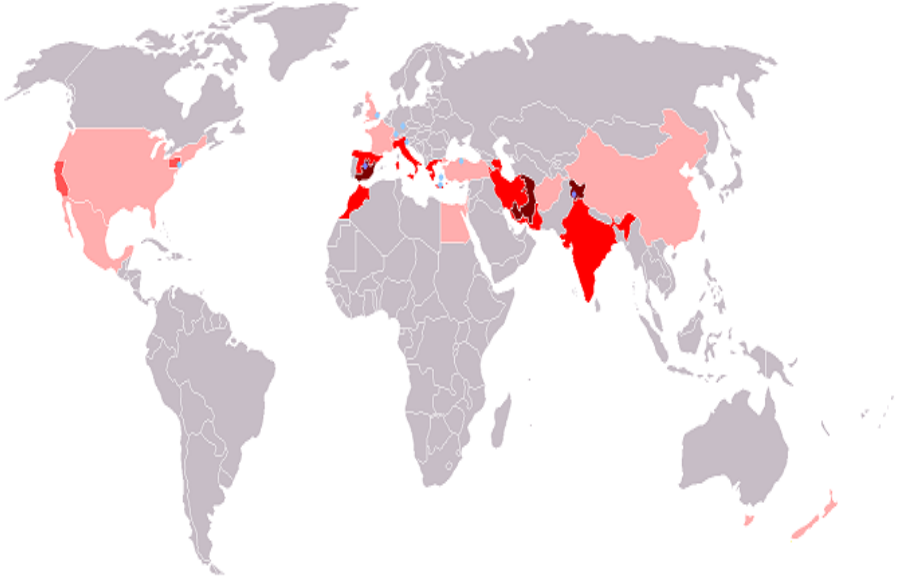
19. ve 20. yüzyıllarda sanayileşme ve teknolojik ilerlemelerle birlikte safran yetiştiriciliğinde modern tarım teknikleri uygulanmaya başlanmıştır. Laboratuvar ortamında soğan çoğaltma ve hastalık kontrolü, mekanizasyonun belirli alanlarda kullanımı gibi yenilikler, üretim verimliliğini artırmıştır. Ancak safranın manuel işçilik gerektiren özel hasat süreçleri nedeniyle üretim hâlâ emek yoğun ve pahalıdır. Türkiye'de Safranbolu ve çevresinde geleneksel yöntemlerle süregelen safran yetiştiriciliği, 20. yüzyıl boyunca azalmış, ancak son yıllarda özellikle organik tarım ve yöresel kalkınma projeleri kapsamında yeniden canlandırılmaya başlanmıştır. Bunun yanı sıra İran, Hindistan, İspanya

ve Yunanistan gibi ülkelerde safran tarımı modern tekniklerle sürdürülmektedir.

4.DÜNYADA SAFRAN

Küresel ölçekte yıllık toplam safran üretiminin yaklaşık 450 ton seviyesinde olduğu tahmin edilmektedir. Eldeki kaynaklara göre, toplam üretimin yaklaşık %80'i, 50.000 hektarlık bir alan üzerinden İran tarafından sağlanmaktadır. İran'ın Horasan vilayetinde 46.000 hektarlık safran ekim alanı bulunmakta olup bu durum İran'ı dünyanın en büyük safran üreticisi yapmaktadır. İran safranının büyük bir kısmı Türkiye ve İspanya'ya ihraç etmektedir. Hindistan'ın Keşmir kenti, 2019'da yıllık 22 tonluk üretimle ikinci büyük üreticidir. Dünya üretim alanlarının %7'sine sahiptir. Bölgedeki safranın çoğu, Keşmir vadisinin iklim açısından daha uygun Pampore bölgesinde yetiştirilmektedir. Jammu ve Keşmir, Hindistan'da safranın üretildiği tek eyalettir. İspanya, 600 ha arazi ile 8.33 kg/ha ortalama verimlilik ile dünyanın en yüksek 3. büyük üreticisidir. Yunanistan, Afganistan, Fas ve İspanya'nın ardından 4. büyük üreticilerdir. Safran bu ülkelerin dışında İtalya, Türkiye, Fransa, İsviçre, İsrail, Pakistan, Safran Tarımı ve Endüstrisi Fizibilite Raporu 22 Azerbaycan, Çin, Mısır, Birleşik Arap Emirlikleri, Japonya'da az çok yoğun olarak yetiştirilmektedir. Aynı zamanda safran baharat olarak Avustralya, Yeni Zelanda, ABD, Arjantin ve Şili gibi ülkelere tanıtılmış ve bu ülkelerde üretim denemeleri başlamıştır (BAKA. 2024). Safran, yetiştirildiği Avrupa ülkelerinde özellikle dönerli ekim sistemi kapsamında kullanılan bir ikame bitkisi olarak değerlendirilmektedir. Dikkat çekici olarak, İtalya'nın orta bölgelerinde safran, buğday ve kaba yonca ile birlikte dönerli ekime dahil edilmektedir (Gresta vd., 2008: 100). Safran yetiştiriciliğinde, elverişli iklim koşullar sağlandığında, ekim yapılan bölgenin yükseltisi kayda değer bir etken olarak görülmemektedir. Delil göstermek gerekirse, Abruzzo bölgesinde olduğu bilinen Navelli kasabasında safran, 650–1.100 metre aralığındaki rakımlarda tarımı yapılmaktadır. Buna mukabil, Sardunya bölgesinde safran ziraatı 50–140 m irtifada gerçekleştirilebilmekte iken; Yunanistan'ın Batı Makedonya bölgesine bağlı Kozani'de 650–700 m, Fas'ta 1.000–1.200 m ve Hindistan'ın (Cemmu ve Keşmir) bölgelerinde 2.140 metrede, Keşmir Vadisi'nde 1.585–1.677 metreler arasında ekim ve yetiştiricilik uygulamaları yürütülmektedir (Husaini vd., 2010: 108). Türkiye'de safran yetiştiriciliği, 200

metreden başlayarak Gümüşhane'nin Kelkit ilçesinde 1.900 metreye ve Van'ın Özalp ilçesinde 2.200 metreye kadar uzanan farklı rakımlarda gerçekleştirilebilmektedir. Buna ek olarak, etkin bir safran üretimi için kormlarının uzaması kritik bir öneme sahiptir. Araştırmalar, soğanların boylanmasının safran verimini kayda değer ölçüde artırdığını ortaya koymaktadır. Mesela, safran soğanları boy ve ağırlıklarına göre adeta bir hiyerarşi oluşturur: iri soğanlar 8–10 cm uzunluğunda ve 12 g'ı aşarken, büyükten biraz daha küçük boylar 5–7 cm ve yaklaşık 5 g, zayıflar ise 2–4 cm uzunluğunda ve 2 g civarında olup verim potansiyelerini de bu sınıflandırma belirler. Yakın zamanda safran soğanı ihracatına yönelik Hollanda'da, soğanlar boyutlarına göre 7–8 cm, 8–9 cm, 9–10 cm ve 10 cm üzeri olmak üzere ayrıntılı bir sınıflandırmaya tabi tutulmakta olup, bu sınıflandırma kapsamında daha küçük boyutlu soğanlar hem ekim hem de ticari amaçlar açısından kullanılmamaktadır (Şahin, 2021: 181). Safranda genel olarak 3-4 yıl yüksek verim elde edilmektedir. Bu durum ülkelere göre farklılık arz etmektedir. Bakacak olursak, safran üretiminde bitkilerin yetiştirme ve verim döngüsü İspanya ve Türkiye'de genellikle 3–4 yıl sürerken, Afganistan ve Fas'ta bu süre 8–10 yıla kadar uzamakta; Keşmir'de ise giderek azalan bir yaygınlıkla 12 yıla kadar çıkabilmektedir (Madan vd., 1966: 384; Gresta vd., 2008: 99). Farklı ülkelerde randıman periyotlarına bakıldığı zaman, Yunanistan'daki mevcut yetiştirme koşulları altında yürütülen gözlemsel çalışmalar, safran bitkisinin verim dinamiklerini ayrıntılı bir biçimde ortaya koymakta olup, elde edilen bulgulara göre, bitkinin hektar başına kuru stigma verimi ilk yıl yaklaşık 3 kg olarak gerçekleşmekte, ikinci yıl 10 kg'a yükselmekte, üçüncü yılda zirveye ulaşarak 15 kg'a çıkmakta, dördüncü yılda tekrar 10 kg seviyesine gerilemekte ve takip eden yıllarda ise verimde düzenli ve kademeli bir düşüş gözlemlenmektedir (Goliaris, 2006: 82). Afganistan'daki yetiştirme koşulları altında yürütülen çalışmalar, safran bitkisinin hektar başına verim seyrini ayrıntılı bir biçimde ortaya koymakta olup, elde edilen verilere göre, ilk yıl yaklaşık 1,32 kg kuru safran elde edilmekte, ikinci yıl 3,95 kg'a, üçüncü yıl 7,80 kg'a, dördüncü yıl 10,5 kg'a ve beşinci yıl 13,2 kg'a yükselmekte; altıncı yıl 9,15 kg'a gerileyerek, yedinci yıl 7,8 kg ve sekizinci yıl 5,2 kg seviyelerine düşmek suretiyle verim döngüsü tamamlanmaktadır (Lunsford, Zenger, 2009: 6; Katawazy, 2013: 20). Bu bilgiler ışığında genel olarak bakıldığı zaman üretim 3. ve 4. yıldan sonra azalış eğilimine girmektedir.



Şekil 4: Dünyada safran üretim alanları (Kaynak: Wikipedia)

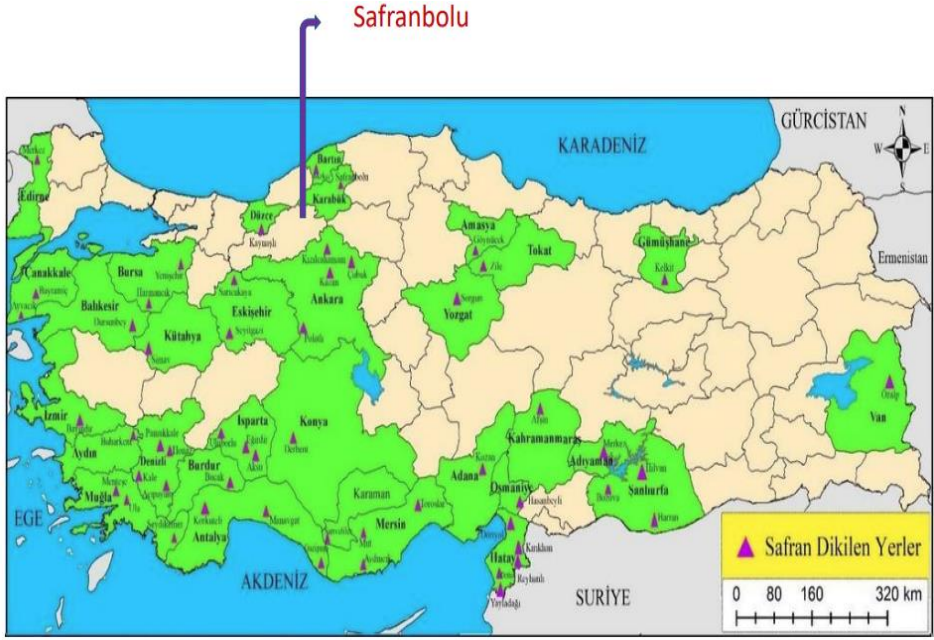
5. ANADOLUDA SAFRAN

Safran, Anadolu’da tarihsel olarak Hititler döneminden itibaren bilinen bir bitki olup, bu dönemde tıbbi amaçlarla, özellikle çeşitli rahatsızlıkların tedavisinde ve sağlık uygulamalarında kullanılmaktadır. Roma Dönemi’ne ait tarihsel kayıtlara göre, dönemin kaynaklarında en yüksek kaliteye sahip safranın, Silifke bölgesinde yer alan Cehennem Mağarası çevresinde yetiştirilen bitkilerden elde edildiği belirtilmekte ve bu bölgenin safran üretimi açısından ayrıcalıklı bir konumda olduğu vurgulanmaktadır (Çınar ve Önder, 2019: 81). Anadolu’yu gezen ünlü seyyah İbn Battuta (1304–1369), Göynük (Keynük) kasabasıyla ilgili gözlemlerini aktardığı anlatımlarında, kasabanın çevresinde ne meyve bahçesi ne de bağ bulunduğunu, üretimin yalnızca safran üzerine yoğunlaştığını belirtmiş ve ayrıca yaşlı bir kadının, kendilerini safran almak için kasabaya gelen ticaret ehli insanlar zannederek, yanlarına önemli miktarda safran getirdiğini ifade etmiştir; bu anlatım, dönemin Göynük’ünde safranın ekonomik ve kültürel açıdan ne denli merkezi bir ürün olduğunu da göstermektedir. 1800’lü yılların sonlarına gelindiğinde, Osmanlı İmparatorluğu dünya genelinde safran tedarikinin önde gelen merkezi konumunda bulunurken, 1900’lü yılların başlarından itibaren çeşitli ekonomik, sosyal ve tarımsal etkenlerin etkisiyle bu küresel üstünlüğünü kaybetmeye başlamıştır.

Örneğin, 1858 yılı itibarıyla Osmanlı İmparatorluğu'ndan İngiltere'ye gerçekleştirilen safran ihracatı 9.705 kg olarak kaydedilmiş olup, bu veri, o dönemde İmparatorluğun uluslararası safran ticaretindeki önemli konumunu açıkça ortaya koymaktadır (Koyuncu ve Güvenç, 1997: 529; Özel ve Erden, 2005: 793).

Türkiye'de geçmişte İstanbul, İzmir, Tokat, Adana ve Şanlıurfa (Viranşehir)'da ticari olarak yetiştiriciliği yapılmaktaydı. 1913'te de sadece Viranşehir ve Safranbolu'da 500 kg. safran üretimi yapılmıştır (Özel ve Erden, 2005: 793-794; Eser Ünal, 2007: 57). Viranşehir safranı oldukça kaliteli olup 17. yy. başlarında İstanbul piyasasında “Viranşehir Safranı” öteki safranlardan daha yüksek fiyattan alıcı bulmaktaydı (Ceylan, 2005: 153). Cumhuriyet Dönemi'ne gelindiğinde yine dönemin en önemli safran üretim merkezi olarak Safranbolu öne çıkmış, 1923 itibarıyla de Safranbolu Ticaret Odası kayıtlarına göre İstanbul'a 60 çeki (13,5 kg.) safran yollanmıştır (Arslan, 2019: 592). Safranbolu ilçede geçmişte 14 köyde, 44 üretici, toplamda 47 dekar alanda safran yetiştiriyorken henüz 1960'lara gelindiğinde yöredeki yetiştiricilik 2 köyle sınırlı kalmıştır (Arslan, 1986: 22). Karabük iline bağlı Safranbolu'da Davutobası başta olmak üzere Yukarıçiftlik, Yazıköy, Değirmencik, Yörük köyü, Düzce, Aşağıgüney, Geren, Çerçen, Karıt, Çıraklar, Ovaköseler ve Ovacuma'da safran yetiştiriciliği yapılmış veya yapılmaya devam etmektedir. Zamanla bazı köylerde safran üretimi tamamıyla bırakılmıştır, kısmen kısıtlı lokasyonlarda devam etmiştir. Bir dönem boyunca faaliyetler yalnızca Davutobası ile sınırlı kalmış ve bu süreçte köydeki safran üretimi, yalnızca iki üreticinin sürdürdüğü üretimle devam etmiştir; bu durum, bölgedeki üretimin dar bir alana ve sınırlı sayıda üreticiye bağımlı olduğunu göstermektedir (Özdemir, 2001: 304). Safran ticaretinin geçmişte sahip olduğu büyük önemin somut kanıtları arasında, Ankara'da yer alan Zaferan Hanı ile İstanbul'daki Büyük ve Küçük Safran Hanları gibi ticari yapılarının adlandırılması yer almakta olup, bu durum, safranın ekonomik ve kültürel değerinin tarih boyunca ne denli yüksek olduğunu göstermektedir; ayrıca, Mardin'de Süryanilere ait Zaferan Manastırı'nın adını, yapının inşası sırasında harcına katılan safrandan alması, bitkiye verilen önemin yalnızca ticari değil, aynı zamanda toplumsal ve kültürel düzeyde de oldukça belirgin olduğunu ortaya koymaktadır (Baytop, 1984). Ülkemizde safran üretimi uzun yıllardır sürdürülmekle birlikte, mevcut veriler ve gözlemler, üretim alanının genişletilmesi, bitki ıslahı ve ekim

tekniklerinin geliştirilmesi konularında kayda değer ve periyodik bir ilerlemenin henüz sağlanmadığını ortaya koymaktadır. Türkiye'nin çeşitli illerinde safran yetiştiriciliğine ilişkin mevcut bilgiler, genellikle sistematik olmayan, rastgele ve bireysel düzeyde hazırlanan raporlar üzerinden elde edilmekte olup, bu durum, ülke genelinde safran üretimi ve yetiştiriciliği hakkında kapsamlı ve standartlaştırılmış verilere erişimin sınırlı olduğunu göstermektedir (Ünalı, 2007). Buna paralel olarak, 1900'lü yılların başlarında, Osmanlı sonrası ekonomik koşulların zayıflığı, tarımsal insan gücünde yaşanan yetersizlikler ve köylerden şehir merkezlerine doğru gerçekleşen yoğun göç hareketleri nedeniyle, safran ekimi ve üretimi ciddi ölçüde gerilemiş ve bu değerli bitkinin tarımsal faaliyetlerdeki ağırlığı önemli ölçüde azalmıştır. Osmanlı'nın son yıllarında 1913 yılı itibarıyla, Ülkemiz genelinde safran tarımı oldukça sınırlı bir alanda yürütülmekte olup, söz konusu dönemde yalnızca Safranbolu ve Şanlıurfa bölgelerinde bu değerli bitkinin yetiştirildiği kaydedilmiştir. O zamanlarda Vatanımız'de üretilen safran miktarı yalnızca yarım ton ile sınırlı kalmış olup, söz konusu üretim ülke genelindeki iç talebi karşılamaktan uzak olduğundan, Cumhuriyetin ilk yıllarından itibaren Türkiye'nin safran gereksinimini temin etmek amacıyla Avrupa ülkelerinden düzenli ve sistematik bir biçimde safran tedarikine başlanmıştır. Yakın zamanlara kadar ve gelecekte ekonomik açıdan büyük değere ve potansiyele sahip olan safran bitkisinin ekim sahaları neredeyse "bitti" denecek kadar daralmış olup, bu durum, Türkiye'deki safran kültürünün günümüzde yalnızca Karabük iline bağlı Safranbolu ilçesinin Davutobası, Yörük, Aşağıgüney, Geren, Yazıköy ve Değirmencik olmak üzere toplam altı köy ile sınırlı şekilde sürdürüldüğünü ortaya koymaktadır (www.karabuk-tarim.gov.tr/tarimsal/profil.php).



Şekil 5: Türkiye’deki safran üretim alanları

Tablo 1: Türkiye’de 2019–2020 Safran Hasat Alanları (Kaynak: Prof.Dr.Sabri ERBAŞ – BAKA)

İller	İlçeler	Köy / Mahalle	İller	İlçeler	Köy / Mahalle
Denizli	Honaz	Karaçay	Mersin	Toroslar	Arsınlıköy
	Kale	Çamlarca		Aydıncık	Hacıbahattin
	Acıpayam			Mut	
	Pamukkale	Uzunpınar	Osmaniye	Hasanbeyli	Çolaklı
Hatay		Gözler		Bahçe	Yanıkışla
	Kırkhan		Bursa	Harmancık	
	Reyhanlı			Yenişehir	
	Yayladağı	Şenköy	İzmir	Bayındır	
Çanakkale	Dört Yol	Yeşilköy		Menderes	Özdere
	Bayramiç	Toluklar	Eskişehir	Seyitgazi	Sancar
	Ayvacık			Sarıcakaya	
Isparta	Küçükkuyu		Yozgat	Sorgun	Şahmuratlı
	Aksu	Koçular	Adana	Kozan	Kızılarsakisi
	Uluborlu		Burdur	Bucak	Kuşbaba
Ankara	Eğirdir	Sorkuncak	Amasya	Göynücek	Ayvalıpınar
	Kazan		Karaman	Sarıveliler	
	Polatlı		Van	Özalp	
	Çubuk	Taşpınar	Konya	Derbent	
Muğla	Ula		Düzce	Kaynaşlı	Çakırsayvan

	Seydikemer		Adıyaman	Merkez	Kayatepe (Rezip)
	Menteşe	Bayır	Edirne	Merkez	
Şanlıurfa	Bozova	Yaslıca	Aydın	Buharkent	Savcılı
	Hilvan	Kepirhisar	Tokat	Zile	
	Harran	Çütlük Mezrası	Balıkesir	Dursunbey	
Antalya	Gazipaşa	Pazarcı	Gümüşhane	Kelkit	
	Manavgat		Kütahya	Simav	Yeşilköy
	Korkuteli	Yeşilyayla	Bartın	Merkez	Hasanlar
Karabük	Safranbolu	Yukançiftlik, Davutobası, Yörük köyü, Geren, Aşağıgüney	Kahramanmaraş	Afşin	

2019–2020 sezonu itibarıyla, Türkiye’de ticari ölçekte safran yetiştiriciliği yapılan il sayısı 31’e ulaşmış olup, bu durum, safran üretiminin coğrafi yayılımının önceki dönemlere kıyasla önemli ölçüde genişlediğini göstermektedir. Harekete geçme, Şekil 2’de de açıkça gözlemlendiği üzere, özellikle Türkiye’nin batı yarısında yoğunluk kazanmış olup, il düzeyinde incelendiğinde, Denizli, Muğla, Hatay, Isparta ve Ankara gibi illerde safran yetiştiriciliğinin yalnızca tek bir merkezle sınırlı kalmayıp, birden fazla merkezde eş zamanlı olarak başlatıldığı ve böylece bölgesel olarak çeşitlilik gösteren bir üretim dağılımı sergilendiği anlaşılmaktadır. Doğuda ise bu anlamda Gümüşhane, Van ve Şanlıurfa başarılı safran üretimleriyle dikkat çekmektedirler. Bahis konusu 31 il dışında diğer illerde de safran yetiştiriciliği denemeleri yapılmış olması veya faaliyetin geçmişte yapılmış fakat sonradan terkedilmiş olduğu yerler de vardır (Yalova, Diyarbakır, Iğdır gibi). Ayrıca bilimsel çalışmalar ve demonstrasyonlar sonucunda da İstanbul (Silivri), Tekirdağ, Kocaeli, Şanlıurfa (Harran) ve Bursa’da olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bilecik (Merkez)’te de deneme dikimleri yapılmıştır (Şahin, 2021:197) . Eskişehir Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü’nün safran çalışmaları hızla devam etmektedir. Enstitü bünyesinde 2002’deki Kuzey-Batı “Geçit Bölgesi Önemli Bazı Baharat Bitkileri Entegre Ürün Yönetimi Araştırmaları Projesi” kapsamında “Safran Soğanının Hızlı Çoğaltılması Projesi” ile 2005’te deneme alanlarında uygulamalara başlanmıştır. Yürütülen çalışmalar neticesinde, 2014 yılı itibarıyla Türkiye’de ilk tescilli safran çeşidi olan “**Karaarslan**” geliştirilmiş olup, bu yeni çeşidin yetiştiriciliğine Eskişehir ilinin Seyitgazi ilçesinde başlanmıştır; böylece hem yerli bir safran gen kaynağı oluşturulmuş hem de bölgesel üretim potansiyeli artırılmıştır.

6.SAFRANIN KİMYASAL İÇERİĞİ

Safranın kimyasal bileşenleri üzerine yapılan kapsamlı araştırmalar, bu bitkinin 150’den fazla uçucu ve uçucu olmayan bileşikler içerdiğini ortaya koymakta; ancak bu bileşiklerin yalnızca yaklaşık 50’sinin günümüze kadar bilimsel yöntemlerle tam olarak tanımlanabildiğini göstermektedir. Bu bileşenler arasında özellikle terpenler, terpenik alkoller ve terpen esterleri ile birlikte karotenoid türevlerinden krosin ve krosetin; acılık veren glikozit yapısındaki pikrokrosin; aroma bileşeni olarak öne çıkan safranal; ayrıca biyolojik olarak aktif sekonder metabolitler arasında yer alan flavonoidler, özellikle kersetin ve kemferol gibi bileşiklerin bulunduğu belirlenmiştir. Bu kompleks kimyasal yapı, safranın yalnızca karakteristik renk, aroma ve tat özelliklerinin değil, aynı zamanda antioksidan, antienflamatuvar ve farmakolojik etkilerinin de temelini oluşturmaktadır (Pitsikas, 2016). Safran bitkisinin en değerli kısmı olan stigmanın moleküler bileşimi incelendiğinde, yapısında yaklaşık olarak %0.3–0.8 oranında uçucu yağlar, %5.8 oranında sabit yağlar, %12–13 oranında proteinler (protitler) ile %11–12 oranında nişasta ve glikozitlerin bulunduğu; bu bileşenlerin birlikte stigmanın hem aromatik özelliklerinin hem de besinsel ve farmakolojik değerinin oluşumunda belirleyici bir rol oynadığı görülmektedir (Molina vd., 2005). *Crocus sativus*’un karakteristik altın sarısı ile turuncu arasındaki canlı renginin kaynağını, kimyasal olarak 8,8-diapo-8,8-karotenoik asit olarak tanımlanan ve suda çözünebilen bir karotenoid türevidir olan α -krosin oluşturmaktadır. Bu pigment, bitkinin en dikkat çekici görsel özelliğini meydana getirmenin yanı sıra, yüksek renk verme kapasitesi sayesinde hem gıda endüstrisinde doğal bir renklendirici olarak hem de farmakolojik çalışmalarda biyolojik etkinliği nedeniyle önemli bir bileşik olarak değerlendirilmektedir (Abdullaev, 2002). Safranın karakteristik ve keskin lezzet profilinin, safranal ile glikozun konjugasyonu sonucu oluşan pikrokrosin bileşiğinden kaynaklandığı; bu bileşiğin ise nemden arındırılmış safran kütlesinin yaklaşık %4’ünü oluşturduğu bilimsel çalışmalarla ortaya konulmuştur. Safran al, safranın kimyasal içeriğinde bulunan en önemli uçucu bileşiklerden biri olup, aldehit yapısına sahip bir monoterpen türevidir. Bu bileşik, safranın karakteristik aroma özelliklerinin oluşumunda merkezi bir rol üstlenmekte ve bitkinin kalite kriterlerinin belirlenmesinde değerli bir gösterge olarak kabul edilmektedir (Kanakis vd., 2004).

7.SAFRANIN KULLANIM ALANLARI

İnsanların bitkilerle olan münasebetlerini, bu yakınlaşmanın kültürel, ekonomik, tıbbi ve ekolojik boyutlarını sistematik şekilde inceleyen bilim dalı olarak lanse edilen etnobotanik terimi, ilk kez 1895 yılında John W. Harshberger tarafından literatüre kazandırılmış olup, bitkilerin toplumlar üzerindeki tarihsel ve çağdaş etkilerini anlamada temel bir çerçeve sunmaktadır. Etnobotanik perspektiften değerlendirildiğinde safran, kullanım alanları bakımından son derece geniş bir bitki olarak öne çıkmaktadır; kimyasal açıdan ise bu bitkinin ayırt edici özellikleri, karakteristik aromasıyla safranal, özgün tadıyla pikrokrosin ve parlak sarı rengini sağlayan krosin bileşenleri aracılığıyla ortaya çıkmakta ve bu üç temel bileşik, üç yapıya sahip stigmalarında yer almaktadır (Negbi vd., 1989: 96). Geçmiş kaynaklara dayanarak yapılan incelemeler, Antik Yunan toplumunda safranın, mekânların aromatik olarak zenginleştirilmesi amacıyla salon kokusu ve parfüm-esans üretiminde yaygın biçimde kullanıldığını; ayrıca soylu sınıflar tarafından giysi ve tekstil materyallerinin renklendirilmesinde değerli bir doğal boya olarak işlev gördüğünü ortaya koymaktadır (Mousavi ve Bathaie, 2011: 60).

İran, Afganistan, Pakistan, Hindistan ve bazı Arap ülkelerinin zengin ve köklü mutfak geleneklerinde, safran ile özenle hazırlanan yemek ve tatlılar, sadece eşsiz koku ve lezzet profilleriyle değil, aynı zamanda göz alıcı görsellikleriyle de öne çıkarak, bölgesel gastronomideki hem kültürel hem de ekonomik önemini ortaya koymaktadır. Antik çağlardan günümüze kadar safranın, yalnızca doğal bir boya kaynağı olarak değil, aynı zamanda parfüm ve esans üretiminde aromatik bir bileşen ile gıda maddelerinde renk ve tat verici bir katkı maddesi olarak kullanımına ilişkin çok sayıda tarihî belge ve materyal mevcut olup, bu durum bitkinin geçmiş uygarlıklardaki yaygın kullanımını ve kültürel önemini ortaya koymaktadır (Gresta vd., 2008: 96). Bu aşamada, halkın günlük yaşam biçimleri, geleneksel uygulamaları ve kültürel değerleri titizlikle gözlemlenerek, söz konusu toplulukların gıda, boya maddesi, yağ ve lif kaynağı, tıbbi ve zehirli amaçlı kullanım, turizm faaliyetleri, dini ve tören gelenekleri, ev araç-gereçleri, takı, dikiş-nakış uygulamaları, yakacak temini ve hayvan yemi olarak değerlendirdikleri bitkiler, etnobotanik ve kültürel botanik perspektiflerinden kapsamlı bir şekilde bilimsel olarak araştırma konusu olmaktadır (Kendir ve Güvenç, 2010: 51). Safranın, özellikle birçok geleneksel tarım ürünüyle karşılaştırılması birim alandan elde edilen ekonomik kazancının

oldukça yüksek olması, bu bitkiyi üreticiler açısından son derece cazip kılmakta ve tarımsal üretimde tercih edilmesinde önemli bir avantaj sağlamaktadır. Horasan şartlarında gerçekleştirilen üretim verileri incelendiğinde, safranın birim alandan sağladığı ekonomik getiri, şeker pancarının yaklaşık 2,7 katı, pamuk ürününün 3 katı ve kaba yoncanın 4 katı seviyesinde olup, bu durum safranın yüksek verimlilik ve kârlılık potansiyelini açıkça ortaya koymaktadır (Vafabakhsh vd., 2010: 300). Kurutulduktan sonra kullanıma hazır haldeki safran stigmaları gıdalarda, kozmetik, ilaç ve boya sanayilerinde kullanılmaktadır. Gıda amaçlı kullanımda yemeklere verdiği aroma kadar kattığı renk için de tercih edilmektedir. Parfüm amaçlı kullanımı için de türlü şekillerde değerlendirilmiş safranın çeşitli yağlar ve eşek sütüyle karıştırılmış özel formülleri Kleopatra (M.Ö. 69 – M.Ö. 30) tarafından da kullanılıyordu (Mzabri vd., 2019: 3; Cardone vd., 2020).

Safranın tıbbi amaçlı hem halk hekimliğinde hem de modern tıpta kullanımı giderek önemini ortaya koymaktadır. Henüz M.Ö. 1550 yıllarında Ebers Papirüsleri olarak adlandırılan Antik Mısır dönemindeki yazmalarda safranın böbrek hastaları için hazırlanan bir preparata katıldığı belirtilmektedir (Koyuncu ve Güvenç, 1997: 526; Ferrence ve Bendersky, 2004: 214; Mousavi ve Bathaie, 2011: 60; Başer, 2014: 31). Helenistik Dönem boyunca da safran seremonilerde ve tıbbi amaçlı kullanılan bir bitkiydi (Caiola ve Canini, 2010: 2). Hipokrat Koleksiyonu (Hippocratic Corpus) adlı Hipokrat'ın ünlü eserinde safranın 257 ilacın bileşiminde kullanıldığından bahsedilmektedir (Ferrence ve Bendersky, 2004: 207). Lokman Hekim'in "İlaçlar Kitabı" adlı eserinde yapılan incelemeler, 11 reçetede safranın aktif bir bileşen olarak kullanıldığını göstermekte ve bu durum, safranın tarih boyunca tıbbi uygulamalardaki önemini ortaya koymaktadır (Paşayeva ve Tekiner, 2014: 13). Yakın geçmişle beraber, asrın hastalığı kanser araştırmaları alanında safran üzerine yürütülen çalışmalar dikkatleri üzerine çekmiştir. Bilhassa fareler üzerinde yapılan deneyler, safranın krosin bileşeni sayesinde yalnızca anti-tümöral etki göstermekle kalmadığını, aynı zamanda bazı tümör türlerinin gelişimini engelleyerek gerileme sürecini başlattığını da ortaya koymuştur. Bu bulgular, safranın gelecekte kanser tedavisinde tamamlayıcı bir ajan olarak kullanılabileceğine dair umut verici bir bilimsel temel oluşturmaktadır (Tantry, 2017: 353; Yıldız, 2017: 3; Surgun Acar vd., 2017: 260). Safran, vücutta hücrelere zarar veren serbest radikalleri etkisiz hâle getirerek hücreleri koruyor.

Bu özelliği nedeniyle, safran bazı hastalıkların önlenmesi veya tedavisinde kullanılabilecek doğal ajan olarak görülüyor. Güncel araştırmalar, safranin sadece oksidatif stresi (hücreleri yıpratan kimyasal baskıyı) azaltmakla kalmayıp, ALS gibi sinir sistemi hastalıklarında da koruyucu ve onarıcı etkiler gösterebileceğini ortaya koyuyor (UNIDO, 2014: 17).

7.1.Geneleksen Kullanım

M.Ö. ve erken M.S. dönemlerde, Akdeniz'e kıyısı olan ülkelerde yaşamış medeniyetlerde safran, yalnızca bir baharat olmanın ötesinde, kültürel, tıbbi ve estetik yaşamın merkezinde yer alan çok işlevli bir madde olarak önemli bir konuma sahip olmuştur. Dönemin parfüm ustaları, hekimleri, yerel halkı ve saray mensupları, safranı merhem, parfüm, folklorik ve kozmetik ürünlerin özellikle maskaraların hazırlanmasında; kutsal ritüellerde sunu malzemesi olarak ve çeşitli tedavi edici uygulamalarda etkin biçimde kullanmışlardır.

Safranın başlıca kullanım alanları, sağlık ve fizyolojik etkiler bağlamında değerlendirilebilir. Literatürde, safranin vücuda canlılık ve ferahlık kazandırma, uyku düzenini optimize etme, sinir sistemini hem yatıştırıcı hem de uyarıcı biçimde modüle etme, gastrointestinal ve kardiyak fonksiyonları iyileştirme, kaşıntı ve öksürüyü azaltma, otaljik ağrıları hafifletme, diş ve görme sağlığını destekleme, olfaktör yolla afrodizyak etkiler ortaya koyma ve kadınlarda menstrüel döngüyü düzenleme veya adet başlatıcı etki gösterme gibi çok yönlü biyolojik etkiler sergilediği bilinmektedir. Bu kapsamlı fonksiyonel profili, safranin hem geleneksel tıp uygulamalarında hem de modern terapötik stratejilerde potansiyel bir biyolojik ajan olarak önemini ortaya koymaktadır (Ceylan, 2005).

Crocusun ülkelere ve bölgelere göre geleneksel tüketim alışkanlıkları da farklılık sergilemektedir. Safran, çok yönlü kullanım potansiyeline sahip bir bileşik olarak, gıda, kozmetik ve aromatik ürünler başta olmak üzere çeşitli uygulama alanlarında değerlendirilmektedir. Literatürde, safranin özellikle çay, reçel, bal, kolonya, sabun, lokum ve şekerleme gibi ürünlerde kullanıldığı bildirilmekte olup, bu durum onun hem organoleptik özellikler hem de biyolojik ve fonksiyonel potansiyel açısından değerini ortaya koymaktadır. Yakın geçmişten beri, hem safran katkılı hem de safran poleni açısından zengin ballar, özellikle safranın bala sağladığı renk ve aroma ile birlikte balın yüksek

besin değerinin kombinasyonu sayesinde, pazarlarda yüksek ekonomik değer ve talep görmektedir. İspanya (Saffron & Acacia Honey), Bulgaristan (Saffron Honey), Keşmir (Kesar* Honey) ve İtalya, safran balı ve safran katkılı bal üretimi ve ticaretinde uluslararası pazarlardaki paylarını artırmakta ve bu ürünlerin ekonomik değerini yükselterek pazar potansiyelini genişletmektedirler. Bu balların bazıları, safran stıgması ve tozunun eklenmesiyle formüle edilmekte olup, söz konusu uygulama sayesinde safranın ve balın biyokimyasal özellikleri ile besin değerleri bir araya getirilerek, fonksiyonel özellikler taşıyan yüksek değerli bir gıda ürünü elde edilmektedir. Özellikle Suudi Arabistan'da ve son yıllarda Avrupa'da artan bilinirliği ile safranlı kahveler, safranın fonksiyonel gıda olarak tüketim alanları arasında önemli bir yere sahip olduğunu göstermektedir (Erbaş, S., 2024).

7.2.Tıp ve Kozmetik Kullanım

Safran bitkisi şıfa verici özelliğı ve tıbbi değeri nedeniyle halk hekimliğinde kullanılışı eski tarihlere uzanmaktadır. Mad, Pers, Yunan, Mezopotamya uygarlığı dönemlerinde bir çok ülkenin farmakopesinde yer almıştır (Mousavi ve Bathaie, 2011: 58). Safran modern tıpta bazı ilaçların hammaddesi olarak tedavi amaçlı ve kozmetikte parfümlerin hammaddesi olarak da kullanılmaktadır. Bundan başka safranın yeni kullanım alanı olarak geliştirilmiş kozmetik ürünler (Kremler, losyonlar ve çok çeşitli saç / cilt bakım ürünleri), mevcuttur. Sinir sistemi rahatsızlıklarında özellikle depresyon tedavisinde etkindir. Düzenli kullanılması şartıyla kalp, karaciğer, böbrek ve mideyi güçlendirir. Cinsel gücü takviye eder ve kan dolaşımını kolaylaştırır. Anti kanser özelliğı vardır ve alzheimer hastalığının iyileştirilmesinde aktif rol almaktadır (Erdemir, 2001: 12). Bir bilimsel araştırmada, safrandan %80 etanol kullanılarak hazırlanan karışım, 300 mg/kg dozunda ağız yoluyla sıçanlara uygulanmış olup, elde edilen bulgular, safranın hepatokarsinogeneze yol açan oksidatif hasarı inhibe ederek anlamlı bir antioksidan etki sergilediğini göstermektedir (Amin vd., 2011). Safran, literatürde birçok çalışma ile takviye edilmiş ve bilhassa kanser karşıtı niteliğı ile ön plana çıkan bir bitkidir. Bünyesinde var olan krosin ve krosetin bileşenleri aracılığıyla, apoptozu indükleyici ve hücre proliferasyonunu azaltıcı biyolojik etkiler sergilemektedir (Zhang vd., 2013; Zheng vd., 2016). Safran bitkisi ayrıca akciğer, mide, meme, kolon, prostat ve deri kanserli hücrelerinin canlılığını gerilettiğı ve bu

hücrelerin gelişimini yavaşlattığı bilinmektedir (Khazdair vd., 2015; Pitsikas, 2015). Safranın tahribatlı kalp hastalığını önlemedeki potansiyel rolü, deneysel çalışmalarda elde edilen biyokimyasal ve histopatolojik bulgularla desteklenmiş olup, bu veriler safranın kardiyoprotektif etkilerinin moleküler ve doku düzeyinde doğrulanabilir olduğunu göstermektedir (Sadati vd., 2016).

8. SAFRANIN EKONOMİK ÖNEMİ

C. sativus'un ekonomik değerini ortaya koyan esas faktör, bitkiye özgü altın sarısı ile turuncuya yakın kıvımsız renk tonunu kazandıran krosin adlı doğal bileşiktir. Bahsi geçen pigment, yalnızca safranın organoleptik özelliklerini belirlemekle kalmayıp, aynı zamanda biyolojik aktiviteler ve fonksiyonel gıda uygulamaları bağlamında ürünün değerini artıran kritik bir biyokimyasal bileşen olarak önem taşımaktadır. Oldukça kuvvetli bir bileşik olan krosin katkısıyla aşağı yukarı 1 ölçü safran, 100.000 katı miktarda suyu renklendirebilmektedir. Bu da bitkinin yüzyıllarca giyim sektöründe her zaman tercih edilmesini sağlamıştır. Bitkinin söz konusu renk verici özelliği, tarih öncesi dönemlerden itibaren fark edilmiş olup, Antik Yunan, Roma ve Mısır medeniyetlerinde hem tekstil ve sanat alanlarında hem de seremoni ve törenlerde boya maddesi olarak yoğun talep gören ve yüksek değere sahip bir bitki hâline gelmesine yol açmıştır. Dahası, Budist rahiplerin folklorik giysileri olan Kasayalar'da turuncu renk ve tonlarının elde edilmesinde, temelde safran olmak üzere aspir (*Carthamus tinctorius*), sumak (*Rhus spp.*) ve sarı kantaron (*Hypericum perforatum*) gibi bitkisel pigmentler geleneksel olarak kullanılmakta olup, bu uygulama, bitkisel renk maddelerinin tarihsel ve kültürel bağlamda tekstil boyacılığındaki önemini ve çok yönlü kullanım potansiyelini ortaya koymaktadır. Buna karşın, safran tarımının azalmasının en belirgin etkenlerden biri, bitkinin karakteristik renk verici özelliklerine alternatif olarak geliştirilmiş olan suni boyaların, üretim maliyetlerinin çok daha düşük olması ve ticari pazarlarda geniş bir dağıtım ağı aracılığıyla yaygın biçimde kullanımının sağlanması nedeniyle, geleneksel safran üretiminin ekonomik cazibesini ve sürdürülebilirliğini önemli ölçüde azaltması olmuştur (Erbaş, 2024). *C.sativus* tarımında ana gelir kaynağı su götürmez bir gerçek olan bitkinin esas ekonomik değere sahip stigmalarıdır. İlave olarak Yetiştiriciler, *Crocus* ürünlerinin satışından elde ettikleri gelirin yanı sıra, bitki kormlarını satarak ek gelir elde etmektedir; bu durum, gelir kaynaklarını

çeşitlendirmelerine ve tarımsal üretimlerinin ekonomik sürdürülebilirliğini artırmalarına olanak sağlamaktadır. Son yıllarda safran yetiştiriciliği yapan ülkelerde “Safran Hasadı Turları ve Safran Hasadı Festivalleri” yapılmaya başlanmıştır. “Safran Turizmi” olarak tarif edeceğimiz bu organizasyon vesilesiyle ikame turizm ve *crocus* tarımı bölgesel ekonomiler için büyük önem teşkil eden faaliyetlerdir. Safran tarım, turizm ve ticaret ağı ile birbirini destekler nitelik taşımaktadır. Bu tür etkinlikler hem bölgesel hem de ulusal anlamda ekonomiye ciddi katkılar sağladığı bilinmektedir. Safran bitkisinin en önemli sorunu taklit ve taşışışe açık olmasıdır. Kötü niyetli kişiler aspri safran olarak piyasaya sürebilmekte ve safranı iyi tanımayanlar bu hileye kanabiliyorlar. Ayrıca hindistan cevizi liflerini ve mısır püskülünü boyayarak safran diye pazarlamak, iyi ve kötü kalitedeki safranı karıştırmak bir diğer sorun olarak karşımızda durmaktadır.

Tablo 2:Safran ihraç eden ülkeler (bin dolar)

İhracatçı ülkeler	2018	2019
Dünya	301.259	223.39
1. İspanya	35.783	32.626
2. Birleşik Arap Emirlikleri	21.505	18.247
3. ABD	16.558	15.770
4. Suudi Arabistan	16.751	19.933
5. Hindistan	18.418	18.354
6. İtalya	12.958	11.104
7. Çin	3.680	2.468
8. Fransa	9.857	7.716
9. İsveç	7.028	6.545
10. Afganistan	2	33
37. Türkiye	20	1.540

Tablo 3: Safran ithal eden

İthalatçı ülkeler	2018	2019	2020	2021	2022
Dünya	471.610	408.658	325.882	288.610	335.285
1. İran	351.127	297.172	190.150	154.318	201.690
2. İspanya	55.755	47.734	48.464	44.258	51.827
3. Afganistan	21.235	26.416	46.267	41.934	35.442
4. Birleşik Arap Emirlikleri	2.340	2.062	7.966	10.290	13.801
5. Nijerya	0	46	172	1.137	5.414
6. Hollanda	3.454	4.145	1.735	2.155	3.262
7. Fransa	4.732	4.487	3.744	3.457	2.991
8. Portekiz	4.355	3.780	3.176	3.382	2.876
9. Yunanistan	4.343	3.131	4.212	6.110	2.623
10. Polonya	3.108	2.417	2.477	2.319	1.909
25. Türkiye	92	231	616	296	250

ülkeler (bin dolar)

Kaynak: Trade Map, 2023

Yukarıdaki iki tabloyu karşılaştırdığımız zaman dünyada safran ihraç eden ülkelerin başında İspanya gelmektedir. Türkiye ihracat sıralamasında dünyada 37. sırada yer almaktadır (Tablo 2). Aynı şekilde safran ithal eden ülkelerin başında İran gelmektedir. Tablo 3'e göre Türkiye ithalat sıralamasında 25. sırada yer almaktadır (Tablo 3). Bu veriler ışığında Türkiye için konuşacak olursak ithalat ihracattan daha fazla bir yer tutmakta olup, safran üretiminin ülkeye döviz getirisi anlamında daha fazla bir yol almamız gerektiğini gözler önüne sermektedir. Türkiye safran ihraç ettiği ülkelerin başında sırasıyla Kuveyt, ABD ve Kanada gelmektedir (Trade Map, 2023). Bu veriler ışığında safranın Ülkemize döviz geliri sağlamak için daha fazla ekim alanı oluşturmak ve safran üretimini ciddi manada yaygınlaştırmak için yeterli bir sebeptir. Safranın kalite sınıfına bağlı olarak kilogram başına satış fiyatı 70.000 ile 95.000 TL arasında değişmekte olup, mevcut piyasa koşulları ve ortalama değerler göz önünde bulundurularak, ürünün satış fiyatı yaklaşık 85.000 TL/kg olarak kabul görebilir (Trade Map, 2023).

Türk Standartları Enstitüsü (TSE), ilk olarak 1977 yılında Bakanlar Kurulu kararıyla ve 4 Ocak 1978 tarihli Resmî Gazete ilanıyla TS 2644 Safran Standardını belirlemiştir. Söz konusu standarda göre, bütün, kesilmiş ve toz safran tipleri tanımlanmış ve bu tipler, özellikle bütün ve kesilmiş safran için Ekstra, I. Kalite ve II. Kalite olmak üzere farklı kalite sınıflarına bölmüştür. 2001'de standartta değişikliğe gidilmiş, 2010'da da safranla ilgili "TSE ISO/TS 3632-1" standardı ilan etmiştir.



Kaynak: <https://gbi.segaeg.top/ProductDetail.aspx?iid=340307138&pr=64.88>

Tablo 4: Safran stigmalarında kalite standartları

Safranın renk, aroma ve genel kalite parametreleri, işleme sürecinde krosin ve ilişkili karotenoid pigmentlerin hidroliz reaksiyonlarına bağlı olarak değişim göstermekte olup, stigmaların kurutulma yöntemi ve koşulları, söz konusu organoleptik ve kimyasal özelliklerin oluşumunda belirleyici bir faktör teşkil etmektedir. Bu bağlamda, kurutma prosedürleri, safranın biyokimyasal profili ve metabolit dağılımı üzerinde doğrudan etkili olup, nihai ürünün kalite standartları ve fonksiyonel özellikleri açısından kritik bir rol oynamaktadır. Kurutma işleminde stigmaların tepciklerinde gerçekleşen biyokimyasal ve kimyasal modifikasyonlar, elde edilen safran baharatının organoleptik özellikleri, özellikle aroma bileşenlerinin dağılımı ve lezzet yoğunluğu üzerinde doğrudan ve belirleyici bir etki göstermekte olup, bu değişimler nihai ürünün kalite parametrelerini ve fonksiyonel potansiyelini önemli ölçüde tetiklemektedir. En yüksek kalite safran, dominant çiçeksi aroması, tatlı baharatlı tonları ve hafif sert-buruk nüansları ile karakterize edilir. ISO 3632 standardına baktığımızda nem içeriği %12'nin altında olan safran, düşük nem oranı sayesinde biyokimyasal stabilitesini koruyarak kalitesini uzun süre muhafaza edebilmektedir (Alonso vd., 1993). Bu da ticari olarak safranda kaliteyi artıran en önemli özelliklerden bir tanesidir. 2023 yılının başlamasıyla, safran stigmalarının taze formda toptan satış fiyatları kilogram başına 15.000 ile 19.000 TL arasında değişmekte olup, fiyat farklılıkları özellikle kalite sınıfları, organik üretim sertifikaları ve tüketicilerin hem pazara uygun hem de yüksek kaliteli ürüne erişim talepleri doğrultusunda şekillenmektedir (Erbaş, 2024).

9. SONUÇ

Safran yetiştiriciliğinin tarihsel süreci, insanın doğayla kurduğu özel ilişkiyi, tarımsal bilginin kuşaktan kuşağa aktarımını ve ekonomik değer yaratan bir bitkinin evrimini yansıtmaktadır. Binlerce yıldır farklı uygarlıklar tarafından geliştirilen teknikler, günümüzde modern tarım yöntemleriyle harmanlanarak safranın sürdürülebilir üretimini mümkün kılmaktadır. Bu zengin tarih, safranın kültürel ve ekonomik değerini daha iyi anlamamıza yardımcı olurken, gelecekteki üretim stratejilerinin geliştirilmesi için de önemli ipuçları sunmaktadır. Safran, Ülkemizde tarih boyunca geleneksel tıpta terapötik amaçlarla ve tekstil boyacılığında doğal renk verici olarak kullanım potansiyeline sahip, yüksek değerli bir gıda katkı maddesi olarak

yetiştirilmektedir. Safranın, antikanser, antioksidan, aterosklerotik, afrodizyak, yaşlanma karşıtı ve hafıza, özellikle de bilme yetisi üzerine olumlu etkileri çalışmalarla ispatlanmıştır. Türkiye’de safran üretiminde istenilen seviyede değildir. Bunun nedenleri arasında; safran üretim teknolojisinin (makineli tarım), üretim tekniklerinin, üretimin maliyetli olması, yoğun bir işgücü gerektirmesi, uluslararası standardın belirleyici olması ve hasat sonrası işleme ve pazarlama tekniklerinin uygun olmaması sebepler arasında sayılabilmektedir. Safran altın ile mukayese edilen çok kıymetli bir bitkisel kaynağıdır. Durum böyleyken söz konusu bitki ticareti de diğer çoğu kıymetli madde gibi sıkı bir denetimde olmalıdır. Aksi takdirde zaten çok yaygın olan taklit ve tağşiş tüketici nezdinde ciddi güvensizlik oluşturmaktadır. Bu noktada ise örgütlenme ve yerel yönetimlerle işbirliğine gidilerek yapılacak denetim ve kontrollere çok önem verilmesi gerekmektedir. Safran Borsası oluşturulmasının ve kooperatifleşmeyle üreticiler tek bir çatı altında toplanıp, ürünlerini ellerinden çıkarabileceğinin garantisinin verilmesi, beraberinde milletlerarası pazarlamada optimum paketleme hem kolaylık hem de kalite temin edilmiş olacak. Bu durum, ürünün belirli bir kalite ve bileşim standardının sağlanması açısından da önemli katkılar sunacaktır. Türkiye’de yürütülen “Kadın Elinden Safran Projesi” gibi başarılı girişimler, Kütahya ve Osmaniye illerinde olumlu sonuçlar vermiştir. Benzer çalışmaların, özellikle kırsal alanlarda yaşayan kadın işgücünün katılımını artırarak gençler ve kadınlar için istihdam fırsatlarını genişletme ve dolayısıyla kadınların ekonomik refah düzeyini yükseltme potansiyeline sahip olduğu değerlendirilmektedir. Safranbolu özelinde, bölge turizminin önemli bir gelir kaynağı oluşturduğu göz önünde bulundurulduğunda, safran hem katma değeri yüksek bir tarımsal ürün hem de turistik ve kültürel değer taşıyan bir ürün olarak stratejik öneme sahiptir. Dünyada giderek yaygınlaşan safranlı bal, Safranbolu’nun bir diğer coğrafi işareti olan Safranbolu Safranlı Lokumu, sabun, kolonya, çeşitli kozmetik ürünler ve şekerlemeler (Safranlı akide) gibi ürünler, bölgesel turizm ve kültürel pazarlama bağlamında daha fazla ön plana çıkarılarak ekonomik ve kültürel fayda sağlanabilir.

Üniversiteler ve araştırma kuruluşları yeni deneme alanları oluşturarak daha iyi çeşit geliştirmek için projeler ortaya koymalıdır. Safran tarımında toprak hazırlığından başlanarak tohum dikimi ve tüm bakımları buna ek olarak hasat, kurutma ve paketleme aşamalarının tümü konusunda ulusal ve

uluslararası standartlara göre üreticilere her aşaması için ciddi manada makineli tarımı teşvik edici şekilde eğitim verilmesi gerekmektedir. Tarım Bakanlığı tarafından safran üreten işletmelere iyi bir gelir sağlaması noktasında üretim desteği vermesi de üretimi teşvik anlamında katkı sağlayacaktır. Kooperatifleşme ile tohum tedarik ve pazarlama daha kolay hale gelecektir.

KAYNAKÇA

- Abdullaev, F.I. (2002), Safranin Özellikleri Kanserin Önlenmesi ve Tümör Hücreleri Öldürme, *Experimental Biology and Medicine*, 227 (1), 20-25.
- Abdullaev, F.I., Espinosa-Aguirre, J.J. (2004), Biomedical Properties Of Saffron And Its Potential Use in Cancer Therapy and Chemoprevention Trials, *Cancer Detection and Prevention*, 28, 426-432.
- Alonso, G. L., Varon, R., Salinas, M. R., & Navarro, F. (1993). Auto-oxidation of crocin and picrocrocine in saffron under different storage conditions. *Bollettino chimico-farmaceutico*, 132(4), 116-120.
- Amin, A., Hamza, A.A., Bajbouj, K., Ashraf, S., Daoud, S. (2011), Saffron: A Potential Candidate for A Novel Anticancer Drug Against Hepatocellular Carcinoma, *Hepatology*, 54(3), 857-867.
- Arslan, R., (2019). “Cumhuriyet Dönemi’nde Safranbolu’da Safran Yetiştiriciliği (1923-1990)”, *Uluslararası Geçmişten Günümüze Karabük ve Çevresinde Dini, İlmi ve Kültürel Hayat Sempozyumu*, 11 – 12 Ekim 2019, Karabük Üniversitesi Yayınları – 51, s. 589 – 597, Karabük.
- Basker, D., Negbi, M., (1983). “Uses of Saffron”, *Economic Botany*, Vol. 37, Issue: 2, pp. 228 – 236.
- Başer, K.H.C., (2014). “Safran (*Crocus sativus* L.)”, *BağBahçe* (Çevre, Bahçe, Çiçek Dergisi), Sayı: 52, s. 30 – 31, İstanbul.
- Baydar, H (2016). *Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Bilimi ve Teknolojisi* (Genişletilmiş 5. Baskı). Süleyman Demirel Üniversitesi Yayın No: 51 (ISBN: 975-7929-79-4).
- Baytop, T., (1999). *Türkiye’de bitkiler ile tedavi geçmişte ve bugün*. İstanbul: Nobel Tıp Kitapevleri.
- Baytop, T., (1984). *Türkiye’de Bitkiler İle Tedavi*, İstanbul Üniversitesi Yayınları, No:3255, İstanbul.
- Benschop, M. (1993). *Crocus*. In *The physiology of flower bulbs*; Chap. 19. de Hertog, A.; Le Nard, M.; Eds.; Elsevier Publishers: Amsterdam, The Netherlands, 257-272

- Caiola, M.G., Canini, A., (2010). “*Looking for Saffron’s (Crocus sativus L.) Parents*”, Functional Plant Science and Biotechnology, Global Science Books, pp. 1 – 14.
- Cardone, L., Castronuovo, D., Perniola, M., Cicco, N., Candido, V., (2020). “Saffron (*Crocus sativus L.*), the King of Spices: An overview”, *Scientia Horticulturae*, Vol. 272, pp. 1 – 13.
- Ceylan, Ö. (2005), *Taşranın Altın Çiçeği Safran, Osmanlı Tarihi Araştırmaları XXVI*, Prof. Dr. Mehmet Çavuşoğlu’na Armağan II, İstanbul. s. 2-11.
- Çınar, A.S., Önder, A., (2019). “Anadolu’nun Kültürel Mirası: *Crocus sativus L.* (Safran)”, *FABAD Journal of Pharmaceutical Sciences*, Vol. 44, Issue: 1, pp. 79 – 88, Ankara.
- Davis, P.H; Mill R. R; Kit, T., (1988), *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*, Volume: 10, University of Edinburgh, Edinburgh.
- Dhar, A. K. (1990). *Saffron breeding and agrotechnology-A status report*. PAFAI J, 12, 18-22.
- Dhar, A. K. (2000). *Saffron: biology, utilization, agriculture, production and quality*. *Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences*, 22(1B), 355-360.
- Duke, J. A. (1979). *Ecosystematic data on economic plants. Quarterly journal of crude drug research*, 17(3-4), 91-109.
- Erbaş, S., (2024). “*Safran Tarımı ve Endüstrisi Fizibilite Raporu*”, Batı Akdeniz Kalınma Ajansı, Yayın No:152, s. 21-47: 55.
- Erdemir, D. A. (2001). *Şifalı bitkiler*. İstanbul: Alfa Yayınları.
- Eser Ünalı, Ü., (2007). “Tehdit ve Tehlike Altında Bir Kültür Bitkisi: Safran (*Crocus sativus L.*)”, *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Cilt: 17, Sayı: 2, s. 53 – 67, Elazığ.
- Ferrence, S.C., Bendersky, G., (2004). “Therapy with Saffron and the Goddess at Thera”, *Perspectives in Biology and Medicine*, Volume 47, Number 2, Spring 2004, pp. 199 – 226, Johns Hopkins University Press.
- Fernández, J. A. (2004). *Biology, biotechnology and biomedicine of saffron. Recent research developments in plant science*. Vol. 2, 127-159.
- Ganai, M. R., Wani, M. A., & Zargar, G. H. (2000). *Characterization of saffron growing soils of Kashmir*. *Applied Biological Research*, 2(1/2), 27-30.
- Gresta, F., Lombardo, G.M., Siracusa, L., Ruberto, G., (2008). “*Saffron, an alternative crop for sustainable agricultural systems. A review*”,

- Agronomy for Sustainable Development, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 28 (1), pp. 95 – 112.
- Goliaris, A.H., (2006). “Saffron Cultivation in Greece”, Saffron (*Crocus sativus* L.), *Medicinal and Aromatic Plants-Industrial Profiles*, Vol. 8, Chapter 7, (Ed. Moshe Negbi), Harwood Academic Publishers, pp. 73 – 85, Netherlands.
- Göktürk, E., Asil H. (2018), Hatay/Kırıkhan’da Yetiştirilen Safran (*Crocus sativus* L.) *Stigmasının Ekstraktının GC-MS Analizi*, Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 5(3), 317 – 321.
- Jalali, A.K. (1962). *Saffron in Kashmir*. Prajna, 7, 205-211.
- Kanakis, C.D., Daferera, D.J., Tarantilis, P.A, Polissiou, M.G. (2004), Qualitative Determination of Volatile Compounds and Quantitative Evaluation of Safranal and 4-hydroxy-2,6,6- trimethyl-1-cyclohexene-1-carboxaldehyde (HTCC) in Greek Saffron, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(14), 4515-4521.
- Kendir, G., Güvenç, A. (2010). Etnobotanik ve Türkiye’de yapılmış etnobotanik çalışmalara genel bir bakış. *Hacettepe Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi*, 30(1): 49-80.
- Khazdair, M.R., Boskabady, M.H., Hosseini, M., Rezaee, R., Tsatsakis, A. (2015), The Effects Of *Crocus Sativus* (Saffron) and Its Constituents on Nervous System: A Review, *Avicenna Journal of Phytomedicine*, 5(5), 376-91.
- Koyuncu, M., Güvenç, A., (1997). “Ülkemizde Safran Üretimi Terk Mi Ediliyor?”, *XI. Bitkisel İlaç Hammaddeleri Toplantısı*, 22 – 24 Mayıs 1996, (Ed. Prof. Dr. Maksut Coşkun), Ankara Üniversitesi 50. Yıl, Bildiri Kitabı, s. 522 – 533, Ankara.
- Lunsford, C., Zenger, J., (2009). “*Saffron / Cultural Knowledge Report*”, Human Terrain System – Research Reachback Center, Tracking Number: RRC-AF2-09-0007, pp. 24.
- Madan, C. L., Kapur, B. M., Gupta, U. S., (1966). “Saffron”, *Economic Botany*, Vol. 20, Issue: 4, pp. 377 – 385.
- Mathew, B. (1999). Botany, taxonomy and cytology of *C. sativus* L. and its allies. Ed. Moshe Negbi. In *Saffron, Crocus sativus* L. (ss. 19-30). Taylor & Francis Library.

- Mokhtari-Zaer, A., Khazdair, M.R., Boskabady, M.H. (2015), Smooth Muscle Relaxant Activity of *Crocus sativus* (saffron) and Its Constituents: Possible Mechanisms. *Avicenna Journal of Phytomedicine*, 5(5), 365-75.
- Molina, R. V., Valero, M., Navarro, Y., Guardiola, J. L., Garcí'a-Luis, A. (2005). Temperature effects on flower formation in saffron (*Crocus sativus* L.), *Scientia Horticulturae*, (103): 361- 379.
- Mousavi, S.Z., Bathaie, S.Z., (2011). "Historical Uses of Saffron: Identifying potential new avenues for modern research", *Avicenna Journal of Phytomedicine*, Vol. 1, No. 2, pp. 57 – 66, Iran.
- Mzabri, I., Addi, M., Berrichi, A., (2019). "Traditional and Modern Uses of Saffron (*Crocus sativus* L.)", *Cosmetics*, Vol. 6, Issue: 4, pp. 1 – 11, Switzerland.
- Negbi, M., Dagan, B., Dror, A., Basker, D. (1989). Growth, flowering, vegetative reproduction and dormancy in the saffron crocus (*Crocus sativus* L.). *Israel Journal of Botany*, (38): 95-113.
- Özdemir, Ü., (2001). "Safranbolu ve Safran Tarımı", *Doğu Coğrafya Dergisi*, Cilt: 7, Sayı: 5, s. 296 – 308, Erzurum.
- Özel, A., Erden, K., (2005). "Harran Ovası Koşullarında Yerli ve İran Safranı (*Crocus sativus* L.)'nın Verim ve Bazı Bitkisel Özelliklerinin Belirlenmesi", *GAP IV. Tarım Kongresi*, 21 – 23 Eylül 2005, Cilt: 1, s. 793 – 798, Şanlıurfa.
- Paşayeva, L., Tekiner, H., (2014). "Türk-İslam Tıbbında Safranın Yeri", *Lokman Hekim Dergisi*, Cilt: 4, Sayı: 3 (Özel Sayı), s. 11 – 15, Mersin.
- Pitsikas, N. (2015), The Effect of *Crocus sativus* L. and Its Constituents on Memory: Basic Studies and Clinical Applications, *Evid Based Complement Alternatative Medicine*, 2015, 926284.
- Pitsikas, N. (2016), Constituents of Saffron (*Crocus sativus* L.) as Potential Candidates for The Treatment of Anxiety Disorders and Schizophrenia, *Molecules*, 21(3), s. 303.
- Sadati, S.N., Ardekani, M.R., Ebadi, N., Yakhchali, M., Dana, A.R., Masoomi, F., Khanavi, M., Ramezany F. (2016), Review of Scientific Evidence of Medicinal Convoy Plants in Traditional Persian Medicine, *Pharmacognosy Review*, 10(19), 33-8.

- Shinde, D.A., Talib, A.R., Gorantiwar, S.M. (1984). *Composition and classification of some typical soils of saffron growing areas of Jammu and Kashmir*. J. Indian Soc. Soil Sci., 32, 473-477.
- Surgun Acar, Y., İşkil, R., Bürün, B., (2017). “Safran (*Crocus sativus* L.) Bitkisinde Biyoteknolojik Çalışmalar”, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enst. Dergisi*, 7(2), s. 259 – 268, Iğdır.
- Şahin, G. (2021). *Tarihsel Süreçte Safran (Crocus sativus L.) ve Safranın Günümüzdeki Durumu*, Uluslararası Anadolu Sosyal Bilimler Dergisi, s. 181-206: 208.
- Tantry, M.A., (2017). “Saffron Production in Jammu and Kashmir (A test with Cobb-Douglas production function model)”, *International Journal of Humanities & Social Science Studies (IJHSSS)*, A Peer-Reviewed Bi-monthly Bi-lingual Research Journal, Volume-IV, Issue-I, July 2017, Page No. 352-359, India.
- UNIDO, (2014). “Saffron Industry Value Chain Development in Iran Diagnostic Study Report”, Project Number: SAP ID 120595, United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), pp. 72, İran.
- Vafabakhsh, J., Mokhtarian, A., Rahimi, H., Ahmadian, J., (2010). “Investigation of Correlations between Saffron Flowering Pattern and Climatological Parameters under Different Levels of Irrigation and Planting Depth”, *III. International Symposium on Saffron: Forthcoming Challenges in Cultivation, Research and Economics*, ISHS Acta Horticulturæ 850, pp. 145 – 147, Kozani, Greece.
- Yıldız, Y., (2017). “Tekirdağ Koşullarında Safran (*Crocus sativus* L.)’ın Verim ve Bazı Bitkisel Özelliklerinin Belirlenmesi”, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, s. 51, Tekirdağ.
- Zhang, Z., Wang, C.Z., Wen, X.D., Shoyama, Y., Yuan, C.S. (2013), Role of Saffron and Its Constituents on Cancer Chemoprevention, *Pharmaceutical Biology*, 51(7), 920-924.
- Zheng, J., Zhou, Y., Li, Y., Xu, D.P., Li, S., Li, H.B. (2016), Spices for Prevention and Treatment of Cancers, *Nutrients*, 12 (8), s.8.

Web Kaynakları:

<http://www.karabuk-tarim.gov.tr/tarimsal/tprofil.php>).

BÖLÜM 6

TARIMDA YAPAY ZEKÂ UYGULAMALARI, SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Prof. Dr. Tamer ERYİĞİT¹,

Doç. Dr. Fevzi ALTUNER¹,

Doç. Dr. Ali Rahmi KAYA²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17638454>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Gevaş Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Van-Türkiye,

Orcid ID: 0000-0001-5069-8206, e-mail: tamereryigit@yyu.edu.tr

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Gevaş Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Van-Türkiye,

Orcid ID: 0000-0002-2386-2450, e-mail: fevzaltuner@yyu.edu.tr

² Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye,

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0003-0318-6034>, e-mail: alirahmikaya@ksu.edu.tr

GİRİŞ

Küresel ölçekte artan nüfus, hızla değişen iklim koşulları ve doğal kaynakların giderek azalması, tarımsal üretimde verimlilik, sürdürülebilirlik ve gıda güvenliği konularını her zamankinden daha kritik hâle getirmiştir. Bu zorluklar karşısında, tarım sektörünün geleneksel yöntemlerden dijital dönüşüme yönelmesi kaçınılmaz bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır. Yapay zekâ, büyük veri, nesnelerin interneti (IoT) ve makine öğrenmesi gibi ileri teknolojilerle entegre edildiğinde, tarımsal sistemlerin verimliliğini artırma, kaynak kullanımını optimize etme ve çevresel etkileri minimize etme potansiyeline sahiptir (Kisliuk vd., 2023; Aijaz vd., 2025). Özellikle yapay zekâ tabanlı karar destek sistemleri, sulama, gübreleme ve pestisit uygulamalarında hassas yönetim imkânı sunarak hem üretim maliyetlerini düşürmekte hem de çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir (Mana vd., 2024; Ozdemir, 2025). Bu kapsamda yapay zekânın tarıma entegrasyonu yalnızca üretim süreçlerinin dijitalleşmesini değil, aynı zamanda iklim değişikliğine karşı dirençli, verimli ve sürdürülebilir bir tarım modelinin inşasını da mümkün kılmaktadır (Kumari vd., 2025; Weraikat vd., 2024).

Yapay zekâ destekli hassas tarım uygulamaları, verimi artırma, kaynak kullanımını optimize etme ve çevresel sürdürülebilirliği güçlendirme potansiyeliyle öne çıkmaktadır (Kisliuk vd., 2023; Aijaz vd., 2025). Örneğin, yapay zekâ tabanlı karar destek sistemleri sulama yönetimini optimize ederek su tüketimini azaltmakta ve kaynak verimliliğini önemli ölçüde arttırmaktadır (Mana vd., 2024). Nitekim Kaliforniya bağlarında yapılan bir uygulamada, bu sistemlerin verimde %25 artış ve su kullanımında %20 tasarruf sağladığı rapor edilmiştir (Aijaz vd., 2025). Bu bulgular, yapay zekânın su yönetimi ve verimlilik üzerindeki olumlu etkilerini ortaya koyan önceki çalışmalarla da tutarlıdır (Victoire vd., 2023; Mana vd., 2024; Ye vd., 2024).

Literatürdeki benzer araştırmalar, yapay zekâ tabanlı hassas tarım teknolojilerinin yalnızca verimi arttırmakla kalmayıp, aynı zamanda su ve gübre gibi girdilerin kullanımını azaltarak sürdürülebilir üretimi desteklediğini göstermektedir (Gangwani, 2024; Ozdemir, 2025). Ayrıca, yapay zekâ destekli tahmin ve izleme modelleri, gübre ve pestisit uygulamalarının zamanlaması ile miktarını optimize ederek çevresel etkilerin azaltılmasında kritik bir rol oynamaktadır (Sharma vd., 2020; Akter, 2024; Ozdemir, 2025). Bu teknolojik entegrasyon, tarımsal sistemlerin iklim değişikliğine karşı direnini

artırmakta ve dolayısıyla gıda güvenliğine doğrudan katkı sağlamaktadır (Kumari vd., 2025).

Yapay zekânın tarımsal verimlilik ve kaynak kullanımını iyileştirme potansiyeli, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada kilit bir unsur olarak değerlendirilmektedir (Ndlovu vd., 2024; Aijaz vd., 2025). Veri analitiği ve karar destek sistemlerinin entegrasyonu, gıda üretiminde artış sağlarken kaynak verimliliğini yükseltmekte ve atık miktarını azaltmaktadır (Weraikat vd., 2024; Sanyaolu & Sadowski, 2024; Getahun vd., 2024; Aijaz vd., 2025). Özellikle makine öğrenmesi temelli modellerin toprak verimliliği ve gübre dozajını doğru biçimde tahmin edebilmesi, tarımsal faaliyetlerin çevresel ayak izini küçülterek sürdürülebilir üretime katkıda bulunmaktadır (Ali vd., 2025; Botero-Valencia vd., 2025). Buna ek olarak, yapay zekâ destekli öngörü modelleri, sulama döngülerini önceden planlayarak kuraklık riskini azaltmakta ve iklim koşullarına duyarlı karar mekanizmalarını güçlendirmektedir (Ganeshkumar vd., 2023; Ahsen vd., 2025). IoT ile entegre edilen akıllı sensör ağları, gerçek zamanlı toprak nemi ve hava durumu verilerini analiz ederek su kullanım verimliliğini %20–50 oranında artırarak hem su tasarrufu hem de ürün kalitesi ve veriminde belirgin iyileşmeler sağladığı bildirilmektedir (Alahmad vd., 2023; Dong vd., 2024; Kim & AlZubi, 2024; Mansoor vd., 2025).

Genel olarak, yapay zekâ destekli veri analitiği ve IoT tabanlı sensör ağları, 2050 yılına kadar öngörülen %70’lik küresel gıda talebini karşılayabilmek için tarımsal üretkenliği arttırmakta ve kaynak kullanımını optimize etmektedir (Assimakopoulos vd., 2024; Kumari vd., 2025). Bu dijital dönüşüm süreci, tarımda maliyetleri %23’e kadar düşürürken atık miktarını %5 oranında azaltmakta ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine doğrudan katkı sağlamaktadır (Sridhar vd., 2023). Sonuç olarak, yapay zekâ destekli sensör ağları ve veri analitiği, enerji tüketimini azaltarak çevresel ayak izini küçültmekte ve sürdürülebilir tarımsal üretim için güçlü bir yol haritası sunmaktadır (Garske vd., 2021; Weraikat vd., 2024).

1. YAPAY ZEKÂ VE TEMEL TEKNOLOJİLERİ

Yapay zekâ, bilgisayar sistemlerinin insan benzeri zekâ yeteneklerini sergilemesini sağlayan bilimsel ve mühendislik bir alandır. Bu yetenekler; öğrenme, problem çözme, algılama ve dil anlama gibi çeşitli disiplinleri kapsar. Yapay zekânın temelini oluşturan birçok teknoloji bulunmaktadır. Tarımda

yapay zekânın yükselen rolü, makine öğrenmesi, derin öğrenme, nesnelerin interneti ve uzaktan algılama gibi temel bileşenlerin entegrasyonu ile şekillenmektedir. Bu teknolojiler, veri toplama ve analiz süreçlerini otomatikleştirerek akıllı tarımın temelini oluşturur.

1.1. Makine Öğrenmesi (Machine Learning – ML), Derin Öğrenme (Deep Learning – DL)

Bu algoritmalar, tarımsal verilerden öğrenerek hastalık tespiti, verim tahmini ve kaynak optimizasyonu gibi alanlarda kritik kararlar alınmasına yardımcı olur. Örneğin, konvolüsyonel sinir ağları ve uzun-kısa vadeli bellek modelleri, tarımsal veri akışlarına entegre edilerek hastalık öncesi teşhis ve verim tahmini doğruluğunu artırır, böylece su ve kimyasal girdilerin daha hassas dağıtımına imkân tanır (Nautiyal vd., 2025). Bu entegrasyon, nesnelerin interneti tabanlı sensör ağlarıyla birleştiğinde gerçek-zamanlı veri akışı sağlayarak sulama ve gübreleme stratejilerini dinamik olarak optimize eder ve böylece kaynak verimliliği daha da artırılır (Alkhafaji vd., 2024).

Makine öğrenmesi, bilgisayar sistemlerinin açıkça programlanmaksızın verilerden otomatik olarak öğrenmesini sağlayan algoritmaların geliştirilmesine odaklanır. Bu algoritmalar, deneyimlerden yola çıkarak performanslarını iyileştirme ve kararlar alma kapasitesine sahiptir (Matsangidou vd., 2021). ML'nin temel amacı, girilen verileri analiz ederek kalıpları ve eğilimleri belirlemek, bu verilerle çıktı değerini güvenilir bir aralıkta tahmin edebilen ve geçmiş deneyimlerinden öğrenen algoritmik yapılar oluşturmaktır (Aziz vd., 2018). Makine öğrenmesi, genellikle denetimli öğrenme, denetimsiz öğrenme ve pekiştirmeli öğrenme gibi üç ana türe ayrılır. Denetimli öğrenme, etiketlenmiş veri setleriyle sınıflandırma ve regresyon problemlerini çözerken, denetimsiz öğrenme kümeleme ve boyut azaltma gibi tekniklerle verilerdeki gizli yapıları keşfeder. Pekiştirmeli öğrenme ise, bir ajanın bir ortamda eylemler gerçekleştirerek ve bu eylemlerin sonuçlarını gözlemleyerek optimum stratejiyi öğrenmesini içerir (Zaripova vd., 2023).

Derin öğrenme, insan beyninin yapısından esinlenerek tasarlanmış çok katmanlı yapay sinir ağlarını kullanır (Azizov vd., 2024). Bu ağlar, karmaşık veri temsillerini hiyerarşik düzeylerde öğrenerek özellikle görüntü, ses ve metin tanıma gibi zorlu görevlerde üstün başarılar elde etmiştir (Alam vd., 2020). Derin öğrenme modelleri, büyük miktarda yapılandırılmamış veriyi işleme

kapasitesine sahip olup, özellikle otonom sistemlerde ve endüstriyel üretimde robotların görevlerini daha doğru ve esnek bir şekilde yerine getirmesini sağlar, (Soori vd., 2023). Ayrıca, tarımsal verilerin analiziyle hastalık tespiti ve kaynak optimizasyonu gibi alanlarda kritik kararlar alınmasına yardımcı olmaktadır (Zineb vd., 2023).

1.2. Doğal Dil İşleme (Natural Language Processing – NLP)

Doğal Dil İşleme, makinelerin insan dilini anlamasına, yorumlamasına ve üretmesine olanak tanıyan bir yapay zekâ dalıdır. Bu teknoloji, büyük miktardaki yapılandırılmamış metin verisinden anlamlı bilgiler çıkararak müşteri hizmetleri ve pazar araştırması gibi alanlarda önemli katkılar sağlar (Khurana vd., 2022). NLP, metin madenciliği, duygu analizi ve özetleme gibi geniş uygulama alanlarına sahiptir (Zhang vd., 2025). ChatGPT, Google Translate ve sesli asistanlar gibi popüler örnekleriyle insan-bilgisayar etkileşimini önemli ölçüde geliştirmiştir (Serrano vd., 2023).

1.3. Bilgisayarla Görü (Computer Vision)

Bilgisayarla görü, makinelerin dijital görüntülerden veya videolardan anlamlı bilgiler çıkarmasını, nesneleri tanımasını, sınıflandırmasını ve hareketleri izlemesini sağlayan bir alandır. Bu yetenek, sürücüsüz araçlar, endüstriyel denetim sistemleri ve güvenlik uygulamaları gibi çeşitli alanlarda büyük önem taşır (Sharma vd., 2018). Tarımda ürün tespiti ve tıpta tümör tespiti gibi özel uygulamaları da bulunmaktadır (Sahoo & Choudhury, 2023).

1.4. Robotik Sistemler ve Otomasyon (Robotic Systems and Otomation)

Robotik sistemler, fiziksel robotların tasarımı, inşası, işletimi ve çevreleriyle etkileşim kurmasını sağlayan teknoloji alanıdır (Xu, 2023). Yapay zekâ ile entegre olan robotlar, endüstriyel üretimde, sağlık hizmetlerinde cerrahi asistanlar olarak ve tarımsal faaliyetlerde otonom görevler üstlenerek önemli rol oynamaktadır (Johns vd., 2023). Robotik sistemler, hassas ekim, zararlı ot temizleme, hasat ve depolama gibi işlerde otomasyon sağlayarak işgücü maliyetlerini azaltır ve operasyonel verimliliği artırır. Bu robotik platformlar, konvansiyonel ekipmanlara göre daha esnek görev planlaması ve

gerçek-zamanlı çevresel adaptasyon sağlayarak sulama ve gübreleme gibi süreçlerde kaynak kullanımını daha da iyileştirir (Găitan vd., 2025; Sikka vd., 2024). Bulut-tabanlı yapay zekâ analitiğiyle bütünleşen bu robotik platformlar, üretim ölçeğini genişletirken veri-odaklı optimizasyon sayesinde enerji tüketimini ve işletme maliyetlerini daha da düşürür (Elbaşı vd., 2024).

1.5. Uzaktan Algılama ve Drone/Uydu Tabanlı Uygulamalar

İnsansız hava araçları (drone) ve uydu görüntüleme sistemleri, çok spektral sensörlerle tarlaların geniş alanlarını analiz eder. Bu sayede, bitki sağlığı, büyüme durumu ve su ihtiyacı gibi veriler toplanır (Agrawal & Arafat, 2024). Yapay zekâ destekli su ihtiyacı modelleriyle birleştirilen bu görüntüler, sulama programlarının uzaktan ve hassas bir şekilde optimize edilmesine olanak tanır. Bulut bilişim altyapısı üzerinde çalışan yapay zekâ modelleri, toprak nemi ve iklim verilerini analiz ederek tarla bazında dinamik sulama zamanlaması üretir ve böylece su tüketimini maksimum verimlilikle minimize eder (Issa vd., 2024; Alazzai vd., 2024).

1.6. Uzman Sistemler (Expert Systems)

Uzman sistemler, belirli bir uzmanlık alanındaki bilgiyi kullanarak karar verme süreçlerini otomatikleştiren bilgisayar programlarıdır (Soori vd., 2024). Bu sistemler, insan uzmanların bilgi ve deneyimlerini modelleyerek karmaşık problemleri çözebilir. Tıbbi tanı sistemleri ve finansal danışmanlık yazılımları, uzman sistemlerin tipik örneklerindendir (Ashworth vd., 2025).

1.7. Konuşma Tanıma ve Üretimi (Speech Recognition & Synthesis)

Konuşma tanıma, insan sesini yazılı metne dönüştürürken, konuşma üretimi (sentezi) metinden doğal ses oluşturma sürecidir. Bu teknolojiler, sanal asistanlar, çağrı merkezleri ve dil öğrenme uygulamaları gibi alanlarda kullanıcı deneyimini zenginleştirmektedir (Sonthy, 2025).

1.8. Pekiştirmeli Öğrenme (Reinforcement Learning)

Pekiştirmeli öğrenme, bir ajanın bir ortamla etkileşim kurarak deneme-yanılma yoluyla en uygun stratejiyi öğrenmesini sağlayan bir ML paradigmasıdır (Tang & Yang, 2022). Bu yöntem, ajanın belirli durumlar

karşısında aldığı eylemler sonucunda ödüller veya cezalar alması prensibine dayanır ve zamanla en yüksek kümülatif ödülü elde edecek davranışları geliştirir (Sutton & Barto, 1998). Oyun oynayan yapay zekâlar ve otonom araçlar, pekiştirmeli öğrenmenin başarılı uygulamalarına örnek teşkil eder (Mankowitz vd., 2023).

1.9. Bulut Bilişim (Cloud Computing)

Bulut bilişim, yapay zekâ uygulamalarının gerektirdiği yüksek işlem gücü ve geniş depolama kapasitesi gibi altyapı ihtiyaçlarını karşılayan esnek ve ölçeklenebilir bir hizmet modelidir (Hakimi vd., 2024). Bu sayede yapay zekâ modelleri, büyük veri setlerini işleyebilir ve farklı coğrafi konumlardan erişilebilir hale gelir (Amajuoyi vd., 2024).

1.10. Büyük Veri (Big Data) Analitiği

Büyük veri analitiği, çok büyük ve karmaşık veri setlerinden anlamlı bilgiler, örüntüler ve eğilimler çıkarmayı amaçlar (Zaripova vd., 2023). Bu analizler, yapay zekâ algoritmalarının eğitilmesi ve öğrenme süreçlerinin beslenmesi için temel bir kaynak oluşturur (Almanasra, 2024). Yapay zekânın performansı, işleyebildiği veri miktarı ve kalitesiyle doğrudan ilişkilidir (Peng vd., 2024). Sensörlerden, uydulardan ve diğer kaynaklardan toplanan devasa veri setleri, büyük veri analitiği teknikleriyle işlenir. Bu analizler, çiftçilere dinamik adaptasyon imkânı sunarak sulama ve gübreleme kararlarının gerçek zamanlı olarak yeniden değerlendirilmesini sağlar. Yapay zekâ tabanlı tahminsel analitikler, girdilerin zamanlamasını ve miktarını dinamik olarak optimize ederek su ve gübre tüketimini daha da minimize eder. Bu birleşim, gerçek zamanlı sulama talep tahminleri üreterek su kullanımını daha verimli hâle getirir (Abdelmoneim vd., 2025; Parra-López vd., 2025). Ayrıca, IoT tabanlı sensör verilerinin bulut ortamında yapay zekâ destekli işlenmesi, enerji tüketiminde belirgin azalma ve operasyonel maliyetlerin düşürülmesine olanak tanır (Abioye vd., 2022; Et-taibi vd., 2024).

1.11. Nesnelerin İnterneti (IoT – Internet of Things) ve Sensör Teknolojileri

Nesnelerin interneti, fiziksel cihazların, sensörlerin ve diğer teknolojilerin internet üzerinden birbirine bağlanarak veri toplamasını ve

paylaşmasını sağlayan bir ağıdır. Yapay zekâ ile entegre edildiğinde, IoT, akıllı tarım, akıllı şehirler ve sağlık sistemleri gibi alanlarda çevresel verilerin gerçek zamanlı analizi ve otomatik karar alma süreçlerini mümkün kılar (Alahi vd., 2023). IoT tabanlı sensör ağları, gerçek zamanlı toprak nemi, hava durumu ve bitki sağlığı verilerini toplar. Bu veriler, bulut bilişim altyapıları üzerinden anlık olarak işlenir ve sulama, gübreleme stratejilerinin çevresel koşullara göre otomatik olarak yeniden kalibre edilmesini mümkün kılar. Akıllı toprak nem sensörlerinin yapay zekâ destekli tahmin modelleriyle birleştirilmesi, sulama zamanlamasını önceden belirleyerek su kullanımını daha verimli hale getirir. Bu entegre sistemler, büyük veri analitiği ve bulut tabanlı işleme platformlarıyla desteklenerek tarımsal kararların ölçeklenebilirliğini arttırmakta ve saha bazında adaptif yönetim stratejilerinin uygulanmasını mümkün kılmaktadır (Sakka vd., 2025; Hussein vd., 2024).

1.12. Bulanık Mantık (Fuzzy Logic)

Bulanık mantık, belirsizlik ve olasılık içeren durumlarla başa çıkmak için kullanılan, insan düşüncesinin yaklaşık akıl yürütme biçimini taklit eden bir yaklaşımdır. Kesin olmayan girdilerle bile makul sonuçlar üretebilmesi sayesinde, özellikle kontrol sistemlerinde (örneğin iklimlendirme ve sulama sistemlerinde) etkili bir şekilde uygulanır (Tang & Ahmad, 2024).

1.13. Veri Madenciliği (Data Mining)

Veri madenciliği, büyük veri setleri içindeki gizli örüntüleri, ilişkileri ve eğilimleri keşfetmek için kullanılan bir süreçtir (Gullo, 2015). Makine öğrenmesi algoritmalarıyla birlikte kullanıldığında, veri madenciliği, değerli bilgilerin çıkarılmasına ve gelecekteki davranışların tahmin edilmesine olanak tanır (Durand & Hattingh, 2020).

1.14. Bilgi Tabanlı Sistemler (Knowledge-Based Systems)

Bilgi tabanlı sistemler, belirli bir etki alanındaki bilgiyi temsil etme, bu bilgiden çıkarım yapma ve mantıksal sonuçlar üretme yeteneğine sahip yapay zekâ sistemleridir (Mocanu & Belle, 2023). Bu sistemler, genellikle uzman sistemlerin temelini oluşturur ve belirli problemleri çözmek için uzman bilgisini kullanır (Contreras & Vehí, 2018).

Bu teknolojilerin sensör verileriyle birleştirilmesi, karar destek sistemlerinin doğruluk payını artırarak sulama, gübreleme ve hastalık yönetiminde dinamik optimizasyon imkânı sunmaktadır. Bu entegrasyon, veri odaklı hassas tarım uygulamaları sayesinde su ve kimyasal girdilerin verimli kullanımını destekleyerek çevresel etkileri azaltmaktadır.

2. GELENEKSEL TARIMIN SINIRLAMALARI VE VERİMLİLİK SORUNLARI

Geleneksel tarım yöntemleri, yüzyıllardır insanlığın gıda ihtiyacını karşılamış olsa da günümüzün hızla değişen küresel koşulları karşısında ciddi sınırlamalar ve verimlilik sorunları yaşamaktadır. Artan dünya nüfusu, iklim değişikliğinin getirdiği çevresel baskılar ve yükselen maliyetler, bu yöntemlerin sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir (Komarnytsky vd., 2021; Çakmakçı vd., 2024; Gil vd., 2024).

2.1. Artan Nüfus ve Gıda Talebi Karşısında Yetersizlik

Dünya nüfusunun sürekli artması, gıda üretimi üzerinde büyük bir baskı oluşturmaktadır. Geleneksel tarım yöntemleri, sınırlı verim potansiyelleri ve kaynak bağımlılıkları nedeniyle bu artan talebi karşılamakta zorlanmaktadır. Tarımsal arazilerin yetersizliği ve genişleme imkanlarının kısıtlı olması, birim alandan daha fazla ürün elde etme ihtiyacını doğururken, geleneksel yaklaşımlar bu konuda yetersiz kalmaktadır. Bu eksiklikler, çiftçilerin su, gübre ve iş gücü gibi kritik girdileri optimal seviyede kontrol etmelerini engelleyerek verim kaybına yol açmaktadır (Fuentes-Peñailillo vd., 2024; Hussein vd., 2024). Bu durum, özellikle su ve besin maddelerinin zamanlama ve miktarının optimum seviyelerde uygulanamamasına neden olarak üretim verimliliğini daha da düşürür. Bu bağlamda, gerçek zamanlı toprak ve iklim verilerinin eksikliği, geleneksel yöntemlerin girdileri optimal seviyede ayarlamasını engelleyerek verim kaybına yol açmaktadır (Alkhafaji vd., 2024; Makapela vd., 2025). Girdilerin alan genelinde eşit dağıtılması ve çevresel etkilerin göz ardı edilmesi nedeniyle toprak bozulması, su kirliliği ve biyolojik çeşitlilik kaybı gibi olumsuz sonuçları da beraberinde getirmektedir (Sanyaolu & Sadowski, 2024).

2.2. İklim Değişikliğinin Etkileri

İklim değişikliği, geleneksel tarımı doğrudan etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Kuraklık, aşırı yağışlar, sel felaketleri, sıcak hava dalgaları ve düzensiz mevsim geçişleri gibi ekstrem hava olayları, mahsul verimliliğini düşürmekte ve ürün kayıplarına yol açmaktadır.



Geleneksel tarım, bu tür değişkenliklere karşı düşük dirence sahip olduğu için, çiftçiler iklimsel belirsizlikler karşısında büyük risklerle karşılaşmaktadır (Bora vd., 2014; Shahzad vd., 2021; Semeraro vd., 2023). Bu belirsizlikler, çiftçilerin üretim planlamasını zorlaştırarak ekonomik istikrarı tehdit etmektedir. Bu bağlamda, verim artışını sürdürülebilir kılmak için entegre veri temelli yaklaşımların benimsenmesi kaçınılmaz hâle gelmektedir.

2.3. Çevresel Bozulma ve Kaynak Tüketimi

Geleneksel tarım uygulamaları, uzun vadede toprak verimliliğinin azalmasına, su kaynaklarının tükenmesine ve biyoçeşitliliğin kaybına neden olabilmektedir. Aşırı gübre ve pestisit kullanımı, toprak kirliliğine ve yeraltı sularının kirlenmesine yol açarken, erozyon ve toprak tuzluluğu gibi sorunlar tarım arazilerinin kalitesini düşürmektedir. Kontrolsüz sulama ise su kaynaklarının aşırı tüketimine ve su stresine neden olmaktadır (Tsoraeva vd., 2020; Zalidis vd., 2002). Dolayısıyla, sürdürülebilir üretim hedefleri doğrultusunda su tasarrufunu maksimize eden damla sulama ve akıllı zamanlama gibi modern sulama tekniklerinin benimsenmesi kaçınılmaz hale gelmektedir.

2.4. Düşük Kaynak Verimliliği

Geleneksel tarımda, genellikle su, gübre ve enerji gibi girdilerin verimli kullanımı konusunda eksiklikler bulunmaktadır. " Herkese aynı uygulama" yaklaşımı, tarlanın farklı bölgelerindeki özel ihtiyaçları göz ardı ederek kaynakların israfına yol açarak hem maliyetleri artırır hem de çevresel etkiyi büyütür (Finger vd., 2019; Sanyaolu & Sadowski, 2024; Kile vd., 2025). Bu durum, su ve besin maddelerinin eşit dağıtılamamasıyla yeraltı suyu kirliliği ve

toprak erozyonu riskini yükselterek çevresel bozulmayı derinleştirmektedir (Wu vd., 2023; Kareska, 2025). Bu bağlamda, sürdürülebilir tarıma geçiş, artan nüfus baskısını karşılamak ve ekosistem hizmetlerini korumak için zorunlu bir strateji olarak ortaya çıkmaktadır (Parra-López vd., 2024).

2.5. Yüksek İşçilik Maliyetleri ve İşgücü Kısıtlamaları

Tarımda işgücüne olan bağımlılık, özellikle gelişmiş ülkelerde işçilik maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Genç nüfusun kırsal alanlardan şehirlere göç etmesiyle tarım sektöründe deneyimli işgücü bulmak giderek zorlaşmaktadır. Bu durum, hasat, ekim ve bakım gibi süreçlerde operasyonel zorluklar yaratmakta ve üretimi aksatmaktadır (Berk, 2018; Tong vd., 2024) Bu bağlamda, küçük ölçekli çiftçilerin teknolojiye erişimini artırmak, sürdürülebilir uygulamaları teşvik etmek ve eğitim eksikliklerini gidermek için politika müdahaleleri, sübvansiyon reformları ve topluluk temelli destek programları gereklidir (Kareska, 2025).

2.6. Hastalık ve Zararlı Yönetimindeki Sınırlamalar

Geleneksel yöntemlerle hastalık ve zararlılarla mücadele, genellikle yaygın kimyasal uygulamalara dayanmaktadır. Bu durum hem maliyetli olmakta hem de çevresel riskler taşımaktadır. Hastalık veya zararlıların erken tespiti ve lokalize müdahalesi konusunda yetersizlikler, büyük ölçekli ürün kayıplarına yol açabilmektedir (John vd., 2023; Wang vd., 2025) Bu bağlamda, hastalık ve zararlı yönetiminde yaygın kimyasal bağımlılığı, zamanla direnç gelişimine ve ekosistem üzerindeki olumsuz etkilere yol açarak sürdürülebilir tarımı tehdit etmektedir (Zerssa vd., 2023). Bu nedenle, gerçek zamanlı veri analitiği ve sensör temelli izleme sistemleri, hastalıkların erken teşhisi ve hedefli müdahalesini mümkün kılarak kimyasal bağımlılığını azaltabilir (Mansoor vd., 2025).

2.7. Pazara Erişim ve Değer Zinciri Sorunları

Küçük ölçekli geleneksel tarım yapan çiftçiler, genellikle pazara erişim, fiyatlandırma ve değer zinciri yönetimi konularında zorluklar yaşamaktadır. Aracılar nedeniyle ürünlerinin değerini tam olarak alamayabilir veya lojistik ve depolama sorunları nedeniyle ürünlerini kayıp yaşayabilirler. Bu durum, çiftçilerin gelirlerini düşürmekte ve tarımsal faaliyetlerini sürdürmelerini

zorlaştırmaktadır (Oberoi & Dinesh, 2019; Mbukanma vd., 2025). Bu sınırlamalar ve sorunlar, geleneksel tarımın gelecekteki gıda güvenliğini sağlamadaki yeteneğini sorgulamakta ve tarım sektöründe köklü değişikliklerin ve modern yaklaşımların benimsenmesini kaçınılmaz kılmaktadır. Bu geçişi desteklemek amacıyla, veri standardizasyonu, kapsamlı eğitim programları ve işgücünün yeniden beceri kazandırılması gibi politika odaklı önlemler hayati öneme sahiptir (Yu, 2024). Bu bağlamda, dijital pazarlama platformları ve blokzincir tabanlı izlenebilirlik sistemlerinin entegrasyonu, küçük ölçekli çiftçilerin doğrudan tüketiciye ulaşmasını sağlayarak araçlara bağımlılığı azaltabilir (Dhillon & Moncur, 2023). Bu süreçte yapay zekâ tabanlı fiyat tahmini ve talep analitiği, çiftçilere optimal satış stratejileri sunarak gelir istikrarını güçlendirebilir (Dhillon & Moncur, 2023).

3. YAPAY ZEKÂ VE TEKNOLOJİLERİN TARIMDA YÜKSELEN ROLÜ

Tarımda yapay zekânın yükselişi, küresel gıda güvenliği ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada kritik bir rol oynamaktadır. Makine öğrenmesi, derin öğrenme, nesnelerin interneti ve uzaktan algılama gibi teknolojilerin entegrasyonu ile tarım sektörü, daha verimli, çevre dostu ve dirençli bir yapıya bürünmektedir.

3.1. Yapay Zekâ ve Tarıma Entegrasyonu

Yapay zekâ destekli hassas tarım, verim artırma ve kaynak kullanımını optimize etme potansiyeliyle sürdürülebilirlik hedeflerine doğrudan katkı sağlamaktadır (Alkhafaji vd., 2024). Özellikle yapay zekâ temelli karar destek sistemleri, sulama yönetimini optimize ederek su tüketimini önemli ölçüde azaltmakta ve kaynak verimliliğini güçlendirmektedir (Sanyaolu & Sadowski, 2024). Yapay zekâ destekli veri analitiği, 2050 yılına kadar beklenen %70'lik küresel gıda talebini karşılamak üzere tarımsal verimliliği artırarak sürdürülebilir üretimi mümkün kılmaktadır (Assimakopoulos vd., 2024). Bu dijitalleşme süreci, tarımda maliyetleri %23 azaltırken orta seviyedeki atık miktarını %5 düşürerek sürdürülebilir kalkınma hedeflerine doğrudan katkı sağlamaktadır (Sridhar vd., 2023).

3.2. Hassas Tarım ve Kaynak Yönetimi

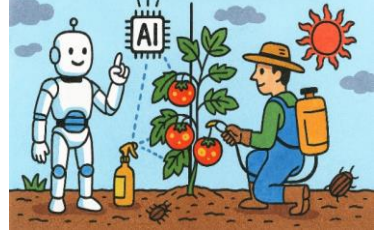
Yapay zekâ destekli hassas tarım uygulamaları, girdilerin hedefli kullanımını sağlayarak verimliliği artırmakta, su ve kimyasal tüketimini azaltmakta ve böylece sürdürülebilir kalkınma hedeflerine doğrudan katkı sunmaktadır (Getahun vd., 2024). Makine öğrenmesi tabanlı gerçek zamanlı veri analizleri, kaynak kullanımını dinamik olarak ayarlayarak atık miktarını ve çevresel etkileri azaltmakta; bu entegrasyon, iklim değişikliğine karşı tarımsal dirençliliği güçlendirerek gıda güvenliğine önemli katkılar sağlamaktadır. Ayrıca, makine öğrenmesine dayalı toprak verimliliği ve gübre dozajı tahminlerinin yüksek doğruluğu, tarımsal üretimin çevresel ayak izini küçülterek sürdürülebilir üretimi desteklemektedir (Singh ve Sharma, 2025).

Yapay zekâ destekli görüntü işleme ve derin öğrenme algoritmaları, hastalık ve zararlıların erken tespiti için otomatik saha taramaları gerçekleştirerek geleneksel görsel inceleme süreçlerinin zaman ve maliyet sınırlamalarını ortadan kaldırmaktadır. Bu durum, özellikle küçük ölçekli çiftçilerin kimyasal bağımlılığını azaltarak sürdürülebilir üretim kapasitesini artırmaktadır (Marco-Detchart vd., 2023). Aynı zamanda yapay zekâ tabanlı karar destek sistemleri, su ve gübre gibi girdilerin optimal dağılımını sağlayarak hem çevresel etkileri azaltmakta hem de üretim verimliliğini yükseltmektedir. Bununla birlikte, veri kalitesinin artırılması ve çiftçilerin yapay zekâ teknolojilerini etkin biçimde kullanabilme yetkinliklerinin geliştirilmesi, bu sistemlerin uzun vadeli ve sürdürülebilir entegrasyonu açısından kritik öneme sahiptir. Bu kapsamda Avrupa Birliği'nin 2023-2027 Ortak Tarım Politikası (OTP) stratejik planı, çiftçilerin yapay zekâ tabanlı karar destek sistemlerine erişimini kolaylaştırmak amacıyla dijital altyapı yatırımları ve sübvansiyonel destekler sunarak ölçek ekonomilerinin oluşturulmasına yönelik somut adımlar atmaktadır (Batistatos vd., 2025).

IoT ve yapay zekâ tabanlı akıllı sensör ağları tahmin ve karar destek sistemleri, pestisit kullanımını azaltarak toprak sağlığını korumakta; girdilerin zamanlamasını ve miktarını dinamik olarak ayarlayarak su ve pestisit tüketimini daha da düşürmekte ve tarımsal üretimin çevresel ayak izini küçültmektedir (Sharma vd., 2023; Sharma ve Shivandu, 2024).

3.3. Bitki Hastalıkları ve Zararlılarla Mücadele

Yapay zekâ destekli görüntü işleme ve derin öğrenme algoritmaları, hastalık ve zararlıların erken tespiti için otomatik saha taramaları gerçekleştirerek geleneksel görsel inceleme süreçlerinin maliyet ve zaman kısıtlamalarını ortadan kaldırmaktadır (Wang vd., 2025). Bu sayede özellikle küçük ölçekli çiftçilerin kimyasal bağımlılığını azaltarak sürdürülebilir üretime katkı sağlamaktadır (Marco-Detchart vd., 2023). Gerçek zamanlı veri analitiği ve sensör temelli izleme sistemleri, hastalıkların erken teşhisi ve hedefli müdahalesini mümkün kılarak kimyasal bağımlılığını azaltabilir (Gamage vd., 2024).



3.4. Verim Tahmini ve Erken Uyarı Sistemleri

Konvolüsyonel sinir ağları ve uzun-kısa vadeli bellek modellerinin tarımsal veri akışlarına entegrasyonu, hastalık öncesi teşhis ve verim tahmini doğruluğunu artırarak su ve kimyasal girdilerin daha hassas dağıtımına imkân tanımakta ve böylece çevresel ayak izinin önemli ölçüde küçülmesine katkı sağlamaktadır (Nautiyal vd., 2025). Yapay zekâ destekli tahmin analitikleri ve uzaktan izleme sistemleri, çiftçilere gerçek zamanlı karar alma imkânı sunarak verimlilik artışı ve iklim risklerinin azaltılmasına katkı sağlar. Yapay zekâ tabanlı hasat tahmini ve optimal sulama zamanlaması gibi işlevler de eklenerek üretim planlaması daha kesin hale gelir ve kaynak verimliliği önemli ölçüde artar.



3.5. Tarımsal Robotlar ve Otomasyon

Robotik sistemler, hassas ekim, zararlı ot temizleme, hasat ve depolama gibi işlerde otomasyon sağlayarak işgücü maliyetlerini azaltır ve operasyonel verimliliği artırır (Moshayedi vd., 2024). Bu robotik platformlar, konvansiyonel ekipmanlara göre daha esnek görev planlaması ve gerçek

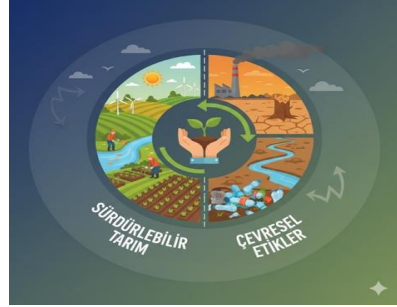
zamanlı çevresel adaptasyon sağlayarak sulama ve gübreleme gibi süreçlerde kaynak kullanımını daha da iyileştirir. Bulut tabanlı yapay zekâ analitiğiyle bütünleşen bu robotik platformlar, üretim ölçeğini genişletirken veri odaklı optimizasyon sayesinde enerji tüketimini ve işletme maliyetlerini daha da düşürür.

3.6. Tedarik Zinciri ve Talep Tahmini

Küçük ölçekli geleneksel çiftçiler, pazara erişim, fiyatlandırma ve değer zinciri yönetimi konularında zorluklar yaşamaktadır. Dijital pazarlama platformları ve blokzincir tabanlı izlenebilirlik sistemlerinin entegrasyonu, küçük ölçekli çiftçilerin doğrudan tüketiciye ulaşmasını sağlayarak aracılar bağımlılığı azaltabilir (Mwewa vd., 2024). Bu süreçte yapay zekâ tabanlı fiyat tahmini ve talep analitiği, çiftçilere optimal satış stratejileri sunarak gelir istikrarını güçlendirebilir.

3.7. Sürdürülebilir Tarım ve Çevresel Etkiler

Yapay zekâ destekli hassas tarım uygulamaları, girdilerin hedefli kullanımını sağlayarak verimliliği artırırken su ve kimyasal tüketimini azaltmakta; böylece sürdürülebilir kalkınma hedeflerine doğrudan katkı sunmaktadır (Gikunda, 2024). Makine öğrenmesi tabanlı gerçek zamanlı veri analizleri, kaynak kullanımını



dinamik biçimde ayarlayarak atıkları ve çevresel etkileri azaltmakta, aynı zamanda iklim değişikliğine karşı tarımsal dirençliliği güçlendirerek gıda güvenliğine önemli katkı sağlamaktadır. Toprak verimliliği ve gübre dozajı tahminlerinde kullanılan makine öğrenmesi modellerinin yüksek doğruluğu, tarımsal çevresel ayak izinin küçülmesine ve sürdürülebilir üretimin desteklenmesine olanak vermektedir.

Görüntü işleme ve derin öğrenme algoritmalarına dayalı yapay zekâ sistemleri, hastalık ve zararlıların erken tespiti için otomatik saha taramaları gerçekleştirerek geleneksel görsel inceleme süreçlerinin zaman ve maliyet kısıtlarını ortadan kaldırmaktadır. Bu sayede özellikle küçük ölçekli çiftçilerin

kimyasal girdilere bağımlılığı azalmakta ve sürdürülebilir üretim desteklenmektedir (Fedoroff, 2015; Dhillon ve Moncur, 2023). Ayrıca, yapay zekâ tabanlı karar destek sistemleri, su ve gübre gibi girdilerin optimal dağılımını sağlayarak çevresel etkileri azaltmakta ve verimliliği artırmaktadır (Gamage vd., 2024; Xu vd., 2024). Ancak, bu teknolojilerin etkin ve kalıcı biçimde uygulanabilmesi için veri kalitesinin artırılması ve çiftçilerin yapay zekâ okuryazarlığının geliştirilmesi kritik öneme sahiptir (Gikunda, 2024). Bu doğrultuda, Avrupa Birliği'nin 2023–2027 CAP stratejik planı, çiftçilerin yapay zekâ tabanlı karar destek sistemlerine erişimini kolaylaştırmak amacıyla dijital altyapı yatırımları ve sübvansiyonel destekler sunarak ölçek ekonomilerinin sağlanmasına yönelik somut adımlar atmaktadır (Batistatos vd., 2025). Benzer şekilde, Afrika'da küçük çiftçilerin verimliliklerini artırmak ve iklim dayanıklılığını güçlendirmek amacıyla yapay zekâ destekli karar destek sistemlerinin yaygınlaştırılması, sürdürülebilir tarım dönüşümünün temel itici gücü olarak değerlendirilmektedir (Ayed ve Hanana, 2021; Eze vd., 2025; Gikunda, 2024). Bu bağlamda, yapay zekâ destekli tahmin analitikleri ve uzaktan izleme sistemleri, çiftçilere gerçek zamanlı karar alma olanağı sunarak hem verimliliği yükseltmekte hem de iklim risklerini azaltmaktadır (Ampatzidis vd., 2025; Assimakopoulos vd., 2025). Ayrıca, hasat tahmini ve optimal sulama zamanlaması gibi yapay zekâ tabanlı uygulamalar, üretim planlamasını daha kesin hale getirerek kaynak verimliliğini önemli ölçüde artırmaktadır (Dhal ve Kar, 2024; Leybourne vd., 2024). Bu gelişmeler, veri odaklı karar verme süreçlerinin tarımsal sürdürülebilirlik performansını yükselterek su tasarrufu ve kimyasal kullanımının azaltılmasına yönelik kanıtları güçlendirmektedir (Linaza vd., 2021; Kumar vd., 2023). Son olarak, konvolüsyonel sinir ağları (KSA) ve uzun-kısa vadeli bellek (UKVB) modellerinin tarımsal veri akışlarına entegrasyonu, hastalık öncesi teşhis ve verim tahmini doğruluğunu artırmakta; böylece su ve kimyasal girdilerin daha hassas dağıtımını mümkün kılarak çevresel ayak izinin önemli ölçüde küçülmesine katkı sağlamaktadır (Botero-Valencia vd., 2025; Nautiyal vd., 2025).

4. HASSAS TARIM VE VERİM TAHMİNİ: TOPRAK ANALİZİ, BİTKİ SAĞLIĞI VE VERİM OPTİMİZASYONU

Akıllı sensör ağları ve konvolüsyonel sinir ağı tabanlı görüntü işleme teknikleri, toprak nemi, besin içeriği ve bitki stres göstergelerini gerçek zamanlı izleyerek verim tahminlerinin doğruluğunu arttırmakta ve karar destek sistemlerine dinamik girdiler sağlamaktadır (Siddique vd., 2025). Bu yaklaşımla, yapay zekâ destekli tahminsel modeller gerçek-zamanlı sensör akışlarını analiz ederek sulama zamanlamasını önceden planlayıp su tüketiminde belirgin tasarruf sağlar (Sobue, 2023; Issa vd., 2024). Bu bağlamda, gerçek-zamanlı veri akışı ve yapay zekâ tabanlı su ihtiyacı tahmin modelleri, sulama programlarını dinamik olarak yeniden yapılandırarak su kullanımını daha da azaltabilir (Babakhouya vd., 2023; Issa vd., 2024). Bu sistemlerin enerji tüketimini de optimize etmesi, akıllı pompaların ve zamanlamalı sulama ekipmanlarının koordinasyonu sayesinde enerji harcamalarında %30-40'lık tasarruf sağlayarak ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliği pekiştirir (Nsoh vd., 2024). Ayrıca, bulut-tabanlı büyük veri analitiği ve makine öğrenmesi modellerinin entegrasyonu, hastalık risk tahminlerini iyileştirerek pestisit kullanımını daha da azaltmakta ve böylece ekosistem üzerindeki olumsuz etkileri minimize etmektedir (Aijaz vd., 2025). Bu yaklaşımlar, yapay zekâ destekli robotik sistemlerin verimlilik ve kaynak tasarrufu konularındaki üstün performansını da pekiştirerek sürdürülebilir tarım hedeflerine katkı sağlamaktadır (Kali vd., 2024). Bu entegrasyon, robotik platformların bulut-tabanlı analitikleriyle birleşerek üretim verimliliğini artırırken enerji ve su tüketiminde ek %10-15 oranında iyileşme sağlamaktadır (Raj vd., 2024; Mana vd., 2024). Ayrıca, akıllı sensör verileriyle besin ihtiyacını önceden tahmin eden yapay zekâ tabanlı analitikler, gübre kullanımını önemli ölçüde azaltarak hem maliyetleri düşürür hem de toprak sağlığını korur (Aijaz vd., 2025). Bu entegrasyon, yalnızca su ve gübre verimliliğini artırmakla kalmayıp, çevresel etkileri azaltarak biyoçeşitliliğin korunması ve genel sürdürülebilirliğin güçlendirilmesi yönünde ek faydalar da sunar (Soussi vd., 2024; Kumari vd., 2025). Bu bağlamda, mevcut yapay zekâ tabanlı hassas tarım çerçevelerinin ölçeklenebilirliğinin artırılması, özellikle kırsal bölgelerdeki küçük ölçekli çiftçilerin de kaynak verimliliği ve verim artışı elde etmesini sağlayarak tarımsal sürdürülebilirliği daha geniş bir kitleye yayabilir (Singh vd., 2025; Mansoor vd., 2025).

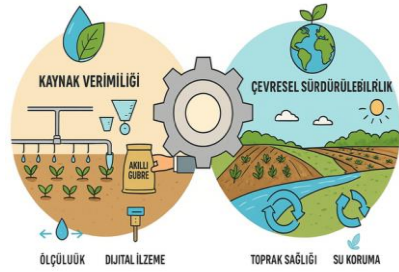
4.1. Bitki Hastalıkları ve Zararlılarla Mücadele: Görüntü İşleme ve Erken Uyarı Sistemleri

Yapay zekâ tabanlı görüntü işleme algoritmaları, çok spektral drone ve uydu görüntülerini analiz ederek hastalık belirtilerini erken aşamada tanımlayıp pestisit uygulamasını %30-40 oranında azaltırken, çiftçilere zamanında müdahale imkânı sunar (Ahsen vd., 2025; Indira vd., 2023). Bu sistemler, bulut-tabanlı karar destek platformlarıyla entegrasyon sağlayarak hastalık yayılımı senaryolarını simüle eder ve optimal ilaçlama zamanlamasını önerir (Kumari vd., 2025; Vasileiou vd., 2023). Bu erken uyarı sistemi, makine öğrenmesi algoritmalarının yüksek doğruluk oranları sayesinde hastalıkların yayılmasını önceden tahmin ederek pestisit kullanımını daha da azaltma potansiyeli sunar (Araújo vd., 2023). Bu yaklaşım, yapay zekâ destekli uzman sistemlerin hastalık tanısındaki hassasiyetini artırarak çiftçilere daha güvenilir tedavi önerileri sunmasını sağlar (Babakhouya vd., 2023).



4.2. Sulama ve Gübreleme Yönetimi: Kaynak Verimliliği ve Çevresel Sürdürülebilirlik

Yapay zekâ destekli sulama ve gübreleme sistemleri, sensör verilerini bulut-tabanlı analitiklerle birleştirerek su ve besin girdilerini yalnızca ihtiyaç duyulan miktarda uygulamaya olanak tanır, böylece kaynak verimliliği artarken çevresel ayak izi önemli ölçüde azalır (Aijaz vd., 2025; Raj vd., 2024). Bu sistemlerin geniş ölçekli uygulamaları, veri odaklı karar alma süreçlerini iyileştirerek hem verimliliği artırmakta hem de enerji tüketiminde belirgin tasarruf sağlamaktadır (Aijaz vd., 2025; Weraikat vd., 2024). Ayrıca, yapay zekâ destekli tahmin modelleri, gerçek zamanlı iklim ve toprak verilerini analiz ederek sulama zamanlamasını optimum seviyeye



getirir ve böylece enerji ve su tüketiminde ek tasarruf sağlar (Artaxo vd., 2024; Kalbhor, 2025). Ayrıca, yapay zekâ-tabanlı sulama kontrolünün yenilenebilir enerji sistemleriyle (örneğin güneş paneli destekli pompa istasyonları) entegrasyonu, karbon emisyonlarını daha da azaltarak sürdürülebilirlik hedeflerine doğrudan katkı sağlar (Getahun vd., 2024; Victoire vd., 2023). Bu bağlamda, bulut-tabanlı yapay zekâ destekli sulama kontrolörlerinin yenilenebilir enerji kaynaklarıyla senkronize edilmesi, su pompalama sistemlerinin işletme saatlerini enerji fiyat dalgalanmalarına göre dinamik olarak ayarlayarak enerji maliyetlerinde anlamlı azalmalar sağlayabilir (Mana vd., 2024; Ali vd., 2025). Ayrıca, bu dinamik kontrol mekanizması, değişken iklim koşullarına hızlı adaptasyon sağlayarak sulama verimliliğini istikrarlı tutar ve uzun vadeli su güvenliğini destekler (Babakhouya vd., 2023). Yapay zekâ tabanlı akıllı sulama platformları, gerçek zamanlı toprak nemi ve hava koşulları verilerini analiz ederek su kullanımını daha da azaltmakta ve su kıtlığı yaşayan bölgelerde sürdürülebilir üretim kapasitesini artırmaktadır (Raouhi vd., 2023). Bulut-tabanlı yapay zekâ platformları, iklim tahmin verileriyle entegrasyon sağlayarak sulama stratejilerini önceden ayarlayıp kurak dönemlerde su rezervlerinin sürdürülebilir kullanımını güvence altına alabilir (Kim ve AlZubi, 2024; Zhu vd., 2022). Bu entegrasyon, IoT-tabanlı sensör akışlarını makine öğrenmesi modelleriyle işleyerek sulama planlarını anlık olarak yeniden kalibre eder ve böylece su verimliliğini önemli ölçüde artırır (Araújo vd., 2023; Sharma & Shivandu, 2024).

4.3. Hasat ve Lojistik Otomasyonu: Robotik Hasat, Depolama ve Dağıtım Optimizasyonu

Yapay zekâ destekli robotik hasat platformları, sensör verileri ve bulut-tabanlı optimizasyon algoritmalarıyla enerji tüketiminde belirgin azalma sağlarken, taşıma rotalarının dinamik yeniden planlanması sayesinde lojistik verimliliği ve ürün tazeliğini artırır. Bu bağlamda, yapay zekâ tabanlı optimizasyon algoritmalarının enerji tüketimini düşürme potansiyeli, ısıtma enerjisi tasarrufuyla kanıtlanmış sonuçlara benzer bir etki yaratarak toplam karbon emisyonlarını da azaltmaktadır. Bu verimlilik artışı, sera içi iklim kontrolü ve sulama süreçlerinde enerji tüketimini %30-40 oranında düşürerek sürdürülebilir üretim hedeflerine önemli bir katkı sağlar. Bu robotik sistemlerin

bulut-tabanlı veri analitiğiyle birleştirilmesi, gerçek zamanlı talep tahmini ve stok yönetimini optimize ederek taşıma maliyetlerini önemli ölçüde azaltırken aynı zamanda enerji tüketiminde ek %10-15 tasarruf sağlar (Hoseinzadeh ve Garcia, 2024). Bu entegrasyon, tedarik zinciri boyunca karbon ayak izinin azaltılması ve ürün tazeliğinin korunmasıyla birlikte, pazara hızlı giriş süresini kısaltarak rekabet avantajı sağlar. Bu teknolojilerin genişletilmiş entegrasyonu, kırsal bölgelerdeki lojistik altyapısının dijitalleşmesini teşvik ederek genel tedarik zinciri dayanıklılığını artırabilir (Hussein vd., 2024).

5. YAPAY ZEKÂ KARAR DESTEK SİSTEMLERİ

Bu sistemler, çoklu veri kaynaklarını birleştirerek çiftçilere ve tarım yöneticilerine özelleştirilmiş öneriler sunar, risk analizi ve iklim senaryolarını modelleyerek sürdürülebilir karar almayı kolaylaştırır (Soori vd., 2024). Bu sistemlerin enerji yönetimi ve karbon emisyonu optimizasyonundaki başarısı, robotik araçların rotalarını CO₂ salınımını en aza indirecek şekilde yeniden planlaması ve yapay zekâ destekli ısıtma kontrolünün enerji tüketimini %30-40 oranında düşürmesiyle kanıtlanmıştır (Frank, 2020; Hoseinzadeh ve Garcia, 2024). Bu platformlar, iklim değişikliği etkilerini tahmin eden ve adaptasyon stratejilerini optimize eden yüksek doğruluklu öngörü modelleri sunarak çiftçilerin ve politika yapımcıların proaktif planlama yapmasını sağlar (Rushchitskaya vd., 2024).

5.1. Çiftçilere ve Tarım Yöneticilerine Yönelik Yapay Zekâ Tabanlı Öneri Sistemleri

Bu öneri platformları, IoT sensörleri, iklim tahminleri ve pazar talep verilerini birleştirerek girdileri sadece ihtiyaç duyulan seviyelerde kullanmayı sağlayan özelleştirilmiş ekim-hasat, sulama-gübreleme ve enerji yönetimi önerileri üretir; böylece kaynak verimliliği artarken karbon ayak izi önemli ölçüde azalır (Soori vd., 2024; Saheb vd., 2022). Bu platformlar, tarımsal üretimin tüm aşamalarında ortaya çıkan belirsizlikleri azaltmak için makine öğrenmesi temelli risk değerlendirme ve senaryo analiz araçları da sunar (Temimhan vd., 2024; Shamshiri vd., 2024). Bu öneri motorları, büyük veri analitiği ve bulut tabanlı işlem kapasitesi sayesinde bölgesel iklim değişikliklerini öngörerek çiftçilere uzun vadeli üretim planlaması için optimal

stratejiler önerir (Jaouhari vd., 2023). Ayrıca, yapay zekâ tabanlı öneri motorları, talep tahmini ve pazar fiyat analizlerini gerçek zamanlı olarak entegre ederek çiftçilerin gelir optimizasyonunu destekler ve böylece gıda tedarik zincirinde atıkların azaltılmasına katkıda bulunur (Das vd., 2025). Bu sistemler, makine öğrenmesi tabanlı senaryo analizleri sayesinde çiftçilere iklim değişikliği etkilerine karşı proaktif adaptasyon stratejileri geliştirme imkânı tanıyarak uzun vadeli sürdürülebilir üretim planlamasını güçlendirir (Halder vd., 2025; Dhal & Kar, 2024).

5.2. Simülasyon ve Senaryo Analizi

Bu simülasyon çerçeveleri, bulut-tabanlı yüksek çözünürlüklü iklim ve toprak modelleriyle birleştirildiğinde, farklı sulama ve gübreleme stratejilerinin su tüketimi ve karbon ayak izi üzerindeki etkilerini nicel olarak değerlendirebilir ve politika yapıcılarının maliyet-verimlilik analizlerini destekler (Olawade vd., 2024; Zhang vd., 2024). Bu çerçevede, makine öğrenmesi tabanlı senaryo motorları, farklı iklim varyantları ve toprak koşulları altında uzun vadeli verimlilik projeksiyonları üreterek politika tasarımcılara risk-ağırlıklı yatırım kararları için nicel temel sunar (Babakhouya vd., 2023). Bu bağlamda, yapay zekâ destekli büyük veri analitiği, gelecekteki iklim dalgalanmalarına yönelik tahmini verimlilik senaryoları üreterek politika yapıcılarının adaptif önlemlerini zamanlamasını optimize eder (Dhal ve Kar, 2024; Singh ve Sharma, 2025). Bu tür entegre modeller, yapay zekâ tabanlı öngörülerin tarımsal planlamada ölçeklenebilirliğini artırarak politika yapıcılarının bölgesel sürdürülebilirlik hedeflerine daha hızlı ulaşmasını mümkün kılar (Assimakopoulos vd., 2024; Biggi vd., 2025). Bu bağlamda, politika yapıcılar yapay zekâ destekli karar destek sistemlerini ulusal tarım stratejilerine entegre ederek sürdürülebilir gıda güvenliği çerçevesinde uzun vadeli ekonomik istikrarı pekiştirebilirler (Kumari vd., 2025).

5.3. Risk Yönetimi ve İklim Değişikliği Uyum Stratejileri

Bu sistemler, iklim tahmin modelleri ve geçmiş hasat verilerini birleştirerek çiftçilerin olası zararlarını önceden tahmin etmelerini ve devlet destekli sigorta primlerini optimize etmelerini sağlar (Osorio vd., 2024). Bu sayede çiftçilerin finansal dayanıklılığı artarken, yapay zekâ destekli risk

modellemeleri tarımsal sürdürülebilirlik hedeflerine uyumlu politika geliştirmelerini de kolaylaştırır (Zhang vd., 2021). Ayrıca, IoT tabanlı sensör ağları ve bulut-çözümlemesi, anlık veri akışı sayesinde zararlı koşulları önceden tespit ederek sigorta primlerinin dinamik olarak ayarlanmasını mümkün kılar (Siddique vd., 2025; Alahmad vd., 2023). Bu bağlamda, makine öğrenmesi tabanlı tahmin modelleri, iklim değişikliği senaryolarına göre mahsul verimliliğini önceden öngörerek sigorta risk primlerini ve çiftçilerin adaptasyon kararlarını daha isabetli bir şekilde yönlendirebilir (Artaxo vd., 2024; Mohan vd., 2025; Iqbal vd., 2024). Bu yaklaşım, yapay zekâ destekli tahmin modellerinin çiftçi-bazlı veri kümeleriyle entegrasyonu sayesinde yerel iklim varyasyonlarını daha hassas bir şekilde haritalayarak sigorta primlerinin dinamik ayarlanmasını ve tarımsal risklerin zamanında azaltılmasını mümkün kılar (Rawat vd., 2023; Gäitan vd., 2025).

6. TARIMDA YAPAY ZEKÂ VE TEKNOLOJİLERİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

6.1. Su ve Enerji Tasarrufu

Yapay zekâ destekli akıllı sulama sistemleri, gerçek zamanlı toprak nem sensörlerinden elde edilen verileri büyük veri analitiğiyle birleştirerek su tüketimini %20-30 oranında azaltırken enerji yoğunluğunu da önemli ölçüde düşürmektedir (Chen vd., 2024; López-Quílez, 2025). Bu teknoloji, sürdürülebilir su yönetimi çerçevesinde kuraklık risklerini hafifletmek ve bölgesel gıda güvenliğini güçlendirmek için politika yapımcılar tarafından da önerilmektedir (Sghir ve Iroshan, 2025). Bu sistemlerin geniş ölçekli uygulanması, kırsal bölgelerde su tasarrufu ve enerji verimliliğini artırarak uzun vadeli sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmayı hızlandırabilir (Ozdemir, 2025). Bu bağlamda, bulut tabanlı veri işleme altyapısının entegrasyonu, sensör ağlarından gelen yüksek frekanslı verilerin gerçek zamanlı analizini mümkün kılarak su kullanım optimizasyonunu daha da hassaslaştırabilir (Ayed ve Hanana, 2021).

6.2. Kimyasal Kullanımının Azaltılması

Yapay zekâ destekli pestisit ve gübre dozajlama sistemleri, görüntü işleme ve makine öğrenmesi algoritmalarıyla hastalık ve zararlı tespitini erken

aşamada gerçekleştirerek kimyasal girdilerin kullanımını %20-25 oranında azaltabilir (Yousafzai vd., 2024; Saraiva vd., 2024). Bu yaklaşım, toprak sağlığını korurken biyolojik çeşitliliğin sürdürülmesine de önemli ölçüde katkı sağlar (Leybourne vd., 2024). Ayrıca, bu sistemlerin veri-driven optimizasyonu, pestisit ve gübre uygulamalarını sadece ihtiyaç duyulan alan ve zaman dilimlerine sınırlayarak toprağın uzun vadeli verimliliğini korur ve ekosistem hizmetlerini güçlendirir (Gamage vd., 2024; Sharma ve Shivandu, 2024). Bu doğrultuda, yapay zekâ tabanlı karar destek platformları, çiftçilere bölgesel toprak ve iklim dinamiklerini dikkate alan adaptif gübreleme protokolleri önererek uzun vadeli toprak verimliliğini artırırken çevresel yükü minimize eder (Akavova vd., 2023).

6.3. Biyoçeşitlilik ve Toprak Sağlığı Üzerindeki Etkiler

Bu sistemler, toprak mikrobiyal aktivite ve biyoçeşitlilik göstergelerini gerçek zamanlı izleyerek kimyasal girdileri en aza indirirken toprak organik madde birikimini ve faydalı organizma çeşitliliğini artırır (Ogwu ve Kosoe, 2025; Ozdemir, 2025). Bu sayede, kimyasal kullanımının minimize edilmesiyle toprak mikrobiyal çeşitliliği ve ekosistem hizmetlerinin uzun vadeli dayanıklılığı güçlenir (Vasileiou vd., 2023).

6.4. Zorluklar ve Sınırlamalar

Bu çerçevede, veri güvenliği, yüksek teknolojiye erişim maliyetleri ve çiftçi eğitimindeki eksiklikler, yapay zekâ tabanlı tarım çözümlerinin yaygın benimsenmesini sınırlayan temel engeller olarak ortaya çıkmaktadır. Bu engellerin aşılması için kapsamlı veri gizliliği protokolleri, maliyet-etkin altyapı destekleri ve hedef odaklı eğitim programları geliştirilmelidir. Ayrıca, yasal çerçevelerin ve etik standartların yapay zekâ uygulamalarına uyum sağlaması, tarım sektöründeki dönüşümün güvenli ve adil bir şekilde ilerlemesi için kritik öneme sahiptir. Bu kapsamda, özellikle büyük veri setlerinin toplanması, depolanması ve işlenmesi süreçlerinde yaşanabilecek siber güvenlik risklerinin azaltılmasına yönelik entegre çözümlerin geliştirilmesi zaruridir (Parra-López vd., 2025).

6.5. Veri Güvenliği ve Gizlilik Sorunları

Tarımsal sensörlerden, drone görüntülerinden ve uydu verilerinden toplanan devasa veri setlerinin kötüye kullanımı veya yetkisiz erişimi hem çiftçilerin mahremiyetini hem de tarımsal rekabetçiliği tehdit edebilir. Ayrıca, bu verilerin ticari şirketler tarafından tekelleşmesi, küçük ölçekli çiftçilerin piyasa güçlerini zayıflatarak adil rekabet ortamını bozabilir (Atapattu vd., 2024). Bu nedenle, yapay zekâ tabanlı tarım uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte, veri mülkiyeti, veri paylaşım protokolleri ve siber güvenlik standartlarına yönelik şeffaf ve güçlü yasal düzenlemelerin oluşturulması elzemdir. Bu kapsamda, ulusal ve uluslararası düzeyde veri güvenliği standartlarının belirlenmesi ve çiftçilere ait hassas bilgilerin korunması amacıyla bağımsız denetim mekanizmalarının kurulması kritik öneme sahiptir (Ali vd., 2024).

6.6. Teknolojiye Erişim ve Maliyet Engelleri

Yapay zekâ destekli tarım teknolojilerinin ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olması, özellikle küçük ölçekli ve gelişmekte olan ülkelerdeki çiftçiler için önemli bir adaptasyon engeli teşkil etmektedir. Bu durum, dijital tarımın potansiyel faydalarına rağmen, ekonomik fizibilite ve yaygın uygulama konusunda ciddi soruları gündeme getirmektedir (Chaterji vd., 2020). Bu yüksek maliyetler, ekipman, yazılım ve eğitim giderlerini kapsayarak, akıllı tarım çözümlerinin geniş çapta benimsenmesini zorlaştırmaktadır (Elbaşı vd., 2024). Ayrıca, bu teknolojilerin etkin kullanımı için gereken teknik bilgi birikimi ve altyapı eksiklikleri, özellikle kırsal bölgelerde yapay zekâ çözümlerinin entegrasyonunu ve sürdürülebilirliğini engellemektedir (Gikunda, 2024; Yu, 2024). Bu bağlamda, kamu ve özel sektör iş birliğiyle sübvansiyon programları, uygun kredi olanakları ve topluluk tabanlı teknoloji merkezleri gibi destekleyici mekanizmaların geliştirilmesi, bu engellerin aşılmasında kritik rol oynayabilir (Musa vd., 2023). Ayrıca, bu sistemlerin kırsal bölgelerdeki sınırlı internet bağlantısı ve enerji altyapısı koşullarına uyarlanması, teknolojik erişim bariyerlerinin aşılmasında hayati öneme sahiptir.

6.7. İnsan Faktörü ve Eğitim İhtiyacı

Yapay zekâ sistemlerinin karmaşıklığı, çiftçilerin bu teknolojileri etkin bir şekilde kullanabilmeleri için özel bilgi ve becerilere sahip olmalarını gerektirir. Bu durum, teknolojiye yatırım yapan çiftçiler için yetersiz eğitim, adaptasyon zorlukları ve sistemlerin potansiyelini tam olarak kullanamama gibi riskler doğurur (Gardezi vd., 2023). Bu bağlamda, yapay zekâ tabanlı sistemlerin operasyonel karmaşıklığını azaltacak kullanıcı dostu arayüzler tasarlamak ve çiftçilere yönelik kapsamlı, pratik eğitim programları geliştirmek elzemdir. Bu eğitimler, sadece teknolojinin nasıl kullanılacağını değil, aynı zamanda toplanan verilerin nasıl yorumlanacağını ve karar alma süreçlerine nasıl entegre edileceğini de kapsamalıdır (Ampatzidis vd., 2025). Ayrıca, kırsal bölgelerdeki dijital okuryazarlık seviyelerinin artırılması ve yapay zekâ teknolojilerine yönelik farkındalık oluşturulması, bu dönüşümün sosyal kabulünü hızlandıracaktır. Aksi takdirde, bu tür teknolojilerin benimsenmesi, sınırlı dijital okuryazarlığı veya teknolojiye olumsuz algısı olan topluluklarda önemli ölçüde düşük kalabilir (Ninsiima vd., 2025). Bu bağlamda, teknolojinin benimsenmesini teşvik etmek için finansal teşvikler ve teknik destek mekanizmalarıyla birlikte çiftçilerin teknolojik yeterliliklerini artırmaya yönelik stratejilerin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır (Parra-López vd., 2024; Sanyaolu & Sadowski, 2024).

6.8. Yasal ve Etik Konular

Yapay zekâ destekli tarım uygulamalarının hızla yaygınlaşması, veri sahipliği, sorumluluk atfı ve algoritmik ayrımcılık gibi karmaşık hukuki ve etik soruları beraberinde getirmektedir. Özellikle otonom sistemlerin tarımsal faaliyetlerde karar alma süreçlerine entegrasyonu, olası hatalar veya olumsuz sonuçlar karşısında kimin sorumlu tutulacağı konusunda netlik gerektirmektedir. Bu durum, yapay zekâ algoritmalarının şeffaflığı ve açıklanabilirliği ile ilgili etik tartışmaları tetiklerken, tarım sektöründeki paydaşlar arasında güvenin tesis edilmesi için yasal düzenlemelerin ve etik ilkelerin acilen belirlenmesini zorunlu kılmaktadır (Gardezi vd., 2023). Bu çerçevede, yapay zekâ uygulamalarının tarım sektöründeki sosyal ve çevresel etkilerini değerlendiren kapsamlı çalışmaların yapılması, yasal ve etik çerçevelerin oluşturulmasında yol gösterici olacaktır (Smith, 2018). Ayrıca, tarımda yapay zekâ kullanımından kaynaklanabilecek potansiyel zararların (örneğin, mahremiyetin ihlali veya hayvan refahının zarar görmesi) önlenmesi

için şeffaflık, hesap verebilirlik ve sürdürülebilirlik ilkelerine dayalı proaktif stratejilerin geliştirilmesi gerekmektedir (Dara vd., 2022).

7. GELECEK PERSPEKTİFLERİ VE ARAŞTIRMA FIRSATLARI

7.1. Yapay Zekâ ve Tarımın Entegrasyonunda Yeni Trendler

Gelecekte, yapay zekâ destekli tarım sistemlerinin daha otonom hale gelmesi ve çevresel koşullara gerçek zamanlı adaptasyon yeteneklerinin artırılması beklenmektedir. Bu bağlamda, biyotaklitçi algoritmalar ve evrimsel hesaplama yöntemleri kullanılarak bitki büyümesini optimize eden ve hastalıkları önceden tahmin eden yapay zekâ modelleri üzerine araştırmalar yoğunlaşacaktır. Özellikle, hassas tarım uygulamalarında yapay zekânın entegrasyonu, kaynak kullanımını optimize ederek verimliliği artıracak ve çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunacaktır (Ndlovu vd., 2024). Bu yaklaşım, küresel gıda güvenliği sorunlarına çözüm üretirken (Assimakopoulos vd., 2025), aynı zamanda iklim değişikliğinin tarım üzerindeki olumsuz etkilerini hafifletmek için yeni stratejiler sunacaktır (Agrawal ve Arafat, 2024). Bu teknolojilerin, özellikle küresel gıda sistemlerinin dayanıklılığını artırma ve doğal kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlama potansiyeli, gelecek araştırmalar için önemli bir odak noktasıdır (Ryan vd., 2023).

7.2. Drone ve Robotik Sistemlerde Gelişmeler

Gelecekte drone ve robotik sistemlerin tarım sektöründeki kullanımı, otonom yeteneklerin artması, sensör teknolojilerindeki ilerlemeler ve enerji verimliliğindeki iyileştirmelerle daha da yaygınlaşacaktır. Bu gelişmeler, özellikle tarımsal operasyonların otomasyonunda devrim yaratarak, iş gücü maliyetlerini düşürecek ve verimliliği artıracaktır (Saheb ve Dehghani, 2021; Ming vd., 2023). Robotik hasat, hassas ilaçlama ve toprak analizi gibi uygulamalar, bu teknolojilerin sağladığı operasyonel verimlilikle birlikte çevresel etkiyi de minimize edecektir. Buna ek olarak, yapay zekâ destekli robotların, karmaşık tarımsal görevleri daha önce mümkün olmayan bir doğruluk ve hızla gerçekleştirmesi beklenmektedir (Dewidar vd., 2024). Bu entegrasyon, ekimden hasada kadar tüm tarımsal süreçlerde yüksek verimlilik ve hassasiyet sağlayarak, insan müdahalesini minimize edecektir (Kali vd.,

2024; Mana vd., 2024). Gelecekte, bu tür sistemlerin karmaşık tarımsal ortamlarda daha adaptif ve özerk çalışabilmesi için yapay zekâ algoritmalarının sürekli öğrenme ve çevresel değişikliklere dinamik olarak yanıt verme kapasiteleri artırılacaktır.

7.3. Yapay Zekâ ve Biyoteknolojinin Birleşimi

Yapay zekâ ve biyoteknolojinin entegrasyonu, bitki genetiği ve ürün verimliliğini optimize etmek için yeni olanaklar sunarak, gen düzenleme teknikleri (örneğin CRISPR) ile birleşerek kuraklığa ve hastalıklara dirençli yeni bitki türlerinin geliştirilmesine olanak tanıyacaktır (Aijaz vd., 2025) (Assimakopoulos vd., 2025). Bu sinerji, aynı zamanda, bitki fenotipleme ve genotip-fenotip ilişkilerinin derinlemesine anlaşılmasına yardımcı olacak, böylece tarımsal Ar-Ge süreçlerini hızlandıracaktır (Chaterji vd., 2020). Bu birleşim, tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini artırmanın yanı sıra, küresel gıda güvenliği sorunlarına karşı daha dayanıklı çözümler sunarak tarım sektöründe devrim niteliğinde değişimler getirebilir (Gamage vd., 2024).

7.4. Küçük Ölçekli Çiftçiler İçin Uygun Teknolojiler

Yapay zekâ ve otomasyon teknolojilerinin küçük ölçekli çiftçiler tarafından da benimsenebilmesi için düşük maliyetli, kullanımı kolay ve ölçeklenebilir çözümler geliştirilmesi kritik önem taşımaktadır. Bu bağlamda, açık kaynaklı yazılım platformları, düşük maliyetli sensör ağları ve bulut tabanlı yapay zekâ hizmetleri gibi yaklaşımlar, bu teknolojilerin erişilebilirliğini artırabilir (Hussein vd., 2024). Ayrıca, mobil uygulamalar aracılığıyla sunulan basitleştirilmiş yapay zekâ araçları ve bölgesel çiftçilik kooperatifleri aracılığıyla paylaşılan teknoloji merkezleri, küçük çiftçilerin bu ileri teknolojilerden faydalanmasını sağlayabilir. Bu yaklaşımlar, küçük ölçekli tarım işletmelerinin dijital dönüşümünü hızlandırarak, geleneksel tarım yöntemlerinin sınırlamalarını aşmalarına ve daha verimli, sürdürülebilir üretim modellerine geçiş yapmalarına olanak tanıyacaktır (Kumari vd., 2025).

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tarımda Yapay Zekâ ve Teknolojilerin Genel Etkisi

Tarım sektörü, artan dünya nüfusu ve iklim değişikliğinin getirdiği baskılar altında gıda güvenliğini sağlamak ve çevresel sürdürülebilirliği korumak gibi çifte bir zorlukla karşı karşıyadır. Bu bağlamda, yapay zekâ ve ilgili teknolojiler, geleneksel tarım yöntemlerinin sınırlamalarını aşmada kritik bir rol oynamaktadır. Yapay zekâ destekli hassas tarım, verim artışı, kaynak yönetimi, hastalık ve zararlılarla mücadele, verim tahmini ve otomasyon gibi alanlarda önemli faydalar sunmaktadır.

Yapay zekâ temelli karar destek sistemleri, sulama yönetimini optimize ederek su tüketimini azaltmakta ve kaynak verimliliğini güçlendirmektedir. Makine öğrenmesi tabanlı gerçek zamanlı veri analizleri, kaynak kullanımını dinamik olarak ayarlayarak atıkların ve çevresel etkilerin daha da azaltılmasını mümkün kılmaktadır. Bu entegrasyon, iklim değişikliğine karşı tarımsal dirençliliği artırarak gıda güvenliğine önemli bir katkı sunar.

Yapay zekâ destekli görüntü işleme ve derin öğrenme algoritmaları, hastalık ve zararlıların erken tespiti için otomatik saha taramaları gerçekleştirerek kimyasal bağımlılığı azaltmakta ve sürdürülebilir üretime katkıda bulunmaktadır. Konvolüsyonel sinir ağları ve uzun-kısa vadeli bellek modelleri, tarımsal veri akışlarına entegre edilerek hastalık öncesi teşhis ve verim tahmini doğruluğunu arttırmakta, bu sayede su ve kimyasal girdilerin daha hassas dağıtımına imkân tanımaktadır.

Robotik sistemler, hassas ekim, zararlı ot temizleme, hasat ve depolama gibi işlerde otomasyon sağlayarak işgücü maliyetlerini azaltırken operasyonel verimliliği artırmaktadır. Ayrıca, yapay zekâ tabanlı fiyat tahmini ve talep analitiği, çiftçilere optimal satış stratejileri sunarak tedarik zincirindeki atıkları azaltma potansiyeli taşımaktadır.

Genel olarak, yapay zekâ ve teknolojilerin tarıma entegrasyonu hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından dönüşümsel bir etki yaratmaktadır. Dijitalleşme süreci, tarımda maliyetleri azaltırken orta seviyedeki atık miktarını da düşürerek sürdürülebilir kalkınma hedeflerine doğrudan katkı sağlamaktadır.

Sürdürülebilir ve Verimli Tarım İçin Politika ve Uygulama Önerileri

Yapay zekânın tarımdaki potansiyelini tam olarak gerçekleştirebilmek ve bu teknolojilerin sürdürülebilir ve verimli tarımı desteklemesini sağlamak için kapsamlı politika ve uygulama önerileri gerekmektedir.

1. *Veri Güvenliği ve Erişim Mekanizmaları:* Tarımsal verilerin güvenliği, gizliliği ve adil paylaşımı için güçlü yasal düzenlemeler ve siber güvenlik standartları oluşturulmalıdır. Küçük ölçekli çiftçilerin veri tekelleşmesinden korunması amacıyla şeffaf veri mülkiyeti ve paylaşım protokolleri geliştirilmelidir.
2. *Erişilebilirlik ve Maliyet Engellerinin Aşılması:* Yüksek kurulum maliyetleri ve teknolojiye erişim engelleri, özellikle küçük ölçekli çiftçiler için önemli bir sorundur. Kamu ve özel sektör iş birliğiyle sübvansiyon programları, uygun kredi olanakları ve topluluk tabanlı teknoloji merkezleri gibi destekleyici mekanizmalar geliştirilmelidir. Ayrıca, kırsal bölgelerdeki sınırlı internet bağlantısı ve enerji altyapısı koşullarına uygun, düşük maliyetli ve ölçeklenebilir çözümler üretilmelidir.
3. *Eğitim ve Kapasite Geliştirme:* Yapay zekâ sistemlerinin etkin kullanımı için çiftçilere yönelik kapsamlı, pratik eğitim programları ve dijital okuryazarlık seviyesini artıracak stratejiler elzemdir. Bu eğitimler, sadece teknolojinin nasıl kullanılacağını değil, aynı zamanda toplanan verilerin nasıl yorumlanacağını ve karar alma süreçlerine nasıl entegre edileceğini de kapsamalıdır.
4. *Yasal ve Etik Çerçeveler:* yapay zekâ destekli tarım uygulamalarının hızla yaygınlaşmasıyla ortaya çıkan veri sahipliği, sorumluluk atfı ve algoritmik ayrımcılık gibi hukuki ve etik sorulara netlik kazandırılmalıdır. Şeffaflık, hesap verebilirlik ve sürdürülebilirlik ilkelerine dayalı proaktif stratejiler geliştirilmelidir.
5. *Politika Entegrasyonu ve Destekler:* AB'nin 2023-2027 Ortak Tarım Politikası gibi stratejik planlar, çiftçilerin yapay zekâ tabanlı karar destek sistemlerine erişimini kolaylaştırmak için dijital altyapı yatırımları ve sübvansiyonel destekler sunarak ölçek ekonomilerinin sağlanmasına yönelik somut adımlar atmaktadır. Benzer şekilde, Afrika'da küçük çiftçilerin verimliliklerini arttırmak ve iklim dayanıklılığını güçlendirmek amacıyla yapay zekâ destekli karar destek sistemlerinin yaygınlaştırılması, sürdürülebilir tarım dönüşümünün temel itici gücü olarak öne çıkmaktadır.
6. *Araştırma ve Geliştirme:* Biyotaklitçi algoritmalar, evrimsel hesaplama yöntemleri ve yapay zekâ ile biyoteknolojinin birleşimi

gibi yeni trendler üzerine araştırmalar desteklenmelidir. Bu, kuraklığa ve hastalıklara dirençli yeni bitki türlerinin geliştirilmesine ve tarımsal Ar-Ge süreçlerinin hızlanmasına olanak tanıyacaktır.

Bu politika ve uygulama önerilerinin hayata geçirilmesi, yapay zekânın tarımda sunduğu büyük potansiyelin tam olarak kullanılmasını sağlayacak, böylece gıda güvenliği, çevresel sürdürülebilirlik ve çiftçilerin ekonomik refahı konularında önemli ilerlemeler kaydedilecektir.

KAYNAKÇA

- Abdelmoneim, A. A., Kimaita, H. N., Kalaany, C. M. A., Derardja, B., Dragonetti, G., & Khadra, R. (2025). IoT sensing for advanced irrigation management: A systematic review of trends, challenges, and future prospects. *Sensors*, 25(7), 2291. <https://doi.org/10.3390/s25072291>
- Abioye, A. E., Hensel, O., Esau, T. J., Elijah, O., Abidin, M. S. Z., Ayobami, A. S., Yerima, O., & Nasirahmadi, A. (2022). Precision irrigation management using machine learning and digital farming solutions. *AgriEngineering*, 4(1), 70. <https://doi.org/10.3390/agriengineering4010006>
- Agrawal, J., & Arafat, M. Y. (2024). Transforming Farming: A Review of AI-Powered UAV technologies in precision agriculture. *Drones*, 8(11), 664. <https://doi.org/10.3390/drones8110664>
- Ahsen, R., Bitonto, P. D., Novielli, P., Magarelli, M., Romano, D., Diacono, D., Monaco, A., Amoroso, N., Bellotti, R., & Tangaro, S. (2025). Harnessing digital twins for sustainable agricultural water management: A Systematic Review. *Applied Sciences*, 15(8), 4228. <https://doi.org/10.3390/app15084228>
- Aijaz, N., He, L., Raza, T., Yaqub, M., Iqbal, R., & Pathan, M. S. (2025). Artificial intelligence in agriculture: Advancing crop productivity and sustainability. *Journal of Agriculture and Food Research*, 101762. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101762>
- Akavova, A., Beguyev, S., & Zaripova, R. (2023). How AI and machine learning can drive sustainable development. *E3S Web of Conferences*, 460, 4018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346004018>
- Akter, J., Nilima, S. I., Hasan, R., Tiwari, A., Ullah, Md. W., & Kamruzzaman, Md. (2024). Artificial intelligence on the agro-industry in the United States of America. *AIMS Agriculture and Food*, 9(4), 959. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2024052>
- Alahi, M. E. E., Sukkuea, A., Tina, F. W., Nag, A., Kurdthongmee, W., Suwannarat, K., & Mukhopadhyay, S. C. (2023). Integration of IoT-

- Enabled technologies and artificial intelligence (AI) for smart city scenario: Recent Advancements and Future Trends. *Sensors*, 23(11), 5206. <https://doi.org/10.3390/s23115206>
- Alahmad, T., Neményi, M., & Nyéki, A. (2023). Applying IoT sensors and big data to improve precision crop production: A Review. *Agronomy*, 13(10), 2603. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102603>
- Alam, M., Samad, M. D., Vidyaratne, L., Glandon, A., & Iftekharuddin, K. M. (2020). Survey on deep neural networks in speech and vision systems. *Neurocomputing*, 417, 302. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2020.07.053>
- Alazzai, W. K., Obaid, M. K., Abood, B. Sh. Z., & Jasim, L. (2024). Smart Agriculture Solutions: Harnessing AI and IoT for Crop Management. *E3S Web of Conferences*, 477, 57. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447700057>
- Ali, A., Liew, A. X. W., Venturini, F., Καλογεράς, A., Candiani, A., Benedetto, G. D., Ajibola, S., Cartujo, P., Romero, P., Lykoudi, A., Grandis, M. M. D., Xouris, C., Bianco, R. L., Doddy, I., Elegbede, I. O., Labate, G. F. D., Moral, L. F. G. del, & Martos, V. (2024). AI can empower agriculture for global food security: challenges and prospects in developing nations. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 7. <https://doi.org/10.3389/frai.2024.1328530>
- Ali, Z., Muhammad, A., Lee, N., Waqar, M., & Lee, S. W. (2025). Artificial intelligence for sustainable agriculture: A comprehensive review of AI-Driven technologies in crop production. *Sustainability*, 17(5), 2281. <https://doi.org/10.3390/su17052281>
- Alkhafaji, M. A., Ramadan, G. M., Jaffer, Z., & Jasim, L. (2024). Revolutionizing Agriculture: The Impact of AI and IoT. *E3S Web of Conferences*, 491, 1010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202449101010>
- Amajuoyi, C. P., Nwobodo, L. K., & Adegbola, M. D. (2024). Transforming business scalability and operational flexibility with advanced cloud computing technologies. *Computer Science & IT Research Journal*, 5(6), 1469. <https://doi.org/10.51594/csitrj.v5i6.1248>
- Almanasra, S. (2024). Applications of integrating artificial intelligence and big data: A comprehensive analysis. *Journal of Intelligent Systems*, 33(1), 20240237. <https://doi.org/10.1515/jisys-2024-0237>

- Ampatzidis, Y., Bhandari, M., Ferreyra, A., Gentimis, T., McReynolds, E., Murray, S. C., Peterson, M., López, C. M. R., Strong, R., Tedeschi, L. O., Vitale, J., & Ye, X. (2025). *AI in Agriculture: Opportunities, Challenges, and Recommendations*.
<https://doi.org/10.62300/iaag042514>
- Araújo, S. O., Peres, R. S., Ramalho, J. C., Lidon, F. C., & Barata, J. (2023). Machine Learning Applications in Agriculture: Current Trends, Challenges, and Future Perspectives. *Agronomy*, 13(12), 2976.
<https://doi.org/10.3390/agronomy13122976>
- Artaxo, P., Rizzo, L. V., & Machado, L. A. T. (2024). Inteligência artificial e mudanças climáticas. *Revista USP*, 141, 29.
<https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.i141p29-40>
- Ashworth, A., Al-Dajani, M., Duchicela, K., Kafadarov, K., Kurian, A., Laraki, O., Lazrak, A., Mandair, D., McKennon, W., Miksad, R., Sanghvi, J., & Zack, T. (2025). *Expertise Is What We Want*. arXiv preprint arXiv:2502.20335. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2502.20335>
- Assimakopoulos, F., Vassilakis, C., Margaritis, D., Kotis, K., & Spiliotopoulos, D. (2024). Artificial intelligence tools for the agriculture value chain: Status and Prospects. *Electronics*, 13(22), 4362.
<https://doi.org/10.3390/electronics13224362>
- Assimakopoulos, F., Vassilakis, C., Margaritis, D., Kotis, K., & Spiliotopoulos, D. (2025). AI and related technologies in the fields of smart agriculture: A Review. *Information*, 16(2), 100.
<https://doi.org/10.3390/info16020100>
- Atapattu, A. J., Perera, L., Nuwarapaksha, T. D., Udummann, S. S., & Dissanayaka, N. S. (2024). *Challenges in Achieving Artificial Intelligence in Agriculture* (p. 7). https://doi.org/10.1007/978-981-97-5878-4_2
- Ayed, R. B., & Hanana, M. (2021). Artificial Intelligence to Improve the Food and Agriculture Sector. *Journal of Food Quality*, 2021, 1.
<https://doi.org/10.1155/2021/5584754>
- Aziz, K., Zaidouni, D., & Bellafkih, M. (2018). Big data processing using machine learning algorithms: Mlib and mahout use case. In *Proceedings of the 12th international conference on intelligent systems: theories and applications* (pp. 1-6). <https://doi.org/10.1145/3289402.3289525>

- Azizov, D., Manzoor, M. A., Bojković, V., Wang, Y., Wang, Z., Iklassov, Z., Zhao, K., Li, L., Liu, S., Yu, Z., Liu, W., & Liang, S. (2024). A decade of deep learning: A survey on the magnificent seven. *arXiv:2412.16188*. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2412.16188>
- Babakhouya, A., Naji, A., Daaif, A., & Hnini, A. (2023). Leveraging Artificial Intelligence in the Agri-Food Industry: A comprehensive review. *E3S Web of Conferences*, 469, 79. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346900079>
- Batistatos, M. C., Cola, T. de, Kourtis, M., Apostolopoulou, V., Xilouris, G., & Sagias, N. C. (2025). *AGRARIAN: A Hybrid AI-Driven Architecture for Smart Agriculture*. <https://doi.org/10.20944/preprints202503.1805.v1>
- Berk, A. (2018). Factors affecting the exit from farming of young farmers in Turkey: the case of Niğde province. *Ciência Rural*, 48(8). <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180471>
- Biggi, G., Iori, M., Mazzei, J., & Mina, A. (2025). Green intelligence: the AI content of green technologies. *Eurasian Economic Review*. <https://doi.org/10.1007/s40821-024-00288-1>
- Bora, G. C., Bali, S., & Mistry, P. (2014). Impact of Climate Variability on Yield of Spring Wheat in North Dakota. *American Journal of Climate Change*, 3(4), 366. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2014.34032>
- Botero-Valencia, J., Pineda, V. G., Valencia-Arías, A., Valencia, J., Reyes-Vera, E., Mejía-Herrera, M., & Hernández-García, R. (2025). Machine Learning in Sustainable Agriculture: Systematic Review and Research Perspectives. *Agriculture*, 15(4), 377. <https://doi.org/10.3390/agriculture15040377>
- Çakmakçı, S., Polatoğlu, B., & Çakmakçı, R. (2024). Foods of the Future: Challenges, Opportunities, Trends, and Expectations. *Foods*, 13(17), 2663. <https://doi.org/10.3390/foods13172663>
- Chaterji, S., DeLay, N. D., Evans, J., Mosier, N. S., Engel, B. A., Buckmaster, D. R., & Chandra, R. (2020). Artificial Intelligence for Digital Agriculture at Scale: Techniques, Policies, and Challenges. *arXiv (Cornell University)*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2001.09786>
- Chen, J. Y., Begicheva, S., & Nazarov, D. (2024). The role of big data in advancing precision agriculture and ensuring food security. *BIO Web of Conferences*, 121, 2013. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202412102013>

- Contreras, I., & Vehí, J. (2018). Artificial intelligence for diabetes management and decision support: Literature review. *Journal of Medical Internet Research*, 20(5), e10775. <https://doi.org/10.2196/10775>
- Dara, R., Fard, S. M. H., & Kaur, J. (2022). Recommendations for ethical and responsible use of artificial intelligence in digital agriculture. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 5. <https://doi.org/10.3389/frai.2022.884192>
- Das, B. R., Hoque, A., Roy, S. S., Kumar, K., Laskar, A. A., & Mazumder, A. S. (2025). Post-harvest technologies and automation: AI-Driven Innovations in Food Processing and Supply Chains. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 12(1), 183. <https://doi.org/10.32628/ijrst25121170>
- Dewidar, M. H., Elfatah, M. G. A., & Hanafi, A. (2024). Advancing Agriculture: The Synergy of Robotics and Artificial Intelligence. *International Journal of Science and Research Archive*, 13(2), 2668. <https://doi.org/10.30574/ijrsra.2024.13.2.2467>
- Dhal, S. B., & Kar, D. (2024). Transforming Agricultural Productivity with AI-Driven Forecasting: Innovations in food security and supply chain optimization. *Forecasting*, 6(4), 925. <https://doi.org/10.3390/forecast6040046>
- Dhillon, R., & Moncur, Q. (2023). Small-Scale Farming: A review of challenges and potential opportunities offered by technological advancements. *Sustainability*, 15(21), 15478. <https://doi.org/10.3390/su152115478>
- Dong, Y., Werling, B. P., Cao, Z., & Li, G. (2024). Implementation of an in-field IoT system for precision irrigation management. *Frontiers in Water*, 6. <https://doi.org/10.3389/frwa.2024.1353597>
- Durand, T., & Hattingh, M. (2020, November). Data mining and artificial intelligence techniques used to extract big data patterns. In 2020 2nd international multidisciplinary information technology and engineering conference (IMITEC) (pp. 1-8). IEEE. <https://doi.org/10.1109/imitec50163.2020.9334069>
- Elbaşı, E., Mostafa, N., Zaki, C., Al-Arnaout, Z., Topcu, A. E., & Saker, L. (2024). Optimizing Agricultural Data Analysis Techniques through AI-Powered Decision-Making Processes. *Applied Sciences*, 14(17), 8018. <https://doi.org/10.3390/app14178018>

- Et-taibi, B., Abid, M. R., Boufounas, E., Morchid, A., Bourhnane, S., Hamed, T. A., & Benhaddou, D. (2024). Enhancing Water Management in Smart Agriculture: A Cloud and IoT-Based Smart Irrigation System. *Results in Engineering*, 22, 102283. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102283>
- Eze, V. H. U., Eze, E. C., Alaneme, G. U., Bubu, P. E., Nnadi, E. O. E., & Okon, M. B. (2025). Integrating IoT sensors and machine learning for sustainable precision agroecology: enhancing crop resilience and resource efficiency through data-driven strategies, challenges, and future prospects. *Discover Agriculture*, 3(1). <https://doi.org/10.1007/s44279-025-00247-y>
- Fedoroff, N. V. (2015). Food in a future of 10 billion. *Agriculture & Food Security*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s40066-015-0031-7>
- Finger, R., Swinton, S. M., Benni, N. E., & Walter, A. (2019). Precision Farming at the Nexus of Agricultural Production and the Environment. *Annual Review of Resource Economics*, 11(1), 313. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100518-093929>
- Frank, B. (2020). Artificial intelligence-enabled environmental sustainability of products: Marketing benefits and their variation by consumer, location, and product types. *Journal of Cleaner Production*, 285, 125242. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125242>
- Fuentes-Peñailillo, F., Gutter, K., Vega, R., & Carrasco, G. (2024). Transformative Technologies in Digital Agriculture: Leveraging Internet of Things, Remote Sensing, and Artificial Intelligence for Smart Crop Management. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 13(4), 39. <https://doi.org/10.3390/jsan13040039>
- Găitan, N. C., Batinas, B. I., Ursu, C., & Crainiciuc, F. N. (2025). Integrating Artificial Intelligence into an Automated Irrigation System. *Sensors*, 25(4), 1199. <https://doi.org/10.3390/s25041199>
- Gamage, A., Gangahagedara, R., Subasinghe, S., Gamage, J., Guruge, C., Senaratne, S., Randika, T., Rathnayake, C., Hameed, Z., Madhujith, T., & Merah, O. (2024). Advancing sustainability: The impact of emerging technologies in agriculture. *Current Plant Biology*, 100420. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2024.100420>
- Ganeshkumar, C., Sankar, J. G., & David, A. (2023). Impact of artificial intelligence on agriculture value chain performance: Agritech

- Perspective. In *CRC Press eBooks* (p. 71). Informa.
<https://doi.org/10.1201/9781003264521-4>
- Gangwani, N. (2024). AI-driven precision agriculture: Optimizing crop yield and resource efficiency. *International Journal For Multidisciplinary Research*, 6(6), 1-9. <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2024.v06i06.29913>
- Gardezi, M., Joshi, B., Rizzo, D. M., Ryan, M., Prutzer, E., Brugler, S., & Dadkhah, A. R. (2023). Artificial intelligence in farming: Challenges and opportunities for building trust. *Agronomy Journal*, 116(3), 1217. <https://doi.org/10.1002/agj2.21353>
- Garske, B., Bau, A., & Ekardt, F. (2021). Digitalization and AI in European agriculture: A strategy for achieving climate and biodiversity targets? *Sustainability*, 13(9), 4652. <https://doi.org/10.3390/su13094652>
- Getahun, S., Kefale, H., & Gelaye, Y. (2024). Application of precision agriculture technologies for sustainable crop production and environmental sustainability: A Systematic review. *The Scientific World Journal*, 2024(1). <https://doi.org/10.1155/2024/2126734>
- Gikunda, K. (2024). Harnessing artificial intelligence for sustainable agricultural development in Africa: Opportunities, challenges, and impact. *arXiv:2401.06171*. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2401.06171>
- Gil, M., Rudy, M., Duma-Kocan, P., Stanisławczyk, R., Krajewska, A., Dziki, D., & Hassoon, W. H. (2024). Sustainability of alternatives to animal protein sources, a comprehensive review. *Sustainability*, 16(17), 7701. <https://doi.org/10.3390/su16177701>
- Gullo, F. (2015). From Patterns in Data to Knowledge Discovery: What Data Mining Can Do. *Physics Procedia*, 62, 18. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2015.02.005>
- Hakimi, M., Amiri, G. A., Jalalzai, S., Darmel, F. A., & Ezam, Z. (2024). Exploring the integration of AI and cloud computing: Navigating opportunities and overcoming challenges. *TIERS Information Technology Journal*, 5(1), 57. <https://doi.org/10.38043/tiers.v5i1.5496>
- Halder, S., Islam, Md. R., Mamun, Q., Mahboubi, A., Walsh, P., & Islam, M. Z. (2025). A comprehensive survey on AI-enabled secure social industrial internet of things in the agri-food supply chain. *Smart Agricultural Technology*, 100902. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100902>

- Hoseinzadeh, S., & Garcia, D. A. (2024). Ai-driven innovations in greenhouse agriculture: Reanalysis of sustainability and energy efficiency impacts. *Energy Conversion and Management X*, 24, 100701. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2024.100701>
- Hussein, A. H. A., Jabbar, K. A., Mohammed, A., & Jasim, L. (2024). Harvesting the future: AI and IoT in agriculture. *E3S Web of Conferences*, 477, 90. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447700090>
- Indira, P., Arafat, I. S., Rajagopal, K., Selvarajan, S., & Balachandran, P. K. (2023). Fabrication and investigation of agricultural monitoring system with IoT & AI. *SN Applied Sciences*, 5(12). <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05526-1>
- Kali, P., Mulla, N., Kumar, S., Srinu, B., Subha, L., Hussain, M. (2024). Integration of AI and robotics in precision agriculture: Enhancing crop yield and resource efficiency. *Nanotechnology Perceptions*. 20. 1353 - 1366.. <https://doi.org/10.62441/nano-ntp.v20i5.77>
- Iqbal, N., Shahzad, M. U., Sherif, E. M., Tariq, M. U., Rashid, J., Le, T., & Ghani, A. (2024). Analysis of wheat-yield prediction using machine learning models under climate change scenarios. *Sustainability*, 16(16), 6976. <https://doi.org/10.3390/su16166976>
- Issa, A. A., Majed, S., Ameer, S., & Al-Jawahry, H. M. (2024). Farming in the Digital Age: Smart agriculture with AI and IoT. *E3S Web of Conferences*, 477, 81. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447700081>
- Jaouhari, A. E., Arif, J., Samadhiya, A., & Kumar, A. (2023). Net zero supply chain performance and industry 4.0 technologies: Past review and present introspective analysis for future research directions. *Heliyon*, 9(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21525>
- John, M. A., Bankole, I. A., Ajayi-Moses, O. B., Ijila, T., Jeje, T., & Lalit, P. (2023). Relevance of advanced plant disease detection techniques in disease and pest management for ensuring food security and their implication: A Review. *American Journal of Plant Sciences*, 14(11), 1260. <https://doi.org/10.4236/ajps.2023.1411086>
- Johns, R. L., Wermelinger, M., Mascaro, R., Jud, D., Hurkxkens, I., Vasey, L., Chhli, M., Gramazio, F., Köhler, M., & Hutter, M. (2023). A framework for robotic excavation and dry stone construction using on-site materials. *Science Robotics*, 8(84). <https://doi.org/10.1126/scirobotics.abp9758>

- Kalbhor, A. (2025). AI and machine learning in precision agriculture: The future of agricultural precision agriculture. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 13(2), 648. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2025.66920>
- Kareska, K. (2025). Challenges and strategic solutions for sustainable agriculture. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5016508>
- Kile, L., Gatiboni, L. C., Osmond, D. L., Marshall, A., Johnson, A. S., & Duckworth, O. W. (2025). Why does overapplication of phosphorus fertilizers occur: Insights from North Carolina farmers. *Agriculture*, 15(6), 606. <https://doi.org/10.3390/agriculture15060606>
- Kim, T. H., & AlZubi, A. A. (2024). AI-Enhanced Precision Irrigation in Legume Farming: Optimizing Water Use Efficiency. *Legume Research - An International Journal*. <https://doi.org/10.18805/lrf-791>
- Kisliuk, B., Krause, J. C., Meemken, H., Morales, J. C. S., Müller, H., & Hertzberg, J. (2023). AI in current and future agriculture: An introductory overview. *KI - Künstliche Intelligenz*, 37, 117. <https://doi.org/10.1007/s13218-023-00826-5>
- Komarnytsky, S., Retchin, S., Vong, C. I., & Lila, M. A. (2021). Gains and losses of agricultural food production: Implications for the twenty-first century. *Annual Review of Food Science and Technology*, 13(1), 239. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-082421-114831>
- Khurana, D., Koli, A., Khatter, K., & Singh, S. (2022). Natural language processing: state of the art, current trends and challenges. *Multimedia Tools and Applications*, 82(3), 3713. <https://doi.org/10.1007/s11042-022-13428-4>
- Kumar, P., Nelson, A., Kapetanovic, Z., & Chandra, R. (2023). Affordable artificial intelligence -- augmenting farmer knowledge with AI. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2303.06049>
- Kumari, K., Nafchi, A. M., Mirzaee, S., & Abdalla, A. (2025). AI-Driven future farming: Achieving climate-smart and sustainable agriculture. *AgriEngineering*, 7(3), 89. <https://doi.org/10.3390/agriengineering7030089>
- Leybourne, D. J., Musa, N., & Yang, P. (2024). Can artificial intelligence be integrated into pest monitoring schemes to help achieve sustainable

- agriculture? An entomological, management and computational perspective. *Agricultural and Forest Entomology*. <https://doi.org/10.1111/afe.12630>
- Linaza, M. T., Posada, J., Bund, J., Eisert, P., Quartulli, M., Döllner, J., Pagani, A., Olaizola, I. G., Barriguinha, A., Moysiadis, T., & Lucat, L. (2021). Data-Driven artificial intelligence applications for sustainable precision agriculture. *Agronomy*, 11(6), 1227. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061227>
- López-Quílez, A. (2025). AI, IoT and remote sensing in precision agriculture. *Applied Sciences*, 15(6), 2890. <https://doi.org/10.3390/app15062890>
- Makapela, M., Alexander, G., & Tshelane, M. (2025). Enhancing agricultural productivity among emerging farmers through data-driven practices. *Sustainability*, 17(10), 4666. <https://doi.org/10.3390/su17104666>
- Mana, A. A., Allouhi, A., Hamrani, A., Rehman, S., Jamaoui, I. el, & Jayachandran, K. (2024). Sustainable AI-based production agriculture: Exploring AI applications and implications in agricultural practices. *Smart Agricultural Technology*, 7, 100416. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100416>
- Mankowitz, D. J., Michi, A., Zhernov, A., Gelmi, M., Selvi, M., Păduraru, C., Leurent, E., Iqbal, S., Lespiau, J.-B., Ahern, A., Köppe, T., Millikin, K., Gaffney, S. G., Elster, S., Broshear, J., Gamble, C., Milan, K., Tung, R., Hwang, M., ... Silver, D. (2023). Faster sorting algorithms discovered using deep reinforcement learning. *Nature*, 618(7964), 257. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06004-9>
- Mansoor, S., Iqbal, S., Popescu, S. M., Kim, S. L., Mansoor, S., & Baek, J. (2025). Integration of smart sensors and IOT in precision agriculture: trends, challenges and future prospectives. *Frontiers in Plant Science*, 16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1587869>
- Marco-Detchart, C., Carrascosa, C., Julián, V., & Rincon, J. A. (2023). Robust multi-sensor consensus plant disease detection using the choquet integral. *Sensors*, 23(5), 2382. <https://doi.org/10.3390/s23052382>
- Matsangidou, M., Liampas, A., Pittara, M., Pattichi, C. S., & Zis, P. (2021). Machine learning in pain medicine: An Up-To-Date Systematic Review. *Pain and Therapy*, 10(2), 1067. <https://doi.org/10.1007/s40122-021-00324-2>

- Mbukanma, I., Sithole, V. L., & Hosu, Y. S. (2025). Exploring the factors enhancing marketability of coastal agricultural products in rural South Africa. *Economies*, 13(5), 141. <https://doi.org/10.3390/economies13050141>
- Ming, R., Jiang, R., Luo, H., Lai, T., Guo, E., & Zhou, Z. (2023). Comparative analysis of different UAV swarm control methods on unmanned farms. *Agronomy*, 13(10), 2499. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102499>
- Mocanu, I. G., & Belle, V. (2023). Knowledge representation and acquisition in the era of large language models: Reflections on learning to reason via PAC-Semantics. *Natural Language Processing Journal*, 5, 100036. <https://doi.org/10.1016/j.nlp.2023.100036>
- Mohan, R. N. V. J., Rayanoothala, P. S., & Sree, R. P. (2025). Next-gen agriculture: integrating AI and XAI for precision crop yield predictions. *Frontiers in Plant Science*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1451607>
- Moshayedi, A. J., Khan, A. S., Yang, Y., Hu, J., & Kolahdooz, A. (2024). Robots in Agriculture: Revolutionizing Farming Practices. *EAI Endorsed Transactions on AI and Robotics*, 3. <https://doi.org/10.4108/airo.5855>
- Musa, M. K., Abdulsalam, A., Haruna, U. A., Zakariya, F., Okon, I. I., Musa, S. S., & Lucero-Prisno, D. E. (2023). Exploring the potential of artificial intelligence to boost Africa's food security. In *Advances in food security and sustainability* (p. 267). <https://doi.org/10.1016/bs.af2s.2023.07.004>
- Mwewa, T., Lungu, G., Turyasingura, B., Umer, Y., & Chavula, P. (2024). Blockchain Technology: A review study on improving efficiency and transparency in agricultural supply chains. *Jurnal Galaksi*, 1(3), 178. <https://doi.org/10.70103/galaksi.v1i3.46>
- Nautiyal, M., Joshi, S., Hussain, I., Rawat, H. S., Joshi, A., Saini, A., Kapoor, R., Verma, H., Nautiyal, A. R., Chikara, A., Ahmad, W., & Kumar, S. (2025). Revolutionizing agriculture: A comprehensive review on artificial intelligence applications in enhancing properties of agricultural produce. *Food Chemistry X*, 29, 102748. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102748>
- Ndlovu, B., Dube, S., Maguraushe, K., & Dube, S. (2024). *Factors Influencing the Adoption of Artificial Intelligence in Smart Agriculture*. 7th European

- Conference on Industrial Engineering and Operations Management
Augsburg, Germany, July 16-18.
<https://doi.org/10.46254/eu07.20240068>
- Ninsiima, R., Mshenga, P., & Okello, D. (2025). Determinants of smallholder barley farmers' intentions to adopt blockchain technology: a Technology acceptance model approach in Uganda. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1552637>
- Nsoh, B., Katimbo, A., Guo, H., Heeren, D. M., Nakabuye, H. N., Qiao, X., Ge, Y., Rudnick, D. R., Wanyama, J., Bwambale, E., & Kiraga, S. (2024). Internet of things-based automated solutions utilizing machine learning for smart and real-time irrigation management: A Review. *Sensors*, 24(23), 7480. <https://doi.org/10.3390/s24237480>
- Obero, H. S., & Dinesh, M. R. (2019). Trends and innovations in value chain management of tropical fruits. *Journal of Horticultural Sciences*, 14(2), 87. <https://doi.org/10.24154/jhs.v14i2.773>
- Ogwu, M. C., & Kosoe, E. A. (2025). Integrating green infrastructure into sustainable agriculture to enhance soil health, biodiversity, and microclimate resilience. *Sustainability*, 17(9), 3838. <https://doi.org/10.3390/su17093838>
- Olawade, D. B., Wada, O. Z., David-Olawade, A. C., Fapohunda, O., Ige, A. O., & Ling, J. (2024). Artificial intelligence potential for net zero sustainability: Current evidence and prospects. *Next Sustainability*, 4, 100041. <https://doi.org/10.1016/j.nxsust.2024.100041>
- Osorio, C. P., Leucci, F., & Porrini, D. (2024). Analyzing the relationship between agricultural AI adoption and government-subsidized insurance. *Agriculture*, 14(10), 1804. <https://doi.org/10.3390/agriculture14101804>
- Ozdemir, E. S. M. (2025). Digital agriculture and sustainability practices in rural Türkiye: A review on the villages of tomorrow project. *Journal of Information Systems Engineering & Management*, 10, 384. <https://doi.org/10.52783/jisem.v10i28s.4338>
- Parra-López, C., Abdallah, S. B., García-García, G., Hassoun, A., Sánchez-Zamora, P., Trollman, H., Jagtap, S., & Carmona-Torres, C. (2024). Integrating digital technologies in agriculture for climate change adaptation and mitigation: State of the art and future perspectives.

- Computers and Electronics in Agriculture*, 226, 109412.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109412>
- Parra-López, C., Abdallah, S. B., García-García, G., Hassoun, A., Trollman, H., Jagtap, S., Gupta, S., Aït-Kaddour, A., Makmuang, S., & Carmona-Torres, C. (2025). Digital technologies for water use and management in agriculture: Recent applications and future outlook. *Agricultural Water Management*, 309, 109347.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109347>
- Peng, B., Pan, X., Wen, Y., Bi, Z., Chen, K., Li, M., Liu, M., Niu, Q., Liu, J., Wang, J., Zhang, S., Xu, J., & Feng, P. (2024). Deep learning and machine learning, advancing big data analytics and management: Handy Appetizer. *arXiv*, 2409.17120.
<https://doi.org/10.48550/ARXIV.2409.17120>
- Raj, R., Kumar, S., Lal, S. P., Singh, H., Pradhan, J., & Bhardwaj, Y. (2024). A brief overview of technologies in automated agriculture: Shaping the farms of tomorrow. *SSRN Electronic Journal*.
<https://doi.org/10.2139/ssrn.4886931>
- Raouhi, E. M., Zouizza, M., Lachgar, M., Zouani, Y., Hrimech, H., & Kartit, A. (2023). AIDSII: An AI-based digital system for intelligent irrigation. *Software Impacts*, 17, 100574.
<https://doi.org/10.1016/j.simpa.2023.100574>
- Rawat, A., Kumar, D., & Khatri, B. S. (2023). A review on climate change impacts, models, and its consequences on different sectors: a systematic approach. *Journal of Water and Climate Change*, 15(1), 104.
<https://doi.org/10.2166/wcc.2023.536>
- Rushchitskaya, O., Kulikova, E., Kot, E., & Kruzhkova, T. (2024). Sustainable practices and technological innovations transforming agribusiness dynamics. *E3S Web of Conferences*, 542, 3003.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202454203003>
- Ryan, M., Nuhoff-Isakhanyan, G., & Tekinerdoğan, B. (2023). An interdisciplinary approach to artificial intelligence in agriculture. *NJAS Impact in Agricultural and Life Sciences*, 95(1).
<https://doi.org/10.1080/27685241.2023.2168568>
- Saheb, T., & Dehghani, M. R. (2021). Artificial intelligence for sustainable energy: A contextual topic modeling and content analysis. *Sustainable*

- Computing: Informatics and Systems*, 35, 100699. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2110.00828>
- Saheb, T., Dehghani, M., & Saheb, T. (2022). Artificial intelligence for sustainable energy: A contextual topic modeling and content analysis. *Sustainable Computing Informatics and Systems*, 35, 100699. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2022.100699>
- Sahoo, S. K., & Choudhury, B. B. (2023). Exploring the use of computer vision in assistive technologies for individuals with disabilities: A review. *Journal of Future Sustainability*, 4(3), 133. <https://doi.org/10.5267/j.jfs.2024.7.002>
- Sakka, M. E., Ivanovici, M., Chaâri, L., & Mothe, J. (2025). A Review of CNN Applications in Smart Agriculture Using Multimodal Data. *Sensors*, 25(2), 472. <https://doi.org/10.3390/s25020472>
- Sanyaolu, M., & Sadowski, A. (2024). The role of precision agriculture technologies in enhancing sustainable agriculture. *Sustainability*, 16(15), 6668. <https://doi.org/10.3390/su16156668>
- Saraiva, A. M., Osório, F. S., Colaço, A. F., Drucker, D. P., Mendonça, E. M., Corrêa, F. E., Soares, F. M., Molin, J. P., Benso, M. R., Marques, P. A. A., Silva, R. F. da, Miranda, S. H. G. de, Costa, W. F., & Delbem, A. C. B. (2024). A inteligência artificial na pesquisa agrícola. *Revista USP*, 141, 91. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.i141p91-106>
- Serrano, S., Brumbaugh, Z., & Smith, N. A. (2023). Language Models: A guide for the perplexed. *arXiv:2311.17301*. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2311.17301>
- Semeraro, T., Scarano, A., Leggieri, A., Calisi, A., & Caroli, M. D. (2023). Impact of climate change on agroecosystems and potential adaptation strategies. *Land*, 12(6), 1117. <https://doi.org/10.3390/land12061117>
- Sghir, A., & Iroshan, A. (2025). Machine learning integrated climate-agriculture forecasting: a transformer-based approach to predict precipitation and wheat production amidst climate change. Available at SSRN 5137941. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5137941>
- Shahzad, M. F., Abdulai, A., & Issahaku, G. (2021). Adaptation Implications of Climate-Smart Agriculture in Rural Pakistan. *Sustainability*, 13(21), 11702. <https://doi.org/10.3390/su132111702>

- Shamshiri, R. R., Sturm, B., Weltzien, C., Fulton, J. P., Khosla, R., Schirrmann, M., Raut, S., Basavegowda, D. H., Yamin, M., & Hameed, I. A. (2024). Digitalization of agriculture for sustainable crop production: a use-case review. *Frontiers in Environmental Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1375193>
- Sharma, S., Ranjan, P., & Ujlayan, A. (2018). An exploration in perception-based digital media processing: A psychological perspective. In *Lecture notes in networks and systems* (p. 69). https://doi.org/10.1007/978-981-10-8911-4_8
- Sharma, A., Sharma, A., Tselykh, A., Bozhenyuk, A., Choudhury, T., Alomar, M. A., & Sánchez-Chero, M. (2023). Artificial intelligence and internet of things oriented sustainable precision farming: Towards modern agriculture. *Open Life Sciences*, 18(1). <https://doi.org/10.1515/biol-2022-0713>
- Sharma, K., & Shivandu, S. K. (2024). Integrating artificial intelligence and Internet of Things (IoT) for enhanced crop monitoring and management in precision agriculture. *Sensors International*, 5, 100292. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2024.100292>
- Sharma, R., Kamble, S., Gunasekaran, A., Kumar, V., & Kumar, A. (2020). A systematic literature review on machine learning applications for sustainable agriculture supply chain performance. *Computers & Operations Research*, 119, 104926. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.104926>
- Siddique, A., Gupta, A., Sawyer, J. T., Huang, T., & Morey, A. (2025). Big data analytics in food industry: a state-of-the-art literature review. *Npj Science of Food*, 9(1). Nature Portfolio. <https://doi.org/10.1038/s41538-025-00394-y>
- Sikka, R., Singh, D. P., Sharma, M. K., & Ojha, A. (2024). Advancing agriculture in smart cities: Renewable energy and artificial intelligence-powered IoT. *E3S Web of Conferences*, 540, 13010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202454013010>
- Singh, G., & Sharma, S. (2025). Enhancing precision agriculture through cloud based transformative crop recommendation model. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-93417-3>

- Singh, K., Yadav, M., Barak, D., Bansal, S., & Moreira, F. (2025). Machine-Learning-Based frameworks for reliable and sustainable crop forecasting. *Sustainability*, 17(10), 4711. <https://doi.org/10.3390/su17104711>
- Smith, M. J. (2018). Getting value from artificial intelligence in agriculture. *Animal Production Science*, 60(1), 46. <https://doi.org/10.1071/an18522>
- Sobue, S. (2023). Space based data usage for smart farming. *BIO Web of Conferences*, 80, 6009. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20238006009>
- Sonthy, A. K. (2025). Talking to machines: How voice-based conversational AI actually works. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 26(2), 2693. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2025.26.2.1924>
- Soori, M., Arezoo, B., & Dastres, R. (2023). Artificial intelligence, machine learning and deep learning in advanced robotics, a review. *Cognitive Robotics*, 3, 54. <https://doi.org/10.1016/j.cogr.2023.04.001>
- Soori, M., Jough, F. K. G., Dastres, R., & Arezoo, B. (2024). AI-Based Decision Support Systems in Industry 4.0, A Review. *Journal of Economy and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.ject.2024.08.005>
- Soussi, A., Zero, E., Sacile, R., Trincherio, D., & Fossa, M. (2024). Smart Sensors and Smart Data for Precision Agriculture: A Review. *Sensors*, 24(8), 2647. <https://doi.org/10.3390/s24082647>
- Sridhar, A., Ponnuchamy, M., Kumar, P. S., Kapoor, A., Vo, D. N., & Rangasamy, G. (2023). Digitalization of the agro-food sector for achieving sustainable development goals: a review. *Sustainable Food Technology*, 1(6), 783. <https://doi.org/10.1039/d3fb00124e>
- Sutton, R. S., & Barto, A. (1998). Reinforcement learning: An introduction. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 9(5), 1054. <https://doi.org/10.1109/tnn.1998.712192>
- Tang, Z., & Yang, G. H. (2022). A Re-classification of information seeking tasks and their computational solutions. *ACM Transactions on Office Information Systems*, 40(4), 1. <https://doi.org/10.1145/3497875>
- Tang, H. H., & Ahmad, N. S. (2024). Fuzzy logic approach for controlling uncertain and nonlinear systems: a comprehensive review of applications and advances. *Systems Science & Control Engineering*, 12(1), 2394429. <https://doi.org/10.1080/21642583.2024.2394429>

- Temimhan, D., Ekinci, E., & Kazançoğlu, Y. (2024). Analysis of industry 4.0 applications for Turkish agriculture. *E3S Web of Conferences*, 558, 1007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202455801007>
- Tong, T., Ye, F., Zhang, Q., Liao, W., Ding, Y., Liu, Y., & Li, G. (2024). The impact of labor force aging on agricultural total factor productivity of farmers in China: implications for food sustainability. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1434604>
- Tsoraeva, E., Bekmurzov, A. D., Kozyrev, S. G., Khoziev, A., & Kozyrev, A. Kh. (2020). Environmental issues of agriculture as a consequence of the intensification of the development of agricultural industry. *E3S Web of Conferences*, 215, 2003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021502003>
- Vasileiou, M., Kyrgiakos, L. S., Kleisiari, C., Kleftodimos, G., Vlontzos, G., Belhouchette, H., & Pardalos, P. M. (2023). Transforming weed management in sustainable agriculture with artificial intelligence: A systematic literature review towards weed identification and deep learning. *Crop Protection*, 176, 106522. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106522>
- Victoire, T. A., Karunamurthy, A., Sandhiya, S., & Yuvaraj, S. (2023). Leveraging Artificial Intelligence for Enhancing Agricultural Productivity and Sustainability. *Quing International Journal of Innovative Research in Science and Engineering*, 2(2), 141. <https://doi.org/10.54368/qijirse.2.2.0016>
- Wang, S., Xu, D., Liang, H., Bai, Y., Li, X., Zhou, J., Su, C., & Wei, W. (2025). Advances in Deep Learning Applications for Plant Disease and Pest Detection: A Review. *Remote Sensing*, 17(4), 698. <https://doi.org/10.3390/rs17040698>
- Wang, Y., Zhang, Z., Jia, W., Ou, M., Xiang, D., & Dai, S. (2025). A Review of Environmental Sensing Technologies for Targeted Spraying in Orchards. *Horticulturae*, 11(5), 551. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11050551>
- Weraikat, D., Šorić, K., Žagar, M., & Sokač, M. (2024). Data analytics in agriculture: Enhancing decision-making for crop yield optimization and sustainable practices. *Sustainability*, 16(17), 7331. <https://doi.org/10.3390/su16177331>

- Wu, X., Walker, J. P., & Wong, V. (2023). Proximal soil moisture sensing for real-time water delivery control: exploratory study over a potato farm. *Agriculture*, 13(7), 1297. <https://doi.org/10.3390/agriculture13071297>
- Xu, J. (2023). Multi-rotor aerial vehicles in physical interactions: A Survey. *arXiv:2312.02635*. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2312.02635>
- Xu, J., Li, Y., Mei-ping, Z., & Zhang, S. (2024). Sustainable agriculture in the digital era: Past, present, and future trends by bibliometric analysis. *Heliyon*, 10(14). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34612>
- Ye, Z., Yin, S., Cao, Y., & Wang, Y. (2024). AI-driven optimization of agricultural water management for enhanced sustainability. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-76915-8>
- Yousafzai, I. K., Akram, M. N., Zia, F., & Adanan, K. H. (2024). The impact of AI technologies on precision agriculture. *International Journal of Artificial Intelligence*, 11(2), 88. <https://doi.org/10.36079/lamintang.ijai-01102.776>
- Yu, J. (2024). A study on the challenges and future trajectory of agricultural data transformation in the big data era. *SHS Web of Conferences*, 208, 1007. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202420801007>
- Zalidis, G., Stamatiadis, S., Takavakoglou, V., Eskridge, K. M., & Misopolinos, N. (2002). Impacts of agricultural practices on soil and water quality in the Mediterranean region and proposed assessment methodology. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 88(2), 137. [https://doi.org/10.1016/s0167-8809\(01\)00249-3](https://doi.org/10.1016/s0167-8809(01)00249-3)
- Zaripova, R., Kosulin, V. V., Shkinderov, M., & Rakhmatullin, I. (2023). Unlocking the potential of artificial intelligence for big data analytics. *E3S Web of Conferences*, 460, 4011. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346004011>
- Zerssa, G. W., Hailemariam, M., & Tadele, K. T. (2023). Improving the sustainability of agriculture: Challenges and Opportunities. In *IntechOpen eBooks*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.112857>
- Zhang, P., Guo, Z., Ullah, S., Melagraki, G., Afantitis, A., & Lynch, I. (2021). Nanotechnology and artificial intelligence to enable sustainable and precision agriculture. *Nature Plants*, 7(7), 864. <https://doi.org/10.1038/s41477-021-00946-6>

- Zhang F, Tang P, Zhou T, Liu J, Li F, Shan B. (2024). Cloud-Based framework for precision agriculture: Optimizing scarce water resources in arid environments amid uncertainties. *Agronomy*.14(1):45. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010045>
- Zhang, H., Yu, P. S., & Zhang, J. (2025). A systematic survey of text summarization: From statistical methods to large language models. *ACM Computing Surveys*, 57(11), 1-41. <https://doi.org/10.1145/3731445>
- Zhu, S., Yu, T., Xu, T., Chen, H., Dustdar, S., Gigan, S., ... & Pan, Y. (2023). Intelligent computing: The latest advances, challenges and future. *Intelligent Computing*, 2, 0006. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2211.11281>
- Zineb, R., Samira, K., & Kerkeb, M. L. (2023). Applications of smart agriculture for environmental protection using deep learning techniques. *E3S Web of Conferences*, 412, 1083. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341201083>

BÖLÜM 7

TARLA BİTKİLERİNDE VERİM VE KALİTE KAYIPLARI

Dr. Yudum BURCU¹

Prof. Dr. Rüveyde TUNÇTÜRK²

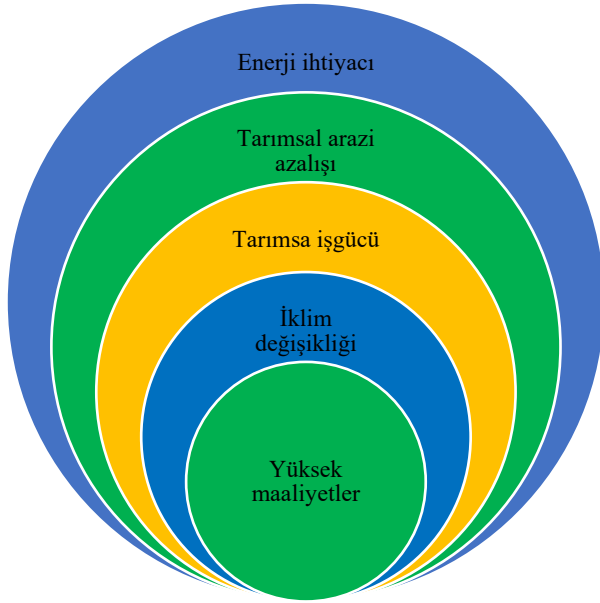
DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17638536>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye.
ymburcu1@gmail.com, Orcid ID: 0000-0003-1399-6153

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye.
ruveydetuncurk@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-3759-8232

GİRİŞ

İnsanların tarih sahnesine çıktığından beri belli bir planlama olmadan geleneksel metodlarla tarımsal faaliyetlerini devam ettirmektedirler. Geçmişte nüfusun günümüze kıyasla daha az olması nedeniyle ihtiyaç duyulan besin miktarı az olması, kaynak kullanımı neticesinde oluşacak negatif etkileri kısmen de olsa tolere etmekteydi. Ancak küresel boyutta iklim değişimleri ve su kaynaklarındaki azalmalar tarım alanları üzerindeki olumsuz etkinin şiddetle artmasına neden olmaktadır (Dedeoğlu ve Dengiz, 2018). Bunun sonucu olarak doğal kaynakların hızla tükenmesine ve hatta yok olmasına neden olmaktadır. Tarihsel olarak, tarım alanları insan yaşamı için vazgeçilmez kaynaklardır. Nüfus artışı ile birlikte artan besin ve yerleşim ihtiyacı, bu alanlar üzerinde büyük baskılar oluşturur. Ancak, topraklar hızlı gelişimlere karşı yavaş tepki verdiği için, toprak kalitesindeki değişiklikleri erken tespit etmek zordur. Bu sebeple, toprak baskılarının giderilmesi için bilimsel temelli ekosistem planları gereklidir. Ayrıca, toprakların potansiyellerine göre kullanım alanları belirlenmeli ve amaç dışı kullanımlar engellenmelidir. Bu, tarım alanlarının korunması için zorunludur (Sönmez Erdoğan, 2019; Şahin ve Toroğlu, 2020). Artan insan nüfusunun gıda ihtiyacını karşılamak amacıyla doğal alanların aşırı şekilde kullanılması, erozyon, çölleşme, su kaybı, orman tahribatı ve biyolojik çeşitliliğin azalması gibi çevresel baskılara yol açmaktadır. Bu sorunlar, iklim değişiklikleri ve küresel ısınmanın etkileriyle daha da büyüyebilir. Bu nedenle, sürdürülebilir tarım uygulamaları, sadece bir tercih değil, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılayabilmesi için küresel bir zorunluluk haline gelmiştir (Fischer vd., 2001).



Şekil 1: Tarım sektöründeki sorunlar

Tarımda sürdürülebilirlik kavramı biyoçeşitlilik ve su kaynaklarının korunması yanında enerji ve gıda hizmetlerinin ilerleyen dönemde çevreye karşı duyarlı ve kaliteyi artıran tarımsal sistemleri ifade etmektedir. Tarımsal ekosistem kendileri ve birbirleriyle etkileşim içinde olan biyotik ve abiyotik unsurlardan oluşan sistemlerdir. Ayrıca her zaman tarımsal ekosistemler ekonomik, sosyal ve ekolojik çevreyle iç içe geçmiş durumdadır. Agroekoloji tarım ve ekoloji kelimelerinin birleşiminden meydana gelmiştir. Agroekoloji, tarla tarımının ekoloji ile ifade edilmesi ve bu bilgiler ışığında uygulanmasıdır. Hayvancılık ve bitkisel üretimi kapsadığı için tedarik aşamalarının sürdürülebilirliği bakımından sigorta görevi görmektedir. Agroekoloji canlı ve cansız her unsurun hayat rotasyonunu bünyesinde barındırdığı için gıda da güvenlik ve üreticinin standartlarının artması ekoloji ve ekonominin faydasına olacaktır. Tarımda agroekolojik uygulamalar; gıda güvenliğini sağlamak, çiftçi refahını artırmak ve hem ekolojik hem ekonomik fayda üretmek açısından önemlidir. Özellikle tarımsal üretimde, sulama suyu kalitesi, toprak yapısı, türlerin yaşam döngüsü, hastalık ve zararlıların etkileri ile iklim değişikliğine

bağlı değişkenler dikkate alınarak doğal kaynakların korunmasına dayalı üretim yapılması gerekmektedir.

1. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAVRAMI

Agroekoloji, ekosistem tabanında tarımın doğal kaynakları sürdürülebilir formda kullanan ve amaçlayan disiplindir. Sürdürülebilirlik ise son dönemde dünyada iklim ve çevre koşulları ile bunların etkileri, nedenleri ve sonuçları ile görünürlükleri artarak kavramın tanımı da hayatımızda yer almıştır. Sürdürülebilirlik genel olarak belirsiz süre boyunca durumun veya sürecin devam etme kapasitesi olarak tanımlanabilir. Sürdürülebilirlik farklı şekillerde ifade edilebilmekte ve tanımlanabilmektedir. Ekoloji ve ekolojik sistemlerin amaçlarını, proseslerini ve üretkenliğini ilerleyen süreçte devam ettirebilme becerisi olarak idrak edilmektedir (Chapin vd., 1996). İnsan ve çevre faaliyetleri sonucunda tüketim sınırına ulaşacağı konusunda yaygın bir fikir bulunmaktadır (Turner, 2008). Bu perspektiften bakıldığında sürdürülebilirlik doğanın sunduğu kaynak ve imkanların yenilenebilecek anlamda hızda kullanılmasıyla sağlanabilir.

2. AGROEKOLOJİ NEDİR?

Agroekoloji, ekolojik ve sosyal ilkeleri entegre biçimde uygulayan, sürdürülebilir tarım ve gıda sistemlerinin tasarımı ve yönetimine odaklanan multifonksiyonel bir yaklaşımdır. Bitkiler, hayvanlar, insanlar ve çevre arasındaki etkileşimleri optimize ederken; aynı zamanda, sağlıklı ve erişilebilir gıdaya dayalı, sistemlerin kurulmasını hedefler. Agroekoloji sadece bir tarım uygulaması değil; aynı zamanda bir bilim dalı, bir uygulama yöntemidir. Başlangıçta yalnızca tarla ve çiftlik düzeyine odaklanan bu kavram, günümüzde gıda sistemlerinin tüm boyutlarını (ekolojik, ekonomik, kültürel, teknolojik) kapsayan disiplinler arası bir alan hâline gelmiştir. Agroekoloji için bilim insanları tarafından çeşitli tanımlamalar geliştirilmiştir. İlk defa 1928 ve 1930 yıllarında Bensin tarafından yayınlarda kullanılmıştır. Son yıllarda bu tanım daha fazla dikkat çekmektedir (Wezel vd., 2009). OECD tarafından agroekoloji tarımsal ürünler ve çevre arasındaki ilişkinin incelenmesi olarak tanımlanmaktadır (OECD, 1997). Dalgaard vd., (2003), ise bitkiler, insanlar, hayvanlar ve çevre arasındaki etkileşimlerinin tarımsal sistemler içinde incelenmesi olarak ifade etmişlerdir.

Agroekolojik yaklaşımda, tarımsal üretim alanı yalnızca bir tarla değil; besin döngüsü, avcı-av ilişkileri, rekabet, simbiyoz ve süksesyon gibi ekolojik süreçlerin işlediği karmaşık bir sistem olarak değerlendirilir. Bu yaklaşıma göre, agro-ekosistemlerin ekolojik süreçler aracılığıyla anlaşılması ve yönlendirilmesi, çevresel ve sosyal etkileri en aza indirirken, dış girdilere olan bağımlılığı azaltarak sürdürülebilir üretimin artırılmasını hedefler (Reinjes vd., 1992). Bir bütün olarak agroekolojik sistemlerin tasarlanması listelenecek olursa;

- Biyokütle geri dönüşümünün artırılması ve besin döngülerinin dengelenmesi,
- Toprak organik maddesinin yönetimi ve toprak biyolojik faaliyetlerinin güçlendirilmesiyle bitki büyümesine uygun koşulların sağlanması,
- Güneş, su ve rüzgâr kaynaklı kayıpların azaltılması için mikro iklim yönetimi ve toprak örtüsünün artırılmasına dayalı toprak koruma önlemleri,
- Agro-ekosistemlerde tür ve genetik çeşitliliğin artırılması,
- Ekolojik süreç ve hizmetleri desteklemek için yararlı etkileşimlerin ve agro-bioçeşitliliğin güçlendirilmesi yer alır. Agro-ekosistem temelli agroekoloji ilkeleri, çeşitli teknik ve stratejilerle yerel koşullara göre uyarlanarak uygulanabilir. Bu uygulamalar; iklim, toprak, su kaynakları ve pazar koşulları gibi etkenlere bağlı olarak, agroekolojik çiftliklerin üretkenliği, kararlılığı ve direncini farklı şekillerde etkiler. Özellikle küçük ölçekli ve aile işletmelerinde amaç, sistemin tüm bileşenlerini uyumlu biçimde entegre ederek biyolojik verimliliği artırmak, biyoçeşitliliği korumak ve kendine yeterli, sürdürülebilir agroekosistemler oluşturmaktır (Türkeş, 2014)



Şekil 2: Adıyaman yakınlarında geleneksel arazi ve/ya da agro-ekosistem kullanımı (Foto: M. Türkeş, 13 Eylül 2007).



Şekil 3: Kaz Dağı'nın eteklerinde Ayazma'da (Bayramiç – Çanakale), karaçam (*Pinus nigra*) ormanından vadi tabanına ve Bayramiç Ovası'na geçiş kuşağında, zenginleştirilmiş geleneksel tarımsal arazi ve/ya da agro-ekosistem kullanım deseni (Foto: M. Türkeş, 24 Mart 2013).

3. AGROEKOLOJİ KAVRAMI VE İKLİM

Agroekoloji, biyoloji, ekoloji, sosyoloji, ekonomi ve aktivizmi birleştiren doğaya dayalı bir gıda üretim sistemi olup, hem bilimsel bir disiplin hem de bir sosyal harekettir. Tarım alanlarını ekosistem olarak görür ve gıda üretimini artırmak, çiftçilerin geçimini iyileştirmek, gıda güvenliği ve beslenmeyi güçlendirmek gibi hedeflere yönelir. Ayrıca pestisit kullanımını azaltmak, toprak sağlığını iyileştirmek, vahşi yaşamı korumak ve iklim değişikliğine karşı direnç oluşturmak için yerli ve geleneksel tarımı bilimsel araştırmalar ve yeni teknolojiyle birleştirir. Agroekoloji, açlıkla mücadele, adil gıda sistemleri kurma ve çeşitliliği, yerelleştirilmiş çözümleri ön planda tutma açısından büyük bir öneme sahiptir (Özkaya vd., 2021; Aşan, 2022).

Doğanın işleyişini anlamak ve günden güne değişen bir dünyada doğa tabanlı tarımı teşvik etmek, iklim değişikliği yaşanan dünyada gıda güvenliği sürdürülebilirliği için kritik öneme sahiptir. Bu anlamda sürdürülebilir tarım yaklaşımlarını birbirine bağlayan dönüştürücü ağlar agroekolojidir (Cheng vd., 2022). Tarımda sürdürülebilirlik hayatta karşılaşılan zorluklarla birlikte agroekolojiye de olan ilgiyi artırmıştır (Wezel ve Jauneau, 2011). Tarımsal ekoloji 20.yüzyıldan itibaren bilimsel açıdan ilgi alanı olmuştur.

İklim değişikliği, canlıların hayat döngüsünü ve yaşam alanlarını değiştirecek çok sayıda belirsizlik ve yeniliği beraberinde getirmektedir. Bu değişim, özellikle tarım alanında ciddi etkiler yaratmaktadır. Artan sıcaklıklar, değişen yağış rejimleri ve diğer iklimsel değişiklikler nedeniyle tarım alanları daralmakta, bitkilerin büyüme dönemleri değişmekte ve ürün desenlerinde kaymalar yaşanmaktadır. Bu durum, tarımsal üretimi hem nicelik hem de nitelik açısından olumsuz etkilemektedir. Özellikle son yıllarda gözlemlenen sıcaklık artışları, bazı bölgelerde hasat tarihlerinin öne ya da arkaya kaymasına yol açmıştır. Bu değişiklikler yalnızca ürünleri değil, aynı zamanda bitkilere zarar veren hastalık ve zararlıların yaşam döngüsünü de etkilemektedir. Fenolojik değişimlere bağlı olarak bu zararlılar daha erken ya da geç ortaya çıkmakta, bu da mücadele yöntemlerinin zamanlamasında değişiklik yapılmasını zorunlu kılmaktadır. İklim değişikliği, yalnızca verimliliği değil, aynı zamanda tarım ürünlerinin fiyatlarında dalgalanmalara da neden olmaktadır. Bu dalgalanmalar, hem üreticileri hem de tüketicileri ekonomik olarak etkilemektedir. Günümüzde birçok üretici, iklim koşullarındaki değişim nedeniyle geleneksel ürünler yerine alternatif ürünler yetiştirmeye yönelmiştir.

Bu durum, tarımın sürdürülebilirliği açısından hem bir tehdit hem de bir fırsat yaratmaktadır. Tarımı etkileyen başlıca iklim parametreleri arasında sıcaklık, nem, yağış, buharlaşma ve rüzgar hızı yer almaktadır. Bu faktörlerdeki değişiklikler, doğal afet risklerini artırmakta, verimliliği düşürmekte ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır. İklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmak ve tarımsal üretimi sürdürülebilir hale getirmek için agroekolojik yaklaşımlar giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Ülkeler, tarım sistemlerini bu değişimlere uyum sağlayacak şekilde yeniden yapılandırmalı ve gıda güvencesini sağlamak için stratejik adımlar atmalıdır. Agroekolojinin temel ilkelerinden biri olan döngüsel ekonomi, doğal kaynakların geri dönüştürülmesiyle CO₂ emisyonlarını azaltarak iklim değişikliğiyle mücadeleye katkı sağlar. Tarımsal üretimde sürdürülebilirliği sağlamak için, agroekolojik ilkelerle uyumlu modern tarım tekniklerinin ve Endüstri 4.0 teknolojilerinin tüm üretim süreçlerinde kullanılması önemlidir.

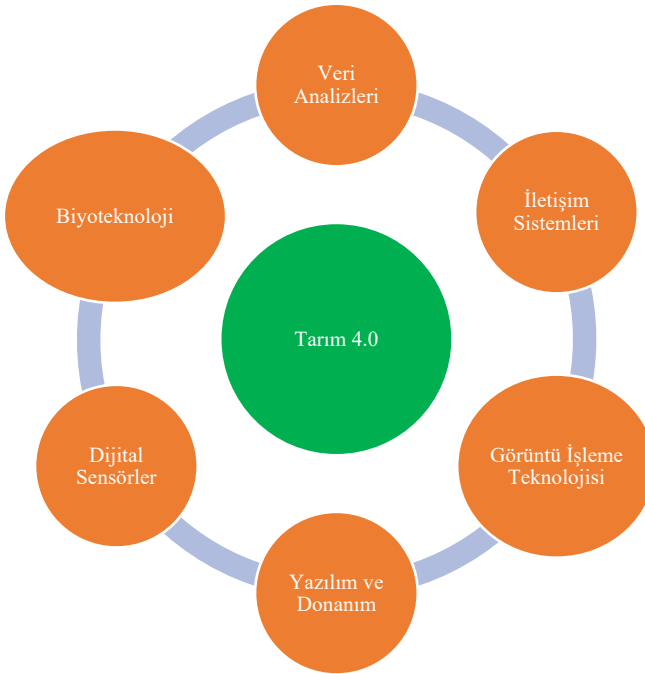
Tablo 1: Teknolojik Anlamda Tarımsal Dönüşüm

➤ Geleneksel Tarım İnsan ve Hayvan İş Gücü
➤ Tarım 1.0 (20. yy'ın başı) Su ve Buhar Gücü Mekanizasyon Başlangıcı
➤ Tarım 2.0/Yeşil Devrim (1950) Seri Üretim, Elektrik Traktör Üretimi, İçsel Tarım
➤ Tarım 3.0/Hassas Tarım(1990) Bilgisayar ve Otomasyon Sera ve Sulama Otomasyonu
➤ Tarım 4.0/Dijital Tarım (2010) Bilgi ve İletişim Teknolojileri Akıllı (Dijital) Tarım

Kaynak: Kaya,2019

Tarım 4.0, tarım sektörünü daha verimli, rekabetçi, çevreci ve sürdürülebilir hale getirmeyi amaçlayan bir yaklaşımdır. Bu kapsamda kullanılan teknolojiler, tedarikçilerden üreticilere, yetiştiricilerden araçlara ve teknoloji sağlayıcılara kadar tüm tarım aktörlerinin faaliyetlerini kapsar. Nesnelerin interneti, büyük veri ve akıllı algoritmalar sayesinde bu aktörlerin tüm faaliyetleri entegre edilerek tarımsal süreçler daha etkin şekilde yönetilebilir. Teknolojinin tarıma uyumuyla tarım araçları ve alanlar sensörlerle donatılarak birbirleriyle iletişim kurabilmektedir. Sensörler; nem, sıcaklık, bitki örtüsü, hava koşulları gibi verileri ölçerken, uydular ve insansız hava araçları sayesinde araziler uzaktan izlenip veriler analiz edilmektedir. GPS teknolojisi ile çiftçiler arazi özelliklerini (toprak tipi, zararlılar, yabancı otlar,

sınırlar vb.) hassas şekilde belirleyebilmekte ve buna göre tohum, gübre, ilaç ve su kullanımı daha verimli hale gelmektedir. Böylece coğrafi bilgi sistemleri oluşturularak tarlalar verim, toprak ve kalite açısından haritalanabilmekte, tarımsal girdiler etkin biçimde yönetilebilmektedir. (Saygılı vd., 2016). Ayrıca, su ve toprak kaynaklarının korunması, kuraklığa dayanıklı tohum geliştirilmesi, gen bankalarının kurulması, hastalık ve zararlılarla mücadeleye destek verilmesi, yenilenebilir enerji kullanımı ve kırsal alanların yeniden planlanması gibi uygulamalar, tarımın iklim değişikliğine karşı direnç kazanmasında etkili olacaktır. (Gökkur vd., 2022). Dünya genelinde birçok ülke bu sistemi benimsemiş, yatırımlar yaparak çiftçilere eğitim ve destek sağlamıştır. Amerika Birleşik Devletleri, İngiltere, Hollanda, Japonya ve Tayvan, dijital tarım uygulamalarında öne çıkan ülkelerdir. Bu ülkelerin tarımsal inovasyonları ve dijitalleşme süreçleri, küresel tarımda önemli değişimlere yol açmaktadır. Ülkemizde teknoloji destekli tarım hızla yaygınlaşmakta ve tarımsal verimliliği artırmayı, su ve gübre kullanımını optimize etmeyi, hastalık ve zararlılarla mücadelede hassas çözümler geliştirmeyi hedeflemektedir. Tarım ve Orman Bakanlığı, TÜBİTAK, KOSGEB ve özel sektör iş birliğiyle tarımın dijital dönüşümü desteklenmektedir. Bu kapsamda uydu tabanlı tarla yönetimi, İHA ile bitki koruma, akıllı sulama, değişken oranlı gübreleme ve otomatik direksiyon sistemleri gibi akıllı tarım teknolojileri yaygınlaşmaktadır (Kutluay Tutar vd., 2025). Ülkemizde Aydın ili Koçarlı ilçesi Kasaplar köyünde bulunan Vodafone Akıllı Köy, 2014 yılında Tabit A.Ş. ve Vodafone iş birliğiyle kurulmuş olup, 298 dönüm arazide bitkisel ve hayvansal üretim yapılmaktadır. Yatırım yapılan proje, bilgi ve iletişim teknolojileriyle tarımsal verimliliği artırmayı, gençlerin tarıma ilgisini yükselterek kırsaldan kente göçü azaltmayı ve dijitalleşmeyi çevre köylere yaymayı amaçlamaktadır. Ayrıca teknoloji kullanımıyla girdi maliyetlerini düşürmek, tarımsal geliri artırmak ve çevreye duyarlı, sürdürülebilir üretim modellerini yaygınlaştırmak hedeflenmiştir (Güldal, 2022).



Şekil 4: Tarımda akıllı sistemler (Saygılı vd., 2019)

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Agroekolojinin yaygınlaşması için toplumun toprak yapısı ve iklime uygun tarım modeline yönelmesi gerekmektedir. Sadece verim odaklı algı bırakılmalı; taze, besin değeri yüksek ve lezzetli gıdalar üreten doğayla uyumlu tarım yöntemleri tanıtılmalıdır. Bu yöntemler, iklim değişikliğini yavaşlatmada ve biyolojik çeşitlilik ile doğal kaynakları korumada önemli rol oynar. İklim değişikliği, tarım alanlarının daralması, bitki fenolojilerinin kayması ve hastalık-zararlı döngülerinin değişmesi gibi etkilerle tarımsal üretimi ciddi biçimde tehdit etmektedir. Bu durum, hem üretici gelirlerini hem de gıda arz güvenliğini olumsuz etkilemektedir. Bu kapsamda agroekoloji, iklim değişikliğine uyum sağlamak ve doğal kaynakları korumak için bütüncül ve sürdürülebilir bir çözüm sunar. Toprak ve su kaynaklarının korunması, kuraklığa dayanıklı tohumların geliştirilmesi, genetik kaynakların muhafazası ve yenilenebilir enerji kullanımının artırılması gibi uygulamalar bu süreci destekler. Ayrıca toplumun, verimlilikten çok gıda kalitesi ve ekolojik uyuma odaklanması; taze, besleyici ve sağlıklı gıdalara yönelmesi sağlanmalıdır. Agroekolojik sistemler, küçük aile işletmelerini güçlendirirken tarımsal

biyoçeşitliliği ve geleneksel bilgiyi de korur. Bu üretim biçimi sayesinde tarımsal sistemler yeniden yapılandırılarak herkes için sürdürülebilir ve doğa dostu bir gıda erişimi mümkün hale gelebilir. Agroekoloji, köylü ve çiftçilerin sahip olduğu geleneksel bilgilerin yaygınlaştırılması ve geliştirilmesi için gerekli teknoloji ve olanakları sağlayabilir. Bu dönüşümde hem üreticilere hem de tüketicilere sorumluluk düşmektedir. Üreticilerin geleneksel yöntemlerle üretmeye devam etmesi ve bilgilerini paylaşması, tüketicilerin ise temiz ve sağlıklı gıdaya erişimi talep etmesi gereklidir. Kaynakların sınırlı olması nüfusu hızla artan ülkelerde iklim değişikliği, kuraklık, biyolojik çeşitliliğin azalması bölgesel değişikliklerdeki tutarsızlıkları da artırmaktadır. Mikro ve makro ölçekte gerçekleştirilen bir çok araştırmada günümüzde ve gelecekte yaşanacak olan iklim değişikliklerinin ve değişkenlerinin tarım, toprak ve özellikle su kaynakları üzerindeki olumsuz etkisinin şiddetle artacağını göstermektedir. Agroekoloji, bitki ve hayvan çeşitliliği arasındaki etkileşimlerden doğan sinerjiyi kullanarak zararlıların biyolojik kontrolü, besin döngüsü ve biyokütle üretimi gibi ekosistem işlevlerini optimize etmeyi hedefleyen bir yaklaşımdır. Bu sistem, yerel kaynaklara dayalı, çevresel ve sosyoekonomik koşulları dikkate alan sürdürülebilir agro-ekosistem tasarımlarıyla öne çıkar. Agroekolojik stratejiler, yerel çiftçi katılımını, geleneksel bilgi kullanımını ve yerel biyolojik çeşitliliğin (ör. tohumlar, toprak faunası) korunmasını esas alır. Bu yaklaşımlar, özellikle kaynakları sınırlı çiftçiler için çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan sürdürülebilir kalkınmayı mümkün kılar. Tarım coğrafyacıları, agroekologlar ve diğer uzmanlar; geleneksel bilgiye dayalı çözümleri, yerel çevresel koşullara uygun stratejilere dönüştürerek yoksul çiftçilere destek olabilir. Aynı zamanda, modern tarımın çevreye zararlı uygulamalarına karşı çiftçileri bilinçlendirme ve alternatifler sunma sorumluluğunu da taşırlar. Agroekoloji, geleneksel tarım sistemlerinden beslenen, katılımcı yaklaşımla geliştirilen, politik ve hukuki destekle güçlendirilmesi gereken bir kalkınma modelidir. Kamu yatırımları ve altyapı hizmetlerinin artırılmasıyla, küçük ölçekli çiftçilerin pazarlara erişimi ve yaşam kalitesi artırılabilir.

KAYNAKÇA

- Aşan, D. (2022). Agroekoloji Nedir, Neden Önemlidir?. *Su ve Çevre Teknolojileri Dergisi*, Sayı: 162.
- Chapin III, F. S., Torn, M. S., Taten, M. (1996). Principles of Ecosystem Sustainability. *The American Naturalist*, 148(6): 1016-1037.
- Cheng, A., Noor Azmi, N. S., Ng, Y. M., Lesueur, D., Yusoff, S. (2022). Appraising Agroecological Urbanism: *A Vision for the Future of Sustainable Cities*. *Sustainability*, 14(2): 2-590.
- Dalgaard, T., Hutchins, N. J. And Porter, J. R. (2003). Agroecology, Scaling and Interdisciplinarity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 100(1): 39-51.
- Dedeoğlu, M., Dengiz, O. (2018). Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Entegre Edilen Çok Kriterli Karar Destek Analiz Yaklaşımı Kullanılarak Arazi Uygunluk Sınıflarının Belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(2): 60- 72.
- Fischer, G., Van Velthuisen, H. T., Nachtergaele, F.O. (2001). Global Agro-Ecological Zones Assessment: Methodology and Results. IIASA Interim Report IIASA, Laxenburg, Austria.
- Gökkür, S., Çağır, F., Arda, E. (2022). Climate Change and Sustainable Agriculture. *Journal for the Agriculture, Biotechnology and Education*, 2(2): 63-74.
- Güldal, H. T. (2022). *Aydın İli Koçarlı İlçesinde Akıllı Tarım ile Konvansiyonel Tarım Uygulamalarının Ekonomik Yönden Değerlendirilmesi, (Doktora Tezi)*, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Kaya, M. (2019). Ağrı'nın Kalkınması İçin Akıllı Tarım (Tarım 4.0) Önerisi. *AkademikBakış Dergisi*, (75), 130-156.
- Kutluay, Tutar. F., Abukalloub, A., Çat, M. (2025). Geleneksel Tarımdan Akıllı Tarım Uygulamalarına Dönüşüm Süreci: Türkiye Örneği. *MTÜ Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi*, 5(1): 46-62.
- OECD. (1997). *Studies In Methods*, Series F, No: 67, United Nations, New York.
- Özkaya, T., Yıldız, M. Y., Özden, F., Kocagöz, U. (2021). *Agroekoloji- Başka Bir Tarım Mümkün*. İstanbul, Türkiye: Metis Yayıncılık.

- Reinjes, C. B., Haverkort, B., Waters-Bayer, A. (1992). *Farming for the Future: An Introduction to Low-External-Input and Sustainable Agriculture*. London: MacMillan Press Ltd.
- Saygılı, F., Kaya, A. A., Tunalı, Çalışkan. E., Erdölek, Kozal, Ö. (2019). Türk Tarımının Global Entegrasyonu ve Tarım 4.0. Erişim Tarihi: 01.11.2025. Erişim adresi: <https://itb.org.tr/i/dosya/yayin/turk-tariminin-global-entegrasyonu-ve-tarim-40.pdf>.
- Sönmez Erdoğan, F. (2019). *Seyhan Havzasında Agroekolojik Zon Temelli Tarımsal Alan Kullanım Önerilerinin Geliştirilmesi*. (Doktora Tezi), Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye.
- Şahin, M., Toroğlu, E. (2020). Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Kullanılarak Pınarbaşı İlçesi (Kayseri) Arazilerinin Tarımsal Uygunluk Derecelerinin Belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 75: 119-130.
- Turner, G. M. (2008). A Comparison of the Limits to Growth With 30 Years of Reality. *Global Environmental Change*, 18(3): 397-411.
- Türkeş, M. (2014). İklim Değişikliğinin Tarımsal Gıda Güvenliğine Etkileri, Geleneksel Bilgi ve Agroekoloji. *Türk Tarım -Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2(2): 71-85.
- Wezel, A., Bellon, S., Dore, T., Francis, C., Vallod, D. David, C. (2009). Agroecology As A Science, A Movement And A Practice. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(4): 503-515.
- Wezel, A., Jauneau, J. C. (2011). Integrating Agriculture, Conservation and Ecotourism: Examples from the Field. Dordrecht, Hollanda: Springer.

BÖLÜM 8

TOPRAK BÜNYESİNDEKİ ENZİMLERİN İŞLEVLERİ VE BİTKİLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Dr. İshak BARAN¹

Doç. Dr. Haluk KULAZ²

Öğr. Gör. Fatih ERDİN³

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17638619>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye. ishakbrn571@gmail.com.tr, Orcid ID: 0000-0002-6299-8043

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye. halukkulaz@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-3044-5046

³ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Özalp Meslek Yüksek Okulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü Van, Türkiye. fatiherdin@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-1338-5582

GİRİŞ

Topraklardaki enzimler, biyokimyasal aktivitelerin bir dizi reaksiyonunu hızlandıran önemli katalizörlerdir. Bu enzimler besin maddelerini parçalamak için toprak mikroorganizmaları tarafından etkili bir şekilde salınan önemli bileşenlerdir. Hem serbest hem de toprakların organik ve inorganik bileşenlerine bağlı olarak enzim aktiviteleri toprak çözeltisinde faaliyet göstermektedirler. Toprak bünyesinde aktif olarak yer alan enzimler toprağın biyolojik aktivitesi ve verimliliğinde önemli bir katkı sağlarlar. Toprak verimliliği, toprak canlıları tarafından yarıyışlı hale getirilirken, toprak biyokimyasal özellikleri de bu canlılar tarafından etkin bir şekilde düzenlenir. (Köprülü, 2023).

Enzimler, kimyasal tepkimelerdeki reaksiyon hızlarını tolere edilebilir, reaksiyon koşullarını, spesifikliklerini, sentezleme ve geri dönüşüm yeteneklerini etkileyen yarıyışlı bileşenlerdir. Enzimlerin reaksiyon hızları birçok faktöre bağlı olarak çeşitlilik gösterebilmektedir. Bu faktörler arasında sıcaklık, pH düzeyi, enzim-substrat oranı, substratın yüzey alanı, inhibitörler veya aktivatörlerin varlığı gibi etmenler bulunmaktadır. Aynı zamanda, enzimlerin işlevsel etkisi çevresel koşullara, sıcaklık düzeyine ve pH seviyesine de bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Enzimlerin türüne göre, farklı pH değerlerinde optimum aktivite gösterme eğilimindedirler. Genel olarak, enzimler 1.2 ile 9.0 pH dereceleri arasında etkinlik göstermektedirler. Enzim aktivitesinin pH tarafından etkilenmesi geri dönüşümsüz bir olay değildir ve pH yeniden uygun bir seviyeye ayarlandığında enzim tekrar aktif hale dönüşebilmektedir. Ancak, aşırı düşük veya yüksek pH değerleri, enzimlerin protein ve nükleik asit yapılarının hasar görmesine neden olabilir. Buna bağlı olarak da enzim tekrar aktif hale gelememektedir. Her enzim için belirli bir optimum sıcaklık derecesi vardır. Enzimlerin sıcaklığa karşı toleransları düşüktür. Optimum sıcaklık derecesinin üzerine çıkıldığında aktivite düşüş göstermektedir ve 60-100°C civarında aktivite tamamen durabilmektedir. Enzimlerin genellikle optimum seviyede çalıştığı sıcaklık aralığı 20-39°C'dir (Yıldırım, 2010). Toprağın kompleks yapısı nedeniyle, verimliliği sadece fiziksel özelliklere değil, aynı zamanda ve en önemlisi biyolojik olayların aktivitelerine de bağlıdır (Kızılkaya vd., 1998). Enzimler toprakların fiziksel veya kimyasal özelliklerine bağlı olarak, biyolojik ve biyokimyasal özellikleri daha hassas bir şekilde tepki gösterirler. Bitkisel atık yönetimi, gübreleme,

rotasyon, toprak işleme gibi toprak uygulamalarına hızlı tepki verebilen ve toprağın verimliliği ve sağlığı açısından kritik olan aktivitelerdir (Okur vd., 2008).

1.TOPRAK STABİLİZASYON ENZİMLERİ

Toprak stabilizasyon enzimleri, topraktaki belirli biyokimyasal reaksiyonları katalize eden önemli proteinlerdir. Organik ve inorganik maddeler üzerinde etki göstererek karmaşık bileşikler bitkilerin yararlanabileceği besin maddelerine dönüştürürler. Böylece toprak agregatlarını güçlendirerek yapıyı erozyona ve sıkışmaya karşı daha dirençli formata getirirler. Toprak, yeryüzünün üst tabakasında yer alan, mineral parçacıkları, organik madde, su, hava ve canlı organizmalardan oluşan gevşek yapılı doğal ve dinamik bir varlıktır. Suyun infiltrasyonu, biyoçeşitliliğin desteklenmesi, karbon depolama ve çeşitli ekosistem hizmetlerinin sağlanması gibi önemli fonksiyonları yerine getiren toprak (Bone vd., 2010), sürekli artan dünya nüfusunun, artan gıda ve lif gereksinimini karşılamak için yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Toprakların yoğun kullanımı ile ortaya çıkan toprak bozulması, dünyanın birçok yerinde toprağın doğal olarak sahip olduğu fonksiyonları yeterince yerine getirmesini imkânsız hale getirmiştir. Bu nedenle, toprakların daha uzun yıllar insan ve hayvan refahı için sahip oldukları fonksiyonları yerine getirebilmesi için kalitesinin korunması ve zaman içerisinde iyileştirilmesi yeryüzündeki her canlıyı ilgilendiren önemli bir konudur (Günel ve Budak, 2022).

Toprak stabilizasyonu için kullanılan bazı enzimler ve bunların işlevleri şu şekilde özetlenebilir:

1.1. Glukozidazlar

Glukozidazlar, glikoziidik bağı hidrolize eden enzimlerdir. Bu enzimler, besinlerde bulunan polisakaritleri, disakaritleri ve bazı monosakaritleri parçalayarak daha basit şekerlere dönüştürür. Genel olarak, glukozidazlar, özellikle glikoz içeren bileşenlerin parçalanmasında kritik bir rol oynar. Bu süreç hidrolitik bir reaksiyondur; yani, su molekülleri yardımıyla gerçekleşir. Örneğin, maltoz gibi disakaritlerin glikoziidik bağı, glukozidazlar tarafından hidrolize edilerek iki glikoz molekülüne ayrılabilir. α -glukozidaz ve β -glukozidaz olmak üzere iki formu vardır.

α -glukozidaz: Bu enzim, glikoziidik bağın alfa (α) formunda olduğu glikozitleri parçalar. Örnekleri arasında maltaz (maltözden glikoz üretir) yer alır.

β -glukozidaz: Bu enzim, glikoziidik bağın beta (β) formunda olduğu glikozitleri hidrolize eder. Örneğin, selülozun parçalanmasında rol oynar.

1.2. Proteazlar

Proteazlar, doğada bitkisel, hayvansal ve mikrobiyal kalıntıların dekompozisyonunda önemli rol oynamaktadırlar ve böylece besin döngüsünü sağlamakta ve ayrıca bitkilerin besinleri alabilmelerini sağlamaktadır (Aoki vd., 1995). Proteazlar enzimlerin oldukça kompleks bir grubunu oluştururlar ve oldukça farklı fizikokimyasal ve katalitik özelliklere sahiptirler. Proteaz sentezinin hücresel kontrolünden sorumlu mekanizma henüz tam olarak bilinmemekle beraber alkali proteazların üretimi amino asit veya amonyum gibi hızlı bir şekilde metabolize edilebilen azot kaynakları ile baskılanmaktadır. Diğer ortam bileşenleri küçük şekerler ve mineraller enzim sentezini etkilemektedir. Potansiyel proteaz kullanımı ve maksimum enzim üretimi ile endüstriyel işlemlerin maliyetini düşürmek amaçlanmaktadır (Mabrouk vd., 1998). Proteinleri parçalayarak amino asitlere veya daha küçük peptidlere dönüştüren enzimlerdir. Bu enzimler, proteoliz olarak bilinen bir süreçte, proteinlerin glikoziidik bağlarını hidrolize ederek işlev gösterir. Proteazlar, biyolojik süreçlerde kritik bir rol oynamaktadır ve birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Proteazlar, peptid bağlarını kırarak proteinleri hidrolize eder. Bu süreç, su moleküllerinin yardımıyla gerçekleşir. Genellikle belirli bir pH ve sıcaklık aralığında optimal aktivitelerini gösterirler. Proteaz türleri şunlardır:

Endopeptidazlar: Proteinlerin polipeptid zincirlerinin iç kısımlarında bulunan peptid bağlarını kırarlar. Örnek: Tripsin, kimotripsin.

Eksopeptidazlar: Polipeptid zincirlerinin uç kısımlarındaki peptid bağlarını kırarak, amino asitleri serbest bırakırlar. Örnek: Karboksipeptidaz.

1.3. Lipazlar

Lipidleri (yağları) parçalayarak yağ asitleri ve gliserol gibi daha küçük bileşenlere dönüştüren enzimlerdir. Bu enzimler, yağların sindirilmesinde ve enerji üretiminde kritik bir rol oynar. Lipazlar bitkisel, hayvansal ve doğal veya genetik olarak düzenlenmiş mikroorganizmalardan gibi kaynaklardan elde

edilir. Bunların arasından, kolay üretilmesi ve pek çok hidrolitik ve sentetik reaksiyonu katalizlemesinden dolayı en çok kullanım alanı ise mikrobiyal kaynaklı lipazlardır. Doğal metabolik reaksiyonlar çevreye uygun olmasına rağmen lipaz tarafından katalizlenmiş reaksiyonlar daha çevrecidir. Ayrıca düşük aktivasyon enerjisi sebebiyle daha düşük sıcaklık ve nötral pH gerektirir, enerji gereksinimi düşüktür ve ürün ve substratlara daha karşı aktiviteleri çok yüksektir. Bu aktivite özellikle substrat (yağ)-su ara yüzeyinde en yüksek seviyeye ulaşmaktadır. Bu kavrama ara yüzey aktivasyonu denir. Bu nedenle, en yüksek aktivitelere, substrat için yüksek yüzey alanına ulaşıldığı emülsiyon sistemlerinde ulaşılmaktadır (Öztürk, 2002).

1.4. Fosfatazlar

Organik fosfatları parçalayarak serbest fosfor sağlar. Genellikle fosfor döngüsünde önemli bir rol oynamakta ve bitkilerin bu besin maddesini almasına yardımcı olmaktadır. Kirletilmiş alanlardaki bileşiklerin parçalamasında mikroorganizmaların kendi metabolik enzimlerini kullandığı bilinmektedir. Toprakta yaşayan mikroorganizmaların kompleks organik maddeleri, basit anorganik bileşiklere veya besin iyonlarına kadar parçalaması sırasında enzim aktiviteleri ölçülerek organik maddenin mineralizasyonu hakkında bilgi edinilebilmektedir. Toprak enzimolojisi alanında yapılan araştırmalar toprak enzimlerinin verimlilik üzerine etki yaptıklarını, bir toprağın çeşitli enzimlerinin aktivitelerinin tayini suretiyle o toprağın verimlilik derecesi hakkında bir fikir edinilebileceğini ortaya koymaktadır (Dindar, 2014).

Her kültür toprağında o toprağa göre bir enzim seviyesi olduğu belirtilmiştir. Topraktaki enzimler azot (üreaz, proteaz), fosfor (fosfatazlar) ve karbon (β -glukosidaz) döngüsünde yer aldıkları için toprağın biyolojik verimliliğinin iyi bir göstergesi olarak kabul edilirler. Dehidrogenaz aktivitesi toprak mikroorganizmalarının metabolik aktivitelerinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Üreaz aktivitesinin orijini temel olarak mikrobiyal ve toprakta oluşabilen kararlı komplekslerdir. Fosfatazlar, topraktaki fosfor döngüsünün anahtar enzimleridir. Fosfataz aktivitesindeki değişimler, topraktaki fosforlu substratların kalitesinde meydana gelen değişimlerin bir göstergesi olduğu gibi, toprağın biyolojik durumunun da iyi bir göstergesi olarak kabul edilirler. β -glukosidaz ise β -glukosidlerin hidrolizini katalizleyen bir enzimdir ve bu enzim aktivitesi organik maddenin parçalanmasına ilişkin

fikir vermektedir (Ndiaye vd., 2000). Her kültür toprağında o toprağa göre bir enzim seviyesi olduğu belirtilmiştir. Topraktaki enzimler azot (üreaz, proteaz), fosfor (fosfatazlar) ve karbon (β -glukosidaz) döngüsünde yer aldıkları için toprağın biyolojik verimliliğinin iyi bir göstergesi olarak kabul edilirler. Dehidrogenaz aktivitesi toprak mikroorganizmalarının metabolik aktivitelerinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Üreaz aktivitesinin orijini temel olarak mikrobiyal ve toprakta oluşabilen kararlı komplekslerdir. Fosfatazlar, topraktaki fosfor döngüsünün anahtar enzimleridir. Fosfataz aktivitesindeki değişimler, topraktaki fosforlu substratların kalitesinde meydana gelen değişimlerin bir göstergesi olduğu gibi, toprağın biyolojik durumunun da iyi bir göstergesi olarak kabul edilirler. β -glukosidaz ise β -glukosidlerin hidrolizini katalizleyen bir enzimdir ve bu enzim aktivitesi organik maddenin parçalanmasına ilişkin fikir vermektedir (Ndiaye vd., 2000).

1.5. Selülaz

Selülaz, selülozun parçalanmasında rol oynayan bir enzimdir. Bitkilerin hücre duvarlarının ana bileşeni olan polisakarit bir moleküldür ve toprakta yaygın olarak bulunan, bitkisel kaynaklardan elde edilen bir organik bileşiktir. Bu enzim, selülozu daha basit şekerler olan glikoz monomerlerine dönüştürerek, bu organik maddenin parçalanmasını ve biyoyararlanabilir hale gelmesini sağlar.

Selülaz, selülozun yapı taşlarını çözerek diğer mikroorganizmalar için besin kaynağı haline getirir. Toprakta bu süreç, organik madde döngüsünde büyük bir öneme sahiptir. Toprakta selülozun parçalanması, toprak yapısını zenginleştirir ve aürasyonunu artırır. Organik maddelerin artışı, toprak yapısını iyileştirir ve su tutma kapasitesini artırır. Selülaz aktivitesi, topraktaki mikroorganizmaların yaşam döngüsünü ve aktivitesini artırır. Bu, toprağın sağlıklı bir ekosistem olarak işlev görmesini destekler. Bitki artıklarını basit şekerlere parçalayarak toprak mikroorganizmalarını besler ve humus oluşumunu iyileştirir. Selülazın diğer kullanım alanları, selülozik biyokütlenin ve yemlerin besin değerini ve sindirilebilirliğini arttırmak, zirai ve endüstriyel atıkların enzimatik sakkarin fiksasyonudur (Niehaus vd., 1999). Selülozik materyallerin enzimatik hidrolizi üzerine gerçekleştirilen biyoteknolojik işlemler günümüzde oldukça artmıştır. Yenilenemeyen kaynakların giderek azalması; selülozu gıda, enerji, yakıt ve diğer ürünler için temel ham materyal

haline getirmiştir. Selüloz, bitkiler tarafından büyük miktarlarda üretilen çok önemli bir ham materyaldir ve öncelikle lignin ile ilişki kurarak lignoselülozu meydana getirirler. Lignoselülozik malzemelerden hemiselüloz ve lignini uzaklaştırmak gayesi ile yapılacak ön işlem, selüloz hidrolizini önemli ölçüde arttırabilir (Sun ve Cheng, 2002).

Selüla, tarımsal uygulamalarda toprak sağığını arttırmak için kullanılır. Organik gübrelerin veya kompostun uygulanması, selüloza zengin kaynaklar sunarak bu enzimin etkinliğini arttırabilir. Biyoyakıt üretiminde, özellikle de selüloz bazlı biyoyakıtların üretilmesinde önemlidir. Selülozun glikoza dönüştürülmesi, biyoyakıt üretimi için gerekli olan şeker tesisatını sağılar. Ayrıca gıda işleme süreçlerinde, özellikle meyve ve sebzelerin işlenmesinde kullanılır. Bu enzim, gıdalardaki lifin yapılandırılmasına yardım ederek, kıvam, dokusunu ve besin değerini değiştirebilir.

1.6. Üreaz

Üreyi amonyağa ve karbondioksit'e parçalayan enzimdir. Azot döngüsünde önemli bir role sahiptir. Üre gübresinin etkenlere karşı hızlı bir şekilde nitrojen kaynağı sağılaması nedeniyle tarımda yaygın olarak kullanılır. Üreaz, gübre içindeki üreyi hızlıca parçalara ayırarak amonyak ve karbondioksit üretir; bu süreç topraktaki amonyak formlarını arttırır.

Üreaz aktivitesiyle bağılı olarak gübreyi uygulama yöntemi ve sulama stratejileri optimize edilir. Hızlı üre ayrışması, bitkilerin erişebileceğı formdaki azotu daha çabuk sağılar. Üreaz aktivitesi toprağın pH, sıcaklık ve nem durumuna bağılıdır. Tarımsal uygulamalarda, üreazın hızlı ayrışmasını önleyerek azot kaybını azaltmak amacıyla bazı durumlarda inhibitörler (urease inhibitörleri) kullanılabilir. Bu sayede topraktan uçup giden amonyak miktarı düşer; enerji, maliyet ve çevresel etki azaltılmış olur. Biyoayırıştırma süreçlerinde üreaz içeren mikroorganizmalar, azot dönüşümünü etkileyerek toprak sağığını ve bitki büyümesini dolaylı olarak destekleyebilir. Bazı toprak mikroorganizmaları üreaz üretir; bu mikroorganizmaların topraktaki azot dönüşüm döngüsünü modüle etmesi, bitkilerin besin edinimini etkileyebilir.

1.7. Laktaz

Laktozu glikoza ve galaktoza dönüştüren bir enzimdir. Bu enzimler hem doğal ekosistemlerde hem de tarımsal uygulamalarda önemli bir rol oynamaktadır ve bitki besin döngüsünü etkileyen kritik süreçlerin gerçekleştirilmesine yardımcı olur. Laktaz, hayvan yemlerinde veya yem katkı maddelerinde laktozun sindirimine yardımcı olmak için kullanılabilir. Özellikle memeli hayvanların süt ürünlerinden yararlanımını kolaylaştırma amacıyla yem formülasyonlarında yer alabilir. Laktoz içeren biyogaz veya fermantasyon süreçlerinde laktaz kullanımı, laktozun glukoz ve galaktoza ayrışmasını sağlayarak mikroorganizmaların enerji kaynaklarını artırabilir.

1.8. Ligninaz

Ligninaz, lignin adı verilen karmaşık bir polimeri parçalamada rol oynayan bir enzim grubudur. Lignin, bitkilerin hücre duvarlarında bulunan ve hücrelere şekil ve dayanıklılık veren bir bileşiktir. Lignin, selüloz ve hemiselüloz ile birlikte bitki hücre duvarının ana bileşenlerinden biridir ve doğal olarak parçalanması zor bir madde olması nedeniyle önemlidir. Ligninaz, lignin moleküllerinde bulunan karmaşık bağları kırarak, bu polimeri küçük parçacıklara (monomerler veya oligomerler) dönüştürür. Bu süreç, lignin içeren maddelerin, özellikle organik atıkların, mikroorganizmalar tarafından daha kolay parçalanabilmesini sağlar. Ligninaz enzimleri, lignin içeren organik maddenin ayrıştırılmasında önemli bir rol oynar. Bu, doğal döngü içerisinde karbondioksitin serbest bırakılması ve besin döngüsünün sürdürülmesi açısından önemlidir. Ayrıca topraktaki lignin içeriğini parçalayarak, besin maddelerinin serbest kalmasını sağlar. Bu, toprak sağlığını artırır ve tarımsal üretkenliğe katkıda bulunur. Biyoyakıt üretiminde ve biyomasın dönüşüm süreçlerinde önemli bir enzim olarak kullanılır. Lignocellulosik materyalin işlenmesi, lignin içeriğinin azalmasını sağlar ve böylece selülozdan şekerlerin elde edilmesini kolaylaştırır. Ligninaz, atık su arıtımı ve organik atıkların parçalanmasında etkin bir enzimdir. Özellikle lignin zengini organik atıkların, mikroorganizmalar tarafından daha verimli bir şekilde ayrıştırılmasına yardımcı olur. Ligninaz, gıda işleme ve ilaç üretiminde de kullanılır. Lignin içeren bazı bitkisel materyallerin işlenmesi sırasında, bu enzimin kullanımı, belirli besin maddelerinin ve bileşenlerin biyoyararlanırlığını artırabilir.

1.9. Kaseinaz

Toprakta bulunan kaseinaz enzimi, toprak ekosistemlerindeki proteinin parçalanmasında önemli bir rol oynar. Kaseinaz, özellikle süt proteinlerinden biri olan kaseini parçalayarak, daha küçük peptitler ve amino asitler üretir. Toprak mikroorganizmaları, bu enzimleri üreterek organik madde dönüşümünde ve azot döngüsünde faaliyet gösterirler. Topraktaki organik maddelerin, özellikle protein içeren maddelerin (örneğin ölü bitki ve hayvan dokuları) parçalanmasında önemli rol oynar. Kaseinaz, bu proteinlerin ayrışmasını sağlar, böylece besin maddeleri toprağa geri kazandırılır. Kasein parçalandığında ortaya çıkan amino asitler, bitkilerin ve diğer organizmaların beslenmesi için kullanılabilir. Topraktaki besin döngüsü açısından bu amino asitlerin mevcut olması, bitkilerin sağlıklı gelişimi için kritik öneme sahiptir. Toprakta bulunan bakteriler ve mantarlar, kaseinaz üreterek topraktaki karbondioksit ve diğer organik bileşiklerin döngüsünü destekler. Bu mikroorganizmalar, toprak sağlığı ve verimliliği açısından temel bir role sahiptir. Kaseinaz enziminin etkinliği, tarımda organik gübreler kullanılarak toprak kalitesinin artırılmasında ve bitki besin maddelerinin sağlanmasında önemli olabilir. Organik gübrelerin, protein içeren maddelerin hızlı bir şekilde parçalanmasını sağlaması, bitkilerin daha fazla besin maddesi almasına yardımcı olur.

Bu enzimlerin aktivitesi, toprak sağlığı ve mikroorganizma toplulukları hakkında bilgi verebilir. Bu enzimlerin düzeyi, toprak kalitesinin ve organik madde içeriklerinin belirlenmesine katkı sağlar. Topraktaki kaseinaz enziminin organik maddelerin dönüşümünde ve besin döngüsünde önemli bir rol oynaması, toprak ekosisteminin sağlığını ve verimliliğini destekler, bitkilerin büyümesi için gerekli olan besin maddelerinin sağlanmasında da önemli bir araçtır. Dolayısıyla, toprak yönetimi ve tarım uygulamalarında büyük bir öneme sahiptir.

1.10. Katalaz

Katalaz enzimi, topraktaki aerob mikrobiyal populasyon ve toprak verimliliği ile ilişkili olup, toprakta aerob mikrobiyal populasyonun değerlendirilmesinde indikatör olarak kullanılan intraselüler bir enzimdir (García -Orenes vd., 2010). Toprakların tekstür gibi fiziksel özellikleri, organik madde ve besin maddesi gibi kimyasal özellikleri ile solucan aktivitesi gibi

biyolojik özelliklerin aktifleşmesinde önemli derecede katkı sağlamaktadır (Kızılkaya ve Hepşen, 2007). Katalaz enzim aktivitesini önemli oranda etkileyen toprak özellikleri olup, topraklara ulaşan ağır metaller, kirleticiler ile pestisitler gibi tarımsal pratikler de katalaz enzim aktivitesini önemli oranda etkilemektedir (Kızılkaya vd., 2004).

1.11. Pektinaz

Pektik maddeler, ana yapısını galakturonik asit birimlerinin oluşturduğu kompleks polisakkaritlerden oluşmaktadırlar. Bitkilerde hücre duvarının ve ara lamelin yapısına katılan pektik maddeler protopektinler, pektik asitler, pektinik asitler ve pektinler olmak üzere dört gruba ayrılırlar. Pektik maddeleri parçalayan bir grup enzime genel olarak pektinazlar adı verilir. Pektinazlar parçaladıkları pektik maddenin türüne ve parçalama mekanizmalarına göre sınıflandırılırlar (Favela-Torres vd., 2006).

Pektinazlar doğada yaygın olarak bulunmakta olup bakteriler, mantarlar, protozoonlar ve nematodlar tarafından üretilmektedirler (Anisa vd., 2013). Pektinazın mikrobiyal kaynakları arasında çeşitli bakteri, maya ve küf türleri bulunmaktadır. Mikrobiyal pektinaz üretimi çalışmalarında *Erwinia*, *Bacillus*, *Saccharomyces*, *Kluyveromyces*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* ve *Rhizopus* cinsi mikroorganizmalar sıklıkla kullanılsa da bunlar arasında en çok tercih edilen türler *Aspergillus*, *Penicillium* ve *Erwinia* cinslerine ait olanlardır (Favela-Torres vd., 2006).

1.12. Ksilanaz

Bitki hücre duvarları mikroorganizmaların canlı bitki dokusuna geçişini engellemek için bir bariyer meydana getirmektedir (Gamerith vd., 1992). Doğal olarak bulunan lignoselülozik bitki biyokütlesinin içeriğinin % 20-30'u heterojen polisakkaritler olan ve selülozla ilişkili bir şekilde bulunan hemiselülozik materyaller oluşturur. Biyokütle, dünyanın yakıt ihtiyacını karşılayan ve yeterince kısa bir döngüye sahip olan alternatif doğal kaynaklardır. Ksilan, yüksek bitkilerin hücre duvarının hemiselülozik kısmının temel bileşenidir ve yüksek potansiyelde kullanışlı son ürünlere parçalanabilen ikinci en bol kaynaktır (Salles vd., 2000). Pek çok bakteri ve mantar ksilanı sindirmek için ksilenaza ihtiyaç duyar. Bu nedenle patojenler ve saprofitler hücre duvarı parçalayan enzimler üretmektedirler (Gamerith vd., 1992; Salles

vd., 2000). Ksilanaz enzimi farklı kullanım alanları bulunmaktadır, gıda, kağıt, yem üretimi ve atık su arıtım proseslerinde kullanılmaktadır. Gıda sanayisinde işlem yardımcısı olarak kullanılan ksilanaz enzimi, ekmek üretiminde hacim artışını sağlamakta, hamuru daha yumuşak hale getirerek makineyle işlenebilirliğini kolaylaştırmaktadır. Meyve ve sebze suyu üretiminde pektinazlarla birlikte berraklaştırma amaçlı kullanılmaktadır. Bira üretiminde arpanın hidrolize olmasını kolaylaştırmakta, vizkoziteyi düşürerek bulanıklığın azaltılmasını sağlamaktadır. Diğer önemli bir kullanım alanı ise yem endüstrisidir (Kıran vd., 2006).

1.13. Üreaz

Üre bileşiğini amonyak ve karbondioksit (CO_2) parçalayarak nitrojen metabolizmasında önemli bir rol oynayan bir hidrolaz enzimidir. Üreaz, organik nitrojen bileşiklerinin parçalanması ve nitrojenin tekrar kullanılabilir forma dönüştürülmesi süreçlerinde kritik bir görev oturur. Bu işlem, özellikle azot içeren bileşiklerin doğal döngüsü için önemlidir. Amonyak, bitkiler tarafından besin olarak kullanılırken, karbondioksit, fotosentezde kullanılır. Üreaz, birçok bakteri ve mantar türünde bulunur. Özellikle toprak mikroorganizmaları, üreaz üretme kapasitesine sahiptir ve bu, azot döngüsünde büyük rol oynamalarına katkıda bulunur. İnsan ve hayvan vücudunda üreaz bulunmaz; ancak bazı bakteriler üreyi parçalayarak amonyak üretir, bu da özellikle idrar yolu enfeksiyonları gibi durumlarla ilişkilidir. Üreaz, nitrojenin organik formlardan anorganik forma (amonyak) dönüşümünü kolaylaştırarak tarımsal verimliliği artırır. Gübrelemede ve toprak nitrojeninin yönetiminde önemli rol oynar. Organik gübrelerin parçalanmasında yardımcı olur. Üreaz, biyoteknolojik uygulamalarda kullanılabilir. Örneğin, üre içeren atık su işlemlerinde ve bazı biyoreaktörlerde yer alabilir.

Toprak enzim aktiviteleri toprak özellikleri, toprak tipleri ve çevre koşulları ile yakından ilişkilidir. Bu nedenle toprak enzim aktiviteleri toprak kalitesi ve toprak biyolojik aktivitelerinin önemli göstergeleri olarak yer almaktadırlar (Yuan vd., 2007). Bundan dolayı, toprak enzim aktivitelerini etkileyen faktörlerin incelenmesi önemlidir (Dick ve Burns, 2011). Üreaz enzim aktivitesi aşırı tuzluluk ve alkaliliğe duyarlıdır. Bu, üreaz enzim aktivitesinin toprağın bir kalite göstergesi olarak kullanılabileceğini göstermektedir (Zhang vd., 2014). Bu nedenle topraktaki çeşitli biyokimyasal

reaksiyonlarda doğrudan yer alması toprakta çok sayıda biyokimyasal süreçlere katkı sağlayabilirler (Guangming vd., 2017).

1.14. Chitinaz

Chitinaz enzimleri, chitin adlı polisakaridi parçalayabilen enzimlerdir. Chitin, birçok organizmanın hücre duvarında ve iskelet sisteminde bulunan ve genellikle böcekler, mantarlar ve bazı deniz canlılarında bulunan bir yapısal polimerdir. Chitinaz, chitin moleküllerini parçalayarak daha küçük parçalar olan N-asetilglukosamin (GlcNAc) gibi monomerler veya oligomerler oluşturur. Chitinaz enzimleri çeşitli organizmalarda bulunur. Bunlara bakteriler, mantarlar, bitkiler ve hayvanlar dahil olabilir. Özellikle mantarlar ve bazı bakteriler, çevrelerindeki chitin kaynaklarını parçalayarak besin elde eder. Chitinaz, chitin bazlı hücre duvarlarına sahip organizmaların, özellikle patojenik olanların ortadan kaldırılmasına ve besin döngüsüne katkıda bulunur. Ayrıca, bitki savunma mekanizmalarında da rol oynar. Tarımda bitki hastalıklarına karşı biyolojik kontrol, biyoteknoloji, gıda endüstrisi ve ilaç geliştirme gibi birçok alanda potansiyel uygulamalara sahiptir. Örneğin, bazı chitinaz enzimleri, zararlı böceklerin veya patojenik mantarların etkisini azaltmak için kullanılabilir. Chitinaz, chitin bağlarını hidrolize ederek (yani su ekleyerek) bu polisakaridin yapısını bozar. Bu süreç, genellikle birkaç aşamadan oluşur ve spesifik enzim türüne bağlı olarak farklı yollarla gerçekleşir.

Chitinazlar genel olarak iki ana sınıfa ayrılabilir:

Exo-chitinazlar: Chitin'in uçlarında bulunan bağları keserek glukozamin (veya Oligokozamin) oluştururlar.

Endo-chitinazlar: Chitin'in içindeki bağları kırarak daha büyük Oligokozamin parçaları oluştururlar.

Chitinaz, özellikle ultraviyole ışınları, sıcaklık ve pH gibi fiziksel ve kimyasal faktörlere karşı duyarlıdır, bu da enzimlerin performansını etkileyebilir. Gelecekte, chitinaz enzimlerinin araştırılması ve uygulamaları, çeşitli endüstriyel ve çevresel sorunların çözümüne katkıda bulunabilir. Özellikle sürdürülebilir tarım uygulamaları ve biyolojik kontrol stratejileri açısından önemli bir potansiyele sahiptirler. Chitinaz, patojenik mantarların hücre duvarında bulunan chitin parçalanmasına yardımcı olur. Bu nedenle,

bu enzimler tarımda bitki hastalıklarının kontrolü için biyolojik pestisit olarak kullanılabilir.

Chitinaz, chitin içeren atıkların (örneğin, kabuklu deniz ürünleri) biyodegradasyonu için kullanılabilir. Bu, atık yönetimi ve çevresel temizlik açısından önemlidir. Araştırmalar, bazı chitinazların bitki büyümesi ve gelişiminde olumlu etkiler yarattığını, bitki savunma mekanizmalarını güçlendirdiğini göstermektedir. Zirai mücadelede alternatif bir yöntem olarak, chitinazlar zararlı organizmalara karşı kullanılabilir. Örneğin, biyolojik pestisit olarak mantar patojenlerine karşı etkili olabilir.

2. KOMPOSTLAMA SÜREÇLERİ VE BU SÜREÇLERDE YER ALAN ÖNEMLİ ENZİMLER

Kompostlama sürecinde organik maddelerin ayrışmasını sağlayan mikroorganizmalar, bu çalışmaya oksijen varlığında (aerobik) ya da oksijen yokluğunda (anaerobik) katılır. Bu mikroorganizmalar organik maddeleri ayrıştırarak kararlı bir yapı olan kompost oluşumuna katkı sağlar. Süreçte yer alan başlıca mikroorganizmalar şunlardır:

2.1. Bakteriler

Bakteriler, kompostlama sürecinin başlıca ve en önemli mikroorganizmalarıdır. Oksijenli (aerobik) ve oksijensiz (anaerobik) koşullarda faaliyet gösterebilirler.

Aerobik Bakteriler: Oksijenli ortamda büyüyen aerobik bakteriler, organik maddeleri hızlı bir şekilde ayrıştırır ve kompostun ısınmasına neden olurlar. Özellikle karbon bazlı organik maddelerin ayrışmasında etkindirler. Örnek bakteriler: *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp.

Anaerobik Bakteriler: Oksijensiz ortamda çalışan bu bakteriler metan ve diğer gazların üretimine neden olur. Anaerobik süreçler genelde aerobik süreçlerden daha yavaş ilerler ve kokulu olabilir. Örnek bakteriler: *Clostridium* spp., *Methanobacterium* spp.

2.2. Aktinobakteriler

Aktinobakteriler, daha karmaşık ve zor parçalanmış materyalleri (ör. selüloz, lignin) ayrıştırmada uzmandır. Genellikle termofilik koşullarda

(yüksek sıcaklıkta) etkin hale gelirler ve kompostun olgunlaşmasında kritik bir role sahiptirler. Örnek türler: *Streptomyces* spp.

2.3. Mantarlar

Mantarlar, karmaşık organik bileşikleri (ör. selüloz, lignin) parçalayabilen enzimler salgılar. Diğer mikroorganizmaların çalışmaya devam edebilmesi için organik maddelerdeki kompleks yapıları basitleştirirler. Örnek mantar türleri: *Trichoderma* spp.: Parçalama işlemini hızlandırır. *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp.

Mantarlar genellikle kompostlama sürecinin ilerleyen safhalarında, özellikle düşük sıcaklık koşullarında aktif hale gelirler.

2.4. Küfler

Küfler, özellikle başlangıç aşamalarında ve düşük nem bulunan ortamlarda organik materyali parçalayarak önemli bir rol oynar. Mantarlarla benzer şekilde çalışırlar.

2.5. Mayalar

Mayalar, şeker ve diğer basit karbon bileşiklerini ayrıştırmada rol oynarlar. Genelde daha asidik ve nemli ortamlarda faaliyet gösterirler.

2.6. Protozoalar

Protozoalar, kompostlama sırasında bakterileri ve diğer küçük organizmaları tüketerek ortamda azotun döngüsüne ve besin dengesine katkıda bulunurlar.

2.7. Solucanlar (Eğer Vermikompostlama Yapılıyorsa)

Eğer verмикompostlama (solucanlarla kompostlama) yapılıyorsa toprak solucanları ve onların sindirim sisteminde bulunan mikroorganizmalar organik materyalin ayrışmasını hızlandırır ve besin açısından zengin humus oluşturur. Solucan dışkısı (verмикompost), bitkiler için yüksek kaliteli bir gübre sağlar. Örnek: *Eisenia fetida* (Kırmızı Kaliforniya Solucanı).

2.8. Karıncalar, Böcekler ve Küçük Omurgasızlar

Bu türler doğrudan mikroorganizma olmasalar da organik materyalin fiziksel olarak parçalanmasına ve havalanmasına yardımcı olarak mikroorganizmaların işini kolaylaştırırlar (Infinita Biotech, t.y.).

Kompostlaştırma aşamaları sırasıyla; ayırma, parçalama (öğütme), karıştırma ve depolama şeklindedir.

- Ayırma; kompostlaştırılmayan katı atıkların proses başlangıcında ayrılması gerekmektedir. Bu ayrıştırma aynı zamanda cam, plastik, karton ve metal gibi maddi değeri olan atıkların geri kazanımını sağlamaktadır.
- Parçalama (Öğütme); ayırma işleminden sonra evsel veya hayvansal organik atıkların kompostlaştırılmasını kolaylaştırmak için parçalama işlemi gerçekleştirilir. Bu aşama sonunda homojen bir karışım elde edilmektedir
- Karıştırma; mikroorganizmaların gerekli oksijene ulaşabilmesi için yapılan bu işlem, yığının içinde biriken amonyak gazının dışarıya salınmasını da sağlar.
- Depolama; kompostlaştırılması sağlanan organik atıkların trommel elekte elenmesi ve kapalı bir alanda depolanması işlemidir (Öztürk ve Bildik, 2005)

3. TARIMDA ENZİMLERİN UYGULAMALARI

Tarımda enzimlerin kullanımları, insanların hayatta kalmak için tarıma bağımlı olduğu ilk çağlardan, günümüzde tekrar tarıma bağımlı hale gelene kadar, ortak nokta ürün olmuştur (Infinita Biotech, t.y.).

Bitki örtüsü, toprak tipi, arazi kullanım geçmişi ve toprak yönetimi stratejisi toprak enzimlerini (Wyszkowska vd., 2005) doğrudan veya dolaylı olarak etkileyebilmektedir. Bütün bunlar derlendiğinde toprak kalite göstergeleri olarak toprak enzimlerinin kullanılması üç farklı şekilde sınıflandırılabilir; (1) kirlilik göstergesi, (2) ekosistem bozulma göstergesi ve (3) tarımsal uygulama göstergesidir. Topraktaki organik maddenin mineralizasyonu için, ekstraselüler enzimler mikroorganizmalar tarafından toprak içerisine verilmektedir. Organik maddeler enzimler tarafından hidroliz,

oksidasyon, redüksiyon, dehidrojenasyon, amonifikasyon, nitrifikasyon gibi çeşitli metabolik yollarla daha küçük moleküllere ayrılmaktadır (Tavaň, 2011).

4. ENZİMLERLE TOPRAK SAĞLIĞINI GELİŞTİRMEK

Sağlıklı topraklar, sürdürülebilir tarım ve çevre koruma için olmazsa olmazdır. Enzimler, besin döngüsünü kolaylaştırarak, organik madde ayrışmasını artırarak ve genel toprak yapısını iyileştirerek toprak sağlığına katkıda bulunur. Bu süreçler, kök gelişimi, mikrobiyal aktivite ve besin bulunabilirliği için elverişli koşullar yaratarak daha sağlıklı bitkilere ve artan verime yol açar.

Ayrıca, enzimler kuraklık, tuzluluk ve kirlilik gibi çevresel stres faktörlerine karşı toprak direncini artırmada önemli bir rol oynar. Topraktaki kirleticileri ve toksinleri parçalayarak, enzimler çevrenin detoksifikasyonuna yardımcı olur ve faydalı toprak organizmalarının büyümesini destekler. Bu detoks süreci sadece toprak sağlığını iyileştirmekle kalmaz, aynı zamanda sağlıklı topraklara bağlı ekosistemlerin genel refahına da katkıda bulunur.

Enzimler, canlı organizmalar tarafından üretilen özelleşmiş katalitik fonksiyonlara sahip protein molekülleridir ve canlı organizmaların hayatsal faaliyetlerini gerçekleştirmeleri için gerekli pek çok biyokimyasal reaksiyonlardan sorumludurlar (Polaina ve MacCabe, 2007).

5. TARIMDA ENZİMLER

Tarımda enzimler, besin bulunabilirliğini arttırmak, toprak yapısını iyileştirmek ve ürün verimliliğini artırmak için kullanılır. Enzimatik ürünler, besin alımını optimize etmek, kök gelişimini teşvik etmek ve bitki dayanıklılığını arttırmak için toprak düzenleyici veya yaprak spreyi olarak uygulanabilir. Tarımda enzim kullanımı, toprak verimliliği yönetimine sürdürülebilir bir yaklaşım sunar. Ayrıca, enzimler toprak kaynaklı patojenlerin biyolojik kontrolünde hayati bir rol oynar. Bazı enzimler, topraktaki zararlı patojenleri baskılamaya yardımcı olabilecek antimikrobiyal özelliklere sahiptir ve kimyasal pestisitlere olan ihtiyacı azaltır. Bu çevre dostu yaklaşım, yalnızca bitki sağlığını korumakla kalmaz, aynı zamanda toprak ekosisteminin genel dengesine de katkıda bulunur. Toprak enzimleri birçok reaksiyonları katalizleyerek, ekosistem süreçlerinin merkezini oluştururlar. Enzim aktivitesi toprak mikrobiyal aktivitesiyle bağlantılı olup toprak verimliliği, toprak kalitesi

ve biyolojik aktivitenin göstergesidir (Quilchano ve Mara~n' on, 2002; Roldán vd., 2005).

6. TOPRAKTA ENZİMLERİN POTANSİYEL ZORLUKLARI VE ÇÖZÜMLERİ

Her yeni teknolojiye olduğu gibi, toprak iyileştirmede enzim kullanımı da maliyet etkinliği, farklı toprak tipleriyle uyumluluk ve yasal düzenlemeler gibi zorluklarla karşılaşabilir. Ancak, devam eden araştırmalar ve teknolojik gelişmeler, toprak yönetiminde enzimlerin daha geniş çapta benimsenmesini ve kullanılmasını sağlamak için bu zorlukları ele almaktadır. Hidrolaz ve glikosidaz organik maddenin ayrışmasında ve besin elementi döngüsünde önemlidirler. Fosfataz, organik P mineralizasyonunda rol oynamaktadır. Üreaz, ürenin amonyak ve karbon dioksit hidrolizini katalizleyen bir enzimdir. Üreaz aktivitesi sıcaklık, su içeriği ve azot uygulamaları ile yakından ilişkilidir (Sardans vd., 2008). Katalaz tüm aerobik organizmalarda bulunan bir antioksidan enzimdir ve hidrojen peroksidi su ve oksijene kataliz eder. Toprak enzimleri topraklar üzerine yapılan uygulamalardan (sulama, gübreleme, işleme) etkilenmektedir (Wang vd., 2011).

7. ENZİMLERLE TOPRAK YÖNETİMİNİN GELECEĞİ

Enzimlerle toprak yönetiminin geleceği umut verici görünüyor. Sürdürülebilir uygulamalara yönelik artan farkındalık ve dayanıklı tarım sistemlerine duyulan ihtiyaçla birlikte, enzimler toprak dayanıklılığını ve stabilitesini arttırmak için doğal ve etkili bir çözüm sunuyor. Bilim insanları, politika yapımcılar ve sektör paydaşları arasındaki sürekli araştırma, inovasyon ve iş birliği, toprak yönetimine daha yeşil ve daha sürdürülebilir bir yaklaşımın önünü açacaktır.

Son yıllarda araştırmacılar, genetiği değiştirilmiş enzimlerin toprak verimliliğini artırmak için kullanıma potansiyelini araştırıyorlar. Bilim insanları, enzimleri belirli bileşiklere hedef alıp parçalayacak şekilde tasarlayarak, bitkilerin besin maddelerinin bulunabilirliğini ve emilimini iyileştirmeyi umuyorlar. Bu, toprak yönetimine yaklaşımımızda devrim yaratarak ürün veriminde artışa ve sentetik gübrelere olan bağımlılığın azalmasına yol açabilir.

Bir diğer heyecan verici gelişme alanı da iyileştirme çalışmalarında enzimlerin kullanımıdır. Enzimler, ağır metaller ve pestisitler gibi topraktaki kirleticileri ve kirleticileri parçalamada umut vaat etmektedir. Bu doğal katalizörlerin gücünden yararlanarak, kirlenmiş toprağı daha sağlıklı bir duruma getirebilir ve zararlı maddelerin çevresel etkisini azaltabiliriz.

Ayrıca enzimlerin toprak iyileştirmede kullanımı sadece tarımsal alanlarla sınırlı değildir. Enzimler, kentsel peyzaj düzenlemelerinde ve inşaat projelerinde de önemli bir rol oynayabilir. Yeşil çatılar ve kent bahçeleri için kullanılan toprak karışımlarına enzimler ekleyerek, toprak kalitesini artırabilir ve kentsel ortamlarda bitki gelişimini destekleyebilir, daha yeşil ve daha sürdürülebilir bir kentsel peyzaja katkıda bulunabiliriz.

Sonuç olarak, enzimler toprak dayanıklılığını ve stabilitesini iyileştirmede önemli bir rol oynar. Toprak kohezyonunu artırma, sıkışmayı azaltma, erozyonu kontrol etme ve genel toprak sağlığını iyileştirme yetenekleri, onları toprak yönetimi uygulamalarında paha biçilmez kılar. Enzimler hakkındaki anlayışımız gelişmeye devam ettikçe, tarım, peyzaj ve inşaat alanlarındaki uygulamaları şüphesiz daha sürdürülebilir ve dayanıklı toprak ekosistemlerine katkıda bulunacaktır.

Enzimler, insanlar tarafından binlerce yıldır çeşitli şekillerde kullanılmaktadır. Biyoteknoloji ve diğer yeniliklerdeki gelişmelerle birlikte, bu kullanımın daha da artması kaçınılmazdır. Enzim-mikrop kompleksinin kullanımı, ürün üretimini ve toprak verimliliğini artırmanın sürdürülebilir bir yoldur. Ayrıca, yenilebilir yağ çıkarma, kümes hayvanı yemi, bira üretimi, süt ürünleri ve gıda işleme gibi ilgili gıda endüstrilerinde de faydalanılmaktadırlar (Infinita Biotech, t.y.).

8. TOPRAKTAKİ ENZİMLERİN ALINIMINA ETKİ YAPAN ETMENLER

Bitkinin fiziksel ve biyokimyasal aktiviteleri iç ve dış etmenlerin etkisi altındadır. Buna bağlı olarak bitki besin elementlerinin alımı artar, azalır ya da değişmeden kalır. Bilim adamları bitki besin elementlerinin alımı üzerine etki yapan etmenlerden biri dışında diğerlerini olabildiğince durağan kılmak suretiyle etmenlerin etki derecelerini belirlemeye çalışmışlardır. Aşağıda bitki besin elementlerinin alımı üzerine etki yapan önemli etmenler üzerinde özet bilgi sunulmuştur (Kaçar ve Katkat, 2015).

8.1. Sıcaklık

Kök yöresinde sıcaklığın değişmesi pasif absorpsiyonu olduğu gibi aktif absorpsiyonu da etkilemektedir. Örneğin pasif absorpsiyonda bağımsız difüzyon oranı, difüzyon eden moleküllerin ya da iyonların kinetik enerjileri ile yakından ilgili olup bunu da sıcaklık önemli derecede etkilemektedir. Sıcaklığın azalması ile molekül ya da iyonların kinetik enerjileri azalmakta ve dolayısıyla bağımsız difüzyon da azalmaktadır. Aynı şekilde aktif absorpsiyonda önemli rol oynayan biyokimyasal tepkimeler sıcaklık düşmesine bağlı olarak azalmakta ve bu aktif absorpsiyonun olumsuz şekilde etkilenmesine yol açmaktadır. Kök yöresinde sıcaklığın belli bir düzeyin üzerine çıkması sonucu iyon alımının hızla azalması besin elementi alımında rol oynayan enzimlerin işlevlerini yitirmeleri ile yakından ilgilidir. Yüksek sıcaklıkta solunum etkilendiği gibi membranların geçirgenliklerinin azalması sonucu pasif absorpsiyon ve iyon birikimi (aktif absorpsiyon) de azalmaktadır. Sıcaklık, absorbe edilen anyon ve katyonların oranı üzerinde de etkili olmaktadır. Nedenleri kesinlikle bilinmemekle birlikte yapılan çalışmalar, değişik sıcaklıklarda anyonların katyonlara göre daha az absorbe edildiklerini göstermiştir (Kaçar ve Katkat, 2015).

8.2. Havalanma

Su ile kaplı ya da yeterince havalanamayan topraklarda veya havalandırılmayan besin çözeltilerinde bitkilerin besin elementi alımlarındaki gerileme kök yöresinde O₂ miktarı ile yakından ilgilidir. Öte yandan iyi havalanamayan ortamlarda CO₂ birikimi, solunum ve iyon alımını etkilediği gibi kök üzerinde de çok daha fazla zehir etkisi yapar. Kök yöresinde gereğinden fazla bulunan CO₂, hücrelerin metabolik işlevlerini olumsuz yönde etkileyerek iyon absorpsiyonunu engellemektedir. Oksijenin yeterince bulunmaması durumunda iyon birikimi de gerilemektedir. Kök yöresinde oksijen miktarının azalması özellikle potasyum ve fosfor alımını olumsuz şekilde etkilemekte, oksijenin çok düşük düzeyde olması durumunda element alımı çok azalmaktadır. Örneğin su ile kaplı topraklarda oksijen azlığında bitki büyümesindeki gerileme bitki besin elementleri alımındaki azalmaya bağlıdır (Kaçar ve Katkat, 2015).

8.3. Işık

Farklı ışık çeşitlerinin antosiyanin düzeyinde sırasıyla kırmızı dışında, turuncu, sarı, mavi, yeşil, mavi yeşil ve mor ışık ortamında önemli miktarda bitkiler üzerinde farklılık gösterdiği görülmüştür. Kırmızı ışık ortamda yetişen bitki yapraklarının antosiyanin düzeyi bazı bitkilerde artış eğiliminde olduğu bilinmektedir. Farklı ışıklardan oluşan ortamda yetiştirilen yaprakların enzim miktarında kırmızı ışık ortamında önemli sayılabilecek değişkenlikler görülmüştür. Bazı araştırmacılar tarafından farklı ışık miktarının ve rengine bağlı kalarak söz konusu enzim düzeylerinin farklı şekilde etkilendiği kanısına varılmıştır. Buna göre, SOD, APX ve GR aktiviteleri farklı ışık ve çevre şartlarıyla birlikte bazı bitkilerin artış gösterdiği tespit edilirken (Oidaire vd., 2000), antioksidatif savunma sisteminde kilit taşı olan katalaz enzim aktivitesinin ise *Arabidopsis thaliana*' da düştüğü (Kubo vd., 1999), bazı bitkilerin etkilenmediği (Oidaire vd., 2000) görülmüştür.

8.4. pH

Topraktaki enzimlerin faaliyeti toprak pH'ından önemli bir şekilde etkilendiği için enzim faaliyetleri ile toprak pH'ı arasında yakın bir ilişki vardır. Toprağa uygulanan çeşitli materyaller ve enzim aktiviteleri, toprak pH'ının değişmesine neden olabilir. Bitkilerde gerçekleşen bazı salgılar kökler vasıtasıyla rizosfere geçince, toprak pH'ını etkiler ve bu durum enzimlerin topraktaki etkileşimini değiştirebilir. Atık suların sulamada kullanılması veya toprağa uygulanan arıtma çamurları da toprak pH'ını etkiler. (Cherfouh vd., 2018) Ayrıca toprakta bulunan organik madde, toprak pH'ını değiştirerek toprakta enzimlerin hareketini etkileyebilir. (Galavi vd., 2010).

SONUÇ

Toprakta veya bitkinin yetiştği herhangi bir ortamda enzim seviyesi azaldıkça bitkilerin birçoğunda gelişiminin olumsuz etkileneceği bilinen bir gerçektir. Enzimler yararlı mikroorganizmalarla sinerjik olarak çalışarak toprağın biyolojik olarak aktif ve besin açısından zengin kalmasını sağlar. Enzimler, insanlar tarafından binlerce yıldır farklı şekillerde çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Biyoteknolojinin yanı sıra diğer yeniliklerdeki gelişmelere katkı sağlamakla birlikte, bu kullanım alanlarının daha da artması kaçınılmazdır. Enzim-mikrop kompleksinin kullanımı, toprak sağlığını, ürün

üretimini ve toprak verimliliğini artırmanın sürdürülebilir önemli aşama yollarıdır. Dahası, yenilebilir yağ çıkarma, kümes hayvanı yemi, süt ürünleri ve gıda işleme gibi farklı alanlarla ilgili gıda endüstrilerinde de kullanılmaktadırlar.

KAYNAKÇA

- Anisa, S.K., Ashwini, S. & Girish, K. (2013). Isolation and Screening of *Aspergillus* spp. For Pectinolytic Activity. *Electronic Journal of Biology*, 9 (2), 37-41.
- Aoki, K., Miyamoto, K., Murakami, S., & Shinke, R. (1995). Anaerobic Synthesis of Extracellular Proteases by The Soil Bacterium *Bacillus* sp. AM-23: Putrification And Characterization of The Enzymes. *Soil Biol. Biochem.* Vol. 27. No. 11. pp. 1377-1382.
- Bone J, Head M, Barraclough D, Archer M, Scheib C, Flight D., & Voulvoulis N (2010). Soil quality assessment under emerging regulatory requirements. *Environment International*, 36: 609–622.
- Cherfouh, R., Lucas, Y., Derridj, A., & Merdy, P. (2018). Long-term, low technicality sewage sludge amendment and irrigation with treated wastewater under Mediterranean climate: impact on agronomical soil quality. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(35), 35571-35581.
- Dick, R. P., & Burns, R. G. (2011). A brief history of soil enzymology research. *Methods of Soil Enzymology*, 9, 1–34.
- Dindar, E. (2014). *Petrol ve Petrol Ürünleriyle Kirlenmiş Toprakların Islahı*, (Doktora Tezi), Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Favela-Torres, E., Volke-Sepulveda, T. & Viniğra-Gonzalez, G. (2006). Production of Hydrolytic Depolymerising Pectinases. *Food Technology and Biotechnology*, 44 (2), 221- 227.
- Galavi, M., Jalali, A., Ramroodi, M., Mousavi, S. R., & Galavi, H. (2010). Effects of treated municipal wastewater on soil chemical properties and heavy metal uptake by sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Journal of Agricultural Science*, 2(3), 235. 241.
- Gamerith, G., Groicher, R., Zeilinger, S., Herzog, P. & Kubicek, C.P. (1992). Cellulase-Poor Xylanases Produced by *Trichoderma reesei* RUTC-30 on Hemicellulase Substrates. *Appl Microbiol Biotechnol.* 38: 315-322.
- García-Orenes, F., Guerrero, C., Roldán, A., Mataix-Solera, J., Cerdà, A., Campoy, M., ... & Caravaca, F. (2010). Soil microbial biomass and activity under different agricultural management systems in a semiarid

- Mediterranean agroecosystem. *Soil and Tillage Research*, 109(2), 110-115.
- Günel, H., & Budak, M. (2022). Toprak Kalitesi ve Ekosistem Hizmetleri Arasındaki İlişkinin İrdelenmesi. *Toprak Kalitesi ve Değerlendirilmesi*, 45-66. *IKSAD Publishing House*.
- Infinita Biotech. (t.y.). *Understanding Enzymes for Plant Growth*. Erişim adresi: <https://infinitabiotech.com/blog/understanding-enzymes-for-plant-growth/>, Erişim tarihi: 25.09.2025.
- Kaçar, B. & Katkat A. V. (2015). *Bitki besleme*. (6. Basım) Nobel akademik yayıncılık eğitim danışmanlık Tic. Ltd. Şti. ISBN: 978 605 320 121 2
- Kıran, Ö. E., Çömlekçioglu, U. & Dostbil, N. (2006). Bazı mikrobiyal enzimler ve endüstrideki kullanım alanları. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9, 12-19.
- Kızılkaya, R., & Hepşen, Ş. (2007). Microbiological properties in earthworm cast and surrounding soil amended with various organic wastes. *Communications in soil science and plant analysis*, 38(19-20), 2861-2876.
- Kızılkaya, R., Arcak, S., Horuz, A. & Karaca, A. (1998). Çeltik tarımı yapılan toprakların enzim aktiviteleri üzerine toprak özelliklerinin etkisi. *Pamukkale üniversitesi mühendislik bilimleri dergisi*, 4(3), 797-804.
- Kızılkaya, R., Aşkın, T., Bayraklı, B., & Sağlam, M. (2004). Microbiological characteristics of soils contaminated with heavy metals. *European Journal of Soil Biology*, 40(2), 95-102.
- Köprülü, E. (2023). *Çiftçi şartlarında farklı bitki yetiştirilen topraklarda bazı enzim aktivitelerinin mevsimsel değişimi*. (Yüksek Lisans Tezi). Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı. Şanlıurfa.
- Kubo, A., Aono, M., Nakajima, N., Saji, H., Tanaka, K. & Kondo, N. (1999). Differential responses in activity of antioxidant enzymes to different environmental streses in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Plant Research*. 112, 1107, 279-290.
- Mabrouk. S.S., Hashem. A.M., EL-Shayeb, A., Ismail, M.S. & Abdel-Fattah, A.F. (1998). Optimization of Alkaline Protease Productivity by *Bacillus licheniformis* ATCC 21415. *Bioresource Technology*, 69: 155-159.

- Ndiaye, E.L., Sandeno, J.M., McGrath, D. & Dick, R.P., (2000) Integrative biological indicators for detecting change in soil quality. *Am. J. Alter. Agric.* 15:26–36. doi:10.1017/S0889189300008432
- Niehaus, F., Bertoldo, C., Kahler, M. & Antranikian, G. (1999). Extremophiles As a Source of Novel Enzymes For Industrial Application. *Appl Microbiol Biotechnol.* 51: 711-729.
- Oidaire H., Sano S., Koshiba T. & Ushimaru T. (2000). Enhancement of antioxidative enzyme activities in chilled rice seedlings, *Journal Of Plant Physiology*, Volume 156, Issues 5–6, Pages 811-813. ISSN 0176-1617 [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(00\)80254-0](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(00)80254-0)
- Okur, N., Kayıkçıoğlu, H. H., Okur, B. & Delibacak, S. (2008). Organic amendment based on tobacco waste compost and farmyard manure: Influence on soil biological properties and butter-head Lettuce (*Lactuca sativa* L. var. Capitata L.) Yield. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32(2): 91-99.
- Öztürk, B. (2002). Lipaz Enzimi, Yapısal Özellikleri ve Uygulama Alanları, *Gıda Müh. Dergisi*, Haziran 2002 / Sayı: 12, İYTE, İzmir, 20-23.
- Öztürk, M., & Bildik, B. (2005). Hayvan çiftliklerinde kompost üretimi. *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara, 6-8.
- Polaina, J. & MacCabe, A.P. (2007). *Industrial enzymes: Structure, function and applications*. Springer. The Netherlands
- Quilchano, C, & Marañón, T. (2002). Dehydrogenase activity in Mediterranean forest soils. *Biol. Fert. Soils.* 35: 102-107.
- Roldán, A., Salinas-García, J. R., Alguacil, M. M., Díaz, E. & Caravaca, F. (2005). Soil enzyme activities suggest advantages of conservation tillage practices in sorghum cultivation under subtropical conditions. *Geoderma*, 129(3-4): 178-185.
- Salles, B.C., Cunha, R.B., Fontes, W., Sousa, M.V. & Filho, E.X.F. (2000). Purification and Characterization of a New Xylanase From *Acrophialophora nainiana*. *Journal of Biotechnology*. 81: 199-204
- Sardans, J., Peñuelas J. & Estiarte, M. (2008). Changes in soil enzymes related to C and N cycle and in soil C and N content under prolonged warming and drought in a Mediterranean shrubland. *Applied Soil Ecology*, 39(2): 223-235.

- Sun, Y., & Cheng, J. (2002). Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource technology*, 83(1), 1-11.
- Tavali, Ğ. E. (2011). *Farklı dozlarda uygulanan vermikompostun toprağın enzim aktivitesi ve bakteriyel varlığı üzerine etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi). Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı. Antalya.
- Wang, J. B., Chen, Z. H., Chen, L. J., Zhu, A. N. & Wu, Z.J. (2011). Surface soil phosphorus and phosphatase activities affected by tillage and crop residue input amounts. *Plant Soil and Environment* 57 (6): 251–257.
- Wyszkowska, J., Kucharski, J. & Lajszner, W. (2005). Enzymatic activities in different soils contaminated with copper. *Pol. J. Environ. Stud.*, 14, 659–664.
- Yıldırım, E. (2010). *Tuzlu topraklarda katalaz enziminin aktivitesi ve kinetiğı* (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı. Konya.
- Yuan, B.-C., Li, Z.-Z., Liu, H., Gao, M. & Zhang, Y.-Y. (2007). Microbial biomass and activity in salt affected soils under arid conditions. *Applied Soil Ecology*, 35(2), 319–328.
- Zhang, H.-S., Zai, X.-M., Wu, X.-H., Qin, P. & Zhang, W.-M. (2014). An ecological technology of coastal saline soil amelioration. *Ecological Engineering*, 67, 80–88.

BÖLÜM 9

VAN İLİNİN ENDÜSTRİ BİTKİLERİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Öğr. Gör. Dr. Ezelhan ŞELEM¹

Prof. Dr. Murat TUNÇTÜRK²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17638654>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Muradiye Meslek Yüksek Okulu, Peyzaj ve Süs Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye. ezelhanslem@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-4227-5013

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye. murattuncurk@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-7995-0599

1. GİRİŞ

Endüstriyel bitkiler, çeşitli endüstriyel ürünler için hammadde üretimi gibi gıda dışı amaçlar için özel olarak yetiştirilen bitkilerdir. Bu bitkiler arasında tekstil üretimi için pamuk, lastik üretimi için kauçuk, biyoyakıt üretimi için şeker kamışı, farmakoloji için kekik, kozmetik için aynısefa gibi bitkiler bulunmaktadır. Bu bitkilere olan artan talep, çeşitli endüstriler için sürdürülebilir ve yenilenebilir hammadde kaynaklarına duyulan ihtiyaçtan kaynaklanmaktadır. Endüstriyel bitkilerin yetiştirilmesi ve işlenmesi küresel ekonomide önemli bir rol oynamakta, istihdam sağlamakta ve birçok ülkenin büyümesine katkıda bulunmaktadır. Endüstriyel bitkilerin fosil yakıtların yerini alması, karbon tutulması, küçük çiftçiler ve ticari çiftçiler için kâr marjlarının artması, marjinal ve kirli arazilerin kullanımının iyileştirilmesi gibi sosyal, ekonomik ve çevresel faktörler de dahil olmak üzere birçok avantajı bulunmaktadır. Ayrıca, endüstriyel tarım organik ve sürdürülebilir tarım uygulamalarına geçişte yardımcı olma potansiyeli taşımaktadır. Endüstriyel tarımla sürdürülebilirlik, polimerler ve çözücüler gibi geleneksel petrol bazlı malların yerine endüstriyel ürünlerin kullanılmasıyla da sağlanabilmektedir. Endüstriyel bitkiler, enerji ve iklim hedeflerine ulaşmaya yardımcı olabilecek bitkisel malzemelerle petrol bazlı ürünlere alternatif de üretebilir. Ancak, yüksek katma değer nedeniyle gıda üretimine ayrılmış verimli toprakları işgal edebilecekleri için endüstriyel bitkilerin gıda üretimini engelleyebileceği endişesi mevcuttur. Ancak, endüstriyel bitkiler marjinal ve kirli topraklarda ve çoklu ve ara ekim teknikleri kullanılarak yetiştirilirse bu endişe azaltılabilir. Endüstriyel bitkilerin sürdürülebilir üretimi ayrıca arazi yenilenmesine yardımcı olabilir ve biyolojik çeşitliliğin artırılması, toprak yapısının ve organik maddenin iyileştirilmesi gibi birçok ekosistem faydası sağlayabilir (Şelem vd., 2022; Tunçtürk vd., 2022; Peddyreddy, 2023; Nohutçu vd.2024).

Endüstri bitkileri dört grup altında toplanmaktadır. Bunlar;

- Nişasta ve Şeker Bitkileri: Patates (*Solanum tuberosum*), Şekerpancarı (*Beta vulgaris*), Şeker kamışı (*Saccharum* sp), Tatlı Patates (*Ipomea* sp), Yer elması (*Helianthus tuberosus*)
- Yağ Bitkileri: Ayçiçeği (*Helianthus annuus*), Soya (*Glycine max*), Yerfıstığı (*Arachis hypogea*), Kolza (*Brassica napus*), Susam (*Sesamum indicum*), Aspir (*Carthamus tinctorius*), Hintyağı (*Ricinus communis*), Ketencik (*Camelina sativa*)

- Lif Bitkileri: Pamuk (*Gossypium hirsutum*), Keten (*Linum ussitatissimum*), Kenevir (*Cannabis* sp), Manila kendiri (*Musa textilis*), Kenaf (*Hibiscus cannabis*), Sisal kendiri (*Agave sisalana*)
- Tıbbi Aromatik Bitkiler, Tütün (*Nicotiana tabacum*), Şerbetçiotu (*Humulus lupulus*), Çemen (*Trigonella* sp), Kekik (*Thymus* sp, *Origanum* sp.), Nane (*Mentha* sp), Adaçayı (*Salvia* sp), Çörekotu (*Nigella* sp), Sahlep (*Orchis* sp), Sumak (*Thus* sp), Anason (*Pimpinella* sp), Safran (*Crocus* sp), Ihlamur (*Tilia* sp), Haşhaş (*Papaver* sp) (Anonim, 2025).

2. TÜRKİYE’DE ENDÜSTRİ BİTKİLERİNİN ÖNEMİ

Ülke tarımında önemli bir yere sahip olan endüstri bitkilerinin, bitkisel üretimimiz içerisinde doğrudan veya dolaylı olarak pek çok sanayi sektörüne ham madde sağlamaları nedeniyle ulusal gelire ve ihracata olan katkıları en üst düzeydedir. Ülkemizde tarıma dayalı sanayi sektörü, gıda ve dokuma sanayi olmak üzere başlıca iki gruptan oluşmaktadır. Bitkisel yağ, şeker, nişasta, sigara, içki, ilaç, dokuma ve tekstil sanayi sektörleri ise söz konusu iki ana sektörü bütünleyen alt sanayi dalları olarak yer almaktadır. Bu sanayi dallarına şeker pancarı, pamuk, ayçiçeği, susam, kolza, soya, yer fıstığı, aspir, patates, tütün, haşhaş, anason, kapari, kekik ve kimyon gibi bitkiler de hammadde sağlamaktadır. Endüstri bitkilerinin diğer birçok kültür bitkisine nazaran daha yüksek verime sahip olmasına karşın, büyük bir kısmının çapa bitkisi olması nedeniyle tarımında yoğun işgücü ve girdi kullanımı gerektirmektedir (Tunçtürk vd. 2004; Eryiğit, 2011). Bu nedenle genelde üretim maliyetleri yüksek olmaktadır. Ancak endüstri bitkileri, yoğun işgücü ve tarımı nedeniyle gerek üretimi aşamasında gerekse işlendiği sanayi kollarında büyük bir iş potansiyeli oluşturmaktadır. Ayrıca endüstri bitkileri yetiştiriciliğinin ileri tarım tekniği gerektirmesi, çiftçilerimizin tarımsal bilgi ve teknoloji kullanım düzeylerini yükseltmektedir (Eryiğit, 2011).

2023/24 üretim sezonu itibarıyla Türkiye’nin endüstri bitkileri üretiminde denge tablosu göz önüne alındığında (Tablo 1) genel olarak kendi kendine yeterlilik düzeyini koruduğu görülmektedir. Bununla birlikte, bazı ürünlerde dışa bağımlılığın devam ettiği gözlemlenmektedir. Özellikle patates, şeker pancarı, kolza ve çay üretimi, iç talebi karşılayacak seviyede olup, yeterlilik oranları %95’in üzerinde gerçekleşmiştir. Buna karşın, soya (%4.1)

ve ayçiçeği (%71.9) üretiminde dış ticaret açığı dikkat çekici düzeyde olup, bu ürünlerde yüksek ithalat ihtiyacı, Türkiye tarımının en kırılgan alanlarını işaret etmektedir. Pamukta (%97.7) gözlenen kısmi açık ise büyük ölçüde ithalat yoluyla giderilmektedir. Öte yandan, şeker pancarı ve patates gibi ürünlerde yüksek üretim kapasitesi, ülkenin gıda ve sanayi hammadde temini açısından güçlü bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Genel olarak Türkiye tarımında, nişasta-şeker bitkilerinde sağlam bir üretim yapısı gözlenirken, yağlı tohumlar söz konusu olduğunda üretim yapısının kırılgan olduğu değerlendirilmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Ülkemizde bazı endüstri bitkilerinin 2023/24yılı denge tablosu

	Patates	Ayçiçeği	Kolza	Pamuk (çiğit)	Soya	Şeker pancarı	Çay
Üretim (Ton)	5 700 000	2 198 000	120 000	1 260 000	137 500	-	1 356 556
Ekilen alan (Hektar)	150 927	952 606	32 291	477 438	32 685	-	
Üretim kayıpları (Ton)	96 900	17 584	1 560	25 200	1 100	-	203 483
Arz= Kullanım (Ton)	5 729 306	6 773 066	156 762	1 291 892	3 388 699	25 250 213	1 223 910
Kullanılabilir üretim (Ton)	5 603 100	2 180 416	118 440	1 234 800	136 400	25 250 213	1 153 073
İthalat (Ton)	126 206	4 592 650	38 322	57 092	3 252 299	0	70 837
Yurt içi kullanım (Ton)	5 493 826	3 033 395	118 040	1 263 704	3 318 882	25 250 119	1 203 448
İnsan tüketimi (Ton)	4 951 694	2 958 438	115 033	1 184 581	18 640	-	1 167 344
Tohumluk kullanım (Ton)	377 318	14 289	646	19 098	3 269	-	-
Kayıplar (Ton)	164 815	60 668	2 361	60 026	41 486	998 716	36 103
İhracat (Ton)	235 480	3 671 152	38 722	68 809	69 817	94	20 462
Stok değişimi (Ton)	-	68 519	0	- 40 621	0	0	-
Kişi başına tüketim (Kg)	58.0	34.7	1.3	13.9	0.2	-	13.7
Yeterlilik derecesi (%)	102.0	71.9	100.3	97.7	4.1	100.0	95.8

Kaynak: Tuik, (2025).

Tablo 2'deki veriler incelendiğinde Türkiye'de yağlı tohum üretiminde dalgalı bir seyir izlendiği görülmektedir. Yerfıstığı ve soya ekim alanı ve üretiminde son yıllarda belirgin bir artış eğilimi gözlenirken, susam ve asperde düşüş, pamuk ve kolzada ise dalgalı bir yapı dikkat çekmektedir. Özellikle soya üretimi artmakla birlikte ülke ihtiyacına oranla oldukça düşük kalmakta, bu da dışa bağımlılığı arttırmaktadır. Buna karşın, kenevirin üretim alanında 2018 sonrası ciddi bir genişleme kaydedilmesi, lif ve yağ bitkilerinde çeşitliliğin yeniden gündeme alındığını ortaya koymaktadır. Genel olarak, Tablo 2

incelendiğinde Türkiye'nin yağlı tohumlarda arz açığını tam anlamıyla kapatamadığı; ancak yeni türlere yönelimle üretim deseninde çeşitlenmeye gidildiği söylenebilir.

Tablo 2. Ülkemizde bazı yağlık endüstri bitkilerinin 2017-2024 yıllarına ait ekilen alan (da), üretim (ton) ve verim (kg/dekar) değerleri

Yıl		2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Soya	Alan	316695	328483	352947	351343	438917	380090	326840	437113
	Verim	442	426	425	442	415	408	421	412
	Üreti m	140000	140000	150000	155225	182000	155000	137500	180000
Yerfıstığı	Alan	419495	443342	424211	547747	579192	457016	460098	576419
	Verim	394	392	401	394	404	408	402	428
	Üreti m	165330	173835	169328	215927	234167	186340	185137	246796
Pamuk Çekirdeği (Çiğit)	Alan	501853	518634	477868	359220	432279	573161	477438	466927
	Verim	4	2	1		0	3	4	2
	Üreti m	293	297	276	296	312	288	264	288
Keten Tohumu	Alan	147000	154200	132000	106418	135000	165000	126000	134580
	Verim	0	0	0	9	0	0	0	0
	Üreti m	-	-	-	-	10	95	245	1320
Kolza Tohumu)	Verim	-	-	-	-	100	84	131	142
	Üreti m	-	-	-	-	1	8	32	188
Susam Tohumu	Alan	165195	378456	525146	349891	376017	411455	322910	295194
	Verim	364	330	343	347	372	365	372	348
	Üreti m	60000	125000	180000	121542	140000	150000	120000	101200
Ayçiçeği Tohumu (Yağlık)	Alan	280316	259858	248604	256663	254862	242857	220205	204060
	Verim	66	67	68	73	70	72	74	71
	Üreti m	18410	17437	16893	18648	17657	17366	16190	14439
Kenevir Tohumu	Alan	681397	648934	675983	650869	811311	900517	864667	854923
	Verim	6	4	4	6	6	7	9	9
	Üreti m	264	277	289	292	273	261	227	218
Haşhaş Tohumu	Alan	180000	180000	195000	190000	221500	235000	196000	185500
	Verim	0	0	0	0	0	0	0	0
	Üreti m	24	59	536	4252	317	1963	3923	7206
Aspir Tohumu	Verim	42	51	42	64	63	82	83	77
	Üreti m	1	3	20	273	20	159	327	556
Haşhaş Tohumu	Alan	237314	451226	677369	461252	516721	411591	222549	175716
	Verim	64	60	50	59	50	46	39	50
	Üreti m	15244	26991	27288	20542	21037	12240	7922	8441
Aspir Tohumu	Alan	273762	246932	158601	151150	145882	262375	321298	254175
	Verim	183	142	138	141	112	114	121	114
	Üreti m	50000	35000	21883	21325	16200	30000	39000	29000

Kaynak: Tuik, (2025).

Türkiye’de nişasta ve şeker bitkilerinde özellikle patates ve şeker pancarının baskın konumda olduğu görülmüştür (Tablo 3). Patates üretimi hem alan hem de verim artışına bağlı olarak yükselmiş ve ülke için stratejik bir gıda ve sanayi ürünü konumunu güçlendirmiştir. Şeker pancarı ise yüksek verimlilik ve üretim kapasitesiyle Türkiye’nin endüstri bitkileri içinde en güçlü kalemi

olmaya devam etmektedir. Tatlı patates, salep ve yerelması gibi alternatif ürünlerde sınırlı ölçekli artışlar gözlenmekte, ancak henüz ekonomik ölçeğe ulaşamamıştır. Şeker kamışı ise Türkiye tarımında deneme düzeyinde kalmaktadır. Bu bağlamda, Tablo 3, göz önüne alındığında, Türkiye'nin nişasta-şeker ihtiyacını büyük ölçüde kendi üretimiyle karşıladığı, ancak çeşitliliğin henüz sınırlı kaldığı kanısı hasıl olmuştur.

Tablo 3. Ülkemizde bazı nişasta şeker endüstri bitkilerinin 2017-2024 yıllarına ait ekilen alan (da), üretim (ton) ve verim (kg/dekar) değerleri

Yıl		2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Patates	Alan	1428835	1359373	1408967	1479935	1389175	1391716	1509269	1957753
	Verim	3360	3348	3538	3514	3682	3739	3777	3525
	Üretim	4800000	4550000	4979824	5200000	5100000	5200000	5700000	6900000
Tatlı Patates	Alan	792	342	344	135	244	345	365	556
	Verim	1759	1442	1439	1837	2774	3678	3819	4230
	Üretim	1393	493	495	248	674	1269	1394	2352
Yer Elmas	Alan	524	525	525	600	621	640	642	725
	Verim	1968	1960	1960	1907	2129	2039	2031	1994
	Üretim	1031	1029	1029	1144	1322	1305	1304	1446
Salep	Alan	-	-	-	-	193	262	328	405
	Verim	-	-	-	-	474	455	399	364
	Üretim	-	-	-	-	82	117	131	147
Şeker Pancarı	Alan	3392742	2921044	3137891	3381078	3054051	2975096	3640696	3246651
	Verim	6241	5998	5822	6846	5876	6518	6960	7092
	Üretim	21149020	17436100	18054320	23025738	17767085	19253962	25250213	23000000
Şeker Kamışı	Alan	32	33	41	47	51	47	4	52
	Verim	5000	5061	5024	4894	4843	5043	3750	6769
	Üretim	160	167	206	230	247	237	15	352

Kaynak: Tuik, (2025).

Tablo 4'te görüldüğü üzere pamuk, gerek kütlü gerekse lif üretiminde Türkiye'nin temel lif bitkisi konumunu korumaktadır; ancak ekim alanı ve üretimde dalgalanmalar, sektörün piyasa koşullarına duyarlı olduğunu göstermektedir. Buna karşın keten ve özellikle kenevirde son yıllarda kaydedilen artış dikkat çekicidir. Kenevirin 2017'de neredeyse yok denecek kadar düşük olan üretimi 2024'te bin tonun üzerine çıkmış, keten üretimi de benzer şekilde genişleme eğilimine girmiştir. Bu durum, pamuk dışındaki lif bitkilerinin yeniden tarımsal politika ve ekonomik değer kazandığını, Türkiye'nin lif üretiminde çeşitliliği artırmaya yöneldiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 4. Ülkemizde bazı lif endüstri bitkilerinin 2017-2024 yıllarına ait ekilen alan (da), üretim (ton) ve verim (kg/dekar) değerleri

Yıl		2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Pamuk, Çırcırlanmamış (Kütlü)	Alan	5018534	5186342	4778681	3592200	4322790	5731613	4774384	4669272
	Verim	489	496	460	494	520	480	440	480
	Üretim	2450000	2570000	2200000	1773646	2250000	2750000	2100000	2243000
Pamuk, Çırcırlanmış (Lifli)	Alan	5018534	5186342	4778681	3592200	4322790	5731613	4774384	4669272
	Verim	176	188	170	183	193	178	163	178
	Üretim	882000	976600	814000	656251	832500	1017500	777000	829910
Keten, Lif	Alan	50	50	25	113	76	90	139	823
	Verim	40	60	80	48	79	69	79	75
	Üretim	2	3	2	4	6	6	11	62
Kenevir, Lif	Alan	46	55	160	101	324	365	2117	8845
	Verim	152	127	126	94	65	117	170	140
	Üretim	7	7	19	9	21	31	359	1216

Kaynak: Tuik, (2025).

Türkiye’de tütün ve haşhaş gibi geleneksel endüstri bitkilerinin üretiminde düşüş eğilimi gözlenirken, tıbbi ve aromatik bitkilerin (lavanta, adaçayı, kekik, gül vb.) yükselişe geçtiği görülmektedir (Tablo 5). Tütün üretiminde alan daralmasına karşın verim artışıyla üretim belirli düzeyde korunmuş, ancak şerbetçiotu ve haşhaşta ciddi gerilemeler olmuştur. Buna karşılık lavanta, adaçayı ve kekikte kayda değer artışlar kaydedilmiş, gül üretimi ise istikrarlı bir şekilde artmaya devam etmiştir. Bu durum, Türkiye tarımında katma değeri yüksek aromatik bitkilere yönelimin arttığını, klasik endüstri bitkilerinde ise daralmanın sürdüğünü ortaya koymaktadır.

Tablo 5. Ülkemizde bazı tıbbi ve aromatik bitkiler ile diğer endüstri bitkilerinin 2017-2024 yıllarına ait ekilen alan (da), üretim (ton) ve verim (kg/dekar) değerleri

Yıl		2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Anason,	Alan	121833	124455	239171	155317	110712	87616	60244	73087
	Verim	69	70	74	69	63	67	75	70
	Üretim	8418	8664	17589	10716	6936	5878	4521	5102
Kimyon,	Alan	267358	361761	321889	212132	155122	131100	164944	262734
	Verim	72	67	63	66	54	62	70	65
	Üretim	19175	24195	20245	13926	8386	8130	11480	17018
Rezene,	Alan	16525	23400	33859	22204	13285	11875	8154	9406
	Verim	122	131	137	197	188	196	136	120
	Üretim	2022	3067	4655	4365	2503	2323	1108	1125
Çörek Otu Tohumu	Alan	32560	33864	37085	33773	83915	108029	53358	55997
	Verim	95	98	97	101	77	93	101	82
	Üretim	3094	3322	3603	3412	6435	10089	5386	4572
Kişniş,	Alan	410	405	155	2455	2612	1571	1932	1841
	Verim	71	72	77	77	97	130	115	55
	Üretim	29	29	12	188	253	204	222	101
Tütün, İşlenmemiş	Alan	995287	935034	882362	884659	831167	942295	1004625	781367
	Verim	94	81	77	89	86	93	98	138
	Üretim	93666	75276	68224	79081	71497	87725	98632	108000

Şerbetçiotu Kozalağ	Alan	3300	3300	3307	3308	3185	1828	1319	1322
	Verim	541	541	544	577	584	575	575	574
	Üretim	1785	1785	1800	1908	1861	1051	758	759
Haşhaş Kapsülü	Alan	237314	451226	677369	461252	516721	411591	222549	175716
	Verim	58	60	50	59	50	46	39	38
	Üretim	13836	26991	27288	20542	21037	12240	7922	6412
Adaçayı	Alan	4123	3951	5602	6655	9326	12781	16755	14914
	Verim	135	108	220	191	198	186	187	156
	Üretim	557	428	1233	1271	1848	2356	3133	2329
Lavanta	Alan	6606	8684	11903	22188	35810	47176	52329	49937
	Verim	133	124	126	161	173	166	185	185
	Üretim	845	1040	1462	3499	6108	7722	9509	9070
Oğul Otu	Alan	207	172	209	284	534	702	650	648
	Verim	512	488	445	528	503	465	389	361
	Üretim	106	84	93	150	266	324	253	234
Gül, Yağlık	Alan	33277	34205	38457	41320	41046	41675	42463	41369
	Verim	430	432	433	441	439	477	469	467
	Üretim	13372	14773	16560	18202	18020	19879	19912	19318
Kekik	Alan	121472	139061	157074	184711	199573	218330	216137	173267
	Verim	119	114	114	129	106	155	139	105
	Üretim	14477	15895	17965	23866	21174	33849	30129	18213

Kaynak: Tuik, (2025).

3. VAN İLİNİN EKOLOJİK ÖZELLİKLERİ

3.1. Coğrafi Konum

Van, dünya üzerinde 42 derece 40 dakika ve 44 derece 30 dakika Doğu boylamları ile 37 derece 43 dakika ve 39 derece 26 dakika Kuzey enlemleri arasındadır. Türkiye üzerinde ise Doğu Anadolu Bölgesi' nin Yukarı Murat-Van Bölümündeki Van Gölü kapalı havzasındadır. Kuzeyden Ağrı ili Doğubeyazıt, Diyadin ve Hamur ilçeleri; batıdan Van Gölü ile Ağrı ilinin Patnos ilçesi, Bitlis'in Adilcevaz, Tatvan ve Hizan ilçeleri; güneyden Siirt'in Pervari, Hakkari'nin Yüksekova ve Şırnak'ın Beytüşşebap ilçeleri ile komşudur.

Doğusunda ise İran Devleti sınırı yer alır. İl toprakları 19.069 km kare olan yüz ölçümü ile Türkiye topraklarının %25' ini oluşturur. Van yüzölçümü bakımından Türkiye'nin 6. büyük ilidir. Van Doğu Anadolu Bölgesi' nin volkanik dağlarla kaplı çukur kesiminde bulunan Van Gölü' nün doğu kıyısına 5 km uzaklıkta çok az meyilli bir arazi üzerine kurulmuştur. Rakım yüksekliği yaklaşık 1725 m'dir. Türkiye' nin en büyük gölü olan Van Gölü yüksek dağların ortasında bir çöküntü durumundadır. Çevredeki yüksek dağlar Van ilinin sınırını oluşturmaktadır (Anonim, 2025a).

3.2. Arazi Varlığı

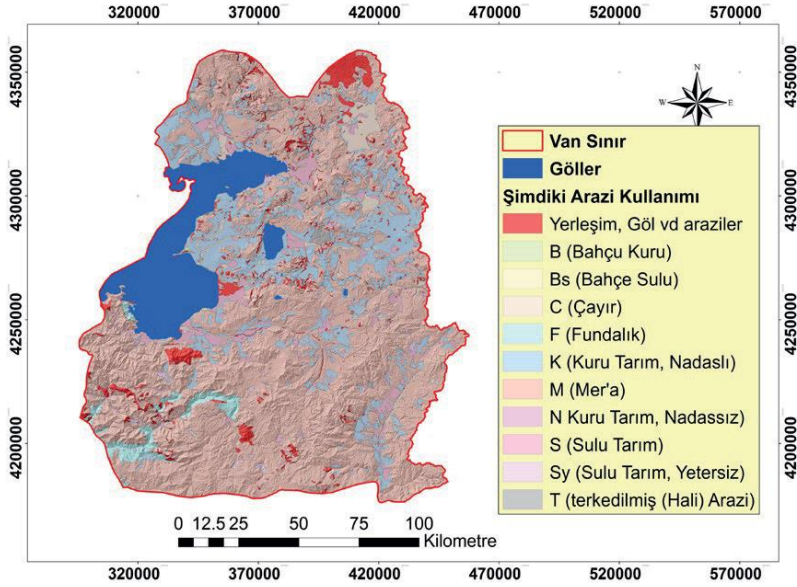
Tablo 6'daki arazi kullanımı haritası incelendiğinde, ilin % 61.03'lük kısmı mera alanı olarak görülmektedir. Kuru tarım yapılan alanlar ise %

14.55'lik (302115 ha) alanı kapsamaktadır. İlin % 1.85'lik kısmını ise fundalık arazi teşkil etmekte ve alanı 38422 hektardır. Çayır alanları ise ilin % 2.87'lik kısmını oluşturmaktadır. Van ilinde küçük oranlarda sulu tarım (% 4.24), nadassız kuru tarım (% 0.02), bahçe kuru (% 0.10) ve bahçe sulu (% 0.003) tarımı yapılmaktadır (Şekil 6). Topoğrafyanın ve yüksekliğin etkisiyle arazilerin büyük kısmı doğal mera alanları olarak kullanılmaktadır. İl genelinde sulama imkânlarının kısıtlı olması nedeniyle sulu tarım alanları oldukça azdır. Buna bağlı olarak tarımsal kullanım daha çok kuru tarım şeklindedir (Şekil 1) (Karaca vd., 2019).

Tablo 6. Van ili arazi kullanım sınıfları

Şimdiki Arazi Kullanımı	Alan(ha)	Oran(%)
Mera	1.266.966	61.03
Sulu tarım	87.923	4.24
Fundalık	38.422	1.85
Kuru tarım nadassız	453	0.02
Kuru Tarım	302.115	14.55
Sulu Tarım Yetersiz	8.034	0.39
Çayır	59.598	2.87
Terkedilmiş arazi	4.248	0.20
Bahçe (Kuru)	2.077	0.10
Bahçe (Sulu)	66	0.003
Göller ve Yerleşim ve diğer araziler	305.615	14.72
Toplam	2.075.900	100.00

Kaynak: Karaca vd., (2019).



Şekil 1. Van ili arazi kullanım haritası (Karaca vd., 2019).

Tablo 7. Ölçüm periyodu (1939- 2024)

Aylar	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	-3.1	-2.4	1.7	7.9	13.2	18.3	22.3	22.3	17.9	11.4	5.0	-0.3	9.5
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	2.0	2.7	6.6	13.0	18.6	24.1	28.3	28.5	24.4	17.5	10.3	4.6	15.0
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-7.5	-7.0	-2.7	2.7	7.1	10.9	14.7	14.7	10.8	5.7	0.4	-4.4	3.8
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	10.2	9.87	12.3	12.1	11.2	5.1	2	1.3	2.4	8.2	9	9.8	93.2
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	36.7	33.5	46.9	54.9	46.6	18.1	6.2	5.8	15.3	46.5	47.1	37.5	395.1
En Yüksek Sıcaklık (°C)	12.6	14.3	22.7	27.2	29.3	33.5	37.5	36.7	35.0	28.8	20.1	15.5	37.5
En Düşük Sıcaklık (°C)	-	-	-	-	-3.5	-2.6	3.6	5.0	-0.1	-	-	-	-28.7
Sıcaklık (°C)	28.7	28.2	22.7	13.1						14.0	18.6	21.3	

Kaynak: Anonim, (2025b).

3.3. Sıcaklık

Yerküredeki küresel ortalama yüzey sıcaklığı, 20. yüzyılda 0.4 ile 0.8 °C arasında (yaklaşık 0.6 °C) artmıştır. Bu durumun 1990-2100 dönemindeki süre içerisinde ise 1.4 ile 5.8 °C arasında yükseleceği öngörülmektedir (IPCC,

2001). Yaşanan sıcaklık artışları, insanlığın yeryüzünün doğal yapısını bozup çılgın tüketim bilinci oluşturması sonucunda yerkürenin ortaya koyduğu tepkinin bir sonucudur. Mann-Kendall, Sen Slope trend analizi sonucuna göre Van Gölü Havzası'ndaki maksimum ve minimum sıcaklık eğilimlerinin artış trendinde olduğu ortaya konmuştur. Özellikle kentleşmenin yoğun olduğu Erciş ve Van merkezde maksimum sıcaklıkların anlamlı olmayan artış göstermesi, buna karşın minimum sıcaklıkların anlamlı artışlar göstermesi, yaşanan artışın iklim değişikliğine bağlı oluşan küresel ısınma ve kentsel ısı adası ile ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır (İrcan ve Duman, 2022).

3.4. İlin Su Kaynakları

İlin su kaynaklarını akarsular (Bendimahi Çayı, Hoşap Çayı, Karasu Çayı, Zilan Deresi, Deli Çay, Memedik Çayı, Kotur Çayı, İrşad Çayı, Kırkgeçit Deresi, Miri Çayı ve Kurubaş Çayı), yeraltı suları, doğal göller, göletler ve rezervuarlar oluşturmaktadır. Van ilinde yeraltı suyu kullanımının az olmasından dolayı yeraltı suyu seviyesi yıllık çekimden dolayı olumsuz etkilenmemektedir. Van ilinde toplamda 370 adet ruhsatlı yeraltı suyu kuyusu bulunmaktadır. İçme - kullanma, sulama ve sanayi alanlarında yıllık tahsis miktarı 35.76 hm³ tür (Anonim, 2025b).

4. VAN İLİ TARIMINDA ENDÜSTRİ BİTKİLERİNİN YERİ

Van ilinde 2014-2024 yılları arasında bazı endüstri bitkilerinin ekim alanı, verim ve üretim değerlerindeki değişimi Tablo 8'de gösterilmiştir.

Patatesin 2014 yılında 1.666 da olan ekim alanı, dalgalı bir seyir izleyerek 2024'te 2.877 da' ya ulaşmıştır. Bu artış, Van'da patates üretimine olan ilginin sürdüğünü göstermektedir. Verim ise yıllar içerisinde dalgalı olmakla birlikte genel olarak artış eğilimindedir. 2014'te 2.636 kg/da iken 2020'de 3.300 kg/da ile en yüksek seviyeye çıkmış, 2024'te ise 3.237 kg/da olmuştur. Verim artışının etkisiyle 2014'te 4.006 ton olan üretim 2024'te 9.071 ton'a yükselmiştir. Bu durum Van'ın patates üretiminde istikrarlı bir büyüme gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Şeker pancarında 2014 yılında 6.610 da olan ekim alanı, özellikle 2020'de 17.192 da ile zirveye ulaşmış, 2024'te ise 12.744 da'ya gerilemiştir. 2014'te 5.409 kg/da olan verim, 2020'de 4.731 kg/da ile en düşük seviyeyi görmüş, 2024'te tekrar yükselerek 5.452 kg/da olmuştur. Alan ve verim

dalgalanmalarına paralel olarak 2014'te 35.755 ton olan üretim, 2020'de 81.342 ton ile en yüksek seviyeye ulaşmış, 2024'te ise 69.478 ton olarak gerçekleşmiştir. Bu durum, Van'ın şeker pancarı tarımında dönemsel dalgalanmalara rağmen ülke genelinde kayda değer bir katkı sunduğunu göstermektedir.

Yağlık ayçiçeği verilerinin sınırlı olduğu görülmüştür. 2019 yılında 700 da alanda ekim yapılmış, verim 194-220 kg/da arasında değişmiştir. Üretim ise 2019'da 136 ton, 2020'de ise yalnızca 24 ton olarak kayda geçmiştir. Çerezlik ayçiçeğinde ise 2023 ve 2024 yıllarında deneme düzeyinde üretim görülmekte, 10–11 da'lık ekim alanı ve 273 kg/da verimle yalnızca 3 tonluk bir üretim gerçekleştirilmiştir. Tablo 8 incelendiğinde, ayçiçeği tarımının Van'da deneme aşamasında olduğu ve henüz istikrarlı bir üretim deseni kazanmadığı belirlenmiştir.

Tablo 8, Van ilinde endüstri bitkileri üretiminde patates ve şeker pancarının belirgin ağırlığını göstermektedir. Patates üretimi hem alan hem verim artışıyla son yıllarda istikrarlı bir büyüme kaydederken, şeker pancarında dönemsel dalgalanmalar yaşanmış ancak yüksek üretim kapasitesi korunmuştur. Ayçiçeği, aspir, tatlı patates, adaçayı, lavanta ve keten gibi ürünler daha çok deneme veya küçük ölçekli üretim düzeyinde kalmış, ekonomik ölçek kazanamamıştır. Veriler göz önüne alındığında, Van tarımında endüstri bitkilerinin esasen iki ürüne dayalı olduğu, diğer ürünlerin ise çeşitlenme çabası kapsamında sınırlı ölçüde yer bulduğu söylenebilir.

Tablo 8. 2017-2024 yıllarına ait van ilinde ekilen endüstri bitkilerinin alan (da), üretim (ton) ve verim (kg/dekar) değerleri

Yıl		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Patates	Alan	1666	2326	2460	2525	2083	2032	2687	2631	1883	1692	2877
	Verim	2636	2849	2714	2904	2855	2809	3300	3089	3587	3491	3237
	Üretim	4006	6602	6652	7317	5929	5706	8609	7957	6754	5875	9071
Şeker Pancarı	Alan	6610	7730	1004	1111	8206	9200	1719	1580	1330	2466	1274
	Verim	5409	4998	5734	5415	5651	4776	4731	4084	5021	5182	5452
	Üretim	3575	3863	5757	6019	4636	4070	8134	5823	6525	1144	6947
Ayçiçeği	Alan	-	-	-	700	109	-	-	-	-	-	-
	Verim	-	-	-	194	220	-	-	-	-	-	-
	Üretim	-	-	-	136	24	-	-	-	-	-	-
Tohumu (Yağlık)	Alan	-	-	-	-	-	-	-	-	10	11	-
	Verim	-	-	-	-	-	-	-	-	0	273	-
	Üretim	-	-	-	-	-	-	-	-	0	3	-
Tohumu (Çerezlik)	Alan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Verim	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Üretim	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alan		1910	65	75	-	1390	-	-	-	-	-	-

Aspir Tohumu	Verim	115	133	133	-	170	-	-	-	-	-	-
	Üretim	217	10	8	-	236	-	-	-	-	-	-
Tatlı Patates	Alan	1240	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Verim	2500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Üretim	3000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Adaçayı	Alan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	-
	Verim	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
	Üretim	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
Lavanta	Alan	-	-	-	-	-	-	10	10	10	10	-
	Verim	-	-	-	-	-	-	200	200	200	200	-
	Üretim	-	-	-	-	-	-	2	2	2	2	-
Keten Tohumu	Alan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	-
	Verim	-	-	-	-	-	-	-	-	-	91	-
	Üretim	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-

Kaynak: Tuik, (2025).

4.1. Tarımsal Üretim Deseninde Endüstri Bitkilerinin Payı

Bitkisel üretim, hayvansal üretim ve su ürünleri üretimi konularında üç yıllık üretim sürecini kapsayan planlar her yıl güncellenerek yapılmaktadır. Planlama, işletme veya havza bazında gerçekleştirilmektedir. Ürün veya ürün grupları belirlenerek asgari ve azami miktarlar tespit edilmektedir. Bitkisel Üretim Planlaması havza bazında yapılmaktadır.

2025-2027 üretim yıllarında uygulanacak Bitkisel Üretim Planlaması; 26.07.2024 tarihinde alınan Kurul Kararı ile 01.09.2024 tarihinde uygulamaya konulmuştur.

Bitkisel üretim kapsamında alınan Kurul Kararları;

- Yeni meyve bahçesi tesisi kuralları,
- Havza ve havza ürün desenleri,
- Havzalarda uygulanacak münavebe ölçütleri,
- Su kısıtı olan havzalarda uygulanacak ilave ölçütler,
- Planlama kapsamına alınan ürünlerin ülke bazında asgari ve azami miktarlarının belirlenmesi gibi konuları içermektedir (Anonim, 2025c).

Van'ın Türkiye tarımsal üretimindeki konumu Tablo 9' da ortaya konmuştur. Van özellikle korunga (%22.26) ve çayır otu (%7.37) üretiminde ülke toplamında önemli bir paya sahiptir ve bu durum ilin hayvancılıkla bütünleşik tarımsal yapısını açıkça göstermektedir. Tahıllar içinde arpa üretiminde ülke payı (%1.2) dikkat çekerken, buğday orta düzeyde (%0.82), mısır ise yok denecek kadar düşüktür. Endüstri bitkilerinde ise Van'ın payı sınırlıdır; şeker pancarı (%0.30) ve patates (%0.13) belirli ölçüde katkı sağlarken, lavanta ve keten gibi ürünler deneme düzeyinde kalmıştır. Van'ın

Türkiye tarımında yem bitkilerinde öne çıkan, ancak endüstri ve baklagil bitkilerinde düşük bir payda üretim profiline sahip olduğu görülmüştür.

Tablo 9. 2024 yılında Van ilinde üretilen tarla ve endüstri bitkilerinin Türkiye üretimi içerisindeki payı

Ürün	Türkiye	Van	Türkiye Üretimi İçindeki Payı (%)
Tarla bitkileri			
Buğday, Durum			0.82
Buğdayı Hariç (Mısır)	16400000	134604	
Arpa	8100000	289	0.003
Fasulye, Kuru	7800000	93997	1.20
Nohut, Kuru	279000	1409	0.50
Mercimek, Kuru (Yeşil)	575000	101	0.017
Fiğ (Macar) (Yeşil Ot)	71000	2	0.002
Fiğ (Diğer) (Yeşil Ot)	846083	103	0.012
Korunga (Yeşilot)	344624	14	0.004
Mısır (Slaç)	1468830	327017	22.26
Çayır Otu (Yeşilot)	27174901	44912	0.16
	6949544	512341	7.37
Endüstri bitkileri			
Patates	6900000	9071	0.13
Şeker Pancarı	23000000	69478	0.30
Lavanta	9070	2	0.02
Keten Tohumu	188	1	0.53

Kaynak: Tuik, (2025).

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Van ili tarımında endüstri bitkileri üretim deseni büyük ölçüde patates ve şeker pancarına dayanmaktadır; her iki ürün de alan ve üretim bakımından ilin en önemli endüstri bitkileri olup bölgesel tarımsal ekonomide belirleyici bir rol oynamaktadır. Ancak ayçiçeği, aspir, tatlı patates, lavanta, adaçayı ve keten gibi ürünlerde üretim genellikle deneme düzeyinde kalmış, ekonomik ölçeğe ulaşamamıştır. Bu durum, Van’da ürün çeşitliliği arayışlarının sürdüğünü ancak henüz yaygın bir üretim modeline dönüşmediğini göstermektedir. Van’ın Türkiye tarımındaki en güçlü katkısı ise özellikle yem bitkileri üretiminde ortaya çıkmakta; korunga (%22.26) ve çayır otu (%7.37) üretiminde ülke

toplamında önemli bir pay üstlenmektedir. Dolayısıyla Van ili, Türkiye’de endüstri bitkileri üretiminde sınırlı paya sahip olmakla birlikte, yem bitkilerinde sağladığı yüksek katkı ile hayvancılıkla bütünleşik bir tarımsal yapıya sahiptir ve bu yönüyle ulusal tarımda stratejik bir konumda bulunmaktadır.

Van özelinde endüstri bitkilerinin üretimini artırmak için önerilecek çözüm ve önlemler, ilin ekolojik yapısı, mevcut üretim deseni ve tarımsal potansiyeli dikkate alınarak geliştirilmelidir.

- Sulama yatırımları: Van’da iklim koşulları yarı kurak olduğundan, endüstri bitkilerinin (özellikle şeker pancarı, patates, ayçiçeği, soya) verimli yetiştirilebilmesi için modern sulama sistemleri (damla ve yağmurlama sulama) yaygınlaştırılmalıdır.
- Toprak ıslahı: Organik madde bakımından fakir toprakların verimliliğini artırmak için yeşil gübreleme, kompost ve organik gübre kullanımı teşvik edilmelidir.
- Van’da hâlen deneme aşamasında olan lavanta, adaçayı, keten, aspir ve tatlı patates gibi ürünler için pilot projeler ve destekleme politikaları geliştirilmelidir.
- Bölgenin iklimine uygun yağlı tohum bitkileri (ayçiçeği, kolza, soya) yaygınlaştırılarak dışa bağımlı olunan yağ sanayi hammaddelerine katkı sağlanabilir.
- Endüstri bitkilerinin üretiminde iş gücü yoğun süreçler modern tarım makineleriyle desteklenmeli, özellikle hasat ve işleme teknolojileri çiftçilere ulaştırılmalıdır.
- Akıllı tarım uygulamaları (uydu destekli sulama planlaması, sensör tabanlı gübreleme vb.) üretim verimliliğini artırabilir.
- Çiftçilere ürün deseni, toprak-su yönetimi ve modern yetiştirme teknikleri konusunda eğitimler verilmelidir.
- Üniversite–çiftçi iş birliğiyle, bölgeye özgü endüstri bitkileri araştırma projeleri desteklenmelidir.
- Van’da üretilen endüstri bitkilerinin işlenebileceği sanayi tesisleri (patates işleme, yağ üretim tesisleri) desteklenmeli, ürünlerin katma değerli hale gelmesi sağlanmalıdır.
- Devlet destekleri, yalnızca geleneksel ürünlere değil, alternatif endüstri bitkilerine yönlendirilerek çiftçinin yeni ürünlere adaptasyonu teşvik edilmelidir.

- Van’da güçlü olan hayvancılık sektörü ile entegre biçimde yem bitkileri yanında endüstri bitkilerinin üretimi planlanabilir. Örneğin, şeker pancarı ve ayçiçeği yan ürünleri yem olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKÇA

- Anonim, 2025. Endüstri Bitkileri. file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/11.ENDHBB.pdf. Erişim tarihi: 18.08.2025
- Anonim, 2025a. https://www.ilimiz.net/detay/65/328/van-ili-cografı-durumu.html#google_vignette. Erişim tarihi: 18.08.2025
- Anonim, 2025b. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/van-2024-yili-cdr-2-20250807144409.pdf>. Erişim tarihi: 18.08.2025
- Anonim, (2025c). https://www.tarimorman.gov.tr/Belgeler/Paylasim/Tarimsal_Uretim_Pl_anlamasi.pdf. Erişim tarihi: 18.08.2025
- Eryiğit, T. (2011). Iğdır ilinin kalkınmasında endüstri bitkileri tarımının önemi ve geliştirilmesi için bazı öneriler. Yüzüncü Yıl University Journal of Agricultural Sciences, 21(1), 73-81.
- İrcan, M. R., & Duman, N. (2022). Van Gölü Havzası'ndaki maksimum ve minimum sıcaklıkların trend analizi. Türk Coğrafya Dergisi, (80), 39-52.
- IPCC (2001). Climate change 2001: Synthesis report. A contribution of working groups I, II, and III to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. (R. T. Watson, & Core Writing Team, Eds.) Cambridge, UK, New York, NY, USA: Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_TAR_full_report.pdf
- Karaca, S., Sarğın, B., & Türkmen, F. (2019). Bazı arazi ve toprak niteliklerinin coğrafi bilgi sistem analizleriyle incelenmesi: Van ili arazi ve toprak özellikleri. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 6(2), 199-205.
- Nohutçu, L., Tunçtürk, M., Selem, E., Tunçtürk, R., Çınar, O (2024). Study on Nutrient Elements Content, Essential Oils Ratio and Biochemicals Composition of *Origanum rotundifolium* Boiss. and *Origanum syriacum* L.. KSU J. Agric Nat 27 (Suppl 1), 213-220.
- Peddyreddy, S. R. (2023). Industrial agriculture: complication to solution. Doctor of Philosophy. Presented to the Department of Sustainable Agriculture program at Selinus University, Faculty of Life & Earth Science

- Şelem, E., Nohutçu, L., Tunçtürk, R., & Tunçtürk, M. (2021). The Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria Applications on Some Growth Parameters and Physiological Properties of Marigold (*Calendula officinalis* L.) Plant Grown under Drought Stress Conditions. *Yüzüncü Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 31(4).
- Tuik, (2025). <https://www.tuik.gov.tr/>. Erişim tarihi: 18.08.2025.
- Tunçtürk, M., Tunçtürk, R., Yıldırım, B., Eryiğit, T. (2004). Değişik Azot Dozları ve Sıra Üzeri Mesafelerinin Patateste (*Solanum tuberosum* L.) Verim ve Kalite Üzerine Etkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi (J. Agric. Sci.)*, 2004, 14(2): 95-104
- Tunçtürk R, Toprak T., Nohutçu L, Tunçtürk M, Şelem E. (2022). Türkiye Florasında Doğal Olarak Yetişen Ve Kekik Olarak Adlandırılan Bazı Önemli Türler Ve Özellikleri, (Ed:Rüveyde TUNÇTÜRK), Tıbbi Ve Aromatik Bitkilerin Fonksiyonel Kullanım Alanları, Ticareti Ve Sürdürülebilirliği. İksad yayınevi, Ankara.

BÖLÜM 10

YEŞİL GÜBRELEME SÜREÇLERİNDE TOPRAK İŞLEME MEKANİZASYONU: PRENSİPLER, UYGULAMALAR VE VERİMLİLİK ANALİZİ

Dr. Öğr. Üyesi Emre KAYGUSUZ¹

¹ Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bingöl, Türkiye.
emrekaygusuz@bingol.edu.tr, orcid id: 0000-0001-9356-2149

GİRİŞ

Tarım sektörü, günümüzde hem artan nüfus hem de iklim değişikliğinin oluşturduğu baskılar nedeniyle üretim yöntemlerini yeniden şekillendirmek zorundadır. Gıda güvenliğinin sağlanabilmesi için üretimin sadece miktar olarak değil, ekolojik dengeye zarar vermeden sürdürülebilir bir şekilde yapılması gerekmektedir. Toprağın uzun vadeli verimliliğini korumanın en etkili yollarından biri, organik madde döngüsünü destekleyen uygulamalara ağırlık vermektir. Bu çerçevede yeşil gübreleme, toprak kalitesini iyileştirme, kimyasal gübre kullanımını azaltma ve ekosistem hizmetlerini güçlendirme açısından stratejik bir araç olarak öne çıkmaktadır (Drinkwater vd., 1998; Qiu vd., 2024; Wang vd., 2025).

Yeşil gübreleme, özellikle baklagiller ve bazı buğdaygil türleri gibi yüksek biyokütle üreten bitkilerin, büyüme dönemlerinin sonunda toprağa karıştırılması ve zamanla çürüyerek organik maddeye dönüşmesi esasına dayanır. Bu süreç, azot döngüsünü güçlendirerek toprağın besin içeriğini artırır, su tutma kapasitesini geliştirir ve mikrobiyal aktiviteyi teşvik eder (Peoples vd., 1995; Fageria, 2007; Carciocchi vd., 2024). Bu yönleriyle yeşil gübreleme, yalnızca üretim verimini artıran bir teknik değil; aynı zamanda toprağın ekolojik işlevselliğini destekleyen önemli bir uygulamadır.

Ancak yeşil gübrelemenin başarısı yalnızca bitki türü ya da toprak özelliklerine bağlı değildir. Uygulamanın etkinliği, mekanizasyon sistemlerinin doğru seçimi ve uygulanmasıyla doğrudan ilişkilidir. Biçme makineleri, diskli veya ayaklı pulluklar, rotovatörler ve yüzey düzeltme ekipmanları; biyokütlenin toprağa homojen bir şekilde karıştırılmasını sağlayarak ayrışma sürecini hızlandırır ve toprağın fiziksel yapısının korunmasına katkı verir (Wofuru-Nyenke, 2023). Uygun ekipman seçimi, yalnızca işlem kalitesini arttırmakla kalmaz; yakıt ve enerji kullanımını optimize ederek üretim maliyetlerini de düşürür.

Mekanizasyon, yeşil gübreleme süreçlerinde stratejik bir tamamlayıcı unsur haline gelmiştir. Küçük ölçekli aile işletmelerinden endüstriyel tarıma kadar geniş bir üretim yelpazesinde, uygun ekipman kullanımı sayesinde daha verimli ve çevreye duyarlı uygulamalar gerçekleştirilebilmektedir (Lal, 2015; Lee ve Rinehart, 2025). Ayrıca, toprak işleme mekanizasyonunun doğru uygulanması; erozyon riskinin azaltılması, karbon döngüsünün desteklenmesi

ve üretim sistemlerinin iklim değişikliğine uyumunun güçlendirilmesi açısından da önemlidir.

Bu kitap bölümünde, yeşil gübreleme süreçlerinde toprak işleme mekanizasyonunun rolü; teknik prensipler, uygulama yöntemleri ve verimlilik boyutlarıyla ele alınacaktır. Amaç, ziraat mühendisliği ve makine mühendisliği bakış açılarını bir araya getirerek, sürdürülebilir tarım sistemlerine katkı sağlayacak bütüncül bir çerçeve sunmaktır.

1. YEŞİL GÜBRELEME KAVRAMI VE TARIMSAL ÖNEMİ

Yeşil gübreleme, bitki kalıntılarının veya özel olarak yetiştirilen yeşil bitkilerin toprağa karıştırılarak organik madde içeriğini arttırma, besin döngüsünü destekleme ve toprak sağlığını iyileştirme amacıyla kullanılan eski fakat yeniden önem kazanan bir tarımsal uygulamadır. Günümüzde bu yöntem, sentetik gübrelerin çevresel etkilerine ve artan maliyetine karşı doğal bir besin yönetimi stratejisi olarak yeniden değerlendirilmektedir (Xue vd., 2025).

Yeşil gübreleme uygulamalarında kullanılan bitkiler genellikle baklagiller, buğdaygiller veya turpgiller gibi yüksek biyokütle üreten türlerdir. Baklagiller (örneğin fiğ, bakla, yonca), simbiyotik azot fiksasyonu sayesinde toprağa önemli miktarda biyolojik azot kazandırır. Bu süreç, *Rhizobium* bakterileri aracılığıyla atmosferik azotun bitki kök nodüllerinde biyolojik olarak bağlanmasını içerir (Rinnofner vd., 2008). Buna karşılık buğdaygil türleri (örneğin yulaf, çavdar) ve turpgiller (örneğin hardal, kolza) yüksek karbon içeriğiyle toprakta karbon birikimini destekler, toprak erozyonunu azaltır ve yapısal dayanıklılığı artırır (Poeplau ve Don, 2015).

1.1. Toprak Verimliliğine Etkileri

Son yıllarda yapılan kapsamlı meta-analizler, yeşil gübrelemenin toprak organik karbon içeriğini ortalama %12–25 oranında artırdığını, toprak azotu ve fosfor döngüsünü dengelediğini ve bitki biyokütle verimini arttırdığını göstermiştir (Ye vd., 2014; Xue vd., 2025). Ayrıca yeşil gübreleme, toprak mikrobiyal çeşitliliğini ve enzimatik aktiviteyi destekleyerek besin elementlerinin biyolojik erişilebilirliğini arttırmaktadır. Bu biyolojik zenginlik, kimyasal gübrelere olan bağımlılığı azaltarak sürdürülebilir üretime katkı sağlamaktadır.

Yeşil gübre bitkilerinin çürüme sürecinde oluşan organik asitler ve humik bileşikler, toprak partikülleri arasında bağ oluşturur; bu durum agregat stabilitesini artırır ve toprağın su tutma kapasitesini iyileştirir (Hou vd., 2022). Böylece, özellikle kurak veya düşük organik maddeye sahip topraklarda yeşil gübreleme, üretim istikrarını koruyarak iklim değişikliğine karşı dayanıklılığı güçlendirir (Miressa vd., 2024).

1.2. Ekosistem Hizmetleri ve Çevresel Katkılar

Yeşil gübreleme yalnızca toprak verimliliğini değil, aynı zamanda tarımsal ekosistemlerin çevresel sürdürülebilirliğini de destekler. Kısa dönemli çalışmalar, yeşil gübre uygulamalarının toprakta sera gazı emisyonlarını (özellikle N_2O ve CO_2) azalttığını, uzun dönemli gözlemler ise karbon sekestrasyonu kapasitesini artırdığını ortaya koymuştur (Xue vd., 2025; Wang vd., 2025).

Yeşil gübre bitkilerinin geliştirdiği yoğun kök yapısı, toprağın agregat dayanımını arttırarak erozyonu ve yüzey akışını azaltır; böylece yağışlı koşullarda besin yıkanması sınırlanır ve su kalitesinin korunmasına katkı sağlanır. Ayrıca yeşil gübre uygulamaları, bitki örtüsü ve kök rekabetiyle yabancı otları baskılayıp hastalık-zararlı yönetimine destek olur; toplam kimyasal girdi ihtiyacını düşürür. Bu etkiler, organik madde birikimi ve besin döngüsünün güçlenmesiyle birlikte, sürdürülebilir toprak yönetimine doğrudan katkı verir (Akkeçeci ve Özkan, 2022).

Ekosistem hizmetleri bağlamında, yeşil gübreleme; karbon tutma, suyun verimli kullanımı, toprak biyotası çeşitliliği ve agroekosistem dayanıklılığını arttırma gibi çoklu faydalar sunmaktadır. Bu nedenle, birçok araştırmacı tarafından doğal bir “ekosistem mühendisliği” aracı olarak tanımlanmaktadır (Ye vd., 2014).

1.3. İklim Değişikliği ve Sürdürülebilir Tarım Bağlamında Önemi

Küresel ölçekte iklim değişikliğinin tarımsal üretim üzerindeki baskısı arttıkça, yeşil gübreleme uygulamaları karbon-nötr üretim modellerinin bir bileşeni olarak öne çıkmaktadır. Yeşil gübre bitkileri, atmosferik CO_2 'yi biyokütleye dönüştürerek toprakta uzun süreli karbon depolaması sağlar. Bu

yönüyle yeşil gübreleme, doğal karbon sekestrasyon mekanizmaları arasında en etkili yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir (Hou vd., 2022).

Ayrıca bu yöntem, iklim dostu tarım politikalarının bir parçası haline gelmiştir. Avrupa Birliği'nin "Soil Deal for Europe (2022-2030)" stratejisinde, yeşil gübreleme ve örtü bitkisi uygulamaları, tarım kaynaklı emisyonların azaltılması ve toprak sağlığının iyileştirilmesi için öncelikli uygulama olarak tanımlanmıştır (European Commission, 2022).

Sonuç olarak, yeşil gübreleme; tarımsal verimlilik, ekosistem hizmetleri ve iklim dostu üretim hedeflerini aynı anda destekleyen bütüncül bir uygulamadır. Bu yönüyle, hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde sürdürülebilir toprak yönetiminin temel bileşeni olarak konumlanmaktadır.

2. TOPRAK İŞLEME MEKANİZASYONUNUN TEMELLERİ

Toprak işleme, bitki üretimi için uygun fiziksel koşulları oluşturmayı hedefleyen en temel tarımsal faaliyetlerden biridir. Bu süreç, toprağın fiziksel yapısını gevşetmek, organik maddeleri karıştırmak ve su-hava dengesini optimize etmek amacıyla mekanik enerji uygulanmasını içerir (Miressa vd., 2024). Geleneksel olarak hayvan veya insan gücüyle yürütülen bu işlemler, günümüzde mekanizasyon teknolojileri sayesinde hem daha hızlı hem de daha kontrollü biçimde gerçekleştirilmektedir.

Yeşil gübreleme süreçlerinde toprak işleme, gömülen bitkisel biyokütlenin toprak profiline homojen biçimde dağılmasını, mikrobiyal ayrışma süreçlerinin hızlanmasını ve toprağın yapısal bütünlüğünün korunmasını sağlayan kritik bir aşamadır (Miressa vd., 2024). Bu nedenle mekanizasyonun doğru şekilde uygulanması, hem enerji verimliliği hem de toprak sağlığı açısından stratejik öneme sahiptir.

2.1. Toprak İşlemenin Temel Fonksiyonları

Toprak işleme mekanizasyonu, üç ana teknik fonksiyonu yerine getirir:

1. Gevşetme ve kabartma: Kök gelişimi ve su sızması için toprağın gözenek yapısı düzenlenir.
2. Karıştırma: Yeşil gübre bitkilerinin ve diğer organik materyalin toprak profiline homojen olarak dağıtılması sağlanır.

3. Düzleme ve yoğunluk kontrolü: Tohum yatağı hazırlanır, yüzey düzgünleştirilir ve toprak sıkışması kontrol altına alınır (Zhang vd., 2023).

Bu işlemler bir arada, toprak–bitki–makine etkileşimini optimize ederek enerji verimliliği yüksek, yapısal olarak dengeli bir üretim ortamı oluşturur.

2.2. Toprak–Makine Etkileşimi

Toprak işleme mekanizasyonunun etkinliği, büyük ölçüde toprak–alet etkileşiminin doğru anlaşılmasına bağlıdır. Toprak, heterojen bir ortam olduğundan mekanik kuvvetlere verdiği tepki; nem, tekstür, yoğunluk ve organik madde miktarına bağlı olarak değişir. Diskli veya ayaklı pulluklar, rotovatörler ve kültivatörler, toprağın tipine göre farklı dinamik dirençlerle karşılaşır.

Yeni çalışmalar, bu etkileşimi modellemek için toprak–alet etkileşim simülasyonları (Discrete Element Method, DEM) kullanılmasının, optimum işleme parametrelerinin belirlenmesinde önemli avantaj sağladığını göstermektedir (Aikins vd., 2023). DEM tabanlı analizler, toprak sıkışmasının önlenmesi ve yakıt tüketiminin azaltılması açısından tarla koşullarına göre özelleştirilmiş tasarımların geliştirilmesini mümkün kılar.

3.3. Mekanizasyon Sistemlerinin Evrimi

Son on yılda toprak işleme teknolojileri, yakıt ekonomisi ve toprak sağlığı parametreleri doğrultusunda önemli bir evrim geçirmiştir.

- Azaltılmış toprak işleme (reduced tillage): Toprak karıştırma yoğunluğu azaltılarak organik madde kaybı ve erozyon riski en aza indirilir.
- Şerit işleme (strip-till): Toprağın yalnızca ekim sırasının işlenmesiyle enerji tüketimi ve toprak bozunumu azaltılır.
- No-till sistemler: Bitkisel kalıntıların yüzeyde bırakılmasıyla toprak sıkışması ve karbon kaybı en aza indirilir (Qin vd., 2024; Xue vd., 2025).

Bu yöntemlerin tamamı, yeşil gübreleme uygulamalarıyla birlikte kullanıldığında karbon sekestrasyonu, mikrobiyal aktivite ve su tutma kapasitesinde belirgin artışlar sağlamaktadır (Miressa vd., 2024).

3. YEŞİL GÜBRELEME SÜREÇLERİNDE KULLANILAN TARIM MAKİNELERİ

Yeşil gübre uygulamalarının başarısında bitki seçimiyle birlikte mekanizasyonun doğru yapılandırılması büyük rol oynar. Örneğin, biçme, karıştırma ve yüzey düzeltme işlemlerinin her biri için uygun ekipman seçimi yapılmazsa biyokütlenin toprağa etkili şekilde karışması sınırlanabilir. Bu bağlamda, yeşil gübreleme sürecinde yaygın olarak yer alan makineler; biçme makineleri, pulluklar (diskli veya ayaklı), rotovatorler/toprak frezeleri, kültivatör/tırmık ve silindir sistemleridir.

3.1. Biçme Makineleri

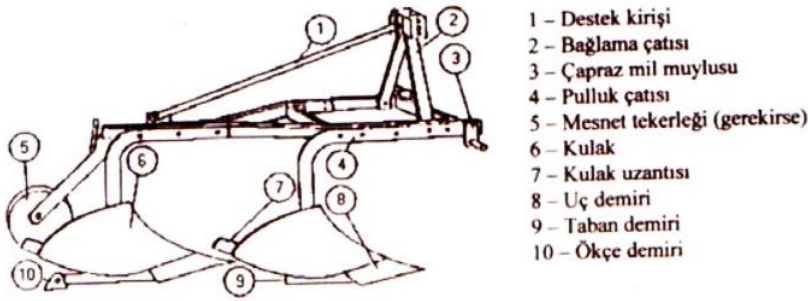
Yeşil gübre bitkilerinin gömülmeden önce uygun boyuta getirilmesi, sonraki toprak işleme aşamalarının etkinliğini artırır. Yeni çalışmalarda, yeşil gübre bitkilerinin biçiminin (örneğin makineyle kesilmesi veya öğütülmesi) işleme sonrası biyokütle ayrışmasını hızlandırdığı belirtilmiştir (Javed vd., 2024). Biçme işlemi, makine gücü, bıçak tipleri, ilerleme hızı gibi parametrelerle optimize edilmelidir; yanlış biçme işlemi ekipmanın yükünü artırabilir ve yakıt tüketimini yükseltebilir.



Şekil 1. Bitki artıklarının (ürün artıklarının) yönetiminde kullanılan çeşitli tarım makineleri (Kumar vd., 2024).

3.2. Pulluklar ve Toprak Altına Karıştırma Ekipmanları

Pulluklar yeşil gübre bitkilerini toprağın içine gömmeye işlevini üstlenir. Özellikle yoğun bitki örtüsüne sahip alanlarda diskli pulluklar yüksek biyokütleyi etkili şekilde gömmeye avantaj sağlarken, daha hafif örtü yoğunluklarında ayaklı pulluklar tercih edilebilir (Zhang vd., 2023). Bu makineler için önemli parametreler arasında işleme derinliği, ilerleme hızı ve traktör gücü yer alır. İşleme derinliği çok arttığında enerji tüketimi yükselirken toprağa verilen zarar da artabilir.



Şekil 2. Pulluğun şematik gösterimi (Gürsel ve Köftecioglu, 2006).

3.3. Rotovatorler / Toprak Frezeleri

Rotovator sistemleri, biyokütle-toprak etkileşimini arttırmak amacıyla toprağı daha ince parçalar halinde karıştırma yeteneğine sahiptir. Bu tür makineler, özellikle yüzeysel işlemlerde tercih edilmektedir. Rotovatorle yapılan işlemler, klasik derin sürümlere nazaran yakıt ve zaman tasarrufu sağlamaktadır (Miressa vd., 2024). Ayrıca rotovatorler sayesinde biyokütlenin toprağa yayılımı arttığı için ayrışma süreci hızlanabilir.



Şekil 3. Toprak frezesinin gösterimi (Singha ve Kumar, 2024).

3.4. Kültivatör, Tırmık ve Silindir Sistemleri

Toprak işleme sonrası yüzey düzeltme, tohum yatağının hazırlanması ve biyokütle-toprak temasının iyileştirilmesi için kültivatör, tırmık ve silindir ekipmanları kullanılır. Bu ekipmanlar toprağın üst tabakasındaki kaba parçaları kırar, düzgünleştirir ve silindirle hafif sıkıştırma sağlayarak biyokütle-toprak teması artırılır. Bu işlem özellikle çıkış aşamasında önem kazanır ve makine seçimi ile hız parametreleri iyi ayarlanmalıdır.



Şekil 4. Kültivatörün gösterimi (Cardei vd., 2023).

3.5. Makine Seçimi ve Verimlilik Analizi

Makine seçimi sırasında üretim ölçeği, toprak tipi, örtü yoğunluğu, biyokütle miktarı gibi faktörler dikkate alınmalıdır. Verimlilik analizi kapsamında şöyle parametreler değerlendirilmelidir:

- İşleme kapasitesi (ha/saat)
- Yakıt tüketimi (L/ha)
- Karıştırma homojenliği
- Toprak yapısına verilen mekanik etki

Örneğin bir çalışma, az derin işleme ile yakıt tüketimi arasındaki azalmanın önemli oranda olduğunu rapor etmiştir (Qin vd., 2024). Bu tür veriler, makinelerin sadece işlevsel değil aynı zamanda enerji ve çevre açısından da optimize edilmesi gerektiğini göstermektedir.

4. UYGULAMA YÖNTEMLERİ VE VERİMLİLİK ANALİZİ

Yeşil gübreleme uygulamalarının başarısı; bitki gelişim dönemi, toprak tipi, nem koşulları ve mekanizasyon parametrelerinin doğru planlanmasına bağlıdır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, bu değişkenlerin bütüncül biçimde yönetilmesinin hem besin dönüşümünü hızlandırdığını hem de yakıt ve iş gücü maliyetlerini azalttığını göstermektedir (Javed vd., 2024; Qin vd., 2024).

4.1. Uygulama Zamanlaması

Yeşil gübreleme genellikle iki dönemde gerçekleştirilir:

- Ana ürün öncesi (ön bitki olarak): İlkbahar sonu–yaz başında ekilen bitkiler, ana ürün ekimi öncesinde toprak altına karıştırılır.
- Ana ürün sonrası (artık bitki olarak): Yazlık ürünlerin hasadından sonra, toprağın dinlendirilmesi amacıyla sonbaharda uygulanır.

4.2. Toprak Koşulları ve Mekanik Parametreler

Toprak nemi ve yapısı, makine performansını ve biyokütle karışım kalitesini doğrudan etkiler. Tınlı ve killi topraklarda %50–70 alan kapasitesinde işleme yapılması, optimum enerji kullanımı ve karıştırma etkinliği açısından önerilmektedir. İşleme derinliği yaklaşık 15-25 cm aralığında tutulduğunda,

hem kök biyokütlesi hem de üst bitki örtüsü toprağa homojen şekilde dağılmakta ve ayrışma hızlanmaktadır (Miressa vd., 2024).

Qin vd., (2024), farklı toprak tiplerinde gerçekleştirdikleri enerji analizinde, 20 cm derinlikte çalışan rotovatorün, 30 cm derinliğe sahip diskli pulluğa kıyasla yakıt tüketimini %24 azalttığını, ancak karıştırma kalitesinde yalnızca %3'lük bir düşüş oluşturduğunu göstermiştir. Bu sonuç, enerji-verimli yüzeysel işlemenin yeşil gübreleme açısından uygun bir strateji olduğunu ortaya koymaktadır.

4.3. Mekanizasyon Zincirinin Planlanması

Yeşil gübreleme uygulamaları çoğunlukla aşağıdaki aşamalardan oluşan bir mekanizasyon zinciriyle yürütülür:

1. Biçme veya ezme: Bitki boyunun düşürülmesi (rotatif biçme veya silindir ezme).
2. Karıştırma / gömme: Diskli pulluk veya rotovator kullanılarak biyokütlenin gömülmesi.
3. Yüzey düzeltme: Kültivatör veya tırmıkla yüzeyin hazırlanması.
4. Son sıkıştırma: Silindirle hafif bastırma (nem koruma ve mikrobiyal temas arttırımı).

Zhang vd., (2023), bu zincirin iki aşamada (biçme + rotovator) uygulanmasının, üç aşamalı klasik sürüm sistemine göre %30 zaman tasarrufu ve %15 yakıt azalması sağladığını rapor etmiştir.

4.4. Verimlilik Optimizasyonu İçin Yeni Yaklaşımlar

Yeni araştırmalar, makine parametrelerinin sensör destekli kontrol sistemleriyle optimize edilmesinin hem enerji tüketimini hem de çevresel etkileri azaltabileceğini göstermektedir. DEM tabanlı (Discrete Element Method) toprak-alet etkileşim modelleri, optimum işleme derinliği ve tork gereksinimini hesaplamada önemli araçlardır (Aikins vd., 2023).

Gelecekte, bu modellerin sahada sensör tabanlı otomasyonla birleştirilmesi, yeşil gübreleme operasyonlarını yakıt açısından daha verimli hale getirebilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yeşil gübreleme, günümüz tarımında sürdürülebilir toprak yönetiminin en etkili biyolojik araçlarından biri haline gelmiştir. Son yıllarda yapılan bilimsel araştırmalar, bu uygulamanın hem besin döngüsünü dengelediğini hem de toprak sağlığını yeniden yapılandırıldığını göstermektedir (Hou vd., 2022). Ancak yeşil gübrelemenin verimliliği, yalnızca uygun bitki seçimiyle değil; aynı zamanda doğru mekanizasyon stratejileri ile doğrudan ilişkilidir.

Bu kitap bölümü, yeşil gübreleme süreçlerinde toprak işleme mekanizasyonunun önemini çok boyutlu biçimde ortaya koymuştur. İncelenen çalışmalar göstermektedir ki:

- Uygun işleme derinliği (yaklaşık 15-25 cm), optimum nem koşulları (%50-70 alan kapasitesi) ve biçme-karıştırma-zincirinin entegrasyonu hem enerji verimliliğini hem de mikrobiyal aktiviteyi maksimize etmektedir (Zhang vd., 2023).
- Yüzeysel işleme sistemleri, derin sürüme kıyasla yakıt tüketimini %20-30 oranında azaltırken, toprak yapısını koruma ve karbon sekestrasyonu açısından daha avantajlıdır (Qin vd., 2024).
- Rotovatör ve diskli pulluk kombinasyonları, biyokütlenin homojen karışımını sağlayarak ayrışma hızını artırmakta ve azot kaybını azaltmaktadır.

5.1. Bilimsel Değerlendirme

Yeşil gübreleme, ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilir biçimde devamını destekleyen, düşük karbon ayak izine sahip bir uygulamadır. Son dönem meta-analizler (Ye vd., 2014; Xue vd., 2025) yeşil gübrelemenin toprak organik karbonunu ortalama %15, toplam azotu ise %12 oranında arttırdığını, ayrıca toprak mikrobiyal çeşitliliğini güçlendirdiğini ortaya koymuştur.

Bu etkilerin gerçekleşebilmesi için mekanizasyonun yalnızca operasyonel bir araç değil, aynı zamanda toprak biyolojisinin korunmasına hizmet eden bir mühendislik unsuru olarak değerlendirilmesi gerekir. Mekanizasyonun amacı toprağı fiziksel olarak dönüştürmekten çok, biyokimyasal süreçleri destekleyecek bir ortam oluşturmak olmalıdır.

Gelecekte, yeşil gübreleme mekanizasyonu sistemlerinin; veri tabanlı kontrol sistemleri, elektrikli güç aktarım mekanizmaları ve otonom çalışma modülleri ile desteklenmesi beklenmektedir. Bu gelişmeler hem yakıt

tüketimini hem de sera gazı salımlarını azaltarak karbon-nötr tarım hedeflerine katkı sunacaktır (Javed vd., 2024).

5.2. Uygulama ve Politika Önerileri

1. Tarımsal Uygulayıcılar İçin:

- Bıçme ve gömme işlemleri, bitkilerin çiçeklenme döneminde yapılmalı; bu dönemde biyokütle karbon/azot oranı optimum düzeydedir.
- Aşırı derin sürümden kaçınılmalı, yüzeysel veya azaltılmış işleme tercih edilmelidir.
- Makinelerin bıçak açısı, ilerleme hızı ve tork gereksinimi, toprak nemine göre ayarlanmalıdır.

2. Araştırmacılar İçin:

- Farklı makine kombinasyonlarının (rotovator + kültivatör, diskli pulluk + silindir vb.) enerji ve karbon verimliliği karşılaştırmalı analizlerle araştırılmalıdır.
- Türkiye koşullarında, toprak tipi ve iklim değişkenlerine göre yerli mekanizasyon modelleri geliştirilmelidir.

3. Politika Yapıcılar İçin:

- Yeşil gübreleme ve mekanizasyon sistemleri, ulusal tarım destek programlarında ayrı bir başlık altında ele alınmalıdır.
- Karbon sekestrasyonu ve toprak iyileştirme performansına dayalı teşvik modelleri oluşturulmalıdır.
- Üniversite, sanayi ve çiftçi iş birlikleriyle tarım mekanizasyon Ar-Ge altyapıları güçlendirilmelidir.

5.3. Sonuç

Yeşil gübreleme, bitkisel üretim sistemlerinde toprağın biyolojik, kimyasal ve fiziksel özelliklerini iyileştirme kapasitesi sayesinde sürdürülebilir tarımın temel bileşenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Yeşil gübre bitkilerinin toprak altına karıştırılmasıyla organik madde miktarı artmakta, mikrobiyal aktivite desteklenmekte ve besin döngüsü daha dengeli bir yapıya kavuşmaktadır. Bu süreç aynı zamanda, toprak agregat stabilitesinin iyileşmesi,

su tutma kapasitesinin artması ve toprak erozyonunun azalması gibi uzun vadeli ekosistem hizmetlerini de beraberinde getirmektedir. Bununla birlikte, yeşil gübrelemenin başarısı yalnızca uygun bitki seçimine değil, mekanizasyon süreçlerinin doğru yönetilmesine de doğrudan bağlıdır. Toprak işleme derinliği, makine tipi, biyokütle yoğunluğu ve toprak nem durumu gibi faktörler, gömme ve ayrışma süreçlerinin verimliliğini belirleyen temel unsurlardır. Dolayısıyla mekanizasyon, tarımsal sürdürülebilirlik bağlamında yalnızca teknik bir araç değil, aynı zamanda toprak sağlığını düzenleyen stratejik bir müdahale mekanizması olarak değerlendirilmelidir.

Güncel araştırmalar, azaltılmış toprak işleme, şerit işleme ve minimum sürüm gibi düşük müdahale tekniklerinin, hem enerji tüketimini düşürdüğünü hem de toprak biyolojik yapısını koruduğunu göstermektedir. Rotavator, diskli pulluk ve kylvatör gibi makinelerin doğru kombinasyonlarla kullanılması, biyokütle-toprak etkileşimini optimize ederken yakıt tüketimini azaltmakta ve toprağın aşırı sıkışmasını engellemektedir. Bu noktada, veri destekli mekanizasyon sistemlerinin önemi giderek artmaktadır. Toprak nem sensörleri, tork ölçüm sistemleri ve uyarlanabilir hız kontrolü gibi teknolojiler, tarla koşullarına uygun gerçek zamanlı ayarlamalar yapılmasına olanak sağlayarak hem verimliliği hem de toprak koruma kapasitesini artırabilir. Ayrıca son yıllarda, DEM (Discrete Element Method) tabanlı toprak–alet etkileşim simülasyonları, işleme derinliği, bıçak açısı ve enerji gereksiniminin bilimsel temelde optimize edilmesine katkı sunarak mekanizasyon tasarımlarının daha çevreci ve etkin hale gelmesini sağlamaktadır.

Geleceğe yönelik olarak yeşil gübreleme ve mekanizasyon bütünleşik olarak ele alınmalı, tarım sistemlerinin iklim koşullarındaki dalgalanmalara uyum yeteneği güçlendirilmelidir. Karbon sekestrasyonu, toprak biyotasının korunması, su verimliliği ve çevre dostu üretim modelleri, ulusal tarım politikalarında temel öncelikler arasında yer almalıdır. Bu kapsamda, çiftçi eğitim programlarının yaygınlaştırılması, yerli mekanizasyon ekipmanlarının Ar-Ge destekleriyle geliştirilmesi ve arazi bazlı modelleme yaklaşımlarının tarımsal planlamaya entegre edilmesi kritik önem taşımaktadır. Sonuç olarak, yeşil gübreleme; toprak sağlığını iyileştiren, enerji verimliliğini artıran ve çevresel etkiyi azaltan bütüncül bir sistemdir. Mekanizasyon, bu sistemin en kritik bileşenidir, ancak yalnızca doğru planlandığında sürdürülebilirlik hedeflerine hizmet eder. Geleceğin tarımı; biyolojik süreçlerle uyumlu, enerji

tasarruflu ve veri destekli mekanizasyon sistemlerine dayanacaktır. Bu dönüşümün merkezinde ise bilim temelli, çevreyle uyumlu mühendislik yaklaşımları yer alacaktır.

KAYNAKÇA

- Aikins, K. A., Ucgul, M., Barr, J. B., Awuah, E., Antille, D. L., Jensen, T. A., ve Desbiolles, J. M. A. (2023). *Review of Discrete Element Method Simulations of Soil Tillage and Furrow Opening. Agriculture*, 13(3), 541.
- Akkeçeci, Ş., ve Özkan, Ç. Ö. (2022). Organik tarımda yeşil gübre uygulamasının önemi ve sürdürülebilirliği. *ADYUTAYAM*, 10(2), 161–174.
- Carciochi, W. D., Gabriel, J. L., ve Wyngaard, N. (2024). Cover crops and green manures: providing services to agroecosystems. *Frontiers in Soil Science*, 14, 1518511.
- Cardei, P., Constantin, N., Muraru, V., Persu, C., Sfiru, R., Vladut, N.-V., Ungureanu, N., Matache, M., Muraru-Ionel, C., Cristea, O.-D., ve Laza, E.-A. (2023). *The Random Vibrations of the Active Body of the Cultivators*.
- Drinkwater, L. E., Wagoner, P., ve Sarrantonio, M. (1998). Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. *Nature*, 396(6708), 262–265.
- European Commission. (2022). *Soil Deal for Europe 2030: Mission Implementation Plan*. Directorate-General for Agriculture and Rural Development.
- Fageria, N. K. (2007). Green manuring in crop production. *Journal of Plant Nutrition*, 30(5), 691–719.
- Gürsel, K. T., ve Köftecioglu, E. Y. (2006). Structural analysis of elements of two-bottom mouldboard plough. *Sigma (Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi)*, 47, 46-55.
- Hou, P., Xue, L., Wang, J., Petropoulos, E., Xue, L., ve Yang, L. (2022). *Green manure amendment in paddies improves soil carbon sequestration but cannot substitute the critical role of N fertilizer in rice production. Agronomy*, 12(7), 1548.
- Javed, N., Ijaz, S. S., Hussain, Q., Ansar, M., Alrefaei, A. F., Almutairi, B. O., Zaman, W., ve Yousra, M. (2024). Potential of modified reduced tillage with cover/green manure crop for climate change mitigation in a smallholder rainfed farming system. *Sustainability*, 16(11), 4781.

- Kumar, M., Patle, G. T., Lal, M., Kumar, A., Rani, K., ve Kumar, S. (2024). *An overview of crop residue management challenges, opportunities, and the way forward for sustainable food-energy security in India*. Ecology, Environment and Conservation, 30(Suppl.), S486-S502.
- Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, 7(5), 5875–5895.
- Lee, N., ve Rinehart, R. (2025). *Overview of cover crops and green manures*. ATTRA.
- Miressa, S. B., Ding, Q., Li, Y., ve Amisi, E. O. (2024). *Optimization of tillage operation parameters to enhance straw incorporation in rice-wheat rotation field*. Agriculture, 15(1), 54.
- Poeplau, C., ve Don, A. (2015). *Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis*. Agriculture, Ecosystems ve Environment, 200, 33-41.
- Peoples, M. B., Herridge, D. F., ve Ladha, J. K. (1995). Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production? *Plant and Soil*, 174(1), 3–28.
- Rinnofner, T., Friedel, J. K., de Kruijff, R., Pietsch, G., ve Freyer, B. (2008). *Effect of catch crops on N dynamics and following crops in organic farming*. Agronomy for Sustainable Development, 28(4), 551-558.
- Singha, P. S., ve Kumar, A. (2024). Recent Advances in Rotavator to Enhance its Performance. *Journal of Advanced Engineering Research*, 11(1), 90-96
- Qiu, T., Shi, Y., Peñuelas, J., Liu, J., Cui, Q., Sardans, J., Fang, L. (2024). *Optimizing cover crop practices as a sustainable solution for global agroecosystem services*. Nature Communications, 15(1), 10617.
- Wang, Y., Yu, A., Shang, Y., Wang, P., Wang, F., Yin, B., Liu, Y., Zhang, D., ve Chai, Q. (2025). *Research Progress on the Improvement of Farmland Soil Quality by Green Manure*. Agriculture, 15(7), 768.
- Wofuru-Nyenke, O. K. (2023). Mechanized cover crop farming: Modern methods, equipment and technologies. *Circular Agricultural Systems*, 3, 6.
- Xue, S., Liu, W., Zhang, J., Wang, Y.. (2025). *Green manure enhances soil organic carbon sequestration by regulating microbial functional guilds in paddy fields*. Geoderma, 456, 117669.

- Ye, X., Liu, H., Li, Z., Wang, Y.,(2014). *Effects of green manure continuous application on soil microbial biomass and enzyme activity*. Journal of Plant Nutrition, 37(4), 498–509.
- Zhang, X., Zhang, L., Hu, X., Wang, H., ve Shi, X. (2023). Calibrating contact parameters of typical rotary tillage components cutting soil based on different simulation methods. *Scientific Reports*, 13, 5757.

BÖLÜM 11

BİTKİLERDE YÜKSEK SICAKLIK STRESİNE FİZYOLOJİK VE MOLEKÜLER YAKLAŞIMLAR

Doç. Dr. İbrahim ÇELİK ^{1,2}

Doç. Dr. Aylin KABAŞ ³

Doç. Dr. Selman ULUIŞIK ⁴

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17638782>

¹Pamukkale Üniversitesi, Çal Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Denizli, Türkiye. icelik@pau.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-6205-0930

²Pamukkale Üniversitesi, Bitki Genetiği ve Tarımsal Biyoteknoloji Uygulama Ve Araştırma Merkezi, Denizli, Türkiye.

³Akdeniz Üniversitesi, Manavgat Meslek Yüksekokulu, Organik Tarım Bölümü, Antalya, Türkiye. akabas@akdeniz.edu.tr, Orcid ID:0000-0003-3983-9965

⁴Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Burdur, Türkiye. suluisik@mehmetakif.edu.tr Orcid ID:0000-0003-0790-6705

GİRİŞ

Günümüzde küresel iklim değişiklikleri, yağışların azalması ve yüksek karbondioksit emisyonundan kaynaklı küresel ısınma tarımsal üretimi olumsuz yönde etkilemektedir. Hükümetler arası iklim değişikliği paneli (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change) raporlarına göre küresel sıcaklığın önümüzdeki on yılda 0.3 C° olmak üzere 2100 yılında 4 C°'ye kadar artabileceği bildirilmiştir. Bu bağlamda, kuraklık ve tuz stresi toleransı ıslahıyla birlikte yüksek sıcaklık toleransı ıslahı, bitki ıslah programlarında önemli bir konuma gelmiştir. Günümüzde yapılan birçok moleküler genetik çalışma sonucunda yüksek sıcaklık toleransını kontrol eden genlerin belirlenmiş olmasına rağmen, bu moleküler bilgilerin, agronomik açıdan önemli bitkilerin ıslahında kullanımı yeterli düzeyde değildir. Bu yetersizliğin en büyük nedeni yüksek sıcaklık stresi toleransının çok gen tarafından kontrol edilen kantitatif bir karakter olmasıdır. Gelecekte bitkisel üretimin sürdürülebilir bir şekilde devam etmesi için yüksek sıcaklık stresi toleransını hedefleyen yeni ıslah yaklaşımları stratejiler geliştirilmesi gerekmektedir. Hazırlanan bu kitap bölümünde günümüze kadar bitkilerde yüksek sıcaklık stresi ıslahı yaklaşımları tartışılacak olup sıcaklık toleransı bakımından üstün toleransa sahip yeni bitki çeşitlerinin geliştirilmesi için yeni yaklaşım önerileri sunulacaktır.

1. BİTKİLERDE YÜKSEK SICAKLIK STRESİ

Bitkilerin sağlıklı bir şekilde büyümesi için optimum bir sıcaklık gerekmektedir. Bitkilerin bu sıcaklıktan 10 °C daha ısıya maruz kalması yüksek sıcaklık stresi olarak bilinmektedir (Wahid vd., 2007). Yüksek sıcaklık stresinde, bitkilerin gelişimi olumsuz yönde etkilenmekte ve bitkisel üretim düşmektedir. Yüksek sıcaklık stresi, bitkileri fizyolojik, gelişimsel, biyokimyasal ve moleküler olarak olumsuz yönde etkilemektedir. Bitkilerde anter ve polen gelişimi sıcaklığa çok hassastır. Bu nedenle, generatif organlar vejetatif organlara oranla yüksek sıcaklıktan daha çok etkilenirler. Yüksek sıcaklık stresine tolerans bitki gelişim dönemlerine göre de farklılık göstermektedir. Dünya tarım ekonomisi için önemli bir sebze olan domatesin yüksek sıcaklık stresine en duyarlı olduğu gelişim dönemi meyve tutum dönemidir. Bu dönemde yaşanan 2-4 °C'lik sıcaklık artışları bile, fotosentez, gamet, çiçek oluşumu ve anter patlaması gibi birçok süreci olumsuz şekilde etkiler (Firon vd. 2006; Çömlekçioglu ve Şimşek, 2014; Hoshikawa vd., 2021).

Bitkiler, yüksek sıcaklık stresine fizyolojik tepki olarak hava sirkülasyonu için yapraklarını yeniden şekillendirir, sıcaklığı azaltmak içi terlemeyi artırır ve hücre membranı lipid kompozisyonu değiştirirler (Wahid vd. 2007; Hoshikawa vd. 2021).

2. YÜKSEK SICAKLIK STRESİNİN MOLEKÜLER MEKANİZMALARI

Yüksek sıcaklık toleransını kontrol eden birçok gen ve moleküler yolak, başta *Arabidopsis thaliana* olmak üzere çeşitli bitkiler kullanılarak belirlenmiştir (Qu vd., 2013). Bitkilerde yüksek sıcaklık stresini kontrol eden moleküler mekanizmalardan en önemlisi, ısı şok proteinleridir (Heat shock proteins (HSPs)). Yüksek sıcaklık stresi transkripsiyon faktörleri (Heat stress transcription factors (HSFs)) tarafından sentezlenmesi düzenlenen bu proteinler, birer şaperon protein olup, hücredeki diğer proteinlerin doğru katlanmasını sağlayarak hücresel stresi minimize ederler (Al-Whaibi, 2011; Ohama vd., 2017; Khan vd., 2021; Mondal vd., 2023).

Yüksek sıcaklık stresi toleransını kontrol eden diğer bir mekanizma da oksidatif stres yanıtıdır. Yüksek sıcaklık stresi, reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşmasına neden olarak hücrede ikincil bir stres olan oksidatif stres meydana getirir. Oksidatif stres, hücrede HsfA4a transkripsiyon faktörünün sentezlenmesine ve MAPK sinyal yolağının aktifleştirilmesen neden olarak antioksidant enzimlerinin sentezlenmesine sağlar ve hücresel stres seviyesini minimize ederler (Qu vd., 2013; Medina vd., 2021).

Bu iki ana moleküler mekanizmaya ek olarak, bitkilerde hormon sentezinde rol alan genlerin yüksek sıcaklık stresıyla ilişkili olduğu rapor edilmiştir (Ahammed vd., 2016; Suzuki, 2016). Fosfolipit yolağı (phospholipid pathway), bitkilerin yüksek sıcaklık stresine verdiği moleküler yanıtların önemli bir parçasıdır. Yüksek sıcaklık, bitkilerde hücre membranının yapısının bozulmasına neden olarak hücresel işlevlerin aksamalarına ve zarar görmesine yol açar. Fosfolipid yolu, bu stres durumlarında hücre membranının stabilitesini sağlamak ve stres yanıtını modüle etmek için kritik bir rol oynar (Munnik vd., 2006; Sharma vd., 2023)

Yukarıda tartışılan ve bitkilerin yüksek sıcaklık toleransını kontrol eden moleküler mekanizmalarda yer alan genler, başta *Arabidopsis thaliana* olmak üzere çeşitli bitkiler kullanılarak bulunmuştur. Çeşitli bitkilerde belirlenen

yüksek sıcaklık stresi ilişkili genler Hoshikawa vd. (2021) tarafından tartışılmıştır. Bu yüksek sıcaklık ilişkili genler, ıslah çalışmalarında ana hedef konumundadırlar. Bundan sonraki bölümlerde bu genlerin bitki ıslah yaklaşımlarında nasıl kullanıldığı anlatılacaktır.

3. BİTKİLERDE YÜKSEK SICAKLIK STRESİ ISLAHI YAKLAŞIMLARI

3.1 Moleküler ıslah yaklaşımı

Bitkilerde yüksek sıcaklık stresiyle ilişkili birçok moleküler mekanizmanın bilinmesine rağmen, bu moleküler mekanizmalarda yer alan genlerin allellik bilgilerinin olmaması, bu genlerin moleküler ıslah çalışmalarında kullanılmasını olanaksız hale getirmektedir. Bitkilerde klasik ya da moleküler ıslah yöntemleri kullanılarak bitki ıslahı yapılabilmesi için öncelikle bitki gen kaynaklarının yüksek sıcaklık stresi bakımından karakterize edilmesi gerekmektedir. Literatürde birçok agronomik bitki grubunun kontrollü koşullarda yüksek sıcaklık bakımından karakterize edildiği çalışma mevcuttur (Selvaraj vd., 2011; Abro vd., 2015; Zhou vd., 2015; Nankishore ve Farrell, 2016; Shaheen vd., 2016;; Gao vd., 2020; Aldubai vd., 2022; Ashfaq vd., 2022). Bu çalışmalarda, yerel bitki genotipleri, ticari çeşitler ve yabani türler yüksek sıcaklık stresi bakımından taranmış ve bu strese tolerant genotipler belirlenmişlerdir.

Yüksek sıcaklık stresi toleransına sahip gen kaynaklarının belirlenmesinden sonraki aşama, bu gen kaynaklarının sahip olduğu üstün genetik potansiyellerin moleküler genetik mekanizmalarını QTL haritalama yöntemleri kullanarak aydınlatılmasıdır. QTL haritalama çalışmaları sonucunda, bitkide bu toleransı hangi lokusların kontrol ettiği (QTL'ler) ve bu lokuslara bağlantı gösteren markörlerin hangi alellerinin toleransı artırdığı bilgileri edinilecektir. QTL haritalama çalışmalarında, öncelikle hassas ve tolerant bitkiler kullanılarak bir haritalama populasyonu (F2, RIL, IBL) oluşturulur. Sonrasında bu populasyon moleküler markörler kullanılarak taranıp, yüksek sıcaklık stresine tabi tutularak hatların tolerans seviyeleri belirlenir. Son olarak, moleküler markörlerin alel verileri ile tolerans verileri QTL haritalaması algoritmaları kullanılarak analiz edilir ve anlamlı olarak toleransı kontrol eden QTL'ler bitki genomlarında haritalanmış olur (Talukder vd., 2014; Bhusal vd., 2017;; Kilasi vd., 2018). QTL haritalama çalışmalarında

sıklıkla kullanılan bir başka yöntem de ilişkilendirme haritalaması (GWAS) yaklaşımıdır. Bu QTL haritalama yönteminin diğer QTL haritalama yöntemine göre çözünürlüğü daha fazladır. İlişkilendirme haritalaması yönteminde, deneysel haritalama populasyonları oluşturmada sadece gen kaynaklarının yüksek çözünürlükte genotiplenmesi ve aynı zamanda fenotiplenmesi gerekmektedir. Sonrasında ilişkilendirme paneli olarak adlandırılan genotiplerin markör verileri ile tolerans seviyeleri ilişkilendirme haritalaması algoritmaları kullanılarak analiz edilir ve toleransı kontrol eden QTL'ler ve bunlara bağlantı gösteren markörler markörler belirlenmiş olur (He ve Gai, 2023). Çeşitli ürün gruplarında bu yaklaşım yüksek sıcaklık stresi toleransını kontrol eden QTL'lerin haritalanmasında başarılı bir şekilde kullanılmıştır (Tafesse vd., 2020; Abou-Elwafa ve Shehzad, 2021; Maalouf vd., 2022).

Yüksek sıcaklık stresini kontrol eden QTL'lerin bitki genomlarında haritalanmasından sonraki aşama, QTL'lere bağlantı gösteren markörler kullanılarak Marköre Dayalı Seçim (MAS) uygulamalarının yapılmasıdır. Literatürde yüksek sıcaklık toleransını kontrol eden birçok QTL bulunmasına rağmen bu QTL'lerin ıslah çalışmalarında kullanımı sınırlıdır. Bu sınırlamanın ana nedeni QTL'lerin çevreden etkilenmeleri ve etkilerinin genom arka planına göre değişmesidir (Jha vd., 2014; Hill ve Li, 2022).

3.2 Modern ıslah yaklaşımı

Günümüzde bir karakteri kontrol eden genleri hedef alarak bu genlerin genetik mühendisliği ve biyoteknoloji yöntemleri kullanılarak düzenlenmesini kapsayan modern ıslah yaklaşımı, yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu modern ıslah yaklaşımı yöntemlerini rekombinant DNA teknolojileri ve CRISPR tabanlı gen düzenleme yöntemleri olarak ikiye ayırabiliriz.

Genlerin yüksek ekspresyonunu ya da kapatılmasını kapsayan recombinant DNA teknolojileri bitkilerde yüksek sıcaklık toleransının artırılması çalışmalarında başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Bu çalışmalarda, genelde stres toleransında rol alan birçok genin ekspresyon seviyelerinin artırılması hedeflenmektedir. Bu hedefe ulaşmak için, bitkilerin yüksek sıcaklık toleransını kontrol eden transkripsiyon faktörlerin sürekli gen ekspresyonunu sağlayan 35S promotörü ile recombinant DNA teknolojileri kullanılarak transforme edildiğini görmekteyiz. Bu bağlamda yapılan bir çalışmada, Kasımpatı bitkisinde (*Chrysanthemum*) *AtDREB1A* geninin

ekspresyonunu seviyesi artırılmış ve transgenik bitkilerin yüksek sıcaklık stresine tolerans geliştirdiği görülmüştür (Hong vd., 2009). Bu çalışmaya benzer başka bir çalışmada çayır salkım otundan (*Poa pratensis*) *PpEXPI* geni izole edilerek bu genin tütünde yüksek ekspresyonu sağlanmış ve transgenik bitkilerin yüksek sıcaklık toleransı artırılmıştır (Xu vd. 2014). Bir başka çalışmada Mitogen-activated protein kinase (MAPK) sinyal yolağında rol alan *ZmMAPK1* geni mısırdan izole edilmiş ve bu genin model bir bitki olan *Arabidopsis thaliana* bitkisinde yüksek ekspresyon yapması sağlanmıştır (Wu vd., 2015). Benzer yaklaşım domateste de uygulanmış ve yüksek sıcaklık sentezinde rol alan bir gen olan *SlBBX17*'nin yüksek ekspresyonu transgenik bitkilerde toleransı arttırmıştır (Xu vd. 2022).

Klasik rekombinant DNA teknolojileri tabanlı genetik mühendisliği çalışmalarına ek olarak, son zamanlarda sıklıkla kullanılan ve genetik mühendisliğinin kilometre taşlarından biri olan CRISPR-Cas9, yüksek sıcaklık toleransı ıslahında başarılı bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. CRISPR-Cas9 genetik mühendisliği ve biyoteknoloji alanında kullanılan bir teknolojidir. Tam adıyla CRISPR-Cas9, genetik materyali belirli bir şekilde düzenlemeye yarayan bir sistemdir. "CRISPR", Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats (Küme Halinde Düzenli Olarak Aralıklı Kısa Palindromik Tekrarlar) teriminin kısaltmasıdır. Bu sistem, özellikle genetik düzenlemeleri çok daha hızlı, hassas ve düşük maliyetle yapabilen bir yöntem olarak dikkat çeker. CRISPR-Cas9 teknolojisi, bakterilerin virüslerden korunmak için geliştirdiği bir savunma mekanizmasını taklit eder. Bu mekanizma sayesinde, araştırmacılar bitki genomlarında istenilen değişiklikleri yapabilirler. Bitkilerde genlerin ekspresyonunun engellendiği bu genetik mühendisliği yöntemi birçok bitkide kullanılarak bitkilerde yüksek sıcaklık stresine tolerans artırılmıştır (Kumar vd., 2023). Bu yöntemin en çok uygulandığı bitki türü geçerli bir transformasyon protokolü bulunan domatestir. Yapılan bir çalışmada, domateste Partenokarpide rol alan SIAGAMOUS-LIKE 6 (SIAGL6) geninin susturulması yüksek sıcaklık stresine toleransı arttırmıştır (Klap vd., 2017). Bir başka çalışmada MAPK sinyal yolunda görev alan *Solanum lycopersicum* Mitogen-Activated Protein Kinase 3 (SLMAPK3) geni kapatılmış ve yüksek sıcaklık stresine tolerans geliştirilmiştir (Yu vd., 2019). Benze yaklaşım marulda (*Lactuca sativa*) da uygulanmış ve marulda yüksek sıcaklıkta tohum çimlenmesine engelleyen bir gen olan *LsNCED4* (9-cis-

EPOXYCAROTENOID DIOXYGENASE4) kapatılmıştır. Sonuç olarak yüksek sıcaklıkta bitki gelişimi gözlenmiştir (Bertier vd. 2019).

4. SONUÇ

Küresel ısınmaya bağlı sıcaklıkların artması, tarım ekonomisi için önemli birçok bitkiyi etkileyecek ve bu ürün gruplarında verim kayıpları yaşanacağı beklenmektedir. Bu sıcak geleceğe hazırlanabilmemiz için yüksek sıcaklık streslerine tolerant bitki ıslahı geliştirme çalışmalarının hızlandırılması gerekmektedir. Mevcut yaklaşımlara baktığımız zaman transgenik yöntemlerin moleküler ıslah yaklaşımına göre yüksek tolerans geliştirmede daha başarılı olduğu görülmüştür. Genetik mühendisliği yöntemleriyle geliştirilen transgenik bitkilerin (GDO) Türkiye gibi transgenik bitki tarımının yasak olduğu ülkelerde kullanımı olmayacaktır. CRISPR tabanlı sistemlerin GDO olarak kabul edilip edilemeyeceği de hala tartışılmaktadır. Bu bağlamda, bu ülkelerde transgenik olmayan moleküler ıslah yaklaşımı önem kazanmakta olup, bu ıslah yaklaşımının bitki ıslahında kullanılmasında yetersizlikler mevcuttur. Bu yetersizlikleri ortadan kaldırmak için gen kaynakları, özellikle yabani türler yüksek sıcaklık stresi bakımından taranarak yüksek sıcaklığa toleransı çok daha yüksek bitki gen kaynaklarının bulunması gerekmektedir. Bu hem bitki ıslahı için melezlemelerde gen kaynağı olacak hem de daha yüksek sıcaklara tolerans mekanizmalarının aydınlatılmasında gen kaynağı sağlayacaktır. Moleküler ıslah yöntemlerindeki diğer yetersizlik de kantitatif bir karakter olan yüksek sıcaklık stresinin MAS uygulamalarıyla ıslahta kullanılmasıdır. Kantitatif karakter ıslahında MAS uygulamaları, karakterlerin çevreden etkilenmesinden ve QTL etkilerinin genomik arka plana göre değişmesinden dolayı pratik değildir. Bu bağlamda yüksek sıcaklık stresi gibi karmaşık kalıtım gösteren karakterlerin kalıtımında MAS uygulamaları yerine, ıslahta bitkilerin tüm genomunun ıslah değerine katkısını hesaplayarak bir seleksiyon modelinin geliştirildiği genomik seleksiyon yaklaşımının kullanılması, ıslah çalışmalarının etkinliğini arttırmış olacaktır.

KAYNAKLAR

- Ahammed, G. J., Li, X., Zhou, J., Zhou, Y. H., & Yu, J. Q. (2016). Role of hormones in plant adaptation to heat stress. In *Plant hormones under challenging environmental factors* (pp. 1-21). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Aldubai, A. A., Alsadon, A. A., Migdadi, H. H., Alghamdi, S. S., Al-Faifi, S. A., & Afzal, M. (2022). Response of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) genotypes to heat stress using morphological and expression study. *Plants*, 11(5), 615.
- Al-Whaibi, M. H. (2011). Plant heat-shock proteins: a mini review. *Journal of King Saud University-Science*, 23(2), 139-150.
- Ashfaq, W., Brodie, G., Fuentes, S., & Gupta, D. (2022). Infrared thermal imaging and morpho-physiological indices used for wheat genotypes screening under drought and heat stress. *Plants*, 11(23), 3269.
- Bertier, L. D., Ron, M., Huo, H., Bradford, K. J., Britt, A. B., & Michelmore, R. W. (2018). High-resolution analysis of the efficiency, heritability, and editing outcomes of CRISPR/Cas9-induced modifications of NCED4 in lettuce (*Lactuca sativa*). *G3: Genes, Genomes, Genetics*, 8(5), 1513-1521.
- Bhusal, N., Sarial, A. K., Sharma, P., & Sareen, S. (2017). Mapping QTLs for grain yield components in wheat under heat stress. *PLoS One*, 12(12), e0189594.
- Gao, G., Tester, M. A., & Julkowska, M. M. (2020). The use of high-throughput phenotyping for assessment of heat stress-induced changes in *Arabidopsis*. *Plant Phenomics*.
- He, J., & Gai, J. (2023). Genome-wide association studies (GWAS). In *Plant Genotyping: Methods and Protocols* (pp. 123-146). New York, NY: Springer US.
- Hill, C. B., & Li, C. (2022). Genetic improvement of heat stress tolerance in cereal crops. *Agronomy*, 12(5), 1205.
- Hong, B., Ma, C., Yang, Y., Wang, T., Yamaguchi-Shinozaki, K., & Gao, J. (2009). Over-expression of AtDREB1A in chrysanthemum enhances tolerance to heat stress. *Plant Molecular Biology*, 70(3), 231-240.

- Jha, U. C., Bohra, A., & Singh, N. P. (2014). Heat stress in crop plants: its nature, impacts and integrated breeding strategies to improve heat tolerance. *Plant Breeding*, 133(6), 679-701.
- Khan, S., Jabeen, R., Deebea, F., Waheed, U., Khanum, P., & Iqbal, N. (2021). Heat shock proteins: classification, functions and expressions in plants during environmental stresses. *Journal of Bioresource Management*, 8(2), 9.
- Kilasi, N. L., Singh, J., Vallejos, C. E., Ye, C., Jagadish, S. K., Kusolwa, P., & Rathinasabapathi, B. (2018). Heat stress tolerance in rice (*Oryza sativa* L.): identification of quantitative trait loci and candidate genes for seedling growth under heat stress. *Frontiers in plant science*, 9, 1578.
- Klap, C., Yeshayahou, E., Bolger, A. M., Arazi, T., Gupta, S. K., Shabtai, S., ... & Barg, R. (2017). Tomato facultative parthenocarpy results from *Sl AGAMOUS-LIKE 6* loss of function. *Plant biotechnology journal*, 15(5), 634-647.
- Kumar, M., Prusty, M. R., Pandey, M. K., Singh, P. K., Bohra, A., Guo, B., & Varshney, R. K. (2023). Application of CRISPR/Cas9-mediated gene editing for abiotic stress management in crop plants. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1157678.
- Maalouf, F., Abou-Khater, L., Babiker, Z., Jighly, A., Alsamman, A. M., Hu, J., ... & Kumar, S. (2022). Genetic dissection of heat stress tolerance in faba bean (*Vicia faba* L.) using GWAS. *Plants*, 11(9), 1108.
- Medina, E., Kim, S. H., Yun, M., & Choi, W. G. (2021). Recapitulation of the function and role of ROS generated in response to heat stress in plants. *Plants*, 10(2), 371.
- Mondal, S., Karmakar, S., Panda, D., Pramanik, K., Bose, B., & Singhal, R. K. (2023). Crucial plant processes under heat stress and tolerance through heat shock proteins. *Plant Stress*, 10, 100227.
- Nankishore, A., & Farrell, A. D. (2016). The response of contrasting tomato genotypes to combined heat and drought stress. *Journal of plant physiology*, 202, 75-82.
- Ohama, N., Sato, H., Shinozaki, K., & Yamaguchi-Shinozaki, K. (2017). Transcriptional regulatory network of plant heat stress response. *Trends in plant science*, 22(1), 53-65.

- Qu, A. L., Ding, Y. F., Jiang, Q., & Zhu, C. (2013). Molecular mechanisms of the plant heat stress response. *Biochemical and biophysical research communications*, 432(2), 203-207.
- Selvaraj, M. G., Burow, G., Burke, J. J., Belamkar, V., Puppala, N., & Burow, M. D. (2011). Heat stress screening of peanut (*Arachis hypogaea* L.) seedlings for acquired thermotolerance. *Plant Growth Regulation*, 65(1), 83-91.
- Shaheen, M. R., Ayyub, C. M., Amjad, M., & Waraich, E. A. (2016). Morpho-physiological evaluation of tomato genotypes under high temperature stress conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(8), 2698-2704.
- Sharma, P., Lakra, N., Goyal, A., Ahlawat, Y. K., Zaid, A., & Siddique, K. H. (2023). Drought and heat stress mediated activation of lipid signaling in plants: a critical review. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1216835.
- Suzuki, N. (2016). Hormone signaling pathways under stress combinations. *Plant signaling & behavior*, 11(11), e1247139.
- Tafesse, E. G., Gali, K. K., Lachagari, V. R., Bueckert, R., & Warkentin, T. D. (2020). Genome-wide association mapping for heat stress responsive traits in field pea. *International journal of molecular sciences*, 21(6), 2043.
- Talukder, S. K., Babar, M. A., Vijayalakshmi, K., Poland, J., Prasad, P. V. V., Bowden, R., & Fritz, A. (2014). Mapping QTL for the traits associated with heat tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *BMC genetics*, 15(1), 97.
- Wu, L., Zu, X., Zhang, H., Wu, L., Xi, Z., & Chen, Y. (2015). Overexpression of ZmMAPK1 enhances drought and heat stress in transgenic *Arabidopsis thaliana*. *Plant molecular biology*, 88(4), 429-443.
- Xu, Q., Xu, X., Shi, Y., Xu, J., & Huang, B. (2014). Transgenic tobacco plants overexpressing a grass PpEXP1 gene exhibit enhanced tolerance to heat stress. *PLoS One*, 9(7), e100792.
- Xu, X., Wang, Q., Li, W., Hu, T., Wang, Q., Yin, Y., ... & Zhan, X. (2022). Overexpression of SIBBX17 affects plant growth and enhances heat tolerance in tomato. *International Journal of Biological Macromolecules*, 206, 799-811.

- Yu, W., Wang, L., Zhao, R., Sheng, J., Zhang, S., Li, R., et al. (2019). Knockout of SLMAPK3 enhances tolerance to heat stress involving ROS homeostasis in tomato plants. *BMC Plant Biol.* 19, 1–13. doi: 10.1186/s12870-019-1939-z
- Zhou, R., Yu, X., Kjær, K. H., Rosenqvist, E., Ottosen, C. O., & Wu, Z. (2015). Screening and validation of tomato genotypes under heat stress using Fv/Fm to reveal the physiological mechanism of heat tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 118, 1-11.
- Zonia, L., & Munnik, T. (2006). Cracking the green paradigm: functional coding of phosphoinositide signals in plant stress responses. *Biology of Inositols and Phosphoinositides: Subcellular Biochemistry*, 207-237.

BÖLÜM 12

ÖLMEZ ÇİÇEK (*Helichrysum arenarium* (L.) Moench) BİTKİSİNİN BİYOAKTİF BİLEŞENLERİ VE TERÖPATİK KULLANIMI

Dr. Öğr. Üyesi Lütüfî NOHUTÇU¹

Prof. Dr. Murat TUNÇTÜRK²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17638822>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye. lutfinohutcu@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-2250-2645

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye. murattuncurk@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-7995-0599

GİRİŞ

İnsanoğlu varoluşundan itibaren ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla bitkilerden faydalanmaya başlamıştır. Avcı-toplayıcı dönemde bitkilerden beslenme amacıyla faydalanılmasına rağmen, sağlık problemleri ve diğer ihtiyaçların (sığınma, giyinme, yakacak vs.) doğmasıyla birlikte bitkiler farklı amaçlar için değerlendirilmeye başlanmıştır. Özellikle biyoaktif etken maddelerce (Sekonder metabolit) zengin olan bitkiler insan ve hayvanların tedavisinde önemli rol oynamışlardır. Günümüzde tıbbi ve aromatik bitkiler olarak adlandırılan bu bitki grubu halen insanların daha sağlıklı ve kaliteli bir yaşam sürmeleri açısından önemli bir yere sahiptir. Bitkilerle tedavi yani geleneksel ve tamamlayıcı tıp uygulamaları (GETAT) doğal olması, yan etkilerinin daha az olması nedeniyle insanlar tarafından çokça tercih edilen yöntemler arasındadır (Kılıç, 2022; Tunçtürk vd., 2022a, 2022b; Nohutçu vd., 2024a,2024b,2024c; Tunçtürk vd.,2024a,b; Selem vd., 2025).

Bu çalışmanın konusu Türkiye ve Dünya’da yayılış gösteren Asteraceae familyası *Helichrysum* Mill. cinsine ait *Helichrysum arenarium* (L.) Moench bitkisi ve teröpatik olarak kullanım alanlarıdır. *H. arenarium* (L.) Moench bitkisi Türkçe Ölmez çiçek, Altın otu, Herdemtaze, Solmaz çiçek ya da Güneş çiçeği olarak isimlendirilmektedir (Eroğlu, 2018). Cinsin bilimsel ismi olan *Helichrysum* kelimesinin kökeni, güneş ve altın anlamlarına gelen yunanca “helios” ve “chryos” kelimelerinin birleşimidir (Perrini vd., 2009). Türün güçlü kökleri sayesinde zorlu koşullara adapte olması, sıcak, kurak ve şiddetli rüzgarlarda bile yaşamını sürdürmesi ve çiçeklerinin parlak sarı renkte olması Türkçe isimlendirmelerinin açıklaması mahiyetindedir (Şekil 1).



Şekil 1. Ölmez çiçek bitkisi (*Helichrysum arenarium* (L.) Moench) (Anonim, 2025a)

Helichrysum cinsinin dünyada yaklaşık olarak 600'e yakın türü bulunmakta ve Amerika, İskandinavya, Atlantik, Avrupa, Balkanlar, Rusya, Sibirya, Kafkasya, Küçük Asya, Orta Asya, Moğolistan ve Çin'de doğal yayılış göstermektedir (Jarzycka vd., 2013, Reidel vd., 2017, Kutluk vd., 2018). Türkiye'de literatür araştırmalarından elde edilen bilgiler doğrultusunda *Helichrysum* cinsinin 15'i endemik olmak üzere 27 tür ile çeşitli bölgelerde yer aldığı görülmektedir (Davis vd., 1988; Anderberg vd., 2007; Şenol vd., 2011). Özellikle *Helichrysum arenarium*, *Helichrysum armenium* ve *Helichrysum plicatum* gibi türlerin çok sayıda alttürü bulunması, Anadolu topraklarının *Helichrysum* cinsinin gen merkezi konumunda olduğunu göstermektedir (Öztürk, 2004). *H. arenarium* türünün Türkiye'de *H. arenarium* ssp. *aucheri*, *H. arenarium* ssp. *erzincanicum* ve *H. arenarium* ssp. *rubicundum* olmak üzere 3 tane alttürü bulunmaktadır (Albayrak vd., 2010).

1. ÖLMEZ ÇİÇEK BİTKİSİNİN BİYOAKTİF BİLEŞENLERİ

Yapılan çalışmalar *H. arenarium* bitkisine ait ekstraktlarda ana bileşik grubunun flavonoller, flavonlar ve flavanonlar olmak üzere 3 tipten oluşan flavonoidler olduğunu göstermektedir (Czinner vd., 1999; Czinner vd., 2002). En çok tespit edilen flavonoidler ise izosalipurpozit, naringenin ve naringenin-

5-O-glukozit olarak bildirilmiştir (Kurkina vd., 2012). Flavonoitlere ek olarak polifenoller, steroller, lignanlar, glikozitler, ftalidler, karotenoidler ve uçucu yağ gibi aromatik bileşikler de bulunmaktadır (Dănăilă-Guidea vd., 2022). Tespit edilen diğer bileşikler arasında arenol ve homoarenol gibi alfa-pirol türevleri ve özellikle sarı pigment bol miktarda bulunmaktadır (Pljevljakušić vd., 2018). Aşağıda bulunan tabloda farklı araştırmacılar tarafından bildirilen *H.arenarium* bitkisinin biyoaktif bileşenleri listelenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Farklı araştırmacılar tarafından bildirilen *H.arenarium* bitkisinin biyoaktif bileşenleri

Kullanılan Kısım	Ekstre/Uçucu Yağ	Bileşik Grubu	Bileşik	Kaynak
Topraküstü	Etanol	Flavonoitler	Naringenin-7-O-β-d-glikozit, izokuersetin, astragalin	Yang vd., 2009
Topraküstü	Metanol	Flavonoitler	Apigenin-7-glukozit, apigenin, luteolin, naringenin	Albayrak vd., 2010a
		Fenolik Asitler	Klorojenik asit, kafeik asit,	
Çiçek	Metanol	Flavonoitler	Kemferol, kemferol-3-o-glukozit, kuersetin, kuersetin-3-o-glukozit	Czinner vd., 2000
		Fenolik Asitler	Klorojenik asit, kafeik asit	
Çiçek	Etanol	Flavonoitler	Apigenin, luteolin, kuersitrin, izokuersitrin, kemferol	Babotă vd., 2018
		Fenolik Asitler	Klorojenik asit, p-kumarik asit.	
Topraküstü	Etanol-su	Flavonoitler	Hesperidin, naringenin, naringenin-5-O-b-D-glukopironozit, naringenin-7-O-b-D- glukopironozit, kuersetin-7-O- glukopironozit, kuersitrin, kemferol, kemferol, -3-O- glukopironozit/ kemferol, -7-O- glukopironozit, apigenin, apigenin-7-O-b-D- glukopironozit.	Yang vd., 2021
		Fenolik Asitler	Klorojenik asit, kafeik asit, kinik asit, izoklorojenik asit A, izoklorojenik asit B, izoklorojenik asit C.	

Çiçek ve Yaprak	Uçucu Yağ	Terpenoidler	α - Pinen, trans-karyofillen, β - pinen, α -humulen.	Tıgılı Kaytanlıoğlu vd. 2021
Çiçek ve Yaprak	Uçucu Yağ	Terpenoidler	β -karyofillen, δ -kadinen, oktadekan, heneikozan	Judžentienė ve Butkienė, 2006
Topraküstü	Uçucu Yağ	Terpenoidler	Linalool, karyofillen, ökaliptol (1,8-sineol), limonen, α -humulen, β -farnesen, γ -muurolen, γ - kadinen, δ -kadinen, α -ylangen, α -terpineol, β -spathulenol, α -bisabolol.	Liu vd., 2019
Topraküstü	Uçucu Yağ	Terpenoidler	1,8-Cineole, α -Terpineol, β -Caryophyllene, β -Farnesene, γ -Muurolene, α -Muurolene, δ -Cadinene, γ -Cadinene, Caryophyllene oxide, Heptadecane, Heneicosane, Tricosane	Judžentienė vd., 2019
Topraküstü	Uçucu Yağ	Terpenoidler	Limonene, 1,8-Cineole, β -Pinene, β -Caryophyllene, δ -Cadinene, Pentadecanoic acid	Reidel vd., 2017a

2. FARMAKOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Ölmez çiçek bitkisi geleneksel halk hekimliğinde uzun yıllardır kullanılmaktadır. Tür ve alt tür ayrımının insanlar tarafından detaylı bilinmediği zamanlar göz önüne alındığında, insanların ölmez çiçek adı altında doğadan temin ettikleri *Helichrysum sp.* taksonuna ait bitkilerden rastgele faydalandığı varsayılabilir. Öyle ki, Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2015)’e göre Avrupa farmakopesinde sadece *Helichrysi arenarii* bitkisi kayıtlıdır ve çiçeklerinin sindirim sistemi bozukluklarında (dispepsi) kullanılabileceği tanımlanmıştır. Diğer taraftan *H. arenarium* bitkisi çiçeklerinin Avrupa’da uzun yıllardır safra tedavisi ve koruması, karaciğer sağlığı, detoks ve spazm çözücü olarak kullanılabileceği bilinmektedir (Kroeber, 1951; Szadowska, 1962; Wagner, 1993; Shikov vd., 2014). Aynı zamanda bu hastalıkların yanında enfeksiyonlar, yara, soğuk algınlığı ve solunum rahatsızlıkların tedavisinde de faydalandığı bildirilmiştir (Rigano vd., 2014; Kladar vd., 2015).

2.1. Koleretik ve Kolagog etki

Ölmez çiçek bitkisi aynı zamanda karaciğer hücrelerinden safranin üretim ve atılım hızını artırarak etkisini gösteren safra hacmini artırıcı (koleretik) ve safra söktürücü (kolagog) olarak faaliyet gösterdiği bilinmektedir. Szadowska (1962), tarafından fareler üzerinde yürütülen bir çalışmada *H. arenarium* bitkisinden elde edilen flavonoid ekstresinin uygulandığı farelerde 15 dakika sonra safra sıvısının %180' e varan artış gösterdiği bildirilmiştir. Bir başka çalışmada bitkinin eter ekstresinden elde edilen Apigeninin düz kas ve safra kesesi üzerinde antispastik etkiye sahip olduğu, kolesistit ve kramp benzeri safra kesesi bozukluklarının tedavisinde kullanılabileceğini bildirilmiştir (Wichtl, 2001). Sokolov (2000), *H. arenarium* bitkisinin kaynatılarak (1:20, 100 mL, günde 2-3 kez) veya “Flamin” tabletleri (saflaştırılmış flavonoidler) şeklinde, 50 mg'lık terapötik dozda, günde 3 kez, 40 gün boyunca alınabileceğini, uzun süreli kullanımda safra tıkanmalarına sebep olabileceğini bildirilmiştir.

2.2. Antioksidan etki

H. arenarium bitkisi çiçeklerinin koleretik ve hepatoprotektif (karaciğer koruyucu) aktiviteleri, fenolik bileşiklerinin ve flavonoidlerinin antioksidan özelliklerine atfedilebilir (Dănăilă-Guidea vd., 2022). Türkiye’den toplanan 16 *Helichrysum* türü üzerinde yürütülen in vitro antioksidan aktivite çalışması sonuca göre *H. arenarium* bitkisinin toplam fenolik içeriği 115,76 mg gallik asit eşdeğeri olarak, DPPH• serbest radikal süpürücü aktiveye ait IC50 sonucu 37,52 µg/mL olarak, total antioksidan kapasite ise 147,68 mg askorbik asit eşdeğeri olarak bildirilmiştir (Albayrak vd., 2010a). DPPH serbest radikal yakalama testi ile 4 farklı *Helichrysum* türünün antioksidan değerlerinin incelendiği bir başka çalışmada, *H. arenarium* subsp. *aucheri* bitkisinin IC50 değeri 47,6 µg/mL olarak saptanmıştır. Elde edilen sonuçlar sentetik bir antioksidan olan BHT (butylated hydroxytoluene) ile karşılaştırılmış ve özellikle DPPH test sonucuna göre 4 türünde BHT’ye göre daha güçlü serbest radikal giderme aktiviteleri gösterdiği bildirilmiştir.

2.3. Anti-enflamatuvar aktivite

H. arenarium bitkisi çiçeklerinden elde edilen flavonoidler üzerinde yapılan bir çalışmada damar sertliği önleyici (anti-aterosklerotik) olduğu tespit edilmiştir. Bu özelliğin ana mekanizmasının özellikle C-Reaktif Protein

ekspresyonunun azaltılması, c-Jun NH2-terminal kinazların ve p38'in aktivitelerinin inhibisyonu ve mitojenle aktive olan protein kinaz yolunun baskılanması ile anti-inflamasyon yolundan geçtiği saptanmış, bu sayede skar dokusu ve damar darlığı oluşumları düzelmiş, sonuçta ateroskleroz oluşma riskinin azaldığı bulunmuştur (Drewes vd., 2008; Mao vd., 2017). *H. arenarium* çiçek özütlerinin anti-enflamatuar ve antioksidan etkilerinin incelendiği başka bir çalışmada bir asetofenon türevinin (flavonoid), indometasin standardına benzer in vivo anti-enflamatuar etkinlik gösterdiği bildirilmiştir (Recio vd., 1991).

2.4. Antimikrobiyal Etki

Helichrysum türlerinin antibakteriyel, antiviral ve antifungal özellikleri birçok ülkede farklı araştırmacılar tarafından araştırılmıştır. Ayrıca, Avrupa İlaç Ajansı 2015 yılında *H. arenarium* türünün farmakolojik etkileri, klinik etkinliği ve güvenliği ile antimikrobiyal özellikleri hakkında bir rapor yayınlamıştır (EMA, 2015). *H. arenarium*'dan elde edilen flavonoid bileşiklerinin antibakteriyel aktivitesine ilişkin ilk araştırma, 1997 yılında gerçekleştirilmiş ve 20–40 g/mL konsantrasyonundaki preparatların iki önemli Gram-pozitif türe (*Staphylococcus* sp. ve *Streptococcus* sp.) karşı etkili olduğu sonucuna varılmıştır (Khristenko vd., 1997). *H. arenarium*'un antimikrobiyal özellikleri üzerine yapılan çalışmalar, bitkinin topraküstü aksamından ve çiçeklerinden elde edilen uçucu yağların veya özütlerin farklı etkiler gösterdiğini ortaya koymuştur (Şekil 2). Farklı *Helichrysum* türlerinin toprak üstü kısımlarının metanol ekstraktları ile yürütülen in vitro antimikrobiyal aktivite çalışmasında, *Aeromonas hydrophila* ATCC 7965, *Bacillus brevis* FMC 3, *Bacillus cereus* RSKK 863, *Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Klebsiella pneumoniae* FMC 5, *Morganella morganii*, *Mycobacterium smegmatis* RUT, *Proteus mirabilis* BC 3624, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *S. aureus* ATCC 25923, *Yersinia enterocolitica* ATCC 1501, *Candida albicans* ATCC 1223 ve *Saccharomyces cerevisiae* BC 5461 mikroorganizma türlerine karşı *H. arenarium* subsp. *aucheri* ekstraktının geniş antimikrobiyal etki gösterdiği bildirilmiştir (Albayrak vd., 2010a).



Şekil 2. Ölmez çiçek bitkisinin hasat edilmiş çiçekleri (Anonim, 2025b)

Klinik izolatlar ve gıda kontaminasyonu mikropları üzerinde *H. arenarium* uçucu yağının farklı miktarlarının (1-5 μ L) antimikrobiyal aktivitesinin araştırıldığı bir çalışmada, *Escherichia coli* ATCC 35,218, *Micrococcus luteus* ATCC 9341, *Agaricus bisporus*'tan izole edilen *Pseudomonas tolaasii*, *Salmonella enteritidis* ATCC 13,076, *Salmonella typhimurium* ATCC 13.311, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 ve *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12.228 üzerinde test etmiş ve minimum hacimde (1 μ L) yağın test edilen tüm bakteri türlerine karşı aktivite gösterdiğini sonucuna varılmıştır (Rančić vd., 2005) *H. arenarium* bitkisinin su ekstraktının bir başka ilginç uygulaması da, antimikrobiyal gümüş nanopartiküllerin (AgNPs) sentezinde, ekstraktın indirgeyici ve kaplama ajanı olarak kullanılmasıdır (Yılmaz vd., 2022).

Yapılan bir diğer çalışmada, *Helichrysum arenarium* subsp. *arenarium* metanol ekstraktının, şiddetli alt solunum yolu enfeksiyonlarından sorumlu antibiyotik dirençli bakterilerin klinik izolatlarına karşı antimikrobiyal aktivitesi araştırılmıştır. Hazırlanan ekstrakt, ampisilin dirençli *Moraxella*

catarrhalis, metisilin dirençli *Staphylococcus aureus* ve penisilin dirençli *Streptococcus pneumoniae* ve klinik izolatlarına karşı antibakteriyel aktivite göstermiştir. Ayrıca ekstraktın, penisiline dirençli *S. pneumoniae*'ye karşı siprofloksasinin antibakteriyel aktivitesini arttırdığı gösterilmiştir. Türkiye'nin iki farklı bölgesinden toplanan *H. arenarium* bitkisinin iki alt türünün antioksidan ve antimikrobiyal aktivitelerinin 15 farklı bakteri ve mantar ile incelendiği çalışmada, *Aeromonas hydrophila*, *B. brevis*, *B. cereus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *S. aureus* ATCC 29,213, türlerine karşı antimikrobiyal aktivite gösterirken, *E. coli*, *Morganella morganii*, *Proteus mirabilis*, *Mycobacterium smegmatis*, *Yersinia enterocolitica* ve *S. cerevisiae* türlerine karşı herhangi bir etki göstermediği bildirilmiştir (Albayrak vd., 2010; Albayrak vd., 2010a).

Türkiye'deki *H. arenarium* bitkilerinin antiviral etkilerinin ilk defa çalışıldığı bir araştırmada, sulu ve %80 etanol ekstraktlarının insanlar için önemli patojenlerden olan Herpes simplex Tip-1 (HSV-1) ve Parainfluenza-3 (PI-3) virüslerine karşı etkili olduğu, DNA ve RNA virüslerine karşı potansiyel anti-viral etkiye sahip olduğu ve yaygın antiviral ilaçlardan olan asiklovir'den daha etkili olduğu bildirilmiştir. Aynı çalışmada, her iki ekstraktın Gram negatif patojenlere (*E. coli*, *P. aeruginosa*, *P. mirabilis*, *A. baumannii*, *K. pneumoniae*) göre Gram pozitif (*S. Aureus*, *E. Faecalis*) patojenlere karşı daha etkili olduğu, *Candida albicans* ve *C. parapsilosis*'e karşı önemli antifungal aktivite gösterdiği ortaya çıkarılmıştır (Kutluk vd., 2018).

Bu çalışmalardan da açık bir şekilde anlaşıldığı üzere, *H. arenarium* preparatlarının geniş antimikrobiyal özelliği sayesinde çeşitli tedavilerde kullanılmak üzere kozmetik veya farmasötik ürünlerde kullanımının yüksek bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Ölmez çiçek bitkisinden elde edilen ticari uçucu yağlar (Anonim, 2025c; Anonim, 2025d)

2.5. Spazmolitik aktivite

H. arenarium'un spazmolitik etkisi üzerine yapılan bir çalışmada, bitkinin 3 farklı flavonoiti olan apigenin, kaempferol-3 glukozit ve naringenin-5-glukozitin sulu çözeltileri, farelere 4 mg/100 g vücut ağırlığında dozda intravenöz olarak uygulanmıştır. Pozitif kontrol olarak dekolin, deoksikolik asit, negatif kontrol olarak izotonik sodyum klorür (NaCl) kullanılmıştır. Çalışma sonucunda uygulanan tüm preparatların spazmolitik aktivite gösterdiği tespit edilmiştir. Bitkiden izole edilen 5-metoksi-7-hidroksifitalat bileşeni de spazmolitik aktivite için değerlendirilmiş fakat aktivite gözlenememiştir. Testler ayrıca, tüm flavonoitleri içeren bir alkol ekstresi ve flavonoit içermeyen bir sulu ekstre ile yürütülmüş ve tüm flavonoitleri içeren ekstrakt ile bireysel flavonoitleri içeren ekstraktların etkisi benzerlik gösterdiği bildirilmiştir (Szadowska, 1962). Ayrıca yapılan bir çalışmada, farklı hayvanlardan elde edilen düz kas ve safra keseleri üzerinde antispazmodik aktivite deneyleri yürütülmüş, apigenin ve apigenin içeren *H. arenarium*' un eter ekstraktının, ex vivo olarak düz kaslar ve safra keseleri üzerinde güçlü antispazmodik aktiviteye sahip olduğu tespit edilmiştir (Pljevljakušić vd., 2018)

2.6. Sitotoksik ve genotoksik etki

H. arenarium alt türlerinin sitogenetik etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada farklı konsantrasyonlardaki metanol ve su ekstraktları ile indüklenen insan lenfosit kültürlerindeki genotoksik etkiler değerlendirilmiştir. Üç farklı parametrenin (mikronükleus, mitotik indeks ve replikasyon indeksi) incelendiği çalışmada, *H. arenarium* subsp. *erzincanicum* mitotik ve replikasyon indekslerini azaltmasına rağmen, mikronükleus formasyonunu indüklediği, genotoksik etki gösterdiği fakat *H. arenarium* subsp. *aucheri*'nin parametreler üzerinde etki göstermeyerek genotoksik etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir (Eroğlu vd., 2010). Başka bir araştırmada, *H. arenarium* çiçeklerinin etanol ekstresi ve sitotoksik etkileri palatal mezenkimal kök hücreler ve insan servikal adenokarsinomundan türetilen epitel hücreler üzerinde değerlendirilmiştir. Ekstraktın palatal mezenkimal kök hücreler üzerinde sitotoksik etki göstermediği belirlenmiş ve vücudun normal hücreleri üzerinde herhangi bir toksik etki ortaya koymadığı tespit edilmiştir (Bratu vd., 2023).

3. KOZMETİK KULLANIM

Bratu vd. tarafından yürütülen bir çalışmada *H. arenarium* çiçeklerinin etanol ekstresinin UV ışınlarına karşı koruyucu etkisi in vitro olarak test edilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, ekstraktın özellikle UV-B ışınları olmak üzerine UV ışınlarına karşı önemli ölçüde koruma sağladığı belirlenmiş, bu sebeple kozmetik ürünlerde kullanılabileceği belirtilmiştir (Bratu vd., 2023). Bir başka çalışmada *H. arenarium* bitkisinin anti-aging (yaşlanma karşıtı) özelliği araştırılmış, çalışma sonucunda halk arasındaki geleneksel kullanımı desteklenmekte birlikte *H. arenarium* subsp. *aucheri* türlerinden elde edilen ekstratlarla oluşturulan emülgjelerin sentetik etken maddeler içeren kozmetik ürünlerin formülasyonlarında kullanılabileceği veya yerine geçebileceğini ortaya koymuştur (Şekil 4) (Ergin, 2023).



Şekil 4. Ölmez çiçek bitkisinden elde edilen çeşitli kozmetik ürünler (Anonim, 2025e; Anonim, 2025f)

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Helichrysum cinsinin anavatanının Akdeniz bölgesi ve Anadolu toprakları olması, bitkinin çok uzun yıllardır geleneksel olarak kullanıma sahip olması ve güncel bilimsel çalışmalar göz önüne alındığında, bitki hem yetiştiricilik için hem de teröpatik etkileri nedeniyle birçok alanda değerlendirilebilecek potansiyele sahiptir. Bu anlamda bitkinin içeriğinin, değerlendirme alanlarının ve yetiştiriciliğinin daha detaylı çalışılması potansiyelinin ve yeni değerlendirme alanlarının aydınlatılmasını sağlayacaktır. Bitkiden elde edilecek ürünlerin yurt içi ve yurt dışı pazarda yer alması, tarımı ve üretimine katkı sağlayacak bu sayede ülke çiftçisi ve ekonomisine katkıda bulunacaktır.

KAYNAKLAR

- Albayrak, S., Aksoy, A., Sagdic, O., and Hamzaoglu, E. (2010a). Compositions, antioxidant and antimicrobial activities of *Helichrysum* (Asteraceae) species collected from Turkey. *Food Chem.* 119, 114–122
- Albayrak, S., Aksoy, A., Sağdıç, O., & Budak, Ü. (2010). Phenolic compounds and antioxidant and antimicrobial properties of *Helichrysum* species collected from eastern Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Biology*, 34(4), 463-473.
- Anderberg, A., Baldwin, B., Bayer, R., Breitwieser, J., Jeffrey, C., Dillon, M., Funk, V., Eldenäs, P., Garcia-Jacas, N., Hind, D., 2007. *The families and genera of vascular plants. Volume VIII. Flowering plants. Eudicots. Asterales.* Springer.
- Anonim, 2025a. www.ebay.com/Vichealth Erişim Tarihi: 31.10.2025
- Anonim, 2025b. <https://grandmapharm.com> Erişim Tarihi: 31.10.2025
- Anonim, 2025c. <https://www.vitalityextracts.com> Erişim Tarihi: 31.10.2025
- Anonim, 2025d. <https://herbalterra.com> Erişim Tarihi: 31.10.2025
- Anonim, 2025e. <https://oliveslife.com> Erişim Tarihi: 31.10.2025
- Anonim, 2025f. <https://ireneforteskinicare.com> Erişim Tarihi: 31.10.2025
- Babotă, M., Mocan, A., Vlase, L., Cris, O., Ielciu, I., Gheldiu, A.-M., Cristian Vodnar, D., Cris, G., and Păltinean, R. (2018). Phytochemical Analysis, Antioxidant and Antimicrobial Activities of *Helichrysum arenarium* (L.) Moench. and *Antennaria dioica* (L.) Gaertn. Flowers. *Molecules*. 10.3390/molecules23020409
- Bratu, M., Birghila, S., Cenariu, M., Emokey, P., Popescu, A., Radu, M., and Zglimbea, L. (2023). Antioxidant Activity, UV-screen, Cytotoxic and Antitumoral Activities of a Polyphenolic Extract of *Helichrysum arenarium* (L.) Moench Flowers. *Pol J Environ Stud*. 10.15244/pjoes/157546
- Czinner, E.; Kery, A.; Hagymási, K.; Blázovics, A.; Lugasi, A.; Szoke, E.; Lemberkovics, E. Biologically active compounds of *Helichrysum arenarium* (L.) Moench. *Eur. J. Drug Metab. Pharmacokinet.* 1999, 24, 309–313. [CrossRef]

- Czinner, E., Hagymasi, K., Blazovics, A., Kery, A., Szőke, É., & Lemberkovics, E. (2000). In vitro antioxidant properties of *Helichrysum arenarium* (L.) Moench. *Journal of Ethnopharmacology*, 73(3), 437-443.
- Czinner, E.; Kusinszki, L.; Baumann, D.; Hamburger, M. Phytochemical study of phenolic compounds from *Helichrysi flos* by LC-DAD –MS. In *Natural Products in the New Millenium: Prospects and Industrial Application*; Rauter, A.P., Palma, F.B., Justino, J., Araújo, M.E., Santos, S.P.d., Eds.; Kluwer Academic Publishers: Amsterdam, The Netherlands, 2002; pp. 99–109.
- Dănăilă-Guidea, S. M., Eremia, M. C., Dinu, L. D., & Miu, D. M. (2022). *Helichrysum arenarium*: From cultivation to application. *Applied Sciences*, 12(20), 10241.
- Davis, P., Mill, R., Tan, K., 1988. *Flora of Turkey and the Easy Aeagen Islands*. X. Edinburgh University Press. Edinburgh. pp. 159–160.
- Drewes, S.E.; Van Vuuren, S.F. Antimicrobial acylphloroglucinols and dibenzylxyflavonoids from flowers of *Helichrysum gymnocomum*. *Phytochem. Lett.* 2008, 69, 1745–1794.
- EMA. Assessment Report on *Helichrysum arenarium* (L.) Moench Flos (Rapporteur: Wojciech Dymowski); European Medicines Agency:Amsterdam, The Netherlands, 2015.
- Ergin, D. (2023). *Helichrysum arenarium*, *Mentha rotundifolia* ve *Origanum majorana* Bitkilerinden Antiaging Ürün Geliştirilmesi, Optimizasyonu ve Aktivite Analizleri. Doktora Tezi Hamidiye Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, İstanbul /Türkiye.
- Eroğlu, H. E., Hamzaoğlu, E., Aksoy, A., Budak, Ü., and Albayrak, S. (2010). İnsan lenfosit kültürlerinde *Helichrysum arenarium*'un sitogenetik etkileri. *Turkish Journal of Biology*. 34, 253–259
- Eroğlu, H. E. (2018). Türkiye *Helichrysum* taksonlarının Türkçe ve diğer dillerdeki isimleri. *Avrasya Terim Dergisi*, 6(1), 26-34.
- Ionescu, D.; Spînu, S.; Or, tan, A.; Moraru, I.; Fintîneru, G.; Fierascu, R.C.; Fierascu, I.; Drugulescu, M. Evaluation of biological active compounds found in *Silybi mariani fructus*. *AgroLife Sci. J.* 2017, 6, 141–145.
- Jarzycka, A., Lewińska, A., Gancarz, R., Wilk, K., 2013. Assessment of Extracts of *Helichrysum arenarium*. *Crataegus Monogyna*. *Sambucus Nigra* in Photoprotective UVA and UVB; Photostability in Cosmetic

- Emulsions. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 128. 50–57.
- Judzentiene, A., and Butkiene, R. (2006). Chemical composition of the essential oils of wild *Helichrysum arenarium* (L.) with differently colored inflorescences from eastern Lithuania. *Journal of Essential Oil Research*. 18, 80–83
- Judžentienė, A., Charkova, T., & Misiūnas, A. (2019). Chemical composition of the essential oils from *Helichrysum arenarium* (L.) plants growing in Lithuanian forests. *Journal of Essential Oil Research*, 31(4), 305-311.
- Khristenko, L.A.; Pertsev, I.M.; Salo, D.P.; Negrash, A.K. Possible use of arenarin in medicated ophthalmological films. *Pharm. Chem. J.* 1997, 11, 995–998.
- Kılıç, M. (2022). Etnobotanik Çalışmaların Önemi Ve Sürdürülebilirliği (Ed:Rüveyde TUNÇTÜRK), Tıbbi Ve Aromatik Bitkilerin Fonksiyonel Kullanım Alanları, Ticareti Ve Sürdürülebilirliği. İksad yayınevi, Ankara.
- Kladar, N. V., Anačkov, G. T., Rat, M. M., Srđenović, B. U., Grujić, N. N., Šefer, E. I., & Božin, B. N. (2015). Biochemical characterization of *Helichrysum italicum* (Roth) G. Don subsp. *italicum* (Asteraceae) from Montenegro: Phytochemical screening, chemotaxonomy, and antioxidant properties. *Chemistry & biodiversity*, 12(3), 419-431.
- Kroeber, L. (1951). Cat's Foot, *Gnaphalium dioecum* L., *Antennaria dioeca*, *Gnaphalium arenarium*, *Helichrysum arenarium* DC. as cholagogues and cholaretics. *Pharmazie* 6, 615–617.
- Kurkina, A.; Ryzhov, V.; Avdeeva, E. Assay of isosalipurposide in raw material and drugs from the dwarf everlast (*Helichrysum arenarium*). *Pharm. Chem. J.* 2012, 46, 171–176.
- Kutluk, I., Aslan, M., Orhan, I., Özçelik, B., 2018. Antibacterial. Antifungal and Antiviral Bioactivities of Selected *Helichrysum* Species. *South African Journal of Botany*. 119. 252–257.
- Liu, X., Jing, X., and Li, G. (2019). A process to acquire essential oil by distillation concatenated liquid-liquid extraction and flavonoids by solid-liquid extraction simultaneously from *Helichrysum arenarium* (L.) Moench inflorescences under ionic liquid-microwave mediated. *Sep Purif Technol.* 209, 164–174

- Mao, Z.; Gan, C.; Zhu, J.; Ma, N.; Wu, L.; Wang, L.; Wang, X. Anti-atherosclerotic activities of flavonoids from the flowers of *Helichrysum arenarium* L. Moench through the pathway of anti-inflammation. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 2017, 27, 2812–2817
- Nohutçu L, Şelem E, Tunçtürk R, Tunçtürk M (2024a). Comparative analysis of phenolic profile and mineral constituents of *Datura stramonium* L. and *Datura innoxia* Mill. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 38(2), 237-242. <https://doi.org/10.15316/SJAFS.2024.023>
- Nohutcu L., Tuncurk M., Tuncurk R., Selem E. (2024b). Investigation of Nutrient Element Content, Physicochemical and Biochemical Properties of Evening Primrose (*Oenothera biennis* L.). *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*; 7(5): 2181-2189.
- Nohutçu, L., Tunçtürk, M., Selem, E., Tunçtürk, R., Çınar, O (2024c). Study on Nutrient Elements Content, Essential Oils Ratio and Biochemicals Composition of *Origanum rotundifolium* Boiss. and *Origanum syriacum* L.. *KSU J. Agric Nat* 27 (Suppl 1), 213-220.
- Öztürk, B. (2004). Türkiye *Helichrysum*’larının Flavonoid ve Uçucu yağ İçerikleri Açısından Karşılaştırması ve Antioksidan, Antimikrobiyal Aktivite Potansiyelleri. T.C. Ege Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Farmasötik Botanik Anabilim Dalı Programı Doktora Tezi.
- Perrini, R., Morone-Fortunato, I., Lorusso, E., Avato, P., 2009. Glands, essential oils and in vitro establishment of *Helichrysum italicum* (Roth) G. Don ssp. *microphyllum* (Willd.) Nyman. *Ind. Crops Prod.* 29, 395–403.
- Pljevljakušić, D.; Bigović, D.; Janković, T.; Šavikin, K. Sandy Everlasting (*Helichrysum arenarium* (L.) Moench): Botanical, Chemical and Biological Properties. *Front. Plant Sci.* 2018, 9, 1123.
- Rančić, A., Soković, M., Vukojević, J., Simić, A., Marin, P., Duletić-Laušević, S., & Djoković, D. (2005). Chemical composition and antimicrobial activities of essential oils of *Myrrhis odorata* (L.) Scop, *Hypericum perforatum* L and *Helichrysum arenarium* (L.) Moench. *Journal of Essential Oil Research*, 17(3), 341-345.
- Recio, M.C.; Giner, R.; Terencio, M.C.; Sanz, M.J.; Rios, J.L. Anti-inflammatory activity of *Helichrysum stoechas*. *Planta Medica* 1991, 57, A56. [CrossRef]

- Reidel, R. V. B., Cioni, P. L., Ruffoni, B., Cervelli, C., & Pistelli, L. (2017). Aroma profile and essential oil composition of *Helichrysum* species. *Natural Product Communications*, 12(9), 1934578X1701200931.
- Reidel, R., Cioni, P., Ruffoni, B., Cervelli, C., Pistelli, L., 2017a. Aroma profile and essential oil composition of *Helichrysum* species. *Natural Product Communications*, 12(9), 1507– 1512.
- Rigano, D., Formisano, C., Pagano, E., Senatore, F., Piacente, S., Masullo, M., ... & Borrelli, F. (2014). A new acetophenone derivative from flowers of *Helichrysum italicum* (Roth) Don ssp. *italicum*. *Fitoterapia*, 99, 198-203.
- Selem, E., Tunçtürk, R., Nohutcu, L., Çınar, O. and Tunçtürk, M. (2025) ‘Study on some chemical parameters and essential oil compositions in two *Origanum* species grown in Van Region, Turkey’, *Journal of Elementology*, 30(3), 513-525
- Shikov, A. N., Pozharitskaya, O. N., Makarov, V. G., Wagner, H., Verpoorte, R., and Heinrich, M. (2014). Medicinal plants of the Russian Pharmacopoeia; their history and applications. *J. Ethnopharmacol.* 154, 481–536.
- Sokolov, S.Y. *Phytotherapy and Phytopharmacology: The Manual for Doctors*; Medical News Agency: Moscow, Russia, 2000.
- Szadowska, A. (1962). Pharmacology of galenic preparations and flavonoids from *Helichrysum arenarium*. *Acta Pol. Pharm.* 19, 465–479.
- Şenol, S., Secmen, Ö., Öztürk, B., Galbany-Casals, M., 2011. *Helichrysum uncapitatum* (Asteraceae), a new species from Turkey. In *Annales Botanici Fennici* (Vol. 48, No. 2, pp. 145-154). Finnish Zoological and Botanical Publishing Board.
- Tıgılı Kaytanlıoğlu, E. H., Özderin, S., Fakir, H., and Gümüşay, E. (2021). Determination of Volatile Components of *Helichrysum arenarium* subsp. *aucherii* Naturally Distributed in Two Different Regions. *European Journal of Science and Technology*. 10.31590/ejosat.887605
- Tunçtürk M, Şelem E, Nohutçu L, Tunçtürk R, Toprak T. (2022a). Türkiye Forasında Doğal Olarak Yetişen *Salvia* Türlerinin Ticari Önemi, Yayılış Alanları İle Endemik Olanların İucn Risk Kategorileri, (Ed:Rüveyde TUNÇTÜRK), Tıbbi Ve Aromatik Bitkilerin Fonksiyonel Kullanım Alanları, Ticareti Ve Sürdürülebilirliği. İksad yayınevi, Ankara.

- Tunçtürk R., Toprak T., Nohutçu L, Tunçtürk M, Şelem E. (2022b). Türkiye Florasında Doğal Olarak Yetişen Ve Kekik Olarak Adlandırılan Bazı Önemli Türler Ve Özellikleri, (Ed:Rüveyde Tunçtürk), Tıbbi Ve Aromatik Bitkilerin Fonksiyonel Kullanım Alanları, Ticareti Ve Sürdürülebilirliği. İksad yayınevi, Ankara.
- Tuncurk R., Yolcu, M.S., Tuncurk, M., Selem, E., Nohutcu, L. (2024a). Investigation of The Biochemical Content of Some Plant Microgreens from The *Asteraceae* Family. *Yüzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 34(4): 621-628. DOI: <https://doi.org/10.29133/yyutbd.1480059>
- Tunçtürk, R., Yolcu, M.S., Tunçtürk, M., Nohutçu, L. & Şelem, E. (2024b). Bazı *Salvia* L. Türlerine Ait Mikroyeşillerin Biyokimyasal ve Besin Elementi İçeriklerinin Araştırılması. *Akademik Ziraat Dergisi*, 13(1), 149-158.
- Wagner, H. (1993). Pharmazeutische Biologie, Drogen und ihre Inhaltsstoffe. Stuttgart; NewYork, NY: Gustav Fischer Verlag
- WHO (2015). WHO Monographs on Medicinal Plants Commonly Used in the Newly Independent States (NIS). Geneva: World Health Organization.
- Wichtl, M. Herbal Medicines and Phytopharmaceuticals, 2nd ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2001.
- Yang, Y., Huang, Y., Gu, D., Yili, A., Sabir, G., and Aisa, H. A. (2009). Separation and purification of three flavonoids from *Helichrysum arenarium* (L.) Moench by HSCCC. *Chromatographia*. 69, 963–967
- Yang, J., Qi, Y., Li, H., Jiang, M., Zhu, Y., Xue, R., Yu, L., Chen, W., and Bo Han (2021). Determination of Quinic Acids in *Helichrysum arenarium* (L.) Moench by Ultrafiltration Affinity and Ultra-High-Performance Liquid Chromatography Coupled with Quadrupole-Time-of-Flight Mass Spectrometry (UF-UPLC-Q-TOF-MS). *Anal Lett.* 54, 772–789
- Yilmaz, M.T.; İspirli, H.; Taylan, O.; Balubaid, M.; Dertli, E. Facile biomimetic synthesis of AgNPs using aqueous extract of *Helichrysum arenarium*: Characterization and antimicrobial activity. *Inorg. Nano-Met. Chem.* 2022, 52, 1–12

BÖLÜM 13

TARIM ÜRÜNLERİNİN İTHALATINDA GÜMRÜK VERGİLERİNİN ROLÜ

Y.L. Öğrencisi Kübra ÇAĞLAYAN¹

Prof. Dr. Murat TUNÇTÜRK²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17638974>

¹Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Van , Türkiye.
k.caglayan2@ticaret.gov.tr , Orcid ID: 0009-0007-7480-6532

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Van,
Türkiye. murattuncturk@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-7995-0599

GİRİŞ

Gümrük vergileri, ülkelerin ekonomik politikalarında tarih boyunca önemli bir araç olmuştur. Özellikle tarım sektörü açısından değerlendirildiğinde, bu vergiler yalnızca gelir sağlama amacıyla değil, aynı zamanda stratejik bir koruma mekanizması olarak da kullanılmaktadır (Altıntaş, 2021). Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde tarım, istihdamın büyük bir kısmını oluşturmaya devam etmektedir. Bu nedenle ithalat politikalarının tarım sektörüne etkisi doğrudan kırsal kalkınmayı, üretici refahını ve tüketici fiyatlarını şekillendirmektedir (Furat, 2013).

FAO (2025) verilerine göre, 2010–2023 yılları arasında küresel tarım ürünleri ticareti %70 oranında artmış, bu artış uluslararası ticarete tarımın önemini bir kez daha ortaya koymuştur (Anonim, 2025a). Dünya Ticaret Örgütü (DTÖ) tarafından yürütülen reformlar, özellikle 1995 yılında yürürlüğe giren Tarım Anlaşması ile tarımsal desteklerin ve ticaret kısıtlamalarının yeniden düzenlenmesini zorunlu kılmıştır (Anonim, 1995). Türkiye, 1995'ten itibaren DTÖ üyesi olarak bu süreçlere dâhil olmuş ve ithalat rejimini söz konusu uluslararası kurallar çerçevesinde şekillendirmiştir (Anonim, 2023a).

Küreselleşme ile birlikte tarım ürünlerinin uluslararası ticareti giderek artmaktadır. Artan nüfus, değişen tüketim alışkanlıkları ve iklim değişikliğinin yarattığı belirsizlikler, ülkeleri gıda güvenliği açısından daha hassas hale getirmektedir (Türkeş, 2020). Nitekim gıda güvenliği yalnızca arz güvenliğini değil, aynı zamanda fiyat istikrarını ve tüketicilerin gıdaya erişimini de kapsamaktadır (Türker, Berk ve Öztürk, 2022). Bu bağlamda, tarım ürünleri ithalatı birçok ülke için vazgeçilmez hale gelmiştir. Ancak ithalatın düzenlenmesi ve yerli üreticilerin korunması amacıyla gümrük vergileri önemli bir politika aracı olarak öne çıkmaktadır (Gençosmanoğlu, 2015).

Gümrük vergilerinin işlevi yalnızca ekonomik düzeyde sınırlı değildir. Yerli üretimi destekleyerek çiftçilerin rekabet gücünü artırmakta, kırsal kesimde gelir dağılımını etkilemekte ve dışa bağımlılığı azaltarak stratejik bir güvence işlevi görmektedir (Altıntaş, 2021). Ayrıca, bazı durumlarda tarım ürünlerine uygulanan yüksek gümrük vergileri, ithalatı caydırarak iç piyasada üretim fazlasını dengeleme amacı da taşımaktadır. Bununla birlikte, aşırı korumacı politikalar tüketici refahını olumsuz etkileyebilir ve enflasyonist baskıları artırabilir (Gençosmanoğlu, 2015).

Avrupa Birliği Ortak Tarım Politikası (CAP) örneğinde olduğu gibi, tarımda uygulanan gümrük vergileri ve tarife dışı engeller hem üretici hem de tüketici üzerinde doğrudan etkiler yaratmaktadır. Türkiye, AB ile Gümrük Birliği içinde olmasına rağmen, tarım ürünlerinde tam uyum sağlamamış ve bu nedenle tarımsal ürünlerde gümrük vergilerini esnek bir koruma aracı olarak kullanmaya devam etmiştir (Keskin, 2014).

Sonuç olarak, gümrük vergileri yalnızca devletin mali gelirlerini arttıran bir unsur değil; aynı zamanda tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini destekleyen, kırsal kalkınmayı şekillendiren ve uluslararası ticarete rekabet dengesini düzenleyen çok boyutlu bir politika aracıdır. Bu bölümde, tarım ürünleri ithalatında gümrük vergilerinin rolü ekonomik, sosyal ve politik boyutlarıyla kapsamlı biçimde ele alınacaktır.

1. TARIM ÜRÜNLERİNİN İTHALATI

Tarım ürünlerinin ithalatı, başka ülkelerde üretilen ürünlerin yerel piyasaya kazandırılması sürecidir. Yerel üretimin yetersiz kaldığı durumlarda veya ürün çeşitliliğini arttırmak amacıyla ithalat önemli bir araç haline gelmektedir. Özellikle gıda güvenliği, arz istikrarı ve tüketici taleplerine cevap verme açısından ithalat stratejik bir rol üstlenmektedir (Yavuz, 2024).

Türkiye’de tarım ürünleri ithalatı, genellikle hububat, yağlı tohumlar, bakliyat, meyve-sebze, et ve süt ürünleri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Özellikle buğday ve yağlı tohumlar (soya, ayçiçeği, kanola gibi) Türkiye’nin dış ticaretinde en fazla ithal edilen tarımsal ürünlerdir (Yıldırım, 2024a). 2024 yılında Türkiye’nin tarım ithalatında genel bir artış gözlenmiş, bazı piyasa analizlerine göre yağlı tohumlarda dışa bağımlılık sürmektedir (Anonim, 2024a). Ayrıca Türkiye’nin tarımsal ithalatında süt ve süt ürünleri, kırmızı et ve bazı meyve-sebzeler de yer almakta, bu ürünlerdeki ithalat özellikle iç talebin yüksek olduğu dönemlerde artış göstermektedir (Anonim, 2025 b). Bununla birlikte, gıda işleme sanayisinin ihtiyaç duyduğu ham maddelerin tedarik edilmesi de ithalatı zorunlu kılmaktadır (Anonim, 2024b).

Uluslararası ticaret verilerine göre, Türkiye’nin toplam tarım ithalat hacmi son yıllarda artış eğilimindedir. 2022’de tarımsal ithalat yaklaşık 17 milyar dolar iken, 2023’te bu rakam 20 milyar dolara, 2024’te ise 22 milyar dolar seviyesine yükselmiştir (Anonim, 2023b). Bu durum, yerli üretimin bazı

ürünlerde talebi karşılamada yetersiz kaldığını ve ithalatın arz güvenliği açısından kritik bir rol üstlendiğini göstermektedir.

Öte yandan, ithalat politikaları sadece ekonomik değil, aynı zamanda sosyal ve politik boyutlarıyla da değerlendirilmelidir. Çünkü yüksek ithalat bağımlılığı hem üretici gelirlerini hem de ülkenin dış ticaret dengelerini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle, ülkeler genellikle bir yandan ithalatı sürdürürken diğer yandan yerel üretimi teşvik edecek politikalar geliştirmektedir (Alkın, 2024). Sonuç olarak, tarım ürünleri ithalatı hem Türkiye’de hem de dünyada tarımsal arz güvenliği, gıda çeşitliliği ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından vazgeçilmez bir unsur olmaya devam etmektedir.

1.1. Arz Güvencesi ve Tüketici Talepler

Yerel üretimde mevsimsel dalgalanmalar, iklim koşulları veya doğal afetler nedeniyle oluşan arz açığı, ithalat yoluyla dengelenmektedir. Ayrıca ithalat, tüketicilere farklı ürün çeşitliliği sunarak beslenme kalıplarındaki değişime yanıt vermektedir (Deniz ve Hiç, 2022). Gelir seviyesinin artmasıyla et, süt ve bitkisel yağ tüketiminde yükseliş yaşanmakta, bu da ithalat talebini artırmaktadır (Duru, 2024).

1.2. Küresel Tarım Ticareti Eğilimleri

Dünya tarım üretimi 1960’lardan bu yana önemli ölçüde artmış, ancak nüfus artışı ve değişen tüketim alışkanlıkları nedeniyle tarımsal ürün ticaretine olan ihtiyaç daha da yükselmiştir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde gıda ithalatı hızla artmaktadır (Çaşkurlu, 2013).

1.3. Türkiye Örneği

Türkiye’nin tarım ürünleri ithalatı, özellikle temel gıda maddeleri ve ham maddeler üzerinden yoğunlaşmaktadır. Ticaret Bakanlığı’nın raporlarına göre 2022 yılında ekmeklik buğday ve ham ayçiçeği yağı başlıca ithalat kalemleri olmuştur (Anonim, 2022a). Ayrıca 2023 yılında ithalatın en büyük payını buğday almış, bunu soya ve mısır izlemiştir (Anonim, 2024c).

Türkiye’de 2024 yılında soya ithalatı %30 artışla 3.8 milyon tona, mısır ithalatı ise 4.5 milyon tona ulaşarak rekor kırmıştır (Kutlu, 2025). Bununla

birlikte, özellikle hayvan yemi ithalatı tarımsal dış ticarete önemli bir yer tutmaktadır (Ağır, Ekinci ve Çelik, 2025).

Organik ürün ithalatı da Türkiye'nin tarım politikalarında takip edilen ayrı bir başlıktır ve Tarım ve Orman Bakanlığı bu alanda resmi veriler yayımlamaktadır (Anonim, 2025c).

Tablo 1. 2022-2025 yılları arası fasıllar

Sıra	Fasıl	Fasıl Adı (Türkçe)	2022	2023	2024	2025
1	12	Yağlı tohum ve meyveler	3.306.097	2.990.012	2.751.012	2.367.523
2	10	Hububat	5.368.586	5.075.797	2.712.448	1.753.175
3	23	Gıda sanayii kalıntı ve döküntüleri, hayvan yemi	2.468.538	2.662.259	2.683.949	1.627.640
4	15	Hayvansal/bitkisel yağlar	4.104.938	3.215.509	2.876.923	2.102.977
5	8	Yenilen meyveler ve sert kabuklu meyveler	1.074.380	1.264.136	1.447.253	1.409.554
6	9	Kahve, çay, baharat	530.759	621.020	660.083	719.252
7	7	Yenilen sebzeler	932.310	1.266.411	1.094.979	657.628
8	18	Kakao ve kakao müstahzarları	648.038	854.665	1.426.080	1.746.648
9	4	Süt ürünleri	134.714	171.690	151.131	93.768
10	2	Etler ve yenilen sakatat	140.580	358.425	626.284	383.538

Kaynak: TÜİK

2022–2025 dönemine ait tarım ürünleri ithalat verileri incelendiğinde, bazı belirgin eğilimler ve dikkat çekici kalemler öne çıkmaktadır. Bu dönemde en yüksek ithalat kalemleri arasında yağlı tohumlar (fasıl 12) ve hububat (fasıl 10) yer almakta olup, her yıl ilk iki sırada konumlanmışlardır. Bu ürünler, Türkiye'nin tarımsal ithalatında temel girdiler olarak öne çıkmaktadır.

Hayvan yemi (fasıl 23) ve bitkisel yağlar (fasıl 15) da yüksek ithalat değerleriyle dikkat çekmektedir. Özellikle hayvan yemi, gıda sanayii kalıntı ve döküntüleri kapsamında değerlendirildiğinde, hayvancılık sektörünün dışa

bağımlılığını göstermektedir. Bitkisel yağlar ise hem gıda hem de sanayi kullanımında önemli bir yer tutmaktadır.

Kakao ve kakao müstahzarları (fasıl 18) ithalatında ise istikrarlı bir artış gözlemlenmiştir. 2022'den 2025'e kadar her yıl yükselen değerler, bu ürün grubuna olan talebin arttığını göstermektedir. Benzer şekilde, kahve, çay ve baharat (fasıl 9) ithalatı da artış eğilimindedir. Bu ürünler, tüketici alışkanlıklarındaki değişim ve artan iç tüketimle ilişkilendirilebilir.

Öte yandan, bazı ürün gruplarında belirgin bir düşüş eğilimi söz konusudur. Hububat ve yağlı tohum ithalatı, 2022 yılına kıyasla 2025'te önemli ölçüde azalmıştır. Bu durum, yerli üretimdeki artış, stok politikaları veya dış ticaret stratejilerindeki değişikliklerle açıklanabilir. Ayrıca, sebzeler (fasıl 7) ve süt ürünleri (fasıl 4) ithalatında da düşüş gözlemlenmektedir. Bu kalemlerdeki azalma, iç üretimin güçlenmesi ya da ithalatın yerli ürünlerle ikame edilmesiyle ilgili olabilir.

Genel olarak, 2022 yılında yüksek seviyelerde seyreden tarımsal ithalatın, 2025'e doğru bazı kalemlerde azaldığı, bazı kalemlerde ise artış gösterdiği görülmektedir. Bu eğilimler, Türkiye'nin tarım politikaları, tüketim alışkanlıkları ve küresel ticaret dinamikleriyle yakından ilişkilidir.

2. İTHALATA YÖN VEREN FAKTÖRLER

İthalatın artışında birçok etken bulunmaktadır. Bunlar;

İklim ve Coğrafya: Kuraklık, don, sel gibi iklim riskleri üretimi düşürmekte ve ithalat talebini artırmaktadır (Taşkın, Somuncu ve Çapar, 2022).

Maliyetler ve Teknoloji: Yüksek girdi maliyetleri ve düşük verimlilik, ithalatı ekonomik açıdan cazip hale getirmektedir (Çelik, 2020).

Döviz Kuru ve Politikalar: Döviz kuru dalgalanmaları ithalat maliyetlerini doğrudan etkilemekte, devletin gümrük vergileri ve teşvikleri ise ithalat yönünü belirlemektedir (Aslan, 2024).

Küresel Şoklar: Rusya-Ukrayna savaşı gibi krizler, özellikle buğday ve ayçiçek yağı piyasasında arz kesintilerine yol açmış, Türkiye'nin ithalat rotalarını etkilemiştir (Yıldırım, 2024b; Anonim, 2025d).

2.1. İthalatın Etkileri

İthalatın olumlu yönleri arasında arz açığını kapatması, tüketiciye fiyat istikrarı sağlaması ve ürün çeşitliliğini artırması sayılabilir. Ayrıca dış

pazarlardan teknoloji ve kalite standartlarının transferi de yerli üretime dolaylı katkı sunmaktadır (Yiğit ve Açıkalın, 2019). Buna karşılık olumsuz yönleri ise yerli üretici üzerinde rekabet baskısı yaratması, döviz bağımlılığını artırması ve gıda arzında dış şoklara karşı kırılganlığı yükseltmesidir (Ayran Cihan, 2024).

3. GÜMRÜK VERGİLERİNİN TANIMI VE İŞLEVLERİ

Gümrük vergisi, bir ülkeye ithal edilen mal veya ürünler üzerinden alınan ve ithalatçı tarafından ödenen vergidir. Tarım ürünlerinde gümrük vergisi, özellikle hububat, yağlı tohumlar, et ve süt ürünleri gibi temel gıda maddeleri üzerinden uygulanmakta ve bu ürünlerin fiyatlarını doğrudan etkilemektedir. Vergi oranları, ürünün tarife sınıflandırması, menşei ve tercihli ticaret anlaşmaları gibi unsurlara göre belirlenmektedir (Şakı ve Eryugur, 2021).

Türkiye’de gümrük vergileri, 4458 sayılı Gümrük Kanunu ve Türk Gümrük Tarife Cetveli çerçevesinde düzenlenmekte; Avrupa Birliği ile yapılan Gümrük Birliği ve serbest ticaret anlaşmaları vergi oranlarını doğrudan etkilemektedir (Gürlesel ve Alkin, 2010).

Tarım ürünlerinde açılan tarife kontenjanları otonom ve ikili anlaşmalara bağlı olarak iki türde açılabilmektedir (Anonim, 2025e).

Otonom Tarife Kontenjanı (Tek taraflı): İç piyasada dengelerin korunabilmesini ve iç piyasa fiyatlarının makul bir seviyede oluşmasını sağlamak amacıyla bazı tarım ürünlerinde, belirli bir dönem için indirimli veya %0 gümrük vergisi ile ithalat için tarife kontenjanı açılmaktadır (Anonim, 2025e).

İkili Anlaşmalar Çerçevesinde Açılan Tarife Kontenjanları: Serbest Ticaret Anlaşmalarından veya Tercihli Ticaret Anlaşmalarından kaynaklanan yükümlülüklerimiz çerçevesinde bazı tarım ve işlenmiş tarım ürünleri ithalatında sadece anlaşma imzalanan ülkeye yönelik tarife kontenjanı uygulanabilmektedir (Anonim, 2025e).

Gümrük tarifelerinin Türkiye ekonomisine hem koruyucu hem de rekabet açısından çeşitli etkileri bulunmaktadır.

3.1. İşlevleri

3.1.1. Gelir sağlama

Gümrük vergilerinin en temel işlevi, devlet bütçesine gelir yaratmaktır. Tarım ürünleri ithalatından elde edilen vergiler, kamu harcamalarına kaynak sağlamakta ve bütçe açığının azaltılmasına katkı yapmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde bu gelir kalemi önemlidir (Eşgünoğlu Bulmuş, 2022).

3.1.2. Yerli üreticiyi koruma

Tarım ürünleri ithalatında uygulanan gümrük vergileri, yerli üreticilerin uluslararası rekabetten korunmasına hizmet eder. Örneğin, Türkiye’de buğday ve şeker gibi stratejik ürünlerde uygulanan yüksek ithalat vergileri, çiftçilerin düşük fiyat baskısından korunmasını sağlar (Özay, 2015).

3.1.3. Ticaret politikası aracı olarak kullanım

Gümrük vergileri, ithalat hacmini düzenlemek amacıyla bir politika aracı olarak kullanılmaktadır. Türkiye, tarım ürünleri ithalatında bazı ürünlerde vergi oranlarını yüksek tutarak iç üretimi teşvik ederken, diğer ürünlerde (ör. yağlı tohumlar) daha düşük oranlar uygulayarak ithalatı kolaylaştırmaktadır (Yıldız, 2016).

3.1.4. Fiyat istikrarını sağlama

Tarım ürünleri fiyatlarında istikrarı korumak amacıyla gümrük vergileri önemli bir mekanizmadır. Özellikle buğday ve arpa gibi temel gıda ürünlerinde ani fiyat dalgalanmaları, ithalat vergileriyle dengelenebilmektedir (Aydın, 2022).

3.1.5. Kaynak tahsisi ve rekabeti etkileme

Tarım ürünlerinde yüksek ithalat vergileri, üreticilerin yerli üretime yönelmesini teşvik ederken, düşük vergiler ithalata bağımlılığı artırabilir. Bu durum, ülkelerin uzun vadeli tarımsal kalkınma stratejilerini doğrudan etkilemektedir (Çak ve Yavuz, 2023).

3.1.6. Dış politika aracı olm

Tarım ürünleri ithalatında gümrük vergileri, zaman zaman siyasi veya ekonomik amaçlarla kullanılmaktadır. Örneğin, belirli ülkelerden yapılan ithalata uygulanan ek vergiler hem dış politika mesajı hem de yerli üretici koruması işlevi görebilmektedir (Gençosmanoğlu, 2015).

3.1.7. Diğer işlevler

- Tarım ürünlerinin sağlık ve kalite standartlarına uygunluğunu denetleme,
- Kaçakçılığın önlenmesi,
- Dış ticaret istatistiklerinin sağlıklı biçimde toplanması (Arslan, 2021).

Türkiye’de gümrük vergileri, tarım sektörünü koruma amaçlı sıklıkla kullanılan bir politika aracıdır. Özellikle hasat dönemlerinde ithalat vergilerinin yükseltilmesi, üretici fiyatlarının baskılanmasını önlemektedir. Buna karşılık, arz açığı yaşanan dönemlerde gümrük vergilerinin sıfırlanması veya düşürülmesi yoluyla tüketici fiyatları dengelenmektedir (Anonim, 2016).

4. TARIMSAL İTHALATTA GÜMRÜK VERGİLERİNİN EKONOMİK ETKİLERİ

Gümrük vergilerinin tarımsal ürünler üzerindeki ekonomik etkileri, çok boyutlu bir yapı arz etmektedir. Bu etkiler hem mikro düzeyde üretici ve tüketici davranışlarını hem de makro düzeyde devlet bütçesini, dış ticaret dengesini ve ekonomik büyümeyi etkilemektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde gümrük vergileri, tarım sektörünün korunmasında ve kırsal kalkınmanın desteklenmesinde stratejik bir rol üstlenmektedir (Şahin, 2023).

4.1. Devlet Gelirleri ve Mali Etkiler

Gümrük vergilerinin en temel ekonomik işlevlerinden biri, devlet bütçesine doğrudan gelir sağlamasıdır. Tarım ürünleri ithalatından elde edilen vergiler, kamu maliyesinde önemli bir kaynak oluşturmakta ve bu gelirler tarımsal destekleme programlarına veya kırsal kalkınma projelerine aktarılabilir (Arslan, 2021). Dünya Bankası 2023 yılı verilerine göre, düşük ve orta gelirli ülkelerde gümrük vergilerinden elde edilen gelirler, toplam vergi gelirlerinin yaklaşık %10-15’ini oluşturmaktadır (Anonim, 2023c).

Türkiye’de de tarım ürünlerinden sağlanan gümrük gelirleri, özellikle bütçe açığının azaltılmasında tamamlayıcı bir unsur niteliği taşımaktadır (Gençosmanoğlu, 2015).

4.2. Yerli Üretici Üzerindeki Etkiler

Gümrük vergileri, ithal ürünlerin maliyetini artırarak yerli üreticilerin iç pazarda rekabet gücünü korumasını sağlamaktadır. Bu durum özellikle küçük ve orta ölçekli çiftçiler açısından önem arz etmektedir. Koruma oranı yüksek olan ürünlerde, çiftçilerin üretim motivasyonu artmakta ve yerli üretim hacmi yükselmektedir. Örneğin, Türkiye’de buğday, şeker ve süt ürünleri gibi stratejik ürünlerde uygulanan yüksek gümrük vergileri sayesinde çiftçiler dış rekabetten korunmakta, bu da kırsal kalkınmaya olumlu katkı sunmaktadır. Ancak uzun vadede aşırı korumacı politikalar, üreticilerin verimlilik artırıcı yeniliklere yönelmesini engelleyebilir (Bahçe ve Özdemir, 2025).

4.3. Tüketici Refahı ve Fiyatlar

Gümrük vergilerinin en belirgin etkilerinden biri tüketici fiyatları üzerindedir. İthal ürünlerin maliyetinin artması, iç piyasada fiyatların yükselmesine yol açabilir. Bu durum özellikle dar gelirli tüketiciler için olumsuz sonuçlar doğurmakta, gıda harcamalarının hane bütçesindeki payını artırmaktadır (Akan, 2017). Bununla birlikte, belirli ürünlerde ithalatın sınırlandırılması, yerli ürünlerin talep görmesini sağlayarak fiyat istikrarı yaratabilmektedir. Dolayısıyla, gümrük vergilerinin tüketici refahı üzerindeki etkisi ürün bazında farklılaşmakta; bazı ürünlerde tüketici aleyhine, bazı ürünlerde ise lehine sonuçlar ortaya çıkabilmektedir (Haykır Hobikoğlu, 2007).

4.4. Makroekonomik Dengeler

Tarım ürünleri ithalatı, özellikle dış ticaret açığının yüksek olduğu ülkelerde makroekonomik dengeleri doğrudan etkilemektedir. Gümrük vergileri sayesinde ithalatın kontrol altına alınması, döviz rezervlerinin korunmasına katkı sağlamaktadır. Türkiye örneğinde, hububat ve yağlı tohumlar gibi temel tarımsal ürünlerde yüksek gümrük vergilerinin uygulanması, ithalat hacmini azaltarak cari açığın sınırlandırmasına yardımcı olmaktadır. Bununla birlikte, aşırı ithalat kısıtlamaları, ihracatçı ülkelerle olan

ticari ilişkileri zedeleyebilir ve karşılıklı misillemelere yol açabilir (Karagöz, 2015).

4.5. Uluslararası Rekabet ve Ticaret Politikaları

Küresel ticaretin serbestleşmesi sürecinde, tarım ürünlerinde gümrük vergilerinin varlığı uluslararası rekabetin önemli bir boyutunu oluşturmaktadır. Avrupa Birliği'nin Ortak Tarım Politikası (CAP) çerçevesinde uyguladığı yüksek gümrük vergileri ve tarife kotaları, AB üreticilerini korurken dış ülkelerden ithalatı sınırlamaktadır (Gençosmanoğlu, 2015). Türkiye ise AB ile Gümrük Birliği üyesi olmasına rağmen tarım ürünlerinde tam entegrasyon sağlamamış, bu nedenle gümrük vergilerini ulusal çıkarlarına göre esnek biçimde kullanmaya devam etmiştir (Anonim, 2023a). DTÖ kuralları ise ülkelerin tarife dışı engelleri azaltmasını ve gümrük vergilerini şeffaf hale getirmesini zorunlu kılmaktadır (Kaya, 2017).

Tarımsal ithalatatta gümrük vergilerinin ekonomik etkileri hem üretici hem tüketici açısından farklı sonuçlar doğurmakta, makroekonomik dengelerle uluslararası ticaret politikalarını doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla, bu vergilerin oranlarının belirlenmesi yalnızca mali bir karar değil; aynı zamanda kırsal kalkınma, tüketici refahı ve dış ticaret dengesi açısından stratejik bir tercihtir (Gençosmanoğlu, 2015).

5. TARIMSAL İTHALATTA GÜMRÜK VERGİLERİNİN SOSYAL VE POLİTİK ETKİLERİ

Gümrük vergilerinin tarım ürünleri ithalatındaki rolü yalnızca ekonomik boyutla sınırlı değildir; aynı zamanda sosyal ve politik etkiler de doğurmaktadır. Bu vergiler, kırsal kalkınma, istihdam, toplumsal refah, sosyal adalet ve uluslararası ilişkiler üzerinde doğrudan veya dolaylı sonuçlar yaratmaktadır (Biçen, 2024).

5.1. Kırsal Kalkınma ve İstihdam

Tarım sektörünün birçok ülkede hâlen önemli bir istihdam alanı olması, gümrük vergilerinin sosyal yönünü öne çıkarmaktadır. Yüksek ithalat vergileri, yerli üreticileri koruyarak tarımsal üretimin devamlılığını sağlamakta, böylece kırsal bölgelerde işsizliği azaltmaktadır (Çakır, 2014). Türkiye'de uygulanan

korumacı politikalar sayesinde, özellikle buğday ve pamuk gibi stratejik ürünlerde çiftçiler üretimde kalmaya teşvik edilmektedir. Bu durum, kırsal nüfusun geçim kaynaklarını sürdürmesi ve kentlere olan göçün sınırlanması açısından kritik önem taşımaktadır (Taşçı vd., 2023).

5.2. Sosyal Adalet ve Gelir Dağılımı

Gümrük vergileri, yerli üreticilere yönelik dolaylı bir destek işlevi görmektedir. Bu destek, kırsal bölgelerde yaşayan düşük gelirli çiftçilerin ekonomik olarak ayakta kalmasına yardımcı olmaktadır. Ancak diğer taraftan, ithal ürünlerin fiyatlarını artırarak tüketiciler üzerinde ek yük yaratabilmektedir. Özellikle dar gelirli ailelerin gıda harcamaları üzerindeki bu baskı, sosyal adalet açısından tartışmalara yol açmaktadır (Şahin, 2023). Bu nedenle, sosyal etkilerin dengelenmesi için gümrük vergilerinden elde edilen gelirlerin tarımsal destekler ve sosyal yardımlar yoluyla tekrar topluma aktarılması büyük önem taşımaktadır (Bulut, 2020).

5.3. Gıda Güvenliği ve Toplumsal Refah

Gümrük vergileri, stratejik ürünlerde arz güvenliğini sağlayarak toplumun gıda güvenliğine katkıda bulunmaktadır. Yerli üretimin korunması, ithalata bağımlılığın azaltılması ve fiyat dalgalanmalarının kontrol altında tutulması, toplumsal refahı artırıcı bir etki yaratmaktadır. Ancak aşırı korumacılık, ürün çeşitliliğini sınırlayabilir ve tüketici tercihlerini kısıtlayabilir. Dolayısıyla, toplumsal refah açısından gümrük vergilerinin dengeli uygulanması gerekmektedir (Koç ve Uzmay, 2015).

5.4. Politik Karar Alma Süreçleri

Tarım sektöründe gümrük vergileri, yalnızca ekonomik bir araç değil, aynı zamanda politik bir müzakere ve güç unsuru olarak da işlev görmektedir. Çiftçi örgütleri ve tarım kooperatifleri, hükümetler üzerinde baskı oluşturarak koruma oranlarının yüksek tutulmasını talep etmektedir (Gençosmanoğlu, 2015). Bu nedenle gümrük vergileri, politik karar alma süreçlerinde hem bir pazarlık aracı hem de kırsal seçmen desteğini kazanma stratejisi olarak kullanılmaktadır. Türkiye örneğinde, seçim dönemlerinde bazı ürünlerde gümrük vergilerinin geçici olarak düşürülmesi veya yükseltilmesi sıkça görülen bir uygulamadır (Şahin, 2023).

5.5. Uluslararası İlişkiler ve Diplomasi

Gümrük vergilerinin politik etkileri, yalnızca ülke içi dinamiklerle sınırlı değildir. Uluslararası ticaret ilişkilerinde de önemli bir diplomatik araçtır. Yüksek ithalat vergileri, ihracatçı ülkelerle ticari anlaşmazlıklara yol açabilir ve misilleme riskini artırabilir. Bu nedenle, ülkeler çoğu zaman gümrük vergilerini dış politika stratejilerinin bir parçası olarak kullanmaktadır. Türkiye'nin AB ile yürüttüğü müzakereler ve DTÖ yükümlülükleri, gümrük vergilerinin siyasi boyutunu açıkça ortaya koymaktadır (Sülüngür ve Öztürk, 2022).

Gümrük vergileri, tarım ürünleri ithalatında yalnızca ekonomik düzenlemeler değil, aynı zamanda toplumsal istikrarın korunması, kırsal kalkınmanın desteklenmesi ve siyasi kararların şekillendirilmesinde de kritik bir rol oynamaktadır. Dolayısıyla, bu vergilerin belirlenmesinde sosyal ve politik etkilerin de dikkate alınması, sürdürülebilir tarım politikalarının vazgeçilmez bir parçasıdır (Çak ve Yavuz, 2023).

6. TARIM ÜRÜNLERİNİN İTHALATI

Tarım ürünleri ithalatı, ülkelerin gıda güvenliğini sağlama, tüketici talebini karşılama ve sanayi girdilerini temin etme açısından önemli bir dış ticaret faaliyetidir. Özellikle tarımda kendi kendine yeterlilik sorunu yaşayan ülkelerde ithalat, stratejik bir zorunluluk haline gelmektedir (Eştürk ve Kaya, 2023). Dünya genelinde tarım ticaretinin büyüklüğü, Dünya Ticaret Örgütü (DTÖ) verilerine göre son yirmi yılda önemli ölçüde artmış; hububat, yağlı tohumlar, bakliyat ve hayvansal ürünler dış ticarete başlıca kalemleri oluşturmuştur (Ay ve Yapar, 2005).

Türkiye açısından bakıldığında, 1980'lerden itibaren dışa açılma politikaları ve tarımda yapısal dönüşümlerle birlikte ithalatın payı giderek yükselmiştir (Öztürk ve Özyakışır, 2005). Özellikle yem hammaddeleri (soya fasulyesi, mısır), yağlı tohumlar, buğday ve bazı meyve-sebze ürünlerinde ithalat yoğunlaşmıştır. Tarım ürünleri ithalatında öne çıkan faktörler arasında küresel iklim değişikliği, verim dalgalanmaları, iç piyasadaki fiyat istikrarsızlıkları ve uluslararası ticaret anlaşmaları yer almaktadır (Dağ ve Aktaş, 2024).

7. ULUSLARARASI DÜZENLEMELER: DTÖ VE SPS ANLAŞMASI

Uluslararası tarım ticareti, yalnızca ekonomik aktörlerin kararlarına değil, aynı zamanda uluslararası hukuk düzenlemelerine de tabidir. Bu bağlamda Dünya Ticaret Örgütü (DTÖ) çerçevesinde oluşturulan anlaşmalar büyük önem taşımaktadır (Anonim, 2023a).

7.1. DTÖ Tarım Anlaşması (1995)

Uruguay Round müzakereleri sonucunda yürürlüğe giren Tarım Anlaşması, tarım ticaretinde liberalleşmeyi amaçlamaktadır. Anlaşma üç temel sütun üzerine inşa edilmiştir (Doğan, 2002; Zubko ve Tükez, 2019)

Pazar Erişimi: İthalat kotalarının gümrük vergilerine dönüştürülmesi ve tarifelerin kademeli olarak düşürülmesi.

İç Destekler: Tarımsal üreticilere sağlanan sübvansiyonların sınıflandırılması (amber, mavi, yeşil kutu) ve azaltılması.

İhracat Sübvansiyonları: İhracata yönelik devlet desteklerinin sınırlandırılması.

Türkiye, DTÖ üyesi olarak bu yükümlülükleri kabul etmiş ve tarım politikalarını bu çerçevede uyarlamak durumunda kalmıştır. Ancak, tarımın stratejik önemi nedeniyle birçok ürün için yüksek gümrük vergileri korunmaya devam edilmektedir (Ay ve Yapar, 2005).

7.2. SPS Anlaşması (Sanitary and Phytosanitary Measures)

SPS Anlaşması, gıda güvenliği, hayvan sağlığı ve bitki sağlığına yönelik uluslararası düzenlemeleri kapsar. Bu anlaşma, ithalatı engellemek için kullanılan bilimsel temele dayanmayan teknik engelleri sınırlandırmayı hedefler. Ülkeler, sadece “bilimsel kanıtlara dayalı” olarak ithalat kısıtlamaları getirebilir (Başkent, 2007).

Türkiye, SPS Anlaşması çerçevesinde ithalat denetimlerini ulusal mevzuatına uyarlamıştır. Özellikle Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından yürütülen bitki sağlığı sertifikaları, veteriner sağlık sertifikaları ve gıda güvenliği testleri SPS düzenlemeleriyle uyumlu olarak uygulanmaktadır. Böylece hem tüketici sağlığı korunmakta hem de uluslararası ticarete uyum sağlanmaktadır (Anonim, 2024d).

Tarım ürünleri ithalatı, gümrük vergileri ve uluslararası düzenlemeler birlikte değerlendirildiğinde, ülkelerin yalnızca ekonomik değil aynı zamanda stratejik, sosyal ve sağlık temelli politikaları hayata geçirdiği görülmektedir (Ay ve Yapar, 2005). Gümrük vergileri kısa vadede üretici ve tüketici dengesini korurken, DTÖ ve SPS Anlaşması gibi düzenlemeler uzun vadede küresel ticarete şeffaflığı, rekabetçiliği ve sürdürülebilirliği teşvik etmektedir (Anonim, 2021). Türkiye'nin bu süreçte temel yaklaşımı, yerli üreticiyi koruma ve gıda güvenliğini sağlama amacıyla uluslararası yükümlülükler ve ulusal öncelikler arasında denge kurmak olmuştur (Koç ve Uzman, 2015).

SPS önlemleri:

Gıda güvenilirliğinin sağlanması amaçlı önlemler,

Hastalık ve zararlılara karşı insan, hayvan ve bitkilerin korunması amaçlı önlemler,

İnsan yaşamı ve sağlığının korunması amaçlı önlemler,

Hayvan veya bitki yaşamının veya sağlığının korunması amaçlı önlemler,

Üye ülke topraklarının hastalık ve zararlıların girişi, yerleşmesi ve yayılımına karşı korunması amaçlı önlemler. (Şahin, 2014)

7.2.1. SPS Anlaşması'nın temel unsurları

Bilimsel Dayanak: SPS önlemleri, bilimsel verilere dayanmalı ve keyfi uygulamalardan kaçınılmalıdır.

Uyumlaştırma: Üye ülkeler, uluslararası standartlara uygun önlemler geliştirmelidir.

Eşdeğerlik: Farklı ülkelerin önlemleri, aynı koruma düzeyini sağlıyorsa eşdeğer kabul edilebilir.

Şeffaflık: Üye ülkeler, SPS önlemleri hakkında diğer üyelere bilgi vermekle yükümlüdür.

Risk Değerlendirmesi: SPS önlemleri, risklerin bilimsel olarak değerlendirilmesine dayanmalıdır (Özgül, 2014).

8. TARIM SEKTÖRÜNÜN TÜRKİYE VE DÜNYA EKONOMİSİNDEKİ YERİ

Tarım sektörünün, GSYH içindeki payı yıllar içinde azalmasına rağmen, reel üretimde istikrarlı bir artış görülmüştür (Merdan, 2024). 1980'de milli

gelirden %25,8 pay alan tarım, ihracata yönelik politikalarla bu payını hızla kaybetmiş ve 2022'de GSYH'ye katkısı %4,8 olmuştur. Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre, 2022'de tarım sektörünün GSYH içindeki payı %4,8 olmuştur. Sektör aynı yıl %0,6 büyüyerek genel ekonomik büyüme olan %5,4'e sınırlı bir katkı sağlamıştır (Anonim, 2023b).

9. KÜRESEL TARIM İTHALATI

2022'de, tarife cetvelinin 1-24. fasıllarındaki tarım ürünleri ithalatı 23,2 milyar dolar olmuştur. Fasıllara göre ithalatın %14,2'sini yağlı tohumlar, %23,1'ini hububat, %10,6'sını hayvan yemleri, %17,7'sini bitkisel ve hayvansal yağlar, %4,6'sını ise meyve ve sebzeler oluşturmaktadır (Anonim, 2023b).

Tarım ürünleri ithalatı, toplam ithalatın (%6,4) küçük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu ithalatın %25'i (5,7 milyar dolar) ihracatı desteklemek amacıyla Dâhilde İşleme Rejimi (DİR) kapsamında yapılmıştır. 2020'de DİR kapsamındaki hububat ithalatında düşüş yaşanırken, 2022'de DİR ile en çok ithal edilen tarım ürünleri ekmeklik buğday (2 milyar dolar), ham ayçiçeği yağı (948 milyon dolar), kırmızı mercimek (413 milyon dolar), mısır (210 milyon dolar), palm yağı (249 milyon dolar) ve yaprak tütün (149 milyon dolar) olmuştur (Anonim, 2022b).

10. TARIM ÜRÜNLERİNE UYGULANAN GÜMRÜK VERGİLERİ

Tarım ürünleri, stratejik öneme sahip olmaları nedeniyle birçok ülkede yüksek gümrük vergilerine tabi tutulmaktadır. Bu uygulama, yerli üreticilerin korunması, kırsal kalkınmanın desteklenmesi ve gıda güvenliğinin sağlanması gibi amaçlara hizmet etmektedir. Türkiye'de uygulanan gümrük vergileri, ürün bazında farklılık göstermekte ve dönemsel olarak arz-talep dengelerine göre değiştirilebilmektedir (Alkan, 2025).

Örneğin, Türkiye'de buğday, arpa ve mısır gibi temel tahıllarda yüksek gümrük vergileri uygulanırken, hasat dönemleri dışında tüketici fiyatlarını dengelemek amacıyla vergiler düşürülebilmekte veya sıfırlanabilmektedir (Yıldırım, 2017). Benzer şekilde, ayçiçeği yağı, şeker ve kırmızı et gibi ürünlerde yüksek ithalat tarifeleri, yerli üreticilerin rekabet gücünü artırmayı amaçlamaktadır (Anonim, 2025f).

Uluslararası düzeyde ise DTÖ Tarım Anlaşması ülkelerin aşırı korumacı tarife politikalarını sınırlamış olsa da gelişmekte olan ülkeler için “özel koruma önlemleri” adı altında tarımsal ürünlerde yüksek gümrük vergileri uygulamasına izin verilmiştir. Bu esneklik, Türkiye gibi ülkelerin tarım sektörünü stratejik olarak koruma imkânı tanımaktadır (Ay ve Yapar, 2005).

Tarım ürünlerinde gümrük vergileri farklı türlerde uygulanabilmektedir:

- **Ad Valorem Vergisi:** Ürün değerinin yüzdesi üzerinden alınan vergi.
- **Spesifik Vergi:** Ürün miktarı üzerinden sabit alınan vergi.
- **Bileşik Vergi:** Ad valorem ve spesifik verginin birleşimi.

Bu vergiler, yerli üretimi korumanın yanında dumping karşıtı önlemler olarak da kullanılabilmektedir (Özcivan, 2025).

10.1. Gümrük Vergilerinin Amaçları

Gümrük vergileri tarım ürünlerini koruma ve düzenleme amacıyla kullanılır (Özcivan, 2025):

Koruma Amaçlı Vergiler: Yüksek gümrük vergileriyle ithal ürünlerin maliyeti artırılarak yerli üreticiler rekabetten korunur ve yerel üretim desteklenir.

Damping Karşıtı Vergiler: İthal ürünlerin yerli üreticilere zarar verecek şekilde düşük fiyatlarla satılmasını engeller, yerli üreticilerin zarar görmesini önler.

10.2. Gümrük Vergilerinin Avantajları ve Dezavantajları

10.2.1. Avantajlar

Gümrük vergilerinin avantajları ve dezavantajları yalnızca ekonomik yönüyle değil, sosyal ve politik boyutlarıyla da değerlendirilmektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkeler için gümrük vergileri, tarım sektörünün sürdürülebilirliği ve gıda güvenliğinin sağlanması açısından kritik öneme sahiptir. Bununla birlikte, tüketici refahı üzerindeki olumsuz etkiler ve ticaret ortaklarıyla yaşanabilecek gerilimler dikkate alınması gereken diğer boyutlardır (Özcivan, 2025).

Yerli Üreticiyi Koruma: Gümrük vergileri, ithal ürünlerin fiyatlarını yükselterek yerli üreticilerin rekabet gücünü artırır (Ali, 2025).

Devlet Geliri Sağlama: İthalat üzerinden alınan vergiler, kamu bütçesine önemli katkılar sunar. Türkiye’de ithalat vergilerinin toplam vergi gelirleri içindeki payı %5-7 arasında değişmektedir (Arıdur, 2025).

İstihdamı Destekleme: Tarım sektöründe üretimin devamlılığını sağlayarak kırsal istihdamı korur (Bayraktar, 2024).

Gıda Güvenliği ve Arz Güvenliği: Stratejik ürünlerde dışa bağımlılığı azaltarak gıda güvenliğini güçlendirir (Turan, 2025).

Dış Ticaret Açığını Azaltma: İthalatın sınırlanması yoluyla dış ticaret dengesine katkı sağlar (Turan ve Umarusman, 2025).

FAO Gıda Fiyat Endeksi, 2025 yılı Ağustos ayında 130,1 puana ulaşarak bir önceki yıla göre %6,9 oranında artmıştır. Bu tür küresel fiyat dalgalanmaları, ithalatçı ülkelerde gümrük vergilerinin tüketici fiyatlarına etkisinin ne denli önemli olduğunu ortaya koymaktadır (Anonim, 2025g).

10.2.2. Dezavantajları

Tüketici Fiyatlarını Artırma: Gümrük vergileri ithalat maliyetlerini arttırarak özellikle düşük gelirli tüketicileri olumsuz etkiler (Hacıköylü, 2014).

Enflasyon Baskısı: Temel gıda ürünlerinde yüksek vergiler, fiyat artışlarının enflasyona yansımaya yol açabilir (Eştürk ve Albayrak, 2018).

Verimlilik ve Rekabet Sorunları: Uzun süreli korumacılık, yerli üreticilerin verimlilik artırma ve uluslararası rekabet gücü kazanma motivasyonunu zayıflatır (Gürpınar ve Sandıkçı, 2008).

Kaçakçılık ve Kayıt Dışı Ticaret: Yüksek gümrük vergileri, sınır bölgelerinde kayıt dışı ticareti ve kaçakçılığı teşvik edebilir (Babat, 2017).

Uluslararası Baskılar: DTÖ kuralları ve bölgesel ticaret anlaşmaları, ülkelerin aşırı gümrük vergileri uygulamasını sınırlandırmaktadır. Bu da politika esnekliğini azaltmaktadır (Anonim, 2023a).

Tarım ürünlerine uygulanan gümrük vergileri, yerli üreticinin korunması ve devlet gelirlerinin artırılması açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Ancak, tüketici refahını olumsuz etkilemesi, enflasyonist baskılar yaratması ve uluslararası rekabeti sınırlaması gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Bu nedenle, gümrük vergilerinin dengeli ve stratejik biçimde kullanılması hem üretici hem de tüketici refahını gözeterek sürdürülebilir politikaların temelini oluşturur (Gençosmanoğlu, 2015).

10.3. Türkiye Örneği

DTÖ verilerine göre, Türkiye'nin tarım ürünleri için bağlayıcı (final bound) tarife oranı %61,8 iken, tüm ürünler için bu oran %28,9'dur. 2023 yılında Türkiye'nin toplam ithalatı yaklaşık 361,9 milyar USD olmuş, tarım ürünleri ithalatı ise 25,7 milyar USD seviyesinde gerçekleşmiştir. Bu oran, tarım ürünlerinin ithalatta önemli bir yer tuttuğunu göstermektedir (Sarı, 2023).

Türkiye'de tarım ürünleri ithalatına ilişkin gümrük vergileri stratejik ürünler bazında farklılık göstermektedir. Örneğin, bazı tahıllara yüksek oranlı vergiler uygulanırken, yağlı tohumlarda daha düşük oranlar tercih edilebilmektedir. Dahilde İşleme Rejimi kapsamında yapılan ithalat da Türkiye'nin dış ticaret dengesinde önemli bir rol oynamaktadır (Anonim, 2025i).

11. DEĞERLENDİRME

Türkiye'nin tarım ürünleri ithalatında gümrük vergileri, yalnızca mali bir düzenleme aracı değil; aynı zamanda üretim stratejilerini yönlendiren, kırsal kalkınmayı şekillendiren ve uluslararası ticaret ilişkilerini etkileyen çok boyutlu bir politika mekanizmasıdır. Bu vergiler, yerli üreticiyi koruma amacıyla uygulansa da tüketici refahı, fiyat istikrarı ve dış ticaret dengesi açısından karmaşık sonuçlar doğurabilmektedir.

2020 sonrası dönemde iklim değişikliği, kuraklık ve küresel tedarik zincirlerindeki kırılganlıklar, gümrük vergilerinin tek başına yeterli bir koruma aracı olmadığını ortaya koymuştur. Bu bağlamda, destekleme politikaları, teknoloji yatırımları ve uluslararası iş birlikleri gibi tamamlayıcı mekanizmaların önemi artmıştır. Özellikle buğday, yağlı tohumlar ve yem hammaddeleri gibi stratejik ürünlerde süregelen ithalat bağımlılığı, Türkiye'nin dış ticaret açığını ve fiyat istikrarını doğrudan etkilemektedir.

Gümrük vergilerinin işlevselliği, yalnızca oranların yüksekliğiyle değil; uygulama zamanlaması, ürün bazlı esneklik ve uluslararası yükümlülüklerle uyum düzeyiyle belirlenmektedir. Türkiye'nin AB ile Gümrük Birliği ilişkisi ve DTÖ kuralları, bu vergilerin tasarımı hem fırsatlar hem de sınırlamalar yaratmaktadır. Aşırı korumacı yaklaşımlar ise uzun vadede verimlilik kaybına, tüketici refahında gerilemeye ve uluslararası ticaret ilişkilerinde gerileme yol açabilir.

12. SONUÇ

Tarım ürünleri ithalatında gümrük vergileri, ekonomik rasyonalite ile sosyal sorumluluk arasında hassas bir denge gerektiren bir politika aracıdır. Türkiye'nin bu alandaki uygulamaları, küresel ticaret normları ile ulusal tarım politikaları arasında denge kurma çabasını yansıtmaktadır. Bu vergiler, devlet bütçesine gelir sağlama, yerli üreticiyi koruma, ithalat hacmini düzenleme ve dış politika aracı olarak kullanma gibi çok yönlü işlevler üstlenmektedir.

Ancak bu işlevlerin etkinliği, şeffaflık, veri temelli karar alma süreçleri ve uluslararası normlara uyumla doğrudan ilişkilidir. Gelecekte iklim değişikliği, küresel arz şokları ve jeopolitik gelişmelerin etkisiyle bu dengenin daha da karmaşık hale gelmesi muhtemeldir. Dolayısıyla gümrük vergilerinin değerlendirilmesi, yalnızca kısa vadeli ekonomik göstergelerle değil; aynı zamanda uzun vadeli tarımsal sürdürülebilirlik, kırsal kalkınma ve toplumsal refah hedefleriyle birlikte ele alınmalıdır.

Politika Önerileri

1. Dönemsel ve Ürün Bazlı Esneklik: Gümrük vergileri, hasat dönemlerinde üreticiyi koruyacak şekilde arttırılmalı; arz açığı yaşanan dönemlerde ise tüketici lehine esnetilmelidir. Bu yaklaşım, arz-talep dengesini gözeten dinamik bir yapı sunabilir.

2. Gelirlerin Kırsal Kalkınmaya Yönlendirilmesi: Gümrük vergilerinden elde edilen kamu gelirleri, küçük üreticilere doğrudan destek sağlayacak kırsal kalkınma projelerine aktarılmalıdır. Böylece sosyal adalet ve üretim kapasitesi birlikte güçlendirilir.

3. Verimlilik Odaklı Koruma Mekanizmaları: Koruma önlemleri, üreticileri verimlilik arttırıcı yatırımlara yönlendirecek biçimde tasarlanmalıdır. Aşırı korumacılık yerine, rekabetçi üretimi teşvik eden yapılar benimsenmelidir.

4. Uluslararası Normlara Uyum: DTÖ ve SPS Anlaşması gibi uluslararası düzenlemelere uyumlu, bilimsel temelli ve şeffaf gümrük politikaları geliştirilmelidir. Bu doğrultuda hem teknik engellerin azaltılmasına hem de ticaret ilişkilerinde güvenin tesisine katkı sağlanabilir.

5. Veri Tabanlı İzleme ve Değerlendirme: Tarım ithalatı ve gümrük vergilerinin etkileri, TÜİK ve Ticaret Bakanlığı verileriyle düzenli olarak

izlenmeli; politika tasarımı bu verilere dayandırılmalıdır. Bu sayede karar alma süreçleri daha rasyonel ve etkili hale gelebilir.

KAYNAKLAR

- Ağır, B. K., Ekinci, M. S. ve Çelik, Ş. (2025). Türkiye’de yem bitkileri üretimi ve hayvan varlığı arasındaki ilişki: Faktör analizi yaklaşımı. Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 22(1), 137–144. Erişim tarihi: 12 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/4759419>
- Akan, B. (2017). Gümrük vergilerinin dördüz açık üzerine etkisi. ECONDER International Academic Journal, 1(2), 127–141. Erişim tarihi: 3 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/556899>
- Ali, R. (2025). Gümrük tarifeleri nedir ve küresel ticareti nasıl şekillendirir? Margex Blog. Erişim tarihi: 28 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://margex.com/tr/blog/gumruk-tarifeleri-nedir-ve-kuresel-ticareti-nasil-sekillendirir>
- Alkan, U. (2015). Türkiye-Avrupa Birliği Gümrük Birliği alanına tarımsal ürünlerin dâhil edilmesinin hukuki rejimi ve muhtemel etkileri (AB Uzmanlık Tezi). T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Avrupa Birliği ve Dış İlişkiler Genel Müdürlüğü, Ankara. Erişim tarihi: 5 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://www.tarimorman.gov.tr/ABDGM/Belgeler/İDARİ%20İŞLER/Uzmanlık%20Tez%20Eylül%202015/Ufuk%20Alkan.pdf>
- Alkın, M. (2024). Geçmişten günümüze uluslararası ticaret politikalarına genel bakış. Bilge Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 8(1), 8–19. Erişim tarihi: 30 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/4049630>
- Altıntaş, H. (2021). Türkiye ve Avrupa gümrük vergilerinin yapısı: Gümrük mevzuatı kapsamında karşılaştırılması. İksad Yayınevi. Erişim tarihi: 17 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://iksadyayinevi.com/wp-content/uploads/2021/12/TURKIYE-VE-AVRUPA-GUMRUK-VERGILERININ-YAPISI-GUMRUK-MEVZUATI-KAPSAMINDA-KARSILASTIRILMASI-.pdf>
- Anonim. (1995). Agreement on Agriculture. Erişim tarihi: 19 Eylül 2025. Erişim adresi: https://www.wto.org/english/docs_e/legal_e/14-ag.pdf

- Anonim. (2016). Bazı tarım ve gıda ürünlerinin piyasa değişkenlerine yönelik öngörüler. Ankara: T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Yayınları. Erişim tarihi: 30 Ağustos 2025. Erişim adresi: https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/yayin/EKONOMİ%20DAİRESİ%20KİTAP_WEB.pdf
- Anonim. (2021). GATT Bilgilendirme Rehberi. Avrupa Birliği ve Dış İlişkiler Daire Başkanlığı. Erişim tarihi: 7 Eylül 2025. Erişim adresi: https://cdn.gib.gov.tr/api/gibportal-file/file/getFileResources?objectKey=arsiv/mevzuat/uluslararası_mevzuat/Diger_Anlasmalar/GATT_Rehberi.pdf
- Anonim. (2022a). Genel tarım sektörü raporu. Erişim tarihi: 16 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://ticaret.gov.tr/data/5b8700a513b8761450e18d81/Genel%20Tarım%20Sektörü%20Raporu.pdf>
- Anonim. (2022b). Tarım ve gıdada dış ticaret Rusya–Ukrayna savaşından nasıl etkilendi? TGDF Resmî Web Sitesi. Erişim tarihi: 17 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://www.tgdf.org.tr/tarim-ve-gidada-dis-ticaret-rusya-ukrayna-savasindan-nasil-etkilendi/>
- Anonim. (2023a). Dünya Ticaret Örgütü (DTÖ). Ankara: Ticaret Bakanlığı. Erişim tarihi: 22 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/cok-taraflı-ve-bolgesel-iliskiler/cok-taraflı-iliskiler/dunya-ticaret-orgutu-dto>
- Anonim. (2023b). Genel tarım sektörü raporu. İhracat Genel Müdürlüğü, Tarım Ürünleri Daire Başkanlığı. Erişim tarihi: 4 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://ticaret.gov.tr/data/5b8700a513b8761450e18d81/Genel%20Tarım%20Sektörü%20Raporu.pdf>
- Anonim. (2023c). Customs and other import duties (% of tax revenue) [Data set]. World Development Indicators. Erişim tarihi: 25 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://data.worldbank.org/indicator/GC.TAX.IMPT.ZS>
- Anonim. (2024a). Türkiye'nin 2024 tarım ihracatı ve teknoloji ithalatı: Sürdürülebilir tarım uygulamalarının etkisi. Erişim tarihi: 20 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://farmonaut.com/europe/turkiyenin-2024-tarim-ihracati-ve-teknoloji-ithalati-surdurulebilir-tarim-uygulamalarinin-etkisi>

- Anonim. (2024b). Türkiye Gıda Sektör Derleme Raporu. Erişim tarihi: 30 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://www.tobb.org.tr/Documents/yayinlar/2024/T%C3%BCrkiyeG%C4%B1daSekt%C3%B6rDerlemeRaporu.pdf>
- Anonim. (2024c). TGDF dış ticaret bülteni – 2023. Erişim tarihi: 20 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://www.tgdf.org.tr/tgdf-dis-ticaret-bulteni-2023>
- Anonim. (2024d). Tarım ve Orman Bakanlığının kontrolüne tâbi ürünlerin ithalat denetimi tebliği (Ürün Güvenliği ve Denetimi: 2025/5). Resmî Gazete, Sayı: 32769 (4. Mükerrer). Erişim tarihi: 26 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2024/12/20241231M4-5.htm>
- Anonim. (2025a). OECD-FAO agricultural outlook 2025–2034. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Erişim tarihi: 21 Ağustos 2025. Erişim adresi: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2025/07/oecd-fao-agricultural-outlook-2025-2034_3eb15914/601276cd-en.pdf
- Anonim. (2025b). Süt ve Et Sektörlerinde 2024 Değerlendirmeleri ve 2025 Beklentileri. Gıda Türk Dergisi, Ocak–Şubat 2025, 12–19. Erişim tarihi: 3 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://setbir.org.tr/wp-content/uploads/2025/01/gida-turk-dergisi-ocak-subat-2025.pdf>
- Anonim. (2025c). Organik tarım istatistikleri. Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü. Erişim tarihi: 18 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/Organik-Tarim/Istatistikler>
- Anonim. (2025d). Türkiye’nin Rusya’dan ayçiçek yağı ithalatında %63’lük değer artışı. Erişim tarihi: 13 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://tarimpusulasi.com/haber/turkiyenin-rusyadan-aycicek-yagi-ithalatinda-63luk-deger-artisi-43742>
- Anonim. (2025e). Tarım Ürünlerinde Açılan Tarife Kontenjanları. Erişim tarihi: 30 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://www.ticaret.gov.tr/ithalat/askiya-alma-ve-tarife-kontenjani/tarim-urunlerinde-acilan-tarife-kontenjanlari>
- Anonim. (2025f). Tarım ve imalat ürünlerinde gümrük tarifeleri: Küresel eğilimler. Erişim tarihi: 29 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://www.burganforeigntrade.com.tr/guncel/sektorlere-gore-tarifeler-tarim-imalat-ve-ham-maddeler>

- Anonim. (2025g). Gıda fiyatları endeksi – Ağustos 2025. İstanbul Ticaret Borsası. Erişim tarihi: 16 Ağustos 2025. Erişim adresi: https://www.istib.org.tr/resim/siteici/files/913_FAO%20Gıda%20Fiyatları%20Endeksi%20Ağustos%202025.pdf
- Anonim. (2025h). Stratejik tarım ürünlerinde yeni gümrük uygulaması. Erişim tarihi: 8 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://www.tarimdasondakika.com/stratejik-tarim-urunlerinde-yeni-gumruk-uygulamasi>
- Anonim. (2025i). Tarım ve hayvancılık sürdürülebilirlik raporu 2025 (Koordinatör: Prof. Dr. Senih Yazgan). Erişim tarihi: 12 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://tim.org.tr/files/downloads/Raporlar/TarimVeHayvancilikSurdurulebilirlikRaporu2025.pdf>
- Arıdur, A. A. (2025). Vergi yükü hane halkında: Devletin harcamaları ve açığı arttı. Evrensel. Erişim tarihi: 8 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://www.evrensel.net/haber/574996/vergi-yuku-hane-halkinda-devletin-harcamaları-ve-acığı-arttı>
- Arslan, G. (2021). Türkiye’de tarım sektörünün temel sorunları ve uygulanan tarım politikalarının Türkiye ekonomisi üzerine etkileri: 2000–2018. Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı.
- Aslan, F. (2024). Döviz kuru–tarımsal ihracat ilişkisi: Türkiye örneği. Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 21(1), 77–87. Erişim tarihi: 24 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3727377>
- Aydın, A. (2022). Türkiye’de buğday üretim sektörünün yapısı ve ARIMA modeli ile üretim tahmini. İşletme Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi, 2022(1), 1–18. Erişim tarihi: 14 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1924273>
- Ay, A. ve Yapar, S. (2005). Dünya Ticaret Örgütü Tarım Anlaşması ve Türkiye. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (13), 219–232. Erişim tarihi: 26 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1722175>
- Ayran Cihan, K. (2024). Türkiye’de ihracat, ithalat ve döviz kurunun yurtiçi fiyatlar üzerindeki etkilerinin incelemesi. MANAS Sosyal Araştırmalar

- Dergisi, 13(4). Erişim tarihi: 19 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3665442>
- Babat, H. (2017). Türkiye’de başlıca kaçakçılık türleri ve kaçakçılığın ekonomiye zararları. Sahipkiran Stratejik Araştırmalar Merkezi (SASAM). Erişim tarihi: 7 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://sahipkiran.org/2017/02/12/turkiyede-kacakcilik-turleri>
- Bahçe, A. B. ve Özdemir, A. (2025). Dış ticaretin gümrük vergileri üzerindeki etkileri: Mersin ili organize sanayi bölgeleri açısından bir değerlendirme. Ekev Akademi Dergisi, 101, 130–145. Erişim tarihi: 21 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3970126>
- Başkent, A. (2007). Avrupa Birliği üyeliği yolunda Türkiye’de bitki sağlığı (AB Uzmanlık Tezi). T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Dış İlişkiler ve Avrupa Birliği Koordinasyon Dairesi Başkanlığı, Ankara. Erişim tarihi: 10 Eylül 2025. Erişim adresi: https://www.tarimorman.gov.tr/ABDGM/Belgeler/İDARI%20İŞLER/uzmanlik%20Tezleri/TEZ_Asiyanozkok.pdf
- Bayraktar, S. K. (2024). Tarımsal destekleme ve kırsal kalkınma: Sosyo-ekonomik yararlar ve sorunlar. Bursa Hayat. Erişim tarihi: 1 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://www.bursahayat.com.tr/ekonomi/tarimsal-destekleme-ve-kirsal-kalkinma-sosyo-ekonomik-yararlar-ve-sorunlar-635131>
- Biçen, A. (2024). Türkiye ile BRICS ülkelerinin ticari ve ekonomik ilişkilerinde gümrük vergilerinin değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Maliye ve Mali Yönetim Anabilim Dalı
- Bulut, E. (2020). Türkiye’de uygulanan tarımsal destekleme politikalarının üretim etkisi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı
- Çak, M. ve Yavuz, E. (2023). Türkiye’de tarım sektörüne yönelik vergisel kolaylıkların sosyo-ekonomik açıdan incelenmesi ve gıda güvencesi bağlamında değerlendirilmesi. Maliye Çalışmaları Dergisi, 69, 49–69. Erişim tarihi: 15 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3023318>
- Çakır, B. (2014). Tarım sektörü ve kırsal kesimde yaşanan çözümler sonucu işgücü piyasasında yaşanan değişim ve oluşan işsizlikte kamu istihdam

- kurumlarının rolü. Uzmanlık Tezi, Türkiye İş Kurumu Genel Müdürlüğü, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. Erişim tarihi: 4 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://iskur.gov.tr/medya/yvcdcllv/bilge-cakir.pdf>
- Çaşkurlu, S. (2013). Küresel gıda krizi: Üçüncü gıda rejimi, küresel sermaye ve gelişmekte olan ülkeler. Ekonomik Yaklaşım, 23(Özel Sayı), 161–194. Erişim tarihi: 25 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://ekonomikyaklasim.org/fulltext/94-1362959232.pdf>
- Çelik, N. (2020). Tarımda girdi kullanımı ve verimliliğe etkileri (Uzmanlık tezi, Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, Yayın No: DPT 2521). Erişim tarihi: 9 Ağustos 2025. Erişim adresi: https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/08/Tarimda-Girdi-Kullanimi-ve-Verimlilik-Etkileri_Nebi-Celik.pdf
- Dağ, K. ve Aktaş, E. (2024). İklim değişikliğinin Türkiye tarımına etkileri. Tarım Ekonomisi Dergisi, 30(2), 173–181. Erişim tarihi: 13 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/4228231>
- Deniz, M. ve Hiç, Ö. (2022). İklim değişikliği ve tarımın değişen yüzü: Artan riskler, tarımdaki daralmalar ve orman yangınları sonrası politika önerileri. Biga İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 3(1), 12–22. Erişim tarihi: 27 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2459339>
- Doğan, S. (2002). Dünya tarım ürünleri ticaretinin liberalleşmesine yönelik düzenlemelerin Türk tarımına yansımaları. Muğla Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 7, 45–60. Erişim tarihi: 20 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/217392>
- Duru, S. (2024). Türkiye bitkisel yağ dış ticaretinin mevcut durumu ve rekabet gücünün analizi. Gümrük Ticaret Dergisi, 11(35), 25–39. Erişim tarihi: 2 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3399831>
- Eşgünoğlu Bulmuş, M. (2022). İthalat üzerinden alınan vergi ve eş etkili mali yükümlülüklerin hukuki, iktisadi ve mali etkisi: Türkiye analizi. Paradigma Akademi. Erişim tarihi: 30 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://www.paradigmaakademi yayinlari.com/wp-content/uploads/2022/07/ithalat-uzerinden-alinan-vergi-ve-es-etkili-mali-yukumluluklerin-hukuki-iktisadi-ve-mali-etkisi-turkiye-analizi.pdf>

- Eştürk, Ö. ve Albayrak, N. (2018). Tarım ürünleri-gıda fiyat artışları ve enflasyon arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi (UIİİD-IJEAS)*, 18(EYİ Özel Sayısı), 147–158. Erişim tarihi: 11 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/405741>
- Eştürk, Ö. ve Kaya, S. (2023). Gıda ve tarım piyasalarında regülasyonun önemi. *Politik Ekonomik Kuram*, 7(2), 472–486. Erişim tarihi: 23 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3286275>
- Gençosmanoğlu, Ö. T. (2015). Gümrük Birliği'ne tarım ürünlerinin dahil edilmesi: Türkiye için ticaret politikası önerileri. *Marmara Avrupa Araştırmaları Dergisi*, 23(1), 25–47. Erişim tarihi: 3 Ağustos 2025. Erişim adresi: https://avrupa.marmara.edu.tr/dosya/avrupa/mjes%20arsiv/vol%2023_1/2_Tar_k_Gencosmanoglu_A5.pdf
- Gürlesel, C. F. ve Alkin, K. (2010). Avrupa Birliği'nin Serbest Ticaret Anlaşmalarına Türkiye'nin de dahil edilmesi. (Yayın No: 2010-18). İstanbul Ticaret Odası. Erişim tarihi: 29 Eylül 2025. Erişim adresi: https://www.ab.gov.tr/files/ardb/evt/2_turkiye_ab_iliskileri/2_2_adaylik_sureci/2_2_8_diger/ab_sta_tr_dahil_edilmesi.pdf
- Gürpınar, K. ve Sandıkçı, M. (2008). Uluslararası rekabetçilik analizinde Michael E. Porter'ın elmas modeli yaklaşımı: Türkiye'deki bazı endüstrilerdeki uygulanabilirliğinin ve sonuçlarının araştırılması. *SÜ İİBF Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*. Erişim tarihi: 26 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/289408>
- Hacıköylü, C. (2014). İthalat sırasında ödenen vergiler ve diğer mali yükümlülükler: Türkiye ve cep telefonu ithalatı. *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 7(1), 21–36. Erişim tarihi: 9 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/209371>
- Haykır Hobikoğlu, E. (2007). Gümrük birliklerinin ekonomik etkileri ve Türkiye ekonomisi: Gümrük birliği yansımaları. *Sosyal Bilimler Dergisi*, 2007(1), 65–82. Erişim tarihi: 28 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/100833>

- Karagöz, M. A. (2015). Türkiye-AB tarımsal dış ticareti ve dış ticarete konu olan başlıca tarımsal ürün fiyatları üzerine bir değerlendirme (AB Uzmanlık Tezi, T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Avrupa Birliği ve Dış İlişkiler Genel Müdürlüğü). Ankara. Erişim tarihi: 5 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://www.tarimorman.gov.tr/ABDGM/Belgeler/İDARİ%20İŞLER/Uzmanlık%20Tez%20Eyl%202015/Mehmet%20Ali%20Karagoz.pdf>
- Kaya, T. (2017). DTÖ anlaşmalarındaki yükümlülüklerden kaçınmaya olanak sağlayan istisna hükümleri. Hacettepe Hukuk Fakültesi Dergisi, 7(2), 169–192. Erişim tarihi: 14 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/744974>
- Keskin, A. (2014). Gümrük Birliği'nin Türkiye-AB Tarım Ürünleri Dış Ticareti Üzerine Etkileri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. Erişim tarihi: 17 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://www.academia.edu/83691435/>
- Koç, G. ve Uzmay, A. (2015). Gıda güvencesi ve gıda güvenliği: Kavramsal çerçeve, gelişmeler ve Türkiye. Tarım Ekonomisi Dergisi, 21(1), 39–48. Erişim tarihi: 1 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/253329>
- Kutlu, D. (2025). Tarım ürünlerinde ithalat rekoru. Erişim tarihi: 11 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://www.nefes.com.tr/tarim-urunlerinde-ithalat-rekoru-15693>
- Merdan, K. (2024). Türkiye'nin tarım sektörü: Tarımının dünü, bugünü ve yarını. Bingöl Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 8(1), 47–70. Erişim tarihi: 22 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3306264>
- Özay, N. (2015). Uluslararası ticarete korumacılık ve Türkiye'de uygulanan koruma önlemleri. Gümrük ve Ticaret Dergisi, 5, 23–33. Erişim tarihi: 30 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1020186>
- Özcivan, Z. (2025). Gümrük vergileri. Akdeniz Manşet Gazetesi. Erişim tarihi: 6 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://www.akdenizmanset.com.tr/gumruk-vergileri>
- Özgül, T. (2014). Avrupa Birliği sürecinde Türkiye'de gıda güvenliği, veterinerlik ve bitki sağlığı politikaları [Sunum]. T.C. Gıda, Tarım ve

- Hayvancılık Bakanlığı, AB ve Dış İlişkiler Genel Müdürlüğü, Ekonomik ve Teknik İlişkiler Daire Başkanlığı. Erişim tarihi: 19 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://www.tarimorman.gov.tr/ABDGM/Belgeler/İDARİ%20İŞLER/2014%20eylul/1.pdf>
- Öztürk, S. ve Özyakışır, D. (2005). Türkiye ekonomisinde 1980 sonrası yaşanan yapısal dönüşümlerin GSMH, dış ticaret ve dış borçlar bağlamında teorik bir değerlendirmesi. *Mevzuat Dergisi*, 8(94). Erişim tarihi: 24 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://mevzuatdergisi.com/2005/10a/01.htm>
- Sarı, H. (2023). DTÖ'den küresel ticarete aşağı yönlü risklere vurgu. *Ekonomim*. Erişim tarihi: 15 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://www.ekonomim.com/kuresel-ekonomi/dtoden-kuresel-ticarete-asagi-yonlu-risklere-vurgu-haberi-702954>
- Sülüngür, E. ve Öztürk, L. (2022). Türk Hukukunda Gümrük Vergilerinden Doğan Uyuşmazlıkların Çözüm Yolları Bakımından Avrupa Birliği ile Entegrasyon Hakkında Değerlendirme. *EURO Politika*, (17), 71–75. Erişim tarihi: 27 Eylül 2025. Erişim adresi:
- Şahin, İ. (2014). Türkiye’de tarım politikaları ve AB’ye uyum süreci [Sunum]. T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü. Erişim tarihi: 2 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://www.tarimorman.gov.tr/ABDGM/Belgeler/İDARİ%20İŞLER/Sunumlar/2014/Ekim/3.pdf>
- Şahin, M. (2023). Küreselleşmenin gümrük vergilerine etkisi: Türkiye örneği. Yüksek lisans tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Maliye Anabilim Dalı, Mali İktisat Bilim Dalı
- Şakı, M. ve Eryugur, H. O. (2021). Gümrük Birliği ve tarım ürünleri: Türkiye üzerine bir Armington modeli analizi. *Fiscaeconomia*, 5(1), 177–194. Erişim tarihi: 5 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1160020>
- Taşcı, R., Tarhan Tek, S., Söylemez, E., Özercan, B., Hamarat Balatlı, T., Karabak, S., Bolat, M., Orman, T. ve Kılıç, G. (2023). Üreticilerin kırsaldan göç etme düşünceleri ve buğday üretimi üzerine olası etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 10(4), 865–875. Erişim tarihi: 25

- Eylül 2025. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3122540>
- Taşkın, Ö., Somuncu, M. ve Çapar, G. (2022). İklim değişikliğinin Türkiye’de su kaynakları ve tarım sektörüne etkileri üzerine bir değerlendirme. TÜCAUM 2022 Uluslararası Coğrafya Sempozyumu, Ankara, Türkiye. Erişim tarihi: 29 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://tucaum.ankara.edu.tr/wp-content/uploads/sites/280/2022/12/TM-35-Ozlem-TASKIN-468-484.pdf>
- Turan, E. ve Umarusman, M. A. (Ed.). (2025). Türkiye’de tarım sektörü: Mevcut durum, sorun alanları ve çözüm önerileri (1. baskı, Araştırma-İnceleme Dizisi No. 25). Türk Akademisi Siyasi Sosyal Stratejik Araştırmalar Vakfı (TASAV). Erişim tarihi: 1 Eylül 2025. Erişim adresi: https://www.tasav.org/media/k2/attachments/Tarim_Son.pdf
- Türker, M., Berk, A. ve Öztürk, H. H. (2022, Ekim). Sürdürülebilir gıda arz güvenliği. 4th International Sustainable Development Congress, Antalya, Türkiye, ss. 1–6. Erişim tarihi: 23 Eylül 2025. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/profile/Ali-Berk/publication/366215098_Surdurulebilir_Gida_Arz_Guvenligi/links/63aaca7d097c7832ca6dd262/Suerdueruelebilir-Gida-Arz-Guevenligi.pdf
- Türkeş, M. (2020). İklim değişikliğinin tarımsal üretim ve gıda güvenliğine etkileri: Bilimsel bir değerlendirme. Ege Coğrafya Dergisi, 29(1), 125–149. Erişim tarihi: 7 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1161810>
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2025). Dış ticaret istatistikleri. Erişim tarihi: 10 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=dis-ticaret-104>
- Yavuz, F. (2024). Türkiye tarımı gıda arz güvenliğini sağlar mı? Kriter Dergi, 8(89). Erişim tarihi: 1 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://kriterdergi.com/ekonomi/turkiye-tarimi-gida-arz-guvenligini-saglar-mi>
- Yıldırım, A. E. (2017). Gümrük vergilerinin düşürülmesi piyasayı nasıl etkiler? Dünya Gazetesi. Erişim tarihi: 14 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://www.dunya.com/kose-yazisi/gumruk-vergilerinin-dusurulmesi-piyasayi-nasil-etkiler/370706>

- Yıldırım, A. E. (2024a). ABD Tarım Bakanlığı'na göre Türkiye'nin yağlı tohum ithalatı artacak. Ekonomim. Erişim tarihi: 9 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://www.ekonomim.com/kose-yazisi/abd-tarim-bakanligina-gore-turkiyenin-yagli-tohum-ithalati-artacak/735946>
- Yıldırım, A. E. (2024b). Savaşta Rusya ve Ukrayna'nın buğday üretimi ve ihracatı. Tarım Dünyası. Erişim tarihi: 28 Ağustos 2025. Erişim adresi: <https://www.tarimdunyasi.net/2024/06/25/savastaki-rusya-ve-ukraynanin-bugday-uretimi-ve-ihracati/>
- Yıldız, G. (2016). Gümrük vergilerinde ek tarhiyat ve uzlaşma. Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Maliye Anabilim Dalı, Mali Hukuk Bilim Dalı
- Yiğit, H. ve Açıkalın, S. (2019). Türkiye'de cari işlemler açığı: nedenleri ve çözüm önerileri. Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 12(2), 323–340. Erişim tarihi: 30 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/904749>
- Zubko, Y. ve Tükez, S. (2019). DTÖ Tarım Anlaşmaları [Prezi sunumu]. Prezi. Erişim tarihi: 5 Eylül 2025. Erişim adresi: https://prezi.com/p/_axyzx4yarh4/dto-tarm-anlasmalar

BÖLÜM 14

BİTKİSEL KAYNAKLI POLİHERBAL FORMÜLASYONLARIN ANTİDİYABETİK ROLÜNÜN ARAŞTIRILMASI

Doktora Öğrencisi İsa KIRAN¹

Prof. Dr. Rüveyde TUNÇTÜRK²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17639097>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye.
isakiran065@gmail.com Orcid ID: 0000-0002-9529-9273

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye.
ruveydetuncurk@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-3759-8232

GİRİŞ

Diabetes mellitus, pankreas beta hücreleri tarafından üretilen insülin miktarının azalması ve insülin direnci ile gelişen hiperglisemi ile semptomatize, multisistemik boyutu olan endokrin bir hastalık olarak tanımlanabilmektedir. İnsülin direnci, iskelet kası hücreleri, yağ dokusu ve karaciğerde insülin sinyaline yeterince yanıt verilememesi ile ilişkilendirilebilir. İnsülin sinyalindeki bu bozulma, hücreler tarafından glikoz alımının azalmasına yol açar ve hiperglisemi olarak tanımlanan yüksek kan şekeri seviyeleri ortaya çıkar (Szablewski, 2025). İnsülin direnci veya insülinopeni, kronik bir hastalık olan Diabetes mellitus'un ayırt edici özelliği olarak hiperglisemi'ye yol açar (Firdous vd., 2025).

Uluslararası Diyabet Federasyonu 2025 yılı itibariyle 589 milyon yetişkin diyabet hastası olduğu bilgisini paylaşmaktadır. Dünya genelinde diyabet tedavisinde 1 trilyon doların üzerinde sağlık harcaması gerçekleştirildiği bilinmektedir (IDF, 2025). Ülkemizde 2021 yılında 9 milyon diyabet hastası olduğu ifade edilirken, bu sayının 2030 yılında 10,8 milyon kişiye ulaşacağı, 2045 yılında ise 13,4 milyon kişiye ulaşacağı öngörülmektedir. Avrupa'da en yüksek diyabet oranı Türkiye'de yer almaktadır (TEMD, 2024).

Diyabet sınıflandırılmasına yönelik, 1997 yılında Diyabet Tanı ve Sınıflandırılmasında Uluslararası Uzmanlar Komitesi, Uluslararası Diyabet Federasyonu (IDF), Amerikan Diyabet Cemiyeti (ADA), Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve konu ile ilgili uluslararası ilgili kurumlar çeşitli şekillerde sınıflandırma ilkeleri belirlemişlerdir. Amerikan Diyabet Cemiyeti (ADA) tarafından 2014 yılında tanımlanmış olan ilkeler kabul edilmektedir.

Diabetes mellitus dört temel kategoride sınıflandırılabilir:

i. Tip 1 diyabet: Beta hücre yıkımı sonucunda gelişen mutlak insülin eksikliği

ii. Tip 2 diyabet: İnsülin direnci zemininde gelişen ilerleyici insülin salınım bozukluğu

iii. Farklı nedenlere bağlı diyabet tipleri: Örnek olarak, beta hücresine bağlı genetik defektler, insülin etkisinde genetik defektler, ekzokrin pankreas hastalıkları (kistik fibrozis gibi) ve ilaç ya da kimyasalların indüklediği (organ transplantasyonu sonrası veya HIV/AIDS tedavisi) diyabet formları bu grupta yer alır. □

iv. Gestasyonel diabetes mellitus: Gebelik öncesinde belli olmayan ve gebelik sırasında tanı konan diyabet formu olarak sınıflandırılmaktadır (ADA, 2014).

1. BİTKİSEL TEDAVİ

Tıbbi bitkiler eski çağlardan beri etnotipta (Ayurveda, Geleneksel Çin Tıbbı, Unani, ve Avrupa Geleneksel Tıbbı) çok çeşitli hastalıkların tedavisi için kullanılmaktadır (Ansari vd., 2025).

Bitkiler, tıbbi özelliklere sahip çok çeşitli biyoaktif bileşiklerin zengin bir kaynağıdır. Bileşenler, bitki içeriğinde; flavonoidler, alkaloidler, polifenoller ve bunların türevleri, glikozitler, aminler, amino asitler, karboksilik asitler, saponinler, antrakınonlar, vitaminler, mineraller, inorganik bileşikler ve peptidoglikanlar gibi çeşitli biyoaktif maddeleri içerir. Bu tür bileşikler, her biri benzersiz bir dizi aktif madde içerebilen kökler, gövdeler, yapraklar, çiçekler, meyveler ve tohumlar gibi farklı bitki kısımlarından ekstrakte edilmektedir. Örneğin, alkaloidler genellikle kök ve yapraklarda bulunurken, flavonoidler ağırlıklı olarak çiçek ve meyvelerde bulunmaktadır. Doğal olarak oluşan bu kimyasallar, bitkinin savunma mekanizmalarında kilit rol oynar ve çeşitli tıbbi özellikler dâhil olmak üzere önemli farmakolojik etkiler göstermektedir, bu da onları terapötik uygulamalar için değerli kılar (Bharti vd., 2016; Tunçtürk vd., 2024a,b; Nohutcu vd., 2025a,b; Selem vd., 2025a,b). Bitkiler, antidiyabetik, antioksidan, antihiperlipidemik, antiinflamatuvar aktivitelere sahip çeşitli fitobileşenlerin zengin bir kaynağı olarak görülmektedir. Terapötik potansiyele sahip aktif fitomoleküller arasında, antidiyabetik özellikler sergileyen (Ansari vd., 2025) alkaloidler, flavonoidler, terpenoidler ve polifenoller dâhil olmak üzere birçok biyoaktif madde, pankreas beta hücrelerini koruyarak, karbonhidratların parçalanmasından sorumlu enzimleri bloke ederek, oksidatif stresi azaltarak ve insülin sekresyonunu ve duyarlılığını iyileştirerek antidiyabetik etkinlik gösterir. Doğal antioksidanlar, reaktif oksijen türlerini nötralize ederek diyabetle ilişkili sorunları azaltabilir. Bitkisel ilaçları kişiye özel yaşam tarzı değişiklikleriyle birleştirerek diyabet tedavisine kapsamlı bir yaklaşım sağlanabilir (Firdous vd., 2025).

Farmakolojik ajanlar da bitkilerden elde edilmektedir. Bitkisel içeriklerde; flavonoidler, karotenoidler, alkaloidler, terpenoidler, saponinler ve glikozitler gibi fitobileşenler bulunmaktadır. Bitkisel içerikler; hepatik

glikojenolizi arttırma, glikoz emilimini inhibe etme, kas ve yağ dokuda glikoz alımı, pankreas adacıklarında duyarlılık ve insülin sekresyonunu arttırma etkisi sağlayarak hipergliseminin kontrolünü sağlayabilmektedir (Mahmoud vd., 2024).

Antidiyabetik ilaçlar, diyabet tedavisinde kullanılmaktadır ancak tedavi ömür boyu sürdüğü için maliyet, yan etkiler düşünüldüğünde yan etkisi olmayan terapötik ajanların geliştirilmesi faydalı olacaktır. Bitkisel ürünleri içeren alternatif tedavi yöntemi kullanmak, strateji olarak görülebilir. Bu amaçla tek bitkisel tedavilerin aksine, çok sayıda bitkinin karışımı olarak görülen polih herbal formülasyonların birleşik etkilerinden yararlanarak gelişmiş ve daha geniş terapötik etkiler oluşturabilmek mümkündür (Jain vd., 2025). Geleneksel tıptaki anahtar kavramlardan biri olarak, polibitkisel formülasyonlar kullanılmaktadır. Polih herbal formülasyonlar bitkilerin tek tek etkilerine güvenmek yerine birden fazla bitkinin sinerjik olarak birlikte etkilerine dair yeni yöntemler göstermektedir. Birden fazla bitkisel bileşenin bir tedavi olarak uygulanması polih herbalizmin kavramsal temelini oluşturmaktadır (Petchi vd., 2014). İlaç maliyetlerinin artması ve olumsuz etkilerinin göz önünde bulundurulmasından ötürü bilimsel çalışmalar insanları farklı fitobileşenleri keşfederek biyolojik etkinlik oluşturmaya yöneltmiştir. (Karole vd., 2019).

Poliherbal formülasyonların moleküler düzeyde fizyolojik olarak araştırılması için artan bir ihtiyaç söz konusudur. Bilimsel araştırmalar ilerledikçe, bu formülasyonları standartlaştırma, klinik çalışmalar yürütme ve etki mekanizmalarını anlama çabaları, modern tıptaki etkinliklerini göstermede çok önemli olacaktır. Bu tür araştırmalar potansiyel olarak bunların diyabet için tamamlayıcı tedaviler olarak geleneksel sağlık hizmetlerine dâhil edilmesine yol açabilir ve hastalığın artan prevalansının ele alınmasına yardımcı olabilir. Ayrıca, bitkisel karışımların biyoyararlanımının ve sinerjistik etkilerinin gelişmiş ekstraksiyon yöntemleri ve optimize edilmiş formülasyonlar yoluyla arttırılması, bunların terapötik faydalarını artırabilir (Jain vd., 2025).

Avrupa ilaç kurumu (EMA), 2024 yılında yayınlamış olduğu kılavuzda diyabet hastalarında kan şekeri seviyelerini iyileştirmek veya hipoglisemi riskini azaltmak amacıyla ek tedavilerden yararlanılabileceğini ifade etmiştir (Van der Schueren vd., 2024).

Bitkilerin antidiyabetik etki mekanizmaları: protein fosfatazların ve protein kinazların aktivasyonu, poliol ve heksozamin yolunun aktivasyonu, ileri glikasyon son ürünleri oluşumunun inhibisyonu, alfa-amilaz ve alfa-glukozidaz enzimi inhibisyonu, insülin sentezi ve salınımı, langerhans adacıklarını canlandırma, kan dolaşımındaki glikozu verimli bir şekilde transfer edebilme, renin anjiyotensin aldosteron sistemi, tokluk hiperglisemisinin inhibisyonu, piruvat dehidrojenaz kompleksinin aktivasyonu, hekzokinaz ve glikoz-6-fosfat etkinliğinin artırılması, GLUT-4'ün uyarılması ayrıca glikoz-6-fosfat dehidrojenaz'ın inhibisyonu olarak sıralanabilir. Diyabetik yollarda yer alan çok sayıda enzim bulunmaktadır ve uygun bir enzim inhibitörü bulmak, yeni antidiyabetik ilaç kaynaklarını tanımlamak için son derece önemlidir. (Dawane vd., 2016; Alam vd., 2019).

Poliherbal formülasyon, farklı düzeylerde inhibitör aktiviteler yönüyle araştırmalarda karşılaştırılmıştır. Bu süreçte α -amilaz, α -glukozidaz ve lipaz inhibisyonu, pankreas β hücrelerinde koruyucu rol üstlenip reaktif oksijen türlerinin oluşumunu engellemektedir. Lipaz ve α -amilaz inhibitör etkisi polifenol varlığına delil olarak gösterilebileceği korelasyon çalışmaları ile ortaya konmuştur. Bütüncül biyolojik etkinliğe sahip olabilen poliherbal formülasyonlar, diyabet tedavisinde iyi bir seçenek olarak görülebilmektedir. Hipoglisemik etkinlik, poliherbal formülasyonların etkisi olarak görülebilir. Etki mekanizması üzerinde çalışmalar sürmektedir (Suvarna vd., 2021; Paul ve Majumdar, 2022).

Poliherbal formülasyonlar, çok sayıda farklı bitkisel içeriklere sahip olduğundan çok yönlü etki mekanizmalarına sahiptirler. Farklı bitki örneklerinin bir araya gelerek etkinlik gösterebilmesi güçlü bir potansiyel taşımaktadır. Bitki formülasyonları modern çağda, kolay bulunabilme, etkinlik ve daha az yan etki nedeniyle önem kazanmıştır. Sinerjik, agonistik ve antagonistik etkiler ortaya koymaları nedeniyle güçlü terapötik yönlerinin olabileceği gerekçesi, tedavide bu bileşimlere yönelmeye neden olmuştur. Poliherbalizm, kavram olarak M.S. 1300 yıllarında Ayurveda literatürü olan Sharangdhara Samhita içeriğinde tanıtılmıştır. Poliherbal formülasyonlar, terapötik etkide artış göstermektedir, tekli bitkilerin terapötik etkisini artırır ve yan etkilerini de azaltır (Petchi vd., 2014; Alhamhoom vd., 2023).

Bitkisel tedavi seçenekleri, farmakolojik tedavi seçenekleri ile karşılaştırıldığında; erişilebilirlik etkinlik, güvenlik, minimal yan etki ve

maliyet nedenleri ile popüler hale gelmiştir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) bitkisel formülasyonların tedavi amacıyla kullanılmasını önermektedir. Antidiyabetik etkinliğe sahip polih herbal formülasyonlar, bitkilerin sinerjik etkisinin çok yönlü sistemik faydaları nedeniyle ve daha az yan etki oluşturmalarından ötürü diyabet tedavisinde faydalı bir seçenek olarak kullanılabilmektedir (Reddy vd, 2019; Suvarna vd., 2021; Suvarna vd., 2023; Sridevi ve Thirumal, 2025).

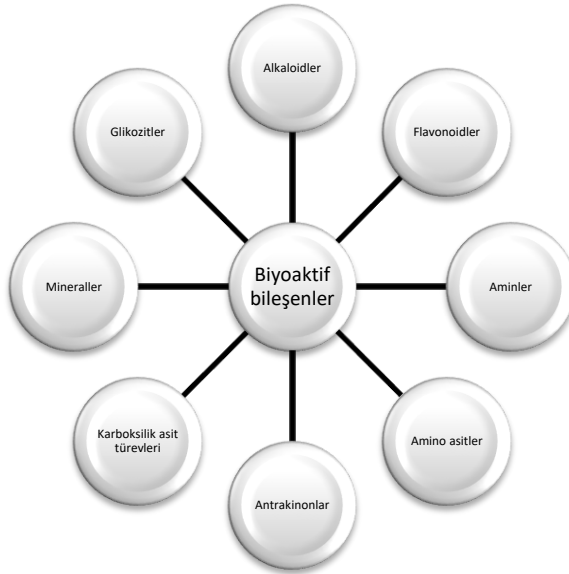
Etnobotanik bilgileri, antidiyabetik olarak yaklaşık 800 bitkinin kullanıldığını göstermektedir. Bitkisel kombinasyonların hipoglisemik etkinliği bağlamında bilimsel çalışmalar sürdürülmektedir. Farklı bitkisel bileşenlerin kombinasyon olarak kullanılması daha etkilidir. Biyoaktif bitki bileşenlerinin sinerjik potansiyel etkileri yüksektir ayrıca yan etkilerin kontrol edilmesi mümkündür. Bitkilerin tek olarak değil kombine olarak kullanılmaları önerilmektedir. Bir bitkinin çok sayıda hastalık üzerinde etkisi olabilir ancak bazı etkiler baskın olabilir ve ikincil etkiler de söz konusu olabilir. Bitkisel bir ilaç diğer bitkilerle kombine halinde sinerjik ve antagonistik etki gösterebilmektedir (Khaliq vd., 2015).

Ayurveda geleneksel Hint tıp sistemi, gereği olmayan acıyı önleme sağlıklı ve uzun yaşamı esas olan bir hedef ortaya koyar. Ayurveda tıbbi bitkilerin tekil veya çoklu olarak uygulanabileceğini ifade eder. Polih herbalizm, tedavi etkinliğinin artırılması amacıyla kullanılmaktadır. İstenen terapötik etkinin oluşması bitkilerin tek tek kullanılmasına bağlı olarak sınırlandırılmış olabilir. Birden fazla bitkinin belli oranlarda birleştirilmesi ile terapötik etki artırılarak toksik etkinin azaltılması sağlanabilir (Parasuraman vd., 2014).

DeneySEL sistemlere bağlı olarak elde edilen bilgilerden yola çıkılarak bitki kaynaklı ilaçların biyoyararlanımları, optimal dozları, biyoetkinlikleri, etki mekanizmaları ve klinik verimlilikleri ile ilgili zorlukların ele alınması değerlendirilecek olursa diyabet kontrolünde önemli bir rol oynayacağı sonucuna varılabilir. Diyabet yönetiminde bitkisel ilaç kullanımı güvenli olabilir ancak etki mekanizması ile ilgili bilgilerin yeterli seviyede olması gerekmektedir. Çeşitli polih herbal formülasyonlar prelinik ve klinik çalışmalarda incelenmiştir ancak polih herbal formülasyonların etkinliği açısından daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir (Brahma vd., 2024). Antidiyabetik ajanlar ile glisemik hedefler yakalanmadığında ikili ilaç tedavileri de uygulanmaktadır. Hastalığın patolojik karmaşıklığı nedeniyle

araştırmacılar daha düşük dozaj ve daha yüksek biyoyaralanım hedefiyle yeni ilaçlar geliştirmektedir (Padhi vd., 2020).

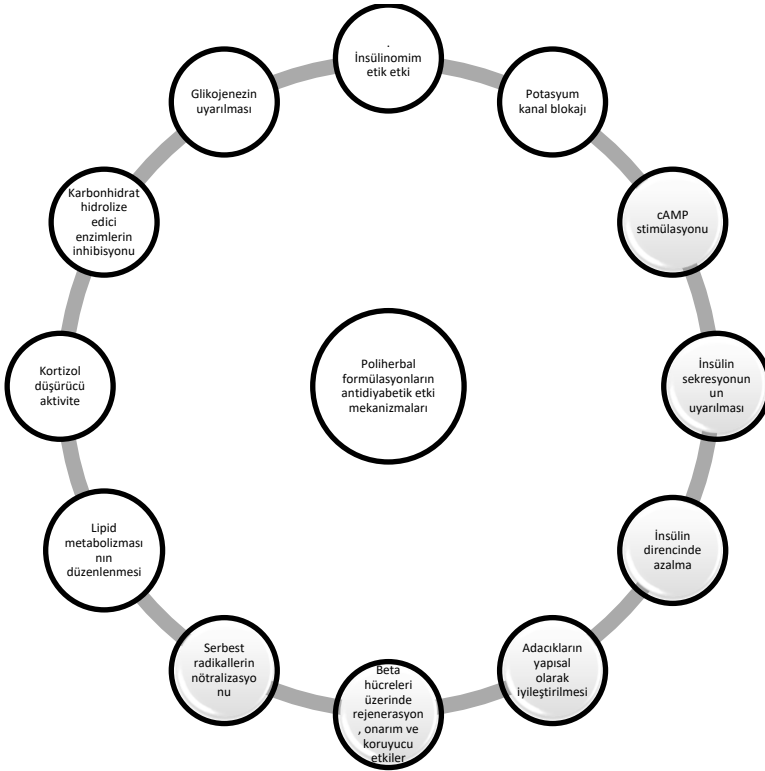
Tıbbi bitkiler birçok ülkede farklı metabolik hastalıkları yönetmek için kullanılmaktadır ve allopatik ilaçlardan daha ucuz olduğu düşünülmektedir (Fagbohun vd., 2020). Diyabet ile ilişkisi olan risk faktörlerinin azaltılması ve tedavilerin elde edilmesi doğada yer alan yiyeceklerden temin edilebilir (Pereira vd., 2024).



Şekil 1. Tıbbi Bitkilerin Fitobileşenleri

Çok sayıda çalışma, gerek laboratuvar (in vitro) gerekse de hayvan (in vivo) modellerinde antidiyabetik özelliklerini değerlendirmek için farklı bitki türlerini, ekstrakt yöntemlerini ve bitki kısımlarını incelemiştir. Bu çalışmalarda kullanılan yaygın ekstrakt formları arasında sulu, metanolik ve etanolik ekstraktlar bulunur ve en sık incelenen bitki kısımları yapraklar, kökler, gövdeler ve meyvelerdir. Hayvan modellerinde, özellikle alloxan veya streptozotosin gibi maddeler tarafından indüklenen diyabetik sıçanlar, tipik olarak 2-8 hafta arasında değişen dozlama periyotları ile sıklıkla kullanılır. İn vitro bulgular genellikle enzim inhibisyonu (örneğin, alfa-amilaz ve alfa-glukozidaz) ve antioksidan aktivite gibi mekanizmalara odaklanırken, in vivo sonuçlar genellikle kan şekeri regülasyonu, insülin duyarlılığı ve lipid

metabolizmasında iyileşme olarak kendini gösterir. Genel olarak, polih herbal tedaviler kan şekeri düzeylerini düşürmede, pankreas fonksiyonunu iyileştirmede ve diyabetle ilişkili komplikasyonları azaltmada umut verici etkiler göstermiştir. Bununla birlikte, bu tedavilerin daha etkili klinik kullanım geliştirmek amacıyla güncel çalışmalarla desteklenmesine ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 2. Bitkisel ve Polibitkisel Antidiyabetik İlaçların Etki Mekanizması

1.1. Polih herbal formülasyonların antidiyabetik etkileri

1. Karbonhidrat hidrolize eden enzimlerin inhibisyonu; bazı bitkiler ve polibitkisel formülasyonlar, nişastayı glikoza çeviren enzimleri bloke ederek yemeklerden sonra kan şekeri düzeylerinin kontrol edilmesine yardımcı olabilir. Alfa-amilaz, alfa-glukozidaz ve beta-galaktosidaz gibi enzimleri inhibe ederek, karbonhidratların sindirimi ve emilimi yavaşlatılır, kan şekeri artışları azaltılır ve genel glikoz regülasyonu iyileştirilebilir.

2. İnsülinomimetik etkileri; bazı tıbbi bitkiler, insülinin vücuttaki etkisini taklit ederek kan şekeri seviyelerinin düzenlenmesine yardımcı olabilir. Bu bitkiler insülin duyarlılığını artırır, hücreler tarafından glikoz alımını kolaylaştırır ve pankreastan insülin salınımını uyarır, böylece glikoz metabolizmasını iyileştirir ve daha iyi kan şekeri kontrolünü desteklemektedir.

3. İnsülin salgılanmasının uyarılması; çok sayıda bitki, pankreas beta hücrelerinden insülin salgılanmasını doğrudan uyaran biyoaktif bileşikler içerir. Ek olarak, insülini parçalayan enzimleri inhibe ederek dolaşımdaki insülinin yarı ömrünü ve etkisini artırabilirler. Hem bireysel bitkilerin hem de belirli polibitkisel kombinasyonların bu mekanizmayı desteklediği, kan şekeri seviyelerini düzenlemeye ve daha iyi genel metabolik işlevi desteklemeye yardımcı olduğu ifade edilmektedir.

4. İnsülin direncinde azalma; bitkisel tedaviler hücresel insülin duyarlılığını artırarak dokuların, özellikle kas ve yağ hücrelerinin glikozu daha verimli bir şekilde emmesini sağlayabilir. Bazı tıbbi bitkiler glikoz homeostazisinin iyileştirilmesinde önemli rol oynar.

5. Potasyum kanal blokasyonu; bitkisel maddeler pankreas beta hücrelerinde ATP'ye duyarlı potasyum kanallarını bloke ederek hücre depolarizasyonuna yol açabilir. Bu depolarizasyon, kalsiyumun hücrelere girmesine izin verir ve bu da insülin salınımını uyarır. Bu mekanizma, iyon kanallarının insülin regülasyonundaki önemli rolünü vurgulamaktadır. Bazı bitkilerin bu etkiyi gösterdiği, böylece insülin sekresyonunu desteklediği ve kan şekeri kontrolünü iyileştirdiği bilinmektedir.

6. cAMP stimülasyonu; bazı bitki preparatları, hücresel sinyalleşme için çok önemli bir ikinci haberci olan siklik AMP (cAMP) seviyelerini artırabilir. Yüksek cAMP, insülin salınımında yer alan mekanizmaları geliştirir, böylece insülin üretiminin artmasını teşvik eder. Bazı bitkilerin bu yolu uyardığı, insülin sekresyonunun iyileştirilmesini ve kan şekerinin daha iyi düzenlenmesini desteklediği ifade edilmektedir.

7. Temel besin maddelerinin sağlanması; insülinin sentezi ve salgılanması, tümü belirli bitkilerde bulunan kalsiyum, çinko, bakır, magnezyum, ve mangan gibi temel minerallere bağlıdır. Bu mineraller, beta hücrelerinin yapısal ve işlevsel bütünlüğünün korunmasına yardımcı olur. Bazı tıbbi bitkiler bu hayati mineralleri sağlayarak sağlıklı insülin üretimini ve genel pankreas fonksiyonunu desteklemektedir.

8. Beta hücreleri üzerinde rejenerasyon, onarım ve koruyucu etkiler; bazı tıbbi bitkiler, pankreastaki hasarlı beta hücrelerinin iyileşmesini destekleyen ve insülin üretiminin artmasını destekleyen rejeneratif özelliklere sahiptir. Bu, özellikle beta hücre fonksiyonunun bozulduğu diyabette çok önemlidir. Birçok bitki, beta hücrelerini oksidatif stres ve iltihaplanmadan koruyan ve böylece genel pankreas fonksiyonunu iyileştiren antiinflamatuvar ve antioksidan özelliklere sahiptir. Bazı polibitkisel kombinasyonlar, beta hücre yenilenmesi ve korunması için kapsamlı destek sağlayarak bu etkileri artırır.

9. Adacık boyutunda ve sayısında artış; bitkisel bileşimler, pankreasta insülin üretiminden sorumlu hücre kümeleri olan Langerhans adacıklarının büyümesini uyarabilir. Bu hücrelerin boyutundaki ve sayısındaki bu artan büyüme, pankreasın genel insülin salgılama yeteneğini artırabilir. Hem tekil bitkilerin hem de polibitkisel kombinasyonların bu süreci desteklediği, insülin sekresyonunu ve genel pankreas fonksiyonunu iyileştirdiği gösterilmiştir.

10. Serbest radikallerin nötralizasyonu; tıbbi bitkilerden elde edilen antioksidanlar, serbest radikalleri nötralize ederek ve pankreas hücrelerine zarar verebilecek ve insülin fonksiyonunu engelleyebilecek oksidatif stresi azaltarak diyabetin yönetiminde önemli rol oynar. Flavonoidler ve polifenoller de dâhil olmak üzere bu antioksidanlar insülin duyarlılığını artırır, beta hücrelerini korur ve genel metabolik sağlığı destekler. Tıbbi bitkiler polibitkisel formülasyonlarda birleştirildiğinde, bu bileşikler sinerjik bir etki sunarak gelişmiş kan şekeri kontrolünü ve genel diyabet yönetimini desteklemektedir.

11. Glikojenezin uyarılması; bitkisel içerikler, karaciğerin glikozu depolama için glikojene dönüştürme yeteneğini artırabilir, kan şekeri seviyelerinin etkili bir şekilde düzenlenmesine yardımcı olabilir. Hem tekil bitkiler hem de polibitkisel kombinasyonlar bu süreci destekleyerek daha iyi glikoz homeostazını ve genel metabolik sağlığı korumaktadır.

12. Lipid metabolizmasının düzenlenmesi; tıbbi bitkiler, yağ sentezi, depolanması ve parçalanması gibi temel süreçleri etkileyerek lipid metabolizmasının düzenlenmesinde önemli bir rol oynar. Bağırsaklardaki yağların emilimini azaltmaya, yağ oksidasyonunu artırmaya ve yağ yıkımında rol oynayan enzimlerin işlevini geliştirmeye yardımcı olabilirler. Ayrıca, bazı bitkiler LDL (kötü kolesterol) seviyelerini düşürerek ve HDL (iyi kolesterol) seviyelerini artırarak kolesterol dengesini iyileştirebilir, sonuçta daha sağlıklı bir lipid profilini teşvik edebilir ve kardiyovasküler sağlığı destekleyebilir.

13. Kortizol düşürücü aktiviteler; bazı şifalı bitkiler kortizol seviyelerini düşürme yeteneğine sahiptir, bu etki anlamlıdır çünkü yüksek kortizol düzeyi, insülin direncine ve yüksek kan şekeri seviyelerine neden olabilir (Jain vd., 2025).

2. POLİHERBAL KARIŞIMLARIN İÇERİĞİNDE YER ALAN BAZI BİTKİ ÖRNEKLERİ

2.1. *Curcuma longa* L.

Curcuma longa kurkumin, bisdemetoksikurkumin ve demetoksikurkumin etken maddelerini içerir. *Curcuma longa* içeriğinde yer alan bu moleküllerin diyabetik özellikler sergilediği bilinmektedir (Islam vd., 2024). *Curcuma longa* bitkisinin içeriğindeki kurkumin türevlerinin α -amilaz ve α -glukozidaz enzimlerine karşı inhibitör aktivite göstererek antidiyabetik etkinlik sergilediği ifade edilebilmektedir (Roney vd., 2025).

2.2. *Hypericum perforatum* L.

Hypericum perforatum sahip olduğu tanenler ve flavanoidler sayesinde antidiyabetik etkinlik gösterebilmektedir. Bitki oksidatif stres üzerinde olumlu etki gösterirken, hücre hasarına ve apoptoza karşı koruyucu etkinlik gösterir ayrıca diyabetik vasküler komplikasyonların azaltılmasında da rol alabilmektedir (Theodorakopoulou vd., 2025).

2.3. *Nigella sativa* L.

Nigella sativa bitkisinde etken madde olarak yer alan timokinon, antidiyabetik ajan olarak diyabet tedavisinde kullanılan bitkisel karışımlara dâhil edilmektedir (Khan ve Zaidi, 2023). Bulgular, lipid profilinin iyileştirilmesi yoluyla diyabetik sürece katkı sunabileceğini ifade etmektedir (Ahmed vd., 2025).

2.4. *Rheum ribes* L.

Rheum ribes olarak bilinen ışkın, antrasen ve tanenler gibi çok sayıda bileşenden oluşur. Aloeemodin, rhein ve krizofanol içeriği yapılan çalışmalarla belirlenmiştir. Tip 2 diyabet hastalarında *Rheum ribes* tüketiminin

apolipoproteinler ve insülin direnci iyileştirilmesi üzerinde faydalı etkiler gösterebileceği ifade edilmektedir (Ghafouri vd., 2023).

2.5. *Rosa canina* L.

Rosa canina, Rosaceae familyasına ait bir türdür. İçeriğindeki flavonoidler, tanenler, proantosiyanidinler ve pentasiklik triterpenler sayesinde diyabet önleyici olarak işlev görmektedir (Javid vd., 2024). Çalışmalar, *Rosa canina* bitkisinden izole edilen oligosakkarit fraksiyonunun, diyabetik sıçanlarda tüm metilasyon genom profilini değiştirebileceğini ve DNA metiltransferazların ekspresyonunda rol oynayarak antidiyabetik etkinlik gösterebileceğini ifade etmektedir (Bahrami vd., 2020).

2.6. *Teucrium polium* L.

Teucrium polium bitkisinden elde edilen flavonoidlerin içeriğindeki apigenin, kersetin ve rutin gibi bileşenlerin diyabet tedavisinde etki gösterebileceği ifade edilmiştir. Antidiyabetik aktivite olarak β hücre rejenerasyonu ve insülin sekresyonu üzerinde olumlu etkiler gösterebileceği ifade edilmiştir (Albadr vd., 2022).

2.7. *Trigonella foenum-graecum* L.

Trigonella foenum-graecum olarak bilinen çemen otunun hipokolesterolemik ve antidiyabetik özellikleri trigonellin, saponin, 4-hidroksi izolösin ve galaktomannan içeriğinden kaynaklanmaktadır (Idris vd., 2021). Çemen otu üzerinde yapılmış olan çalışmalarda, hiperglisemi ve insülin direncini düşürmede etkili olduğu bilgisi paylaşılmaktadır (Sarker vd., 2024).

2.8. *Vaccinum myrtillus* L.

Yabanmersini olarak bilinen *Vaccinum myrtillus* L. bitkisi sahip olduğu; delfinidin, siyanidin ve malvidin-3-O-glikozitler gibi antosiyaninler sayesinde antidiyabetik özellikler göstermektedir (Boscaro vd., 2022). Yaban mersini içermiş olduğu antosiyaninler sayesinde, oksidatif stresin azaltılması suretiyle diyabet tedavisinde yardımcı olarak kullanılabilir (Chehri vd., 2022).

3. SONUÇ

Poliherbal formülasyonlar farklı etki mekanizmaları aracılığıyla diyabet yönetiminde umut vaat edebilir tedaviler olarak görülebilmektedir. Poliherbal formülasyonlar insülin salgılanmasının uyarılması, pankreas beta hücrelerinin yenilenmesini ve onarımını destekleme, glikoz regülasyonu ve adacıkların iyileştirilmesi, sayısal olarak artması gibi etkiler gösterebilmektedir.

Farklı polibitkisel formülasyonların, bitki türlerinde kullanılan bitki kısımlarındaki ve doz rejimlerindeki değişkenliği tedavilerin karmaşıklığını yansıtmaktadır. Bilimsel çalışmalardan elde edilen kanıtlar umut verici olarak görülmekle birlikte, bu formülasyonların insanlarda etkinliğini ve güvenliğini doğrulamak için daha fazla klinik çalışmaya ihtiyaç vardır.

Farklı çalışmalardaki sonuçlardaki değişkenlik, optimal bitki kombinasyonlarının, dozlarının ve tedavi protokollerinin daha iyi tanımlanması gerektiğini göstermektedir. Genel olarak, poliherbal formülasyonlar, geleneksel diyabet tedavilerine değerli bir tamamlayıcı yaklaşım olarak hizmet edebilir.

KAYNAKLAR

- Ahmed, S., Ali, M. S., Nishigaki, Y., Das, R., Shiblu, S. A., Akter, S., Matsui-Yuasa, I., & Kojima-Yuasa, A. (2025). Black Cumin Seed (*Nigella sativa*) Confers Anti-Adipogenic Effects in 3T3-L1 Cellular Model and Lipid-Lowering Properties in Human Subjects. *Food science & nutrition*, 13(9), e70888. <https://doi.org/10.1002/fsn3.70888>
- Alam, F., Shafique, Z., Amjad, S. T., & Bin Asad, M. H. H. (2019). Enzymes inhibitors from natural sources with antidiabetic activity: A review. *Phytotherapy research: PTR*, 33(1), 41–54. <https://doi.org/10.1002/ptr.6211>
- Albadr, Y., Crowe, A., & Caccetta, R. (2022). *Teucrium polium*: Potential Drug Source for Type 2 Diabetes Mellitus. *Biology*, 11(1), 128. <https://doi.org/10.3390/biology11010128>
- Alhamhoom, Y., Ahmed, S. S., M, R. K., Salahuddin, M. D., D R, B., Ahmed, M. M., Farhana, S. A., & Rahamathulla, M. (2023). Synergistic Antihyperglycemic and Antihyperlipidemic Effect of Polyherbal and Allopolyherbal Formulation. *Pharmaceuticals (Basel, Switzerland)*, 16(10), 1368. <https://doi.org/10.3390/ph16101368>
- American Diabetes Association (ADA) (2014). Diagnosis and classification of diabetes mellitus. *Diabetes care*, 37 Suppl 1, S81–S90. <https://doi.org/10.2337/dc14-S081>
- Ansari, P., Reberio, A. D., Ansari, N. J., Kumar, S., Khan, J. T., Chowdhury, S., Abd El-Mordy, F. M., Hannan, J. M. A., Flatt, P. R., Abdel-Wahab, Y. H. A., & Seidel, V. (2025). Therapeutic Potential of Medicinal Plants and Their Phytoconstituents in Diabetes, Cancer, Infections, Cardiovascular Diseases, Inflammation and Gastrointestinal Disorders. *Biomedicines*, 13(2), 454. <https://doi.org/10.3390/biomedicines13020454>

- Bahrami, G., Sajadimajd, S., Mohammadi, B., Hatami, R., Miraghaee, S., Keshavarzi, S., Khazaei, M., & Madani, S. H. (2020). Anti-diabetic effect of a novel oligosaccharide isolated from *Rosa canina* via modulation of DNA methylation in Streptozotocin-diabetic rats. *Daru: journal of Faculty of Pharmacy, Tehran University of Medical Sciences*, 28(2), 581–590. <https://doi.org/10.1007/s40199-020-00363-8>
- Bharti, S. K., Krishnan, S., & Kumar, A. (2016). Phytotherapy for diabetes mellitus: back to nature. *Minerva endocrinologica*, 41(1), 143–146.
- Brahma, S., Goyal, A. K., Dhamodhar, P., Kumari, M. R., Jayashree, S., Usha, T., & Middha, S. K. (2024). Can Polyherbal Medicine be used for the Treatment of Diabetes? - A Review of Historical Classics, Research Evidence and Current Prevention Programs. *Current diabetes reviews*, 20(2), e140323214600. <https://doi.org/10.2174/1573399819666230314093721>
- Boscaro, V., Rivoira, M., Sgorbini, B., Bordano, V., Dadone, F., Gallicchio, M., Pons, A., Benetti, E., & Rosa, A. C. (2022). Evidence-Based Anti-Diabetic Properties of Plant from the Occitan Valleys of the Piedmont Alps. *Pharmaceutics*, 14(11), 2371. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14112371>
- Chehri, A., Yarani, R., Yousefi, Z., Shakouri, S. K., Ostadrahimi, A., Mobasser, M., & Araj-Khodaei, M. (2022). Phytochemical and pharmacological anti-diabetic properties of bilberries (*Vaccinium myrtillus*), recommendations for future studies. *Primary care diabetes*, 16(1), 27–33. <https://doi.org/10.1016/j.pcd.2021.12.017>
- Dawane, J. S., Pandit, V. A., Deshpande, S. S., & Mandpe, A. S. (2016). Preventive and Protective Effect of Nishamalaki in STZ Induced Diabetic Complications in Wistar Rats. *Journal of clinical and diagnostic research*: JCDR, 10(6), FF01–FF4. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2016/17940.7912>

- Fagbohun, O. F., Awoniran, P. O., Babalola, O. O., Agboola, F. K., & Msagati, T. A. M. (2020). Changes in the biochemical, hematological and histopathological parameters in STZ-Induced diabetic rats and the ameliorative effect of *Kigelia africana* fruit extract. *Heliyon*, 6(5), e03989. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03989>
- Firdous, S. M., Irfan, Z., Giri, S., & Asaba, N. S. (2025). Unravelling the role of natural herbs for the management of diabetes mellitus. *Diabetology & metabolic syndrome*, 17(1), 398. <https://doi.org/10.1186/s13098-025-01904-4>
- Ghafouri, A., Jafari Karegar, S., Hajiluian, G., Hosseini, S., Shidfar, S., Kamalinejad, M., Hosseini, A. F., Heydari, I., & Shidfar, F. (2023). The effects of aqueous and ethanolic extracts of *Rheum ribes* on insulin-resistance and apolipoproteins in patients with type 2 diabetes mellitus: a randomized controlled trial. *BMC complementary medicine and therapies*, 23(1), 46. <https://doi.org/10.1186/s12906-023-03878-0>
- IDF (2025). <https://diabetesatlas.org/> 16.09.2025
- Idris, S., Mishra, A., & Khushtar, M. (2021). Recent Therapeutic Interventions of Fenugreek Seed: A Mechanistic Approach. *Drug research*, 71(4), 180–192. <https://doi.org/10.1055/a-1320-0479>
- Islam, M. Z., Akter, J., Hossain, M. A., Islam, M. S., Islam, P., Goswami, C., Nguyen, H. T. T., & Miyamoto, A. (2024). Anti-Inflammatory, Wound Healing, and Anti-Diabetic Effects of Pure Active Compounds Present in the Ryudai Gold Variety of *Curcuma longa*. *Molecules* (Basel, Switzerland), 29(12), 2795. <https://doi.org/10.3390/molecules29122795>
- Jain, A., Jangid, T., Jangir, R. N., & Bhardwaj, G. S. (2025). Antidiabetic activity of polyherbal formulations: a comprehensive review. *Protoplasma*, 262(5), 1031–1052. <https://doi.org/10.1007/s00709-025-02057-x>

- Javid, H., Sajadimajd, S., Bahrami, M., Bahrami, G., Mohammadi, B., Khazayel, S., & Miraghaee, S. S. (2024). Rosa canina extract relieves methylation alterations of pancreatic genes in STZ-induced diabetic rats: Gene methylation in diabetic rats treated with an extract. *Molecular biology reports*, 51(1), 711. <https://doi.org/10.1007/s11033-024-09399-4>
- Karole, S., Shrivastava, S., Thomas, S., Soni, B., Khan, S., Dubey, J., Dubey, S. P., Khan, N., & Jain, D. K. (2019). Polyherbal Formulation Concept for Synergic Action: A Review. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 9(1-s), 453-466. <https://doi.org/10.22270/jddt.v9i1-s.2339>
- Khaliq, T., Sarfraz, M., & Ashraf, M. A. (2015). Recent Progress for the Utilization of Curcuma longa, Piper nigrum and Phoenix dactylifera Seeds against Type 2 Diabetes. *The West Indian medical journal*, 64(5), 527–532. <https://doi.org/10.7727/wimj.2016.176>
- Khan, S. S., & Zaidi, K. U. (2023). Protective Effect of Nigella sativa Seed Extract and its Bioactive Compound Thymoquinone on Streptozotocin-induced Diabetic Rats. *Cardiovascular & hematological agents in medicinal chemistry*, 22(1), 51–59. <https://doi.org/10.2174/1871525721666221221161742>
- Mahmoud, V. L., Shayesteh, R., Foong Yun Loh, T. K., Chan, S. W., Sethi, G., Burgess, K., Lee, S. H., Wong, W. F., & Looi, C. Y. (2024). Comprehensive review of opportunities and challenges of ethnomedicinal plants for managing type 2 diabetes. *Heliyon*, 10(23), e39699. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39699>
- Nohutcu, L., Tunçtürk, M., Tunçtürk, R., Şelem, E., & Eroğlu, H. (2025a). Determination of Morphological and Quality Characteristics of Naturally Growing Thymus kotschyanus Boiss. & Hohen. var. kotschyanus Populations Around of Van/Türkiye. *Plants*, 14(5), 729.

- Nohutcu, L., Tuncturk, R., Selem, E., Tuncturk, M., & Çınar, O. (2025b). Physicochemical, Biochemical, and Essential Oil Diversity among Peppermint (*Mentha× piperita* L.“Almira”, *Mentha× piperita* L.“Granada”, and *Mentha× piperita* L.“Multimentha”) Cultivars. Polish Journal of Environmental Studies.
- Padhi, S., Nayak, A. K., & Behera, A. (2020). Type II diabetes mellitus: a review on recent drug based therapeutics. *Biomedicine & pharmacotherapy* = *Biomedecine & pharmacotherapie*, 131, 110708. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.110708>
- Parasuraman, S., Thing, G. S., & Dhanaraj, S. A. (2014). Polyherbal formulation: Concept of ayurveda. *Pharmacognosy reviews*, 8(16), 73–80. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.134229>
- Paul, S., & Majumdar, M. (2022). Comparative study of six antidiabetic polyherbal formulation for its multimodal approaches in diabetes management. *3 Biotech*, 12(5), 114. <https://doi.org/10.1007/s13205-022-03166-7>
- Pereira, R. A., Hey, A., Jesus, A. B., Marin, A. T., Fiorini, F., Corassa, R., Goes, A. K. S., Grolli, M., Danguì, A. Z., Wouk, J., Prasiewicz, A., Oldoni, T. L. C., Parpinello, G. P., Tylewicz, U., Carraro, E., & Malfatti, C. R. M. (2024). Biochemical and histological effects of the subchronic treatment with a beer containing *Baccharis dracunculifolia* in an experimental model of diabetes. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, 96(suppl 3), e20231369. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202420231369>
- Petchi, R. R., Vijaya, C., & Parasuraman, S. (2014). Antidiabetic activity of polyherbal formulation in streptozotocin - nicotinamide induced diabetic wistar rats. *Journal of traditional and complementary medicine*, 4(2), 108–117. <https://doi.org/10.4103/2225-4110.126174>

- Reddy, K. S., Sudheer, A., Pradeepkumar, B., & Reddy, C. S. (2019). Effect of a polyherbal formulation in streptozotocin-induced diabetic nephropathy in wistar rats. *Indian journal of pharmacology*, 51(5), 330–336. https://doi.org/10.4103/ijp.IJP_217_18
- Roney, M., Huq, A. K. M. M., Rullah, K., Zamri, N. B., & Mohd Aluwi, M. F. F. (2025). Curcumin, a bioactive compound of Turmeric (*Curcuma longa*) and its derivatives as α -amylase and α -glucosidase inhibitors. *Cell biochemistry and biophysics*, 83(1), 53–71. <https://doi.org/10.1007/s12013-024-01477-5>
- Sarker, D. K., Ray, P., Dutta, A. K., Rouf, R., & Uddin, S. J. (2024). Antidiabetic potential of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*): A magic herb for diabetes mellitus. *Food science & nutrition*, 12(10), 7108–7136. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4440>
- Sridevi N. & Thirumal M. (2025). Evaluation of polyherbal synergy against diabetes: in-vitro analysis. *Future science OA*, 11(1), 2468128. <https://doi.org/10.1080/20565623.2025.2468128>
- Suvarna, R., Shenoy, R. P., Hadapad, B. S., & Nayak, A. V. (2021). Effectiveness of polyherbal formulations for the treatment of type 2 Diabetes mellitus - A systematic review and meta-analysis. *Journal of Ayurveda and integrative medicine*, 12(1), 213–222. <https://doi.org/10.1016/j.jaim.2020.11.002>
- Suvarna, R., Suryakanth, V. B., Bakthavatchalam, P., Kalthur, G., Nayak M, D., Prabhu, M. M., Hadapad, B. S., & Shenoy, R. P. (2023). Acute and sub-chronic toxicity of Liberin, an anti-diabetic polyherbal formulation in rats. *Journal of Ayurveda and integrative medicine*, 14(6), 100804. <https://doi.org/10.1016/j.jaim.2023.100804>
- Szablewski L. (2025). Associations Between Diabetes Mellitus and Neurodegenerative Diseases. *International journal of molecular sciences*, 26(2), 542. <https://doi.org/10.3390/ijms26020542>

- Selem, E., Tuncurk, R., Nohutcu, L., & Tuncurk, M. (2025a). Effects of Different Salt Concentrations and Ascorbic Acid Applications on the Morphological, Physiological and Photosynthetic Pigment Traits of Medicinal Sage. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 13(s1), 2512–2520. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v13is1.2512-2520.8211>
- Selem, E., Tuncurk, R., Nohutcu, L., Çınar, O., & Tuncurk, M. (2025,b). Study on some chemical parameters and essential oil compositions in two *Origanum* species grown in Van Region, Turkey. *Journal of Elementology*, 30(3).
- TEMED Diabetes Mellitus ve Komplikasyonlarının Tanı, Tedavi ve İzlem Kılavuzu - 2024, https://file.temd.org.tr/Uploads/publications/guides/documents/diabetes_mellitus2024.pdf Erişim tarihi 26.06.2024
- Theodorakopoulou, A., Pylarinou, I., Anastasiou, I. A., & Tentolouris, N. (2025). The Putative Antidiabetic Effect of *Hypericum perforatum* on Diabetes Mellitus. *International journal of molecular sciences*, 26(1), 354. <https://doi.org/10.3390/ijms26010354>
- Tunçtürk, R., Yolcu, M. S., Tunçtürk, M., Şelem, E., & Nohutçu, L. (2024a). Investigation of the Biochemical Content of Some Plant Microgreens From the Asteraceae Family. *Yüzüncü Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 34(4), 621-628.
- Tunçtürk, R., Yolcu, M. S., Tunçtürk, M., Şelem, E., & Nohutçu, L. (2024b). Bazı *Salvia L.* Türlerine Ait Mikroyeşillerin Biyokimyasal ve Besin Elementi İçeriklerinin Araştırılması. *Akademik Ziraat Dergisi*, 13(1), 149-158.
- Van der Schueren, B., Vrijlandt, P., Thomson, A., Janssen, H., & Dunder, K. (2024). New guideline of the European Medicines Agency (EMA) on the clinical investigation of medicinal products in the treatment and

prevention of diabetes mellitus. Diabetologia, 67(7), 1159–1162.
<https://doi.org/10.1007/s00125-024-06162-z>

BÖLÜM 15

BİTKİSEL ÜRETİMDE VERİM VE KALİTEYİ ARTTIRAN YENİLİKÇİ UYGULAMALAR

Doç. Dr. Solmaz NAJAFI¹,
Dr. Öğr. Üyesi Burak ÖZDEMİR²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17639145>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye.
solmaznajafi@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-1011-7184.

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye.
bozdemir@yyu.edu.tr, Orcid ID: 000-0002-7766-4919.

GİRİŞ

Küresel nüfusun sürekli artışıyla birlikte gıda talebinin de hızla yükselmesi su, işlenebilir arazi ve enerji gibi temel doğal kaynakların giderek tükenmesine yol açmaktadır. Bu durum, geleneksel tarım sistemlerinin gıda güvenliğini sağlama kapasitesini ciddi biçimde zorlamaktadır. Bu bağlamda, modern tarım teknolojilerinin geliştirilmesi ve üretim süreçlerine entegre edilmesi, sürdürülebilir ve kaynak açısından verimli bir üretim modeli oluşturmak adına kritik bir adım olarak değerlendirilmektedir. Akıllı tarım, bu teknolojik dönüşümün temel unsurlarından biri olarak, verim kayıplarını en aza indirmeye, gübre ve diğer tarımsal girdilerin kullanımını optimize etmeye ve çevresel etkileri azaltmaya önemli katkılar sunmaktadır. Bu bölümde, güncel tarım teknolojilerindeki gelişmeler ile yenilikçi üretim sistemleri ele alınmakta; söz konusu yeniliklerin, sürdürülebilir gıda üretimi ve modern tarım kapsamında etkin kaynak yönetimini destekleme potansiyelleri vurgulanmaktadır (Vishnoi ve Goel, 2024; Chen, 2025; Kabato vd., 2025; Raj ve Prahadeeswaran, 2025).

Modern tarımın babası kimdir?

Norman Ernest Borlaug (25 Mart 1914 – 12 Eylül 2009), modern tarımın öncülerinden ve Yeşil Devrim'in başlıca mimarlarından biri olarak tanınan Amerikalı tarım bilimcinin, bitki ıslahı alanındaki çalışmaları, özellikle yüksek verimli ve hastalıklara dayanıklı buğday çeşitlerinin geliştirilmesi, küresel gıda üretiminde büyük bir dönüşüm yaratmıştır. Bu yenilikler, gelişmekte olan ülkelerde açlık ve kıtlığın azalmasına önemli katkılar sağlamıştır. Küresel gıda güvenliği üzerindeki derin etkisi ve artan tarımsal verimlilik yoluyla barışa yaptığı katkılar nedeniyle Borlaug, 1970 yılında Nobel Barış Ödülü ile onurlandırılmıştır. Onun mirası, günümüz tarım bilimi üzerinde etkisini sürdürmekte ve büyüyen dünya nüfusunun gıda güvenliğini sağlamada inovasyonun, bilimsel araştırmanın ve sürdürülebilir uygulamaların önemini vurgulamaya devam etmektedir (Billings ve Chandler, 2025).



Şekil 1. Bu fotoğraf, Borlaug'un 1970 yılında Nobel Barış Ödülü'nü kazandığı dönemde çekilmiştir (World Bank., 2017).

Sanayileşmiş ülkelerdeki tarımsal gelişime ilişkin değerlendirmeler, önemli bir gerçeği ortaya koymaktadır: Bu ülkeler, sanayi ve tarım arasında bir öncelik tercihi yapmak durumunda kaldıklarında, başlangıçta tarımsal ilerlemeye ağırlık vermiştir. Bu tercih, sürdürülebilir sanayileşme ve ekonomik istikrar için güçlü bir temel oluşturmuştur. Buna karşılık, birçok gelişmekte olan ülke tarihsel olarak tarım sektörünü ikinci plana itmiş ve hızlı sanayileşmeyi daha gerekli bulmuştur. Bu yaklaşım, tarımsal üreticilerin özellikle çiftçiler ve hayvancılıkla uğraşanların modern bilgi ve iletişim teknolojilerine (BİT) entegrasyonunda geri kalmalarına yol açmıştır. (World Bank., 2017).

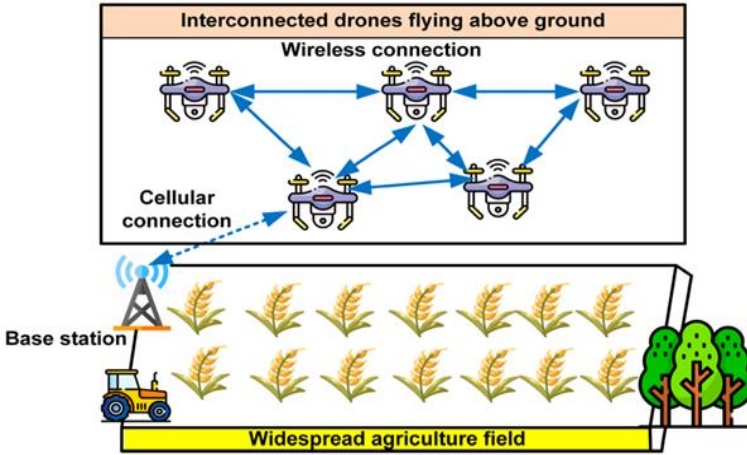
Tarımsal üretim süreçlerine teknolojinin entegrasyonu, üretim kayıplarını azaltma, verimliliği artırma, ürün çeşitliliğini geliştirme ve değer zincirlerinin genel etkinliğini artırma potansiyeline sahiptir. Örneğin, bir çiftçi dijital platformlar ve e-öğrenme araçları vasıtasıyla yerel koşullara en uygun tohum çeşitleri, ekim zamanının planlanması, uygun sulama ve gübreleme programları ile hasat sonrası yönetim teknikleri hakkında bilgi edinebilir. Bu tür bilgiler, tarımsal üretimin hem kalitesini hem de miktarını önemli ölçüde

arttırmaktadır. Tarımsal üretim süreçlerine teknolojinin etkin biçimde yaygınlaşması ve kullanımı; verim kayıplarını azaltma, üretimi artırma, ekim ve hasat yönetiminin doğru şekilde planlanması ve nihayetinde geçim kaynaklarını iyileştirme imkânı sunmaktadır. Bu nedenle, tarımda bilgi ve iletişim teknolojilerinin (BİT) entegrasyonu yalnızca bir modernizasyon aracı değil, aynı zamanda gelişmekte olan bölgelerde kırsal kalkınma ve gıda güvenliğini sağlama açısından stratejik bir gerekliliktir. Çiftçilere elektronik tarımsal hizmetlere erişim imkânı sağlandığında, tarımsal, bahçecilik ve hayvancılık faaliyetlerini dijital ve mobil platformlar üzerinden daha etkin biçimde yönetebilmektedirler. Akıllı telefonlar veya internet tabanlı sistemler aracılığıyla taleplerini iletebilir, izin süreçlerini tamamlayabilir, ürünlerini kaydedip satışa sunabilir ve tarımsal otoriteler ya da özel kuruluşlarla doğrudan iletişim kurabilirler. Bu sayede şahsen ziyaretlere duyulan ihtiyaç en aza inerken, işlemler daha hızlı ve şeffaf hâle gelmektedir. Bu dijital dönüşüm, tarımsal operasyonları sadeleştirir, idari yükleri azaltır ve değer zinciri boyunca verimlilik ile şeffaflığı artırır. Her ne kadar tarımsal üretimi etkileyen çok sayıda faktörün tahmin edilmesi karmaşık bir süreç olsa da bu süreç imkânsız değildir. Sürdürülebilir kalkınmanın temel göstergelerinden biri, ilerici bir toplumun tüm sektörlerinde bilginin üretimi ve yayılımının genişlemesidir. Tarım sektörü, ulusal kalkınmanın stratejik dayanaklarından biri olarak bu hedefe ulaşmada hayati bir rol oynamaktadır. Tarımsal büyümenin sürdürülebilir biçimde sağlanabilmesi için, ulusal ve uluslararası düzeyde etkili planlamaların yapılması zorunludur. Bu doğrultuda, mevcut ve potansiyel tarımsal kapasitenin en verimli şekilde değerlendirilmesi; bilginin toplanması, analiz edilmesi ve uygulamaya aktarılmasında köklü bir dönüşümü gerektirmektedir. Böyle bir yaklaşım, idari ve teknik tüm düzeylerde kanıta dayalı karar alma süreçlerini güçlendirir ve uzun vadeli planlama için sağlam bir zemin oluşturur. Bilimsel ve ekonomik açıdan sağlam bir tarımsal kalkınma modeli oluşturmak, üretim, sürdürülebilirlik ve yenilikçilik üzerinde etkili olan etkileşimli unsurların derinlemesine analiz edilmesini gerektirir. Ülkemiz, birçok gelişmekte olan ülke gibi, tarım sistemlerinde bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanımını yaygınlaştırma sürecindedir. Modern tarım teknolojileri, insan gücüne olan bağımlılığı azaltmayı; doğruluk, verimlilik ve kârlılığı arttırmayı hedeflemektedir. Gelişmiş ülkeler, bu teknolojileri başarıyla uygulayarak kayda değer ekonomik ve çevresel kazanımlar elde etmiştir

(Deichmann ve Schmold, 2016; Chandio vd., 2025). Bu bölümün devamında, sürdürülebilir gıda üretiminin geleceğini belirleyen başlıca modern tarım yöntemleri ve teknolojileri incelenecektir.

1. HASSAS TARIM

Hassas tarım (precision agriculture), tarımsal üretim süreçlerinin en uygun şekilde yönetilmesini ve kaynakların verimli kullanılmasını amaçlayan yenilikçi bir yaklaşımdır. Bu sistem, doğru, hızlı ve güvenilir ölçümlerle elde edilen verilerin analizine dayanır. Elde edilen bilgiler, üretim sürecinin her aşamasında kararların iyileştirilmesine ve tarımsal girdilerin yerel koşullara göre en verimli biçimde kullanılmasına olanak tanır. Hassas tarım; nesnelerin interneti (IoT), yapay zekâ ve makine öğrenimi (AI/ML), drone teknolojileri, uzaktan algılama, robotik sistemler ve büyük veri analitiği gibi ileri teknolojileri bir araya getirerek tarımsal operasyonların otomasyonunu mümkün kılar. Bu entegrasyon sayesinde üretim verimliliği artarken çevresel etkiler azalır ve sürdürülebilir tarım uygulamaları güçlenir (Soussi vd., 2024; Padhiary vd., 2025).



Şekil 2. Hassas tarım alanında sensörler, dronlar ve yapay zekâ teknolojisi gibi çeşitli yeni araçların kullanımı (Agrawal ve Arafat, 2024).

2. DİKEY TARIM

Dikey tarım, yeni tarımsal teknolojilerden biri olarak, geniş yatay alanlarda ürün yetiştirmek yerine binalar ve kuleler gibi dikey tarım alanlarının

kullanılmasını içermektedir. Dikey tarımda, her kat bağımsız bir birim olarak işlev görür ve aydınlatma, sulama, havalandırma ve sıcaklık kontrol sistemlerine sahiptir. Bu yöntem, geleneksel tarımın alan sınırlamalarına çözüm getiren yenilikçi bir uygulama olarak öne çıkmaktadır. Modern tarımda, üreticiler sınırlı bir alanda daha fazla ürün elde etmek için mevcut alanı en verimli şekilde kullanabilmektedir. Ayrıca, dikey tarımda hidroponik veya akuaponik sistemlerin kullanılmasıyla su tüketimi büyük ölçüde azalmaktadır. Dikey tarımın diğer avantajları arasında, pestisit ve kimyasal gübre kullanımının azaltılması sayesinde üretilen ürünlerin daha sağlıklı ve sürdürülebilir olması yer almaktadır (Benke ve Tomkins, 2017; Al-Kodmany, 2018).



Şekil 3. Japonya'nın Kyoto kentinde günde 30.000 baş marul üretebilen otomatik dikey tarım tesisi Techno Farm Keihanna (Despommier, 2019).

3. HİDROPONİK SİSTEMLER

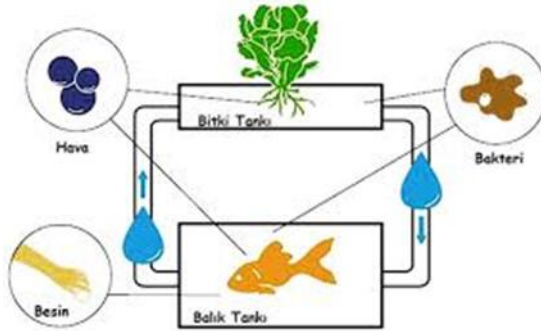
Geleneksel tarım sistemlerinde bitkiler hem yapısal destek hem de besin kaynağı işlevi gören toprakta yetiştirilir. Ancak tarım bilimindeki son gelişmeler, üretim verimliliğini arttırmanın yanı sıra çevresel etkileri en aza indiren iki yenilikçi topraksız yetiştirme yöntemini hidroponik ve akuaponik sistemleri tanıtmıştır. Hidroponik sistem, bitkilerin toprak yerine besin açısından zengin bir su çözeltisinde yetiştirildiği modern bir üretim yöntemidir. Bu çözeltide, bitki gelişimi için gerekli tüm makro ve mikro besin elementleri bulunur; böylece bitki kökleri bu besinleri doğrudan ve verimli bir şekilde alabilir. Hidroponik sistemler, su ve gübrenin kontrollü biçimde kullanılmasını sağlayarak çevresel baskıyı azaltır; aynı zamanda daha hızlı büyüme ve yıl boyunca kesintisiz üretim imkânı sunar (Barbosa vd., 2015; Tehulie vd., 2025).



Şekil 4. Hidroponik sistemde yapraklı sebzelerin besin çözeltileriyle topraksız ortamda yetiştirilmesi örneği.

4. AKUAPONİK SİSTEMLER

Akuaponik sistemler, hidroponik ve akuakültür prensiplerini birleştiren entegre bir üretim modelini temsil eder. Bu kapalı döngü tarım sisteminde, bitkiler balık yetiştiriciliği sisteminden elde edilen, besin açısından zengin su kullanılarak yetiştirilir. Balıkların metabolik atıkları özellikle dışkı formundaki atıklar bitkilerin büyümesi için doğal bir besin kaynağı işlevi görür. Bitkiler bu besinleri emerek suyu arıtır ve temizlenen su yeniden balık tanklarına döndürülür. Bu simbiyotik ilişki, su kullanımını optimize eden, sentetik gübre ihtiyacını azaltan ve çevresel sürdürülebilirliği destekleyen kaynak açısından verimli bir üretim döngüsü oluşturur (Love vd., 2015).



Şekil 5. Akuaponik Sistem Şeması (Aquaponicsplan, 2015; Kargın ve Bilgüven, 2018).

5. YAPAY ZEKÂ (ARTİFİCİAL INTELLIGENCE)

Yapay zekâ (YZ), veri yönetimi ve karar verme süreçlerini geliştirme kapasitesi sayesinde modern tarım sistemlerinin ayrılmaz bir bileşeni hâline gelmiştir. Nesnelerin İnterneti (IoT) cihazlarıyla entegrasyonu yoluyla, YZ; dijital olmayan ve yapılandırılmamış tarımsal verilerin toplanmasını, bu verilerin yapılandırılmış dijital formatlara dönüştürülmesini sağlayarak ileri düzey analiz ve hassas yönetim uygulamalarını mümkün kılar. Bu analitik yetenekler sayesinde YZ, kaynak kullanımını optimize eder, atık oluşumunu en aza indirir ve daha sürdürülebilir tarım uygulamalarının benimsenmesine katkı sağlar. Örneğin, YZ algoritmaları bireysel bitkilerin su ve besin gereksinimlerini yüksek doğrulukla tahmin edebilir; bu da aşırı sulama ve gübre kullanımını önleyerek doğal kaynakların korunmasına ve üretim maliyetlerinin düşürülmesine yardımcı olur. Ayrıca öngörücü YZ modelleri, giderek artan biçimde hava koşullarını tahmin etmek, toprak ve bitki sağlığını izlemek, girdi kullanımını optimize etmek ve sera gazı emisyonlarını azaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Bununla birlikte, yüksek teknolojik altyapı maliyetleri, çiftçiler arasında özel eğitim gereksinimi ve kırsal bölgelerde sınırlı dijital iletişim ağlarının varlığı gibi etmenler, YZ' nin tarımda yaygın biçimde benimsenmesini engellemektedir (Liakos vd., 2018).

6. BİYOTEKNOLOJİ

Tarımsal biyoteknoloji, verimliliği artırmak ve çevresel sürdürülebilirliği desteklemek amacıyla gelişmiş biyoteknolojik yöntemlerin bütünleştirilmesiyle modern sürdürülebilir tarımın temel taşlarından biri hâline gelmiştir. Küresel tarımsal biyoteknoloji pazarı, 2023 yılında yaklaşık 116 milyar ABD doları değerindeyken, 2024-2034 döneminde yıllık bileşik büyüme oranının (%8,8 CAGR) etkisiyle 293,35 milyar ABD dolarına ulaşması öngörülmektedir. Bu büyüme; genetik mühendisliği, doku kültürü ve biyolojik temelli tarımsal girdilerin geliştirilmesi gibi yeniliklerle desteklenmektedir. Bu yenilikler, ürün verimini artırmakta, zararlılara karşı direnci güçlendirmekte ve kaynak kullanım etkinliğini iyileştirerek tarımsal üretim sistemlerinin sürdürülebilirliğine önemli katkılar sağlamaktadır. Bu alandaki en önemli gelişmelerden biri, biyo-gübreler ve biyo-pestisitlerin geliştirilmesi ve uygulanmasıdır. Bu biyolojik temelli çözümler, mikroorganizmaları kullanarak toprak verimliliğini artırır ve bitkileri zararlılardan korur; böylece kimyasal

gübre ve pestisitlere çevre dostu bir alternatif sunar. Azot fikse eden bakteriler ve fosfat çözücü mikroorganizmalar gibi biyo-gübreler, topraktaki besin maddelerinin bitkiler tarafından daha etkin kullanılmasını sağlayarak bitki gelişimini teşvik eder ve sentetik gübre ihtiyacını azaltır. Biyo-pestisitler ise bakteriler, mantarlar ve bitki özleri gibi doğal organizmalardan türetilir; zararlılara karşı hedefe yönelik kontrol sağlar ve tarımsal koruma stratejilerinin ekolojik ayak izini azaltır.

Bu teknolojilerin benimsenmesi, yalnızca sürdürülebilir tarım uygulamalarını desteklemekle kalmayıp, aynı zamanda tarımın çevresel etkilerini azaltmayı amaçlayan küresel girişimlerle de uyumluluk göstermektedir. Bununla birlikte, tarımsal biyoteknolojinin yaygın biçimde uygulanmasının önünde bazı zorluklar bulunmaktadır. Yüksek araştırma ve geliştirme maliyetleri, düzenleyici onay süreçleri ve altyapı eksiklikleri, özellikle gelişmekte olan bölgelerdeki küçük ölçekli üreticiler için önemli engeller oluşturabilir. Ayrıca, çiftçilerin biyoteknolojik yenilikleri etkin biçimde uygulayabilmeleri için gerekli bilgi ve becerilere sahip olmalarını sağlayacak kapsamlı eğitim ve farkındalık programlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu zorlukların aşılabilmesi için hükümetler, araştırma kurumları ve özel sektör arasında koordineli iş birliği geliştirilmeli; destekleyici politikalar, finansal teşvikler ve bilgi transferi mekanizmaları aracılığıyla tarımsal biyoteknolojinin faydaları, tarımsal değer zincirindeki tüm paydaşlara ulaştırılmalıdır (Coomes vd., 2019).

7. GENOM DÜZENLEME

Genom düzenleme, canlı organizmaların genomlarında kesin ve hedefe yönelik değişiklikler yapılmasına olanak tanıyan yenilikçi bir tarımsal biyoteknoloji yöntemidir. CRISPR-Cas9 gibi moleküler araçlar kullanılarak bitkiler, hayvanlar ve tarımsal açıdan önemli mikroorganizmalardaki belirli genler hedef alınabilir; bu genler etkisiz hâle getirilebilir, silinebilir veya istenen şekilde değiştirilebilir. Bu yöntemler sayesinde hayvansal kayıplar önemli ölçüde azaltılabilir, bitki ve hayvan türlerine yeni özellikler kazandırılabilir ve tarımsal üretim sistemlerinin verimliliği artırılabilir (Doudna ve Charpentier, 2014).



Şekil 6. CRISPR-Cas9 teknolojisi ile DNA üzerinde hedefe yönelik gen düzenleme sürecinin şematik gösterimi.

8. YENİLEYİCİ TARIM

Son 10.000 yıllık tarımsal faaliyetler sonucunda, insan etkinlikleri ekili topraklardan yaklaşık 840 milyar ton karbonun kaybolmasına yol açmış ve bu süreçte toprak organik karbonunun yaklaşık %50–70'i atmosfere salınmıştır. Yenileyici tarım, toprak sağlığını yeniden tesis etmek ve korumak, karbon tutulumunu arttırmak ve uzun vadeli tarımsal sürdürülebilirliği teşvik etmek amacıyla geliştirilmiş stratejik bir yaklaşımdır. Teknolojik yenilikler ile yönetim uygulamalarının entegrasyonu sayesinde yenileyici tarım, topraklarda karbonun emilimini ve tutulmasını arttırarak iklim değişikliğinin etkilerini azaltmaya ve ekosistem dayanıklılığını güçlendirmeye katkı sağlar.

Yenileyici tarımın uygulanmasını destekleyen çeşitli yöntemler ve teknolojik araçlar bulunmaktadır. Tarımsal yönetim yazılımları, ekim planlaması, hayvancılık yönetimi, envanter kontrolü, bütçeleme ve tedarik zinciri yönetimi gibi süreçleri kolaylaştırarak çiftçilerin toprak sağlığını iyileştiren uygulamaları planlamasına ve izlemesine olanak tanır. GPS destekli hassas tarım teknolojileri, gübre ve tohumların değişken oranlarda doğru şekilde uygulanmasını sağlayarak girdi kullanımını optimize ederken çevresel etkileri en aza indirir. LED aydınlatma sistemleri ise spektral dağılım, yoğunluk ve fotoperiyot açısından doğal güneş ışığını taklit ederek kontrollü ortamlarda bitki büyümesi için optimum koşullar oluşturur. Ayrıca topraksız tarım yöntemleri, özellikle hidroponik sistemler, bitkilerin besin açısından zengin su çözeltilerinde yetişmesine imkân tanıyarak küçük ölçekli çiftliklerde sürdürülebilirliği ve biyolojik çeşitliliği destekler.

Yapay zekâ (YZ) ve uydu görüntülerinin entegrasyonu da yenileyici tarım uygulamalarını daha ileri bir seviyeye taşımaktadır. Uzaktan algılama verilerinin YZ tabanlı analizi, çiftlik yöneticilerinin bitki sağlığını izlemelerine, toprak koşullarını değerlendirmelerine, kaynak tahsisini optimize etmelerine ve sel ya da kuraklık gibi aşırı hava olaylarını önceden tahmin etmelerine olanak tanır. Bu gelişmiş araçlar ve yöntemlerin bir araya gelmesiyle yenileyici tarım; sürdürülebilir gıda üretimi, ekosistem hizmetlerinin geliştirilmesi ve geleneksel tarım uygulamalarının çevresel etkilerinin azaltılması için bilimsel temelli bir çerçeve sunmaktadır (Lal, 2020; Newton vd., 2020).

9. PERMAKÜLTÜR

Permakültür, doğal ekosistemlerde gözlemlenen desenlerden ve süreçlerden ilham alan bir dizi tasarım ilkesini içeren, geleneksel uygulamaların ötesine geçen ileri bir tarım yaklaşımıdır. Bu yöntem, ekolojik ilişkileri taklit eden, kaynak kullanımını optimize eden ve biyolojik çeşitliliği teşvik eden dayanıklı tarımsal sistemlerin oluşturulmasına odaklanır.

Permakültürde amaç yalnızca üretimi sürdürmek değil; aynı zamanda çevreyle uyumlu, ekosistem hizmetlerini geliştiren ve uzun vadeli ekolojik istikrarı destekleyen sistemler kurmaktır. Enerji verimliliği, besin döngüsü ve habitat çeşitliliği gibi temel ilkeleri entegre ederek permakültür, hem üretken hem de çevresel açıdan sürdürülebilir tarım alanlarının tasarımı için bilimsel temelli bir çerçeve sunar (Durkaya, 2025; Mosuela, 2025).



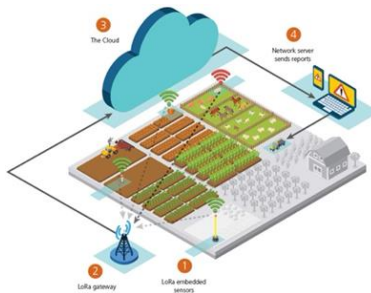
Şekil 7. Permakültür tasarım ilkeleriyle oluşturulmuş, biyolojik çeşitliliği yüksek ve doğal ekosistem döngülerini taklit eden bir tarımsal üretim alanı örneği.

10. AGROEKOLOJİ

Agroekoloji, gıda güvenliği, iklim değişikliği ve çevresel bozulma gibi küresel sorunlara çözüm sunabilen kapsamlı ve bilimsel bir yaklaşımdır. Ekolojik tarım olarak da adlandırılan bu yaklaşımda, dış girdilerin yoğun kullanımına dayalı geleneksel yöntemlerin aksine, tarım ekosisteminin yönetimi ve doğal süreçlerin denetimine öncelik verilir. Agroekoloji, doğal ekosistem işleyişini temel alarak tarımsal üretimde biyolojik çeşitliliği arttırmayı, kaynak kullanımını optimize etmeyi ve çevresel sürdürülebilirliği güçlendirmeyi amaçlar. Bitkiler, hayvanlar, insanlar ve çevre arasındaki etkileşimleri bütüncül bir bakış açısıyla ele alan agroekolojik sistemler, üretim süreçlerinin hem verimliliğini hem de dayanıklılığını artırır (Altieri 2025).

11. AKILLI ÇEVRESEL KONTROL SİSTEMLERİNİN KULLANIMI

Akıllı çevresel kontrol sistemleri, bitkilerin üretimi ve yetiştirilmesinde kullanılan en önemli ileri tarım teknolojilerinden biridir. Bu sistemler, sıcaklık, nem, ışık ve karbon dioksit (CO₂) düzeyi gibi çevresel parametreleri hassas biçimde izlemek ve düzenlemek için gelişmiş sensörler, otomasyon bileşenleri ve yazılımlar kullanır. Bu teknolojiler sayesinde bitki büyümesi için en uygun koşullar sürekli olarak sağlanabilir; böylece hem kaynak israfı önlenir hem de verimlilik artırılır. Özellikle modern sera uygulamalarında akıllı çevresel kontrol sistemleri, üretim sürecinin otomatikleştirilmesi ve enerji verimliliğinin artırılması yoluyla ürün kalitesi ve üretim kapasitesinde önemli iyileşmeler sağlamaktadır (Chai vd., 2016; Chen vd., 2022).



Şekil 8. Akıllı çevresel kontrol sistemlerinin kullanımı (Kaynak: <https://www.postscapes.com/greenhouse-climate-and-control-systems.>)

12. TARIMDA NANOTEKNOLOJİ

Nanoteknoloji, bitki üretimi ve yetiştiriciliğinde kullanılan yenilikçi yöntemlerden biri olarak tarım alanında geniş bir uygulama potansiyeline sahiptir. Nanopartiküller, bitkilerde besin elementlerinin emilimini arttırmak, zararlılar ve hastalıklarla mücadeleyi güçlendirmek ve çevresel stres koşullarına karşı direnci arttırmak amacıyla kullanılmaktadır.

Bu teknoloji, bitki gelişimini destekleyerek üretim verimliliğini arttırmakta ve üretici firmaların daha sağlıklı, yüksek kaliteli ve sürdürülebilir ürünler elde edilmesine katkı sağlamaktadır (Kah, 2019).

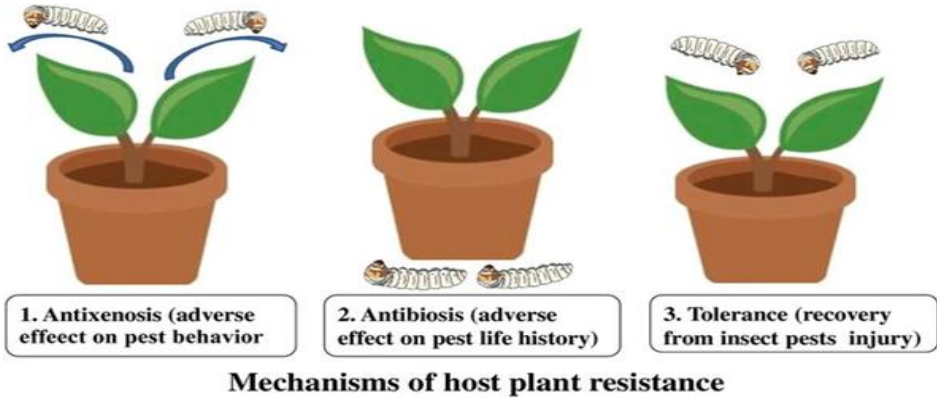
13. ENTEGRE ZARARLI YÖNETİMİ (IPM) YÖNTEMLERİNİN KULLANIMI

Entegre Zararlı Yönetimi (Integrated Pest Management – IPM), bitki üretimi ve yetiştiriciliğinde modern tarımın temel bileşenlerinden biri hâline gelmiş kapsamlı bir yaklaşımdır. Bu yöntem, zararlı organizmaların kontrolünde faydalı böcekler, mikroorganizmalar ve antagonistik mantarlar gibi biyolojik ajanların kullanımını içerir.

IPM stratejileri yalnızca yüksek düzeyde etkili olmakla kalmaz, aynı zamanda çevre açısından da güvenli bir çözüm sunar. Biyolojik kontrol tekniklerinin uygulanması, kimyasal pestisit kullanımını azaltarak sağlıklı, kalıntısız ve çevre dostu ürünlerin elde edilmesini mümkün kılar. Böylece entegre zararlı yönetimi, sürdürülebilir tarım uygulamalarının yaygınlaştırılmasına önemli katkı sağlar (Panda ve Sharma, 2025).

14. ZARARLILARA KARŞI DİRENÇLİ BİTKİLERİN KULLANIMI

Zararlılara karşı dirençli bitkilerin kullanımı, özellikle tıbbi bitkilerin üretimi ve yetiştiriciliğinde benimsenen önemli ileri tarımsal yaklaşımlardan biridir. Genetik mühendisliği teknikleri ya da doğal olarak dirençli türlerin seçimi yoluyla, zararlılar ve hastalıklara karşı yüksek düzeyde dayanıklılık gösteren bitki türleri geliştirilebilmektedir. Bu yöntem, kimyasal pestisitlere olan bağımlılığı azaltırken, aynı zamanda üretim verimliliğini arttırmakta ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının yaygınlaştırılmasına katkı sağlamaktadır (Kumari vd., 2022; Badenes-Pérez, 2025).



Şekil 9. Konukçu bitkilerde zararlılara karşı direnç mekanizmaları: 1) Antixenosis, zararlıların davranışlarını olumsuz etkileyerek bitkiden uzaklaşmalarını sağlar; 2) Antibiosis, zararlıların yaşam döngüsünü olumsuz etkiler; 3) Tolerans, bitkinin zararlı kaynaklı yaralanmalardan iyileşme yeteneğini ifade eder.

15. HASTALIK TESPİTİ İÇİN ERKEN UYARI SİSTEMLERİ

Erken uyarı sistemleri, zararlı ve hastalık yönetiminde kullanılan modern ve yenilikçi teknolojiler arasında yer almaktadır. Bu sistemler, hastalık gelişiminin veya zararlı istilasının erken belirtilerini tespit etmek amacıyla gelişmiş sensörler, görüntüleme teknolojileri ve yapay zekâ tabanlı yazılımlar kullanır.

Bu sayede, bitki üreticileri sorunlar yayılmadan önce önleyici tedbirler alabilir; böylece zamanında müdahale mümkün olur, ekonomik kayıplar en aza indirilir ve ürün kalitesi korunur (Mahlein, 2016).

16. KALİTELİ TOHURLUK KULLANIMI

Bölgesel koşullara uyum sağlamış, hastalıklara karşı dirençli ve yüksek kaliteli tohumlara yatırım yapmak, tarımsal üretimde ürün performansını arttırmanın temel stratejilerinden biridir. Bu tür tohumlar, yüksek çimlenme oranı, gelişmiş canlılık ve biyotik ile abiyotik stres faktörlerine karşı üstün dayanıklılık özellikleri sayesinde üretim süreçlerinde verimliliği ve istikrarı arttırır.

17. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE RİSK YÖNETİMİ

Hava tahminlerinin düzenli olarak izlenmesi ve analiz edilmesi, tarımsal faaliyetlerin planlanması ve yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır. Sıcaklık, nem ve yağıştaki doğal dalgalanmalar hakkında farkındalık sahibi olmak, çiftçilerin olası riskleri öngörmelerine, ekim ve hasat zamanlarını optimize etmelerine ve beklenmedik iklim olaylarının olumsuz etkilerini en aza indirmelerine yardımcı olur. Bu yaklaşım, tarımsal üretimin iklim değişikliğine karşı uyarlanabilirliğini arttırmakta ve risk yönetimi süreçlerine bilimsel bir temel sağlamaktadır (Wreford ve Adger, 2010).



Şekil 10. Tarımsal alanlarda sıcaklık, nem, rüzgâr hızı ve yağış miktarını ölçmek için kullanılan sensörler ve güneş enerjisiyle çalışan otomatik meteoroloji istasyonu örneği.

18. EKİPMAN BAKIMI

Tarımsal ekipman ve makinelerin düzenli olarak bakım ve servislerinin yapılması, verimli, güvenli ve kesintisiz üretim süreçlerinin sürdürülmesi açısından büyük önem taşımaktadır. İyi bakımı yapılmış ekipmanlar, daha yüksek performansla çalışarak mekanik arızaların ortaya çıkma riskini azaltır ve makinelerin kullanım ömrünü uzatır.

Bu uygulama, yalnızca üretkenliği arttırmakla kalmaz, aynı zamanda uzun vadede zaman ve maliyet tasarrufu da sağlar.

19. HASAT SONRASI YÖNETİM

Hasat, tarımsal üretim sürecinin sonu değil, aynı zamanda üretim zincirinin devamı niteliğindedir. Dikkatli ve uygun hasat uygulamaları, fiziksel zararları en aza indirerek ürün kayıplarını azaltır ve böylece kalite ile piyasa değerinin korunmasını sağlar. Uygun depolama sistemlerine yapılan yatırımlar, ürünlerin taşıma ve pazarlama süreçlerinde tazeliğini ve besin değerini korumasını güvence altına alır. Ayrıca çoğu zaman göz ardı edilen hasat sonrası gübreleme uygulamaları, toprak besin elementlerinin yenilenmesi ve bir sonraki ekim sezonuna alanın hazırlanması açısından kritik öneme sahiptir. Bu uygulamalar, uzun vadeli üretkenliğin korunmasına önemli katkı sağlar.

20. EĞİTİM VE FARKINDALIK

Eğitim, tarım sektöründe verimliliğin artırılması ve sürdürülebilir uygulamaların yaygınlaştırılması açısından hayati bir rol oynamaktadır. Modern tarım yöntemlerine dayalı teknik ve bilimsel eğitimler, çiftçilerin en güncel araçlar, teknolojiler ve uygulamalar hakkında bilgi edinmelerini sağlayarak daha verimli üretim stratejilerinin benimsenmesine katkıda bulunur.

Kaynak yönetimi, ileri teknolojilerin kullanımı ve doğal kaynakların sürdürülebilir biçimde değerlendirilmesi konularında farkındalığın artırılması hem yüksek verim hem de gelişmiş ürün kalitesi elde edilmesine olanak tanır.

Ayrıca çiftçilerin eğitimi, çevresel sorumluluk bilincinin güçlenmesine ve yerel kaynakların dikkatli, bilinçli biçimde kullanılmasına katkı sağlayarak uzun vadeli tarımsal sürdürülebilirliği destekler.

21. DEVLET POLİTİKALARI VE ÖNLEMLERİ

Tarım sektöründe devlet desteği ve destekleyici politikalar, verimliliğin artırılması ve sürdürülebilir tarımsal kalkınmanın sağlanması açısından kritik bir rol oynamaktadır. Finansal kaynakların sağlanması, teknolojik yeniliklerin teşvik edilmesi, çiftçilere yönelik uygulamalı eğitimlerin verilmesi ve üretim süreçlerine yönelik kolaylıkların sunulması, tarımsal üretimde verimliliği artıran temel destek önlemleri arasında yer almaktadır. Bunun yanı sıra, piyasaların düzenlenmesi, çiftçi haklarının korunması ve altyapı olanaklarının geliştirilmesine yönelik teşvik edici politikalar da sektörel istikrarı güçlendirmektedir.

Bu tür politikalar, çiftçilerin güvenliğini artırarak daha elverişli üretim koşulları yaratmakta, bunun sonucunda yatırımların artması, teknolojik gelişmelerin hızlanması ve tarımsal üretim zinciri genelinde verimliliğin yükselmesi sağlanmaktadır. Dolayısıyla, devlet desteği ve politika önlemleri, çiftçilerin faaliyetlerini daha güvenli, sürdürülebilir ve finansal olarak güçlü bir biçimde yürütmelerine olanak tanıyarak, tarım sektörünün makro düzeyde rekabet gücünü ve verimliliğini arttırmaktadır.

22. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bitkisel üretimde verim ve kaliteyi artırmaya yönelik yenilikçi uygulamalar, günümüz tarımının sürdürülebilirlik, kaynak verimliliği ve çevresel sorumluluk ilkeleriyle yeniden şekillendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bölümde ele alınan hassas tarım, dikey üretim sistemleri, hidroponik ve akuaponik teknolojiler, yapay zekâ destekli karar mekanizmaları, biyoteknolojik yenilikler, genom düzenleme teknikleri, yenileyici tarım ve agroekolojik yaklaşımlar; yalnızca üretim miktarını artırmakla kalmayıp, aynı zamanda ürün kalitesini yükseltmekte, çevresel etkileri azaltmakta ve kırsal kalkınmayı desteklemektedir.

Ancak bu dönüşüm süreci, teknik altyapı eksiklikleri, eğitim yetersizlikleri, finansal sınırlılıklar ve politika desteği gibi çok boyutlu zorlukları da beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda, tarım sektöründe dijitalleşme ve biyoteknolojik uygulamaların yaygınlaştırılması için devlet destekli teşvik programlarının, Ar-Ge yatırımlarının ve düzenleyici çerçevelerin güçlendirilmesi gerekmektedir. Çiftçilere yönelik teknik eğitimler, dijital okuryazarlık programları ve saha uygulamaları yaygınlaştırılarak yenilikçi teknolojilerin benimsenme oranı artırılmalı; böylece üretim süreçlerinde verimlilik ve kalite artışı sağlanmalıdır.

Tarımsal karar alma süreçlerinde yapay zekâ, nesnelerin interneti (IoT) ve uzaktan algılama gibi veri odaklı teknolojilerin entegrasyonu teşvik edilmeli; bu sayede kaynak kullanımı optimize edilerek çevresel sürdürülebilirlik güçlendirilmelidir. Agroekoloji, permakültür ve yenileyici tarım gibi doğa temelli üretim modelleri desteklenerek ekosistem hizmetleri korunmalı ve biyolojik çeşitlilik teşvik edilmelidir. Ayrıca, hasat sonrası yönetim süreçlerinin iyileştirilmesi, ürün kalitesinin korunması ve değer zincirinin bütünselliğinin sağlanması açısından kritik öneme sahiptir.

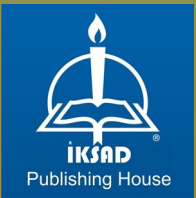
Bu dönüşümün başarısı, yalnızca teknolojik ilerlemelere değil, aynı zamanda çiftçilerin bilgiye erişim düzeyine, farkındalıklarına ve uygulama kapasitelerine bağlıdır. Bu nedenle, eğitim ve farkındalık programları aracılığıyla çevresel sorumluluk bilinci güçlendirilmeli; yerel kaynakların dikkatli ve bilinçli biçimde kullanımı teşvik edilmelidir. Son olarak, ulusal ve uluslararası düzeyde geliştirilecek iş birliği mekanizmaları, bilgi transferi süreçlerini hızlandırarak tarımsal üretim sistemlerinin daha dirençli, verimli ve sürdürülebilir hâle gelmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Agrawal, J., ve Arafat, M. Y. (2024). Transforming Farming: A Review of AI-Powered UAV Technologies in Precision Agriculture. *Drones*, 8(11), 664.
- Al-Kodmany, K. (2018). The Vertical Farm: A Review of Developments and Implications for the Vertical City. *Buildings*, 8(2), 24.
- Altieri, M. A., Salazar-Rojas, A., Nicholls, C. I., ve Giacomelli, A. (2025). Unleashing the Potential of Urban Agroecology to Reach Biodiversity Conservation, Food Security and Climate Resilience. *Agriculture*, 15(9), 909.
- Badenes-Pérez, F. R. (2025). Plant–Insect Interactions: Host Plant Resistance, Biological Control, and Pollination. *Plants*, 14(10), 1488.
- Barbosa, G. L., Gadelha, F. D. A., Kublik, N., Proctor, A., Reichelm, L., Weissinger, E., Wohlleb, G. M., ve Halden, R. U. (2015). Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. conventional agricultural methods. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(6), 6879–6891.
- Benke, K., ve Tomkins, B. (2017). Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 13(1), 13–26. <https://doi.org/10.1080/15487733.2017.1394054>
- Billings, B. H., ve Chandler, R. F. (2025). Green Devolution. *Studies of the weatherhead east asian institute, columbia university*, 171.
- Chen, X. (2025). The role of modern agricultural technologies in improving agricultural productivity and land use efficiency. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1675657.
- Chai, Q., Gan, Y., Zhao, C., Xu, H., Waskom, R. M., Niu, Y., ve Siddique, K. H. M. (2016). Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(1), 3.
- Chandio, A. A., Domingua, H., Asongu, S., ve etal. (2025). Developing pathways for modern and sustainable agriculture: Evidence from the role of ICT on agricultural technical efficiency. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9, 1496295.

- Chen, T.-H., Lee, M.-H., Hsia, I.-W., Hsu, C.-H., Yao, M.-H., ve Chang, F.-J. (2022). Develop a Smart Microclimate Control System for Greenhouses through System Dynamics and Machine Learning Techniques. *Water*, 14(23), 3941. <https://doi.org/10.3390/w14233941>
- Coomes, O.T., Barham, B.L., MacDonald, G.K. et al. Leveraging total factor productivity growth for sustainable and resilient farming. *Nat Sustain* 2, 22–28 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0200-3>
- Despommier, D. (2019). Vertical farms, building a viable indoor farming model for cities. *Urban Agriculture: Another Way to Feed Cities*. 20.
- Deichmann, U., ve Schmold, T. (2016). Will digital technologies transform agriculture in developing countries? A review of the empirical evidence. *World Bank Policy Research Working Paper No. 7669*.
- Doudna, J. ve Charpentier, E. (2014). The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9. *Science* 346, 1258096 (2014).
- Durkaya, F. (2025). Permakültür araştırmalarındaki küresel eğilim üzerine bibliyometrik analiz. *Uluslararası Eğitim Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 11(1), 1-20.
- Kabato, W., Getnet, G. T., Sinore, T., Nemeth, A., ve Molnár, Z. (2025). Towards climate-smart agriculture: Strategies for sustainable agricultural production, food security, and greenhouse gas reduction. *Agronomy*, 15(3), 565.
- Kah, M., Tufenkji, N., ve White, J. C. (2019). Nano-enabled strategies to enhance crop nutrition and protection. *Nature Nanotechnology*, 14(6), 532–540.
- Kargın, H., ve Bilgüven, M. (2018). Aquaponic systems and their importance in aquaculture. *Journal of Agriculture, Bursa Uludag University*, 32(2), 159–173.
- Kumari, P., Jasrotia, P., Kumar, D., Kashyap, P. L., Kumar, S., Mishra, C. N., ... ve Singh, G. P. (2022). Biotechnological approaches for host plant resistance to insect pests. *Frontiers in Genetics*, 13, 914029.
- Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., ve Bochtis, D. (2018). Machine Learning in Agriculture: A Review. *Sensors*, 18(8), 2674.
- Lal, R. (2020). Regenerative agriculture for food and climate. *Journal of Soil and Water Conservation*, 75(5), 123A-124A.

- Love, D. C., Fry, J. P., Li, X., Hill, E. S., Genello, L., Semmens, K., ve Thompson, R. E. (2015). Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. *Aquaculture*, 435, 67–74.
- Mahlein, A.-K. (2016). Plant disease detection by imaging sensors—Parallels and specific demands for precision agriculture and plant phenotyping. *Plant Disease*, 100(2), 241–251.
- Mosuela, C. (2025). Prefiguring Regenerative Transformations: Permaculture as a Security Alternative on the Margins. *Capitalism Nature Socialism*, 1-20.
- Padhiary, M., Kumar, A. ve Sethi, L.N. (2025). Emerging technologies for smart and sustainable precision agriculture. *Discov. Robot.* 1, 6.
- Panda, S., ve Sharma, A. (2025). Analyzing the Factors Influencing the Adoption of Integrated Pest Management (IPM) Technology in Cotton in Rajasthan. *Indian Journal of Agricultural Research*, 59(1).
- Raj, M., ve Prahadeeswaran, M. (2025). Revolutionizing agriculture: a review of smart farming technologies for a sustainable future. *Discover Applied Sciences*, 7(9), 937.
- Soussi, A., Zero, E., Sacile, R., Trincherro, D., ve Fossa, M. (2024). Smart Sensors and Smart Data for Precision Agriculture: A Review. *Sensors*, 24(8), 2647.
- Tehulie, N. S., Mekonnen, A., Hassen, A., Ebrahim, S., ve Abebe, S. (2025). Roles and challenges of hydroponics, aeroponics, and aquaponics in improving vegetable production: A review. *AGBIR*, 41 (2).
- Vishnoi, S., ve Goel, R. K. (2024). Climate smart agriculture for sustainable productivity and healthy landscapes. *Environmental Science ve Policy*, 151, 103600.
- World Bank. (2017). *ICT in agriculture: connecting smallholders to knowledge, networks, and institutions*. World Bank Group.
- Wreford, A., D. Moran and N. Adger (2010), *Climate Change and Agriculture: Impacts, Adaptation and Mitigation*, OECD Publishing, Paris.



ISBN: 978-625-378-388-4