

GENÇ ARAŞTIRMACILARIN TARIMA BAKIŞI



Editor
NURETTİN BARAN
ERHAN AKALP



BİDGE Yayınları

GENÇ ARAŞTIRMACILARIN TARIMA BAKIŞI

Editör: DR. ÖĞR. ÜYESİ NURETTİN BARAN & ARŞ. GÖR.
ERHAN AKALP

ISBN: 978-625-372-653-9

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 12.05.2025

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



İçindekiler

BAKLAGİLLER VE KARBON AYAK İZİ: ÇEVRE DOSTU BİR PROTEİN KAYNAĞI	6
GİZEM KAMÇI TEKİN.....	6
BEHIYE TUBA BİÇER.....	6
KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNDE YEREL ÇEŞİTLERİN ÖNEMİ.....	40
BURAK ÖZDEMİR	40
DUYGU KAPAN	40
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE BUĞDAY ÜRETİMİ: KARŞILAŞILAN ZORLUKLAR VE UYUM STRATEJİLERİ	61
LEVENT YORULMAZ.....	61
HAŞHAŞ (<i>Papaver somniferum</i> L.)'IN TAKSONOMİSİ, KULLANIM ALANLARI VE ALKALOİT ÖZELLİKLERİ	76
NAZLI AYBAR YALINKILIÇ.....	76
ŞİLAN ÇİÇEK BAYRAM.....	76
SEMA BAŞBAĞ.....	76
DİJİTAL GÖZLERLE KURAKLIK: METEOROLOJİK KURAKLIĞIN TARIMSAL YANSIMALARININ İLERİ TEKNOLOJİLERLE HARİTALANMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	94
SİBEL İPEKEŞEN.....	94
MURAT KAYA.....	94
ÜMİT ACAY.....	94

BEHİYE TUBA BİÇER.....	94
AKUAPONİK DEVRİMDE BİYOLOJİK SİMBİYOZ VE ENTOMOLOJİK ENGELLERİN AKILLI ÇÖZÜMLERİ	130
OZAN AKAT	130
ZELAL AKAT.....	130
ÖZLEM EMİR ÇOBAN.....	130
HYDROPONİK SEBZE YETİŞTİRİCİLİĞİNDE KARŞILAŞILAN ENTOMOLOJİK SORUNLAR: TEORİK VE PRATİK YAKLAŞIMLAR	150
OZAN AKAT	150
MUHLİS SEZGİN	150
BAKLAGİLLER VE TOPRAK MİKROBİYOLOJİSİ: AZOT FİKSASYONUNUN EKOLOJİK ÖNEMİ	172
MURAT TUNÇ.....	172
SÜREYYA BETÜL RUFAİOĞLU	172
BEHİYE TUBA BİÇER.....	172
SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMIN KURTARICILARI: BAKLAGİLLER VE TOPRAK SAĞLIĞI	195
SÜREYYA BETÜL RUFAİOĞLU	195
MURAT TUNÇ.....	195
BEHİYE TUBA BİÇER.....	195

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SOYA (<i>Glycine max</i> L.) BİTKİSİNE YANSIMALARI	217
BORA BAYHAN	217
MEFHAR GÜLTEKİN TEMİZ	217
ESKİŞEHİR EKOLOJİK KOŞULLARINDA BAZI ŞEKER PANCARI ÇEŞİTLERİNİN VERİM ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ	239
CEREN EKSİK	239
DURAN KATAR	239

BAKLAGİLLER VE KARBON AYAK İZİ: ÇEVRE DOSTU BİR PROTEİN KAYNAĞI

GİZEM KAMÇI TEKİN¹
BEHIYE TUBA BİÇER²

Giriş

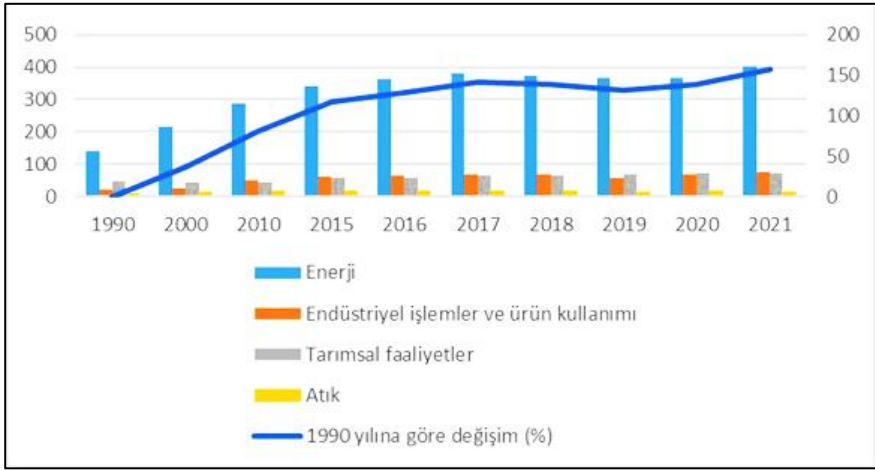
Küresel iklim değişikliği, 21. yüzyılın en kritik çevresel sorunlarından biri olup, sürdürülebilir kalkınma hedefleri açısından doğrudan tehdit oluşturmaktadır (IPCC, 2023). Tarım sektörü, bir yandan iklim değişikliğinin etkilerine karşı kırılgan yapıdayken, diğer yandan sera gazı emisyonlarının da önemli bir kaynağıdır. Küresel ısınma Dünya'yı etkileyen en önemli çevresel sorunlardan biridir. Tarım, sanayi, ulaşım için enerji ve fosil yakıtları kullanımı doğal ve endüstriyel sera gazı oranlarını gün geçtikçe artırmaktadır. Küresel ısınma; yakıt tüketimi, tarımda kullanılan gübreler, enerji kullanımı, bitki artıklarının yakılması, sanayileşme, tarım alanları oluşturmak için orman tahribinin sonucu olarak ortaya çıkan sera gazlarının (CH₄, N₂O, CO₂ vb.) oluşturduğu tahribattan meydana

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Şırnak Üniversitesi, Tarla Bitkileri Bölümü, İdil/Şırnak, Orcid: 0000-0001-6551-8669

² Prof. Dr. Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Diyarbakır, ORCID: 0000-0001-8357-8470

gelmektedir. Sera gazları radyasyonun etkisini azaltarak atmosferin ısıl dengesini sağlamaktadır. Fakat yıllar içinde artan sera gazı salınımı güneş radyasyonu tutularak Dünya’da sıcaklıkların artmasına neden olmaktadır. Gerçekleştirilen birçok çalışmada tarım, toplam küresel sera gazı emisyonlarının %10-12’sini oluşturduğunu bildirmiştir. (FAO, 2022).

Şekil 1. Sektörlere göre sera gazı emisyonları



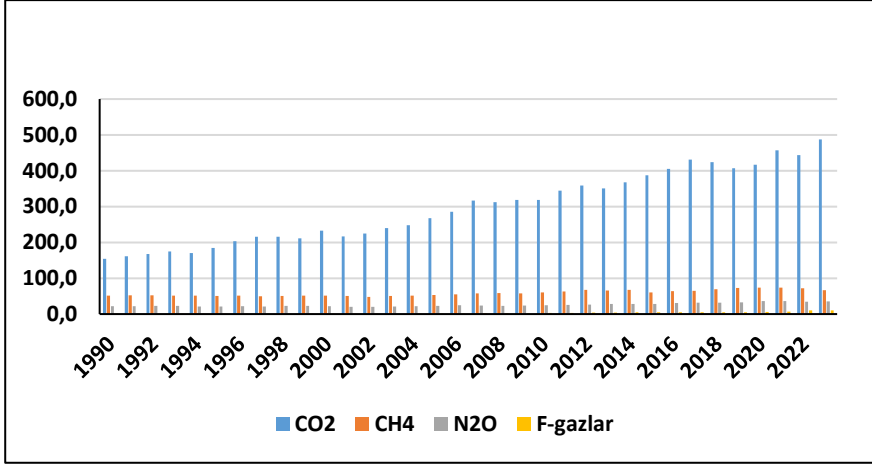
Kaynak: TUİK, 2023

TUİK verilerine göre, 2020 yılı ile karşılaştırıldığında 2021 yılı toplam sera gazı emisyonu %7,7 oranında artışı ve 564,4 milyon ton (Mt) CO₂ eşdeğeri (eşd.) olduğu görülmektedir. Kişi başı toplam sera gazı emisyonu 1990 yılında 4 ton CO₂ eşd., 2021 yılında 6,7 ton CO₂ eşd. olarak bildirilmiştir.

TUİK verileri incelendiğinde sera gazı emisyonlarının toplamı 2021 yılında CO₂ salınımına neden olan sektörler çoktan aza doğru enerji kaynaklı emisyonlar (%71,3), endüstriyel işlemler (%13,3), tarım (%2,6), ürünlerin kullanımı (%12,8) ve atık sektörü olacak şekilde sıralanabilmektedir (Şekil 2).

Tarım sektörü emisyonları ayrıca incelendiğinde verilere göre 1990 yılında 46.1 Mt olan salınım 2021 yılında 72,1 Mt olduğu bildirilmiştir. 1990 yılından 2021 yılına kadar geçen sürede sera gazı salınımı %56,5 oranında artmıştır.

Şekil 2. Sera gazı emisyonları, 1990 – 2023



Kaynak: TUİK, 2023

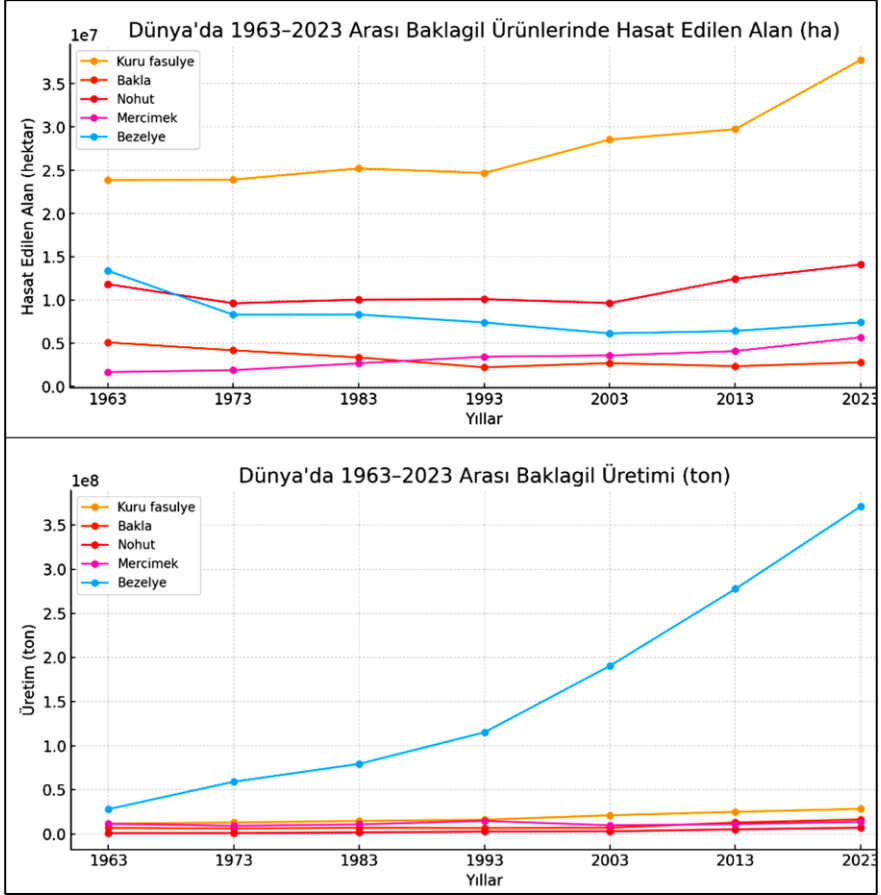
TUİK verilerine göre; 1990–2023 dönemi boyunca toplam sera gazı emisyonlarında istikrarlı ve belirgin bir artış gözlemlenmektedir. 1990 yılında yaklaşık 228,4 milyon ton CO₂ eşdeğeri olan toplam emisyon, 2023 yılına gelindiğinde 598,9 milyon ton CO₂ eşdeğeri seviyesine ulaşmıştır. Bu, yaklaşık %162’lik bir artışa işaret etmektedir ve Türkiye’nin ekonomik büyümesi, sanayileşme süreci ve enerji tüketimiyle doğrudan ilişkilendirilebilir.

Gübre kullanımı, özellikle “Yeşil Devrim” sonrası dramatik şekilde artmış ve 2020 yılı itibarıyla dünya genelinde yıllık gübre tüketimi 192 milyon tonun üzerine çıkmıştır (Behera & ark., 2020: 17).

Verimi artırmak ve bu sebeple ilk çözüm gibi görünen gübre kullanımı bu yüksek rakamın temel nedendir. Fosil yakıtlara dayalı gübre üretimi ve aşırı gübreleme uygulamaları, yalnızca toprak ve su kalitesini değil, aynı zamanda tarımsal karbon ayak izini de ciddi şekilde artırmıştır. Doğal kaynakların korunması için sera gazı emisyonu azaltmak ve tarımı sürdürülebilir kılmak için önemli reformlara ihtiyaç bulunmaktadır. Bu noktada, hem iklim değişikliğinin etkilerine uyum sağlama hem de tarım kaynaklı emisyonları azaltma açısından stratejik öneme sahip ürün grupları ön plana çıkmaktadır. Bu ürünlerin başında ise baklagiller yer almaktadır.

Baklagiller, 12.000 tek ve çok yıllık türü bulunmaktadır ve 200 türe yakını sadece yetiştirilmektedir. Bazı baklagiller tahıl ürünlerinin yabani otları olarak kabul edilmektedirler. Dünyada baklagillerin hasat edilen alan ve üretim değerleri Tablo 1'de verilmiştir (FAO 2024).

Şekil 3. Bazı baklagillerin Dünya 'da hasat edilen alan ve üretimi (FAO, 2024)



Kaynak: (FAO,2024)

1963 ile 2023 yılları arasındaki 60 yıllık dönemde bazı sıcak mevsim baklagillerinde gözlenen büyüme eğilimlerine rağmen, çeşitli ılıman baklagillerin ekim alanları dünya genelinde bölgeler arasında farklılıklar göstererek azalmıştır (Şekil 3). Gıdada kullanılan baklagiller ekilebilir arazinin çok az bir kısmını kapsar ve çoğunlukla tahıllar baklagillere göre üretimde tercih edilen bitkiler grubunda yer almaktadır. Bunun temel nedeni daha uzmanlaşmış ve

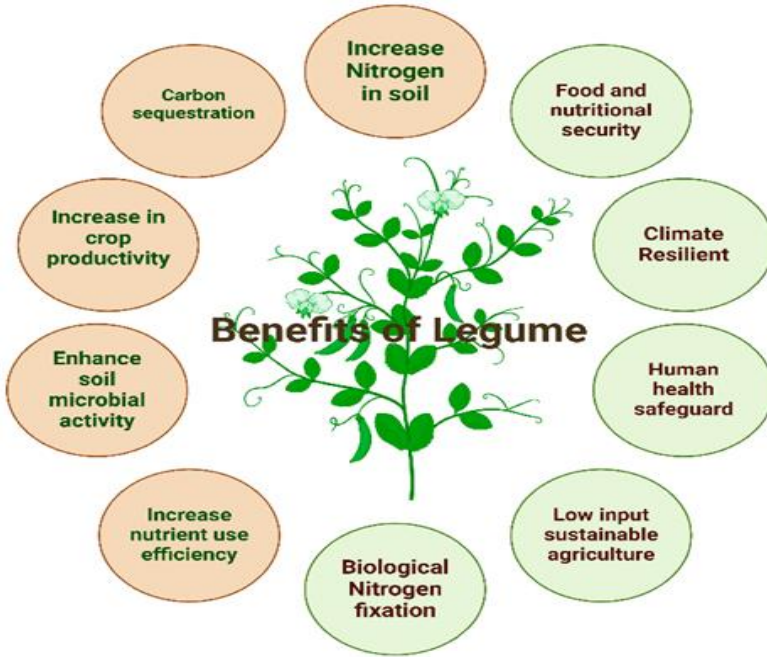
yoğun üretim sistemlerinin genişlemesiyle ilişkilendirilir. Tarım sisteminde baklagillerin yetiştirilmesi/tanıtılması gibi çeşitlendirmenin pazarlanabilir olmayan faydaları olarak ekim sistemlerinin uzmanlaşmasını teşvik eden piyasa güçleri, anında ve/veya görünür karlar sağlayamamaktadır (Preissel & ark., 2015: 175). Fakat zaman içinde baklagillerin ekim alanları da yıllar içinde artmıştır (Şekil 3).

Baklagiller, Dünya çapında beslenme ve gıda temininde önemli bir rol oynar ve ilerleyen zamanlarda sürdürülebilirlik ve küresel gıda güvenliğinde meydana gelecek sorunların çözümünde önemli bir yere sahiptir (Calles & ark., 2019).

Kültüre alınan baklagiller tek yıllıktır. Nohut, bakla, fasulye, bezelye mercimek ve börülce en çok tüketilen baklagiller arasında yer almaktadır. Nohut, mercimek ve bakla kışlık börülce ve fasulye yazlık olarak ülkemizde yetiştirilmektedir. Bezelye, fasulye, bakla ve börülce yüksek su gereksinimine ihtiyaç duymaktadırlar ancak mercimek ve nohut genellikle kurak arazi bitkileridir. (Kün & ark., 2005). Ülkemizin tarım arazisinin %10'unu oluşturan yenilebilir baklagil bitkileri, zengin protein içeriği, besin değeri ve azot fiksasyonu kabiliyetleri nedeniyle ekim nöbeti sistemlerinde oldukça değerlidir (Adak & ark., 2010: 16).

Baklagiller hayvan ve insan sağlığında, azot fiksasyonu ile toprağı besler ve sera gazı emisyonlarını azaltarak iyileştirmektedir (Siddique & ark., 2012: 32). Bu ürünler iklim dostudur ve gübre taleplerinin azalması nedeniyle sera gazı emisyonlarını azaltarak, kendi başlarına azot üreterek ve ekim nöbetinde ardışık yetiştirilen ürünlere azot sağlayarak tarımsal üretimde önemli bir rol oynarlar (Lemke & ark., 2007: 99). Baklagil kökleri toprağın havalanmasını artırır, toprağın sıkışmasını engeller ve toprağın kimyasal, fiziksel ve biyolojik özelliklerinin iyileştirilmesini teşvik ederek toprak verimliliğinin korunmasını destekler.

Şekil 5. Baklagillerin insan ve toprak için faydalarının şematik gösterimi



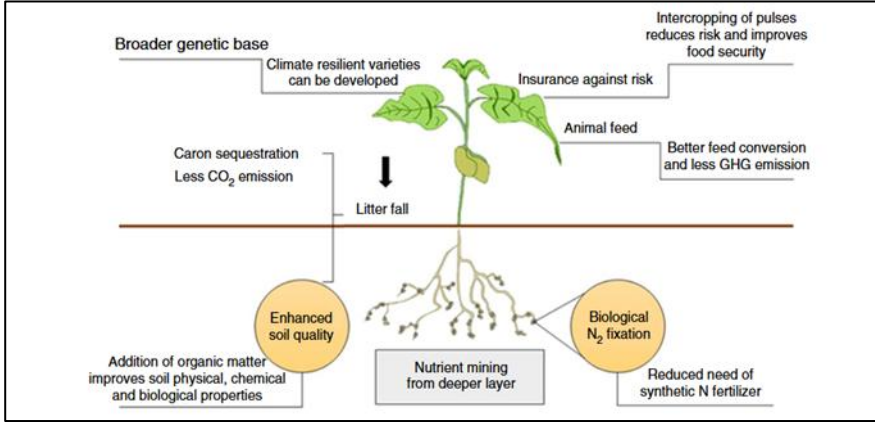
Kaynak: Dave & ark., 2024

Doğal olarak azot fiksasyonu yapabilen baklagiller, gübreye olan ihtiyacı azaltarak doğrudan sera gazı salınımını düşürmektedir. Ayrıca kuru şartlara ve marjinal topraklara dayanıklılıklarıyla tarım sistemlerinin esnekliğini artırmakta, toprağın fiziksel ve biyolojik yapısını iyileştirmektedirler (Siddique & ark., 2012: 32; Lemke & ark., 2007: 99).

FAO'ya göre, baklagillerin karbon ayak izi ortalama 0.25 kg CO₂eq/kg iken, sığır eti 27.0 kg CO₂eq/kg düzeyindedir. Bu dramatik fark, baklagillerin iklim dostu protein kaynakları olarak neden daha fazla desteklenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (FAO, 2022). Ayrıca baklagiller, gıda ve beslenme güvenliğinde kritik rol oynayan, düşük maliyetli ve yüksek kaliteli bitkisel protein

kaynaklarıdır. İklim değişikliğine adapte olabilen çeşitler geliştirmek, ekim nöbeti sistemine yeni ürünler eklemek, akıllı tarım uygulamaları tarım sistemlerinin dayanıklılığını artırabilir. Baklagiller karbon ayak izini azaltmada önemli bir yere sahip olabilir.

Şekil 6. İklim dostu bir ürün olarak baklagiller



Kaynak: Mrunalini & ark., 2022

Baklagiller üretim maliyetinde düşüşe sebep olur ve insanların gıda ve beslenme güvenliğini olumlu yönde etkilemektedir. Baklagiller abiyotik ve biyotik strese dayanıklıdır ve düşük karbon ayak izine sahip olabilir, bu da onları iklim değişikliği ve değişkenlik adaptasyonu için yararlı bir gıda kaynağı yapar (Gupta & Kumar, 2019: 33).

Tahıllara göre daha az yenilenemeyen enerji kaynaklarını kullandıkları için sera gazı emisyonlarını azaltmaya yardımcı olabilirler. Baklagiller, küresel iklim değişikliklerinden kaynaklanan artan sıcaklıklar ve azalan su kaynaklarına daha dayanıklı olduklarından her geçen gün tarım sektöründe daha önemli bir yer almaktadır.

Tablo 1. Tarla koşullarında yetiştirilen baklagillerden, N-gübreli veya gübrenenmemiş topraklardan kaynaklanan toplam N₂O emisyonları

Gübreleme Uygulaması	Bitki Türü/Çeşit	Emisyon Aralığı (kg N ₂ O ha ⁻¹)	Ortalama Emisyon (kg N ₂ O ha ⁻¹)
Azot Gübrelemesi Uygulanan Kùltür Bitkileri	Pirinç	0.2–5.0 (3)	2.21 (3)
	Buğday	0.09–8.57 (18)	2.73 (18)
	Mısır	0.16–12.67 (22)	2.72 (22)
	Kanola	0.13–8.60 (8)	2.65 (8)
Azot Gübrelemesi Uygulanan Mera	Ot (Çeşitli Türler)	0.3–18.16 (19)	4.49 (19)
Baklagil Bitkileri^a	Bakla	-	0.41 (1)
	Nohut	-	0.05 (5)
	Acı Bakla	0.03–0.16 (1)	0.06 (1)
	Tarla Bezelyesi	0.38–1.73 (6)	0.65 (6)
	Soya Fasulyesi ^b	0.29–7.09 (33)	1.58 (33)
Baklagil Kùltürlerinin Ortalama Emisyonu			1.29
Toprak	Kontrol Grubu (Azot Gübresi veya Baklagil Uygulanmamış Toprak)	0.03–4.80 (33)	1.20 (33)

Parantez içindeki veriler, toplam deneysel saha sayısını temsil etmektedir.

^a Bazı durumlarda, 5 kg ha⁻¹ başlangıç dozu olarak az miktarda azot gübresi uygulanmıştır.

^b 35–44 kg ha⁻¹ oranında azot gübresi uygulanmıştır.

Kaynak: Mrunalini & ark., 2022

Baklagiller, yüksek protein içeriğı ile beslenmede önemli bir yere sahip olsalar da, birim ürün elde etmek için tahıllara kıyasla daha fazla enerjiye ihtiyaç duyarlar (Chaudhury & ark., 2014: 45).

Fotosentez süreciyle sentezlenen bir gram glikozun ortalama olarak 0.83 g nişasta, 0.31 g yağ ve yalnızca 0.40 g protein üretebildiği göz önüne alındığında (Chaudhury & ark., 2009: 37), protein açısından zengin olan baklagillerin üretim verimliliği, özellikle tahıllarla karşılaştırıldığında daha düşüktür. Bu düşük verimlilik, baklagillerin enerji ayak izinin göreceli olarak daha yüksek olmasına yol açmaktadır.

Ancak, baklagillerin tahıl bazlı ekim nöbetine entegrasyonu, tekli tahıl sistemlerine kıyasla toplam sistemin enerji ayak izini azaltma potansiyeli sunar (Tablo 1) Bu katkı, baklagillerin biyolojik azot fiksasyonu, toprak sağlığını iyileştirme kapasitesi ve üretim sürecinde daha az dış girdiye ihtiyaç duymaları ile ilişkilidir. Ayrıca, uygun ürün yönetimi uygulamaları sayesinde baklagillerin verimliliği artırılarak hem ürün hem de sistem düzeyinde enerji ayak izinin daha da azaltılması mümkündür.

Tablo 2. Kanada'nın Güneybatı Saskatchewan eyaletinde 3 yıllık ekim nöbetinde yetiştirilen sert buğdayın karbon ayak izi

YIL			Ortalama Karbon Ayak İzi (kg CO ₂ eşdeğeri kg ⁻¹ tane)		
1	2	3	Ortalama ^a	Standart Hata	% Azalma ^b
Tahıl	Tahıl	Buğday	0.415	0.059	0
Tahıl	Yağlı Bitkiler	Buğday	0.375	0.059	-10
Tahıl	Baklagil	Buğday	0.330	0.052	-21
Yağlı bitkiler	Tahıl	Buğday	0.342	0.056	-18
Yağlı bitkiler	Yağlı Bitkiler	Buğday	0.316	0.051	-24
Yağlı bitkiler	Baklagil	Buğday	0.295	0.049	-29
Baklagil	Tahıl	Buğday	0.328	0.053	-21
Baklagil	Yağlı Bitkiler	Buğday	0.322	0.053	-22
Baklagil	Baklagil	Buğday	0.273	0.045	-34

^a Ortalama karbon ayak izi değerleri, güneybatı Saskatchewan'daki iki farklı lokasyonda uygulanan üç yıllık bitki rotasyonlarının üç döngüsünün ortalamalarını temsil etmektedir.

^b Yüzde azalma değerleri, hububat-hububat-sert buğday monokültür sistemi ile karşılaştırılarak hesaplanmıştır.

Kaynak: Liu & ark., 2016

Ekim nöbeti sistemindeki ekim sırasının karbon ayak izi üzerinde önemli etkileri vardır (Gan & ark., 2011: 31). Yapılan çalışmalarda Güney Saskatchewan'da yürüttükleri çalışmada, ürün kanola veya hardal'dan sonra yetiştirildiğinde sert buğdayın ortalama karbon ayak izi 0,34 kg CO₂ eşdeğeri kg⁻¹'dir, bu durum, tahıldan sonra yetiştirilen bitkinin olduğundan %19 daha düşük karbon izine neden olduğunu bildirmişlerdir (Liu & ark., 2016: 36). Benzer şekilde, nohut, mercimek veya kuru bezelyeden sonra yetiştirilen sert buğday, sert buğdayın karbon ayak izini tahıldan

sonra yetiştirildiği duruma kıyasla %28 oranında düşürdüğünü bildirmiştir. 3 yıllık bir ürün rotasyonu için, önceki 2 yıl yağlı tohumlu alternatif olarak yetiştirilen bir baklagil ürünü, 3. yıl sert buğday ürününün karbon ayak izini ortalama %25 oranında düşürmüştür. Baklagil ürünleri 3 yıllık rotasyonun ilk 2 yılında sürekli olarak yetiştirildiğinde, 3. yıl sert buğday ürününün karbon ayak izi %34 oranında azalmıştır. Bu sonuçlar, iyi tasarlanmış bir ekim rotasyonuna çeşitli ürün tiplerinin entegre edilmesinin tahıl ürünlerinin karbon ayak izini önemli ölçüde azalttığını açıkça göstermektedir (Tablo 2).

Baklagillerin Besin Değeri ve Fonksiyonel Özellikleri

Baklagiller, yalnızca yüksek protein içerikleriyle değil, aynı zamanda diyet lifi, vitamin ve mineral zenginlikleri ile de insan beslenmesinde kritik bir yer tutmaktadır. Dünyada insan beslenmesindeki karbohidratların %7'si, bitkisel proteinlerin %22'si; hayvan beslenmesindeki karbohidratların %5'i ve proteinlerin %38'i yemeklik baklagillerden sağlanmaktadır. Günlük beslenme için gerekli olan kalsiyum, demir, çinko, folat ve B vitaminleri bakımından önemli bir kaynak oluşturmaktadırlar (Duranti, 2006: 77; Yanni & ark., 2023: 16). Baklagillerin kuru tohumlarında protein oranı %18 ile %36 arasında değişmekte olup bu oran, birçok tahıl ürününden belirgin biçimde yüksektir.

Baklagil tohumları aynı zamanda düşük glisemik indekse sahip olmaları ve çözünür diyet lifi içermeleri nedeniyle obezite, tip 2 diyabet, kardiyovasküler hastalıklar ve kolorektal kanser riskinin azaltılmasında önemli bir yere sahiptir (Mudryj & ark., 2014: 39; Gupta & Kumar, 2019: 33). Ayrıca antioksidan bileşenleri ile serbest radikallerin zararlı etkilerine karşı koruyucu etki gösterirler.

Hayvansal proteinlerin biyolojik değerinin yüksek olmasına karşın, bitkisel proteinler kolay üretilebilir, uzun süre saklanabilir ve sürdürülebilirliği yüksek kaynaklardır. Ayrıca, düşük doymuş yağ

içeriği, kolesterol içermemesi ve daha az çevresel etki üretmeleri nedeniyle beslenme sistemlerinde daha çok tercih edilmelidir (FAO, 2022).

Tablo 3. Besinlerin yenebilen 100 gramlarının enerji ve besin öğeleri değerleri

	Enerji	Su	Protein	Yağ	Karbonhidrat	Posa	Kül
	(kkal)			(g)			
Koyun eti (orta yağlı)	263	61.0	16.5	21.3	0.0	0.0	1.2
Keçi Eti	145	75.0	16.0	9.0	0.0	0.0	-
Sığır eti (orta yağlı)	263	60.3	18.5	20.4	0.0	0.0	0.8
Dana eti (orta yağlı)	190	68.0	19.1	12.0	0.0	0.0	1.0
Domuz eti (orta yağlı)	513	37.3	10.2	52.0	0.0	0.0	0.5
K. fasulye	340	10.9	22.3	1.6	61.3	4.3	3.9
Mercimek	340	11.1	24.7	1.1	60.1	3.9	3.0
Nohut	360	10.7	20.5	4.8	61.0	5.0	3.0
Soya unu (Az yağlı)	356	8.0	43.4	6.7	36.6	2.5	5.3
Soya	403	10.0	34.1	17.7	33.5	4.9	4.7
	Ca	Fe	P	K	Na	Vit. A	Thiamin
	(mg/100g)						
Koyun eti (orta yağlı)	10	1.2	147	290 (a)	70 (b)	-	0.15
Keçi Eti	11	2.5	-	-	-	0	0.20
Sığır eti (orta yağlı)	11	2.8	171	370 (a)	60 (b)	40	0.08
Dana eti (orta yağlı)	11	2.9	193	500 (a)	80 (b)	-	0.14
Domuz eti (orta yağlı)	6	1.5	103	326 (a)	930 (b)	-	0.50
K. fasulye	144	7.8	425	1196	19	0	0.65
Mercimek	79	6.8	377	790	30	60	0.37
Nohut	150	6.9	331	797	26	50	0.31
Soya unu (az yağlı)	263	9.1	634	1859	1	80	0.83
Soya	236	8.4	554	1677	5	80	1.10
	Riboflavin	Niacin	Vit. C	Artık			
	(mg/ 100 g)		(mg)	(%)			

Koyun eti (orta yağlı)	0.20	4.8	-	16
Keçi Eti	0.35	5.0	0	26
Sığır eti (orta yağlı)	0.16	4.4	-	15
Dana eti (orta yağlı)	0.25	6.4	-	20
Domuz eti (orta yağlı)	0.12	2.7	-	21
K. fasulye	0.22	2.4	-	0
Mercimek	0.22	2.0	-	0
Nohut	0.15	2.0	-	0
Soya unu (az yağlı)	0.36	2.6	0	0
Soya	0.31	2.2	-	0
- Besin değeri bilinmiyor, 0 Besin değeri yok, () Besin değeri hesapla bulunmuş, a ve b değerleri pişmiş tüm gövde içindir.				

Kaynak: Besinlerin Bileşimleri, 1991

Et ürünleri (koyun, keçi, sığır, dana ve domuz eti) ile baklagiller (kuru fasulye, mercimek, nohut, soya fasulyesi ve soya unu), önemli besin öğelerini içermeleri bakımından insan beslenmesinde kritik bir yere sahiptir. Ancak her iki grup da içerik bileşenleri, enerji değerleri ve sağlık etkileri açısından belirgin şekilde farklılık göstermektedir.

Et ürünleri genel olarak yüksek yağ içeriğine sahip olduklarından, kalori değerleri yüksektir. Özellikle domuz eti gibi yüksek yağ oranına sahip türler, 513 kcal/100 g gibi oldukça yüksek enerji değerlerine ulaşabilmektedir. Buna karşılık baklagiller, düşük yağ içeriklerine rağmen yüksek oranda karbonhidrat ve diyet lifi içerdikleri için önemli enerji kaynaklarıdır. Örneğin nohut ve mercimek, yaklaşık olarak 340–360 kcal/100 g enerji sağlamaktadır.

Protein içeriği açısından değerlendirildiğinde, soya unu (%43,4) ve soya fasulyesi (%34,1) bitkisel kaynaklar arasında en yüksek protein oranına sahiptir. Mercimek (%24,7) ve kuru fasulye (%22,3) gibi diğer baklagiller ise, hayvansal protein kaynakları ile kıyaslanabilecek seviyede protein içermekte, bu yönüyle de beslenmede önemli bir alternatif oluşturmaktadır.

Mineral içerikleri bakımından baklagiller dikkat çekici bir üstünlük sergilemektedir. Özellikle demir ve fosfor açısından baklagiller oldukça zengindir; kuru fasulye 7,8 mg demir ve 425 mg fosfor ile önemli bir kaynaktır. Ayrıca kalsiyum yönünden de baklagiller arasında özellikle soya unu (263 mg) ve soya fasulyesi (236 mg) öne çıkmaktadır. Potasyum içeriği açısından da baklagiller et ürünlerine göre oldukça yüksek değerlere sahiptir; örneğin, soya fasulyesi 1677 mg ve kuru fasulye 1196 mg potasyum içermektedir.

Vitamin içeriği açısından ise et ürünleri, özellikle B grubu vitaminleri (tiamin, riboflavin ve niasin) bakımından daha dengelidir. Buna karşın, et ürünleri diyet lifi açısından fakirken,

baklagiller yüksek lif içerikleri ile sindirim sistemi sağlığı açısından önemli avantajlar sağlamaktadır.

Tablo 4. Yemeklik Baklagiller ile Et ve Yumurta Proteinlerinin Esansiyel Aminoasit Bileşimleri (g/100g)

	Lys ine	Threo nine	Val ine	Leuc ine	İsoleu cine	Methio nine	Tryptop han	Phe nyl ala nin
İdeal Protei n (FAO)	4.2	2.8	4.2	4.8	4.2	2.2	1.4	2.8
Nohut	6.3	3.4	5.5	8.2	6.0	1.2	0.8	4.9
Merci mek	5,1	3.0	5.1	5.5	5.8	0.6	0.6	4.0
Bezelye	8.9	4.2	6.5	9.5	7.4	1.3	0.7	4.6
Börülce	6.7	4.1	5.2	7.2	4.9	1.3	1.0	5.7
Fasulye	6.8	3.3	5.4	8.9	6.0	1.0	1.0	5.5
Soya	6.3	4.1	4.7	7.1	4.3	1.2	1.2	4.9
Et	7.5	4.2	4.6	7.2	4.8	2.2	1.4	3.8
Yumurt	6.4	5.0	4.3	8.8	6.6	3.1	1.6	5.8

Kaynak: Önder 2014

Amino asit bileşimi açısından, baklagillerin genel olarak Lysine, Threonine, Valin, Lysine ve İsoleucine gibi temel amino asitleri, FAO tarafından belirlenen ideal protein seviyelerinin üzerinde içerdiği görülmektedir. Özellikle bezelye (Leucine 9.5 g/100g, Lysine 8.9 g/100g), nohut (Leucine 8.2 g/100g, Lysine 6.3 g/100g) ve fasulye (Leucine 8.9 g/100g, 6.8 Lysine g/100g), bu amino asitler bakımından oldukça zengin kaynaklar olarak öne çıkmaktadır (Tablo 4).

Bununla birlikte, baklagiller Methionine ve Tryptophan gibi bazı kritik amino asitler yönünden FAO'nun belirlediği ideal protein referans değerlerinin altında kalmaktadır. Özellikle mercimekte

Methionine içeriği oldukça düşük (0.6 g/100g) olup, diğer baklagillerde ise 1.0–1.3 g/100g aralığında değişmektedir. Bu durum baklagil proteinlerinin biyolojik değerini sınırlayan önemli bir faktördür.

Hayvansal kaynaklı proteinler (et ve yumurta) ise genel olarak ideal protein bileşimine daha yakın bir amino asit profili sergilemektedir. Özellikle yumurta proteini Threonine (5.0 g/100g), Methionine (3.1 g/100g) ve Tryptophan (1.6 g/100g) ačíısından oldukça zengindir. Benzer şekilde et proteini de Methionine (2.2 g/100g), Leucine (7.2 g/100g) ve Phenylalanin (3.8 g/100g) gibi amino asitler bakımından dengeli bir içeriğe sahiptir.

Her iki besin grubu da farklı besinsel üstünlüklere sahiptir. Baklagillerin yüksek lif, düşük yağ ve zengin mineral içeriği, et ürünlerinin ise yüksek kaliteli protein ve vitamin içeriği, dengeli bir beslenme ačíısından birlikte değerlendirildiğinde daha etkili sonuçlar sağlayacaktır. Bu nedenle sağlıklı ve sürdürülebilir bir beslenme programı oluşturmak için, et ürünlerinin baklagiller ile dengeli bir şekilde tüketilmesi önerilmektedir.

Baklagillerin Karbon Ayak İzini Azaltmadaki Rolü

Karbon ayak izi, sera gazı emisyonlarının yönetimi ačíısından temel bir gösterge olup; hizmetler veya ürünlerin tüm yaşam döngüsü boyunca yaydığı toplam sera gazı miktarını ifade eder ve genellikle karbondioksit eşdeğerleri (CO₂-eq) cinsinden hesaplanır (Xu & Lan, 2016: 112). Tarımsal üretim bağlamında, özellikle gıda ürünlerinin karbon ayak izi, üreticiler, politika yapıcılar ve kamuoyu için hem sera gazı salımını azaltmak hem de gıda güvenliğini sağlamak adına önemli bir referans noktasıdır (Gan & ark.,2014: 5; Wang & ark., 2016: 112).

Artan çevresel sorunlar ve gıda güvensizliği, mevcut tarımsal sistemlerde köklü karbon ayak izi azaltımlarını zorunlu kılmaktadır

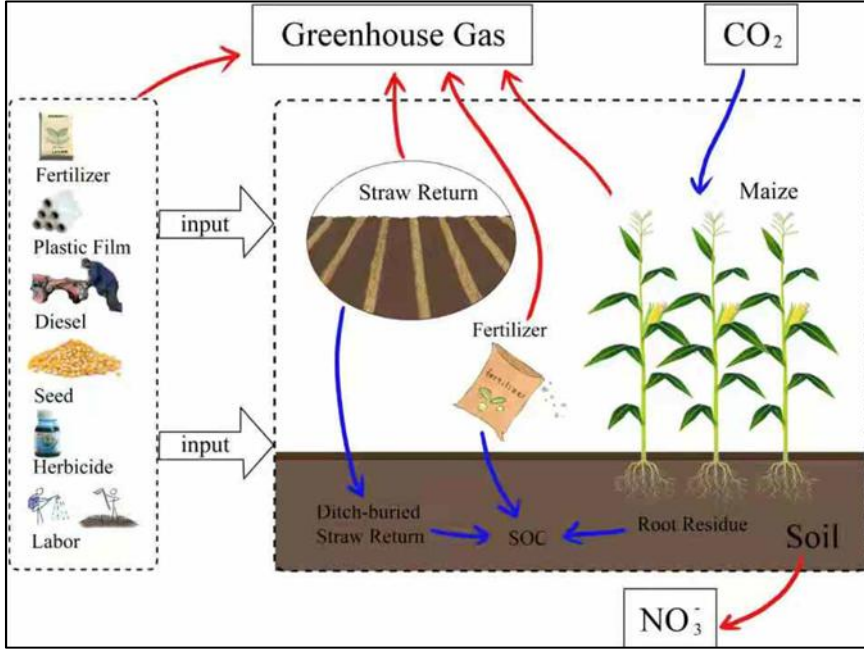
(Gan & ark., 2011: 31). Sera gazı emisyonlarının başlıca kaynaklarının doğru şekilde belirlenmesi ve çevre dostu tarım uygulamalarının benimsenmesi, iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılmasında stratejik rol oynayacaktır (Lal, 2004: 30; Liu & ark., 2016: 36)

Şekil 7. Entegre tarım uygulamaları, tarla bitkilerinin karbon ayak izini azaltmanın anahtarıdır. Temel uygulamalar arasında bitki büyümesi için besin gereksinimini karşılamak üzere gübrelemenin optimize edilmesi, atmosferik N₂'yi sabitlemek için baklagil bitkilerinin kullanılması ve bitki kalıntısı yönetimi yoluyla toprak karbon girdisinin artırılması yer alır.



Kaynak: Liu & ark.,2016

Şekil 8. Karbon ayak izlerini tahmin etmek için yaşam döngüsü analizinin sistem sınırı. Kırmızı oklar karbon emisyonlarını, mavi oklar ise karbon sekestrasyonlarını göstermektedir



Kaynak: Zhang & ark., 2022

Gıda sistemleri, küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık üçte birini oluşturmaktadır (IPCC, 2023). Tarım-gıda zincirinde protein üretimi bu emisyonların en büyük bileşenidir ve özellikle hayvansal protein üretimi, yüksek karbon ayak iziyle ilişkilidir. Baklagiller, iklim değişikliğiyle mücadelede düşük karbon ayak izine sahip stratejik ürünler olarak öne çıkmaktadır.

Dünyanın birçok yerinde ürün çeşitlendirmesi yabancı otları kontrol altına alma (Harker & ark., 2009; Menalled & ark., 2001), hastalıklardan korunma (Kutcher & ark., 2013: 35), üretim sürdürülebilirliğini artırma (Mhango & ark., 2013) ve ekonomiyi iyileştirme (Zentner & ark., 2002: 94) aracı olarak giderek daha önemli hale gelmiştir. Ayrıca ürün çeşitlendirmesi tarımsal

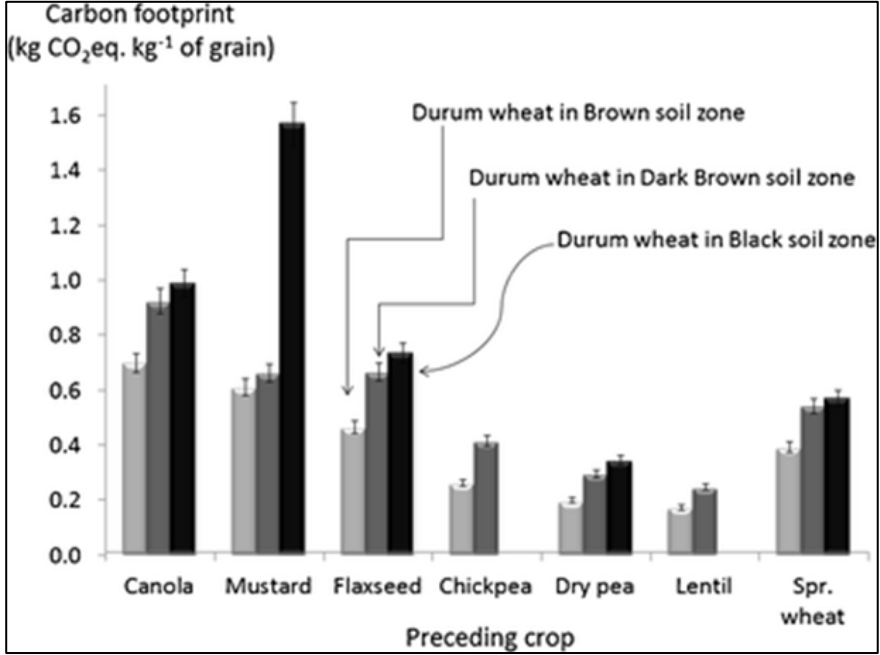
ekosistem verimliliğini artırmak (Gan & ark., 2015: 5) ve karbon ayak izini düşürmek (Yang & ark., 2014: 76; Minx & ark., 2009: 21) için önemli bir ekim uygulaması olarak kabul edilmiştir.

Şekil 9. Baklagil bitkileri, doğrudan, toprak işlemez tarımda önceki tahıldan kalan anıza ekilir ve c atmosferden N_2 'yi sabitleyen köklerde çok sayıda nodül oluşur.



Baklagillerin ekim nöbetine dahil edilmesi, tarım sistemlerinde gübre ve enerji kullanımını azaltarak sera gazı emisyonlarının düşürülmesine katkı sağlamaktadır (Reckling & ark., 2014).

Şekil 10. Nohut, kuru bezelye veya mercimek gibi bir bakliyat ürünüyle öncelenen sert buğdayın karbon ayak izi, ekim nöbetinde bakliyat olmayan bir ürünle öncelenen ürüne kıyasla önemli ölçüde daha düşüktü.



Kaynak: Liu & ark., 2016

Avrupa genelinde, baklagil içeren rotasyonlarda yılda yaklaşık 277 kg CO₂ ha⁻¹ tasarruf sağlandığı bildirilmektedir (1 kg N = 3,15 kg CO₂). (Jensen & ark., 2012: 32).

NH₃ üretimi sırasında açığa çıkan CO₂'nin yarısının, NH₃'ün Üreye dönüştürülmesi durumunda yeniden kullanılabileceği ifade edilmektedir. Ancak bu durum, yalnızca CO₂'in atmosfere salınımının gecikmesi anlamına gelir; çünkü üre toprağa uygulandığında, üreaz enzimiyle gerçekleşen hidroliz sonucu üretim sırasında tutulan CO₂ yeniden serbest kalır (Jenkinson 2001: 228).

Her bir kilogram sentezlenen azot için 2,6–3,7 kg CO₂ salınımı dikkate alındığında, yıllık küresel gübre üretimi yaklaşık 300 Tg CO₂ salınımına neden olmaktadır.

Bazı araştırmalar, N₂ fikse edici baklagillerin köklerinden salınan CO₂ miktarının, Nitrojen gübresi üretimi sırasında açığa çıkan CO₂'den daha fazla olabileceğini ileri sürmektedir (Jensen & ark., 2012: 32). Ancak burada önemli olan, baklagillerin kök nodüllerinden salınan CO₂'in, fotosentez yoluyla atmosferden alınmış olmasıdır. Buna karşın, Nitrojen gübresi üretimi sırasında açığa çıkan tüm CO₂ fosil yakıtlardan kaynaklanmakta ve dolayısıyla atmosferdeki CO₂ seviyelerine net bir katkı sağlamaktadır (Jensen & ark., 2012: 32).

N₂O, toplam sera gazlarının %5–6'sını oluşturmaya rağmen CO₂'e kıyasla çok daha yüksek bir etkiye sahiptir. Tarım sektörü, antropojenik N₂O emisyonlarının başlıca kaynağını oluşturmaktadır (yaklaşık %60) ve bu emisyonlar hem hayvansal hem de bitkisel üretimden kaynaklanmaktadır (IPCC. 2007; Reay & ark., 2012: 2). Emisyonların büyük kısmı, azotlu gübrelerin uygulanması sonucu ortaya çıkar ve uygulanan her 100 kg N gübresi için yaklaşık 1,0 kg N, N₂O olarak salınmaktadır (Jensen & ark., 2012). Ancak bu oran; uygulama miktarı, topraktaki organik karbon içeriği, pH ve toprak dokusu gibi çeşitli faktörlere göre değişebilir (Peoples & ark., 2009; Rocheste, 2003: 41). Pek çok tarla ve mera sisteminde denitrifikasyon süreci, en önemli N₂O kaynağıdır (Peoples & ark., 2004, Rochester 2003: 41).

Son yıllarda yapılan çok sayıda çalışma, baklagillerin sera gazı emisyonlarını azaltmadaki rolüne odaklanmıştır. Jeuffroy vd. (2003) baklagil ürünlerinin, birim alan başına sera gazı emisyonu bakımından diğer ürünlere kıyasla 5–7 kat daha düşük emisyonu neden olduğunu göstermiştir.

N₂O akışları ölçülerek yapılan bir çalışmada, bezelyenin kışlık buğdaya (368 kg N₂O ha⁻¹) ve kolzaya (534 kg N₂O ha⁻¹) kıyasla yalnızca 69 kg N₂O ha⁻¹ saldıgı belirlenmiştir.

Clune & ark., (2017), 2000–2015 yılları arasında çoğunluğu Avrupa kaynaklı olan yaşam döngüsü analizlerini incelediği çalışmasında; baklagillerin “Küresel Isınma Potansiyeli” değerlerinin oldukça düşük olduğunu (0,50–0,51 kg CO₂ eşdeğeri/kg ürün ya da kemiksiz et) belirtmişlerdir. Akdeniz iklimi ve alkali toprak koşullarında fiğ ve arpa ürünleri arasında yapılan bir karşılaştırmada, arpa ekiminde N₂O emisyonlarının fiğe göre daha yüksek olduğu, ayrıca sentetik gübrelerin neden olduğu N₂O akışlarının arpada fiğe kıyasla 2,5 kat fazla olduğu gözlenmiştir (Guardia & ark., 2016: 221).

Subtropikal Avustralya’da yürütölen iki arazi çalışmasında, Schwenke vd. (2015), N ile gübrenlenmiş kanoladan kaynaklanan kümülatif N₂O emisyonlarının, nohut, bakla ve tarla bezelyesine göre oldukça yüksek olduğunu belirtmiştir (sırasıyla 385’e karşılık 166, 166 ve 135 g N₂O-N ha⁻¹). Aynı araştırmacılar, baklagillerin emisyon faktörlerini önemli ölçüde düşürdüğünü, bu nedenle biyolojik olarak fikse edilen Nirojenin, gübre kaynaklı Nitrojene göre daha az emisyon yaratan bir azot kaynağı olduğunu vurgulamışlardır.

Ancak, baklagillerin sera gazı azaltımındaki etkisinin, içinde yer aldıkları tarım ekosistemlerinin yönetim biçimine de bağı olduğunu belirtmek gerekir. Örneğın, bakla tek ürün olarak yetiştirildiğinde, gübrenlenmemiş buğdaya kıyasla 3 kat daha fazla kümülatif N₂O emisyonuna neden olmuştur (441’e karşı 152 g N₂O ha⁻¹). Buna karşın, buğdayla karışık ekildiğinde (ara ürün sistemi), azot ile gübrenlenmiş buğdaya kıyasla emisyonlar %31 oranında azalmıştır (Senbayram & ark., 2016: 6).

Genel olarak, baklagillerin ürün rotasyonlarına dahil edilmesiyle sağlanan faydalar, ticari ölçekte azot gübresi uygulamalarının söz konusu olduğu sistemlerde daha belirgin hale gelmektedir (Jensen & ark., 2012: 32).

Sera gazı emisyonlarının azaltımı, yalnızca baklagillerin ekimiyle değil; aynı zamanda bu türlerin yer aldığı koruyucu toprak işleme ve sürdürülebilir tarım uygulamalarıyla da mümkündür. Sera gazları –özellikle N₂O– üzerindeki alan denemeleri ve deneysel analizler, iklim, toprak ve yönetim uygulamalarındaki farklılıklara bağlı olarak oldukça değişken sonuçlar verdiği yapılan çeşitli çalışmalarda bildirilmiştir (Jones & ark., 2007: 121; Peoples & ark., 2009, Rochester 2003: 41).

Baklagillerin, hayvansal protein kaynaklarına göre karbon ayak izini 30 ila 50 kat daha az artırdığını ortaya koymaktadır (Poore & Nemecek, 2018: 360).

Baklagillerin düşük karbon ayak izine sahip olmasında üç temel etken bulunmaktadır:

1.Azot Fiksasyonu: Baklagiller, simbiyotik Rhizobium bakterileriyle atmosferik azotu bağlayarak toprağa kazandırır. Böylece kimyasal azotlu gübrelere olan ihtiyaç azalır, bu da dolaylı sera gazı salımını önler.

2.Düşük Girdi İhtiyacı: Baklagiller genellikle sulama, pestisit ve enerji girdisi açısından düşük talep gösterir.

3.Toprak Sağlığını Koruma: Organik maddeyi artırarak karbon sekestrasyonunu desteklerler ve sürdürülebilir tarım sistemlerinin vazgeçilmezidirler.

Bu özellikleriyle baklagiller, hem iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılması (mitigasyon) hem de etkilere uyum (adaptasyon) açısından çift yönlü avantaj sunar. Ayrıca, Avrupa Yeşil Mutabakatı ve Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA)

çerçevesinde “çevre dostu protein” olarak kategorize edilen ürünler arasında yer almaktadırlar.

İklim değışikliğı ile mücadele kapsamında geliştirilen ulusal ve uluslararası politikalar, düşük karbon ayak izine sahip ürünlerin desteklenmesini öncelikli hale getirmiştir. Baklagiller, çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik hedefleriyle örtüşen stratejik ürünler olarak görölmektedir.

Avrupa Komisyonu’nun 2019 yılında yayımladığı Yeşil Mutabakat çerçevesinde tarımda sera gazı emisyonlarının 2030 yılına kadar %50 oranında azaltılması hedeflenmektedir. Kimyasal gübre ve pestisit kullanımının azaltılması, organik tarımın teşvik edilmesi, karbon ayak izi düşük ürünlerin desteklenmesi önerilmektedir (European Commission, 2020).

Türkiye’nin 2023 sonrası tarım politikalarında da karbon salınımının azaltılması, su kaynaklarının etkin kullanımı ve toprak verimliliğinin korunması temel hedefler arasındadır. Özellikle “azotlu gübre kullanımının azaltılması ve ekim nöbeti sisteminin yaygınlaştırılması” gibi maddeler, dolaylı olarak baklagil üretimini teşvik edici niteliktedir.

FAO’nun 2030 Gündemi ve Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) arasında baklagiller; SKA 2: Açlığın sona erdirilmesi, SKA 12: Sorumlu üretim ve tüketim, SKA 13: İklim eylemi amaçları ile doğrudan ilişkilidir. FAO, 2016 yılını Uluslararası Baklagil Yılı ilan ederek bu ürünlerin sürdürülebilir kalkınmadaki rolünü vurgulamıştır.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Küresel iklim değışikliğiyle mücadelede, tarım sistemlerinin yeniden yapılandırılması ve çevre dostu üretim modellerinin benimsenmesi hayati önem taşımaktadır. Bu sebeple, düşük karbon ayak iziyle öne çıkan baklagiller; sürdürülebilir tarım, toprak sağlığı,

gıda güvenliği ve iklim değişikliğine uyum stratejileri açısından çok yönlü katkı sunan ürün gruplarındandır.

Baklagillerin azot fiksasyonu yetenekleri sayesinde kimyasal gübre kullanımını azaltmaları, marjinal alanlarda yetiştirilebilmeleri, düşük su ve enerji girdisiyle yüksek verim sağlayabilmeleri; onları hem ekonomik hem de çevresel açıdan üstün kılmaktadır. Ayrıca bitkisel protein ihtiyacının karşılanmasında sürdürülebilir bir alternatif olarak öne çıkmaları, hayvansal üretime bağlı sera gazı salımlarını azaltma potansiyellerini güçlendirmektedir.

Gerek Avrupa Yeşil Mutabakatı gibi uluslararası girişimler gerekse Türkiye'nin ulusal tarım stratejileri, bu ürünlerin üretim ve tüketim döngüsündeki yerini daha da güçlendirmektedir. Baklagil temelli ürünlerin gıda sanayisinde çeşitlendirilmesi, ekim nöbeti sistemlerine daha aktif entegre edilmeleri, tarımsal desteklemelerde önceliklendirilmesi önemli stratejik adımlar olacaktır.

Sonuç olarak; baklagiller, iklim değişikliğiyle mücadele ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşma yolunda hem bilimsel hem de politik düzeyde desteklenmesi gereken tarımsal değerler arasında yer almaktadır.

KAYNAKLAR

Adak, M. S., Özdemir, I., & Ekbiç, E. (2010). Türkiye'de nohut ve mercimek üretimi ve gelişimi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 16(2), 145-154.

Behera, U. K., Behera, S. K., & Nayak, R. K. (2020). Nutrient use efficiency and sustainability: Fertilizer perspectives. In S. K. Behera (Ed.), *Nutrient Dynamics for Sustainable Crop Production* (pp. 23–40). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6190-3_2

Bileşimleri, B. (1991). Türkiye Diyetisyenler Derneği Yayını. *Baskı, Ankara*.

Calles, T., Del Castello, R., Baratelli, M., Xipsiti, M., & Navarro, D. K. (2019). *The International Year of Pulses–Final Report*. FAO.

Choudhary, A. K., & Suri, V. K. (2014). Frontline demonstration programme an effective technology transfer tool for adoption of oilseeds production technology in Himachal Pradesh. India. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 45(11), 1480–1498.

Choudhary, A. K., Yadav, D. S., & Singh, A. (2009). Technological and extension yield gaps in oilseeds in Mandi district of Himachal Pradesh. *Indian Journal of Soil Conservation*, 37(3), 224–229.

Clune, S., Crossin, E., & Verghese, K. (2017). Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories. *Journal of Cleaner Production*, 140, 766–783.

Dave, K., Kumar, A., Dave, N., Jain, M., Dhanda, P. S., Yadav, A., & Kaushik, P. (2024). Climate change impacts on legume

physiology and ecosystem dynamics: A multifaceted perspective. *Sustainability*, 16(14), 6026.

Duranti, M. (2006). Grain legume proteins and nutraceutical properties. *Fitoterapia*, 77(2), 67–82. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2005.11.008>

European Commission. (2020). *Farm to fork strategy: For a fair, healthy and environmentally-friendly food system*. <https://food.ec.europa.eu>

FAO. (2022). *Food systems and climate change: Carbon footprints of agricultural products*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org> Erişim Tarihi:22.03.2025

FAO. (2024). *FAOSTAT*. Retrieved from <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> Erişim Tarihi:22.03.2025

Gan Y, Hamel C, O'Donovan JT, Cutforth H, Zentner RP, Campbell CA, Niu Y, Poppy L (2015) Diversifying crop rotations with pulses enhances system productivity. *Nature Scientific Reports* 5:14625. doi:10.1038/srep14625

Gan, Y., Liang, C., Chai, Q., Lemke, R. L., Campbell, C. A., & Zentner, R. P. (2014). Improving farming practices reduces the carbon footprint of spring wheat production. *Nature Communications*, 5(1), 5012.

Gan, Y., Liang, C., Hamel, C., Cutforth, H., & Wang, H. (2011). Strategies for reducing the carbon footprint of field crops for semiarid areas. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 31, 643-656.

Guardia, G., Tellez-Rio, A., García-Marco, S., Martín-Lammerding, D., Tenorio, J. L., Ibáñez, M. Á., & Vallejo, A. (2016). Effect of tillage and crop (*Cereal versus legume*) on greenhouse gas

emissions and Global Warming Potential in a non-irrigated Mediterranean field. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 221, 187–197.

Gupta, R., & Kumar, A. (2019). Pulses for climate resilience and nutritional security. *Journal of Crop Improvement*, 33(4), 429–446.

Harker, K. N., O'Donovan, J. T., Irvine, R. B., Turkington, T. K., & Clayton, G. W. (2009). Integrating cropping systems with cultural techniques augments wild oat (*Avena fatua*) management in barley. *Weed Science*, 57(3), 326–337.

IPCC. (2007). *Climate change 2007: Synthesis report. Summary for policymakers*. Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC. (2023) *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>

Jenkinson, D. S. (2001). The impact of humans on the nitrogen cycle, with focus on temperate agriculture. *Plant and Soil*, 228, 3–15.

Jensen, E. S., Peoples, M. B., Boddey, R. M., Gresshoff, P. M., Hauggaard-Nielsen, H., Alves, B. J., & Morrison, M. J. (2012). Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 329–364.

Jeuffroy, M. H., Baranger, E., Carrouée, B., Chezelles, E. D., Gosme, M., & Hénault, C. (2003). Nitrous oxide emissions from crop rotations including wheat, oilseed rape and dry peas. *Biogeosciences*, 10, 1787–1797.

Jones, S. K., Rees, R. M., Skiba, U. M., & Ball, B. C. (2007). Influence of organic and mineral N fertiliser on N₂O fluxes from a temperate grassland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 121, 74–83.

Kün, E., Açıkgöz, N., & Ateş, E. (2005). Türkiye baklagil tarımı ve geleceği. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 12(1), 45–54.

Kutcher HR, Brandt SA, Smith EG, Ulrich D, Malhi SS, Johnston AM (2013) Blackleg disease of canola mitigated by resistant cultivars and four-year crop rotations in western Canada. *Can J Plant Pathol* 35:209–221. doi:10.1080/07060661.2013.775600

Lal, R. (2004). Carbon emission from farm operations. *Environment International*, 30(7), 981–990.

Lemke, R. L., Zhong, Z., Campbell, C. A., Zentner, R. P., & Goh, T. B. (2007). Can pulse crops play a role in mitigating greenhouse gases from North American agriculture? *Agronomy Journal*, 99(6), 1719–1725.

Liu, C., Cutforth, H., Chai, Q., & Gan, Y. (2016). Farming tactics to reduce the carbon footprint of crop cultivation in semiarid areas. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36, 1–16.

Menalled, F. D., Gross, K. L., & Hammond, M. (2001). Weed aboveground and seedbank community responses to agricultural management systems. *Ecological Applications*, 11(6), 1586–1601.

MhangoWG,SnappSS,PhiriGYK(2013)Opportunitiesandconstraints to legume diversification for sustainable maize production on small holder farms in Malawi. *Renewable Agriculture and Food Systems* 28:234–244. doi:10.1017/S1742170512000178

Minx, J.C.,Wiedmann T.,Wood,R.,Peters, G.P., Lenzen, M.,Owen A., Scott K., Barrett J., Hubacek K., Baiocchi G., Paul A.,

Dawkins E., Briggs J., Guan D., Suh S., Ackerman F. (2009). Input-output analysis and carbon footprinting: an overview of applications. *Econ Syst Res* 21: 187–216. doi:10.1080/09535310903541298

Mrunalini, K., Behera, B., Chandana, P., Patnaik, G. P., Modi, R. U., Saraswat, A., ... & Kumar, N. (2022). Legumes to reduce ecological footprints for climate-smart cropping systems. In *Advances in legumes for sustainable intensification* (pp. 403-420). Academic Press.

Mudryj, A. N., Yu, N., & Aukema, H. M. (2014). Nutritional and health benefits of pulses. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 39(11), 1197–1204.

Önder M. (2014). Selçuk Üniversitesi Ders Notları

Peoples, M. B., Boyer, E. W., Goulding, K. W. T., Heffer, P., Ochwoh, V. A., Vanlauwe, B., ... et al. (2004). Pathways of nitrogen loss and their impacts on human health and the environment. In A. R. Mosier, K. J. Syers, & J. R. Freney (Eds.), *Agriculture and the nitrogen cycle, the Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE)* (pp. 53–69). Island Press.

Peoples, M. B., Hauggaard-Nielsen, H., & Jensen, E. S. (2009). The potential environmental benefits and risks derived from legumes in rotations. In D. W. Emerich & H. B. Krishnan (Eds.), *Nitrogen fixation in crop production* (pp. 349–385). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America.

Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987–992. <https://doi.org/10.1126/science.aaq0216>

Preissel, S., Reckling, M., Schläfke, N., & Zander, P. (2015). Magnitude and farm-economic value of grain legume pre-crop benefits in Europe: A review. *Field Crops Research*, 175, 64–79.

Reay, D. S., Davidson, E. A., Smith, K. A., Smith, P., Melillo, J. M., et al. (2012). Global agriculture and nitrous oxide emissions. *Nature Climate Change*, 2, 410–416.

Reckling, M., Preissel, S., Zander, P., Topp, C. F. E., Watson, C. A., Murphy-Bokern, D., & Stoddard, F. L. (2014). *Effects of legume cropping on farming and food systems* (Legume Futures Report 1.6). Available from www.legumefutures.de

Rochester, I. J. (2003). Estimating nitrous oxide emissions from flood irrigated alkaline grey clays. *Australian Journal of Soil Research*, 41, 197–206.

Schwenke, G. D., Herridge, D. F., Scheer, C., Rowlings, D. W., Haigh, B. M., & McMullen, K. G. (2015). Soil N₂O emissions under N₂-fixing legumes and N-fertilised canola: A reappraisal of emissions factor calculations. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 202, 232–242.

Senbayram, M., Wenthe, C., Lingner, A., Isselstein, J., Steinmann, H., Kaya, C., & Köbke, S. (2016). Legume-based mixed intercropping systems may lower agricultural born N₂O emissions. *Energy, Sustainability and Society*, 6(1), 2.

Siddique, K. H. M., Johansen, C., Turner, N. C., Jeuffroy, M. H., Hashem, A., Sakar, D., & Alghamdi, S. S. (2012). Innovations in agronomy for food legumes. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(1), 45–64.

TÜİK. (2023). *Sera Gazı Emisyon İstatistikleri (1990-2021)*. Retrieved from <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2021-49672> Erişim Tarihi:22.03.2025

Wang, Z. B., Zhang, H. L., Lu, X. H., Wang, M., Chu, Q. Q., Wen, X. Y., & Chen, F. (2016). Lowering carbon footprint of winter wheat by improving management practices in North China Plain. *Journal of Cleaner Production*, 112, 149-157.

Xu, X., & Lan, Y. (2016). A comparative study on carbon footprints between plant-and animal-based foods in China. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2581-2592.

Yang X., Gao W., Zhang M., Chen Y., Sui P (2014). Reducing agricultural carbon footprint through diversified crop rotation systems in the North China Plain. *J Clean Prod* 76:131–139. doi:10.1016/j.jclepro.2014.03.063

Yanni, A. E., Lakovidis, S., Vasilikopoulou, E., & Karathanos, V. T. (2023). Legumes: A vehicle for transition to sustainability. *Nutrients*, 16(1), 98.

Zentner R.P, Wall D.D, Nagy C.N, Smith E.G, Young D.L, Miller P.R, Campbell C.A, McConkey B.G, Brandt S.A, Lafond G.P, Johnston A.M, Derksen D.A (2002). Economic of crop diversification and soil tillage opportunities in the Canadian prairies. *Agron J* 94:216–230. doi:10.2134/agronj2002.2160

Zhang, M., Han, X., Dang, P., Wang, H., Chen, Y., Qin, X., & Siddique, K. H. (2022). Decreased carbon footprint and increased grain yield under ridge–furrow plastic film mulch with ditch-buried straw returning: A sustainable option for spring maize production in China. *Science of The Total Environment*, 838, 156412.

KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNDE YEREL ÇEŞİTLERİN ÖNEMİ

BURAK ÖZDEMİR³
DUYGU KAPAN⁴

GİRİŞ

Küresel iklim değışikliği, doğal ekosistemlerden tarımsal üretim sistemlerine kadar birçok alanı etkileyen, çağımızın en kritik küresel problemlerinden biridir. Atmosferdeki sera gazı birikiminin artmasıyla birlikte sıcaklık ortalamalarında meydana gelen yükselmeler, yağış düzenlerindeki düzensizlikler, ekstrem hava olaylarının sıklığındaki artış ve deniz seviyelerindeki yükselme gibi etkiler dünya genelinde gözlemlenmektedir (Legg, 2021). Bu değışimler, özellikle gıda üretimi ve güvenliği üzerinde doğrudan tehdit oluşturmaktadır (Wheeler & Von Braun, 2013).

Tarımsal üretim, iklim koşullarına son derece bağımlı olduğundan, değışen iklim şartlarına uyum sağlamak zorunda kalmıştır. Küresel ölçekte artan sıcaklıklar, su kıtlığı, toprak

³ Doktor Öğretim Üyesi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Orcid: 0000-0002-7766-491

⁴ Ziraat yüksek mühendisi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orcid: 0009-0009-6499-9072

tuzluluğu ve biyotik stres faktörleri, ürün verimlerinde düşüşe ve tarımsal üretkenliğin azalmasına neden olmaktadır (WHO, 2018; Lobell et al., 2011). Bu durum, özellikle düşük gelirli ve tarıma bağımlı toplumlarda gıda güvencesizliğini daha da derinleştirmektedir (Vermeulen et al., 2012).

İklim değişikliğine karşı tarımın dayanıklılığını artırmak amacıyla çeşitli çözüm önerileri geliştirilmektedir. Bu kapsamda modern ıslah yöntemleri ve biyoteknolojik yaklaşımlar önemli katkılar sunsa da, yerel çeşitlerin korunması ve kullanımı sürdürülebilir adaptasyon stratejilerinin temel taşlarından biri olarak görülmektedir (Dwivedi et al., 2016; Jarvis et al., 2008). Yerel çeşitler, uzun yıllar boyunca bulunduğu çevre koşullarına uyum sağlayarak yüksek genetik çeşitlilik ve stres toleransı geliştirmiştir (Bellon, 2008). Bu özellikleri sayesinde kuraklık, tuzluluk, sıcaklık artışı gibi iklim kaynaklı streslere karşı daha yüksek direnç gösterebilmektedirler (Ceccarelli et al., 2010; Dawson et al., 2019).

Ayrıca, yerel çeşitler yalnızca tarımsal üretimin geleceği için değil, aynı zamanda kültürel mirasın ve geleneksel bilgi sistemlerinin korunması açısından da büyük önem arz etmektedir (Altieri & Koohafkan, 2008). Bununla birlikte, küreselleşme ve modern tarım uygulamaları nedeniyle yerel çeşitlerin kaybı hızlanmış, bu da tarımın iklim değişikliğine karşı kırılganlığını artırmıştır (FAO, 2010).

Bu çalışma, küresel iklim değişikliğinin tarım ve biyolojik çeşitlilik üzerindeki etkilerini incelemekte; yerel çeşitlerin adaptif tarım sistemleri oluşturmadaki kritik rollerini, korunmaları için gerekli stratejileri ve geleceğe yönelik önerileri ele almayı amaçlamaktadır.

İklim Değişikliğinin Tarım Üzerindeki Etkileri

İklim değişikliği, tarımsal üretim sistemlerini hem doğrudan hem de dolaylı yollarla ciddi biçimde tehdit etmektedir. Artan sıcaklıklar, azalan su kaynakları, toprak bozulması ve biyotik stres faktörlerinin değişimi gibi etkiler, küresel gıda üretimini ve güvenliğini tehdit etmekte, özellikle gelişmekte olan ülkelerde yaşayan kırılgan topluluklar için riskleri artırmaktadır (Wheeler & Von Braun, 2013; Vermeulen et al., 2012).

Sıcaklık Artışı ve Ürün Verimleri

Küresel ortalama sıcaklıkların sanayi öncesi döneme göre yaklaşık 1,1°C artmış olması (Legg, 2021), tarım ürünleri üzerinde şimdiden gözle görülür etkiler yaratmıştır. Bitkisel üretim, belirli sıcaklık aralıklarında en verimli şekilde gerçekleşmektedir. Sıcaklık eşiği aşıldığında ise fotosentez etkinliği azalmakta, solunum artmakta ve bitkiler strese girmektedir (Hatfield & Prueger, 2015).

Özellikle buğday, mısır, pirinç ve soya gibi temel tarım ürünleri, yüksek sıcaklıklara karşı oldukça hassastır. Asseng ve arkadaşlarının (2015) çalışmalarına göre, dünya genelinde sıcaklıkta her 1°C'lik artış, buğday veriminde % 6 oranında azalmaya neden olmaktadır. Benzer şekilde, mısır ve pirinç gibi sıcaklık duyarlı ürünlerde de % 3-7 oranında verim kaybı gözlemlenmektedir (Zhao et al., 2017).

Ayrıca, artan gece sıcaklıkları da ürün kalitesini düşürmekte ve olgunlaşma süresini hızlandırarak tane dolgunluğunu azaltmaktadır. Bu durum özellikle pirinç gibi gece sıcaklıklarına duyarlı ürünlerde ciddi kalite kayıplarına yol açmaktadır (Peng et al., 2004).

Su Kıtlığı ve Sulama İhtiyacı

İklim değişikliği hem yağış düzenlerini hem de mevcut su kaynaklarının miktarını etkilemektedir. Birçok bölgede yağışların

toplam miktarında azalma, kuraklık sıklığında artış ve yağışların daha düzensiz hale gelmesi tarımsal üretimi zorlaştırmaktadır (Döll et al., 2018).

Özellikle Akdeniz Havzası, Güney Afrika ve Orta Asya gibi bölgelerde, 21. yüzyılın ortalarına kadar su kaynaklarının %10-30 oranında azalabileceği öngörülmektedir (IPCC, 2014). Tarımsal üretimin sürdürülebilmesi için sulamaya olan bağımlılık artarken, mevcut su altyapısının bu talebi karşılayamaması nedeniyle yeni çatışma alanları da ortaya çıkmaktadır (Dubois, 2011).

Kuraklık, sadece bitki büyümesini sınırlamakla kalmaz, aynı zamanda topraktaki besin maddelerinin taşınmasını da engelleyerek bitki beslenmesini olumsuz etkiler. Örneğin, Azot ve Potasyum gibi makro besinlerin bitkiler tarafından alımı suya bağlıdır ve su stresinin artması bu süreçleri sekteye uğratmaktadır (Farooq et al., 2009).

Biyotik Stres Faktörleri

İklim değişikliği, tarım alanlarında zararlı organizmaların dinamiklerini de değiştirmiştir. Artan sıcaklıklar ve değişen yağış rejimleri, bitki hastalıkları, böcek zararlıları ve yabancı otların hem yayılım alanlarını genişletmiş hem de üreme hızlarını artırmıştır (Bebber et al., 2013).

Örneğin, Güneydoğu Asya’da pirinç üretimini tehdit eden kahverengi sırtlı pirinç böceği (*Nilaparvata lugens*), iklim değişikliği nedeniyle daha kuzey enlemlere taşınmış ve salgınlar daha sık görülmeye başlamıştır (Hong et al., 2024).

Ayrıca, iklim değişikliği bazı patojenlerin yaşam döngüsünü kısaltarak, yılda birden fazla döl vermesine imkân tanımaktadır. Bu da ürünlerin hastalıklara karşı savunmasız kalmasına yol açmaktadır. Örneğin, *Fusarium spp.* gibi funguslar, sıcaklık ve nem artışıyla birlikte daha geniş alanlara yayılmakta ve ürünlerde mikotoksin

kontaminasyonu riskini artırmaktadır (Chakraborty & Newton, 2011).

Toprak Sağlığı ve Erozyon

Toprak, tarımsal üretimin temel dayanağıdır ve iklim değişikliğinin etkileri bu kritik kaynağın sağlığını ciddi şekilde tehdit etmektedir. Aşırı yağışlar ve şiddetli rüzgarlar toprak erozyonunu hızlandırırken, uzun süreli kuraklıklar toprak organik maddesinin parçalanmasına ve verimliliğin düşmesine neden olmaktadır (Lal, 2004).

Yüksek sıcaklıklar toprakta organik karbon kaybını artırmakta, bu da hem toprak yapısının bozulmasına hem de iklim değişikliğini daha da şiddetlendiren bir sera gazı (CO₂) salımına neden olmaktadır (Lal, 2015).

Ayrıca, sulama uygulamalarının yanlış yönetilmesi toprak tuzluluğunu artırarak, özellikle yarı kurak ve kurak bölgelerde verim kayıplarına neden olmaktadır (Rengasamy, 2010). Tuzluluk problemi, bitki köklerinin su alımını zorlaştırarak büyüme ve gelişmeyi kısıtlamaktadır.

Yerel Çeşitlerin Özellikleri ve İklim Değişikliğine Direnci

İklim değişikliği, tarımsal sistemlerde dayanıklılık ve adaptasyon kapasitesi arayışını öncelikli bir ihtiyaç haline getirmiştir. Bu bağlamda, yerel çeşitler, doğal seçim ve çiftçi uygulamaları yoluyla evrimleşmiş genetik kaynaklar olarak, sürdürülebilir tarım sistemleri kurmada kritik bir role sahiptir. Yerel çeşitler, hem genetik çeşitlilikleri hem de çevresel streslere karşı geliştirdikleri adaptif özellikler sayesinde, iklim değişikliğinin etkilerine karşı güçlü bir tampon mekanizması sunmaktadır (Ceccarelli et al., 2010; Dwivedi et al., 2016).

Genetik Çeşitlilik ve Adaptasyon Kapasitesi

Yerel çeşitler, geniş bir genetik varyasyona sahiptir. Bu çeşitler, belirli bir ekosisteme uzun yıllar boyunca adapte olmuş ve bu süreçte farklı çevresel stres faktörlerine karşı doğal direnç geliştirmiştir.

Genetik çeşitlilik, bitkilerin değişen çevre koşullarına uyum sağlama yeteneğinin temelini oluşturur (Bellon, 1996; Frankel et al., 1995). Yerel çeşitler, bu açıdan modern ticari çeşitlere kıyasla çok daha geniş bir genetik varyasyon aralığı sunar.

Örneğin, Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan yerel buğday çeşitleri, sıcaklık dalgalanmalarına ve düşük yağış rejimlerine karşı üstün adaptasyon göstermektedir (Kaya, 2021). Benzer şekilde, Himalayalar'da yetiştirilen geleneksel pirinç çeşitleri, hem yüksek rakım koşullarına hem de düşük sıcaklıklara tolerans geliştirmiştir (Joshi et al., 2020).

Ayrıca, yerel çeşitler genellikle poligenik bir adaptasyon yapısına sahiptir; yani birçok genin küçük etkilerinin birleşimiyle stres koşullarına dayanıklılık sağlanır (Mercer & Perales, 2010). Bu durum, onların değişken iklim senaryoları altında hayatta kalabilmesini mümkün kılar.

Stres Toleransı Özellikleri

Yerel çeşitler, abiyotik (kuraklık, sıcaklık, tuzluluk, düşük besin seviyesi) ve biyotik (hastalık, zararlı) streslere karşı eşsiz bir direnç geliştirmiştir. Bu stres toleransı, uzun yıllar süren çevresel baskılara karşı doğal seçim yoluyla gelişmiştir (Vigouroux et al., 2011).

Kuraklık Toleransı: Örneğin, Etiyopya'nın yerel arpa çeşitleri, yağışsız sezonlara karşı düşük su tüketimi ve yüksek su kullanım verimliliği özellikleri göstermektedir (Ceccarelli et al.,

2000). Yine, İran’da toplanan yerel nohut çeşitleri aşırı sıcaklıklarda dahi yüksek verim verebilmektedir (Anbessa & Bejiga, 2002).

Tuzluluk ve Asidik Topraklara Tolerans: Bangladeş’in kıyı bölgelerinde yetiştirilen yerel pirinç çeşitleri, deniz suyu taşkınlarından kaynaklanan yüksek tuzluluk koşullarına tolerans göstermektedir. 'Pokkali' ve 'Nona Bokra' gibi pirinç çeşitleri bu özelliğin klasik örneklerindendir (Ismail et al., 2007).

Hastalık Direnci: Meksika’da yerel mısır çeşitlerinin, modern melez çeşitlere kıyasla fungal hastalıklara (ör. *Fusarium spp.*) daha dirençli olduğu bulunmuştur (Pressoir & Berthaud, 2004). Ayrıca, Hindistan’daki bazı yerel pamuk türleri, beyazsinek zararlısına karşı doğal bir tolerans sergilemektedir (Kranthi & Stone 2020).

Bu özellikler, yerel çeşitleri iklim değişikliğine uyum stratejilerinin geliştirilmesinde vazgeçilmez bir kaynak haline getirmektedir.

Geleneksel Bilgi ve Tarım Sistemleriyle İlişkisi

Yerel çeşitler, yalnızca biyolojik değil, aynı zamanda kültürel çeşitliliğin de taşıyıcılarıdır. Tarımsal gelenekler, toprak işleme yöntemleri, hasat zamanlaması ve tohum saklama gibi uygulamalar, çiftçiler tarafından yüzyıllar boyunca yerel çeşitlere göre şekillendirilmiştir (Altieri & Koohafkan, 2008).

Çoklu Ürün Sistemleri

Latin Amerika’da, “milpa sistemi” olarak bilinen geleneksel tarım yöntemi, mısır, fasulye ve kabak gibi farklı türlerin birlikte yetiştirilmesini içerir. Bu sistem, ürün çeşitliliğini ve ekosistem dayanıklılığını artırarak iklim değişikliğine karşı doğal bir adaptasyon sağlamaktadır (Perfecto & Vandermeer, 2010).

Topluluk Temelli Tohum Sistemleri: Nepal, Hindistan ve Etiyopya gibi ülkelerde, çiftçiler kendi aralarında tohum değişim ağları kurarak yerel çeşitlerin korunmasına ve adaptasyon süreçlerinin desteklenmesine katkı sağlamaktadırlar (Shrestha et al., 2013).

Bu geleneksel bilgi sistemleri, sadece üretkenlik açısından değil, aynı zamanda sosyoekonomik dayanıklılık açısından da iklim değişikliğine uyum sürecinde kritik öneme sahiptir.

Yerel Çeşitlerin Korunması: Zorluklar ve Stratejiler

Yerel çeşitler, yalnızca geçmişin tarımsal mirasını değil, aynı zamanda geleceğin iklim değişikliğine dayanıklı tarım sistemlerinin de temelini oluşturmaktadır. Ancak, günümüzde yerel çeşitlerin korunması ciddi tehditlerle karşı karşıyadır. Modern tarım uygulamaları, iklim değişikliği ve sosyoekonomik değişimler bu değerli genetik kaynakların kaybına yol açmaktadır (FAO, 2010; Jarvis et al., 2008). Bu bağlamda, yerel çeşitlerin sürdürülebilir bir şekilde korunması ve değerlendirilmesi için kapsamlı stratejilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Genetik Erozyon Tehdidi

Genetik erozyon, tarımsal biyolojik çeşitliliğin azalması süreci olarak tanımlanır ve yerel çeşitlerin yok olması ile sonuçlanır (Hammer et al., 2003). Modern yüksek verimli çeşitlerin (HYVs) yaygınlaşması, tek tip (monokültür) üretim sistemlerinin artması ve geleneksel tarım uygulamalarının terk edilmesi, genetik erozyonun başlıca nedenlerindendir.

Örneğin, Hindistan'da Yeşil Devrim sonrası pirinç ve buğday gibi birkaç çeşit lehine yerel çeşitlerin büyük ölçüde terk edilmesi sonucu, tarımsal çeşitlilikte önemli bir azalma yaşanmıştır (Shiva, 1991). Benzer şekilde, Türkiye'de de geleneksel buğday çeşitlerinin

yerini, yüksek verimli modern çeşitlerin alması genetik kaynak kaybına yol açmıştır (Tan, 2009).

İklim değişikliğine bağlı yeni stres koşulları altında, bu kayıp daha da ciddi sonuçlar doğurabilir; çünkü mevcut modern çeşitler değişken iklim koşullarına karşı yerel çeşitler kadar esnek değildir (Brush, 2000).

Koruma Yöntemleri

Yerel çeşitlerin korunması için iki temel yöntem kullanılmaktadır:

In-situ (yerinde koruma) ve **Ex-situ** (yer dışında koruma).

In-situ koruma, yerel çeşitlerin doğal olarak yetiştirildikleri çiftçi tarlalarında veya geleneksel tarım sistemlerinde korunmasıdır. Bu yöntem, çeşitlerin adaptasyon süreçlerini sürdürmesine ve çevresel değişimlere karşı evrimleşmeye devam etmesine olanak tanır (Maxted et al., 1997).

Örneğin, Meksika'nın Oaxaca bölgesinde yürütülen projeler, yerel mısır çeşitlerinin çiftçi tarlalarında aktif olarak korunmasını ve geliştirilmesini teşvik etmektedir (Bellon et al., 2017). Türkiye'de de son yıllarda özellikle bazı bölgelerde (örneğin Kars ve Kastamonu) yerel tohumların çiftçiler tarafından yaşatılması için projeler yürütülmektedir.

Ex-situ koruma, yerel çeşitlerin tohum bankaları, gen bankaları veya araştırma merkezlerinde saklanması yoluyla gerçekleştirilir. Bu yöntem, çeşitlerin fiziksel olarak kaybolması durumunda bile genetik materyallerinin korunmasını sağlar (Engels, 2003).

Dünyanın en büyük ex-situ koruma örneklerinden biri, Norveç'teki Svalbard Global Tohum Kasasıdır. Burada, dünya genelinden toplanan yaklaşık bir milyon tohum örneği güvence altına alınmıştır (Westengen et al., 2013). Ancak, ex-situ korumanın

sınırlamaları da vardır; saklanan tohumların zaman içinde canlılıklarını yitirmeleri veya adaptasyon süreçlerinin durması gibi riskler söz konusudur.

Katılımcı Bitki Islahı ve Yerel Çeşitlerin İyileştirilmesi

Yerel çeşitlerin korunması kadar, bu çeşitlerin iklim değişikliğine daha iyi adapte olmalarını sağlamak da önemlidir. Bu noktada **katılımcı bitki ıslahı (Participatory Plant Breeding - PPB)** yöntemleri devreye girmektedir.

Katılımcı bitki ıslahı, çiftçilerin doğrudan ıslah sürecine dahil edilerek, yerel çevre koşullarına uygun, çiftçi ihtiyaçlarına göre şekillenen yeni çeşitlerin geliştirilmesi sürecidir (Ceccarelli & Grando, 2007).

Örneğin, Suriye’de ICARDA tarafından yürütülen projelerde, kuraklık koşullarına daha iyi adapte olan arpa çeşitleri geliştirilmiş ve çiftçilerle birlikte sahada test edilmiştir (Ceccarelli et al., 2000). Benzer çalışmalar Etiyopya’da buğday ve Peru’da patates çeşitlerinde de gerçekleştirilmiştir (Almekinders & Elings, 2001). Bu yöntem, hem yerel çeşitlerin genetik potansiyelinin değerlendirilmesini sağlar hem de tarım sistemlerinin iklim değişikliğine uyum yeteneğini artırır.

Politika Önerileri ve Gelecek Perspektifleri

İklim değişikliğinin etkilerine uyum sağlamada, yerel çeşitlerin korunması ve değerlendirilmesi kritik bir öneme sahiptir. Ancak bu hedefe ulaşabilmek için güçlü ve kapsayıcı politika araçlarına, çiftçi haklarının korunmasına, agroekolojik yaklaşımların teşvik edilmesine ve yeni araştırma önceliklerine ihtiyaç duyulmaktadır (Altieri, 2004; Jarvis et al., 2008).

Yerel eşitlerin Yasal Korunması

Yerel çeşitlerin korunması, sadece bilimsel ve tarımsal değil, aynı zamanda hukuki ve politik bir mesele haline gelmiştir. Ancak günümüzde yürürlükte olan tohum yasaları ve entelektüel mülkiyet düzenlemeleri, çoğu zaman yerel tohum sistemlerinin devamlılığını tehdit etmektedir (Andersen, 2017; Louwaars & De Boef, 2012).

Çiftçi Haklarının Tanınması ve Güçlendirilmesi

Çiftçiler, yerel çeşitlerin seçimi, geliştirilmesi ve korunmasında asli aktörlerdir. Bu nedenle:

- Çiftçi Hakları kapsamında, tohum üretme, saklama, takas etme ve satma hakları açık bir şekilde yasal güvence altına alınmalıdır (FAO, 2004).
- Katılımcı Politika Yapımı teşvik edilerek, çiftçilerin tarım ve tohum politikalarının oluşturulmasında aktif roller üstlenmeleri sağlanmalıdır (Andersen, 2017).

Örneğin, Hindistan'ın 2001 tarihli **Protection of Plant Varieties and Farmers' Rights Act** yasası, çiftçilerin yerel tohum kullanımını koruma altına alan öncü düzenlemelerden biridir (Swaminathan, 2002).

Coğrafi İşaretler ve Yerel eşit Tescili

Coğrafi işaretler (GI) ve yerel çeşit tescil sistemleri, yerel tarımsal ürünlerin değerini artırarak hem ekonomik kalkınmayı hem de biyolojik çeşitliliğin korunmasını desteklemektedir (Belletti et al., 2017).

Örneğin, Türkiye'de **Taşköprü Sarımsağı** ve **Aydın İnciri** gibi ürünler coğrafi işaret olarak korunmuş ve pazarlama avantajı sağlamıştır. Avrupa'da 'Menşe Adı' sistemi, geleneksel tarım ürünlerinin korunmasında etkin bir rol oynamaktadır (Barham, 2003).

İklimle Dayanıklı Tarım Sistemleri İçin Yerel Çeşitlerin Rolü

Yerel çeşitlerin iklim değişikliğine uyum kapasitesi, onları iklim dirençli tarım sistemlerinin ana bileşeni yapmaktadır.

Polikültür ve Ekosistem Dayanıklılığı

Yerel çeşitlerin çoklu ürün sistemlerinde kullanımı, ekosistem dayanıklılığını artırır:

- Polikültür sistemleri, zararlılara ve hastalıklara karşı doğal bir direnç mekanizması oluşturur (Kremen & Miles, 2012).
- Genetik çeşitlilik, çevresel değişkenliklere karşı sistemin esnekliğini artırır (Altieri, 1999).

Örneğin Latin Amerika'daki milpa sistemlerinde yerel mısır, fasulye ve kabak çeşitlerinin birlikte yetiştirilmesi, hem toprak sağlığını hem de üretkenliği korumaktadır (Perfecto & Vandermeer, 2010).

Agroekoloji ve Düşük Girdili Sistemler

Agroekoloji, yerel çeşitlerin çevresel ve kültürel bağlamda etkin bir şekilde kullanılmasını destekler:

- Yerel çeşitler, az girdili (düşük gübre ve pestisit kullanımı) sistemlerde verim sürdürülebilirliğini sağlar (Gliessman & Tittone, 2015).
- Agroekolojik yaklaşımlar, yerel bilgi ile modern bilimi birleştirerek dayanıklı üretim sistemleri kurmayı hedefler (Wezel et al., 2009).

Örneğin Küba'da agroekolojiye geçiş sürecinde yerel fasulye ve mısır çeşitleri, pestisit kullanımını % 80 azaltarak üretimi sürdürülebilir hale getirmiştir (Altieri & Funes-Monzote, 2012).

Sonuç

Küresel iklim değışikliğı, tarımsal üretim sistemlerini her geçen gün daha fazla tehdit etmekte ve gıda güvenliğini ciddi şekilde riske atmaktadır. Artan sıcaklıklar, su kıtlığı, toprak bozulması ve biyotik stres faktörlerindeki değışimler, geleneksel tarım yöntemlerinin ve modern ıslah stratejilerinin sınırlarını ortaya koymaktadır. Bu çerçevede, **yerel çeşitler**, sahip oldukları genetik çeşitlilik, adaptasyon kapasitesi ve kültürel değerleri ile iklim değışikliğine karşı sürdürülebilir tarım sistemlerinin inşasında vazgeçilmez bir kaynak olarak öne çıkmaktadır.

Çalışmada ortaya konulduğu üzere:

- Yerel çeşitler, uzun yıllara dayanan doğal seçim ve çiftçi uygulamaları sonucunda çevresel stres faktörlerine karşı yüksek dayanıklılık geliştirmiştir.
- Modern tarım uygulamaları, genetik çeşitliliğin kaybı ve genetik erozyon gibi sorunlara yol açarak yerel çeşitlerin korunmasını daha da zorlaştırmıştır.
- Yerel çeşitlerin korunması için hem **in-situ** hem de **ex-situ** stratejilerin birlikte uygulanması; çiftçi katılımına dayalı bitki ıslah programlarının ve esnek tohum politikalarının geliştirilmesi gereklidir.
- Ayrıca, yerel çeşitlerin agroekolojik sistemlerde entegrasyonu ve iklime dayanıklı üretim modellerinin yaygınlaştırılması, tarımın gelecekteki iklim şoklarına karşı direncini artıracaktır.

Gelecek perspektifinde, yerel çeşitlerin korunması yalnızca bir genetik kaynak yönetimi meselesi olarak değil, aynı zamanda **gıda egemenliği, kültürel sürdürülebilirlik ve ekosistem direnci** bağlamında da ele alınmalıdır. Bilim insanları, politika yapıcılar, çiftçiler ve sivil toplum kuruluşları arasında daha güçlü iş birlikleri

kurularak, yerel çeşitlerin korunması ve değerlendirilmesine yönelik bütüncül ve katılımcı stratejiler geliştirilmeli ve uygulanmalıdır.

Sonuç olarak, iklim değişikliğine uyumlu, adil ve sürdürülebilir bir tarım geleceği ancak **yerel çeşitlerin korunması ve yaşatılması** ile mümkün olacaktır. Bu bağlamda atılacak her adım, yalnızca bugünün değil, geleceğin gıda güvenliğinin ve ekolojik dengesinin de teminatı olacaktır.

Kaynakça

Almekinders, C. J. M., & Elings, A. (2001). Collaboration of farmers and breeders: Participatory crop improvement in perspective. *Euphytica*, 122, 425-438.

Altieri, M. A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. In *Invertebrate biodiversity as bioindicators of sustainable landscapes* (pp. 19-31). Elsevier.

Altieri, M. A. (2004). Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(1), 35-42.

Altieri, M. A., & Koohafkan, P. (2008). *Enduring farms: climate change, smallholders and traditional farming communities* (Vol. 6, p. 63). Penang: Third World Network (TWN).

Altieri, M. A., & Funes-Monzote, F. R. (2012). The paradox of Cuban agriculture. *Monthly Review*, 63(8), 23-33.

Anbessa, Y., & Bejiga, G. (2002). Evaluation of Ethiopian chickpea landraces for tolerance to drought. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 49(6), 557-564.

Andersen, R. (2017). The international treaty on plant genetic resources for food and agriculture: Toward the realization of farmers' rights as a means of protecting and enhancing crop genetic diversity. In *Routledge Handbook of Biodiversity and the Law* (pp. 135-153). Routledge.

Asseng, S., Ewert, F., Martre, P., Rötter, R. P., Lobell, D. B., Cammarano, D., ... & Zhu, Y. (2015). Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature climate change*, 5(2), 143-147.

Barham, E. (2003). Translating terroir: the global challenge of French AOC labeling. *Journal of rural studies*, 19(1), 127-138.

Bebber, D. P., Ramotowski, M. A., & Gurr, S. J. (2013). Crop pests and pathogens move polewards in a warming world. *Nature climate change*, 3(11), 985-988.

Belletti, G., Marescotti, A., & Touzard, J. M. (2017). Geographical indications, public goods, and sustainable development: The roles of actors' strategies and public policies. *World Development*, 98, 45-57.

Bellon, M. R. (1996). The dynamics of crop infraspecific diversity: A conceptual framework at the farmer level. *Economic botany*, 26-39.

Bellon, M. R. (2008). Do we need crop landraces for the future?. *Agrobiodiversity Conservation and Economic Development*, 10, 51.

Bellon, M. R., Dulloo, E., Sardos, J., Thormann, I., & Burdon, J. J. (2017). In situ conservation—harnessing natural and human-derived evolutionary forces to ensure future crop adaptation. *Evolutionary applications*, 10(10), 965-977.

Brush, S. B. (Ed.). (2000). *Genes in the field: on-farm conservation of crop diversity*. Boca Raton: Lewis Publishers.

Ceccarelli, S., Grando, S., Bailey, E., Amri, A., El-Felah, M., Nassif, F., ... & Yahyaoui, A. (2000). Participatory barley breeding in Syria, Morocco and Tunisia. *Euphytica*.

Ceccarelli, S., & Grando, S. (2007). Decentralized-participatory plant breeding: an example of demand driven research. *Euphytica*, 155, 349-360.

Ceccarelli, S., Grando, S., Maatougui, M., Michael, M., Slash, M., Haghparast, R., ... & Nachit, M. (2010). Plant breeding and climate changes. *The Journal of Agricultural Science*, 148(6), 627-637.

Chakraborty, S., & Newton, A. C. (2011). Climate change, plant diseases and food security: an overview. *Plant pathology*, 60(1), 2-14.

Dawson, I. K., Powell, W., Hendre, P., Bančič, J., Hickey, J. M., Kindt, R., ... & Jamnadass, R. (2019). The role of genetics in mainstreaming the production of new and orphan crops to diversify food systems and support human nutrition. *New Phytologist*, 224(1), 37-54.

Döll, P., Trautmann, T., Gerten, D., Schmied, H. M., Ostberg, S., Saaed, F., & Schleussner, C. F. (2018). Risks for the global freshwater system at 1.5 C and 2 C global warming. *Environmental Research Letters*, 13(4), 044038.

Dubois, O. (2011). *The state of the world's land and water resources for food and agriculture: managing systems at risk* (pp. xxiii+-285).

Dwivedi, S. L., Ceccarelli, S., Blair, M. W., Upadhyaya, H. D., Are, A. K., & Ortiz, R. (2016). Landrace germplasm for improving yield and abiotic stress adaptation. *Trends in plant science*, 21(1), 31-42.

Engels, J. (2003). *A guide to effective management of germplasm collections* (No. 6). Bioversity International.

FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, & World Health Organization. (2004). *Evaluation of certain food additives and contaminants: sixty-first report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives* (Vol. 61). World Health Organization.

FAO. (2010). *Second Report on the State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture*. FAO, UK distributor: Stationery Office.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N. S. M. A., Fujita, D. B. S. M. A., & Basra, S. M. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. In *Sustainable agriculture* (pp. 153-188). Dordrecht: Springer Netherlands.

Frankel, O. H., Brown, A. H., & Burdon, J. J. (1995). *The conservation of plant biodiversity*. Cambridge University Press.

Gliessman, S., & Tiftonell, P. (2015). Agroecology for food security and nutrition. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 39(2), 131-133.

Hammer, K., Gladis, T., & Diederichsen, A. (2003). In situ and on-farm management of plant genetic resources. *European Journal of Agronomy*, 19(4), 509-517.

Hatfield, J. L., & Prueger, J. H. (2015). Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and climate extremes*, 10 (Part A), 4-10.

Hong, J., Lee, M., Kim, Y., Lee, Y. S., Wee, J., Park, J. J., ... & Cho, K. (2024). Potential range shift of a long-distance migratory rice pest, *Nilaparvata lugens*, under climate change. *Scientific reports*, 14(1), 11531.

IPCC. (2014). *Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (R. K. Pachauri & L. A. Meyer, Eds.). Geneva, Switzerland: IPCC.

Ismail, A. M., Heuer, S., Thomson, M. J., & Wissuwa, M. (2007). Genetic and genomic approaches to develop rice germplasm for problem soils. *Plant molecular biology*, 65, 547-570.

Jarvis, A., Lane, A., & Hijmans, R. J. (2008). The effect of climate change on crop wild relatives. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 126(1-2), 13-23.

Joshi, B. K., Gorkhali, N. A., Pradhan, N., Ghimire, K. H., Gotame, T. P., KC, P., ... & Paneru, R. B. (2020). Agrobiodiversity and its Conservation in Nepal. *Journal of Nepal Agricultural Research Council*, 6, 14-33.

Kaya, Y. (2021). Winter wheat adaptation to climate change in Turkey. *Agronomy*, 11(4), 689.

Kranthi, K. R., & Stone, G. D. (2020). Long-term impacts of Bt cotton in India. *Nature plants*, 6(3), 188-196.

Kremen, C., & Miles, A. (2012). Ecosystem services in biologically diversified versus conventional farming systems: benefits, externalities, and trade-offs. *Ecology and society*, 17(4).

Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123(1-2), 1-22.

Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, 7(5), 5875-5895.

Legg, S. (2021). IPCC, 2021: Climate change 2021-the physical science basis. *Interaction*, 49(4), 44-45.

Lobell, D. B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333(6042), 616-620.

Louwaars, N. P., & De Boef, W. S. (2012). Integrated seed sector development in Africa: a conceptual framework for creating coherence between practices, programs, and policies. *Journal of Crop Improvement*, 26(1), 39-59.

Maxted, N., Ford-Lloyd, B. V., & Hawkes, J. G. (1997). Complementary conservation strategies. In *Plant genetic conservation: the in situ approach* (pp. 15-39). Dordrecht: Springer Netherlands.

Mercer, K. L., & Perales, H. R. (2010). Evolutionary response of landraces to climate change in centers of crop diversity. *Evolutionary applications*, 3(5-6), 480-493.

Peng, S., Huang, J., Sheehy, J. E., Laza, R. C., Visperas, R. M., Zhong, X., ... & Cassman, K. G. (2004). Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(27), 9971-9975.

Perfecto, I., & Vandermeer, J. (2010). The agroecological matrix as alternative to the land-sparing/agriculture intensification model. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(13), 5786-5791.

Pressoir, G., & Berthaud, J. (2004). Population structure and strong divergent selection shape phenotypic diversification in maize landraces. *Heredity*, 92(2), 95-101.

Rengasamy, P. (2010). Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. *Functional Plant Biology*, 37(7), 613-620.

Shiva, V. (1991). *The violence of the green revolution: third world agriculture, ecology and politics*. Zed Books.

Shrestha, P., Sthapit, S., Subedi, A., & Sthapit, B. (2013). Community biodiversity management fund: promoting conservation through livelihood development in Nepal. In *Community Biodiversity Management* (pp. 118-122). Routledge.

Swaminathan, M. S. (2002). The Protection of Plant Varieties and Farmers' Rights Act: From legislation to implementation. *Current Science*, 82(7), 778-780.

Tan A. (2009). State Of Plant Genetic Resources for Food and Agriculture in Turkey.

Vermeulen, S. J., Campbell, B. M., & Ingram, J. S. (2012). Climate change and food systems. *Annual review of environment and resources*, 37(1), 195-222.

Vigouroux, Y., Barnaud, A., Scarcelli, N., & Thuillet, A. C. (2011). Biodiversity, evolution and adaptation of cultivated crops. *Comptes rendus biologies*, 334(5-6), 450-457.

Westengen, O. T., Jeppson, S., & Guarino, L. (2013). Global ex-situ crop diversity conservation and the Svalbard Global Seed Vault: Assessing the current status. *PloS one*, 8(5), e64146.

WHO. (2018). *The state of food security and nutrition in the world 2018: building climate resilience for food security and nutrition*. Food & Agriculture Org.

Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D., & David, C. (2009). Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for sustainable development*, 29, 503-515.

Wheeler, T., & Von Braun, J. (2013). Climate change impacts on global food security. *Science*, 341(6145), 508-513.

Zhao, C., Liu, B., Piao, S., Wang, X., Lobell, D. B., Huang, Y., ... & Asseng, S. (2017). Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proceedings of the National Academy of sciences*, 114(35), 9326-9331.

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE BUĞDAY ÜRETİMİ: KARŞILAŞILAN ZORLUKLAR VE UYUM STRATEJİLERİ

LEVENT YORULMAZ⁵

Giriş

Buğday (*Triticum aestivum* L.), küresel olarak en önemli tahıl ürünlerinden biri olarak insanların tükettiği toplam kalorinin ve proteinlerin yaklaşık % 20'sine katkıda bulunmaktadır (Yanagi, 2024: 89). Yetiştiriciliği farklı ekolojik bölgelerde yapıldığından küresel gıda güvenliği açısından da önemli bir yere sahiptir. Ancak, iklim değişikliğinin ortaya çıkardığı artan zorluklar, dünya çapında buğday üretim sistemlerini istikrarsızlaştırmakla tehdit etmektedir.

Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), tarım sektörünün iklim değişiminin olumsuz etkilerine karşı özellikle hassas olduğunu vurgulamıştır. Yükselen sıcaklıklar, değişen yağış düzenleri ve aşırı hava olaylarının artan sıklığı, ürün verimlerinde düşüş ve gıda kalitesinde bozulma olarak kendini göstermeye başlamıştır (IPCC, 2021: 1767). Özellikle buğday verimleri azalan bir eğilim sergilemiştir ve çalışmalar 1980 ile 2010 yılları arasında

⁵ Arş. Gör. Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Diyarbakır, ORCID: 0000-0002-2880-1462

küresel sıcaklıkların artmasına atfedilen % 5,5'lik bir azalma olduğunu göstermektedir (Pequeno & ark., 2021: 2).

Modelleme çalışmaları, mevcut iklim yörüngeleri altında, küresel buğday üretiminin yüzyılın ortasına kadar yaklaşık % 1,9 oranında azalabileceğini ve sırasıyla Afrika ve Güney Asya'da % 15 ve % 16'lık daha ciddi azalmalar öngörüldüğünü öngörmektedir (Pequeno & ark., 2021: 1). Zaten gıda güvensizliğiyle boğuşan bu bölgeler, sıcaklık stresi ve su kıtlığının bileşik etkilerine karşı özellikle savunmasızdır. Dahası, buğday verimlerindeki değişkenliğin artması öngörülmektedir ve iklim değişikliği, öncelikle eş zamanlı sıcaklık ve kuraklık stresi olayları nedeniyle küresel buğday üretim değişkenliğinin % 40'ına kadarını oluşturmaktadır (European Commission Joint Research Centre, 2017).

Ayrıca azalan buğday veriminin sonuçları tarımsal alanların ötesine uzanarak önemli sosyoekonomik zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Artan gıda fiyatları, azalan besin kalitesi ve artan gıda güvensizliği beklenen sonuçlar arasındadır. Dünya Bankası akut gıda güvensizliğinin arttığını, etkilenen kişi sayısının 2019'da 135 milyondan 2022'de 345 milyona çıktığını ve bu eğilimin gıda üretim sistemlerindeki iklim kaynaklı kesintilerle daha da kötüleştiğini bildirmektedir (Anonym, 2022).

Bu zorluklar ışığında, buğday üretim sistemlerinin dayanıklılığını artırmayı amaçlayan uyum stratejilerinin geliştirilmesi ve uygulanması için acil bir ihtiyaç vardır. Bu stratejiler, iklime dayanıklı buğday çeşitlerinin geliştirilmesini, tarımsal uygulamaların optimize edilmesini ve teknolojik yeniliklerin entegrasyonunu kapsamaktadır. Dahası, bilgi transferini ve kaynak seferberliğini kolaylaştırmak için politika müdahaleleri ve uluslararası işbirlikleri şarttır.

İklim Değişikliğinin Buğday Üretimi Üzerindeki Etkileri

İklim değişikliği, artan sıcaklıklar, değişen yağış düzenleri, yükselen atmosferik CO₂ seviyeleri ve aşırı hava olaylarının artan sıklığıyla kendini gösteren buğday üretimi üzerinde çok yönlü baskılar uygular. Bu faktörler toplu olarak buğday büyümesini, verimini ve kalitesini etkileyerek küresel gıda güvenliği için önemli zorluklar ortaya çıkarır.

- **Yükselen Sıcaklıklar ve Sıcaklık Stresi**

Yükselen küresel sıcaklıklar buğday fenolojisi ve verimliliği üzerinde derin bir etkiye sahiptir. Yükselen sıcaklıklar gelişim aşamalarını hızlandırır, tahıl doldurma sürelerinin kısalmasına ve verimin düşmesine neden olur (Yanagi, 2024: 91). Çalışmalar, sıcaklıktaki her 1°C artış için buğday veriminin yaklaşık % 6 oranında düşebileceğini göstermektedir (Asseng & ark., 2015: 143). Dahası, çiçeklenme ve tahıl doldurma gibi kritik büyüme aşamalarındaki sıcaklık stresi verim düşüşlerini şiddetlendirir ve tahıl kalitesini tehlikeye atar (Lobell & ark., 2013: 499).

- **Değişen Yağış Modelleri ve Su Stresi**

İklim değişikliği, hem kuraklıklara hem de aşırı yağışa neden olarak buğday üretimini olumsuz etkiler. Kuraklık koşulları toprak nem eksikliğine yol açarak fotosentezi bozar ve biyokütle birikimini azaltır (Farooq & ark., 2014: 186). Tersine, aşırı yağış su basmasına, kök hastalıklarına ve engellenmiş besin alımına neden olabilir (Herzog & ark., 2016: 1069). Yağış modellerindeki artan değişkenlik, özellikle yağmurla beslenen tarım sistemlerinde su yönetimi stratejilerini karmaşılaştırır.

- **Su Basmasının Buğday Üretimine Etkileri**

İklim değişikliğinin bir sonucu olarak sellerin artması (Parry & ark., 2007: 15) ve bazı bölgelerdeki artan yağışın buğday üretimini olumsuz etkilemesi beklenmektedir (Dixon & ark., 2009: 11; Trnka

& ark., 2014: 637). Yüksek yağış, sulama uygulamaları ve/veya zayıf toprak drenajı nedeniyle oluşan su basması (toprak taşkını), dünya çapında her yıl geniş tarım arazilerini etkileyerek kökler üzerinde önemli kısıtlamalar oluşturarak ürün verimi üzerinde olumsuz etkilere neden olur (Jackson, 2008: 230). Bu durumun, buğdayı da içeren yıllık ürünün % 15-20'sinin su basması nedeniyle verim kaybına uğrattığı bildirilmiştir (van Ginkel, Rajaram & Thijssen, 1991: 116; Setter & Waters, 2003: 12). Su basması çoğu zaman toprakta O₂ eksikliğine yol açar (Ponnamperuma, 1972: 29), kök büyümesini önler ve besin maddelerinin ve suyun taşınımını engelleyerek (Jackson & Drew, 1984: 48; Colmer & Voesenek, 2009: 666) bazı köklerin ölümüne neden olabilir (Armstrong, 1979: 225). Sonuç olarak artan insan nüfusunuzun tahıl üretim ihtiyaçlarını karşılamak için, kuraklık veya su basması gibi bölgesel olarak yaygın abiyotik stres faktörlerine daha iyi adapte olmuş buğday çeşitleri yetiştirmek için daha fazla çaba gerekecektir (Trnka & ark., 2014: 638).

- Yüksek Atmosferik CO₂ Konsantrasyonları

Yüksek atmosferik CO₂ seviyeleri, buğdayda fotosentez oranlarını ve su kullanım verimliliğini artırabilir, potansiyel olarak biyokütleyi ve verimi artırabilir (Ainsworth & Rogers, 2007: 258). Ancak, bu "CO₂ gübreleme etkisi" genellikle daha yüksek sıcaklıkların ve besin kısıtlamalarının olumsuz etkileriyle dengelenir (Long & ark., 2006: 1918). Ek olarak, yüksek CO₂ konsantrasyonları tahıl protein içeriğini azaltabilir ve buğdayın besin kalitesini etkileyebilir (Myers & ark., 2014: 139).

- Aşırı Hava Olaylarının Artan Sıklığı

İklim değişikliği, buğday üretimi için önemli riskler oluşturan sıcak hava dalgaları, fırtınalar ve seller gibi aşırı hava olaylarının sıklığının ve yoğunluğunun artmasına katkıda bulunur. Örneğin, 2024 yılında Fransa'da benzeri görülmemiş yağışlar kış

mahsulü üretiminde % 30-40'lık bir azalmaya yol açarak buğdayın bu tür olaylara karşı ne kadar savunmasız olduğunu ortaya koymuştur (Le Monde, 2024).

- Zararlı ve Hastalık Dinamikleri

Değişen iklim koşulları, buğdayı etkileyen zararlıların ve hastalıkların dağılımını ve yaygınlığını etkiler. Yüksek sıcaklıklar ve değişen nem seviyeleri patojenlerin ve böcek zararlılarının coğrafi aralığını genişletebilir ve bu da ürün kayıplarının artmasına neden olabilir (Chakraborty & Newton, 2011: 2). Örneğin, buğday için zararlı bir mantar hastalığı olan Fusarium başak yanıklığının görülme sıklığının gelecekteki iklim senaryolarında artacağı tahmin edilmektedir (van der Fels-Klerx & ark., 2012: 1717).

- Sosyoekonomik Sonuçlar

İklim değişikliğinin buğday üretimi üzerindeki kümülatif etkileri geniş kapsamlı sosyoekonomik sonuçlara sahiptir. Azalan verim ve kalite, özellikle savunmasız popülasyonlarda gıda güvensizliğini artırarak gıda fiyatlarının artmasına neden olabilir (FAO, 2016: 19). Dahası, buğday çiftçiliğinin ekonomik sürdürülebilirliği tehdit altındadır ve bu da arazi kullanımında ve kırsal geçim kaynaklarında potansiyel olarak kaymalara yol açmaktadır.

Uyum Stratejileri

İklim değişikliği, artan sıcaklıklar, değişen yağış düzenleri ve aşırı hava olaylarının artan sıklığı gibi buğday üretimine önemli zorluklar sunmaktadır. Bu etkileri azaltmak ve gıda güvenliğini sağlamak için küresel olarak bir dizi uyum stratejisi geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Bu stratejiler, tarımsal ayarlamaları, genetik iyileştirmeleri, teknolojik yenilikleri ve politika müdahalelerini kapsamaktadır.

- Tarımsal Ayarlamalar

Tarımsal uygulamaları değiştirmek, buğday üretimini değişen iklim koşullarına uyarlamak için temel bir yaklaşımdır. Ekim tarihlerini ayarlamak, ürünün büyüme aşamalarını uygun çevre koşullarıyla uyumlu hale getirmeye yardımcı olabilir ve böylece ısıya ve kuraklık stresine maruz kalmayı azaltabilir. Örnek verecek olursak, yapılan çalışmalar da erken ekimin artan sıcaklıkların buğday verimi üzerindeki olumsuz etkilerini azaltabileceğini göstermiştir (Minoli & ark., 2022: 2). Ayrıca, sulama programlarının optimize edilmesi ve yetersiz sulama gibi su tasarrufu tekniklerinin kullanılması, su kullanım verimliliğini artırabilir ve su kıtlığı koşullarında verimi koruyabilir (Farooq & ark., 2014: 192). Minimum toprak işleme ve bitki artıklarının toprakta bırakılması gibi korumacı tarım uygulamalarının uygulanması, toprak sağlığını ve nem tutmayı iyileştirebilir ve iklim kaynaklı streslere karşı dayanıklılığı daha da artırabilir (Lal, 2015: 5877).

- Genetik İyileştirmeler ve Yetiştirme

İklim değişikliği altında verimliliği sürdürmek için abiyotik streslere karşı gelişmiş toleransa sahip buğday çeşitleri geliştirmek çok önemlidir. Genomik ve moleküler yetiştirmedeki gelişmeler, sıcaklık ve kuraklık direnci gibi stres toleransı özellikleriyle ilişkili genlerin ve kantitatif özellik lokuslarının (QTL'ler) tanımlanmasını kolaylaştırmıştır (Zhang & ark., 2017: 6). İşaretleyici destekli seleksiyon ve genomik seleksiyon teknikleri, dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesini amaçlayan yetiştirme programlarının hızlandırılmasını sağlar. Ayrıca, buğdayın geleneksel yerel çeşitlerinin ve yabancı akrabalarının kullanımı, modern çeşitlere uyarlanabilir özellikler kazandırmak için değerli bir genetik rezervuar sunar (Reynolds, 2010: 1).

- Teknolojik Yenilikler

Teknolojinin buğday çiftçiliği uygulamalarına entegre edilmesi, adaptasyon için ümit verici yollar sunar. Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri dâhil olmak üzere hassas tarım teknolojileri, bitki sağlığı ve çevre koşullarının gerçek zamanlı izlenmesine olanak tanır ve zamanında karar almayı kolaylaştırır (Mulla, 2013: 359). Karar destek sistemleri, hava tahminlerini ve bitki büyüme simülasyonlarını içeren tahmini modellere dayalı olarak çiftçilerin optimum yönetim uygulamalarını seçmelerine yardımcı olabilir (Jones & ark., 2003: 236). Ek olarak, bitki stres toleransını artıran mikrobiyal aşılama gibi iklime dayanıklı biyolojik girdilerin geliştirilmesi, bitki dayanıklılığını güçlendirmek için yenilikçi bir yaklaşımı temsil eder (Rodriguez & Redman, 2008: 1110).

- Politika ve Kurumsal Müdahaleler

Buğday üretiminde iklim değişikliğine etkili bir şekilde uyum sağlamak, destekleyici politikalar ve kurumsal çerçeveler de gerektirir. Hükümetler ve uluslararası örgütler, tarımsal araştırma ve geliştirme, yayım hizmetleri ve altyapıya yatırım yaparak uyumu kolaylaştırmada önemli bir rol oynar. İklim açısından akıllı tarım uygulamalarının benimsenmesini teşvik eden, sürdürülebilir çiftçilik için finansal teşvikler sağlayan ve iklim bilgi hizmetlerine erişimi garantileyen politikalar, kapsamlı bir uyum stratejisinin temel bileşenleridir (FAO, 2016: 20). Dahası, çiftçiler, araştırmacılar, politika yapıcılar ve özel sektör aktörleri de dâhil olmak üzere paydaşlar arasında iş birliğini teşvik etmek, uyarlanabilir çözümlerin ortak yaratılması ve yayılması için kritik öneme sahiptir.

SONUÇ

İklim değişikliği, küresel buğday üretimine derin ve çok yönlü bir tehdit oluşturarak ürün fizyolojisini, verim istikrarını, tane

kalitesini ve gıda güvenliğini etkilemektedir. Tartışıldığı üzere etkiler, artan ortalama sıcaklıklardan, aşırı hava olaylarının daha sık görülmesinden, yağış düzenlerindeki değişimlerden ve yükselen atmosferik CO₂ konsantrasyonlarından kaynaklanmaktadır. Bu iklimsel stres faktörleri, buğdayın çiçeklenme ve tane dolumu gibi kritik fenolojik aşamalarını bozarak verim ve besin yoğunluklarının azalmasına yol açmaktadır (Asseng & ark., 2015: 144; Myers & ark., 2014: 140).

Bu zorluklara rağmen, önemli bilimsel ve teknolojik ilerlemeler uygulanabilir adaptasyon stratejilerinin geliştirilmesini mümkün kılmıştır. Bunlar, ekim tarihlerini ve koruma amaçlı toprak işlemeyi değiştirmek gibi tarımsal ayarlamalardan, modern genomik araçlarla iklime dayanıklı buğday çeşitlerinin yetiştirilmesine kadar uzanmaktadır (Zhang & ark., 2017: 7; Reynolds, 2010: 1). Ayrıca, hassas tarım ve karar destek sistemleri, çiftçilere iklimle ilgili riskleri etkili bir şekilde yönetmeleri için veri odaklı araçlar sağlamıştır (Mulla, 2013: 367).

Bununla birlikte, adaptasyonun hem proaktif hem de sistemik olması gerekir. Teknolojik ve genetik yeniliklerin başarısı, politika ortamlarını, kapsayıcı yönetimi ve küresel iş birliğini etkinleştirmeye bağlıdır. Örneğin, risk yönetimini sürdürülebilir yoğunlaştırma ile bütünleştiren iklim açısından akıllı tarım politikaları, dayanıklılığı artırmak için güçlü kaldıraçlar olarak hizmet edebilir (FAO, 2016: 16). Tarımsal araştırmalar, iklim değişikliği karşısında adaptasyon boşluklarını kapatmak ve eşitliği teşvik etmek için kritik öneme sahiptir (Wheeler & von Braun, 2013: 508).

Bununla birlikte, hala önemli bilgi boşlukları ve sınırlamalar bulunmaktadır. Çoğu ürün simülasyon modeli, özellikle aşırı iklim senaryolarında (Lobell & ark., 2013: 498) karmaşık genotip $\times$ çevre $\times$ yönetim etkileşimlerini yakalamakta hala zorlanmaktadır. Benzer

şekilde, yükseltilmiş CO₂ fotosentezi teşvik edebilirken, faydaları genellikle eş zamanlı sıcaklık stresi ve besin seyreltme etkileriyle dengelenir (Ainsworth & Rogers, 2007: 258). Bu dinamikler, agronomi, klimatoloji, sosyoekonomi ve bitki biyolojisini birleştiren disiplinler arası araştırmalara olan ihtiyacı vurgular.

Sonuç olarak, iklim değişikliği buğday üretimini şüphesiz tehdit ederken, aynı zamanda tarımı daha fazla dayanıklılık, sürdürülebilirlik ve kapsayıcılığa doğru dönüştürmek için bir fırsat sunar. İleriye giden yol, bilimsel inovasyon, çiftçi bilgisi ve küresel dayanışma temelinde uyarlanabilir kapasitede yatmaktadır. Teknolojik gelişmeleri eşitlikçi politika çerçeveleriyle uyumlu hale getirerek, insanlık iklim belirsizliği çağında en hayati temel ürünlerinden birini koruyabilir.

KAYNAKLAR

Ainsworth, E. A. & Roger, A. (2007). The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising [CO₂]: mechanisms and environmental interactions. *Plant, cell and environment*, 30(3), 258-270. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01641.x>

Armstrong, W. (1979) Aeration in higher plants. *In Advances in Botanical Research* (ed H.W. Woolhouse). 7, 225–332. Academic Press, London.

Asseng, S., Ewert, F., Martre, P. Rötter, R. P., Lobell, D. B., Cammarano, D., Kimball, B. A., Ottman, M. J., Wall, G. W., White, J. W., Reynolds, M. P., Alderman, P. D., Prasad, P. V. V., Aggarwal, P. K., Anothai, J., Basso, B., Biernath, C., Challinor, A. J., De Sanctis, G., Doltra, J., Fereres, E., Garcia-Vila, M., Gayler, S., Hoogenboom, G., Hunt, L. A., Izaurrealde, R. C., Jabloun, M., Jones, C. D., Kersebaum, K. C., Koehler, A-K., Müller, C., Naresh Kumar, S., Nendel, C., O’Leary, G., Olesen, J. E., Palosuo, T., Priesack, E., Eyshi Rezaei, E., Ruane, A. C., Semenov, M. A., Shcherbak, I., Stöckle, C., Stratonovitch, P., Streck, T., Supit, I., Tao, F., Thorburn, P. J., Waha, K., Wang, E., Wallach, D., Wolf, J., Zhao, Z. & Zhu, Y. (2015). Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature Clim Change* 5, 143–147. <https://doi.org/10.1038/nclimate2470>

Chakraborty, S. & Newton, A. C. (2011). Climate change, plant diseases and food security: an overview. *Plant pathology*, 60(1), 2-14. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02411.x>

Colmer, T.D. & Voesenek, L.A.C.J. (2009) Flooding tolerance: suites of plant traits in variable environments. *Functional Plant Biology*. 36, 665-681. <https://doi.org/10.1071/FP09144>

Dixon, J., Braun, H.J., Kosina, P. & Crouch, J.H. (2009) Wheat Facts and Futures 2009. *CIMMYT*, Mexico, DF.

European Commission Joint Research Centre. (2017). Climate change accounts for 40% of global wheat production variability. *New Food Magazine*. Retrieved from. <https://www.newfoodmagazine.com/news/42969/climate-change-40-global-wheat-production-variability/>

FAO. (2016). Climate change and food security: Risks and responses. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/3/i5188e/I5188E.pdf>

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S. M. A. (2014). Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(1), 185–212. <https://doi.org/10.1051/agro:2008021>

Herzog, M., Striker, G. G., Colmer, T. D., & Pedersen, O. (2016). Mechanisms of waterlogging tolerance in wheat—a review of root and shoot physiology. *Plant, cell & environment*, 39(5), 1068–1086. <https://doi.org/10.1111/pce.12676>

IPCC. (2021) Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, <https://doi.org/10.1017/9781009157896>

Jackson, M.B. & Drew, M.C. (1984) Effects of flooding on growth and metabolism of herbaceous plants. In *Flooding and Plant Growth* (ed T.T. Kozlowski), 47–128. Academic Press, San Diego.

Jackson, M.B. (2008). Ethylene-promoted Elongation: an Adaptation to Submergence Stress, *Annals of Botany*, 101(2), 229–248. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm237>

Jones, J. W., Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boote, K. J., Batchelor, W. D., Hunt, L. A., Wilkens, P. W., Singh, U., Gijsman, A. J., Ritchie, & J. T. (2003). The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, 18(3-4), 235–265. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00107-7](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00107-7)

Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, 7(5), 5875–5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>

Le Monde. (2024), a year of agricultural calamities driven by climate change. Retrieved from https://www.lemonde.fr/en/environment/article/2024/10/18/2024-a-year-of-agricultural-calamities-driven-by-climate-change_6729802_114.html

Lobell, D., Hammer, G., McLean, G., Messina, C., Roberts, M. J. & Schlenker W. (2013). The critical role of extreme heat for maize production in the United States. *Nature Clim Change*, 3, 497-501 <https://doi.org/10.1038/nclimate1832>

Long, S. P., Ainsworth, E. A., Leakey, A. D., Nosberger, J. & Ort, D. R. (2006). Food for thought: lower-than-expected crop yield stimulation with rising CO₂ concentrations. *Science*, 312(5782), 1918-1921. <https://doi.org/10.1126/science.1114722>

Minoli, S., Jägermeyr, J., Asseng, S., Urfels, A. & Müller, C. (2022). Global crop yields can be lifted by timely adaptation of growing periods to climate change. *Nat Commun*, 13, 7079 <https://doi.org/10.1038/s41467-022-34411-5>

Mulla, D. J. (2013). Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps.

Biosystems Engineering, 114(4), 358–371.
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009>

Myers, S. S., Zanobetti, A., Kloog, I., Huybers, P., Leakey, A. D., Bloom, A. J., Carlisle, E., Dietterich, L. H., Fitzgerald, G., Hasegawa, T., Holbrook, N. M., Nelson, R. L., Ottman, M. J., Raboy, V., Sakai, H., Sartor, K. A., Schwartz, J., Seneweera, S., Tausz, M. & Usui, Y. (2014). Increasing CO₂ threatens human nutrition. *Nature*, 510(7503), 139–142. <https://doi.org/10.1038/nature13179>

Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Cambridge.

Pequeno, D. N. L., Hernandez-Ochoa, I. M., Reynolds, M., Sonder, K., MoleroMilan, A., Robertson, R. D., Lopes, M. S., Xiong, W., Kropff, M. & Asseng, S. (2021). Climate impact and adaptation to heat and drought stress of regional and global wheat production. *Environmental Research Letters*, 16(6), 064070. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd970>

Ponnamperuma, F.N. (1972) The chemistry of submerged soils. In *Advances in Agronomy* (ed N.C. Brady), 29–96. Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60633-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60633-1)

Reynolds, M. P. (Ed.). (2010). *Climate change and crop production*. 1-8. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/abs/10.1079/9781845936334.0000>

Rodriguez, R. J., & Redman, R. S. (2008). More than 400 million years of evolution and some plants still can't make it on their own: Plant stress tolerance via fungal symbiosis. *Journal of*

Experimental Botany, 59(5), 1109–1114.
<https://doi.org/10.1093/jxb/erm342>

van Ginkel, M., Rajaram, S. & Thijssen, M. (1991). Waterlogging in wheat: germplasm evaluation and methodology development. *Seventh Regional Wheat Workshop for Eastern, Central and Southern Africa*. September 16-19. Nakuru, Kenya. 115-124.

Setter T.L. & Waters I. (2003) Review of prospects for germplasm improvement for waterlogging tolerance in wheat, barley and oats. *Plant and Soil*, 253, 1-34.
<https://doi.org/10.1023/A:1024573305997>

Trnka, M., Rötter, R., Ruiz-Ramos, M., Kersebaum, K. C., Olesen, J. E., Žalud, Z. & Semenov, M. A. (2014). Adverse weather conditions for European wheat production will become more frequent with climate change. *Nature Clim Change*, 4, 637–643.
<https://doi.org/10.1038/nclimate2242>

van der Fels-Klerx, H. J., de Rijk, T. C., Booij, C. J. H., Goedhart, P. W., Boers, E. A. M., Zhao, C., Waalwijk, C., Mol, H.G.J. & van der Lee, T.A.J. (2012). Occurrence of Fusarium Head Blight species and Fusarium mycotoxins in winter wheat in the Netherlands in 2009. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 29(11), 1716–1726. <https://doi.org/10.1080/19440049.2012.685891>

Wheeler, T. & von Braun, J. (2013). Climate Change Impacts on Global Food Security. *Science*, 341, 508-513
<https://doi.org/10.1126/science.1239402>

Anonym. (2022). Climate Explainer: Food Security and Climate Change. Retrieved from.
<https://www.worldbank.org/en/news/feature/2022/10/17/what-you-need-to-know-about-food-security-and-climate-change>

Yanagi, M. (2024). Climate change impacts on wheat production: Reviewing challenges and adaptation strategies. *Advances in Resources Research*, 4(1), 89-107. https://doi.org/10.50908/arr.4.1_89

Zhang, H., Mittal, N., Leamy, L. J., Barazani, O., & Song, B. H. (2017). Back into the wild—Apply untapped genetic diversity of wild relatives for crop improvement. *Evolutionary applications*, 10(1), 5-24. <https://doi.org/10.1111/eva.12434>

HAŞHAŞ (*Papaver somniferum* L.)’İN TAKSONOMİSİ, KULLANIM ALANLARI VE ALKALOİT ÖZELLİKLERİ

**NAZLI AYBAR YALINKILIÇ⁶
ŞİLAN ÇİÇEK BAYRAM⁷
SEMA BAŞBAĞ⁸**

Giriş

Ekonomik olarak önemli yağlı tohumlu bitki türlerinden biri olan haşhaş, tropik ve subtropik iklim kuşağının hakim olduğu bölgelerde yaygın olarak yetiştirilmektedir (Egan, 2011). Haşhaş (*Papaver somniferum*)’ın kökeninin günümüzde Irak ve Kuveyt bölgelerini temsil eden antik Mezopotamya olduğu bilinmektedir (Aragón-Poce ve ark., 2002). Haşhaşın sütlü öz suyundan (lateks) elde edilen alkaloidler farmakolojik ilaç endüstrisinde kullanılırken tohumları çoğunlukla gıda sektöründe değerlendirilmektedir (Gümüşçü ve ark., 2008). Haşhaşın sütlü öz suyu afyon adı verilen ve uyuşturucu etkisi yüksek olan birçok alkaloid içerdği için

⁶ Dr., Muş Alparslan Üniversitesi, Bitkisel ve Hayvansal Ürünler Bölümü, Orcid: 0000-0002-7462-775X

⁷ Dr., Dicle Üniversitesi, Tarla Bitkileri, Orcid: 0000-0002-4486-7322

⁸ Prof. Dr., Dicle Üniversitesi, Tarla Bitkileri, Orcid: 0000-0002-9324-5175

dünyanın çoğu ülkesinde yetiştiriciliği yasaklanmıştır. Dünya genelinde haşhaşın ilaç ve gıda endüstrisi için yetiştirilmesinin yasal olduğu ülkeler; Avustralya, Kanada, Hindistan, Orta ve Güney Amerika, Türkiye, Rusya, Çek Cumhuriyeti, Slovakya, Hollanda, Fransa, Macaristan, İran, Polonya, Romanya ve İspanya'dır. Haşhaşın düşük alkaloit içeriğine sahip bazı çeşitleri de tohum veya yağ üretimi için gıda endüstrisinde kullanılmaktadır. Örneğin Almanya ve Çek Cumhuriyeti gibi bazı Avrupa ülkelerinde *Papaver somniferum*'un yalnızca düşük morfinli çeşitlerinin yetiştirilmesine izin verilmektedir. Bunun yanında Avustralya, Fransa ve İspanya'da haşhaş kapsüllerinden sadece ilaç elde etmek amacıyla yetiştirilirken Macaristan ve Slovakya'da hem gıda hem de ilaç üretmek amacıyla belirli çeşitlerin tarımı yapılmaktadır (Ngersaengsaruy ve ark., 2023).

Haşhaş (*Papaver somniferum* L.) tohumları yaklaşık olarak % 40-50 oranında yağ içermektedir. Bununla birlikte haşhaş yağı % 62-72 oranında linoleik asit (omega-6) ve % 15-20 oranında ise oleik asit (omega-9) içermektedir (Arslan ve Valizadeh, 2014). Haşhaş yağının içerdiği yağ asitlerinin durumu yağın kalitesini etkileyen önemli etmenlerdir. Haşhaş tohumlarından elde edilen yağın birçok kullanım alanı vardır. Yağının kullanım alanlarının çeşitliliği bitkinin birçok farklı sektörde değerlendirilmesini sağlamıştır. Örneğin hem yağı hem de tohumları mutfakta pasta, kurabiye, salata ve yemeklerde kullanılmaktadır. Bunun yanında yağının kuruma özelliğinin hızlı olmasından dolayı sanayide, kozmetik sektöründe, parfüm ve sabun yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır (Nemeth, 2002).

Bitkisel özellikleri

Haşhaşın alkaloit içeren sütlü öz suyu genellikle kesilmiş kök, gövde, yaprak, dal, çiçek sapı ve meyvelerinden salgılanır. Ekonomik olarak yetiştiriciliği yapılan haşhaş, *Papaver somniferum*

L. türü kromozom sayısı $2n=22$ olan tek yıllık bir bitkidir. *Papaver somniferum*'un albüm (beyaz çiçekli), glabrum (kırmızı-mor çiçekli), nigrum (mor çiçekli) ve setigerum (koyu mor çiçekli) varyeteleri dünyada yetiştiriciliği yapılan ülkelerde yaygın olarak bilinmektedir. Türkiye'de genellikle *Papaver somniferum*'un mor ve beyaz çiçekli varyetelerinin tarımı yapılmaktadır (Tanker ve Tanker, 1990). Haşhaş kazık köklü bir bitki olup, kökleri bitkinin gelişim durumu ve toprak yapısına bağlı olarak değişmekle birlikte 20-40 cm kadar derine inebilir (Baser ve Arslan, 2014). Haşhaş kökleri derinlere doğru uzadıkça daralmakta ve ortalama 5-30 cm uzunluğa, 0.4-2 cm genişliğe ulaşabilmektedir. Haşhaş her ne kadar kazık köklü bir bitki olsa da yan kökleri zayıf yapıda olduğu için aşırı sulama veya şiddetli yağış sonrası yatma görülebilmektedir. Bitkinin gövdesi dik, silindirik, taban kısmı yaklaşık 0.3-1.7 cm, orta kısmı ise 1.5-9.7 mm çapında, tüysüz ve mavimsidir. Haşhaş iklim, yetiştirme tekniği ve çeşide göre değişmekle birlikte ortalama 45-160 cm boylanabilmektedir. Haşhaş yaprakları bitkinin alt, orta ve üst kısımlarına göre farklılık göstermektedir. Yaprakların üst kısmı mumsu olup yeşil, mavimsi veya gri renkte olabilmektedir. Yaprak kenarları dişli yapıda olup gövdenin alt kısımlarda bulunan yapraklar genellikle ince-uzun, orta kısımdaki yapraklar geniş-uzun, üst yapraklar ise kalp şeklinde ve nispeten daha küçüktür. Haşhaş bitkisinde çiçek tomurcukları, ana sap ve her bir yan dalın uç kısmında oluşur. Oluşan tomurcukların dış kısımlarında iki çanak yaprak ve iç kısımlarında ise dört taç yaprak bulunmaktadır. Haşhaşın taç yaprakları büyük, gösterişli ve renklidir. Taç yaprakları beyaz, kırmızı, viyole ve pembe gibi çeşitli renklerde olabilir. Haşhaş çiçeklerinde 50 ile 200 arasında değişen erkek organ ve çeşide göre değişmekle birlikte ortalama 5-15 bölmeye sahip bir dişi organ bulunmaktadır (Yazıcı, 2018).

Haşhaş genel olarak kendine döllen bir bitki olarak bilinmektedir. Ancak, çevre faktörleri (rüzgar hızı), çeşit veya böcek

yoğunluğuna göre değişmekle birlikte % 10-37 oranında yabancı dllendiği bildirilmiştir (Patra ve ark., 1992). Haşhaş çiçeklerinin renkli ve gösterişli olmasının yanında çiçeklerinde polen miktarının fazla olması arıların cezbedilmesini sağlayan etmenlerdir. Haşhaş çiçeklerinde döllenmeden sonra ana dal ve her bir yan dalın ucunda kapsül adı verilen meyveler gelişmeye başlar. Haşhaş kapsüllerinin şekli çeşide göre değişmekle birlikte oval, yuvarlak, konik veya fii şeklinde olabilmektedir. Kapsülün şekli, çeşit tanımlanmasında kullanılan önemli morfolojik özelliklerden biridir. Haşhaş tohumu gri, yeşil, mavi, beyaz, pembe ve sarı gibi çeşitli renklerde olabilir. Tohumların boyutu çeşide göre değişmekle birlikte yaklaşık 0.9-1.5 mm uzunluğundadır (Blaschek ve ark., 2016).

Haşhaş tohumları çok küçük olup genellikle böbrek şeklinde dir. Her bir kapsülde yaklaşık 1000-2000 adet tohum bulunmaktadır. Haşhaşın iek rengi ile tohum rengi arasında bir korelasyon olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda tohum renginin mavi, yeşil, kahverengi ve gri olduğu bitkilerin koyu iek rengine sahip olduğu, tohum renginin sarı ya da beyaz olan bitkilerin ise genellikle beyaz iek rengine sahip olduğu bildirilmiştir (Kolsarıcı ve Bayraktar, 1987).

Toprak istekleri

Toprak isteği bakımından seçici olmayan haşhaş bitkisi, hemen hemen her türlü toprakta yetişebilmektedir. Buna rağmen orta derecede alüvyonlu topraklarda optimum gelişim göstererek yüksek ürün verimi elde edildiği bilinmektedir (Baser ve Arslan, 2014). Bu tür topraklar, bitkinin daha iyi gelişim sağlayabileceği yeterli nemin tutulması açısından elverişlidir. Genellikle kumlu topraklar ve ağır bünyeli topraklar haşhaş yetiştiriciliği için uygun değildir. Ağır bünyeli topraklarda kaymak tabakasının oluşması nedeniyle imlenen tohumların sürgünlerinin toprak yüzeyine çıkışı zorlaşabilir bunun yanında ağır bünyeli topraklarda kök gelişimi de

zayıflamaktadır. Öte yandan kumlu toprakların su tutma kapasiteleri düşük olduğu için bitkinin düzenli olarak ihtiyaç duyduğu suyun alınmasını engellemektedir. Toprak koşullarının elverişsiz olması bitkilerin sağlıklı bir şekilde çimlenmesini engellemekle birlikte gelişimin ilerleyen dönemlerinde hastalık ve zararlılara karşı direncinin zayıflamasına, bodurlaşmasına, yaprakların küçülmesine ve dallanmanın azalmasına neden olarak üründe verim kayıplarına yol açmaktadır. Humus açısından zengin ve taban suyu yüksek olmayan iyi havalandırılmış topraklar optimum çimlenme ve ilk gelişim aşamaları açısından uygun ortamlardır. Haşhaş genellikle nötr ya da hafif asidik topraklarda iyi gelişmektedir (Honermeier, 2006; Kadioğlu, 2007).

İklim istekleri

Haşhaşın hem yazlık hem de kışlık olarak yetiştiriciliği yapılmaktadır. Haşhaş, orta derecede serin ve açık güneşli havalarda iyi gelişim göstermektedir. Şiddetli soğuk hava dalgaları, don olayları, kuvvetli rüzgâr ve yetiştirme dönemindeki çok yoğun yağışlar haşhaş verim miktarını ve kalitesini olumsuz etkilemektedir. Bu bağlamda deniz iklimi ile karasal iklim bölgeleri arasındaki geçiş bölgeleri haşhaş için ideal iklim bölgeleri olarak kabul edilmektedir. Haşhaşın ilk gelişim dönemlerindeki büyümesi çok yavaş olduğu için özellikle nemli iklim bölgelerinde yetiştirilmesi, yabancı ot zararı ve hastalık bulaşma riski açısından zordur (Baser ve Arslan, 2014). Rüzgâr şiddetinin yüksek olduğu bölgeler bitki dallarının kırılmasına veya bitkinin devrilmesine neden olduğu için haşhaş yetiştiriciliği için uygun değildir. Haşhaş çimlenme ve erken gelişim dönemlerinde soğuğa nispeten daha dayanıklı olsa da toprak sıcaklığı optimum bir büyüme ve gelişme süreci için oldukça önemli bir faktördür. Haşhaş tohumları toprakta yeterli nemin bulunması durumunda 4 °C’de ortalama 7-12 günde çimlenirler. Daha düşük sıcaklıklar, tohumların çimlenmeden toprak altında kalmasına neden olur.

Kışlık ekimlerde kök sistemi iyi gelişen ve 6 ile 8 adet rozet yaprak formuna ulaşan bitkiler kış mevsimini zarar görmeden geçirebilirler. Çimlenme dönemi geciken ya da henüz kotiledon yapraklı dönemdeyken donlara maruz kalan bitkiler soğuktan zarar görmektedir. Başka bir deyişle kışın çok soğuk ve sert geçmesi, don olaylarının uzun sürmesi gibi faktörler bitkinin yapraklarında zararlar oluşturduğu gibi ölümüne de yol açabilmektedir (Erdurmuş ve Öneş, 1990). Ayrıca sonbaharda geç ekilen ve yetersiz yağış nedeniyle toprak yüzeyine çıkış yapmayan bitkiler ile kotiledon yaprakları düşük sıcaklıklara maruz kalan bitkiler, ilkbahar mevsiminde don olaylarından zarar görebilmektedir. Soğuğun şiddetine ve süresine bağlı olarak yabancı haşhaş varyeteleri -5 °C'ye kadar dayanırken, yerli çeşitler ise kar örtüsü altında -10 °C'ye kadar dayanıklılık gösterebilmektedir. Haşhaşın sağlıklı gelişim gösterebilmesi ve vernalizasyon ihtiyacının karşılanabilmesi için 30-35 gün boyunca 2-3 derece sıcaklığa ihtiyacı vardır. Haşhaş bitkisi özellikle çiçeklenme döneminde güneşi ve sıcak havayı sever. Çiçeklenme ve tohum doldurma dönemindeki sıcaklıklar tohumların olgunlaşması ve hasadın kolaylaşması açısından önemlidir. Uzun gün bitkisi olan haşhaşın, özellikle gün uzunluğunun fazla olduğu ve vejetasyon döneminde havaların açık olduğu bölgelerde meyvelerindeki morfin oranı artmaktadır.

Tohum gelişimi ve olgunlaşma dönemindeki sıcaklıklar, haşhaşın verim ve yağ içeriğini önemli ölçüde etkilemektedir. Tohum doldurma döneminde optimum tohum verimi ve kaliteli yağ içeriği için güneşli, kuru ve sıcak havalar (18–20 °C) uygundur. Ancak çiçeklenme dönemindeki aşırı yüksek sıcaklıklar, tozlaşmayı ve döllemeyi olumsuz etkileyerek tohum veriminin düşmesine neden olabilmektedir. Bu açıdan çiçeklenme ve olgunlaşma döneminde hava sıcaklığının ortalama 20 °C olduğu güneşli havalar haşhaş yetiştiriciliği için uygundur.

Haşhaşın yıllık yağış ihtiyacı yaklaşık 600-700 mm'dir (Yıldırım ve ark., 2016). Yıllık yağış ihtiyacının ortalama 300-400 mm'lik kısmının çiçeklenme dönemine kadar karşılanması optimum bitki gelişimi açısından idealdir. Çiçeklenme periyodundan sonra meydana gelen fazla yağışlar, hem döllemeyi etkileyerek tohum veriminin düşmesine hem de mildiyö (*Peronospora arborescens*) gibi çeşitli hastalıkların yayılmasına neden olmaktadır. Haşhaş ekim tarihinin ilkbahar veya sonbaharda yağmurlardan sonra tavlı toprağa yapılacak şekilde belirlenmesi güçlü bir tohum çimlenmesi için önemlidir. Haşhaş kazık köklü bir bitki olmasına rağmen kök sistemi zayıftır. Bu nedenle dolu, şiddetli yağmurlar ya da aşırı yağış durumlarından sonra meydana gelen rüzgârlar özellikle kapsüllerin gelişim aşamalarında bitkileri yere sererek yatmasına neden olmaktadır. Ayrıca kış mevsiminde toprağın kar örtüsüyle kaplı olmadığı zamanlarda meydana gelen şiddetli rüzgârlar, bitkilerin donarak ölmesine yol açabilmektedir.

Toprak hazırlığı

Haşhaş, tohumla çoğalan bir yağlı tohumlu kültür bitkisidir ve kapsülleri çok sayıda tohum içermektedir. Sağlıklı bir bitki gelişimi için haşhaşın tohum saflığı % 98, çimlenme oranı ise % 80 civarında olmalıdır. Haşhaş tohumlarının ihtiva ettiği nem oranı minimum % 10 olmalı ve tohumlar yabancı ot tohumları ile karışık olmamalıdır. Haşhaş tohumlarının bin dane ağırlığı yaklaşık 0.5 gramdır. Tohumlarının küçük olmasından dolayı haşhaş tarımı yapılacak olan alanlarda toprak hazırlığının dikkatli bir şekilde yapılması optimum çimlenme ve bitki gelişimi için önemli bir faktördür. Toprağın çok kuru olduğu durumlarda haşhaş tohumlarında çimlenme oranı ciddi oranda düşer. Bu nedenle ekim işlemi sonbahar veya ilkbahar yağmurlarından sonra tavlı toprağa yapılmalıdır.

Ekim

Haşhaş bitkisinin toprak işleme sırasında nem kaybını önlemek ve ilk gelişme döneminde soğuğa ve dona dayanıklılığını artırmak için mümkün olduğunca erken ekilmesi gerekmektedir. Haşhaş bölgenin iklim koşullarına bağlı olarak yazlık ve kışlık olarak yetiştirilebilmektedir. Genellikle kışlık ekimler Ekim ayı içerisinde yazlık ekimler ise Şubat, Mart ya da Nisan ayının başında yapılmaktadır. Yazlık olarak yetiştirilen haşhaş formlarının erken ekilmesi bitkinin vejetasyon süresini uzatacağı için ürün verim ve kalitesine olumlu etki etmektedir.

Ekim işlemi önceden hazırlanmış tavlı toprağa elle serpme ya da makine ile yapılabilir. Ekim el ile serpme şeklinde yapılacaksa dekara 2 kg tohum eğer makine ile yapılacaksa da dekara 0.5 kg tohum gereklidir. Haşhaş tohumları küçük yapıda olduğu için ekim derinliğine çok dikkat edilmeli yüzlek veya derin ekimlerden kaçınılmalıdır. Genel olarak haşhaş tohumlarının ekim derinliği 1-2 cm olmalıdır. Ekimden sonra tohumların çimlenerek toprak yüzeyine çıkışı yazlık ve kışlık ekimlere göre değişmekle birlikte 2-3 haftada gerçekleşmektedir. Kışlık olarak ekimi yapılacak olan haşhaş çeşitlerinde bitkilerin kış mevsimine rozet formunda girmeleri sağlıklı bitki gelişimi açısından önemlidir. Aksi halde kar örtüsü olmadan sert kış mevsiminin yaşandığı bölgelerde bitkiler ciddi ölçüde zarar görebilmektedir (Geçit ve ark., 2009). Haşhaş bitkisinde sıra aralığı uygulanacak yetiştirme tekniğine ve yabancı ot kontrolüne göre değişmektedir. Makine ile ekimde sıra arası mesafe 40-50 cm, sıra üzeri mesafe ise yaklaşık 20 cm olacak şekilde ayarlanması idealdir. El ile ekim işleminde sıra arası mesafenin 30 cm, sıra üzeri mesafenin ise 10 cm olarak belirlenmesi gereklidir (Özgen, 2019).

Gübreleme

Çoğu kültür bitkisinde olduğu gibi haşhaşa da iyi bir bitki gelişimi ve ürün verimi için toprak yapısı da dikkate alınarak gübre uygulamalarının yapılması önem arz etmektedir. Bu bağlamda azotlu gübreler iki ya da üçe bölünerek belirli aralıklarla, fosforlu ve potasyumlu gübrelerin ise tamamı sonbahar veya ilkbahar ekimlerinden önce ya da ekim sırasında uygulanıp toprağa karıştırılmalıdır. Haşhaş yetiştiriciliğinde verimli ve kaliteli ürün alınabilmesi için ekimden önce dekara için 3-5 kg saf azot ve 7-8 kg fosfor gübrelemesinin yapılması önerilmektedir (Özgen ve ark., 2017). Haşhaşın azot alımı, çiçeklenme ve tomurcuklanma dönemlerinde en yüksektir. Bu nedenle azotlu gübrenin bir kısmı bitkinin çiçeklenme döneminde verilmelidir. Haşhaş tarımında uygulanacak azot gübresinin miktarı belirlenirken birim alandan alınacak verimin yanında ekim yapılacak toprağın azot içeriğine ve bitkilerin yatmaya karşı dayanıklılıkları da dikkate alınmalıdır. Aşırı azot uygulaması bitkilerin vejetatif dönemini uzatarak olgunlaşmalarını geciktirmektedir. Bunun yanında azot gübrelemesinin haşhaş bitkisinde morfin sentezi ve morfin içeriği üzerinde olumlu etkisi olduğu bilinmektedir (Marquard ve Malko 2006; Honermeier, 2006).

Sulama

Haşhaş tohumlarının çimlenebilmesi için ekim döneminde toprakta yeterli miktarda nemin bulunması gereklidir. Toprakta yeterli nemin bulunmadığı durumlarda ekimden sonra sulama yapılmalıdır. Kök boğazı doldurulmayan tarlalarda salma sulamanın bitkilerde yatmaya yol açabileceği, çiçeklenme döneminde yağmurlama sulamanın ise tozlaşmayı olumsuz etkileyerek alkaloit kaybına yol açacağı bilinmektedir. Haşhaşın su tüketimi günlük ekimlerde 752 mm, yazlık ekimlerde ise 425 mm olarak belirlenmiştir (Anonim, 2018). Genel olarak kışlık ekimlerde

tomurcuklanma döneminde bir sulama, yazlık ekimlerde ise tomurcuklanma ve çiçeklenme dönemleri olmak üzere toplamda iki sulama gerekmektedir. Özellikle ilkbahar döneminin kurak geçtiği yıllarda haşhaşın sulanması tohum ve meyve verimi açısından önemlidir (Erdurmuş ve Öneş 1990; Honermeier, 2006).

Yabancı ot kontrolü

Haşhaş tohumlarında çimlenme ekimden sonra yaklaşık 1-2 hafta içerisinde gerçekleşmektedir. Haşhaşın çimlenme ve ilk gelişim dönemlerinde büyümesi çok yavaş olduğu için yabancı otlara karşı mücadelesi oldukça zayıftır. Bu nedenle iyi hazırlanmış bir tarlaya yapılan ekimden sonra yabancı ot kontrolünün dikkatlice takip edilmesi bitki gelişimi ve ürün verimi açısından oldukça önemlidir. Haşhaş tarlalarında bulunan yabancı otlar ekim bölgelerine göre değişmekle birlikte genellikle tek yıllık yazlık bitkilerdir. Haşhaş fidelerinin çıkışından sonra tarlada bulunan yabancı otlar elle ya da mekanik olarak temizlenmelidir. Çıkış sırasında hassas olan haşhaş bitkilerine zarar vermemek için çapalama dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Haşhaş tarımında toprağın havalandırılması, bitkilerin kök boğazının doldurulması ve yabancı ot kontrolü açısından özellikle ağır bünyeli ve sert topraklarda çapalama önem arz etmektedir. Özellikle ilkbahar ekimlerinde toprak hazırlığı sırasında çapalama ile tarlada bulunan kesekler kırılmalıdır. Böylelikle tarlada bulunan toprak keseklerinin yeni filizlenen haşhaş bitkilerine olan zararı engellenmektedir. Genel olarak seyreltme ve birinci çapalamadan yaklaşık 15-20 gün sonra ikinci çapalama ile boğaz doldurma işlemi yapılmaktadır. İkinci çapalamadan sonra haşhaş bitkileri hızla büyümeye başladığı için yabancı otlarla rekabet güçleri artmaktadır (Broszat, 1992; İncekara, 1964).

Hasat

Haşhaş hasadı, olgunlaşmış tohumların kapsülün dibine düştüğü ve kapsüllerinin tamamen kuruduğu dönemde yapılmaktadır. Güneşe maruz kalmış ve aşırı kurumuş kapsüllerde çatlama ve dolayısıyla tohum dökülmeleri meydana gelmektedir. Bu nedenle haşhaşın hasat zamanının geciktirilmemesi gerekir. Hasat olgunluğuna gelmiş haşhaş kapsülleri bitki sapına bağlandıkları noktadan el ile kırılarak hasat edilmektedir. Genel olarak yazlık olarak yetiştirilen haşhaş bitkileri 6 ay, kışlık olarak yetiştirilenler ise yaklaşık 9 ayda hasat olgunluğuna erişmektedir. Optimum koşullarda haşhaş bitkisinden elde edilen dekara tohum verimi çeşitli faktörlere göre değişmekle birlikte yaklaşık 100-125 kg'dır. Depolama sırasında haşhaş tohumlarının ise nem içeriği % 8–9'u geçmemelidir.

Kökeni ve Tarihçesi

Papaver cinsi, *Plantae* aleminin, *Angiosperms* sınıfına bağlı olan *Ranunculales* takımının *Papaveraceae* familyasına ait bir türdür. *Papaveraceae*, tropikal iklim bölgelerinden alpin ekosistemlerine kadar yetişen yaklaşık 40 cins ve 800 türden oluşan geniş bir ailedir (Egan, 2011). Haşhaş kelimesi *Papaveraceae* familyasının birçok türü için kullanılırken, afyon kelimesi bu familyaya ait en yararlı bitki türlerinden biri olan *Papaver somniferum* L.'un kapsüllerinin çizilmesi ile elde edilen bazı ekstrasyonlar için kullanılmaktadır. *Papaver* cinsinin türleri yaşam biyolojisi ve bitkisel özelliklerine göre 9 bölüme ayrılmıştır. Afyon haşhaşı (*Papaver somniferum*) ve 3 diğer tür (*Papaver glaucum*, *Papaver gracile*, *Papaver decaisnei*) tarımı yapılan en gelişmiş *Papaver* grubunu oluşturmaktadır (Te'te'nyi, 1997). *Papaver somniferum*'un tür içi sınıflandırması ilk olarak Danert (1958) tarafından yapılmıştır. Danert (1958), *Papaver somniferum*'u 3 alt türde (*setigerum*, *somniferum* ve *songaricum*) ayırt etmeye çalışmış

ve bu şekilde 52 botanik çeşidi tanımlamıştır. Kadereit (1988)'de yaptığı çalışmada *Papaver somniferum*'u *setigerum* ve *somniferum* olarak iki alt türe ayırmıştır. Bunlardan *Papaver setigerum*'un, kültüre alınan alt tür olan *Papaver somniferum*'un yabani akrabası olduğu varsayılmaktadır. Danert (1958) ve Hammer (1981) kapsüllerin açılması, stigma loblarının şekli, çiçek ve tohumların rengi gibi bazı morfolojik karakterlere göre *Papaver* cinslerini sınıflandırdılar. Morfolojik özelliklerinin karakterize edilmesinin yanında antosiyanin pigmentlerinin (siyanidin ve pelargonidin türevleri) analizi ile *Papaver* cinsinin tanımlanmasına yönelik gelişmeler hız kazanmıştır (Labanca ve ark., 2018). *Papaver somniferum* muhtemelen yabani bir Asya türünden veya Akdeniz çevresinde yetişen *Papaver setigerum* adlı bir türden evrimleşmiştir. Günümüzde bu türün doğal yaşam alanının Akdeniz çevresi olduğu bildirilmesine rağmen, hem subtropikal hem de ılıman iklim bölgelerinde yaygın olarak yetiştirilmektedir (Duarte, 2005).

Kullanım alanları

Papaverum türlerinin adaptasyon yeteneği yüksektir ve bu nedenle Etiyopya, İskandinavya, Tayland, Tazmanya ve Arjantin gibi farklı ülkelerin ekosistemlerinde tarımı yapılabilmektedir (Labanca ve ark., 2018). En büyük haşhaş üreticisi ülkeler Hindistan, Burma (Myanmar), Afganistan, Türkiye ve eski Sovyetler Birliği olup, tüm ekili alanların üçte ikisini temsil etmektedir. Bunların arasında Hindistan, dünya ilaç endüstrileri için üretilen afyonun yaklaşık yarısını üretmekte olup bu afyondan kodein, morfin, narkotin, tebain, papaverin gibi maddeleri izole etmektedir (Te'te'nyi, 1997). Adaptasyon yeteneği yüksek olan haşhaş genel olarak farklı ekolojilerde yetiştirilebilmektedir. Aynı zamanda iklim ve toprak seçiciliği de fazla olamayan haşhaşın ekonomik açıdan kritik dönemi genellikle temmuz ayındaki hasat zamanıdır. Dolayısıyla hasat doğru zamanda yapılmazsa, haşhaşın ürettiği alkaloid maddelerin kalitesi olumsuz etkilenebilir. Çiçeklenme

döneminin sonunda hasat edilebilen haşhaşın afyon içeriği ve kalitesi erken ya da geç hasat tarihlerine göre değişebilmektedir. Örneğin erken hasat döneminde afyonun içerdiği morfin düzeyi azalırken geç yapılan hasatlarda ise morfin kodein gibi maddelere biyolojik olarak parçalanabilir. Afyon, narkotin, papaverin, kodein, tebain, morfin gibi birçok doğal alkaloit içerir ve bu alkaloitlerin farklı alanlarda değerlendirilmesi ile yarı sentetik ürünler elde edilmektedir (Dang ve Facchini, 2012).

Antik çağlardan beri afyon haşhaşı (*Papaver somniferum* L.), sekonder metabolit içeriğinden kaynaklanan tıbbi özellikleriyle bilinmektedir. En önemli sekonder metabolitler olarak bilinen benzilizokinolin alkaloitleri (BİA'lar) birçok farmakolojik alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. *Papaver somniferum* türünün bitkisel özellikleri ve bitki kısımları çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir (Eryılmaz ve ark., 2016; Prescha ve ark., 2014). Ancak bu türün ticari önemi çoğunlukla tıbbi özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Haşhaş bitkisi temelde iki önemli ürün için yetiştirilmektedir. Bunlardan biri kapsülleri ve kapsüllerinin çizilmesinden sonra elde edilen alkaloit maddelerdir. İkincisi ise birçok endüstriyel alanda kullanılan tohumu ve yağıdır. Haşhaş tohumları pide, çörek, pasta gibi birçok hamur işinin yapımında kullanılmaktadır. Bunun yanında tohumları kavrulmak suretiyle çerez olarak da tüketilmektedir. Tohumlarının ihtiva ettiği yağ, yemeklik olarak kullanılmasının yanı sıra sabun yapımında, boya ve vernik sanayide, bazı kozmetik ürünlerin üretimi gibi endüstrinin çeşitli kollarında kullanılmaktadır. Ayrıca yağı çıkarıldıktan sonra elde edilen küspesi değerli bir hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. Haşhaş bitkisinin bazı ülkelerde süs bitkisi olarak yaygın bir şekilde kullanıldığı bilinmektedir (Singh ve ark., 2024). Birçok kullanım alanı olmasına rağmen haşhaşın ve içerdiği sekonder metabolitlerin en önemli özelliği farmakolojik açıdan değerli olmasıdır. ‘Opiat’ kelimesi ilk olarak haşhaşta bulunan maddeleri tanımlamak için

kullanılmaya başlanmış ancak daha sonra morfin ve türevlerinden doğrudan türetilen veya sentezlenen tüm bileşikler kapsayan bir terim haline gelmiştir. Bu nedenle morfin, eroin, kodein ve nalokson gibi alkaloidler doğru bir şekilde opiat olarak tanımlanırken, fentanil gibi tam sentetik bileşikler opiat olarak kabul edilmemektedir. Afyon; morfin, kodein ve tebain de dâhil olmak üzere yaklaşık 25 alkaloid içermektedir. Ancak haşhaş tohumlarında bulunan afyon alkaloidlerinden morfin ve kodein, farmakolojik açıdan en aktif bileşiklerdir (Ngersaengsarua ve ark., 2023).

Sonuç olarak haşhaş tohumları %40 ile %50 oranında yağ içermektedir ve yağı, linoleik, oleik, palmitik ve stearik asit gibi yağ asitlerince zengindir. Haşhaş yağı aynı zamanda yüksek oranda E vitamini de içermektedir. Bu açıdan insan beslenmesinde de kullanılan haşhaş yağı aynı zamanda birçok endüstriyel alanda değerlendirilmektedir. Bununla birlikte haşhaş kapsüllerinin olgunlaşmadan çizilmesiyle elde edilen ve afyon adı verilen sütlü özsuyu ilaç yapımı ve tedavi amacıyla yüzyıllar boyunca kullanılmıştır.

Kaynakça

Anonim, (2018). Toprak Mahsülleri Ofisi Genel Müdürlüğü. Haşhaş Raporu. Sayfa 3-4. Ankara.

Aragón-Poce, F., Martínez-Fernández, E., Márquez-Espinós, C., Pérez, A., Mora, R., & Torres, L.M. (2002). History of opium. In International Congress Series (Vol. 1242, pp. 19-21). Elsevier.

Arslan, N., & Valizadeh, N. (2014). Dünya ve Türkiye'de haşhaş tohumu önemi ve ticareti. TÜRKTOB Dergisi (9.sayı).

Baser, K.H.C., & Arslan, N. (2014). Opium poppy (*Papaver somniferum*). Medicinal and aromatic plants of the Middle-East, 305-332.

Blaschek W., Ebel S., Hilgenfeldt U., Holzgrabe U., Reichling J., Schulz V., Barthlott W., & Hölting H.D. (2016). Hagers Enzyklopädie der Arzneistoffe und Drogen.

Broszat W. (1992). Der Mohn (*Papaver somniferum* L.). Anbau und Markt einer wiederentdeckten Kulturpflanze. Der Tropenlandwirt, Beiheft Nr. 47.

Danert S. (1958). Zur Systematik von *Papaver somniferum* L. Kulturpflanze 6: 61-88.

Dang T.T.T., & Facchini P.J. (2012). Characterization of three O-methyltransferases involved in noscapine biosynthesis in opium poppy. *Plant Physiol* 159(2):618–631.

Duarte, D.F. (2005). Uma breve história do ópio e dos opióides. *Revista Brasileira de Anestesiologia*, 55, 135-146.

Egan, P.A. (2011). *Meconopsis autumnalis* and *M. manasluensis* (Papaveraceae), two new species of Himalayan poppy endemic to central Nepal with sympatric congeners. *Phytotaxa*, 20(1), 47-56.

Erdurmuş A., & Öneş Y. (1990). Haşhaş. Toprak Mahsulleri Ofisi, ALKASAN Yayınları Meslek Kitapları, Ankara.

Eryilmaz, T., Yesilyurt, M. K., Cesur, C., & Gokdogan, O. (2016). Biodiesel production potential from oil seeds in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 842-851.

Geçit, H. H., Çiftçi C.Y., Emeklier Y., İkincikarakaya S., Adak S., Kolsarıcı Ö., Ekiz H., Altınok S., Sancak C., Sevimay C.S., & Kendir H., (2009). Tarla Bitkileri Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No: 1569, Ders Kitabı: 521, 540 s. Ankara.

Gümüşçü, A., Arslan, N., & Sarihan, E. O. (2008). Evaluation of selected poppy (*Papaver somniferum* L.) lines by their morphine and other alkaloids contents. *European Food Research and Technology*, 226(5), 1213-1220.

Hammer, K. (1981). Problems of *Papaver* sowm/mm-classification and some remarks on recently collected European poppy land-races. *Kulturpflanze*, 29, 287-296.

Honermeier B. (2006). Mohn. In: Heyland K-U, Hanus H, Keller ER (eds) *Handbuch des Pfl anzenbaues*, vol 4. Ulmer, Stuttgart, pp 262–270.

İncekara F. (1964). Endüstri Bitkileri ve Islahı Cilt II, Yağ Bitkileri. Ege Üniversitesi Yayınları; No. 83, İzmir.

Kadereit J.W. (1988). Sectional affinities and geographical distribution in the genus *Papaver* L. (*Papaveraceae*). *Beitr Biol Pflanz*. 63: 139-156.

Kadioğlu, Y. (2007). Uşak'ta haşhaş tarımının coğrafi özellikleri. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 12(18), 165-186.

Kolsarıcı, Ö., & Bayraktar, N. (1987). Yağ bitkileri uygulama kılavuzu. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları, 1017.

Labanca F., Ovesna J., & Millela L. (2018) *Papaver somniferum* L. taxonomy, uses and new insight in poppy alkaloid pathways. *Phytochem. Rev*, 2018:17:853-871.

Marquard R.A., & Malko A. (2006). Mohn. In: Heyland K-U, Hanus H, Keller ER (eds) *Handbuch des Pfl anzenbaues*, vol 4. Ulmer, Stuttgart, pp 465–468.

Nemeth, E. (2002). World tendencies, aims and results of poppy (*Papaver somniferum* L.) breeding. P. 129-141. In: J.N. Govil, A.P.Kumar and V.K. Singh (eds), *Series Recent Progress in Medicinal Plants*, Vol. 4. Biotechnology and genetic engineering, SCI TECH Pub., Houston, USA.

Ngernsaengsaruy, C., Leksungnoen, N., Chanton, P., Andriyas, T., Thaweekun, P., Rueansri, S., & Hauyluek, W. (2023). Morphology, taxonomy, anatomy, and palynology of the opium poppy (*Papaver somniferum* L.) cultivation in Northern Thailand. *Plants*, 12(11), 2105.

Özgen, Y., Arslan, N., & Bayraktar, N. (2017). Türkiye açısından önemli bitki haşhaşın önemi ve tarımı. *Ziraat Mühendisliği*, (364), 4-8.

Özgen, Y. (2019). Morfin ve noskapin tipi haşhaş (*Papaver somniferum* L.) melezlerinin F4 ve F5 kademelerinde verim ve bazı agronomik özelliklerinin belirlenmesi (Doctoral dissertation, Ankara Üniversitesi (Turkey).

Patra, N. K., Ram, R. S., Chauhan, S. P., & Singh, A. K. (1992). Quantitative studies on the mating system of opium poppy (*Papaver somniferum* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 84, 299-302.

Prescha A, Grajzer M, & Dedyk M (2014) The Antioxidant activity and oxidative stability of cold-pressed oils. *J Am Oil Chem Soc* 91(8):1291–1301.

Singh, M., Pandey, S. S., Singh, S., Rout, P. K., Samad, A., Chanotiya, C. S., & Shukla, A. K. (2024). Implications of high PsSAD expression and oleic acid content in defining the Sujata phenotype of *Papaver somniferum*. *Current Plant Biology*, 39, 100366.

Tanker, M., & Tanker, N. (1990). *Farmakognozi*. Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları, 65(2), 301-302.

Tétényi P. (1997). Opium Poppy (*Papaver somniferum*): Botany and Horticulture. *Horticultural Reviews* 19:373-407.

Yazici, L. (2018). Bazı haşhaş (*Papaver somniferum* L.) diallel melezlerinde verim ve kalite özellikleri ile heterosis etkisinin incelenmesi.

Yıldırım, M. U., Demircan, M., Özdemir, F. A., & Sarıhan, E. O. (2016). İklim değişikliğinin haşhaş (*Papaver somniferum* L.) üretim alanlarına etkisi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25(Özel sayı-2), 289-295.

DİJİTAL GÖZLERLE KURAKLIK: METEOROLOJİK KURAKLIĞIN TARIMSAL YANSIMALARININ İLERİ TEKNOLOJİLERLE HARİTALANMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

SİBEL İPEKEŞEN⁹
MURAT KAYA¹⁰
ÜMİT ACAY¹¹
BEHİYE TUBA BİÇER¹²

Giriş

Dünya nüfusunun 2050 yılına kadar 9,7 milyardan yüksek olacağı ve özellikle de gelişmekte olan ülkelerde nüfusun¹³ yaklaşık %90'ının geçimini yalnızca tarımdan sağlayacağı tahmin edilmektedir (Castaneda & ark., 2016:7844). Ancak küresel iklim

⁹ Dr. Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Diyarbakır, ORCID: 0000-0002-7141-5911

¹⁰ 2Doktora Öğrencisi, University of Lincoln, School of Agri-Food Technology and Manufacturing, ORCID: 000-0001-6626-2984. Türkiye Milli Eğitim Bakanlığı (MEB) tarafından desteklenmektedir.

¹¹ 3Öğr. Gör. Dr. Bingöl Üniversitesi, Gıda Tarım ve Hayvancılık Meslek Yüksekokulu, Bingöl, ORCID: 0009-0008-0645-3293

¹² Prof. Dr. Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Diyarbakır, ORCID: 0000-0001-8357-8470

krizi ile beraber azalan yağışlar, yüksek sıcaklık, ekstrem hava koşulları vb. nedenlerle tarımsal üretim alanlarında su kaynaklarına erişim giderek azalmaktadır. Sonuç olarak, azalan su kaynakları bitkisel üretimi kısıtlayarak bitkileri önemli abiyotik streslerden biri olan kuraklık stresine maruz bırakmaktadır (Bhat & ark., 2021:1255). Son yıllarda azalan yağışlar kuraklığın etkisini artırarak kuraklığın üreticiler için en önemli sorun olmasına neden olmuş ve olmaya da devam etmektedir (Gogoi & Tripathi, 2019:1). Kuraklığın etkilerini inceleyen ve bölgesel bazda kuraklık analizleri yapan çalışmaların artırılması literatüre kaynak oluşturulması bakımından oldukça önemlidir. Ayrıca, sürdürülebilir tarımsal üretim, su kıtlığı ve bunların gıda güvenliği üzerindeki etkisine yönelik sorunlara etkili çözümler geliştirmek de hayati önem taşımaktadır. Bu bölümde kuraklığın aşamaları ve önemli kuraklık türlerinden arasında yer alan meteorolojik kuraklığın ülkemizdeki durumu, bu kuraklık türünün tarımsal üretime etkileri ve kuraklık yönetiminde yeni teknolojilerin kullanımı anlatılacaktır.

Kuraklığın aşamaları

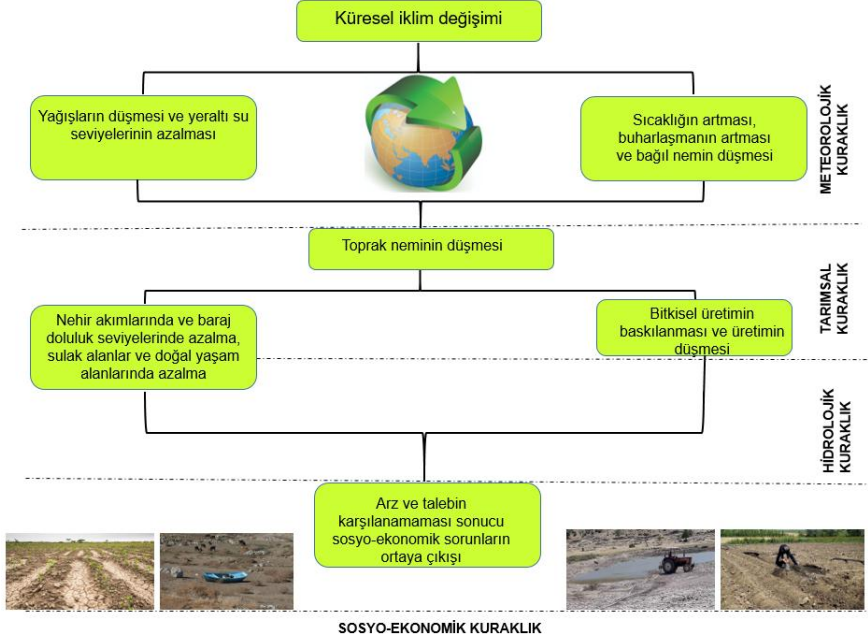
Yağış eksikliğiyle başlayan kuraklık, dört aşamalı bir süreci kapsamaktadır. İlk aşamada kurak hava bölgelerinde yağışın normal seviyelerin altına düşer ve meteorolojik kuraklık meydana gelir meteorolojik kuraklıktan sonra ikinci aşamada yüzey ve yeraltı su seviyeleri düşer ve hidrolojik kuraklık meydana gelir üçüncü aşamada toprak su seviyeleri azalarak ürün kayıpları yaşanır ve tarımsal kuraklık meydana gelir (Mishra & Singh 2010:205; Dai & ark., 2020:1) ve son aşamada da arz ve talebinin karşılanamaz ve sosyo-ekonomik kuraklık meydana gelir (Rousta & ark., 2023: 1613; Öz, 2024: 4474) (Şekil 1).

Kuraklığın etkisi ve oluşan kayıplar uzun vadeli olup her yıl azalan yağışlar yağmurla beslenen tarımsal alanları olumsuz etkilemekte ve buna bağlı olarak mevsimler arası kuraklık dönemleri

yaşanmaktadır (Olsen & ark., 2023:436). Azalan yağışlar ve artan sıcaklıklar mevsimlere ve hatta yıllara yayılarak meteorolojik felaketlere yol açmaktadır. Nitekim dünya çapındaki birçok doğal afet (çığ, dolu, don, fırtına, heyelan, hortum, kar, kum fırtınası, kuraklık, orman yangınları, sis ve şiddetli yağışlar) meteorolojik olayların sonucu olup kuraklık bu doğal afetlerin en tehlikeli olanıdır (Öz, 2024: 4474).

Kuraklık, küresel gıda üretimini etkileyerek su kalitesinin bozulmasına, toprak erozyonunun kötüleşmesine neden olarak birçok çevresel, sosyolojik ve ekonomik sorunların ortaya çıkmasında önemli rol oynamaktadır. Birleşmiş Milletler Dünya Su Kalkınma Ajansı'nın 2018 yılı raporuna göre dünya çapında yaklaşık olarak 55 milyon insan kuraklıktan etkilenmektedir ve maalesef 2030 yılına kadar bu rakamın 700 milyona ulaşarak insanlık için ciddi tehlike oluşmasına neden olacağı öngörülmektedir (WWAP, 2018:1). Bunlara ek olarak, kuraklığın uzun süreli etkilerinin sonucu olarak sosyo-ekonomik sonuçlarının da ağır olacağı ve tarımsal ürünlerin verim ve kalitesinde düşüslere sebep olarak tarımsal gelirlerde ciddi azalmalara yol açacağı bazı araştırmacılarca bildirilmektedir (Juana & ark., 2014:44).

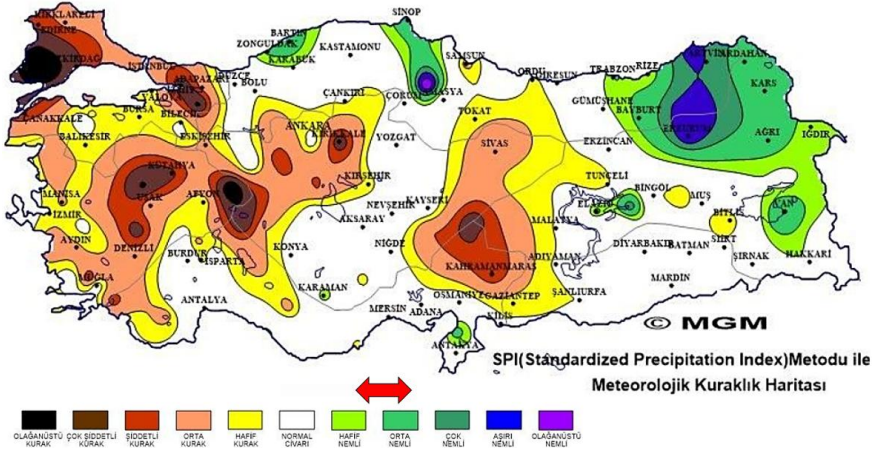
Şekil 1. İklim değişiminin meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve sosyo-ekonomik sonuçları



Türkiye’de meteorolojik kuraklık durumu

Dünya çapında olduğu gibi ülkemizde de kuraklık etkisini giderek artırmaktadır. Bulunduğumuz dönemde ülkemizde yaşanan kuraklığın nitelikleri değerlendirildiğinde diğer kuraklıklara kıyasla meteorolojik kuraklık baskın gelmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü’ne Nisan ayı meteorolojik kuraklık tespit raporuna göre 2024 yılında ülkemizde Ocak ayı itibarı ile uzun yıllar ortalamasına kıyasla Nisan ayı sıcaklık ortalaması ciddi oranda artmış ve yağışlarda yaklaşık olarak %50 oranında düşüş görülmüştür. Ülkemizin meteorolojik kuraklık durumuna ait harita incelendiğinde birçok bölgede olağanüstü ve şiddetli kuraklık yaşandığı görülmektedir.

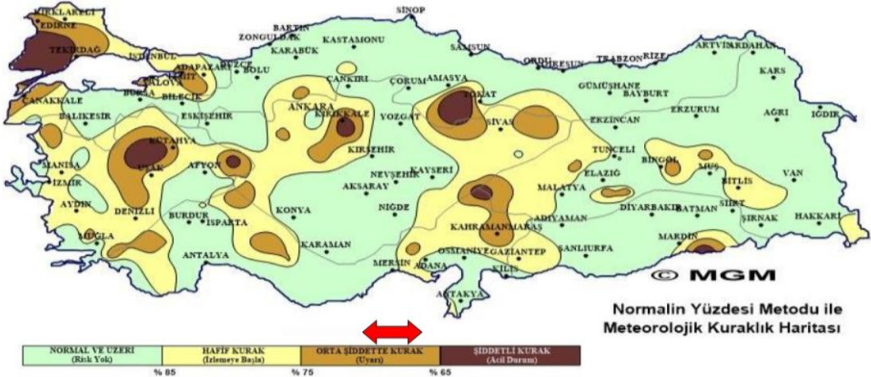
Şekil 2. Standart yağış indeksine (SPI) göre ülkemizin meteorolojik kuraklık durumu



Kaynak: Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2024:41

Özellikle Orta Karadeniz, Muğla'nın doğusu-Antalya'nın batısı arasındaki bölge, Uşak-Kütahya'nın bir bölümü, Bolu ve Kırşehir'in bazı yerlerinde olağanüstü kuraklık etkili olmaktadır (Şekil 2; MGM, 2024:41).

Şekil 3. Normalin yüzdesi indeksine göre ülkemizin meteorolojik kuraklık durumu



Kaynak: Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2024:41

Standart yağış indeksine göre Marmara Bölgesinin neredeyse tamamında, Ege Bölgesi'nde İzmir, Muğla ve çevreleri hariç tamamında, Akdeniz Bölgesi'nde Antalya, Isparta, Mersin, Kahramanmaraş ve çevrelerinde, İç Anadolu Bölgesi'nde Ankara, Kırıkkale, Eskişehir, Konya, Kırşehir, Sivas, Kayseri ve çevrelerinde, Karadeniz Bölgesi'nde Samsun, Ordu, Giresun, Tokat ve çevrelerinde, Doğu Anadolu Bölgesi'nde Tunceli, Bingöl, Bitlis ve çevrelerinde, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Gaziantep ve çevresinde meteorolojik kuraklık etkisini artığı görülmektedir (MGM, 2024:41).

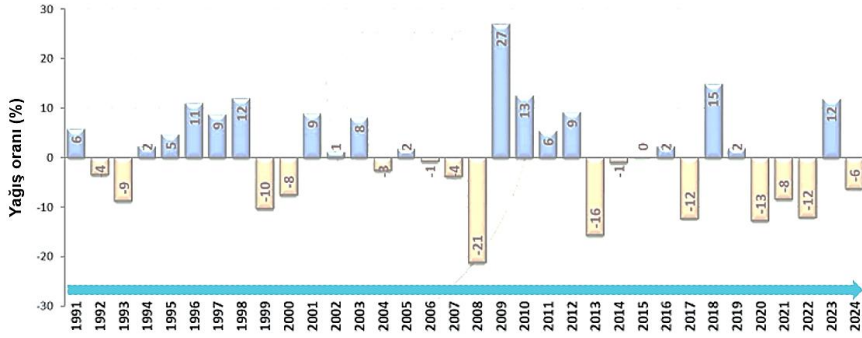
Normalin yüzdesi indeksine göre ise Türkiye'nin yaklaşık %70'nin şiddetli, geri kalan bölgelerin ise orta ve hafif şiddetli kuraklığın etkisi altında olduğu açıkça görülmektedir. Yağışlı geçen gün sayısı ülke genelinde oldukça azdır ve ülkemiz geneli normal değerlerin altında yağış almıştır (Şekil 3; MGM, 2024:35).

Bölgesel olarak değerlendirildiğinde normal değerlerine kıyasla yağış bakımından Marmara %58, Ege %67, Akdeniz %70, İç Anadolu %65, Karadeniz %84, Doğu Anadolu %65 ve Güneydoğu Anadolu'da %36 azalma göstermiştir. En fazla azalma %84 ile Karadeniz bölgesinde olup bu oran son 64 yılın en düşük seviyesinde gerçekleşmiştir. İller bazında değerlendirildiğinde ise Türkiye genelinde mevsim normallerine kıyasla en fazla azalma %85 ile Artvin ve Ardahan'da, en fazla artış ise %61 ile Çanakkale'de gerçekleşmiştir (MGM, 2024:35).

Türkiye'de 2024 yılında alansal yağışı toplamı 537.2 mm yağış gerçekleşmiş olup yağışlarda normal değerlerine kıyasla %6.3 azalma, ancak 2023 yılına kıyasla %16.3 azalma görülmüştür. 2024 yılında kış aylarında yağışlar genel olarak normal değerlerin altında kalarak %7 azalma göstermiş, ancak 2023 yılına kıyasla %66 artmıştır. İlkbahar aylarında yağışlar normal seyirde devam etmiş ancak 2023 yılına kıyasla %32 azalmıştır. Yaz mevsimi yağışları

normal değerlere kıyasla %9, 2023 yılı yaz yağışlarına kıyasla ise %30 azalmıştır. Özellikle Marmara Bölgesi'nde 1993-2024 yılları arasında, Ege Bölgesi'nde 2012-2024 arasında ve Karadeniz Bölgesi'nde 2013-2024 arasında en düşük yaz yağışları meydana gelmiştir. Sonbahar mevsimi yağışları normal değerlerine kıyasla %13, ancak 2023 yılına kıyasla %29 azalmıştır (MGM, 2024:38).

Şekil 4. Türkiye’de alansal yağışların normal değerleri ile karşılaştırılması



Kaynak: Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2024:38

Sonuç olarak, genel olarak sıcaklıkların artması ve 2019 yılı itibari ile yağışların ortalamanın altında kalarak ciddi oranda düşmesi ülkemizde meteorolojik kuraklığın baskın olmasına neden olmaktadır. Bu yıllarda özellikle yaz ve sonbahar aylarında ortalama sıcaklıkların son 52 yılın üstünde olması ve sonbahar yağışlarının normal yağışların altında seyretmesi durumun ciddiyetini açıkça açıklamaktadır.

Meteorolojik kuraklığın tarımsal kuraklığa etkileri

Tarımsal üretimde Şubat, Mart ve Nisan ayları yağışları oldukça önemli olup bu aylarda beklenen yağışların meydana gelmemesi ve ekstrem hava olaylarının (yüksek sıcaklık, ani su baskınları, don vb.) üretimde önemli oranda azalmaya sebep olarak diğer kuraklık türlerinin de etkisini artırabilmektedir.

Şekil 5. Kuraklığın bitkiler üzerindeki etkileri ve bitkilerin kuraklığa dayanıklılık mekanizmaları



Nitekim, beklenenin altında gerçekleşen yağışlar su kaynakları üzerinde stres yaratarak birçok ekolojik problemi beraberinde getirebilmektedir. Bu noktadan sonra kuraklık su kaynaklarına ulaşımı kısıtlayarak bir doğal afete dönüşmektedir. Ülkemizdeki su tüketiminin %73'nün tarımsal sulamada kullanıldığı göz önünde tutulduğunda (Aksoy & ark., 2014:462) kuraklığın tarımsal üretim üzerindeki bilançosunu tahmin etmek zor değildir.

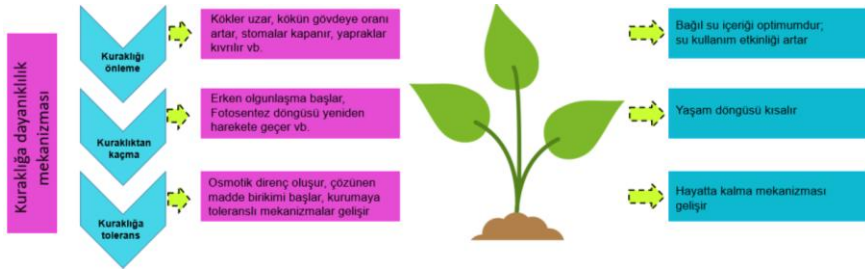
Kuraklık öncelikle bitki büyüme ve gelişimini, fertilitasını ve fizyolojisini bozarak tarımsal çıktıları önemli ölçüde etkilemektedir. Bitki ihtiyaç duyduğu suyu bünyesine alamadığında ksilemde emboli oluşur ve suyun yapraklara hareketini engellenerek bitkide hidrolik çöküş meydana gelir (Sevanto, 2014:1752). Bitkiler kuraklıkla başa çıkmak için reaktif oksijen türlerini (ROS) sentezleyerek bazı stres hormonlarını üretir ve bitki kök ve sürgünlerdeki bazı mekanizmaları devreye sokar (Bhat & ark., 2021:1256). Bitkilerde primer ve sekonder mekanizmaların oluşmasına neden olan olarak çeşitli fonksiyonların gelişmesini tetiklemektedir. Sekonder mekanizmalar oksidatif ayarlamaların

yapılması, transpirasyon ve stomatal iletkenliğin azalması, kök ve sürgün morfolojisinde değişimlerin görülmesi, osmotik ayarlamaların yapılması ve bazı stres hormonlarının gelişmesi sayılabilmektedir (Chiappero & ark., 2019:2). Bu hormonlardan özellikle absisik asit ve etilen bitkilerin kuraklığa karşı oluşturdukları tepkiler bakımından oldukça önemli yer tutmaktadır. Absisik asit, kök mimarisinin değişmesi, köklerden bitki dokularına su girişinin artması, kök-sürgün oranının artması, yaprak yaşlanması ve bitkilerde bazı adaptasyonların gelişmesinde önemli rol oynamaktadır (Daszkowska-Golec, 2016:125). Etilen ise terleme nedeniyle su kaybının azalması, meyve olgunlaşmasının uyarılması, baklagil bitkilerinde nodülasyonun düzenlenmesi ve yaprak yaşlanma davranışlarının değişmesinde oldukça önemlidir (Danish & ark., 2020:49). Primer mekanizmalar arasında reaktif oksijen türlerinin üretimi, stomaların kapanması, su tüketiminin artması, organik ve inorganik bileşiklerin birikimi ve stres sinyallerinin üretimi bulunmaktadır (Liu & ark., 2019:7). Bu mekanizmalar kısa ve uzun süreli tepkilerle sonuçlanmaktadır. Karbon asimilasyonunun azaltılması, stomaların kapanması, osmotik ayarlamaların yapılması, büyümenin engellenmesi, hidrolik değişikliklerin meydana gelmesi, sinyal taşınması ve hücrel kuraklık sinyalizasyonun meydana gelmesi kısa süreli tepkiler arasında yer alırken, baskılanmış sürgün büyümesinin gerçekleşmesi, metabolik adaptasyonların ortaya çıkışı, sınırlı terleme alanının oluşması ve yaşlanma uzun süreli tepkiler arasında yer almaktadır (Şekil 5; Kaur & ark., Asthir, 2017:207).

Kuraklık stresi altında gelişen bitkilerin büyümelerini ve gelişmelerin ciddi şekilde etkilenebilmekte ve bitkiler hayatta kalabilmek için belirli metabolik değişimlere uğrayarak gen ifadelerini değiştirmektedir. Kuraklığın sonucu olarak bitkilerin moleküler, biyokimyasal, fizyolojik, morfolojik ve ekolojik özellikleri ve süreçlerini bozabilmektedir (Ortiz & ark., 2015:95).

Ancak kuraklığın bitkiler üzerindeki etkileri, bitki büyüme ve gelişim periyoduna, yaşa, türe ve kuraklığın niteliği, şiddeti ve süresine ve bitkinin kuraklığa verdiği dirence bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir (Gray & ark., 2016:65). Kuraklığa maruz kalan bitkilerde bazı sinyallerin iletimi gerçekleşir ve bitkiler stoma ayarlaması yaparak gelişmiş iyon aktarımı, transkripsiyon aktiviteleri ve absisik asit gibi bazı maddeler salgılayarak moleküler düzeyde çeşitli ağlar kurar ve strese karşı tepki mekanizmaları gerçekleştirir (Zandalinas & ark., 2020:1735). Şekil 6’da kuraklık ortamında bitkilerde meydana gelen dayanıklılık mekanizmasına ait detaylar sunulmuştur.

Şekil 6. Bitkilerde kuraklığa dayanıklılık mekanizmasının işleyişi



Bitkisel üretimde kuraklık süresi ve meydana geldiği dönem oldukça etkilidir. Büyüme dönemindeki kuraklık durumunu vejetatif ve generatif verimi azaltırken, çimlenme ve fide oluşumu dönemindeki kuraklık çimlenmeyi, fotosentezi ve fide büyümesini geciktirmektedir. Bitki büyüme ve gelişiminin en kritik dönemlerinden biri olan çiçeklenme dönemindeki kuraklık erken tohum gelişimine neden olarak tane sayısını ve hacmini olumsuz etkileyerek nihai verimi sınırlandırmaktadır (Blum, 2017:9). Erken tane gelişimi sırasındaki kuraklık ise gelişmekte olan çekirdeklerin düşmesine neden olmakta, çekirdeklerin şekilsiz olmasına, düşük tohum tutumuna neden olarak ciddi verim ve kalite kayıpları ile sonuçlanmaktadır (Zörb & ark., 2017:54).

Yeni teknolojilerin tarımsal kuraklık yönetiminde kullanımı

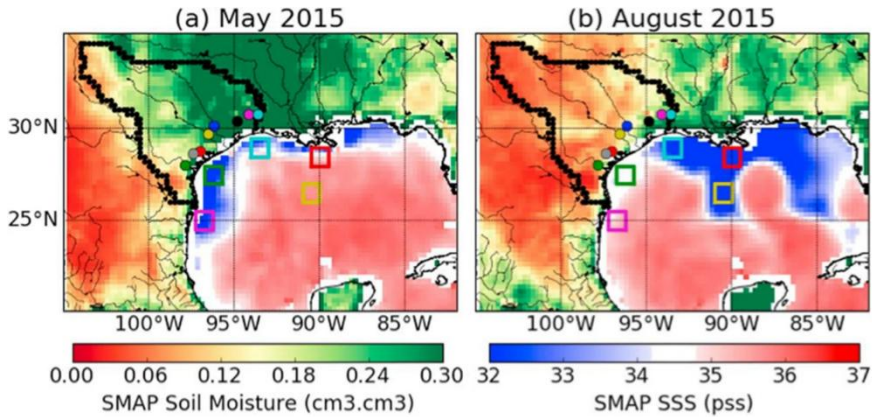
Tarımsal kuraklık, meteorolojik kuraklık nedeniyle doğrudan insan kaynaklı temel bir sorundur. Bu nedenle, meteorolojik kuraklık ve tarımsal kuraklık risklerinin önemle izlenmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Kuraklıkla mücadelede özellikle su yönetimi konusunun ele alınması, sürdürülebilir su yönetimi anlayışının benimsenmesi gerekmektedir. Bu amaçla ekim zamanı, bitki popülasyonu, bitki genotipi, toprak ve besin yönetimiyle ilgili faydalı yönetim uygulamalarının ve kuraklığa dayanıklı transgenik bitkilerin kullanılması kuraklık stresine maruz kalan tarla bitkilerinde verim kayıplarını azaltmaya yardımcı olacaktır. Yapılan bilimsel araştırmalarda su kullanım verimliliği, stoma iletkenliği ve ozmotik ayarlamaları iyileştirmeye yönelik konulara odaklanması ve ıslah çalışmaları ile kuraklığa dayanıklı yeni tür ve çeşitlerin bitkiler geliştirilmesi, moleküler ve genomik yaklaşımların benimsenmesi gerekmektedir (Oliveira & ark., 2020:8). Ayrıca modern ve etkili sulama yöntemlerinin kullanımı, ekim uygulamalarının iyileştirilmesi, malçlama, ozmoprotektanlar ve kuraklığa dayanıklılığı artıran belirli mikroorganizmalarla bitki aşılama çalışmalarının yapılması da faydalı olacaktır (Solis & ark., 2018:9).

Bunların yanı sıra yeni ve modern teknolojiler kullanılarak da etkili yönetim stratejileri geliştirmek mümkündür. Bu anlamda uzaktan algılama teknolojileri başta tarımsal kuraklık olmak üzere diğer kuraklık türlerinin de değerlendirilmesi ve izlenmesinde oldukça etkilidir (Gaikwad & ark., 2019:523). Yansıtıcı uzaktan algılama teknikleri ile bitki örtüsü durumu, termal uzaktan algılama teknikleri ile çevre durumunu, mikrodalga uzaktan algılama teknikleri ile toprak neminin durumu, termal ve yansıtıcı uzaktan algılama teknikleri ile de çevresel stres durumunun izlenmesi gibi birçok avantaj sunmaktadır (Gaikwad & ark., 2021:1; Mullapudi & ark., 2023:11).

Kuraklık izleme sistemleri önemli avantajlar sunsa da bu sistemlerin en büyük dezavantajı, orta ve uzun vadede kuraklığın görülme olasılığının yüksek olduğu yeri, büyüklüğü ve türü konusunda güvenilir tahminler yapamamalarıdır (Funk, 2011:7). Sanayileşmiş ülkelerde bile henüz başarılı büyük ölçekli kuraklık tahminleri yapılamamıştır (Schiermeier, 2013:284). Nitekim farklı sosyo-ekonomik etkileri olan farklı kuraklık türleri bulunması fiziksel olarak ölçülebilir kuraklık parametreleri sınırlı kalmaktadır. Bu bölümde dünya genelindeki birçok bölgede güvenilir gıdaya ulaşımı engelleyen ve meteorolojik kuraklığın doğrudan etkilediği tarımsal üretimde kuraklıkla mücadelede kullanılabilecek yaklaşımlara yer verilmiştir. Kuraklıkla ilgili yapılan bilimsel çalışmaların temelinde ve özünde, tarımsal üretim sistemlerinde etkili olarak kullanılabilecek ve pratikte uygulanabilecek yönetim stratejilerinin geliştirilmesine odaklanılmalıdır. Tarımsal kuraklık izleme sistemleri arasında yer alan geleneksel tarımsal kuraklık izleme yöntemi nokta ölçekli saha izleme metodu olup bölgesel ölçekte uygulanabilirliği esas olarak yer istasyonlarının yoğunluğuna ve mekânsal dağılımına bağlı olarak değişmektedir (Park & ark., 2017:267). Dolayısıyla bu durum sonuçların bölgesel ölçekte uygulanmasını sınırlandırarak kuraklık koşullarının mekânsal dağılımını yansıtmada başarısız sonuçlar verebilir (Crocetti & ark., 2020:13). Bölgesel ölçekli bir izleme yöntemi olarak uydu uzaktan algılama teknolojisi ile yağış tahminleri veya bitki örtüsü endeksleri gibi verilerin elde edilmesi ve erken uyarı sistemleri ağlarının kullanımı sıklıkla tercih edilmesine rağmen erken uyarıyı eyleme dönüştürmede başarısız kalmaktadır (Funk & Verdin, 2010:319). Ayrıca, dünya genelindeki kullanıcıların küresel kuraklık portallarının genel çıktılarından ziyade kendi ihtiyaçlarına göre odaklanması bu teknolojilerin etkili ve faydalı bir biçimde kullanımını sınırlandırmaktadır. Ancak, son zamanlarda kuraklık riskinin azaltılmasına destek olabilecek bir dizi yeni teknolojik

gelişmeler de yaşanmaktadır. Yapılan çalışmalarda uydu aracılığıyla toprak nemi tespit edilebilmekte ve elde edilen veriler ile tarımsal kuraklık izlenebilmektedir. Uzay tabanlı mikrodalga sensörlerinden elde edilen ve nötron problemleri, elektromanyetik sensörler, ısı problemleri ve gama radyasyon sensörleri içeren bu son teknolojik gelişmelerle toprak nemi ölçümlerinin tam potansiyelinin tarımsal kuraklık izleme sistemlerinde kullanımı mümkündür (Babaeian & ark., 2019:531). Nitekim toprak nemi topraktaki sızma, buharlaşma ve akış gibi çeşitli hidrolojik süreçlerle ilişkili olup karasal ekosistemlerin su mevcudiyeti ve çeşitli tarımsal süreçlerin birincil üretkenliğini hakkında bilgi vermesi açısından oldukça önemlidir (Heimann & ark., 2008:292).

Şekil 7. SMAP uydu görüntüleme yöntemi ile değişen tarihlerde toprak neminin ölçümü, (Meksika Körfezi, 2015)



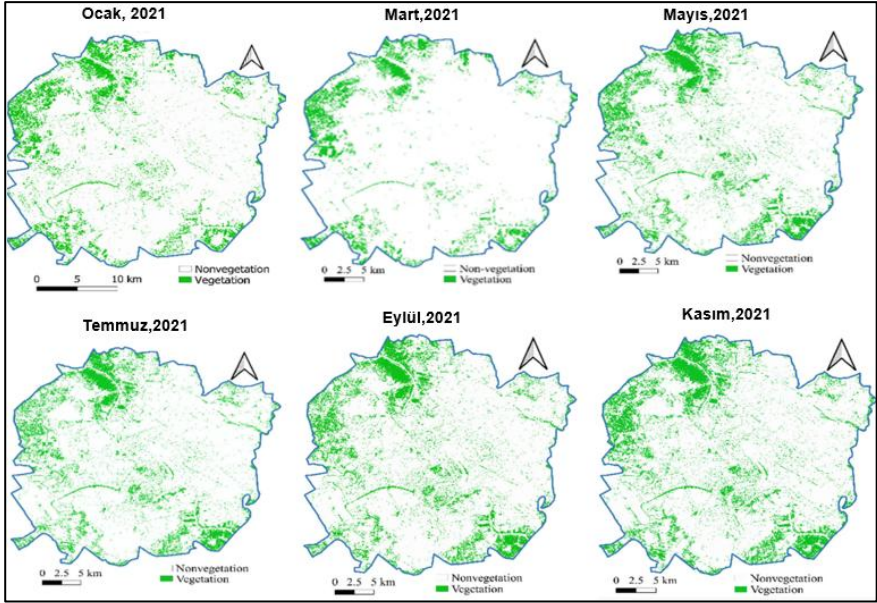
Kaynak: Fournier & ark., 2016:341

Mikrodalga uzaktan algılama, mikrodalga radyasyonunun optikten daha uzun dalga boyları nedeniyle çeşitli uydu görevlerinde kullanılabilir. Optik uzaktan algılama yöntemleri doğruluğu etkileyen bulutlar, pus, toz ve yağmur gibi faktörlerden kaynaklanan atmosferik saçılmayı engelleme kapasitesine sahiptir (Mohanty & ark., 2017:7). Bu nedenle bu uzaktan algılama yöntemleri ile toprak

neminin algılanması kuraklıkla mücadelede umut verici bir çözüm sunmaktadır. Fournier & ark., (2016:341) Meksika Körfezi ve Körfez çevresinde Mayıs ve Ağustos 2015'te SMAP uydusundan alınan görüntüler ile Mayıs 2015'te Teksas üzerindeki şiddetli fırtınanın toprak neminin yanı sıra kıta sahanlığı üzerindeki etkisini de tespit etmişlerdir (Şekil 7). Mirsoleimani & ark., (2019:8) SAR sinyalinin toprak nemine duyarlılığı olduğunu ve su yönetimi, sel ve kuraklık tahmininde etkili sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir. Badarneh & ark., (2024:9) da uzaktan algılamada Landsat ve MODIS veri kümelerinin kuraklık değerlendirmesinde sıklıkla kullanıldığını rapor etmiştir.

Son yıllarda, bu yöntemler birçok araştırmacılar tarafından tarımsal kuraklığı izlemeye uygulanmıştır (Javed & ark., 2021:5; Liu & ark., 2023a:8). Ghazaryan & ark., (2020:715) bitki büyüme koşullarını ve kuraklığın etkilerini tarla ölçeğinde değerlendirmek için optik ve sentetik açıklıklı radar uydularından gelen zaman serisi verilerini başarılı bir şekilde kullanmışlardır. Ashraf & ark., (2022:5) keşif kuraklık endeksi göstergelerini elde etmek için uydu uzaktan algılama yöntemlerini, kuraklık koşulları üzerinde sıcaklık ve yağışın etkisini değerlendirmek için bitki örtüsü endekslerini (NDVI) ve kara yüzey sıcaklığı verilerinden faydalanmışlardır. Liu & ark., (2023b:594) kuraklık tespiti ve izlenmesinde güneş kaynaklı klorofil floresansının potansiyelini araştırarak klorofil floresansının geleneksel bitki örtüsü endekslerinden kuraklığa daha duyarlı olduğunu ve klorofil floresansına dayalı kuraklık endeksinin kuraklık izleme için etkili bir şekilde kullanılabileceği bildirmişlerdir.

Şekil 8. Değişen tarihlerde bitki örtüsünün (NDVI) ölçümü
(Bağdat, 2021)



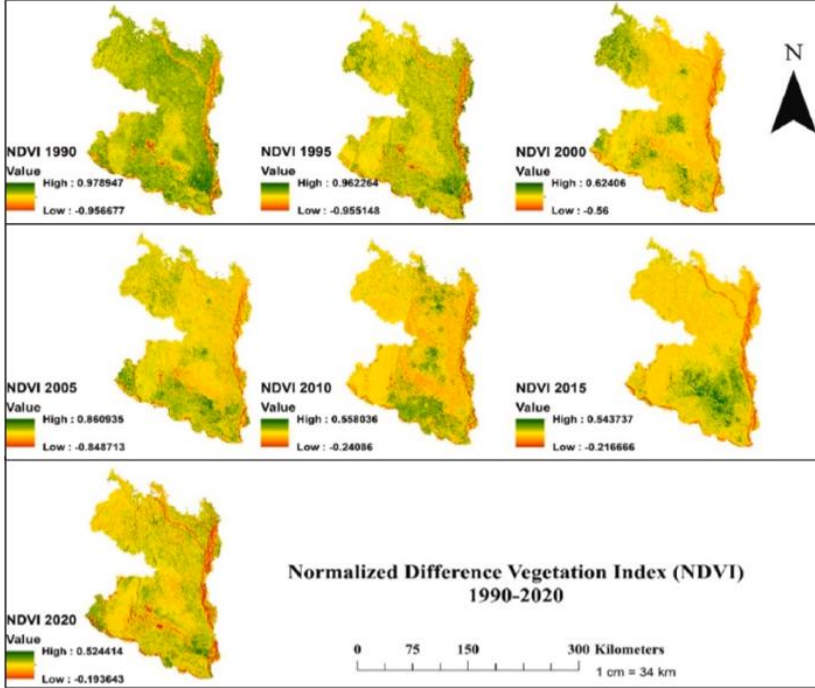
Kaynak: Ahmed & ark., 2024:8

Toprak nemini belirleyerek kuraklık yönteminde etkili kullanım sunan uydu görüntüleri yanı sıra optik uzaktan algılama sensörleri kuraklığı değerlendirme, izleme ve tahmin etme olanağı sunmaktadır (Hazaymeh & Hassan, 2017:328). Geleneksel uzaktan algılama yöntemleri mekânsal ve zamansal çözünürlükle sınırlı olup yüksek frekansta tarımsal bilgi elde etmede başarısız olabilmektedir (Sagan & ark., 2019:3). Nitekim meteorolojik değişimler uydu uzaktan algılama yöntemlerinin tarımsal izlemeye uygulanmasını sınırlandırabilmektedir (Zaman-Allah & ark., 2015:7). Bu nedenle optik uzaktan algılama sensörleri verilerinden türetilen uygun endeksler kuraklık şiddetini değerlendirme ve analiz etmede başarılı bir şekilde kullanılmıştır (Ghebrezgabher & ark., 2019:328).

Tarımsal kuraklığın izlenmesi ve uzaktan algılama verilerinin değerlendirmesinde verime katkısı yüksek olan bazı parametrelerin

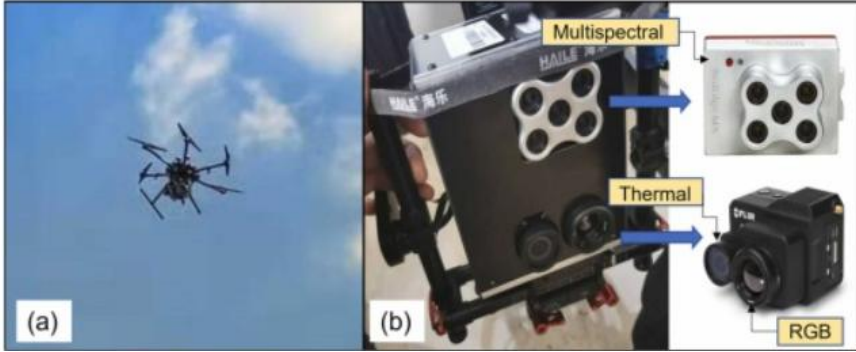
seçilimi yapılabilmektedir. Bu yöntemler için çeşitli endeksler geliştirilmiş olup Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) bitki örtüsü sağlığını belirlemek ve izlemek için kullanılan en popüler bitki örtüsü endekslerinden biridir.

Şekil 9. Değişen yıllarda bitki örtüsünün (NDVI) ölçümü (Bangladeş, 1990-2020)



Kaynak: Das & ark., 2023:7

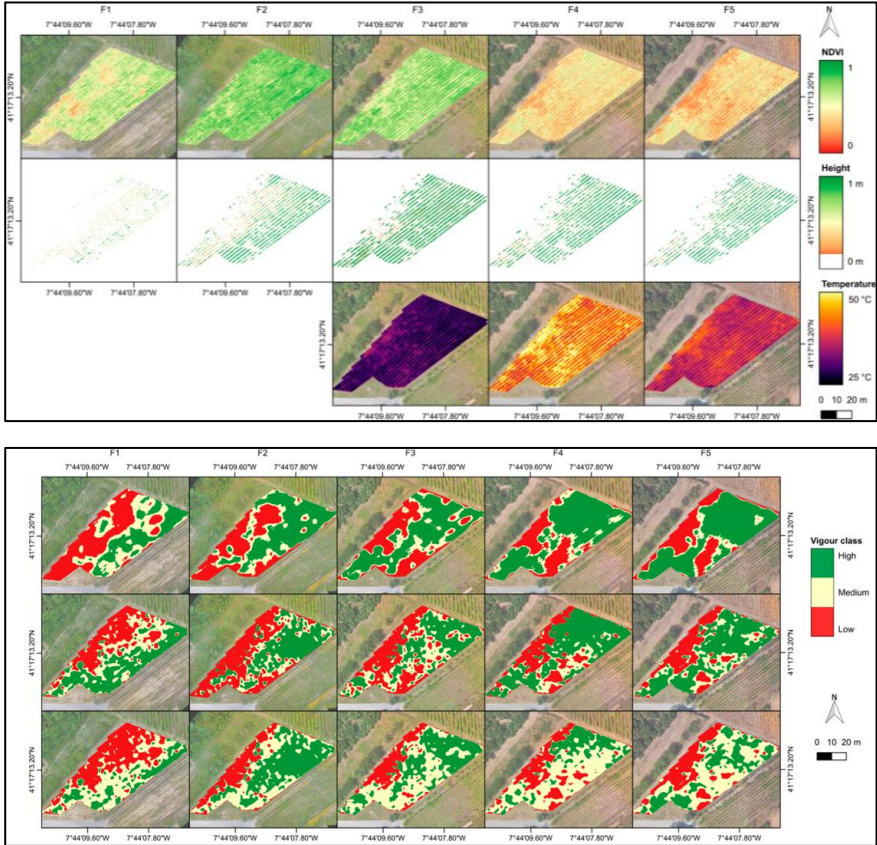
Şekil 10. Entegre sistemler (a) ve multispektral kamera (b) donanımına sahip İHA'ların kurak koşullardaki tarımsal alanlarda kullanımı (Çin, 2023)



Kaynak: Cheng & ark., 2023:3

Bitki örtüsünün ve su kaynaklarının mekânsal ve zamansal dağılımını ve değişimini NDVI ve Normalize Edilmiş Su Farkı İndeksi (NDWI) gibi spektral indeksler aracılığıyla pratik ve ekonomik olarak ölçerek kuraklık araştırmalarında kritik rol oynamaktadır (Şekil 8; Ahmed & ark., 2024:8). Bunların yanı sıra VCI indeksi ile aynı dönemdeki NDVI indeksinin önceki yıllarda elde edilen verilerle karşılaştırmada kullanılabilir. Artan VCI indeksi bitki durumunun sağlıklı oluşuna azalan VCI indeksi ise bitki durumunun kötü olduğuna işaret etmektedir (Sultana & ark., 2021:5). Yine VIC, kuraklığı izleme, buharlaşma ve terlemenin kuraklık üzerindeki etkilerini analiz etmede diğer indekslerle kıyasla başarılı sonuçlar vermiştir (Liu & ark., 2016:128).

Şekil 11. İHA'ların kuraklık koşullarındaki üzüm bağının vigoritesini tespit etmede kullanımı (Portekiz, 2019)



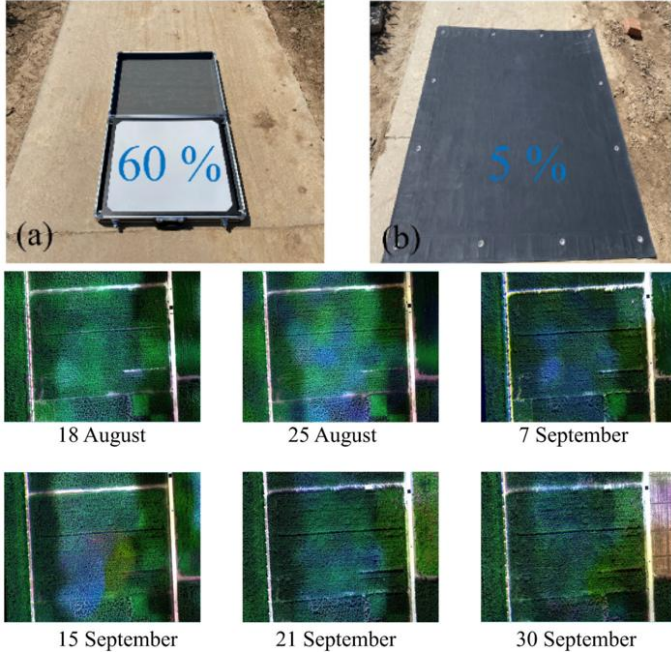
Kaynak: Pádua & ark., 2019:10

Uzaktan algılama sensörlerinden elde edilen veri setine dayanarak kuraklığın su kaynakları üzerindeki etkilerini araştırmak için spektral su endeksleri de kullanılabilir (Şekil 9) (Das & ark., 2023:7). Bu anlamda Standart Yağış İndeksi kuraklık çalışmalarında yaygın olarak kullanılan meteorolojik parametreler arasında yer almaktadır. Nitekim çoğu kuraklık çalışması, kuraklığın etkilerini azaltmak ve kuraklık yönetiminde uygun stratejilerin

geliştirilmesi için meteorolojik ve spektral endekslerden faydalanmaktadır (Loucks & van Beek, 2017:83).

Son yıllarda, insansız hava araçları (İHA) uzaktan algılama yeteneğine sahip olmaları, esnek, verimli, kullanışlı ve düşük maliyetli olmaları tarımsal alanlardan bilgi edinmede yaygın olarak kullanılmaktadır (Guo & ark., 2022:1341; Cheng & ark., 2023:4). Pádua & ark., (2019:8) üzüm bağlarının büyüme durumunu izlemek için bağlarda su stres endeksi oluşturarak multispektral ve termal kızılötesi kameralarla donanmış dronlardan faydalanmışlardır (Şekil 11). Zhou & ark., (2020:4) görünür ışık, termal ve multispektral görüntülere dayalı olarak kuraklık altındaki soya fasulyesinin gelişimini tespit etmede kullanmış ve İHA'ların termal uzaktan algılama yeteneğinin kuraklığa dayanıklı soya fasulyesi genotiplerini seçmede başarılı sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Qin & ark., (2022:5612) İHA'lardan elde edilen termal görüntülerin farklı buğday çeşitlerinin kuraklığa dayanıklılığını değerlendirmede kullanılabileceğini bildirmiştir.

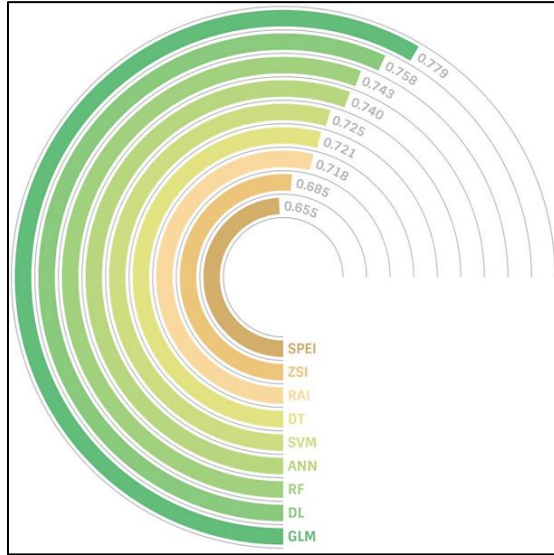
Şekil 12. Farklı yansıtma panellerinden faydalanılarak kuraklık koşullarındaki mısırın farklı büyüme evrelerinde elde edilmiş çoklu-spektral görüntüleri (Çin, 2022)



Kaynak: Guo & ark., 2022:1341

Uzaktan algılama teknolojileri kuraklık belirleme çalışmalarında yaygın olarak kullanılsa da, farklı yöntemlerin uygulanabilirliği üzerine yapılan araştırmalar da giderek artmaktadır.

Şekil 13. Yapay zekâ tabanlı kuraklık indeksleri ile toprak neminin korelasyonu (Avustralya çölü, 2024)



Kaynak: Oyounalsoud & ark., (2024)

Bu bağlamda, geleneksel yöntemlere alternatif olarak yapay zekâ (YZ) temelli modeller, özellikle meteorolojik kuraklık olaylarının daha doğru tahmin edilmesi ve izlenmesi açısından dikkat çekmektedir. Bu yöndeki çalışmalar arasında Oyounalsoud & ark., (2024:14) gerçekleştirdiği araştırma önemli bir yer tutmaktadır. Avustralya'nın Alice Springs bölgesinden elde edilen iklim verileri ve toprak nem ölçümleri üzerinden yürütülen bu çalışmada, çeşitli YZ modellerinin performansı karşılaştırılmıştır. Karar ağaçları (Decision Trees - DT), genelleştirilmiş doğrusal model (Generalized Linear Model - GLM), destek vektör makineleri (Support Vector Machines - SVM), yapay sinir ağları (Artificial Neural Networks - ANN), derin öğrenme (Deep Learning - DL) ve rastgele orman (Random Forest - RF) gibi yöntemlerin değerlendirildiği bu analizde, YZ tabanlı indekslerin geleneksel kuraklık indekslerine kıyasla daha yüksek performans sergilediği belirlenmiştir. Özellikle

GLM tabanlı indeksin üst toprak nemi ile yüksek korelasyonu ($r = 0,78$) dikkat çekmektedir (Şekil 13).

Kuraklık tahminlerinin doğruluğunu artırma amacıyla derin öğrenme tabanlı uzamsal-zamansal modellerin kullanımı da son dönemde önem kazanmıştır. Bu noktada, Marusov & ark., (2024:8) çalışması öne çıkmaktadır. Palmer Kuraklık Şiddet İndeksi (PDSI) verileriyle gerçekleştirilen ve Google Earth Engine platformundan temin edilen TerraClimate veri setleriyle desteklenen analizler, EarthFormer, FourCastNet ve Convolutional LSTM (ConvLSTM) gibi derin öğrenme modellerinin lojistik regresyon ve gradient boosting gibi geleneksel yöntemlerle karşılaştırılmasını içermektedir. Bu çalışmada, kısa vadeli tahminlerde EarthFormer modelinin üstün başarı (ROC AUC skoru: 0,948) gösterdiği belirlenmişken, uzun vadeli tahminlerde ise ConvLSTM modeli daha etkili sonuçlar (12 aylık tahminlerde ROC AUC skoru: 0,617) ortaya koymuştur. Buna karşılık, transformer tabanlı modellerin uzun vadeli tahminlerdeki sınırlılıkları ortaya çıkarken, ConvLSTM modellerinin daha tutarlı ancak hesaplama açısından maliyetli olduğu belirtilmiştir. Model performansını daha da iyileştirmek için ensemble yaklaşımlarının etkili olduğu vurgulanırken, genelleştirilebilirliği artırmak amacıyla farklı coğrafi bölgelerde test edilmesi gerektiğine de işaret edilmiştir.

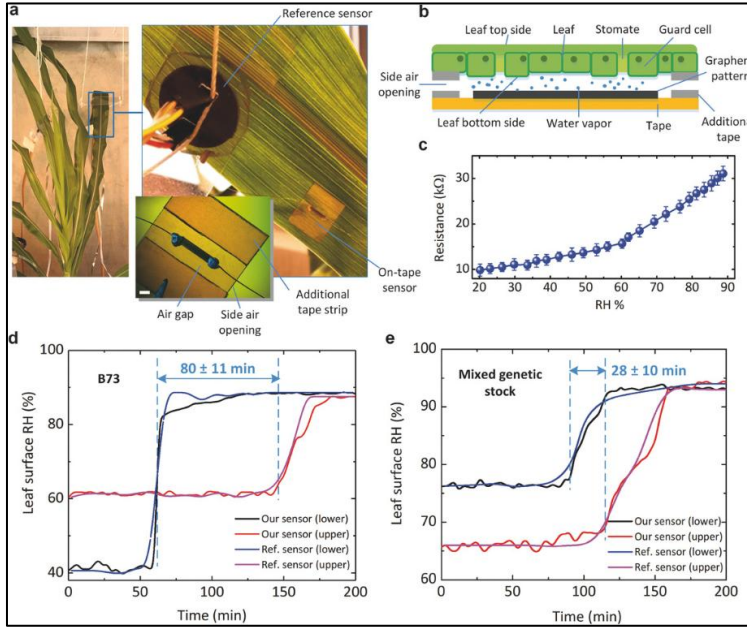
Yapay zekâ ve derin öğrenme yöntemlerinin yanı sıra, veri yönetimi ve paylaşımı konusunda yaşanan zorluklar da kuraklık çalışmalarında dikkate alınması gereken konulardır. Bu kapsamda, merkezi su yönetim sistemlerinin yüksek maliyet, düşük verimlilik ve veri güvenliği açısından yetersiz kalması nedeniyle, merkezi olmayan blok zinciri ağları ön plana çıkmaktadır. Xia & ark., (2022:10) blok zinciri teknolojisinin bilgi toplama, uygulama, etkileşim ve veri güvenliği gibi çeşitli avantajlar sunduğunu ve kuraklık yönetimi açısından güvenilirlik sağladığını belirtmektedir. Ancak, blok zinciri teknolojisinin veri paylaşımı, yasal düzenlemeler

ve standartlaştırma gibi uygulama zorluklarının da göz ardı edilmemesi gerektiği vurgulanmaktadır.

Öte yandan, yüksek hesaplama gücü gerektiren enerji yönetimi, iklim simülasyonları ve kimyasal süreçlerin optimizasyonu gibi karmaşık alanlarda klasik bilgisayarların sınırlılıklarını aşmak için kuantum bilgisayarları önemli bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Giani & ark., (2022:3) kuantum bilgisayarlarının süperpozisyon ve dolanıklık gibi özelliklerinden faydalananarak, kuraklık ve iklim değişikliği gibi karmaşık sorunların çözümünde önemli bir potansiyel barındırdığına işaret etmektedir. Bu bağlamda, gelecekte kuantum hesaplama tekniklerinin, mevcut YZ ve blok zinciri teknolojileriyle birlikte entegre edilerek daha kapsamlı ve etkili çözümler sunabileceği öngörülmektedir.

Çevresel faktörlerin ve bitki gelişiminin izlenebilirliğini artırmak adına nanosensörler gibi güncel teknolojiler de dikkat çekmektedir. Örneğin, grafen tabanlı bant üzerine yerleştirilen nanosensörlerin, mısır bitkisinin yapraklarındaki göreceli nem değişimini izlemek amacıyla kullanıldığı gösterilmiştir (Şekil 14; Oren & ark., 2017). Toprak suyunun sürekli ve doğrudan izlenmesi için ise optik tabanlı sensörlerde alüminyum oksitten üretilmiş nano-gözenekli seramik paneller kullanılmaktadır (Chen & ark., 2019:4; Mijangos & Martin, 2023:528).

Şekil 14. Bitkinin köklerinden yapraklara su geçişinde geçen sürenin tahmininde grafen tabanlı sensörlerin kullanımı. a) Yapragının arkasında bulunan grafen sensörünün fotoğrafı, b) sensör yerleşiminin ve algılama mekanizmasının şematik gösterimi, c) sensörün direnci, d,e) Mısır bitkisinde sulamadan sonra yaprak yüzeyindeki nem seviyesinin gerçek zamanlı izlenmesi



Kaynak: Oren & ark., (2017:11)

Bitkisel üretimin artırılmasında değişken hava koşullarının ve tarımsal meteorolojik parametrelerin doğru bir şekilde değerlendirilmesinin ve analiz edilmesinin payı yüksektir. Tarımsal üretkenlik üzerinde ciddi oranda etkili olan meteorolojik kuraklık tarımsal kuraklıkla sonuçlanmaktadır. Dolayısıyla kuraklığa hazırlık çalışmalarının yapılması ve doğru zamanda doğru önlemlerin alınması etkili sonuçlar verecektir. Bu nedenle büyüme sezonu boyunca tarımsal bölgelerdeki toprak nem koşullarının, yağış miktar ve desenlerinin **yanı sıra** sıcaklık, buharlaşma vb. iklim faktörlerinin

de düzenli olarak izlenmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla toprak, iklim, çevre ve fiziko-kimyasal varyasyonları belirlemek amacıyla tarımsal üretim sistemlerinde uzaktan algılama teknolojisinin benimsenmesi ve daha fazla yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Tarımsal üretimde kuraklık yönetiminde büyüme sezonu boyunca bitki gelişiminin takibi, yönetimi ve verim performansının nesnel olarak değerlendirilmesi oldukça zordur. Bu nedenle bitkilerin performansının tarla koşullarında izlenmesi ve kuraklığın bitkiler üzerindeki etkisine bakılarak daha fazla akıllı kuraklık yönetim teknolojilerinin tasarlanması ve geliştirilmesi gerekmektedir. Kuraklık izleme sistemlerinin etkinliğini artırmak amacıyla birkaç tekniğin birleştirilmesinden oluşan hibrit yaklaşımların da benimsenmesinde fayda vardır (Inoubli & ark., 2020:29).

SONUÇ

Bu bölümde, tarımsal üretimin en önemli sınırlayıcı faktörü haline gelen meteorolojik kuraklığın tarıma yansımaları ele alınarak kuraklığın haritalanması ve değerlendirilmesinde ileri teknolojilerin kullanım olanakları araştırılmıştır. Son zamanlarda teknolojik gelişmeler ile kuraklığın izlenmesi ve değerlendirilmesinde uzaktan algılama sensörleri, spektral indeksler, dron, yapay zekâ vb. araçların kullanımı oldukça artmıştır ve artmaya da devam etmektedir. Ancak, veri tutarsızlığı, mekânsal ve spektral çözünürlüklerdeki farklılıklar vb. sınırlamalar tarımsal kuraklığın tespitini ve izlenmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle bu araçların kullanımı ile elde edilen verilerin iklim verileri ile birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Yapılacak çalışmalarda coğrafi uzamsal ve hibrit teknolojilerin geliştirilmesi ve kullanılması kuraklığın izlenme ve değerlendirmesine kolaylaştıracaktır. Ayrıca kuraklığın otomatik olarak tespit edilmesi ve izlenmesi amacıyla

yüksek zamansal ve mekânsal çözünürlüklü ek uydu ve sensörlerden faydalanılması yeni tekniklerin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Ahmed, M.H., Mahdi, Z.S., Al-Jiboori, M.H. & Mahmood, D.A. (2024). Interannual variations of normalized difference vegetation index and potential evapotranspiration and their relationship in the Baghdad area. *Open Agriculture*, 9(1), 20220386, Doi: 10.1515/opag-2022-0386.

Aksoy, A., Demir, N. & Öztürk, F.G. (2014). Türkiye’de tarımsal amaçlı su kullanımı ve sürdürülebilirliği. *XI. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi*, 3-5 Eylül 2014, Samsun, 462.

Ashraf, M., Ullah, K. & Adnan, S. (2022). Satellite based impact assessment of temperature and rainfall variability on drought indices in Southern Pakistan. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf*, 108, 102726. Doi: 10.1016/j.jag.2022.102726.

Babaeian, E., Sadeghi, M., Jones, S.B., Montzka, C., Vereecken, H. & Tuller, M. (2019). Ground, proximal, and satellite remote sensing of soil moisture. *Rev. Geophys.* 57(2), 530-616. Doi: 10.1029/2018RG000618.

Badarneh, O., Hazaymeh, K., Almagbile, A., & Al Shogoor, S. (2024). Remote sensing-based agricultural drought mapping in Northern Jordan using Landsat and MODIS data. *Environmental Advances*, 18, 100602. Doi: 10.1016/j.envadv.2024.100602.

Bhat, M.A., Mir, R.A., Kumar, V., Shah, A.A., Zargar, S.M., Rahman, S. & Jan, A.T. (2021). Mechanistic insights of CRISPR/Cas-mediated genome editing towards enhancing abiotic stress tolerance in plants. *Physiologia plantarum*, 172(2), 1255-1268. Doi: 10.1111/pp.13359.

Blum, A. (2017) Osmotic adjustment is a prime drought stress adaptive engine in support of plant production. *Plant, Cell and Environment*, 40, 4-10. Doi: 10.1111/pce.12800.

Castaneda, R., Doan, D., Newhouse, D.L., Nguyen, M., Uematsu, H. & Azevedo, J.P. (2016). Who are the poor in the developing world?. *World Bank Policy Research Working*, 7844.

Chen, C., Feng, S., Zhou, M., Ji, C., Que, L., & Wang, W. (2019). Development of a structure-switching aptamer-based nanosensor for salicylic acid detection. *Biosensors and Bioelectronics*, 140, 111342. Doi:10.1016/j.bios.2019.111342.

Cheng, M., Sun, C., Nie, C., Liu, S., Yu, X., Bai, Y., Liu, Y., Meng, L., Jia, X., Liu, Y., Zhou, L., Nan, F., Cui, T. & Jin, X. (2023). Evaluation of UAV-based drought indices for crop water conditions monitoring: A case study of summer maize. *Agricultural Water Management*, 287, 108442. Doi: 10.1016/j.agwat.2023.108442.

Chiappero, J., del Rosario Cappellari, L., Alderete, L.G.S., Palermo, T.B. & Banchio, E. (2019). Plant growth promoting rhizobacteria improve the antioxidant status in *Mentha piperita* grown under drought stress leading to an enhancement of plant growth and total phenolic content. *Industrial Crops and Products*, 139, 111553. Doi: 10.1016/j.indcrop.2019.111553.

Crocetti, L., Forkel, M., Fischer, M., Jurečka, F., Grlj, A., Salentinig, A., Trnka, M., Anderson, M., Ng, W.T., Kokalj, Z., Bucur, A. & Dorigo, W. (2020). Earth Observation for agricultural drought monitoring in the Pannonian Basin (Southeastern Europe): current state and future directions. *Regional Environmental Change*, 20, 1-17. Doi: 10.1007/s10113-020-01710-w.

Dai, M., Huang, S., Huang, Q., Leng, G., Guo, Y., Wang, L., ... & Zheng, X. (2020). Assessing agricultural drought risk and its dynamic evolution characteristics. *Agricultural Water Management*, 231, 106003. Doi: 10.1016/j.agwat.2020.106003.

Danish, S., Zafar-Ul-Hye, M., Hussain, S., Riaz, M. & Qayyum, M.F. (2020). Mitigation of drought stress in maize through

inoculation with drought tolerant ACC deaminase containing PGPR under axenic conditions. *Pak. J. Bot*, 52(1), 49-60. Doi: 10.30848/PJB2020-1(7).

Das, A.C., Shahriar, S.A., Chowdhury, M.A., Hossain, M.L., Mahmud, S., Tusar, M. K., Ahmed, R. & Salam, M.A. (2023). Assessment of remote sensing-based indices for drought monitoring in the north-western region of Bangladesh. *Heliyon*, 9(2). Doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e13016.

Daszkowska-Golec, A. (2016). The role of abscisic acid in drought stress: How ABA helps plants to cope with drought stress. In: Hossain, M.A., Wani, S.H., Bhattacharjee, S., et al. (Eds.), *Drought stress tolerance in plants* (123-151), Cham: Springer International Publishing.

Fournier, S., Reager, J., Lee, T., Vazquez-Cuervo, J., David, C. & Gierach, M. (2016). SMAP observes flooding from land to sea: the Texas event of 2015. *Geophys Res Lett*, 43(19):10338-10346. Doi:10.1002/2016GL070821.

Funk, C. (2011). We thought trouble was coming *Nat. News*, 476(7358), (7–7).

Funk, C. & Verdin, J.P. (2010). Real-time decision support systems: the famine early warning system network. In: Gebremichael, M., Hossain, F. (Eds). *Satellite Rainfall Applications for Surface Hydrology* (295-320), Dordrecht: Springer International Publishing.

Gaikwad, S.V., Vibhute, A.D., Kale, K.V. & Mane, A.V. (2021). Vegetation cover classification using Sentinel-2 time-series images and K-Means clustering. *IEEE Bombay Section Signature Conference*, 2021, Bombay, 1-6, Doi. 10.1109/IBSSC53889.2021.9673181.

Gaikwad, S.V., Vibhute, A.D., Kale, K.V., Dhumal, R.K., Nagne, A.D., Mehrotra, S.C., Varpe, A.B. & Surase, R.R. (2019). Drought severity identification and classification of the land pattern using landsat 8 data based on spectral indices and maximum likelihood algorithm. *Microelectronics, Electromagnetics and Telecommunications* (517–524), Singapore: Springer International Publishing.

Ghazaryan, G., Dubovyk, O., Graw, V., Kussul, N. & Schellberg, J. (2020). Local-scale agricultural drought monitoring with satellite-based multi-sensor time-series. *GIScience Remote Sens.*, 57, 704-718. Doi: 10.1080/15481603.2020.1778332.

Ghebregabher, M.G., Yang, T., Yang, X., & Wang, C. (2019). Assessment of desertification in Eritrea: land degradation based on Landsat images. *Journal of Arid Land*, 11, 319-331. Doi: 10.1007/s40333-019-0096-4.

Giani, A. & Goff-Eldredge, Z. (2022). How quantum computing can tackle climate and energy challenges. *Eos*, 1(103).

Gogoi, A. & Tripathi, B. (2019). 42% India's land area under drought, worsening farm distress in election year. *India Spend* (<https://www.indiaspend.com/42-indias-land-area-under-drought-worsening-farm-distress-in-election-year>).

Gray, S.B. & Brady, S.M. (2016). Plant developmental responses to climate Chang. *Dev. Biol.*, 419, 64-77. Doi: 10.1016/j.ydbio.2016.07.023.

Guo, Y., Chen, S., Li, X., Cunha, M., Jayavelu, S., Cammarano, D., & Fu, Y. (2022). Machine learning-based approaches for predicting SPAD values of maize using multi-spectral images. *Remote sensing*, 14(6), 1337. Doi: 10.3390/rs14061337.

Hazaymeh, K. & Hassan, Q.K. (2017). A remote sensing-based agricultural drought indicator and its implementation over a semi-arid region, Jordan. *Journal of Arid Land*, 9(3): 319-330. Doi: 10.1007/s40333-017-0014-6.

Heimann, M. & Reichstein, M.(2008). Terrestrial ecosystem carbon dynamics and climate feedbacks. *Nature*, 451, 289-292.

Inoubli, R., Abbes, A.B., Farah, I.R., Singh, V., Tadesse, T., & Sattari, M.T. (2020). A review of drought monitoring using remote sensing and data mining methods. In *2020 5th International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP)*, 2020, Tunisia, 1-6.

Javed, T., Li, Y., Rashid, S., Li, F., Hu, Q., Feng, H., Chen, X., Ahmad, S., Liu, F. & Pulatov, B. (2021). Performance and relationship of four different agricultural drought indices for drought monitoring in China's mainland using remote sensing data. *Sci. Total Environ.* 759, 143530. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143530.

Juana, J.S., Makepe, M., Mangadi, K. & Narayana, N. (2014). The socio economic impact of drought in Botswana. *Int. J. Environ. Dev.*, 11, 43-60.

Kaur, G. & Asthir, B. (2017). Molecular responses to drought stress in plants. *Biol. Plant.*, 61, 201-209. Doi: 10.1007/s10535-016-0700-9.

Liu, Y., Shan, F., Yue, H. & Wang, X. (2023a). Characteristics of drought propagation and effects of water resources on vegetation in the karst area of Southwest China. *Sci. Total Environ.* 891, 164663. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.164663.

Liu, Y., Yu, X., Dang, C., Yue, H., Wang, X., Niu, H., Zu, P. & Cao, M.A (2023b). dryness index TSWDI based on land surface temperature, sun-induced chlorophyll fluorescence, and water

balance. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 202, 581-598. Doi: 10.1016/j.isprsjprs.2023.07.005.

Liu, F., Ma, H., Peng, L., Du, Z., Ma, B., & Liu, X. (2019). Effect of the inoculation of plant growth-promoting rhizobacteria on the photosynthetic characteristics of *Sambucus williamsii* Hance container seedlings under drought stress. *AMB Express*, 9, 1-9. Doi: 10.1186/s13568-019-0899-x.

Liu, Y., Ren, L., Ma, M., Yang, X., Yuan, F. & Jiang, S. (2016). An insight into the Palmer drought mechanism based indices: comprehensive comparison of their strengths and limitations. *Stoch Env Res Risk Assess* 30(1), 119-136. Doi: 10.1007/s00477-015-1042-4.

Loucks, D.P. & van Beek E. (2017). Water resource systems planning and management: an introduction to methods, models, and applications. Herdelberg: Springer International Publishing, 77-89.

Marusov, A., Grabar, V., Maximov, Y., Sotiriadi, N., Bulkin, A. & Zaytsev, A. (2024). Long-term drought prediction using deep neural networks based on geospatial weather data. *Environmental Modelling & Software*, 179, 106127. Doi: 10.1016/j.envsoft.2024.106127.

MGM, 2024.
<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/kuraklik-analizi.aspx?d=yillik> (Erişim tarihi: 25.03.2024).

Mijangos, C. & Martin, J. (2023). Polymerization within nanoporous anodized alumina oxide templates (AAO): a critical survey. *Polymers* 15(3), 525. Doi:10.3390/polym15030525.

Mirsoleimani, H.R., Sahebi, M.R., Baghdadi, N. & El Hajj, M. (2019). Bare soil surface moisture retrieval from sentinel-1 SAR data based on the calibrated IEM and dubois models using neural networks. *Sensors*, 19(14), 1-12. Doi: 10.3390/s19143209.

Mishra, A.K. & Singh V.P. (2010). A review of drought concepts. *J. Hydrol.*, 391(1-2), 204-216. Doi: [10.1016/j.jhydrol.2010.07.012](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012).

Mohanty, B.P., Cosh, M.H., Lakshmi, V. & Montzka, C. (2017). Soil moisture remote sensing: state-of-the-science. *Vadose Zone J.*, 16, 1-9. Doi: [10.2136/vzj2016.10.0105](https://doi.org/10.2136/vzj2016.10.0105).

Oliveira, I.C.M., Guilhen, J.H.S., de Oliveira Ribeiro, P.C., Gezan, S.A., Schaffert, R.E., Simeone, M.L.F. & Pastina, M.M. (2020). Genotype-by environment interaction and yield stability analysis of biomass sorghum hybrids using factor analytic models and environmental covariates. *Field Crop Res.*, 257, 107929. Doi: [10.1016/j.fcr.2020.107929](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107929).

Olsen, J., Dettinger, M. & Giovannettone, J. (2023). Drought attribution studies and water resources management. *Bull Am Meteor Soc.*, 104(2): E435–E441. Doi: [10.1175/BAMS-D-22-0214.1](https://doi.org/10.1175/BAMS-D-22-0214.1).

Oren, S., Ceylan, H., Schnable, P.S. & Dong, L. (2017). High-resolution patterning and transferring of graphene-based nanomaterials onto tape toward roll-to-roll production of tape-based wearable sensors. *Advanced Materials Technologies*, 2(12), 1700223. Doi: [10.1002/admt.201700223](https://doi.org/10.1002/admt.201700223).

Ortiz, N., Armada, E., Duque, E., Roldán, A. & Azcón, R. (2015). Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi and/or bacteria to enhancing plant drought tolerance under natural soil conditions: Effectiveness of autochthonous or allochthonous strains. *J. Plant Physiol.*, 174, 87-96. Doi: [10.1016/j.jplph.2014.08.019](https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.08.019).

Oyounalsoud, M.S., Yilmaz, A.G., Abdallah, M. & Abdeljaber, A. (2024). Drought prediction using artificial intelligence models based on climate data and soil moisture. *Scientific reports*, 14(1), 19700. Doi: [10.1038/s41598-024-70406-6](https://doi.org/10.1038/s41598-024-70406-6).

Öz, F.Y., Özelkan, E., & Tatlı, H. (2024). Comparative analysis of SPI, SPEI, and RDI indices for assessing spatio-temporal variation of drought in Türkiye. *Earth Science Informatics*, 17(5), 4473-4505. Doi:10.1007/s12145-024-01401-8.

Pádua, L., Marques, P., Adão, T., Guimarães, N., Sousa, A., Peres, E. & Sousa, J.J. (2019). Vineyard variability analysis through UAV-based vigour maps to assess climate change impacts. *Agronomy*, 9(10), 581. Doi: 10.3390/agronomy9100581.

Park, S., Im, J., Park, S. & Rhee, J. (2017). Drought monitoring using high resolution soil moisture through multi-sensor satellite data fusion over the Korean Peninsula. *Agric. For. Meteorol.*, 237, 257-269. Doi: 10.1016/j.agrformet.2017.02.022.

Qin, W., Wang, J., Ma, L., Wang, F., Hu, N., Yang, X., Xiao, Y., Zhang, Y., Sun, Z., Wang, Z. & Yu, K. (2022). UAV-based multi-temporal thermal imaging to evaluate wheat drought resistance in different deficit irrigation regimes. *Remote Sensing*, 14(21), 5608. Doi: 10.3390/rs14215608.

Rousta, I., Serif, M., Heidari, S., Kiani, A., Ólafsson, H., Kryszczak, J. & Baranowski, P. (2023) Climatic variables impact on inland lakes water levels and area fluctuations in an arid/semi-arid region of Iran, Iraq, and Turkey based on the remote sensing data. *Earth Sci. Inf.*, 16(2), 1611-1635. Doi: 10.1007/s12145-023-00995-9.

Sagan, V., Maimaitijiang, M., Sidike, P., Eblimit, K., Peterson, K. T., Hartling, S., Esposito, F., Khanal, K., Newcomb, M., Pauli, D., Ward, R., Fritschi, F., Shakoor, N. & Mockler, T. (2019). UAV-based high resolution thermal imaging for vegetation monitoring, and plant phenotyping using ICI 8640 P, FLIR Vue Pro R 640, and thermomap cameras. *Remote Sensing*, 11(3), 330. Doi: 10.3390/rs11030330.

Schiermeier, Q. (2013). Climate models fail to predict US droughts. *Nature*, 496 (7445), 284–284.

Sevanto, S. (2014). Phloem transport and drought. *Journal of Experimental Botany* 65(7), 1751-1759. Doi: 10.1093/jxb/ert467.

Solis, J., Gutierrez, A., Mangu, V., Sanchez, E., Bedre, R., Linscombe, S. & Baisakh, N. (2018). Genetic mapping of quantitative trait loci for grain yield under drought in rice under controlled greenhouse conditions. *Front. Chem.*, 5, 129. Doi: 10.3389/fchem.2017.00129.

Mullapudi, A., Vibhute, A.D., Mali, S., & Patil, C.H. (2023). A review of agricultural drought assessment with remote sensing data: Methods, issues, challenges and opportunities. *Applied Geomatics*, 15(1), 1-13. Doi: 10.1007/s12518-022-00484-6.

Sultana, M.S., Gazi, M.Y., & Mia, M.B. (2021). Multiple indices based agricultural drought assessment in the northwestern part of Bangladesh using geospatial techniques. *Environmental Challenges*, 4, 100120. Doi: 10.1016/j.envc.2021.100120.

WWAP, (2018). United nations world water assessment programme, 2018. the united nations world water development report. Nature-Based Solutions. Paris: UNESCO.

Xia, W., Chen, X. & Song, C. (2022). A framework of blockchain technology in intelligent water management. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 909606. Doi: 10.3389/fenvs.2022.909606.

Zaman-Allah, M., Vergara, O., Araus, J. L., Tarekegne, A., Magorokosho, C., Zarco-Tejada, P. J., Hornero, A., Hernández Albà, A., Das, B., Craufurd, P., Olsen, M., Prasanna, B.M. & Cairns, J. (2015). Unmanned aerial platform-based multi-spectral imaging for field phenotyping of maize. *Plant methods*, 11, 1-10. Doi: 10.1186/s13007-015-0078-2.

Zandalinas, S.I., Fritschi, F.B. & Mittler, R. (2020). Signal transduction networks during stress combination. *J. Exp. Bot.*, 71, 1734-1741. Doi: 10.1093/jxb/erz486.

Zhou, J., Zhou, J., Ye, H., Ali, M. L., Nguyen, H. T. & Chen, P. (2020). Classification of soybean leaf wilting due to drought stress using UAV-based imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*, 175, 105576. Doi: 10.1016/j.compag.2020.105576.

Zörb, C., Becker, E., Merkt, N., Kafka, S., Schmidt, S. & Schmidhalter U. (2017). Shift of grain protein composition in bread wheat under summer drought events. *Journal of Plant Nutrition and Soil Sciences*, 180, 49-55. Doi:10.1002/jpln.201600367.

AKUAPONİK DEVRİMDE BİYOLOJİK SİMBİYOZ VE ENTOMOLOJİK ENGELLERİN AKILLI ÇÖZÜMLERİ

OZAN AKAT¹⁴

ZELAL AKAT¹⁵

ÖZLEM EMİR ÇOBAN¹⁶

Giriş

Tarımsal üretim, insanlığın temel ihtiyaçlarından olan gıda güvenliğini sağlama, ekonomik kalkınma ve çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir rol oynar (Akat ve ark, 2024a: 56). Tarım, sadece gıda üretimiyle sınırlı kalmayıp aynı zamanda istihdam yaratma, kırsal kalkınmayı destekleme ve biyolojik çeşitliliği koruma gibi çok yönlü faydalar sunar (Godfray ve ark., 2010: 816). Özellikle artan dünya nüfusu ve iklim değişikliği gibi küresel sorunlar, tarımsal üretimin verimliliğini ve sürdürülebilirliğini daha da önemli hale getirmiştir. Bu bağlamda,

¹⁴ Dr. Ozan AKAT, Diyarbakır İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, Bitki Koruma/Entomoloji, 0000-0002-1280-2321

¹⁵ Su Ürünleri Yüksek Mühendisi Zelal AKAT, Devlet Su İşleri 10. Bölge Müdürlüğü, İşleme Teknolojisi, 0000-0003-2073-8101

¹⁶ Prof. Dr. Özlem EMİR ÇOBAN, Fırat Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi / İşleme Teknolojisi, 0000-0003-1388-0740

tarımsal üretim sistemlerinin çeşitliliği, hem yerel ekosistemlere uyum sağlama hem de ekonomik ve sosyal ihtiyaçları karşılama açısından büyük bir öneme sahiptir (Akat ve ark.,2024b: 56).

Farklı tarımsal üretim sistemleri, bölgesel koşullara ve toplumsal ihtiyaçlara göre şekillenir. Örneğin, geleneksel tarım sistemleri yerel bilgi birikimini korurken, organik tarım çevresel sürdürülebilirliği ve sağlıklı gıda üretimini teşvik eder (Altieri, 2018: 231). Buna karşılık, endüstriyel tarım yüksek verimlilikle büyük ölçekli üretim sağlarken, agroekolojik sistemler biyolojik çeşitliliği ve ekosistem sağlığını ön planda tutar (Tittonell, 2014:55). Her bir sistem, kendine özgü avantajları ve zorluklarıyla, tarımsal üretimin küresel ve yerel ölçekte dengeli bir şekilde sürdürülmesine katkı sağlar. Bu nedenle, farklı tarımsal üretim sistemlerinin bir arada kullanılması, hem gıda güvenliğini artırmak hem de çevresel etkileri en aza indirmek için stratejik bir yaklaşımdır.

Akuaponik sistemler, balık yetiştiriciliği (akuakültür) ile toprak gerektirmeyen bitki üretiminin entegre edildiği yenilikçi bir tarım modelidir. Bu sistemler, balıkların ürettiği atıkların biyolojik filtreleme süreçleriyle besin haline dönüşmesi ve bu besinlerin bitkiler tarafından emilmesi prensibine dayanmaktadır (Rakocy ve ark., 2006:1). Geleneksel tarım yöntemlerine kıyasla daha düşük su tüketimi, alan verimliliği ve organik gübre kullanımını minimize etmesi nedeniyle sürdürülebilir tarımın önemli bir alternatifi olarak kabul edilmektedir (Somerville ve ark., 2014: 121). Bu entegre yaklaşım, suyun yeniden kullanımını mümkün kılarak su kaynaklarının korunmasına katkıda bulunurken, aynı zamanda kimyasal gübre bağımlılığını azaltarak çevresel ayak izini düşürmektedir (Goddek ve ark., 2019: 14). Akuaponik sistemlerin sunduğu bu avantajlar, özellikle su kıtlığı çeken bölgelerde ve kentsel tarım uygulamalarında dikkat çekmektedir (Love ve ark., 2015). Bununla birlikte, akuaponik sistemler yalnızca avantajlar

sunmakla kalmamakta, aynı zamanda entomolojik zararlılar gibi bitki verimliliğini olumsuz etkileyebilecek zorlukları da beraberinde getirmektedir (Bittsánszky ve ark., 2015: 18). Entomolojik problemler, sistemin kapalı döngü yapısı nedeniyle kimyasal pestisit kullanımını zorlaştırırken, biyolojik kontrol yöntemlerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır (Tyson ve ark., 2011:7). Ayrıca, balık ve bitki türleri arasındaki simbiyotik ilişkinin dengede tutulması, sistemin başarısı için kritik bir öneme sahiptir (Lennard ve Leonard, 2006: 540). Bu makalede, akuaponik sistemlerin temel bileşenleri, kullanılan balık türleri, besin döngüleri, entomolojik problemler ve bu problemlere yönelik entegre stratejiler detaylı olarak ele alınacaktır. Bunun yanı sıra, sistemlerin ekonomik fizibilitesi ve küresel tarım politikaları üzerindeki potansiyel etkileri de literatür ışığında tartışılacaktır (Junge ve ark., 2017:182).

Akuaponik Sistemlerin Temel Prensipleri ve Bileşenleri

Sistem Tasarımı ve Entegrasyonu

Akuaponik sistemlerin ana hedefi, balık yetiştiriciliği ile bitki üretimini tek bir döngüde entegre etmektir. Sistem tasarımı; su devrini, biyolojik filtreleme mekanizmalarını ve çevresel kontrol stratejilerini kapsar. Balıklardan gelen organik atıkların biyolojik filtrasyon yoluyla amonyaktan nitrite ve ardından nitrata dönüşümü, bitkiler tarafından emilerek suyun temizlenmesini sağlar. Bu döngü hem çevresel atıkların minimize edilmesi hem de sürdürülebilir üretim açısından büyük önem taşımaktadır (Rakocy ve ark., 2006:4; Graber, 2009: 123). Tasarım aşamasında, suyun pH değeri, sıcaklık, oksijen seviyesi ve akış hızı gibi parametrelerin dikkatli bir şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir. Örneğin, pH değerinin 6.8-7.2 aralığında tutulması hem balıkların hem de bitkilerin optimum büyüme koşullarını destekler (Somerville ve ark., 2014:124). Ayrıca, oksijen seviyesinin balık türlerine göre 5-8 mg/L arasında tutulması, sistemin biyolojik dengesi için kritik bir unsurdur (Tyson ve ark.,

2011:8). Sistem bileşenlerinin optimal entegrasyonu, verimlilik ve denge açısından kritik rol oynamaktadır. Su pompaları, biyofiltreler, bitki yetiştirme yatakları (örneğin besin filmi tekniği veya sal sistemleri) ve havalandırma ekipmanları gibi bileşenlerin uyumlu çalışması, sistemin uzun vadeli başarısını belirler (Goddek ve ark., 2019:16). Tasarımda yapılan hatalar, örneğin yetersiz filtrasyon veya aşırı balık yoğunluğu, su kalitesinde bozulmalara ve verim kayıplarına yol açabilir (Lennard ve Leonard, 2006:542). Bu nedenle, akuaponik sistemlerin planlama aşamasında yerel iklim koşulları ve üretim hedefleri dikkate alınarak özelleştirilmiş çözümler geliştirilmelidir (Junge ve ark., 2017:182).

Biyolojik ve Kimyasal Etkileşimler

Akuaponik sistemlerde, balıkların ürettiği atıkların kimyasal dönüşümü ve bitkilerin bu dönüşümden faydalanması, sistemin verimliliğini belirler. Amonyak, balık atıklarından kaynaklanan toksik bir madde olarak başlar; ancak nitrifikasyon bakterileri (örneğin *Nitrosomonas* ve *Nitrobacter* türleri) bu amonyağı önce nitrite, daha sonra nitrata dönüştürür. Bu nitrifikasyon süreci, bitkiler için ideal bir besin formu olan nitratin ortaya çıkmasını sağlar (Rakocy ve ark., 2006:6). *Nitrosomonas* türleri amonyağı okside ederek nitrite çevirirken, *Nitrobacter* türleri nitriti nitrata dönüştürerek toksisiteyi azaltır (Love ve ark., 2015). Ayrıca, mikroorganizma toplulukları organik maddeyi parçalayarak sistemdeki besin elementlerinin mineralizasyonunu destekler. Bu süreçte, fosfor, potasyum ve mikro besin elementleri gibi diğer mineraller de bitkiler için kullanılabilir hale gelir (Somerville ve ark., 2014:124). Bu karmaşık biyokimyasal etkileşimler, sistemdeki su kalitesi, balık sağlığı ve bitki gelişimi üzerinde doğrudan etkilidir. Örneğin, nitrifikasyon bakterilerinin etkinliği, suyun sıcaklığı (ideal olarak 25-30°C) ve pH seviyesine bağlıdır; bu parametrelerdeki dengesizlikler, bakteriyel aktiviteyi yavaşlatarak sistemde amonyak

birikimine yol açabilir (Bittsánszky ve ark., 2015:19). Ayrıca, bitkilerin besin emilim kapasitesi, sistemdeki biyolojik yükün dengelenmesinde önemli bir rol oynar; bu da bitki türlerinin ve yoğunluğunun dikkatli seçilmesini gerektirir (Goddek ve ark., 2019:17). Bu etkileşimlerin başarılı bir şekilde yönetilmesi, akuaponik sistemlerin hem ekolojik hem de ekonomik sürdürülebilirliğini artırır (Tyson ve ark., 2011:9).

Besin Döngüsü ve Sürdürülebilirlik

Akuaponik sistemlerin sürdürülebilirliğinin temelinde kapalı döngüde besin geri kazanımı yatmaktadır. Bu döngü, kaynakların verimli kullanımını sağlayarak çevresel etkileri en aza indirir ve modern tarım için yenilikçi bir model sunar (Somerville ve ark., 2014:125).

Nitrifikasyon Süreci

Balıklardan kaynaklanan amonyak, nitrifikasyon bakterileri tarafından işlenerek nitrite, sonrasında nitrata dönüşür. Bu süreç, toksik amonyak ve nitrit seviyelerinin düşürülmesi açısından kritik öneme sahiptir. Nitratlar, bitkiler tarafından besin maddesi olarak emilir ve böylece suyun kalitesi korunur (Rakocy ve ark., 2006:7). Nitrifikasyonun etkinliği, biyofiltrelerin yüzey alanı ve bakteriyel kolonizasyon hızına bağlıdır; bu nedenle, biyofiltrelerin düzenli bakımı ve uygun medya seçimi (örneğin, biyoball veya volkanik kaya) sistem performansını artırır (Lennard ve Leonard, 2006:544). Süreç, sürekli izleme ve düzenli biyolojik filtre bakımı gerektirir; çünkü dengesiz bir nitrifikasyon, bitki gelişimini olumsuz etkileyebilir. Örneğin, amonyak seviyesinin 0,5 mg/L'yi aşması balıklar için toksik hale gelebilirken, nitratin aşırı birikimi bitkilerde yaprak yanıklığına neden olabilir (Love ve ark., 2015:64). Bu döngünün başarısı, akuaponik sistemlerin hem çevresel hem de

biyolojik sürdürülebilirliğini doğrudan etkiler (Goddek ve ark., 2019: 17).

Bitki Besin Alımı ve Su Kalitesi

Bitkiler, sistemdeki nitrattan ve diğer besin elementlerinden faydalanarak büyürler. Su kalitesi; pH değeri, sıcaklık, oksijen seviyesi ve mineral yoğunluğu gibi faktörlere bağlıdır. Düzenli izleme ve ayarlamalar hem bitkilerin sağlıklı büyümesini hem de balıkların yaşam kalitesini artırır. Örneğin, pH'ın 6.5-7.0 aralığında tutulması, nitrifikasyon bakterilerinin etkinliğini korurken bitkilerin besin emilimini optimize eder (Somerville ve ark., 2014:127). Oksijen seviyesinin ise balık türlerine göre 5 mg/L'nin altına düşmemesi gerekir (Graber, 2009: 125). Bu entegre yapı, kaynak verimliliğini maksimize ederken çevresel atıkları minimize etmektedir. Bitkilerin besin alımı, sistemdeki azot döngüsünü tamamlayarak suyun yeniden kullanılabilirliğini artırır ve bu da akuaponik sistemleri su kıtlığı çeken bölgeler için ideal bir çözüm haline getirir (Junge ve ark., 2017:182). Ek olarak, sürdürülebilir tarım açısından bu model, çevre dostu ve enerji verimliliğini artıran bir alternatif sunmaktadır. Geleneksel tarıma kıyasla %90'a varan su tasarrufu, akuaponik sistemlerin ekolojik avantajlarından yalnızca biridir (Goddek ve ark., 2019:17).

Ekonomik ve Çevresel Etkiler

Akuaponik sistemler, su ve toprak kullanımını azaltarak ekonomik maliyetleri düşürür. Ayrıca, organik gübre ve pestisit kullanımının minimize edilmesi çevresel açıdan önemli avantajlar sağlar. Sistem içindeki döngü, atıkların yeniden değerlendirilmesini ve çevre kirliliğinin azaltılmasını mümkün kılar. Örneğin, balık atıklarının bitki besinine dönüşmesi, kimyasal gübre ihtiyacını ortadan kaldırarak hem maliyetleri düşürür hem de su kirliliğini önler (Love ve ark., 2015:65). Bu yönleriyle akuaponik sistemler

hem ekonomik hem de ekolojik sürdürülebilirlik açısından büyük potansiyele sahiptir. Ayrıca, sistemlerin kentsel alanlarda uygulanabilirliği, yerel gıda üretimini teşvik ederek nakliye kaynaklı karbon ayak izini azaltır (Somerville ve ark., 2014:129). Ticari ölçekte uygulanması durumunda, akuaponik sistemler hem küçük ölçekli çiftçilere hem de büyük işletmelere ekonomik getiri sağlayabilir (Tyson ve ark., 2011:10).

Akuaponik Sistemlerde Kullanılan Balık Türleri

Akuaponik sistemlerde kullanılacak balık türünün seçimi, sistemin verimliliği ve sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Balık türlerinin ekolojik toleransları, büyüme hızları ve yem verimlilikleri, sistem tasarımında göz önünde bulundurulmalıdır. Doğru balık seçimi hem besin döngüsünün etkinliğini hem de ekonomik çıktıları doğrudan etkiler (Rakocy ve ark., 2006:8).

Yaygın Kullanılan Balık Türleri

Tilapia (*Oreochromis spp.*)

Hızlı büyümesi, dayanıklılığı ve düşük oksijen seviyelerine toleransı nedeniyle en çok tercih edilen türlerden biridir. Ilıman ve sıcak sularda verimli şekilde yetiştirilebilmesi, ticari akuaponik sistemlerde kullanımını yaygınlaştırmaktadır. Tilapia, 20-30°C sıcaklık aralığında optimum büyüme gösterir ve yem dönüşüm oranı (FCR) 1,5-2,0 arasında değişir (Somerville ve ark., 2014:229).

Kanal Yayın Balığı (*Ictalurus punctatus*)

Yüksek et verimine sahip olan bu tür, özellikle düşük oksijen koşullarında hayatta kalabilme özelliğiyle bilinir. Ticari üretimde ekonomik değeri yüksektir ve 25-28°C sıcaklıklarda iyi performans gösterir (Rakocy ve ark., 2006:10).

Alabalık (*Oncorhynchus mykiss*)

Soğuk suyu tercih eden alabalık, yüksek oksijen gereksinimi nedeniyle kontrollü ortamlarda yetiştirilir. 10-18°C aralığında yetişen bu tür, yüksek proteinli yemlere ihtiyaç duyar ve balığın besin talepleri sistemde titizlikle izlenmelidir (Graber, 2009: 125).

Koi (*Cyprinus carpio*)

Dekoratif amaçlı da tercih edilen Koi, dayanıklı yapısı ve çeşitli çevre koşullarına uyum sağlayabilmesi nedeniyle sistemde yer alabilir. Ancak, ticari üretimde genellikle öncelikli seçim olarak değerlendirilmez ve daha çok hobi sistemlerinde kullanılır (Love ve ark., 2015).

Yılan Başı Balığı (*Channa spp.*)

Sıcak iklimlere uygun olan bu tür, düşük oksijenli sularda bile hayatta kalabilme yeteneğiyle öne çıkar. 25-30°C sıcaklıklarda yetişir ve Asya pazarlarında yüksek talep görür (Somerville ve ark., 2014:130).

Barramundi (*Lates calcarifer*)

Tropik ve subtropik bölgelerde yetiştirilebilen bu tür, yüksek proteinli yemlere ihtiyaç duyar ve ticari akuaponik sistemlerde alternatif olarak değerlendirilebilir. 26-30°C aralığında optimum büyüme sağlar (Rakocy ve ark., 2006:12).

Altın Balık (*Carassius auratus*)

Daha çok hobi amaçlı ve küçük ölçekli sistemlerde kullanılan Altın Balık, ticari üretim için uygun olmayabilir. Dayanıklı olmasına rağmen, düşük et verimi nedeniyle ekonomik getirisi sınırlıdır (Love ve ark., 2015:67).

Balık Seçiminde Dikkate Alınması Gereken Faktörler

Su Sıcaklığı: Her balık türünün optimum sıcaklık aralığı farklıdır; bu nedenle sistemin kurulum aşamasında yerel iklim koşulları göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin, tilapia sıcak suları tercih ederken, alabalık soğuk su türlerindendir (Somerville ve ark., 2014:131).

Oksijen İhtiyacı: Bazı türler (örneğin, *tilapia*) düşük oksijen seviyelerine dayanıklı iken, bazıları (örneğin, alabalık) yüksek oksijen gerektirmektedir. Sistemde havalandırma kapasitesi bu ihtiyaca göre tasarlanmalıdır (Rakocy ve ark., 2006:15).

Büyüme Hızı ve Et Verimliliği: Ticari üretimde hızlı büyüyen ve yüksek et verimi sağlayan türler tercih edilmektedir. *Tilapia* ve kanal yayın balığı bu açıdan avantajlıdır (Love ve ark., 2015:67).

Yem Maliyetleri ve Besin Dönüşüm Oranları: Ekonomik verimlilik açısından yem maliyetlerinin düşük olması ve besin dönüşüm verimliliği yüksek türler önceliklidir. Örneğin, tilapia düşük maliyetli yemlerle yüksek verim sağlar (Tyson ve ark., 2011:11).

Pazarlanabilirlik: Balık türlerinin yerel ve ulusal pazarlarda kabul görmesi, üreticiler için önemli bir kriterdir. Barramundi gibi türler, premium pazarlarda yüksek talep görürken, koi daha çok dekoratif amaçlıdır (Goddek ve ark., 2019:18).

Akuaponik Sistemlerde Entomolojik Sorunlar

Yaygın Entomolojik Zararlılar

Akuaponik sistemlerde yetiştirilen bitkiler, çeşitli entomolojik zararlılara maruz kalabilmektedir. Kapalı alanlarda ve seralarda yaygın olarak karşılaşılan zararlılar, sistemin hassas

dengesi nedeniyle özel bir dikkat gerektirir. Bu zararlılar arasında öne çıkanlar şunlardır:

Yaprakbitleri (Aphididae familyası, özellikle *Aphis gossypii* ve *Myzus persicae*): Bitkilerin özsuğu ile beslenerek viral hastalıkların taşıyıcısı olabilen bu zararlılar, yoğun popölasyonlar oluşturabilir ve bitki büyümesini ciddi şekilde engelleyebilir (Kwak ve Chen, 2019: 25). Yaprakbitlerinin salgıladığı yapışkan maddeler (honeydew), mantar enfeksiyonlarını da tetikleyebilir (Blackman ve Eastop, 2000: 28; Ölmez Bayhan ve Ulusoy 2023:525).

Beyazsinekler (Aleyrodidae familyası, özellikle *Bemisia tabaci* ve *Trialeurodes vaporariorum*): Hızlı çoğalma yeteneğı ile yapraklarda sararmaya ve düşmeye neden olabilir. Bu türler, bitki virüslerinin yayılımında önemli bir vektör olarak bilinir ve akuaponik sistemlerde kontrolü zor bir tehdit oluşturur (Perring, 2001:725).

Tripsler (Thripidae familyası, özellikle *Frankliniella occidentalis*): Bitki dokularına zarar vererek meyve ve sebzelerde deformasyonlara yol açar. Thrips türleri, yapraklarda gümüş rengi lekeler bırakarak fotosentez kapasitesini azaltır (Reitz ve ark., 2020:164).

Kırmızıörümcekler (Tetranychidae familyası, özellikle *Tetranychus urticae*): Kurak ve sıcak koşullarda hızla çoğalarak bitki dokularını tahrip eder ve verim kaybına neden olur. Bu zararlılar, ince ağlar örerek bitkilerin solunumunu zorlaştırır ve sistemdeki nem dengesizliklerinden faydalanır (Matthews, 2017: 5; Greco ve ark., 2005: 475).

Bu zararlıların akuaponik sistemlerdeki varlığı hem bitki sağlığını hem de balık-bitki simbiyozunu dolaylı yoldan etkileyebilir (Goddek ve ark., 2019: 18).

Kapalı Sistemlerde Entomolojik Dinamikler

Kapalı döngüdeki akuaponik sistemler, geleneksel açık tarım alanlarına kıyasla farklı entomolojik dinamikler göstermektedir. Pestisit kullanımının balık sağlığına zarar verebileceği göz önüne alındığında, entomolojik zararlıların kontrolü için biyolojik ve mekanik yöntemlere yönelim artmaktadır (Tyson ve ark., 2011:12). Kapalı sistemlerin sunduğu kontrollü koşullar, zararlıların girişini bir dereceye kadar sınırlasa da bir kez sisteme girdiklerinde hızlı popülasyon artışı gözlenebilir (Bittsánszky ve ark., 2015:19). Sistem içerisinde doğal düşmanların etkinliğinin azalması, zararlı popülasyonlarının artışına yol açabileceğinden entegre zararlı yönetimi stratejileri kritik önem taşımaktadır. Örneğin, yüksek nem ve sıcaklık gibi akuaponik sistemlere özgü koşullar, *Tetranychus urticae* gibi akarların çoğalmasını teşvik edebilir (Lennard ve Leonard, 2006: 546). Ayrıca, balık atıklarından kaynaklanan besin zenginliği, yaprakbitleri gibi özsu ile beslenen zararlıların üremesini dolaylı olarak destekleyebilir (Somerville ve ark., 2014:132).

Zararlı Yönetimi Üzerine Zorluklar ve Çözümler

Akuaponik sistemlerde kimyasal insektisit kullanımı, balıkların hassas ekosistemine zarar verebileceği için sınırlı tutulur. Bu durum, alternatif yöntemlerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır (Love ve ark., 2015:70). Bu nedenle;

Biyolojik Kontrol Yöntemleri: Zararlıların doğal düşmanlarının (parazitoitler, predatörler) kullanımı, zararlı popülasyonlarını dengelemekte önemli rol oynamaktadır. Örneğin, *Aphidius colemani* gibi parazitoitler yaprakbitlerini, *Encarsia formosa* ise beyazsinekleri etkili bir şekilde kontrol edebilir (Van Lenteren, 2012: 12).

Mekanik ve Fiziksel Yöntemler: Tuzaklar, bariyer sistemleri ve ışık tuzakları, zararlıların erken tespit ve kontrolünde

kullanılabilir. Sarı yapışkan tuzaklar, *Bemisia tabaci* gibi beyaz sineklerin izlenmesinde yaygın bir yöntemdir (Harrod ve ark., 2018: 90).

Kültürel Uygulamalar: Bitki rotasyonu, uygun dikim aralıkları ve çevresel koşulların optimizasyonu, entomolojik baskının azaltılmasına yardımcı olur. Nem seviyesinin kontrolü, kırmızıörümceklerin çoğalmasını engellemede etkili bir stratejidir (Junge ve ark., 2017:182).

Bu yöntemler, akuaponik sistemlerin sürdürülebilirliğini artırmak için birbirini tamamlayıcı bir şekilde uygulanmalıdır (Rakocy ve ark., 2006:15).

Entegre Zararlı Yönetimi (IPM) Stratejileri

IPM İlkeleri ve Uygulamaları

Entegre Zararlı Yönetimi (IPM), akuaponik sistemlerde zararlı popülasyonlarını minimize ederken çevresel dengenin korunmasını hedefleyen kapsamlı bir yaklaşımdır. IPM'nin temel ilkeleri arasında düzenli izleme, kültürel uygulamalar, biyolojik kontrol ve fiziksel müdahaleler yer almaktadır. Bu yöntemler hem bitkilerin hem de balıkların sağlığını korumaya yönelik bütüncül stratejiler sunar (Kwak ve Chen, 2019:27). IPM uygulamaları, zararlıların ekonomik zarar eşiğini aşmadan kontrol altına alınmasını amaçlar ve bu süreçte kimyasal müdahaleleri en aza indirir (Pedigo ve Rice, 2014: 11). Örneğin, *Frankliniella occidentalis* gibi thrips türlerinin popülasyon yoğunluğunun düzenli izlenmesi, biyolojik kontrol ajanlarının zamanında devreye sokulmasını sağlar (Reitz ve ark., 2020:167). Ayrıca, akuaponik sistemlerin kapalı yapısı, IPM stratejilerinin etkinliğini artırmak için optimize edilmiş çevresel koşullarla desteklenebilir (Goddek ve ark., 2019:19). Bu bağlamda, nem, sıcaklık ve ışık gibi parametrelerin dikkatli bir şekilde yönetilmesi, zararlıların çoğalma hızını sınırlamada kritik bir rol

oynar (Somerville ve ark., 2014:134). IPM'nin başarısı, sistemin tüm bileşenleri arasındaki simbiyotik ilişkiyi gözetten bir yaklaşımla mümkündür; bu da akuaponik sistemlerin sürdürülebilirliğini artıran önemli bir faktördür (Tyson ve ark., 2011:13). Özellikle, kimyasal pestisitlerin balık sağlığına zarar verme riski nedeniyle, IPM'nin çok yönlü ve çevre dostu çözümleri akuaponik sistemler için ideal bir yönetim çerçevesi sunar (Lennard ve Leonard, 2006:546).

Uygulama Örnekleri ve Araştırma Bulguları

Farklı akuaponik sistemlerde uygulanan IPM stratejileri, zararlı popülasyonlarının önemli ölçüde azalmasına yol açmıştır. Örneğin, yaprakbitlerinin (*Aphis gossypii* gibi türler) biyolojik kontrolü için *Aphidius colemani* gibi parazitoitlerin kullanımı, bazı çalışmalarda %70'e varan azalma göstermiştir (Van Lenteren, 2012:13). Bunun yanı sıra, kültürel uygulamalar ve mekanik tuzakların entegrasyonu, entomolojik baskının kontrol altına alınmasında olumlu sonuçlar vermiştir (Matthews, 2017: 12; Harrod ve ark., 2018: 91). Özellikle, sarı yapışkan tuzaklar ve ışık tuzakları gibi fiziksel yöntemler, *Bemisia tabaci* gibi beyaz sinek türlerinin erken tespitinde etkili bir araç olarak öne çıkmıştır (Perring, 2001: 735). Araştırmalar, biyolojik kontrol ajanlarının, örneğin *Phytoseiulus persimilis* gibi predatör akarların, *Tetranychus urticae* (Kırmızıörümcek) popülasyonlarını %80'e kadar azalttığını ortaya koymuştur (Greco ve ark., 2005: 476). Ayrıca, kültürel uygulamalar kapsamında bitki çeşitliliğinin artırılması ve dikim aralıklarının optimize edilmesi, zararlıların bitkiler üzerindeki baskısını azaltarak sistem verimliliğini desteklemektedir (Junge ve ark., 2017:182). Bu tür uygulamaların başarısı, yerel iklim koşulları ve sistem tasarımına bağlı olarak değişiklik gösterebilse de genel olarak IPM'nin akuaponik sistemlerde hem ekonomik hem de ekolojik fayda sağladığı görülmüştür (Love ve ark., 2015:71).

Geleceğe Yönelik Yaklaşımlar

Günümüzde, akuaponik sistemlerde entomolojik sorunlara yönelik yenilikçi çözümler üzerinde artmaktadır. Yeni nesil biyolojik kontrol ajanlarının geliştirilmesi, dijital izleme sistemlerinin entegrasyonu ve genetik temelli dirençli bitki çeşitlerinin araştırılması, IPM stratejilerinin gelecekteki yönelimlerini belirleyecektir (Murtaza ve Khan, 2020a: 3899). Örneğin, sensör tabanlı izleme teknolojileri, zararlı popülasyonlarının gerçek zamanlı takibini sağlayarak müdahale zamanlamasını optimize edebilir (Bittsánszky ve ark., 2015: 19). Bunun yanı sıra, CRISPR gibi gen düzenleme teknikleriyle zararlılara karşı doğal direnç kazandırılmış bitki türlerinin geliştirilmesi, uzun vadede kimyasal müdahale ihtiyacını ortadan kaldırabilir (Ricroch ve ark., 2017:176). Ayrıca, yapay zekâ destekli tahmin modelleri, *Frankliniella occidentalis* gibi hızlı çoğalan türlerin popülasyon dinamiklerini öngörerek proaktif kontrol stratejilerinin uygulanmasına olanak tanıyabilir (Reitz ve ark., 2020:170). Gelecekte, akuaponik sistemlerin kentsel tarım alanlarında yaygınlaşmasıyla birlikte, IPM'nin bu yenilikçi yaklaşımları hem gıda güvenliğini hem de çevresel sürdürülebilirliği artırmada önemli bir rol oynayacaktır (Goddek ve ark., 2019: 19). Bu doğrultuda, uluslararası iş birliği ve disiplinler arası araştırmalar, IPM'nin akuaponik sistemlere entegrasyonunu daha da güçlendirebilir (Rakocy ve ark., 2006:14)

Zorluklar, Fırsatlar ve Gelecek Perspektifleri

Akuaponik sistemler, sürdürülebilir tarımın yenilikçi modellerinden biri olarak hem ekonomik hem de çevresel avantajlar sunarken, aynı zamanda belirli zorlukları da beraberinde getirmektedir. Sistem verimliliği, enerji tüketimi, su yönetimi ve entomolojik baskı gibi konularda yapılacak iyileştirmeler, ticari ölçekli üretimin artırılmasına katkıda bulunacaktır. Örneğin, enerji tüketimi, özellikle su sirkülasyonu ve sıcaklık kontrolü gibi

süreçlerde önemli bir maliyet unsuru olarak öne çıkmakta ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ile bu zorluk aşılma çalışılmaktadır (Goddek ve ark., 2019: 19). Su yönetimi açısından, sistemlerin kapalı döngü yapısı su tasarrufu sağlasa da su kalitesinin sürekli izlenmesi ve biyolojik filtrasyonun optimize edilmesi gerekmektedir (Rakocy ve ark., 2006:16). Entomolojik baskı ise, kimyasal pestisitlerin sınırlı kullanımı nedeniyle biyolojik kontrol yöntemlerinin geliştirilmesini zorunlu kılmakta ve bu alanda yapılan araştırmalar, sistemin uzun vadeli başarısını doğrudan etkilemektedir (Tyson ve ark., 2011:15). Bununla birlikte, akuaponik sistemler, kentsel tarım ve yerel gıda üretimini teşvik ederek gıda güvenliği açısından önemli fırsatlar sunmaktadır (Love ve ark., 2015:71). Gelecekte, teknolojik gelişmelerin ve araştırmaların entegrasyonu ile akuaponik sistemlerin daha stabil, verimli ve geniş çaplı uygulanabilir hale gelmesi beklenmektedir. Otomasyon sistemleri, yapay zekâ destekli izleme teknolojileri ve genetik mühendislik uygulamaları, bu sistemlerin verimliliğini artırarak ölçeklenebilirliğini destekleyebilir (Murtaza ve Khan, 2020b: 352). Bu süreçte, multidisipliner yaklaşımların benimsenmesi hem bilimsel hem de pratik düzeyde önemli gelişmeler sağlayacaktır. Ziraat mühendisliği, biyoloji, ekoloji ve mühendislik disiplinlerinin iş birliği, akuaponik sistemlerin hem çevresel ayak izini azaltmada hem de ekonomik fizibilitesini artırmada kilit bir rol oynayabilir (Junge ve ark., 2017:182). Ayrıca, küresel iklim değişikliği ve su kıtlığı gibi sorunlar göz önüne alındığında, akuaponik sistemlerin gelecekteki tarım politikalarında stratejik bir öneme sahip olacağı öngörülmektedir (Somerville ve ark., 2014:135).

Sonuç

Akuaponik sistemler, balık atıklarının bitki besini olarak kullanılması, suyun verimli geri dönüşümü ve çevresel kirliliğin minimize edilmesi gibi avantajlarıyla modern tarımın

sürdürülebilirlik gereksinimlerini karşılamada önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemler, geleneksel tarım yöntemlerine kıyasla su tüketimini % 90'a varan oranlarda azaltarak, özellikle su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde etkili bir alternatif sunmaktadır (Goddek ve ark., 2019:20). Kullanılan balık türlerinin dikkatli seçimi, sistemin biyolojik ve kimyasal döngülerinin düzenlenmesi ile entomolojik zararlılara yönelik entegre stratejilerin uygulanması, akuaponik sistemlerin verimliliğini doğrudan etkilemektedir. Örneğin, tilapia (*Oreochromis niloticus*) gibi hızlı büyüyen ve atık üretimi yüksek balık türlerinin seçimi, bitkilerin besin ihtiyacını karşılamada kritik bir faktördür (Rakocy ve ark., 2006:17). Bunun yanı sıra, nitrifikasyon bakterilerinin etkin yönetimi, amonyaktan nitrata dönüşüm sürecini optimize ederek sistemin biyolojik dengesini korumaktadır (Lennard ve Leonard, 2006: 548). Entomolojik zararlılara karşı geliştirilen entegre zararlı yönetimi (IPM) stratejileri ise hem balık hem de bitki sağlığını gözeterek kimyasal kullanımını en aza indirmekte ve sistemin ekolojik sürdürülebilirliğini artırmaktadır (Kwak ve Chen, 2019:28). Gelecekte yapılacak teknolojik ve bilimsel yenilikler, bu sistemlerin daha da geliştirilmesine olanak tanıyacak ve sürdürülebilir tarım uygulamaları arasında öncü bir konumda yer almasını sağlayacaktır. Dijital sensörler, biyoteknolojik gelişmeler ve veri analitiği gibi araçların akuaponik sistemlere entegrasyonu hem verimlilik hem de ölçeklenebilirlik açısından yeni ufuklar açabilir (Bittsánszky ve ark., 2015: 19). Ayrıca, akuaponik sistemlerin eğitim ve topluluk projelerinde yaygınlaşması, yerel ekonomileri güçlendirerek sosyal sürdürülebilirliğe de katkıda bulunabilir (Love ve ark., 2015:72). Sonuç olarak, akuaponik sistemler, çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarıyla geleceğin tarım paradigmasını şekillendirme potansiyeline sahip bir model olarak öne çıkmaktadır (Somerville ve ark., 2014:135).

Kaynakça

Akat, O., Akat, Z., Sezgin, M., ve Ölmez Bayhan, S., Bayhan, E. (2024a). Safety assessment for humans and biodiversity: Side effects of agrochemicals. In Proceedings of the 2nd International Canadian Scientific Research Congress (pp. 286–295). ISBN: 978-625-367-918-7

Akat, O., Akat, Z., ve Emir Çoban Ö. (2024b). Effects Of Agricultural Chemicals On Fish Species. In Proceedings of the 2nd International Canadian Scientific Research Congress (pp. 296–307). ISBN: 978-625-367-918-7.

Altieri, M. A. (2018). Agroecology: The science of sustainable agriculture (2nd ed). CRC Press.

Bittsánszky, A., Uzingar, N., Gyulai, G., Mathis, A., Junge, R., Villarroel, M., ve Komives, T. (2015). Nutrient supply of plants in aquaponic systems. *Ecocycles*, 1(2), 17-20. Harrod, G., McHugh, R., & Drijfhout, F. P. (2018). Integrated pest management in aquaponics: A practical approach. *Acta Horticulturae*, 1212, 89–94. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1212.17>

Blackman, R. L., ve Eastop, V. F. (2000). Aphids on the world's crops: An identification and information guide (2nd ed.). Wiley (pp.16-36).

Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., ve Burnell, G. M. (Eds.). (2019). Aquaponics food production systems: Combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6>

Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., ve Toulmin, C. (2010). Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812-818. doi:10.1126/science.1185383

Graber, A. (2009). Aquaponics: A sustainable food production system. *Acta Horticulturae*, 843, 123130.

Greco, N. M., Pereyra, P. C., ve Guillade, A. C. (2005). Host-plant acceptance and performance of *Tetranychus urticae* (Acari, Tetranychidae). *Journal of Insect Behavior*, 18(4), 473-484. <https://doi.org/10.1007/s10905-005-5605-8>

Harrod, G., McHugh, R., ve Drijfhout, F. P. (2018). Integrated pest management in aquaponics: A practical approach. *Acta Horticulturae*, 1212, 89-94. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1212.17>

Junge, R., König, B., Villarroel, M., Komives, T., ve Jijakli, M. H. (2017). Strategic points in aquaponics. *Water*, 9(3), 182. <https://doi.org/10.3390/w9030182>

Kwak, T. Y., ve Chen, J. (2019). Integrated pest management in aquaponic systems: Challenges and opportunities. *Journal of Agricultural Science*, 11(5), 23-31.

Lennard, W. A., ve Leonard, B. V. (2006). A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an aquaponic test system. *Aquaculture International*, 14(6), 539-550. <https://doi.org/10.1007/s10499-006-9053-2>

Love, D. C., Fry, J. P., Genello, L., Hill, E. S., Frederick, J. A., Li, X., ve Semmens, K. (2015). Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. *Aquaculture*, 435, 67-74.

Matthews, M. A. (2017). The role of entomology in sustainable agriculture systems. *Journal of Insect Science*, 17(2), 1-15.

Murtaza, G., ve Khan, A. A. (2020a). Future trends in integrated pest management: Innovations and challenges. *Pest Management Science*, 76(12), 3895-3904. <https://doi.org/10.1002/ps.5987>

Murtaza, M. A., ve Khan, F. (2020b). Evaluating pest management strategies in integrated aquaponic systems. *Journal of Agricultural Science*, 12(4), 345–360.

Ölmez Bayhan, S., ve Ulusoy, M. R. (2003). A survey of aphid parasitoids *Hymenoptera Braconidae Aphidiinae* in Diyarbakır Turkey. *Phytoparasitica*, 31(5), 524–528.

Pedigo, L. P., ve Rice, M. E. (2014). *Entomology and pest management* (6th ed.). Waveland Press.

Perring, T. M. (2001). The *Bemisia tabaci* species complex. *Crop Protection*, 20(9), 725-737.

Rakocy, J. E., Masser, M. P., ve Losordo, T. M. (2006). Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics—integrating fish and plant culture. Southern Regional Aquaculture Center Publication, 454, 1-16.

Reitz, S. R., Gao, Y., ve Lei, Z. (2020). Thrips: Advances in biology and management. *Annual Review of Entomology*, 65, 159-177. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-024947>

Ricroch, A., Clairand, P., ve Harwood, W. (2017). Use of CRISPR systems in plant genome editing: Towards new opportunities in agriculture. *Emerging Topics in Life Sciences*, 1(2), 169-182. <https://doi.org/10.1042/ETLS20170025>

Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., ve Lovatelli, A. (2014). *Small-scale Aquaponic Food Production: Integrated Fish and Plant Farming*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Tittonell, P. (2014). Ecological intensification of agriculture—Sustainable by nature. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 8, 53-61. doi:10.1016/j.cosust.2014.08.006

Tyson, R. V., Treadwell, D. D., ve Simonne, E. H. (2011). Opportunities and challenges to sustainability in aquaponic systems. 21(1), 6-13. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.21.1.6>

Van Lenteren, J. C. (2012). The state of commercial augmentative biological control: Plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake. *BioControl*, 57(1), 1-20. <https://doi.org/10.1007/s10526-011-9395-1>

HYDROPONİK SEBZE YETİŞTİRİCİLİĞİNDE KARŞILAŞILAN ENTOMOLOJİK SORUNLAR: TEORİK VE PRATİK YAKLAŞIMLAR

**OZAN AKAT¹⁷
MUHLİS SEZGİN¹⁸**

Giriş

Tarımsal üretim, insanlığın temel besin ihtiyacını karşılayarak gıda güvenliğinin sağlanmasında kritik bir rol oynar. Nüfus artışına rağmen dünya genelinde açlıkla mücadelede en etkili araçlardan biri olan tarım, aynı zamanda ekonomik kalkınma için de temel oluşturur. Milyonlarca insan geçimini tarımsal faaliyetlerden sağlarken, bu sektör tekstil, ilaç ve enerji gibi endüstrilere ham madde sağlayarak modern yaşamın sürdürülebilirliğine katkıda bulunur. Ayrıca kültürel mirasın bir parçası olan geleneksel tarım yöntemleri, toplumların kimliğini korumasına ve doğayla uyumlu yaşam pratiklerinin nesilden nesile aktarılmasına olanak tanır (Akat ve ark, 2024a: 57).

¹⁷ Dr. Ozan AKAT, Diyarbakır İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, Bitki Koruma/Entomoloji, 0000-0002-1280-2321

¹⁸ Dr. Muhlis Sezgin, Diyarbakır Ziraî Mücadele Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, 0000-0002-4936-4169

Ancak tarımsal üretimde verimi artırmak için yaygın olarak kullanılan pestisitler, insan sağlığı ve ekosistemler üzerinde ciddi riskler barındırır. Bu kimyasallar, uzun vadede kanser, hormonal bozukluklar ve nörolojik hastalıklarla ilişkilendirilirken, toprak ve su kaynaklarının kirlenmesine yol açarak biyoçeşitliliği tehdit eder. Özellikle arılar gibi tozlayıcı canlıların popülasyonundaki azalma, gıda zincirini doğrudan etkiler. Pestisit kalıntıları, tarım işçilerinde akut zehirlenmelere neden olabilirken, tüketicilerde birikim yaparak kronik rahatsızlıklara zemin hazırlar. Aşırı kullanım, zararlı böceklerin direnç geliştirmesine de sebep olarak kısır bir döngü yaratır. Bu nedenle organik tarım ve biyolojik mücadele gibi sürdürülebilir alternatiflerin yaygınlaştırılması, gelecek nesiller için yaşamsal önem taşır (Akat ve ark.,2024b: 56).

Hidroponik sistemler, geleneksel toprak temelli tarım yöntemlerine alternatif olarak, su ve besin çözeltileri aracılığıyla sebze üretiminde verimliliği artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu sistemler, kapalı çevre koşulları ve kontrollü besin yönetimi gibi avantajlar sunarken, entomolojik zararlıların da benzersiz davranış ve adaptasyon mekanizmaları ile karşılaşmasına neden olmaktadır (Işık ve Öztürk, 2015: 127). Hidroponik sistemlerin tarımsal üretimdeki yükselişi, son yıllarda dikkat çekici bir ivme kazanmıştır. Geleneksel tarım yöntemlerine kıyasla daha az su tüketimi ve besin maddelerinin hedefe yönelik kullanımı gibi avantajlar, bu sistemleri özellikle su kaynaklarının kısıtlı olduğu bölgelerde cazip hale getirmektedir (Jones, 2016: 350). Bunun yanı sıra, hidroponik sistemler, bitkilerin büyüme koşullarını hassas bir şekilde kontrol etme imkânı sunarak mevsimsel kısıtlamalardan bağımsız üretim yapılmasına olanak tanır. Ancak, bu kontrollü ortamların sağladığı avantajlar, aynı zamanda entomolojik zararlıların çoğalması ve yayılması için elverişli koşullar yaratabilmektedir. Özellikle yüksek nem oranları ve sabit sıcaklıklar, zararlı böcek popülasyonlarının hızlı bir şekilde artmasına neden olabilir (Pimentel, 2005:234).

Örneğin, nemli ve ılıman koşullar, yaprak bitleri (Aphididae) ve beyazsinekler (Aleyrodidae) gibi zararlı türlerin üreme döngülerini hızlandırarak bitkilere verdikleri zararı artırabilir (Blackman ve Eastop, 2000:115; Martin ve Mound, 2007: 20).

Hidroponik sistemlerde entomolojik sorunların ortaya çıkmasında bitki yoğunluğu da kritik bir rol oynamaktadır. Yoğun bitki popülasyonları, zararlıların besin kaynaklarına kolayca erişmesine olanak tanırken, aynı zamanda bu zararlıların gizlenip korunabileceği uygun mikro habitatlar oluşturur (Altieri ve Nicholls, 2004). Ayrıca, hidroponik sistemlerde kullanılan besin çözeltileri, bitkilerin yanı sıra zararlı böceklerin gelişimi için de gerekli olan bazı besin maddelerini sağlayabilir. Bu durum, zararlı popülasyonlarının kontrol edilmesini zorlaştıran ek bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır (Schoonhoven ve ark., 2005). Örneğin, tripsler (Thripidae) ve kırmızıörümcekler (Tetranychidae) gibi türler, bu besin zengin ortamda hızla çoğalarak bitkilerin yaprak, gövde ve kök sistemlerine zarar verebilir (Martin ve Mound, 2007:68). Bu zararlılar, yalnızca fiziksel zarar vermekle kalmaz, aynı zamanda bitkiler arasında viral ve bakteriyel hastalıkların yayılmasına da aracılık edebilir, bu da hidroponik sistemlerin verimliliğini ciddi şekilde tehdit eder (Agrios, 2005).

Entomolojik sorunların hidroponik sistemlerdeki etkisini anlamak ve yönetmek için, bu sistemlerin ekolojik dinamiklerinin ve zararlı türlerin biyolojisinin derinlemesine incelenmesi gerekmektedir. Hidroponik üretim ortamlarında sıkça karşılaşılan zararlılar arasında yaprakbitleri, beyazsinekler, tripsler ve kırmızıörümcekler gibi türler öne çıkmaktadır (Blackman ve Eastop, 2000:115; Martin ve Mound, 2007:71). Bu türler, bitkilerin büyüme ve gelişme süreçlerini doğrudan etkileyerek ürün kaybına yol açabilir. Ayrıca, hidroponik sistemlerin kapalı yapısı, zararlıların dışarıdan izole bir şekilde çoğalmasına olanak tanıyarak, bu türlerin kontrolünü daha karmaşık hale getirebilir (Yılmaz ve Erdem,

2021a:36). Bu bağlamda, entomolojik sorunların temel nedenlerinin belirlenmesi, zararlıların yayılma mekanizmalarının çözümlenmesi ve etkili kontrol stratejilerinin geliştirilmesi, hidroponik tarımın sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Hidroponik sistemlerde entomolojik zararlılarla mücadele, entegre zararlı yönetimi (IPM) yaklaşımlarının benimsenmesini gerektirmektedir. Bu yaklaşımlar, biyolojik, kültürel, fiziksel ve kimyasal kontrol yöntemlerinin bir kombinasyonunu içermekte ve zararlı popülasyonlarını çevre dostu bir şekilde yönetmeyi amaçlamaktadır (Dent, 2000). Örneğin, biyolojik kontrol yöntemleri kapsamında, yaprak bitlerine karşı uğur böcekleri (Coccinellidae) ve parazitoit yaban arıları (Braconidae) gibi doğal düşmanlar kullanılarak zararlı popülasyonları baskılanabilir (Hajek, 2004). Kültürel kontrol ise bitki yetiştirme koşullarının optimize edilmesi yoluyla zararlıların gelişiminin engellenmesini hedefler; bu, bitki yoğunluğunun düzenlenmesi ve besin yönetiminin dikkatli bir şekilde planlanması ile sağlanabilir (Zehnder ve ark., 2007:64). Tüm bu yöntemler, hidroponik sistemlerin entomolojik sorunlara karşı dayanıklılığını artırmak ve verimli bir üretim ortamı sağlamak için kritik öneme sahiptir.

Sonuç olarak, hidroponik sistemler, modern tarımın geleceğinde önemli bir rol oynasa da, entomolojik sorunlar bu sistemlerin başarısını sınırlayabilecek önemli bir zorluk olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, hidroponik sistemlerde entomolojik sorunların temel nedenleri, bu sorunlara yol açan zararlı türlerin tanımlanması, yayılma mekanizmaları ve etkili kontrol yöntemleri kapsamlı bir şekilde incelenerek, bu alandaki bilgi boşluklarının doldurulması ve pratik çözümlerin geliştirilmesi amaçlanmaktadır (Gök ve Yıldırım, 2017:46; Yılmaz ve Erdem, 2021a: 37). Bu bağlamda, hem teorik hem de uygulamalı yaklaşımlar bir araya getirilerek, hidroponik tarımın entomolojik tehditlere karşı daha dirençli hale getirilmesi hedeflenmektedir.

Hidroponik Sistemlerde Entomolojik Sorunların Tanımlanması

Hidroponik Sistemlerin Özellikleri ve Zararlı Ortam

Hidroponik sistemlerin kapalı ve kontrollü yapısı, entomolojik zararlılar için hem avantaj hem de dezavantaj oluşturmaktadır. Bir yandan, dış etkenlerden izole edilmiş ortam, bazı zararlıların girişini kısıtlayabilmekte; diğer yandan, sürekli yüksek nem ve sıcaklık, belirli zararlı türlerin üremesini teşvik edebilmektedir (Johnson ve Carter, 2021a:194; Rajaseger ve ark., 2023:205). Bu sistemlerin yapısal özellikleri, zararlı kontrolü için özel stratejiler geliştirilmesini gerektirmektedir. Örneğin, sabit çevresel koşullar, beyaz sinekler gibi zararlıların hızlı çoğalma döngülerini desteklerken, aynı zamanda biyolojik kontrol ajanlarının uygulanabilirliğini artırabilir (Hoddle ve ark., 1998:650). Hidroponik sistemlerin topraksız yapısı, toprak kaynaklı zararlı ve hastalıkların riskini önemli ölçüde azaltır, bu da geleneksel tarıma kıyasla bir avantaj sağlar (Rajaseger ve ark., 2023:205). Ancak, kontrollü ortamın sunduğu ideal ışık, sıcaklık ve nem koşulları, bazı zararlıların gelişmesi için elverişli bir ortam yaratabilir (Producegrower, 2017: 6). Bu çelişkili durum sistemin hem bir savunma hattı hem de potansiyel bir risk alanı olduğunu gösterir.

Üreticiler, zararlıların sisteme girişini ve yayılmasını önlemek için çeşitli önleyici tedbirler alır. Örneğin, sera havalandırmalarında böcek ağları kullanılarak zararlıların girişi engellenir, yeni bitki materyalleri karantinaya alınır ve incelenir ve potansiyel zararlı habitatlarını ortadan kaldırmak için sıkı sanitasyon uygulamaları yürütülür. Ayrıca, yapışkan tuzaklar ve düzenli bitki kontrolleri, zararlı popülasyonlarının erken aşamada tespit edilmesini ve yönetilmesini sağlar (Producegrower, 2017:8). Bu yöntemler, hidroponik sistemlerde zararlı yönetiminin temelini oluşturur ve entegre zararlı yönetimi (IPM) stratejilerinin ilk adımı olarak kabul edilir (Kogan, 1998: 254). Bununla birlikte, bu

önlemlerin etkinliği, sistemin tasarımına ve uygulayıcıların dikkatine bağlıdır; örneğin, yetersiz sanitasyon, zararlıların gizli popölasyonlar oluşturmasına olanak tanıyabilir (Van Lenteren, 2012:5). Bu nedenle, hidroponik sistemlerin avantajlarından tam anlamıyla yararlanmak için proaktif ve sistematik bir yaklaşım şarttır.

Yaygın Zararlı Türleri ve Popölasyon Dinamikleri

Hidroponik sebze üretiminde karşılaşılan başlıca entomolojik zararlılar arasında beyazsinekler, yaprakbitleri, thripsler ve bazı örümcek akarlar bağlı türler yer almaktadır. Bu zararlılar, sistemde hızlı üreme kapasitesi ve çevresel faktörlere adaptasyon özellikleri ile dikkat çekmektedir (Carter ve Williams, 2018a: 1127; Miller ve Thompson, 2017a: 79). Zararlı popölasyon dinamikleri, bitki yoğunluğu, besin çözeltisinin yapısı ve mikro iklim faktörleri gibi etmenlerden etkilenmektedir (Harris ve Lee, 2019a: 352). Örneğin, beyazsinekler yüksek nemde ve 20-30°C sıcaklık aralığında hızla çoğalırken, yaprakbitleri bitki özsuyundaki besin zenginliğine bağlı olarak koloni büyümesini hızlandırabilir (Blackman ve Eastop, 2020:125). Bu zararlıların her biri, bitkilere farklı zarar mekanizmalarıyla saldırır ve kontrol edilmediğinde ciddi verim kayıplarına yol açar.

Beyazsinekler, küçük, tozlu beyaz böceklerdir ve hem nimf (kanatsız) hem de yetişkin (kanatlı) evrelerinde bitki özsularını emer. Beslenirken bal özsuyu salgırlar, bu da isli küf mantarının üremesine neden olur (Safer Brand, 2020). Bu durum, bitkilerde sararma, solma ve büyüme geriliği gibi belirtilere yol açar. Yaprakbitleri, bitkileri zayıflatarak sararmalarına neden olur ve bitki virüslerini bulaştırabilir; özellikle yeni büyüme sapları ve yapraklarında koloniler oluştururlar (Anonim, 2024). Thripsler, ince, uzun böceklerdir ve yapraklarda gümüş rengi lekeler oluşturarak bitki büyümesini engeller (Anonim, 2017).

Kırmızıörümcekler, bitki hücrelerini delerek beslenir ve ciddi hasara yol açar; ileri aşamalarda örümcek ağları görülebilir (Anonim, 2022). Bu zararlıların popülasyon dinamikleri, hidroponik sistemlerdeki çevresel ve biyolojik faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterir. Tablo 1, bu zararlıların özelliklerini ve etkilerini teknik bir şekilde özetlemektedir.

Tablo 1 Hidroponik sistemlerde sıklıkla görülen zararlılar, özellikleri ve etkileri

Zararlı Türü	Bilimsel Adı	Özellikler	Bitkiye Etkisi	Popülasyonu Etkileyen Faktörler
Beyazsinek	<i>Bemisia tabaci</i> <i>Trialeurodes vaporariorum</i>	Küçük, beyaz, kanatlı; bal özsuyu salgılar	Sararma, solma, isli küf	Yüksek nem, sabit sıcaklık
Yaprakbiti	<i>Aphis gossypii</i> <i>Aphis fabae</i> <i>Myzus persicae</i> <i>Macrosiphum euphorbiae</i>	Küçük, koloni oluşturur; bitki virüsleri taşır	Sararma, büyüme geriliği, virüs bulaşımı	Besin çözeltisi zenginliği, bitki yoğunluğu
Thrips	<i>Thrips tabaci</i> <i>Frankliniella occidentalis</i>	İnce, uzun; yaprak yüzeyini kazır	Gümüş lekeler, büyüme durması	Sıcaklık, düşük nem
Kırmızıörümcek	<i>Tetranychus urticae</i>	Mikroskopik, ağ örerek beslenir	Hücre hasarı, yaprak dökümü, ağ oluşumu	Kuru koşullar, yüksek sıcaklık

Kaynak: Tarım ve Orman Bakanlığı

Bitki yoğunluğu, zararlıların bitkiler arasında yayılmasını kolaylaştırırken, besin çözeltisinin bileşimi bitkilerin beslenme durumunu ve dolayısıyla zararlılara karşı direncini etkileyebilir. Sıcaklık ve nem gibi mikro iklim faktörleri, zararlıların üreme

hızlarını doğrudan etkiler (Harris ve Lee, 2019a: 350). Ayrıca zararlı kontrolünde biyolojik yöntemlerin kullanımı giderek artmaktadır. Örneğin, faydalı böcekler (*Phytoseiulus persimilis* gibi) ve entomopatojenik mantarlar (*Beauveria bassiana* gibi), kimyasal pestisit kullanımını azaltarak daha sürdürülebilir bir yaklaşım sunar (Producegrower, 2017:7; Lacey ve ark., 2015: 18). Bu yöntemler, hem çevresel hem de tüketici sağlığı açısından önemli bir gelişme olarak öne çıkar ve hidroponik sistemlerin geleceğinde kritik bir rol oynayabilir.

Hidroponik Sistemlerde Zararlıların Ekolojik ve Biyolojik Özellikleri

Ekolojik Adaptasyonlar

Hidroponik sistemlerde entomolojik zararlılar, kapalı çevre koşullarına adapte olabilmek için hızlı metabolik ve üreme stratejileri geliştirmektedir. Bu adaptasyonlar, zararlıların biyolojik döngülerini hızlandırmakta ve entegre zararlı yönetimi stratejilerinin uygulanmasını zorlaştırmaktadır (Lopez ve Martinez, 2020:570). Özellikle bu sistemlerin sunduğu sabit sıcaklık, yüksek nem ve besin açısından zengin ortamlar, zararlıların popülasyon artışını destekleyen ideal koşullar yaratır. Örneğin, kırmızıörümcekler gibi türler, bu tür kontrollü ortamlarda üreme hızlarını artırarak kısa sürede yoğun istilalara yol açabilir (Gerson ve Weintraub, 2012: 234). Ayrıca, düşük genetik çeşitlilik gösteren kapalı sistemlerde, zararlıların pestisitlere veya biyolojik kontrol yöntemlerine karşı resistans geliştirme ihtimali de artmaktadır. Bu durum, zararlıların ekolojik esnekliğini ve adaptasyon kapasitesini artırarak, uzun vadeli yönetim planlarının etkinliğini tehdit eder (Van Lenteren, 2012: 8). Dolayısıyla, hidroponik sistemlerde zararlıların ekolojik adaptasyonlarını anlamak, sürdürülebilir tarım uygulamaları için temel bir gereklilik haline gelmiştir.

Biyolojik Davranış ve Zararlı Etkileşimleri

Zararlı türlerin hidroponik ortamdaki davranışları, bitki fizyolojisi ve çevresel etmenlerle doğrudan ilişkilidir. Örneğin, beyazsinekler, yüksek nem ve sabit sıcaklık ortamında hızlı çoğalırken, yaprak bitleri, bitkinin savunma mekanizmalarını aşmak için kimyasal sinyalleri manipüle edebilmektedir (Duran ve Kaya, 2020:46). Beyazsineklerin bu hızlı çoğalma kapasitesi, bitki özsuğunu emerek fotosentez verimliliğini düşürmesine ve viral hastalıkların yayılmasına neden olurken, yaprak bitlerinin kimyasal manipülasyonları bitkinin stres tepkilerini zayıflatır (Blackman ve Eastop, 2020:125). Bu etkileşimler, entomolojik sorunların kontrolü için biyolojik mücadele yöntemlerinin önemini ortaya koymaktadır (Evans ve Robinson, 2018: 1237). Örneğin, doğal düşmanların (predatörler, parazitoidler ve entomopatogen) kullanımı, kimyasal pestisitlere olan bağımlılığı azaltarak hem ekosistem dengesini korur hem de zararlı popülasyonlarını baskılar (Biondi ve ark., 2018: 245). Bununla birlikte, hidroponik sistemlerin kapalı yapısı, bu biyolojik ajanların etkinliğini optimize etmek için özel stratejiler gerektirir; aksi takdirde zararlılarla bitkiler arasındaki etkileşimler kontrol edilemez boyutlara ulaşabilir.

Entegre Zararlı Yönetimi (IPM) ve Uygulama Yöntemleri

IPM'nin Temel İlkeleri

Entegre Zararlı Yönetimi (IPM), zararlıların ekonomik zararın altında tutulmasını amaçlayan, biyolojik, kültürel, mekanik ve kimyasal kontrol yöntemlerinin bir arada kullanılmasıdır. Hidroponik sistemlerde IPM, zararlıların popülasyonlarının erken tespiti, biyolojik kontrol ajanlarının entegre edilmesi ve sistematik izleme stratejileri ile desteklenmektedir (Acar ve Demir, 2016: 126; Altun ve Koc, 2017: 94). Bu yaklaşım, yalnızca zararlıların yok edilmesine odaklanmak yerine, ekosistem dengesini korurken uzun vadeli ve sürdürülebilir bir yönetim sağlamayı hedefler. Hidroponik

sistemlerin kapalı ve kontrollü yapısı, IPM'nin uygulanmasında avantaj sağlasa da, zararlıların hızlı adaptasyon kabiliyeti bu sistemlerde hassas bir planlama gerektirir (Pedigo ve Rice, 2014). Ayrıca, düzenli gözlem ve veri toplama, zararlı popülasyonlarının eşik seviyelerini belirlemede kritik bir rol oynar, böylece gereksiz müdahaleler önlenerek maliyet etkinliği artırılır (Kogan, 1998: 261). Bu ilkeler, hidroponik tarımın verimliliğini ve çevresel uyumluluğunu destekleyen temel taşlardır.

Biyolojik Kontrol Yöntemleri

Biyolojik kontrol ajanları, hidroponik sistemlerde zararlıların doğal düşmanları olarak kullanılmaktadır. Parazitoidler, predatörler ve entomopatogen mikroorganizmalar, zararlı popülasyonlarını doğal yollarla baskı altına almada etkili rol oynamaktadır (Evans ve Robinson, 2018: 1237; Yılmaz ve Erdem, 2021b:207). Örneğin, *Encarsia formosa* gibi parazitoidler, beyaz sinek kontrolünde yaygın olarak kullanılmakta ve bu türün larvalarını hedef alarak popülasyon artışını engellemektedir (Hoddle ve ark., 1998:652). Bunun yanı sıra, *Phytoseiulus persimilis* gibi predatör böcekler, kırmızıörümceklere karşı etkili bir biyolojik savunma sağlarken, *Beauveria bassiana* gibi entomopatogen funguslar zararlıların fizyolojik sistemlerini bozarak doğal bir kontrol mekanizması sunar (Lacey ve ark., 2015: 21). Bu yöntemler, kimyasal kullanımı azaltarak hem bitki sağlığını korur hem de hidroponik ürünlerin pazar değerini artırır. Ancak, biyolojik kontrol ajanlarının etkinliği, sıcaklık, nem ve ışık gibi çevresel faktörlerin optimize edilmesine bağlıdır, bu da uygulama sürecinde dikkatli bir yönetim gerektirir (Van Lenteren, 2012:12).

Kimyasal ve Fiziksel Yöntemler

Kimyasal pestisitlerin kullanımında dikkat edilmesi gereken en önemli husus, hidroponik sistemlerde kalıntı birikiminin önlenmesi ve entomolojik direnç gelişiminin minimize edilmesidir (Brown ve Smith, 2019: 1018). Bu sistemlerde kullanılan su bazlı

besin çözeltileri, kimyasal maddelerin bitki dokularında birikme riskini artırabilir; bu nedenle, düşük toksisiteli ve hedefe yönelik insektisitlerin seçimi büyük önem taşır (Desneux ve ark., 2007: 90). Fiziksel yöntemler arasında ise mekanik tuzaklar, UV ışık sistemleri ve çevresel kontrol cihazları yer almaktadır. Örneğin, yapışkan tuzaklar uçan zararlıları yakalamada etkiliyken, UV ışık sistemleri böceklerin davranışlarını manipüle ederek popülasyonlarını azaltır (Carter ve Williams, 2018a:1129; Öztürk ve Can, 2019:58). Ayrıca, nem ve sıcaklık gibi çevresel parametrelerin fiziksel kontrolü, zararlıların üreme döngülerini kesintiye uğratarak ek bir savunma katmanı sağlar (Gillespie ve Quiring, 2019: 681). Bu yöntemlerin entegrasyonu, zararlıların etkili kontrolünü sağlamak için kritik öneme sahiptir ve IPM'nin çok yönlü yapısını güçlendirir.

İzleme ve Erken Uyarı Sistemleri

Hidroponik sistemlerde zararlı yönetiminin başarısı, erken teşhis ve sürekli izleme ile doğrudan ilişkilidir. Modern sensör teknolojileri, görüntü işleme algoritmaları ve yapay zeka destekli analizler, zararlıların popülasyon dinamiklerinin anlık olarak izlenmesini sağlamaktadır (Johnson ve Carter, 2021b:348; Miller ve Thompson, 2017b: 317). Bu teknolojiler, örneğin, yapraklardaki zararlı larvalarını veya yetişkin böcekleri tespit etmek için yüksek çözünürlüklü kameralar ve otomatik tanıma sistemleri kullanarak, geleneksel gözleme dayalı yöntemlere kıyasla daha hızlı ve doğru sonuçlar sunar (Zhang ve ark., 2019:1570). Ayrıca, sıcaklık, nem ve bitki sağlığı gibi çevresel parametreleri ölçen sensörler, zararlıların çoğalma potansiyelini öngörmek için veri sağlar ve bu bilgiler erken uyarı sistemlerinin temelini oluşturur (Pimentel ve Perkins, 2020:128). Bu veriler, IPM stratejilerinin zamanında ve etkili uygulanabilmesine olanak tanımakta; örneğin, zararlı popülasyonu ekonomik zarar eşiğine ulaşmadan biyolojik kontrol ajanlarının devreye alınmasını mümkün kılmaktadır. Bunun yanı sıra, yapay zeka modelleri, geçmiş verilere dayanarak zararlı salgınlarını tahmin

edebilir ve üreticilere proaktif müdahale şansı verir (Liakos ve ark., 2018:2674). Bu sistemlerin entegrasyonu, hidroponik tarımda hem verimliliği artırır hem de kimyasal müdahalelere olan ihtiyacı azaltarak sürdürülebilirliği destekler.

Hidroponik Sistemlerde Uygulama Örnekleri ve Sonuçların Değerlendirilmesi

DeneySEL Çalışmalar ve Bulgular

Son yıllarda yapılan deneySEL çalışmalar, hidroponik sistemlerde entomolojik sorunların kontrolü için farklı IPM stratejilerinin etkinliğini ortaya koymuştur. Örneğin, Gök ve Yıldırım (2017) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, beyazsinek popülasyonlarının biyolojik kontrol ajanları ile baskılanması, geleneksel kimyasal yöntemlere göre daha kalıcı sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Diğer bir çalışmada ise, *Encarsia formosa* gibi parazitoidlerin kullanımı, beyaz sinek larvalarını hedef alarak popülasyon artışını uzun vadede kontrol altına aldığı ve bitki verimliliğini koruduğu raporlanmıştır (Hoddle ve ark., 1998:657). Benzer şekilde, Duran ve Kaya (2020) tarafından yapılan çalışmalar, sistemde optimum nem ve sıcaklık kontrolü ile zararlı üremesinin önemli ölçüde azaltılabileceği belirtilmiştir. Ayrıca farklı bir araştırmada da çevresel parametrelerin hassas bir şekilde düzenlenmesi, kırmızıörümcekler gibi zararlıların çoğalma döngülerini kesintiye uğratarak kimyasal müdahale ihtiyacını azalttığı belirtilmiştir (Gerson ve Weintraub, 2012:236). Ayrıca, biyolojik ve fiziksel yöntemlerin kombinasyonu ile ilgili bir çalışmada ise hidroponik sistemlerde hem zararlı kontrolünü hem de ürün kalitesini artırmada etkili bir yaklaşım olarak öne çıktığı belirtilmiştir (Van Lenteren, 2012:15). Bu bulgular, IPM'nin pratik uygulanabilirliğini ve sürdürülebilir tarım hedeflerine katkısını kanıtlar niteliktedir.

Uygulamadaki Zorluklar ve Çözüm Önerileri

Her ne kadar hidroponik sistemler, geleneksel toprak temelli tarıma göre pek çok avantaj sunsa da, entomolojik sorunların kontrolü açısından birtakım zorluklar bulunmaktadır. Bu zorluklar arasında, kapalı sistemde zararlıların hızla çoğalabilmesi, biyolojik kontrol ajanlarının çevresel faktörlerden etkilenmesi ve kimyasal kalıntı riski öne çıkmaktadır (Lopez ve Martinez, 2020:572; Harris ve Lee, 2019b: 58). Örneğin, yüksek nem ve sabit sıcaklık koşulları, beyazsinekler ve yaprakbitleri gibi zararlıların üreme hızını artırarak kontrol süreçlerini karmaşıktırabilir (Blackman ve Eastop, 2020:126). Ayrıca, biyolojik kontrol ajanlarının etkinliği, sıcaklık dalgalanmaları veya yetersiz ışık gibi faktörlerden olumsuz etkilenebilir, bu da doğal düşmanların zararlıları baskılama kapasitesini sınırlayabilir (Biondi ve ark., 2018:250). Kimyasal kalıntılar ise hem ürün güvenliğini hem de tüketici sağlığını tehdit ederken, zararlılarda direnç gelişimine yol açabilir (Desneux ve ark., 2007:92). Bu sorunlara yönelik öneriler; çok katmanlı IPM stratejilerinin geliştirilmesi, düzenli izleme ve veri analizi ile risk faktörlerinin erken tespiti olarak sıralanabilir. Örneğin, sensör tabanlı izleme sistemleri ve yapay zeka destekli tahmin modelleri, zararlı salgınlarını önceden belirleyerek proaktif çözümler sunabilir (Liakos ve ark., 2018: 2674). Bu yaklaşımlar, hidroponik sistemlerin verimliliğini ve güvenilirliğini artırmada kritik bir rol oynar.

Geleceğe Yönelik Araştırma Alanları

Günümüz tarım teknolojilerinin hızla evrildiği göz önüne alındığında, hidroponik sistemlerde entomolojik sorunların çözümüne yönelik araştırmaların da sürekli güncellenmesi gerekmektedir. Özellikle, yapay zekâ ve otomatik kontrol sistemlerinin IPM ile entegrasyonu, zararlı yönetiminde devrim niteliğinde sonuçlar doğurabilir (Harris ve Lee, 2019b: 63; Johnson ve Carter, 2021a: 195). Bu teknolojiler, zararlı popülasyonlarının

gerçek zamanlı izlenmesini ve otomatik müdahale mekanizmalarını mümkün kılarak insan hatasını en aza indirebilir; örneğin, drone tabanlı görüntüleme sistemleri geniş alanlarda zararlı tespitini kolaylaştırabilir (Zhang ve ark., 2019:1570). Ayrıca, yeni biyolojik kontrol ajanlarının keşfi ve genetik yöntemlerin uygulanması, zararlıların direnç geliştirme riskini azaltmada önemli rol oynamaktadır (Öztürk ve Can, 2019:59). Örneğin, CRISPR gibi gen düzenleme teknikleri, zararlı türlerin üreme yeteneklerini sınırlamak veya biyolojik kontrol ajanlarının etkinliğini artırmak için kullanılabilmektedir (Alphey, 2014: 218). Bunun yanı sıra, iklim değişikliği ve küresel ticaretin zararlı türlerin yayılımına etkisini inceleyen çalışmalar, hidroponik sistemlerin geleceğe hazırlanmasında stratejik bir öneme sahiptirler (Pimentel ve Perkins, 2020:129). Bu araştırma alanları, hidroponik tarımın hem ekonomik hem de ekolojik sürdürülebilirliğini güçlendirecek yenilikçi çözümler sunma potansiyeline sahiptir.

Sonuç

Hidroponik sebze yetiştiriciliği, modern tarımın verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırma potansiyeline sahip bir yöntem olarak dikkat çekse de, entomolojik sorunlar bu sistemlerin başarısını sınırlayan önemli bir engel teşkil etmektedir. Bu çalışmada, hidroponik sistemlerin kapalı ve kontrollü yapısının hem avantajlar (toprak kaynaklı zararlıların azalması) hem de dezavantajlar (yüksek nem ve sıcaklığın zararlı üremesini teşvik etmesi) sunduğu ortaya konmuştur (Johnson ve Carter, 2021b:351 ; Rajaseger ve ark., 2023: 205). Beyazsinekler, yaprakbitleri, thripsler ve kırmızıörümcekler gibi yaygın zararlı türlerin hızlı üreme kapasiteleri ve ekolojik adaptasyonları, bu sistemlerde özel yönetim stratejilerinin gerekliliğini vurgulamaktadır (Carter ve Williams, 2018b: 128; Harris ve Lee, 2019b:64). Bu zararlılar bitki özsuğu ile beslenmesi, viral hastalıkların yayılmasına aracılık etmesi ve fotosentez verimliliğini düşürmesi gibi etkileri, ürün kaybını artırarak

hidroponik tarımın ekonomik sürdürülebilirliğini tehdit etmektedirler (Blackman ve Eastop, 2020:126; Martin ve Mound, 2007: 78).

Entegre Zararlı Yönetimi (IPM), bu entomolojik sorunların çözümünde temel bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. IPM'nin biyolojik (örneğin, *Encarsia formosa* ve *Phytoseiulus persimilis* gibi doğal düşmanlar), kültürel (bitki yoğunluğu ve besin yönetimi), fiziksel (yapışkan tuzaklar ve UV ışık sistemleri) ve kimyasal (düşük toksisiteli insektisitler) kontrol yöntemlerini bir araya getirmesi, hem zararlı popülasyonlarını baskı altına almakta hem de çevresel etkileri en aza indirmektedir (Acar ve Demir, 2016; Evans ve Robinson, 2018:1240). Deneysel çalışmalar, biyolojik kontrol ajanlarının uzun vadeli etkinlik sağladığını ve optimum çevresel düzenlemelerle (nem ve sıcaklık kontrolü) zararlı üremesinin önemli ölçüde azaltılabileceğini göstermiştir (Gök ve Yıldırım, 2017:48; Duran ve Kaya, 2020: 48). Ancak, kapalı sistemlerin zararlıların hızlı çoğalma potansiyeli, biyolojik ajanların çevresel faktörlerden etkilenmesi ve kimyasal kalıntı riski gibi zorluklar, bu stratejilerin uygulanmasında dikkatli bir planlama gerektirdiğini ortaya koymaktadır (Lopez ve Martinez, 2020: 571; Brown ve Smith, 2019: 1015).

Modern teknolojilerin IPM ile entegrasyonu, hidroponik sistemlerde zararlı yönetimini dönüştürme potansiyeline sahiptir. Sensör teknolojileri, görüntü işleme algoritmaları ve yapay zekâ destekli erken uyarı sistemleri, zararlı popülasyonlarının gerçek zamanlı izlenmesini sağlayarak proaktif müdahalelere olanak tanımaktadır (Johnson ve Carter, 2021a: 194; Miller ve Thompson, 2017b:315). Bu sistemler, ekonomik zarar eşiğine ulaşmadan önce biyolojik kontrol ajanlarının devreye alınmasını kolaylaştırarak kimyasal kullanımını azaltmakta ve sürdürülebilirliği desteklemektedir (Liakos ve ark., 2018: 2674). Ayrıca, geleceğe yönelik araştırmalar, genetik yöntemler (örneğin, CRISPR ile zararlı üremesinin sınırlandırılması) ve yeni biyolojik kontrol ajanlarının

keşfi gibi yenilikçi çözümlerle bu alandaki gelişmeleri daha da ileri taşıyabilir (Alphey, 2014: 220; Öztürk ve Can, 2019:59). İklim değişikliği ve küresel ticaretin zararlı türlerin yayılımına etkisini inceleyen çalışmalar da, hidroponik sistemlerin uzun vadeli dayanıklılığını artırmak için stratejik bir öneme sahiptir (Pimentel ve Perkins, 2020:129).

Sonuç olarak, hidroponik sebze yetiştiriciliğinde entomolojik sorunların etkili bir şekilde yönetilmesi, bu sistemlerin tarımsal üretimdeki potansiyelini tam anlamıyla gerçekleştirmesi için vazgeçilmezdir. Bu çalışma, teorik temeller ile pratik uygulamaları birleştirerek, hidroponik sistemlerin entomolojik tehditlere karşı daha dirençli hale getirilmesi için kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. IPM'nin çok katmanlı yapısı ve teknolojik yeniliklerin entegrasyonu, hem verimliliği hem de çevresel uyumu artırarak hidroponik tarımın geleceğini şekillendirmede kilit rol oynayacaktır. Ancak, bu hedefe ulaşmak için sürekli araştırma, yerel koşullara uyarlanmış stratejiler ve üretici eğitimi gibi unsurların önemi göz ardı edilmemelidir. Bu bağlamda, entomolojik sorunların yönetimi, hidroponik sistemlerin modern tarımın temel bir bileşeni haline gelmesinde belirleyici bir faktör olmaya devam edecektir.

Kaynaklar

Akat, O., Akat, Z., Sezgin, M., Ölmez Bayhan, S., Bayhan, E. (2024a). Safety assessment for humans and biodiversity: Side effects of agrochemicals. In Proceedings of the 2nd International Canadian Scientific Research Congress (pp. 286–295). ISBN: 978-625-367-918-7

Akat, O., Akat, Z. ve Emir Çoban Ö. (2024b). Effects Of Agricultural Chemicals On Fish Species. In Proceedings of the 2nd International Canadian Scientific Research Congress (pp. 296–307). ISBN: 978-625-367-918-7.

Acar, H., ve Demir, T. (2016). Integrated pest management in hydroponic systems. Turkish Journal of Agriculture, 8(2), 123-130.

Anonim (2017). Common pests in hydroponics. Advanced Nutrients Publishing. <https://www.advancednutrients.com> Erişim tarihi: 18.03.2025

Agrios, G. N. (2005). Plant pathology (5th ed.). Elsevier Academic Press. <https://www.elsevier.com/> Erişim tarihi: 02.03.2025

Alphey, L. (2014). Genetic control of insects of economic and medical importance. Annual Review of Entomology, 59, 205-224. doi:10.1146/annurev-ento-011613-162004

Altieri, M. A., ve Nicholls, C. I. (2004). Biodiversity and pest management in agroecosystems (2nd ed.). CRC Press. <https://www.routledge.com/corporate/about-us/crc-press?srsId=AfmBOoqljI8Z8KdKRP3iicaxkATb7fS7DBvyPSAvYfay9OyXpjlUlbUj> Erişim tarihi: 15.03.2025

Altun, S., ve Koc, M. (2017). Principles of IPM in controlled environments. Journal of Horticultural Science, 15(3), 89-97.

Biondi, A., Guedes, R. N. C., Wan, F. H., ve Desneux, N. (2018). Ecology, worldwide spread, and management of the invasive South American tomato pinworm, *Tuta absoluta*: Past, present, and future. *Annual Review of Entomology*, 63, 239-258. doi:10.1146/annurev-ento-031616-034933

Blackman, R. L., ve Eastop, V. F. (2000). Aphids on the world's crops: An identification and information guide (2. baskı).112-150 John Wiley ve Sons. <https://www.wiley.com/en-gb> Erişim tarihi: 22.03.2025

Brown, J., ve Smith, R. (2019). Chemical control strategies in hydroponics: Risks and solutions. *Pest Management Science*, 75(4), 1012-1020. doi:10.1002/ps.5234

Carter, L., ve Williams, K. (2018a). Physical pest control methods in greenhouse systems. *Environmental Entomology*, 47(5), 1123-1130. doi:10.1093/ee/nvy089

Carter, R. ve Williams, T. (2018b). Entomological pest management in hydroponic systems. *Journal of Hydroponic Agriculture*, 45(3), 123-137.

Dent, D. (2000). Insect pest management (2nd ed.). CABI Publishing. <https://www.cabi.org/what-we-do/publishing/> Erişim tarihi: 01.04.2025

Desneux, N., Decourtye, A., ve Delpuech, J. M. (2007). The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology*, 52, 81-106. doi:10.1146/annurev.ento.52.110405.091440

Duran, S., ve Kaya, Y. (2020). Pest interactions in hydroponic systems: Biological and chemical perspectives. *Journal of Agricultural Science*, 12(4), 45-53.

Anonim (2022). Managing spider mites in hydroponic systems. Retrieved from <https://www.edengreentech.com>, Erişim tarihi: 20.03.2025

Evans, P., ve Robinson, L. (2018). Biological control in controlled environments: Challenges and opportunities. *Pest Management Science*, 74(6), 1235-1242. doi:10.1002/ps.4890

Anonim (2024). Aphid management in hydroponic gardens. Retrieved from <https://www.foodgardeningnetwork.com> Erişim Tarihi: 24.03.2025

Gerson, U., ve Weintraub, P. G. (2012). Mites (Acari) as a factor in greenhouse management. *Annual Review of Entomology*, 57, 229-247. doi:10.1146/annurev-ento-120710-100639

Gillespie, D. R., ve Quiring, D. (2019). Environmental manipulation for pest control in hydroponics. *Journal of Applied Entomology*, 143(7), 678-685. doi:10.1111/jen.12645

Gök, M., ve Yıldırım, E. (2017). Hydroponic systems and entomological problems. *Journal of Agricultural Sciences*, 23(1), 45-52.

Hajek, A. E. (2004). *Natural enemies: An introduction to biological control*. Cambridge University Press. <https://www.cambridge.org/> Erişim tarihi: 28.03.2025

Harris, J., ve Lee, S. (2019a). Impact of microclimate factors on pest populations in hydroponics. *International Journal of Agricultural Sciences*, 62(4), 349-358.

Harris, P., ve Lee, S. (2019b). Future trends in pest management for hydroponic agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture*, 23(1), 56-67.

Hoddle, M. S., Van Driesche, R. G., ve Sanderson, J. P. (1998). Biology and use of the whitefly parasitoid *Encarsia formosa*.

Annual Review of Entomology, 43, 645-669.
doi:10.1146/annurev.ento.43.1.645

Işık, M. ve Öztürk, I. (2015). Entomological issues in hydroponic vegetable production. Turkish Journal of Entomology, 39(2), 123-130.

Johnson, M., ve Carter, R. (2021a). The impact of environmental factors on pest outbreaks in hydroponics. Journal of Environmental Entomology, 58(2), 190-201.

Johnson, R., ve Carter, L. (2021b). Real-time pest monitoring in hydroponic systems using sensor technology. Journal of Precision Agriculture, 22(3), 345-357. doi:10.1007/s11119-020-09789-4

Jones, J. B. (2016). Hydroponics: A practical guide for the soilless grower (2nd ed.). CRC Press.332-421
<https://www.routledge.com/corporate/about-us/crcpress?srsId=AfmBOorkZ0SxgPkXgRPCaRsSNlZCwmQ58xp6oOeq83pyFhpMbZQ5nrFn> Erişim tarihi: 26.03.2025

Kogan, M. (1998). Integrated pest management: Historical perspectives and contemporary developments. Annual Review of Entomology, 43, 243-270. doi:10.1146/annurev.ento.43.1.243

Lacey, L. A., Grzywacz, D., Shapiro-Ilan, D. I., Frutos, R., Brownbridge, M., ve Goettel, M. S. (2015). Insect pathogens as biological control agents: Back to the future. Journal of Invertebrate Pathology, 132, 1-41. doi:10.1016/j.jip.2015.07.009

Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., ve Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. Sensors, 18(8), 2674. doi:10.3390/s18082674

Lopez, R., ve Martinez, J. (2020). Ecological adaptations of pests in hydroponic agriculture. Environmental Entomology, 49(3), 567-575. doi:10.1093/ee/nvaa032

Martin, J. H., ve Mound, L. A. (2007). An annotated check list of the world's whiteflies (Insecta: Hemiptera: Aleyrodidae). *Zootaxa*, 1492(1), 1-84.

Miller, R., ve Thompson, K. (2017a). Thrips and aphids in hydroponic farming: An overview. *Plant Protection Journal*, 14(6), 75-82.

Miller, T., ve Thompson, J. (2017b). Advances in image processing for pest detection in controlled environments. *Computers and Electronics in Agriculture*, 142, 312-320. doi:10.1016/j.compag.2017.09.015

Öztürk, A., ve Can, F. (2019). Advances in physical pest management techniques for hydroponic agriculture. *Agricultural Engineering International*, 21(3), 55-62.

Pedigo, L. P., ve Rice, M. E. (2014). Entomology and pest management (6. baskı). Pearson. <https://www.pearson.com/en-gb/location-selector.html> Erişim tarihi: 27.03.2025

Pimentel, D. (2005). Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. *Environment, Development and Sustainability*, 7(2), 229-252.

Pimentel, D., ve Perkins, J. (2020). Environmental monitoring for pest management in hydroponics. *Environmental Science ve Technology*, 54(7), 4123-4131. doi:10.1021/acs.est.9b07892

Producegrower. (2017). Integrated pest management strategies for hydroponic systems. *Hydroponics Today*, 35(1), 5-10.

Rajaseger, G., Chan, K. W., ve Lim, Y. T. (2023). Hydroponic systems and pest dynamics: A review. *Agricultural Systems*, 205, 103567. doi:10.1016/j.agsy.2022.103567

Safer Brand. (2020). Whiteflies in hydroponics: Identification and management. Safer Brand Publications. <https://www.saferbrand.com> Erişim tarihi: 28.03.2025

Schoonhoven, L. M., van Loon, J. J. A., ve Dicke, M. (2005). Insect-plant biology (2nd ed.). Oxford University Press. <https://corp.oup.com/> Erişim tarihi: 29.03.2025

Van Lenteren, J. C. (2012). The state of commercial augmentative biological control: Plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake. *BioControl*, 57(1), 1-20. doi:10.1007/s10526-011-9395-1

Yılmaz, G., ve Erdem, S. (2021a). Biological control agents in hydroponic pest management. *Journal of Sustainable Agriculture*, 19(1), 34-42.

Yılmaz, S., ve Erdem, A. (2021b). Pest management in hydroponic systems: Challenges and solutions. *International Journal of Pest Management*, 67(3), 201-210.

Zehnder, G., Gurr, G. M., Kühne, S., Wade, M. R., Wratten, S. D., ve Wyss, E. (2007). Arthropod pest management in organic crops. *Annual Review of Entomology*, 52, 57-80.

Zhang, C., Liu, F., ve He, Y. (2019). Application of hyperspectral imaging and artificial intelligence in pest detection. *Pest Management Science*, 75(6), 1567-1575. doi:10.1002/ps.5298

BAKLAGİLLER VE TOPRAK MİKROBİYOLOJİSİ: AZOT FİKSASYONUNUN EKOLOJİK ÖNEMİ

**MURAT TUNÇ
SÜREYYA BETÜL RUFAİOĞLU
BEHİYE TUBA BİÇER**

GİRİŞ

Hızlanan çevresel bozulma, yoğun tarım ve iklim kaynaklı toprak stresi çağında, toprak mikrobiyal ekosistemlerinin bütünlüğü küresel gıda ve çevre güvenliği için merkezi bir endişe haline gelmiştir. Topraklar sadece bitki büyümesi için pasif substratlar değil, besin döngüsü, organik madde ayrışması ve hastalıkların bastırılması gibi hayati biyokimyasal süreçleri sürdüren mikrobiyal yaşamla dolu biyolojik olarak aktif ortamlardır. Bu süreçler arasında biyolojik azot döngüsü ve özellikle biyolojik azot fiksasyonu (BAF), ekosistem işleyişinin ve agroekolojik sürdürülebilirliğin temel taşı olarak öne çıkmaktadır. Azot (N) bitki gelişimi ve üretkenliği için kritik bir makro besin maddesidir, ancak biyolojik olarak kullanılabilir formları doğal ve yönetilen sistemlerde genellikle sınırlıdır.

Atmosferik azot (N_2) havanın yaklaşık % 78'ini oluşturmasına rağmen, önceden dönüştürülmeden çoğu organizma için erişilemez kalır. Doğal ekosistemlerde, N_2 'nin amonyak (NH_3) gibi bitkiler tarafından kullanılabilir formlara dönüştürülmesine ağırlıklı olarak diazotrofik mikroorganizmalar, özellikle de baklagillerle (*Fabaceae*) simbiyotik birliktelik içinde olanlar aracılık eder. Baklagiller ve rhizobia (rneğin *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium*) arasındaki bu eski ve birlikte evrimleşmiş mutualizm, karasal ekosistemlere azot girdisinin en verimli ve ekolojik olarak önemli yolları arasındadır (Herridge ve ark., 2008: 1–18). Biyolojik azot fiksasyonunun önemi, besin maddesi sağlamanın çok ötesine geçmektedir. Toprak mikrobiyal topluluk dinamiklerinde, organik madde oluşumunda, karbon-azot etkileşimlerinde ve tarımsal ekosistemlerin işlevsel istikrarında belirleyici bir rol oynamaktadır. Genellikle toprak asitlenmesine, nitrat sızıntısına ve sera gazı emisyonlarına katkıda bulunan sentetik gübrelerin aksine, baklagil-rhizobia simbiyozları tarafından sabitlenen azot, doğal biyojeokimyasal döngülere sorunsuz bir şekilde entegre olarak ekolojik bozulmayı en aza indirmektedir (Vitousek ve ark., 2013: 418–419).

Baklagillerin ekolojik işlevselliği, çevredeki mikrobiyal topluluğun yapısı ve çeşitliliği ile güçlü bir şekilde bağlantılı olduğunu söylemek mümkündür. Kök eksüdaları ve nodülasyon süreçleri, rizosferdeki mikrobiyal alımı etkiler ve besin mevcudiyetini, mikrobiyal metabolizmayı ve enzimatik aktiviteyi modüle eder (Philippot ve ark., 2013: 789–799). Bu bağlamda, baklagiller sadece mikrobiyal hizmetlerin alıcısı değil, aynı zamanda toprak altı biyoçeşitliliğin ve işlevselliğin aktif mimarlarıdır. Ekosistem hizmetleri ve sürdürülebilir tarım sistemlerindeki önemli rollerine rağmen, azot bağlayıcı baklagiller geleneksel tarımda genellikle göz ardı edilmektedir. Ancak toprak sağlığı, rejeneratif tarım ve iklimle dirençli ekim sistemlerine giderek daha fazla

odaklanması, baklagil-mikrop simbiyozlarının ekolojik ve mikrobiyolojik boyutlarına yönelik bilimsel ve politik ilgiyi yeniden canlandırmıştır. Bu doğal süreçlerin arazi yönetim stratejilerine entegre edilmesi, dış girdilere bağımlılığın azaltılması ve tarımsal ekosistem direncinin artırılması için büyük bir potansiyele sahiptir. Bu bölüm, özellikle biyolojik azot fiksasyonunun mekanizmaları, etkileri ve uygulamalarına odaklanarak baklagiller ve toprak mikrobiyotası arasındaki çok yönlü ilişkileri keşfetmeyi amaçlamaktadır. Toprak işlevini, mikrobiyal çeşitliliği ve sürdürülebilir azot döngüsünü şekillendirmede baklagil-rhizobia etkileşimlerinin ekolojik önemi üzerinde durulmaktadır.

1. Toprak Mikrobiyolojisi ve Azot Döngüsü

Toprak, Dünya üzerindeki en çeşitli mikrobiyal topluluklardan birini barındıran canlı, dinamik bir oluşumdur. Bakteriler, arkeler, mantarlar, protozoalar ve virüslerden oluşan bu mikrobiyal popülasyonlar rastgele dağılmamış olup, temel biyojeokimyasal döngüleri düzenleyen ekolojik nişler halinde işlevsel olarak organize olmuşlardır. Bunlar arasında azot (N) döngüsü karasal üretkenlik için en kritik olanlardan biridir, çünkü azot birçok ekosistemde bitki büyümesi ve mikrobiyal metabolizma için sınırlayıcı bir elementtir (Canfield ve ark., 2010: 192–196). Moleküler formundaki (N_2) azot inertsdir ve çoğu organizma tarafından doğrudan kullanılamaz. Amonyum (NH_4^+), nitrat (NO_3^-) gibi biyolojik olarak kullanılabilir formlara veya organik azot bileşiklerine, aşağıdakiler de dahil olmak üzere bir dizi mikrobiyal aracılı dönüşüm yoluyla dönüştürülmelidir:

- Azot fiksasyonu ($N_2 \rightarrow NH_3$)
- Nitrifikasyon ($NH_4^+ \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^-$)
- Asimilasyon (inorganik N $\rightarrow$ organik N)
- Mineralizasyon (organik N $\rightarrow NH_4^+$)

- Denitrifikasyon ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2/\text{N}_2\text{O}$)

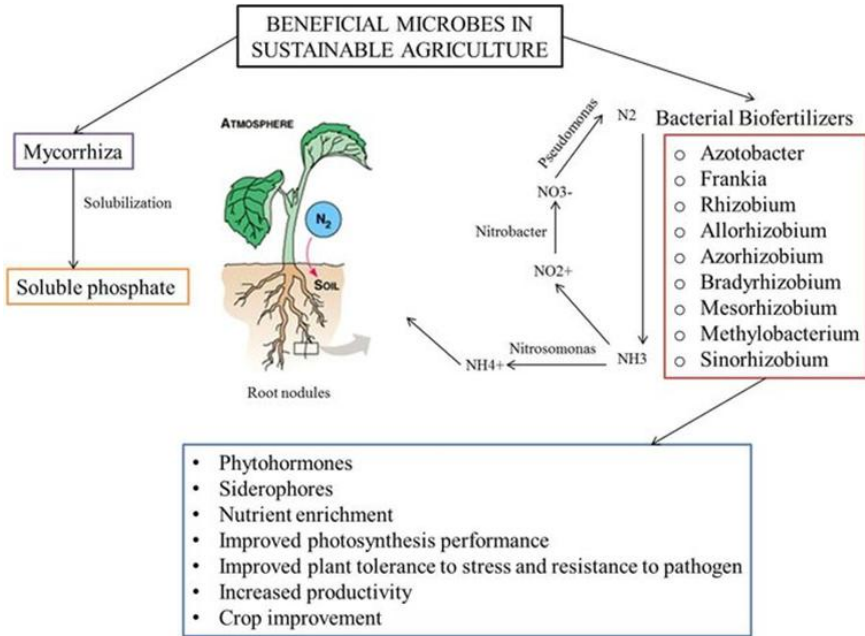
Toprak Azotu Döngüsünde Rol Alan İşlevsel Mikrobiyal Gruplar

Her dönüşüm aşamasından sorumlu farklı mikrobiyal gruplar bulunmaktadır:

- Azot bağlayan bakteriler ya da diyazotroflar (örneğin: *Azotobacter*, *Clostridium*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*) — *nifH* genini taşırlar ve nitrojenaz enzim kompleksi aracılığıyla atmosferik azotu amonyağa (NH_3) dönüştürürler.
- Amonyak oksitleyen bakteriler ve arkeler (örneğin: *Nitrosomonas*, *Nitrosopumilus*) nitrifikasyonun ilk basamağını gerçekleştirirler, yani amonyağı (NH_4^+) nitrite (NO_2^-) çevirirler.
- Nitrit oksitleyen bakteriler (örneğin: *Nitrobacter*) nitriti nitrata (NO_3^-) dönüştürürler.
- Denitrifikasyon yapan bakteriler (örneğin: *Pseudomonas*, *Paracoccus*) nitrata indirgeme yoluyla onu gaz formundaki azota (N_2) çevirirler; bu süreç genellikle anaerobik koşullarda meydana gelir ve azot kayıplarıyla ilişkilidir.

Bu işlevsel mikrobiyal loncalar, çevresel koşullar (örneğin: pH, sıcaklık, nem, redoks potansiyeli ve karbon mevcudiyeti) tarafından şekillenen karmaşık mekânsal ve zamansal desenler içinde etkileşirler. Dolayısıyla, azotu dönüştüren mikrobiyal toplulukların bileşimi ve etkinliği hem toprak özelliklerinin hem de arazi kullanım uygulamalarının bir yansımasıdır.

Şekil.1 Toprakta bulunan çeşitli mikroorganizma toplulukları



Kaynak: İkbal ve ark.,2017: 358–375.

Biyolojik Azot Fiksasyonu (BAF): Azot Girdisinin Temel Mekanizması

Tüm azot dönüşüm süreçleri arasında biyolojik azot fiksasyonu (BAF), karasal ekosistemlere yeni azot girişinin başlıca mekanizmasıdır. Nitrifikasyon veya mineralizasyon gibi süreçler mevcut azotu geri dönüştürürken, BAF atmosferden biyosfere “yeni” azot kazandırır. Bu işlev neredeyse tamamen diyazotrofik mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilir; bunlar hem serbest yaşayan (örneğin *Azospirillum*, *Frankia*) hem de simbiyotik olan türleri içerir ve özellikle baklagillerle ilişkilidir. Simbiyotik sistemlerde azot fiksasyonu, nodül olarak adlandırılan özel kök yapılarında gerçekleşir. Bu yapılar, nitrojenaz enziminin çalışabilmesi için gerekli mikraerobik ortamı sağlar. Nodüller, bitki ile rizobiyum arasındaki flavonoidler, Nod faktörleri ve reseptör

aracılı yanıtları içeren karmaşık bir sinyal değişim süreciyle oluşur (Oldroyd ve ark: 2011, 119–144).

BAF'nin ekolojik verimliliği çeşitli faktörlere bağlıdır:

- Baklagil türü ve genotipi
- Rizobiyal süşun uyumluluğu ve rekabet gücü
- Toprak besin durumu (özellikle fosfor ve molibden)
- Çevresel koşullar (örneğin su mevcudiyeti, sıcaklık)

Uygun koşullar altında baklagiller yılda hektar başına 200–300 kg azot bağlayabilir; bu da sentetik azot gübrelerine olan ihtiyacı önemli ölçüde azaltır ve toprak verimliliğine uzun vadede katkı sağlar (Unkovich ve ark., 2008).

Rizosferde Mikrobiyal Etkileşimler ve Geri Besleme Döngüleri

Rizosfer kök salgılarının doğrudan etkilediğı dar toprak bölgesi yoğun mikrobiyal aktivite ve etkileşimlerin yaşandığı bir sıcak noktadır. Baklagiller, amino asitler, organik asitler, şekerler ve sekonder metabolitler salgılayarak, azot fiksasyonunu, besin elementi kullanılabilirliğini ve hastalıklara karşı direnci artıran faydalı mikrobiyal taksonları seçici olarak kök çevresine çeker (Berendsen ve ark., 2012: 478–486).

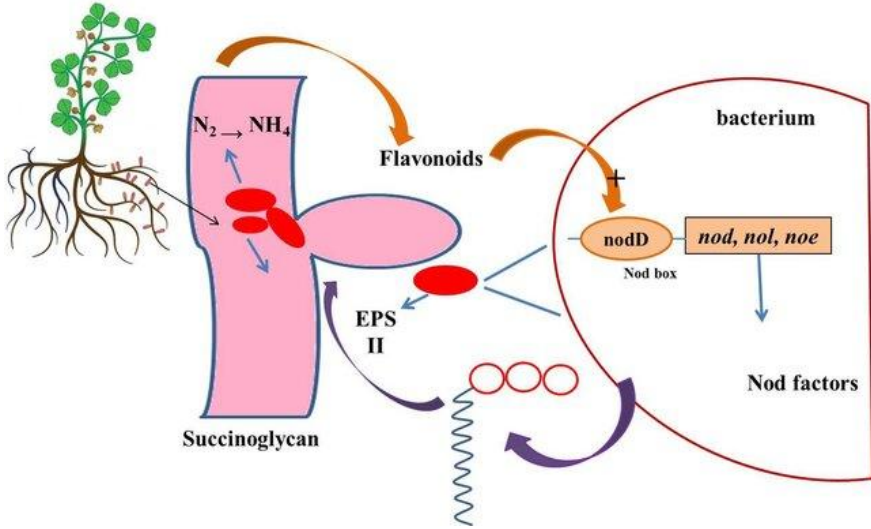
Baklagiller ile toprak mikrobiyotası arasındaki geri besleme döngüleri karşılıklı ve dinamiktir. Artan azot mevcudiyeti, bitkinin salgıladığı bileşiklerin profilini değiştirir; bu da mikrobiyal topluluğun bileşimini yeniden şekillendirir ve böylece azot dönüşüm süreçlerinin potansiyelini düzenler. Bu sıkı etkileşimli sistem, azot fiksasyonunun sadece durağan bir girdi değil, mikrobiyal ekolojiye gömülü ve yönetim uygulamalarına duyarlı bir süreç olduğunu vurgular. Toprak mikrobiyolojisi, karasal azot döngüsünün merkezinde yer alır ve biyolojik azot fiksasyonu, sürdürülebilir besin elementi yönetimi açısından temel bir süreç olarak işlev görür. Azotu

dönüştüren mikrobiyal toplulukların çeşitliliği ve işlevselliği, yalnızca toprak sağlığının bir göstergesi değil, aynı zamanda tarımsal ekosistemlerin verimliliğini ve dayanıklılığını şekillendiren aktif unsurlardır. Baklagiller, rizobiyum ile olan eşsiz simbiyotik kapasiteleri sayesinde, azot mevcudiyetini artırırken mikrobiyal ve çevresel dengeyi koruyabilen, biyolojik olarak zarif ve ekolojik olarak bütünlük bir çözüm sunmaktadır.

2. Baklagil–Rizobiyum Simbiyotik İlişki Mekanizması

Doğadaki en karmaşık karşılıklı faydaya dayalı ilişkilerden biri, baklagiller ile Rizobiyum cinsi ve ilişkili cinslere ait azot bağlayan bakteriler arasındaki simbiyotik birlikteliktir. Bu simbiyoz yalnızca pasif bir besin alışverişi değil; evrimsel olarak birlikte şekillenmiş moleküler tanıma, yapısal gelişim ve metabolik koordinasyonu içeren, sinyalleşmeye dayalı son derece düzenlenmiş bir süreçtir. Söz konusu ilişki, alemler arası iletişim ve mikrobiyal karşılıklı yaşam açısından dikkate değer bir örnek olup, agroekolojik azot dinamikleri üzerinde derin etkiler yaratmaktadır.

Şekil.2 Baklagil bitki türleri ve rhizobia arasındaki simbiyotik etkileşim



Kaynak: İkbal ve ark.,2017, 358–375.

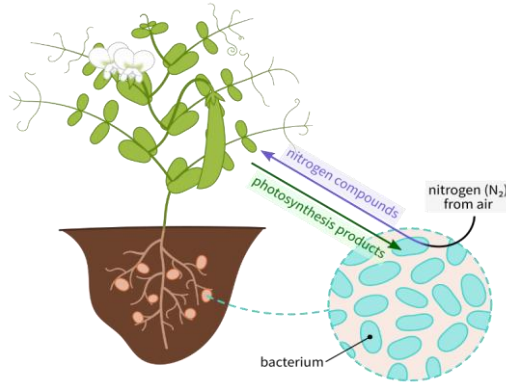
Simbiyozun Moleküler Başlangıcı: Sinyal İletim Zinciri

Simbiyotik ilişkinin başlangıcı, baklagil kökleri ile uyumlu rizobiyum türleri arasında gerçekleşen moleküler sinyallerin değişimiyle başlar. Baklagil kökleri tarafından salgılanan flavonoidler, rizobiyal gen ekspresyonunu uyarıcı ve bakterileri çeken ikincil metabolitler olarak görev yapar. Bu flavonoidler, rizobiyumda nodülasyon (nod) genlerini aktive ederek konukçu tanıma ve simbiyotik uyum için gerekli olan Nod faktörlerinin (lipokitoligosakkarit yapılı sinyal molekülleri) sentezini ve salınımını tetikler (Oldroyd, 2013: 252–263). Bu sinyallere yanıt olarak, baklagil kök tüylerinde kıvrılma, hücre iskeleti yeniden düzenlemeleri ve kalsiyum dalgalanmalarının aktivasyonu gibi bir dizi morfolojik ve fizyolojik değişiklik meydana gelir. Bu olaylar, rizobiyumun kök korteksine yönlendirildiği enfeksiyon ipliklerinin oluşumuna yol açmaktadır.

Nodül Oluşumu ve İşlevsel Farklılaşma

Rizobiyum kök korteksine ulaştıktan sonra, bitki hücreleri tarafından endositoza benzer bir mekanizma ile içselleştirilir ve bitki kaynaklı bir zarla çevrilerek "simbiyozom" adı verilen yapılara dönüştürülür. Bu özel hücresel bölmede rizobiyumlar, serbest yaşayan hallerinden metabolik olarak farklılaşarak azot bağlayıcı form olan "bakteroid"lere dönüşürler. Nodül gelişimi, bitki genomunda bulunan NIN (Nodule Inception) ve diğer düzenleyici genler tarafından kontrol edilir. Bu genler meristematik aktiviteyi ve vasküler sistemle bağlantıyı düzenler. Bitki, bakteroidlere karbon kaynağı (özellikle malat) sağlar ve azotaz enziminin oksijene duyarlılığı nedeniyle düşük oksijenli ortamı sağlamak için leghemoglobin (hemoprotein) sentezler (Ott ve ark., 2005: 531–535). Azotu (N_2) amonyağa (NH_3) dönüştüren nitrojenaz enzimi kompleksi, yüksek miktarda ATP gerektirir ve oksijenle geri dönüşümsüz şekilde inaktive olur. Bu nedenle nodüllerin mekânsal ve biyokimyasal yapısı, bakterilerin enerji ihtiyacı ile bitkinin metabolik gereksinimleri arasında hassas bir denge sağlamak üzere evrimleşmiştir.

Şekil.3 Bitki ile kök nodüllerindeki simbiyotik bakteriler (camgöbeği) arasındaki ilişkinin basitleştirilmiş bir diyagramı



Kaynak: Wikipedia, 2025.

Simbiyotik Eşleşmede Özgüllük ve Uyum

Simbiyotik özgüllük, baklagil–rizobiyum etkileşimlerinin temel belirleyicilerindendir. Farklı baklagil türleri, farklı rizobiyal suşlarla ilişki kurar ve tüm eşleşmeler eşit derecede etkili değildir. Konukçu özgüllüğü şu faktörler tarafından belirlenir:

- Nod faktörlerinin kimyasal yapısı
- Bitki reseptörlerinin (örneğin, LysM-domain reseptör kinazları) varlığı
- Rizozferdeki mikrobiyal rekabet gücü
- Sinyal ifadesini etkileyen çevresel koşullar

Bu özgüllük, tarım açısından hem bir zorluk hem de fırsat sunar. Uyumlu eşleşmeler yüksek verimli azot fiksasyonuna olanak sağlarken, uyumsuzluk durumları etkisiz nodülasyon ile sonuçlanabilir. Bu da simbiyozdan elde edilen azot katkısının en aza inmesine neden olur. Bu nedenle uygun rizobiyal inokulantların seçilmesi ve toprak mikrobiyomu içinde kalıcılığının sağlanması, baklagil simbiyozunun verimli kullanımı açısından kritik öneme sahiptir (Masson-Boivin ve Sachs: 2018, 7–15).

Holobiont Perspektifi: Ortak Metabolik Ağ

Son dönem araştırmalar, baklagil–rizobiyum ilişkisini iki ayrı organizma yerine, konukçu ve simbiyontun birlikte çalıştığı bir metabolik bütünlük olarak, yani holobiont olarak tanımlamaktadır. Bu yapıdaki organizmaların birleşik genomu (hologenomu), çevresel uyaranlara bağlı olarak birlikte evrimleşir. Bu bakış açısı, simbiyotik azot fiksasyonunun sadece fizyolojik bir özellik olmadığını; aynı zamanda gen düzenlemesi, sinyal iletim zincirleri, besin alışverişi ve mikrobiyal topluluk dinamiklerine bağlı sistem düzeyinde bir işlev olduğunu kabul eder. Bu holobiont doğayı anlamak, tarla koşullarında ve farklı agroekolojik ortamlar altında

simbiyotik performansın artırılması açısından büyük önem taşır (Friesen, 2012, 1096–1111).

Baklagil–rizobiyum simbiyozu, doğadaki iş birliğine dayalı etkileşimlerin gücünü temsil eden, ince ayarlanmış bir biyolojik sistemdir. Bu ilişkinin başarısı; karmaşık sinyal ağlarına, genetik uyuma ve düzenli bir şekilde organize olmuş metabolik entegrasyona bağlıdır. Azot alımındaki rolünün ötesinde, bu simbiyoz toprak mikrobiyomunu şekillendirir, bitki sağlığını etkiler ve ekosistem istikrarına katkıda bulunur. Bu ilişkinin sürdürülebilir tarımda etkin bir şekilde kullanılabilmesi için, yalnızca moleküler temellerinin anlaşılması değil, aynı zamanda inokulant seçimi, mikrobiyal yönetim ve etkili simbiyozu destekleyen agroekosistem tasarımı için uygulanabilir stratejilerin geliştirilmesi de gereklidir.

3. Azot Fiksasyonunun Ekolojik ve Topraksal Etkileri

Baklagil–rizobiyum simbiyozu aracılığıyla gerçekleşen biyolojik azot fiksasyonu (BAF), yalnızca bireysel bitkiler için bir besin alım mekanizması değildir. Aynı zamanda, toprak kalitesi, mikrobiyal çeşitlilik ve ekosistem işleyişi üzerinde geniş kapsamlı sonuçlar doğuran bir ekolojik süreçtir. Toprak sistemlerine sabitlenmiş azotun entegre edilmesi hem doğal hem de tarımsal ortamlarda toprakların yapısını, verimliliğini ve biyolojik aktivitesini etkileyen zincirleme ekolojik etkiler yaratır.

Toprak Organik Maddesi ve Besin Havuzlarına Katkısı

BAF'nin en doğrudan etkilerinden biri, simbiyotik olarak bağlanan azotun bitki biyokütlesine ve ardından kök salgıları, dökülen kök hücreleri, nodüller ve bitki artıklarının ayrışması yoluyla toprak organik madde (TOM) havuzuna dahil edilmesiyle toprak azotu içeriğinin artmasıdır. Araştırmalar, baklagil bazlı tarımsal sistemlerin, topraktaki organik azot seviyelerine önemli ölçüde katkı sağladığını ve toprakların karbon/azot (C: N) oranını

iyileştirdiğini göstermektedir. Bu oran, mikrobiyal parçalanma ve mineralizasyon süreçlerini doğrudan etkileyen kilit bir parametredir (Drinkwater ve ark., 1998: 262–265).

Toprak organik maddesindeki bu artış ayrıca şu olumlu etkilerle ilişkilidir:

- Katyon değişim kapasitesinin (CEC) artması
- Toprağın su tutma kapasitesinin yükselmesi
- Toprak tamponlama kapasitesi ve agregatlaşma özelliklerinin gelişmesi

Uzun vadeli tarım sistemlerinde BAF, özellikle toprak organik maddesinin kolay ayrışabilir fraksiyonlarını zenginleştirerek ve besin döngüsü için gerekli mikrobiyal süreçleri uyararak bozunmuş toprakların yeniden inşasında merkezi bir rol oynar (Lal, 2009: 45–57).

Toprak Mikrobiyal Biyokütlesinin ve Aktivitesinin Uyarılması

Biyolojik azot fiksasyonu (BAF), yalnızca toprağa azot kazandırmakla kalmaz, aynı zamanda özellikle rizosfer ve genel toprak ortamında mikrobiyal toplulukları aktive eder ve çeşitlendirir. Baklagiller tarafından sürekli olarak salınan karbon açısından zengin kök salgıları, mikrobiyal metabolizmayı destekler; bu da enzimatik aktivitelerde (örneğin dehidrogenaz, üreaz, fosfataz) ve mikrobiyal biyokütle karbonu ve azotunda (MBC, MBN) artışa yol açar.

Baklagillerin rizodepozisyonu (kök yoluyla toprak ortamına verilen maddeler), bitki gelişimini teşvik eden rizobakteriler (PGPR), mikorizal mantarlar ve nitrifikasyon/denitrifikasyon yapan bakteriler dahil olmak üzere faydalı mikroorganizmaların popülasyonlarını seçici olarak zenginleştirir. Bu süreç, besin kullanılabilirliği, bitki sağlığı ve streslere karşı dayanıklılığı artıran

dinamik bir mikrobiyal ağ oluşturur (Heijden ve ark., 2008: 296–310).

Karbon–Azot İlişkisi ve Sera Gazı Dinamikleri

BAF ile karbon döngüsü arasındaki ilişki hem doğrudan hem de dolaylıdır. Baklagiller, kök biyokütlesi ve bitki artıklarının ayrışması yoluyla karbon girdisi sağlar. Ancak aynı zamanda tetikledikleri artmış mikrobiyal aktivite, karbon mineralizasyonunu ve CO₂ salınımını da artırır. Bu çift yönlü etki, baklagil bazlı sistemlerde karbon–azot geri besleme mekanizmalarının hassas bir şekilde anlaşılmasını gerektirmektedir.

Önemli olarak, BAF sera gazı emisyonlarını da etkiler, özellikle de güçlü bir sera gazı olan dinitrojen monoksit (N₂O) açısından. Baklagiller, sentetik azot gübrelerine olan ihtiyacı azalttıkları için dolaylı olarak N₂O emisyonlarını düşürebilir; ancak iyi yönetilmeyen sistemlerde, yüksek azot içeren mikro bölgelerde nitrifikasyon–denitrifikasyon süreçlerinin hızlanması nedeniyle N₂O salımı artabilir (Rochette ve Janzen, 2005: 395–404). Bu nedenle, baklagillerin örtü bitkileri ve koruyucu toprak işleme teknikleriyle birlikte tarım sistemlerine etkili entegrasyonu, ekolojik kazanımların maksimize edilmesi ve çevresel risklerin en aza indirilmesi açısından kritik önemdedir.

Ekosistem Düzeyinde Etkiler ve Biyoçeşitliliğin Artırılması

Ekosistem ölçeğinde, azot bağlayan baklagiller, habitat kalitesini ve kaynak çeşitliliğini artırarak yerüstü ve yer altı biyoçeşitliliğini teşvik eder. Bu türlerin bitki topluluklarında bulunması:

- Tür zenginliği ve denge oranlarını artırır,
- İşlevsel yedeklilik ve ekosistem dayanıklılığını geliştirir,

- Tozlayıcı faunayı ve diğer hayvansal popülasyonları destekler.

Bu etkiler, özellikle çoklu ürün (polikültür) sistemlerinde ve agroekolojik peyzajlarda belirgin hale gelir. Baklagiller bu ortamlarda, topluluk oluşumunu, trofik (besin ağı) etkileşimlerini ve biyogeoekimya döngülerini düzenleyen kilit türler (*keystone species*) olarak işlev görürler (Temperton ve ark., 2007). Ayrıca, marjinal ve bozunmuş arazilerde, baklagiller öncü türler olarak rol oynayarak ikincil süksesyonu (bitki örtüsü gelişimini) kolaylaştırır ve ekosistem restorasyonunu destekler. Bu sayede hem toprak verimliliği artırılır hem de diğer bitki türlerinin yerleşmesi için uygun koşullar sağlanır. Baklagillerin gerçekleştirdiği biyolojik azot fiksasyonu, yalnızca bitki beslenmesini destekleyen bir süreç değil; aynı zamanda toprak inşası, biyoçeşitlilik artırımı ve iklim regülasyonu sağlayan bir mekanizmadır. Toprak biyotası ve besin döngüleriyle girdikleri karmaşık etkileşimler sayesinde, baklagiller hem tarım hem de doğal ekosistemlerde biyolojik yenilenmenin taşıyıcıları olarak öne çıkar. BAF'nin tüm potansiyelinden yararlanmak, azot fiksasyonunu yalnızca izole bir mikrobiyal özellik değil, toprak–bitki–mikroorganizma sistemi içine gömülü bir ekolojik hizmet olarak gören bütüncül bir bakış açısını gerektirir.

4. Baklagillerin Kullanımı ve Tarımsal Sistemlerdeki Uygulamalar

Baklagillerin ekolojik ve mikrobiyolojik avantajlarının tarımda ölçeklenebilir uygulamalara dönüştürülebilmesi, bu bitkilerin tarımsal yönetim sistemlerine bilinçli ve stratejik entegrasyonunu gerektirir. Biyolojik azot fiksasyonunun (BAF) faydaları araştırma ortamlarında geniş ölçüde belgelenmiş olsa da bu potansiyelin tarlada tam olarak kullanılabilmesi; planlama, doğru tür seçimi, destekleyici altyapı ve uygun politika araçları ile mümkündür. Bu bölümde, baklagillerin ve bunların sabitlediği

azotun farklı tarım sistemleri içinde nasıl etkin şekilde kullanılabileceği ele alınmaktadır.

Ekim Nöbeti ve Çeşitlendirme Stratejileri

Baklagillerin tarımda en yaygın uygulama alanlarından biri, ekim nöbeti sistemlerine dahil edilmeleridir. Baklagillerin tahıllar veya diğer baklagil olmayan bitkilerle dönüşümlü olarak ekilmesi, ardıl ürünlerin artık azottan faydalanmasını ve toprak yapısının iyileşmesini sağlar. Bu dönüşüm sayesinde:

- Toprak verimliliği ve azot ekonomisi artar,
- Sentetik azot gübrelerine bağımlılık azalır,
- Hastalık, zararlı ve yabancı ot baskısı kırılır,
- Toprak yapısı ve organik madde içeriği iyileşir.

Örneğin, buğdaydan önce bakla (*Vicia faba*) veya nohut (*Cicer arietinum*) ekilmesi hem buğday verimini hem de azot kullanım verimliliğini artırmaktadır (Kirkegaard ve ark., 2008 :185–195; Gökkuş ve ark., 2011: 173–180).

Yeşil Gübre ve Örtü Bitkisi Olarak Baklagillerin Kullanımı

Yonca (*Trifolium spp.*), fiğ (*Vicia spp.*) ve kadife çiçeği (*Crotalaria juncea*) gibi baklagil türleri yeşil gübre veya örtü bitkisi olarak ekildiğinde, toprak verimliliğini, organik madde düzeyini ve mikrobiyal aktiviteyi artırmaktadır. Ayrıca bu bitkilerin toprakta ayrışmasıyla, sabitlenmiş azot toprağa geri kazandırılarak, ardından gelen ürünler için besin elementi mevcudiyeti artırmaktadır. Bu sistemler özellikle şu durumlarda yararlıdır:

- Organik tarım sistemlerinde,
- Toprak koruma tarımı yapılan alanlarda,
- Erozyona duyarlı bölgelerde,

- Girdi seviyesi düşük gelişmekte olan bölgelerde.

Ayrıca hem yem bitkisi üretimini hem de örtü bitkisi fonksiyonunu birleştiren çift amaçlı sistemler, entegre hayvancılık–bitkisel üretim modellerine katkı sağlar ve ekonomik sürdürülebilirliği artırır.

İnokulasyon

Simbiyotik azot fiksasyonunun maksimuma çıkarılabilmesi için, özellikle rizobiyum popülasyonlarının zayıf olduğu topraklarda veya egzotik baklagil türleri yetiştirildiğinde, etkili rizobiyal inokulantların kullanımı hayati öneme sahiptir. Bu inokulantlar tohum kaplaması veya toprak uygulaması şeklinde kullanılabilir ve ticari formlarda giderek yaygınlaşmaktadır. Başarılı inokulasyon için dikkat edilmesi gereken unsurlar:

- Konukçu bitki ile rizobiyal suş arasındaki genetik uyumluluk,
- Rizobiyumun çevresel koşullara adaptasyonu,
- Uygulama tekniklerinin doğru şekilde gerçekleştirilmesi,
- Kalite kontrolü ve düzenleyici sistemlerin varlığı.

Yerel koşullara uygun inokulantların kamu–özel sektör iş birlikleriyle geliştirilip dağıtılması, özellikle Sahra Altı Afrika ve Güney Asya gibi bölgelerde oldukça başarılı sonuçlar vermektedir (Vanlauwe ve ark, 2014; Herridge ve ark., 2008: 1–18).

Agroekolojik ve Rejeneratif Tarım Sistemlerine Entegrasyon

BAF, doğası gereği agroekolojik ilkelerle büyük ölçüde uyumludur. Bu ilkeler; biyolojik süreçlere dayalı üretimi, sistem içi besin döngülerini ve çeşitlendirmeyi teşvik eder. Baklagiller bu tür sistemlerin merkezinde yer alır:

- Agroormancılık sistemlerinde, azot bağlayan ağaç türleri uzun vadeli toprak verimliliğini destekler,
- Karışık ekim sistemlerinde, baklagillerin tahıllarla birlikte yetiştirilmesi arazi kullanım verimliliğini artırır,
- Rejeneratif tarım uygulamalarında, toprak karbonu ve mikrobiyal sağlığın yeniden inşasında temel rol oynar.

Bu çok işlevli sistemleri destekleyen baklagiller, kimyasal girdilere olan bağımlılığı azaltır, iklim değişkenliğine karşı dayanıklılığı artırır ve ekolojik bütünlüğü geliştirir. Tüm bu avantajlara rağmen, baklagillerin tarım sistemlerine entegrasyonu bazı zorluklar içerebilir:

- Uygun olmayan çevresel koşullar nedeniyle düzensiz BAF performansı,
- Bazı baklagil türleri için düşük pazar talebi,
- Kırsal bölgelerde nitelikli tohum ve inokulant erişiminin sınırlı olması,
- Yetiştirme ve yönetim konularında bilgi eksikliği.

Bu nedenle aşağıdaki iyi uygulamalar önerilmektedir:

- Yerel koşullara adapte olmuş, BAF kapasitesi yüksek türlerin seçimi,
- Alan bazlı ekim nöbeti ve karışık ekim planlaması,
- Çiftçi eğitimi ve yayım hizmetlerinin artırılması,
- Baklagil odaklı değer zincirlerinin oluşturulması.

Azot fiksasyonu yapan baklagillerin tarım sistemlerine entegrasyonu, daha verimli, dayanıklı ve ekolojik açıdan sürdürülebilir bir tarım için güçlü bir geçiş yolu sunmaktadır. Bu ister ekim nöbetiyle ister örtü bitkisi kullanımıyla, isterse biyogübre

veya agroekolojik entegrasyon yoluyla gerçekleştirilsin, baklagiller toprak yönetim stratejilerini dönüştürebilecek potansiyele sahiptir. Bu uygulamaların yaygınlaştırılması, araştırma, politika geliştirme, ifti eğitimi ve pazar altyapısı alanlarında koordineli çabalar gerektirir. Sonuç olarak, baklagiller yalnızca birer ürün değil, sistem düzeyinde ekolojik birer varlık olarak değerlendirilmelidir.

5. Sonuç ve Gelecek Perspektifi

Biyolojik azot fiksasyonunun (BAF) ekolojik, tarımsal ve mikrobiyal boyutları, baklagillerin sürdürülebilir tarım ve toprak sağlığı yönetimindeki merkezi rolünü güçlü biçimde ortaya koymaktadır. Sentetik azot kaynakları toprak biyogeokimyasını bozmakta ve çevresel bozulmalara neden olurken BAF toprağa olumlu katkıda bulunmaktadır. BAF, biyolojik olarak bütünleşik ve ekolojik açıdan dengeli bir toprak zenginleştirme, üretkenlik artırımı ve dış girdilere bağımlılığı azaltma mekanizması sunmaktadır. Bu bölümde, azot bağlayan baklagillerin çok yönlü katkıları farklı ölçeklerde vurgulanmıştır:

- Moleküler düzeyde, baklagil–rizobiyum simbiyozu, karmaşık biyokimyasal sinyalleşme ve işlevsel tamamlayıcılık üzerine kurulu evrimsel bir ortaklığı temsil eder.
- Toprak düzeyinde, sabitlenmiş azot, kök salgıları ve ayrışan bitki kalıntıları mikrobiyal biyokütleyi, organik madde içeriğini ve genel toprak verimliliğini artırır.
- Baklagiller, ekosistem düzeyinde biyolojik çeşitliliği artırır, besin zincirindeki etkileşimleri zenginleştirir ve ekosistemlerin çevresel değişimlere karşı dirençli olmasına katkı sağlayarak iklim değişikliğine uyumda önemli bir rol üstlenir.

Bu faydalara rağmen, uygulamada bazı zorluklar sürmektedir. Bunlar arasında düzensiz simbiyotik performans, kaliteli tohum ve inokulant erişimindeki sınırlılıklar, yetersiz pazar altyapısı ve üreticiler arasındaki bilgi eksiklikleri yer alır. Bu sorunların aşılması, mikrobiyal ekoloji, tarım bilimi, ekonomi ve politika disiplinlerini birleştiren çok yönlü bir yaklaşım gerektirmektedir.

Araştırma ve Uygulama İçin Gelecek Yönelimler

1. Mikrobiyal İşlevsel Ekoloji: Farklı toprak ve iklim koşulları altında rizobiyal toplulukların işlevsel özellikleri ile diğer faydalı mikroorganizmalarla olan etkileşimlerinin daha derinlemesine anlaşılması gerekmektedir.

2. Genotip $\times$ Çevre $\times$ Mikrobiyom Etkileşimleri: Gelecekteki ıslah programları, mikrobiyal etkileşime duyarlılığı bir seçim kriteri olarak ele almalı; bitki–mikrop uyumunu farklı agroekolojik bölgelerde optimize etmelidir.

3. İklim Dayanıklı Simbiyozlar: Stres toleransı yüksek rizobiyum ve baklagil çeşitlerinin belirlenmesi ve kullanılması, değişken iklim koşullarında BAF'nin sürdürülebilirliğini sağlamak açısından kritik olacaktır.

4. Biyogübre Teknolojilerinde Yenilik: Bitki gelişimini teşvik eden mikroorganizma konsorsiyumlarını da içeren yeni nesil inokulantlar, BAF'nin verimliliğini ve tarladaki tutarlılığını artırmak için geliştirilmeli ve yaygınlaştırılmalıdır.

5. Politika ve Bilgi Sistemleri: Baklagil temelli sistemler, teşvik politikaları, araştırma yatırımları, çiftçi eğitimi ve ulusal iklim/toprak sağlığı stratejilerine entegrasyon yoluyla desteklenmelidir. Baklagil–mikrobiyom etkileşimi, evrimsel uyum ve ekolojik zekâya dayalı doğal bir azot yönetim altyapısı sunmaktadır. Tarım, bir yandan artan nüfusu besleme, diğer yandan

bozulan ekosistemleri onarma gibi çift yönlü bir zorlukla karşı karşıyayken, biyolojik azot fiksasyonu bu dönüşümün stratejik bir ayağını oluşturmaktadır.

Geleceğin sürdürülebilir tarımı, yalnızca teknolojik yeniliklere değil, aynı zamanda biyolojik süreçlerin tarım sistemlerinin merkezine yeniden entegre edilmesine bağlıdır. Bu bakışla, baklagiller yalnızca azot sağlayan bitkiler değil; aynı zamanda verimli, dirençli ve biyoçeşitliliği yüksek toprakların mimarlarıdır.

Kaynaklar

Berendsen, R. L., Pieterse, C. M., & Bakker, P. A. (2012). The rhizosphere microbiome and plant health. *Trends in Plant Science*, 17(8), 478–486. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.04.001>

Canfield, D. E., Glazer, A. N., & Falkowski, P. G. (2010). The evolution and future of Earth's nitrogen cycle. *Science*, 330(6001), 192–196. <https://doi.org/10.1126/science.1186120>

Drinkwater, L. E., Wagoner, P., & Sarrantonio, M. (1998). Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. *Nature*, 396(6708), 262–265. <https://doi.org/10.1038/24376>

Friesen, M. L. (2012). Widespread fitness alignment in the legume–rhizobium symbiosis. *New Phytologist*, 194(4), 1096–1111. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04109.x>

Gökkuş, A., Tuna, C., & Korkmaz, A. (2011). The effects of vetch–wheat rotations on grain yield and soil fertility under rainfed conditions in Turkey. *Field Crops Research*, 123(2), 173–180.

Herridge, D. F., Peoples, M. B., & Boddey, R. M. (2008). Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. *Plant and Soil*, 311(1–2), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9668-3>

Kirkegaard, J., Christen, O., Krupinsky, J., & Layzell, D. (2008). Break crop benefits in temperate wheat production. *Field Crops Research*, 107(3), 185–195. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.02.010>

Lal, R. (2009). Soil degradation as a reason for inadequate human nutrition. *Food Security*, 1(1), 45–57. <https://doi.org/10.1007/s12571-008-0009-5>

Masson-Boivin, C., & Sachs, J. L. (2018). Symbiotic nitrogen fixation by rhizobia: The roots of a success story. *Current Opinion in Plant Biology*, 44, 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.12.001>

Oldroyd, G. E. D. (2013). Speak, friend, and enter: Signalling systems that promote beneficial symbiotic associations in plants. *Nature Reviews Microbiology*, 11(4), 252–263. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2990>

Oldroyd, G. E. D., Murray, J. D., Poole, P. S., & Downie, J. A. (2011). The rules of engagement in the legume–rhizobial symbiosis. *Annual Review of Genetics*, 45, 119–144. <https://doi.org/10.1146/annurev-genet-110410-132549>

Ott, T., van Dongen, J. T., Günther, C., Krusell, L., Desbrosses, G., Vigeolas, H., & Udvardi, M. K. (2005). Symbiotic leghemoglobins are crucial for nitrogen fixation in legume root nodules but not for general plant growth and development. *Current Biology*, 15(6), 531–535. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2005.01.042>

İkbal, I., Prasad, M., Brar, B., Lambe, U. P., Jyothi, M., Ranjan, K., Deepika, D., Sikka, V., & Prasad, G. (2017). Promiscuous Rhizobia: A potential tool to enhance agricultural crops productivity. In S. Bhore, K. Marimuthu, & M. Ravichandran (Eds.), *Biotechnology for Sustainability: Achievements, Challenges and Perspectives* (pp. 358–375). AIMST University.

Philippot, L., Raaijmakers, J. M., Lemanceau, P., & Van der Putten, W. H. (2013). Going back to the roots: The microbial ecology of the rhizosphere. *Nature Reviews Microbiology*, 11(11), 789–799. <https://doi.org/10.1038/nrmicro3109>

Rochette, P., & Janzen, H. H. (2005). Towards a revised nitrogen budget for agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 85(3), 395–404. <https://doi.org/10.4141/S04-049>

Temperton, V. M., Hobbs, R. J., Nuttle, T., & Halle, S. (2007). *Assembly Rules and Restoration Ecology: Bridging the Gap Between Theory and Practice*. Washington, DC: Island Press.

Unkovich, M., Herridge, D., Peoples, M., Cadisch, G., Boddey, R., Giller, K., & Chalk, P. (2008). *Measuring plant-associated nitrogen fixation in agricultural systems*. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research.

Van Der Heijden, M. G., Bardgett, R. D., & Van Straalen, N. M. (2008). The unseen majority: Soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 11(3), 296–310. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01139.x>

Vanlauwe, B., Van Asten, P., & Blomme, G. (2014). *Challenges and Opportunities for Agricultural Intensification of the Humid Highland Systems of Sub-Saharan Africa*. Cham: Springer.

Vitousek, P. M., Naylor, R., Crews, T., David, M. B., Drinkwater, L. E., Holland, E., ... & Zhang, F. S. (2013). Nutrient imbalances in agricultural development. *Science*, 339(6121), 418–419. <https://doi.org/10.1126/science.1232461>

Wikipedia.,2025, Erişim Tarihi:01.03.2025., Root nodule - Wikipedia.,

SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMIN KURTARICILARI: BAKLAGİLLER VE TOPRAK SAĞLIĞI

SÜREYYA BETÜL RUFAYIOĞLU¹⁹
MURAT TUNÇ²⁰
BEHİYE TUBA BİÇER²¹

Giriş

Küresel tarım sistemleri, 21. yüzyılda önemli bir paradigma değişimiyle karşı karşıyadır. Hızla artan nüfus, kentleşme, iklim değişikliği ve doğal kaynakların tükenmesi gibi baskılayıcı unsurlar, yalnızca üretim verimliliğini değil; gıda kalitesi, çevresel sürdürülebilirlik ve ekosistem bütünlüğü gibi daha karmaşık ve çok boyutlu hedefleri de gündeme taşımıştır. Bu bağlamda, yüksek verim odaklı, yoğun girdi kullanımına dayalı konvansiyonel üretim modellerinin uzun vadeli ekolojik ve tarımsal sonuçları giderek daha fazla sorgulanmakta; bunun yerine sürdürülebilir, döngüsel ve doğa temelli tarım yaklaşımları ön plana çıkmaktadır.

¹⁹ Doktora Öğrencisi Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Orcid: 0009-0006-0225-7629

²⁰ Araştırma Görevlisi, Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri, Orcid:0009-0008-8406-4824

²¹ Behiye Tuba Biçer, Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri, Orcid: 0000-0001-8357-8470

Sürdürülebilir tarım, yalnızca çevreyle uyumlu üretimi değil; aynı zamanda toprak sağlığının korunması, tarımsal biyolojik çeşitliliğin devamlılığı, doğal döngülerin bütünleşik yönetimi ve üreticinin refahını temel alan çok boyutlu bir sistem yaklaşımıdır. Bu yaklaşımın merkezinde ise şüphesiz toprak sağlığı yer almaktadır. Toprak, sadece bitkilerin tutunduğu bir ortam değil; fiziksel yapısı, kimyasal bileşimi ve biyolojik canlılığıyla küresel gıda sistemlerinin temelini oluşturan dinamik bir ekosistemdir. Ancak günümüzde yoğun tarım uygulamaları nedeniyle topraklar; organik madde kaybı, mikrobiyal çeşitlilikte azalma, fiziksel yapı bozulmaları ve işlevsel verimlilikte ciddi düşüşler ile karşı karşıyadır.

Bu kritik noktada hem gıda üretimini destekleyebilecek hem de toprak sistemlerinin onarımına katkı sunabilecek işlevsel bitki gruplarının tarımsal sistemlere entegre edilmesi bir gereklilik haline gelmiştir. Bu ihtiyaca yanıt verebilecek bitki gruplarının başında baklagiller (*Leguminosae/Fabaceae*) gelmektedir. Baklagillerin rolü yalnızca ürün çeşitliliği ya da besin değerleri ile sınırlı değildir; aynı zamanda ekosistem temelli işlevselliğe sahip bitkilerdir. Bu türler:

- Atmosferik azotu biyolojik yollarla sabitleme (BAF) yetenekleri sayesinde toprak azot dengesine katkı sağlar,
- Geniş kök sistemleri ve rizosferik aktiviteleriyle toprak yapısını iyileştirir,
- Kök salgıları ve organik artıklar yoluyla mikrobiyal çeşitliliği ve aktiviteyi artırır,
- Agregat stabilitesi, su geçirgenliği ve porozite gibi fiziksel toprak özelliklerini geliştirerek su tutma kapasitesini yükseltir. Bu mekanizmalar yoluyla baklagiller, toprak verimliliğini artırma ve sentetik gübre veya kimyasal girdilere olan bağımlılığı azaltma açısından stratejik bir rol üstlenir. Gerçekleştirilen çok sayıda bilimsel çalışma, baklagillerin dahil edildiği tarım sistemlerinin monokültür

sistemlerine kıyasla daha dirençli, ekolojik olarak daha istikrarlı ve çevresel açıdan daha az zararlı olduğunu göstermektedir (Drinkwater et al., 1998: 262–265; Peoples et al., 2009: 1–17).

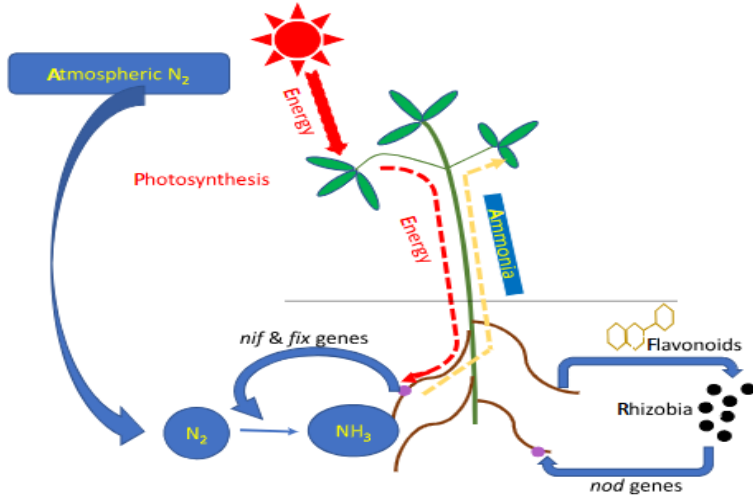
Bu bölümde, baklagillerin toprak sağlığına olan katkıları çok boyutlu olarak ele alınacaktır. Biyolojik azot fiksasyonu, toprak organik maddesinin zenginleşmesi, mikrobiyal topluluklar üzerindeki etkiler ve fiziksel toprak iyileştirmesi gibi işlevsel alanlar ayrıntılı biçimde tartışılacaktır. Ayrıca bu işlevlerin tarımsal sürdürülebilirlik, ekosistem hizmetleri ve gıda güvenliği ile olan ilişkisine de dikkat çekilecek; uygulamalı sistemlerden örneklerle baklagillerin neden "sürdürülebilir tarımın kurtarıcıları" olarak tanımlandığı bilimsel temellere dayalı olarak ortaya konulacaktır.

1. Baklagillerin Toprak Sağlığına Katkıları

Giderek daha fazla sürdürülebilir tarımın temel taşı olarak kabul edilen toprak sağlığı, toprağın biyolojik, kimyasal ve fiziksel bütünlüğünü ve temel ekosistem işlevlerini yerine getirme kapasitesini kapsar. Sağlıklı bir toprak, bitki gelişimini destekler, besin döngüsünü kolaylaştırır, su ve hava akışlarını düzenler ve hem yer üstü hem de yer altı biyoçeşitliliği teşvik eder. Ancak organik madde kaybı, sıkışma, erozyon, tuzluluk ve biyolojik çeşitlilikte azalma gibi göstergelerle ortaya çıkan toprak bozulması, küresel gıda üretimi ve çevresel dirençlilik için ciddi ve giderek artan bir tehdit haline gelmiştir (Lal, 2009: 45–57; FAO, 2020). Bu bağlamda, baklagil bitkileri, toprak sağlığını iyileştirme ve yeniden yapılandırma konusunda çok işlevli rolleri nedeniyle büyük ilgi görmektedir. Baklagiller (*Fabaceae*) familyasının benzersiz bir botanik grubu olan bu türler, toprak rejenerasyonu, biyogeoekimya dengesi ve agroekosistem dayanıklılığına katkı sunan ekolojik özellikler sergilerler. Azot fiksasyonu yapan rizobiyumlarla kurdukları simbiyotik ilişkiler, zengin kök salgıları ve artık profilleri

sayesinde, toprak kalitesine dair birçok parametre üzerinde dönüştürücü etkiler yaratabilirler.

Şekil.1 Baklagillerde rhizobia ile simbiyotik azot fiksasyonu



Kaynak: Lindstörn ve Mousavi.,2020.

Biyolojik Azot Fiksasyonu ve Azot Döngüsü

Baklagillerin toprak sistemlerine sağladığı başlıca katkılardan biri, biyolojik azot fiksasyonu (BAF) mekanizmasıdır. Simbiyotik Rhizobium türleri tarafından gerçekleştirilen bu süreçte, baklagiller atmosferik azotu (N₂) bitkiler tarafından kullanılabilir form olan amonyağa (NH₃) dönüştürür. Bu sayede sentetik gübrelere gerek kalmaksızın toprak azot havuzu zenginleşir; besin döngüsü kapalı hale gelir ve çevresel azot kayıpları azaltılır (Peoples ve ark, 2009: 1–17; Herridge ve ark, 2008: 1–18).

Ekim nöbeti ve karışık ekim sistemlerinde, baklagiller tarafından sabitlenen azot; kök dönüşümü, yaşlanmış bitki dokularının ayrışması veya rizodepozisyon yoluyla ardıl ya da eşlik eden bitkilere geçer. Bu, yalnızca azot kullanım verimliliğini

Şekil.2 Biyolojik Azot Fiksasyonu ve Azot Döngüsü



--199--

Köklerden salgılanan maddelerin çeşitliliği ve kalitesi, rizosferik mikrobiyal toplulukların yapısını şekillendirmede temel rol oynar; mikrobiyal biyokütle, enzimatik aktivite ve işlevsel çeşitlilik artar (Heijden ve ark, 2008: 296–310). Toprak organik maddesindeki artış ayrıca kation değişim kapasitesi (CEC), toprak tamponlama kapasitesi ve su tutma potansiyeli gibi özellikleri iyileştirir; bu faktörler bitki verimliliği ve kuraklık direnci açısından kritik öneme sahiptir.

Toprak Fiziksel Yapısı ve Su Dinamikleri

Baklagillerin yaygın kök sistemleri ve rizodepozitleri, toprağın fiziksel özelliklerini doğrudan etkiler. İnce ve lifli kök ağına sahip birçok baklagil türü, toprak agregatlaşmasını artırır; bu da makro- ve mikroporoziteyi geliştirir. Bu yapısal iyileşmeler, suyun infiltrasyonunu, tutulumunu ve havalanmasını artırır; aynı zamanda toprak yüzeyinde kabuklanma ve erozyon riskini azaltır (Six ve ark., 2000: 7–31).

Özellikle bozulmuş ya da sıkışmış topraklarda, baklagil eklenmesi ile agregat stabilitesi artmakta, hacim yoğunluğu düşmekte ve yapısal bütünlük geri kazanılmaktadır; bu da ardıl bitkiler için daha etkin kök gelişimi sağlar.

Toprak Biyolojik Süreçlerinin ve Biyoçeşitliliğin Uyarılması

Baklagiller, toprak biyotasını destekleyen ve metabolik olarak aktif hale getiren özellikleriyle agroekosistemlerde kilit türler (*keystone species*) olarak işlev görür. Kök salgılarındaki amino asitler, organik asitler, fenolik bileşikler ve şekerler, faydalı mikroorganizmaların seçici olarak rizosfere çekilmesini sağlar. Bunlar arasında mikorizal mantarlar ve bitki gelişimini destekleyen rizobakteriler (PGPR) de yer alır (Dakora ve Phillips, 2002: 35–47).

Bu simbiyotik ve ilişkiselliğe dayalı mikroorganizmalar; besin mineralizasyonu, hastalık baskılanması ve stres toleransı gibi

işlevlerde doğrudan rol oynayarak, toprak işlevselliğini ve bitki-toprak geri besleme döngülerini destekler. Bu anlamda baklagiller, yoğun girdi kullanan monokültür sistemlerinde sıklıkla bozulan mikrobiyal ağları yeniden etkinleştiren ekolojik mühendisler olarak değerlendirilebilir.

Baklagiller, besin elementlerinin kullanılabilirliğini artırma, organik madde birikimini destekleme, fiziksel toprak yapısını iyileştirme ve biyolojik çeşitliliği canlandırma yoluyla toprak sağlığına çok yönlü katkılar sunar. Bu faydalar yalnızca tekil etkilere indirgenemez; aksine, daha geniş agroekosistem dinamiklerine derinlemesine entegredir. Bu özellikleriyle baklagiller hem ekolojik yoğunlaştırma hem de uzun vadeli toprak yönetimi açısından biyolojik birer araç olarak öne çıkar.

Baklagillerin bu eşsiz kapasiteleri göz önünde bulundurulduğunda, çeşitlendirilmiş tarım sistemlerine entegre edilmeleri, yalnızca agronomik faydaları açısından değil; aynı zamanda toprak sağlığını yeniden inşa etme ve sürdürme konusundaki temel rolleri nedeniyle de önceliklendirilmelidir.

2. Ekosistem Hizmetleri ve Tarımsal Sürdürülebilirlik

Ekosistem hizmetlerinin tarımsal karar alma süreçlerine entegrasyonu, uzun vadeli verimlilik, çevresel bütünlük ve sosyo-ekonomik dirençlilik için kritik bir çerçeve olarak öne çıkmıştır. Ekosistem hizmetleri, ekosistemlerin insan refahına doğrudan veya dolaylı katkıları olarak tanımlanır ve tarımsal bağlamda bu hizmetler; üretimsel (örn. gıda, lif), düzenleyici (örn. besin döngüsü, zararlı kontrolü), destekleyici (örn. toprak oluşumu, biyoçeşitlilik) ve kültürel (örn. manzara değeri, kültürel miras) hizmetleri kapsar (MEA, 2005).

Çok işlevli ürünler olan baklagiller, yalnızca besin ya da yem kaynağı olarak ekonomik değerlerinin ötesine geçen geniş yelpazede

ekosistem hizmetleri sağlar. Ekolojik özellikleri sayesinde doğal döngüleri destekleyerek, girdi bağımlılığını azaltarak ve kuraklık, besin eksikliği ya da zararlı salgınları gibi stres koşulları altında sistem dayanıklılığını artırarak agroekosistem sürdürülebilirliğini güçlendirirler.

Destekleyici ve Düzenleyici Hizmetler

Baklagiller, özellikle biyolojik azot fiksasyonu (BAF) yoluyla, besin döngüsünün sürdürülmesi ve toprak verimliliğinin sağlanmasında temel bir rol üstlenir. Bu süreç, sentetik azot gübrelerine sürdürülebilir bir alternatif sunar; reaktif azot kirliliğinin çevresel yükünü azaltır ve düşük girdili sistemlerde azot mevcudiyetini stabilize ederek hem verimi hem de çevresel sağlığı destekler (Graham ve Vance, 2003: 872–877).

Ayrıca baklagillerin ekim nöbeti veya çoklu ürün sistemlerine dahil edilmesi, zararlı ve hastalık döngülerini kesintiye uğratabilir; doğal düşman popülasyonlarını artırarak biyolojik zararlı baskılanmasına katkı sağlar ve bu sayede pestisit kullanımına alternatif oluşturur ya da kullanımını azaltır (Finckh ve Wolfe, 2006: 269–307).

Çiçeklenen baklagil türlerinin dahil edildiği sistemlerde, polinatör çeşitliliği ve aktivitesi desteklenir; bu da tarla ölçeğinde biyoçeşitliliği artırır ve birçok kültür bitkisi ile yabani bitkinin üreme başarısını güvence altına alır (Storkey ve ark., 2015: 401–404.).

İşlevsel Biyoçeşitliliğin Artırılması

İşlevsel biyoçeşitlilik, agroekosistemler içerisinde temel ekolojik işlevleri yerine getiren organizmaların varlığına işaret eder. Baklagillerin mikrobiyal topluluklar ve toprak faunası ile olan etkileşimleri, toprak altı biyoçeşitliliği artırır ve bu, ekosistem çok işlevliliği ile yakından ilişkilidir (Lemanceau ve ark., 2015: 464–475).

Farklı baklagil temelli sistemler, nitrifikasyon yapanlar, azot bağlayanlar, fosfat çözücüler ve mikorizal mantarlar gibi faydalı mikrobiyal grupların oluşumunu teşvik eder; bu gruplar bitki beslenmesini ve stres toleransını destekler. Aynı zamanda yararlı böcekleri cezbederek yer üstü biyoçeşitliliği de destekler, böylece daha kararlı bir trofik yapı oluşmasına katkıda bulunur. Bu çok işlevlilik, baklagillerin ekolojik olarak yoğun ve dirençli tarım sistemlerinin tasarımındaki kilit rolünü vurgular.

Dış Girdi Bağımlılığının ve Emisyonların Azaltılması

Baklagillerin sürdürülebilirliğe katkılarından biri, özellikle sentetik azot gübrelerine olan bağımlılığı azaltmalarıdır. Bu tür gübreler hem üretimi enerji açısından yoğundur hem de başta dinitrojen oksit (N_2O) olmak üzere önemli sera gazı kaynaklarındandır. Baklagillerin atmosferik azotu biyolojik olarak sabitlemesi ve birlikte ekildikleri bitkilerin besin kullanım verimliliğini artırmaları hem ekonomik hem de çevresel maliyetleri düşürür (Jensen ve ark., 2012: 203–216). Ayrıca baklagil temelli sistemler, toprakta karbon sekestrasyonunu artırarak iklim değişikliğinin etkilerini hafifletir. Özellikle örtü bitkisi ya da koruyucu tarım kapsamında kullanılan baklagil biyokütlesi, toprak organik karbon depolarını artırır ve uzun vadeli iklim direnci sağlar (Amosse ve ark., 2013: 1–10).

Agroekolojik Yoğunlaştırma ve Dayanıklılık

Baklagillerin tarımsal sistemlere entegrasyonu, dış girdilere olan bağımlılığı azaltarak ekosistem işlevlerini yeniden yapılandırmayı hedefleyen agroekolojik yoğunlaştırma ilkeleriyle büyük ölçüde örtüşmektedir. Bu bitkiler, sistem içerisinde işlevsel yedeklilik ve yapısal istikrar sağlayarak, ekolojik ve ekonomik şoklara karşı dayanıklılığın artırılmasında temel bir rol üstlenmektedir. Özellikle iklim değişkenliğinin etkilerinin arttığı günümüzde, bu roller daha da kritik hale gelmiştir. Nitekim

baklagillerle çeşitlendirilmiş üretim sistemlerinin; ani hava değişimleri, zararlı popülasyon patlamaları ve piyasa dalgalanmaları gibi stres faktörlerine karşı daha dirençli ve toparlanabilir yapılar sergilediği gösterilmiştir (Altieri ve ark., 2015: 869–890).

Baklagiller, tarım sistemleri içinde ekolojik varlıklar olarak işlev görürler; üretkenliği destekleyen, dayanıklılığı artıran ve çevresel etkileri azaltan bir dizi ekosistem hizmeti sunarlar. Bu çok yönlü katkılar, baklagillerin entegrasyonunun sadece bir ürün yönetimi tercihi değil, aynı zamanda sürdürülebilirliğe yönelik sistem dönüşümü için stratejik bir müdahale olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bakışla değerlendirildiğinde, baklagillerin teşviki yalnızca agronomik olarak mantıklı değil, aynı zamanda ekolojik açıdan da zorunludur ve geleceğin dayanıklı gıda sistemlerinin tasarımında temel bir bileşen olmalıdır.

3. Uygulama Stratejileri ve Kullanım Alanları

Sürdürülebilir tarımda ekolojik ve agronomik müttefikler olarak baklagillere yönelik artan ilgiye rağmen, bu bitkilerin tam potansiyeli dünya genelinde birçok üretim sisteminde hâlâ yeterince kullanılmamaktadır. Baklagillerin çok işlevli faydalarının etkinleştirilebilmesi, ekim sistemlerinin tasarımında, yönetim uygulamalarında ve politika çerçevelerinde bilinçli bir dönüşümü gerektirir. Bu bölüm, baklagillerin tarım sistemlerine entegrasyonu için stratejik yolları ortaya koymakta ve yerel ve küresel düzeyde gerçek uygulama örnekleriyle pratik değerlerini vurgulamaktadır.

Ekim Nöbeti ve Çeşitlendirme Stratejileri

Baklagiller, uzun süredir ekim nöbeti planlamalarında yer almakta; toprak verimliliğini artırma ve zararlı-hastalık döngülerini kırma kapasiteleriyle öne çıkmaktadır. Baklagiller, tahıl veya yağlı tohumlarla birlikte ürün rotasyonuna dahil edildiklerinde, biyolojik azot fiksasyonu yoluyla toprak azot düzeylerini artırarak ardıl

bitkiler için azot erişilebilirliğini iyileştirir, sentetik gübre gereksinimini azaltır ve tarımsal üretim sistemlerinin verimliliği ile sürdürülebilirliğini artırır. (Giller ve Cadisch, 1995:255–277). Örneğin, buğday gibi tahıl temelli rotasyonlara nohut gibi bir baklagil fazının eklenmesi, avertıl tahıl ürünlerinde %10–30 oranında verim artışına neden olabilir. Aynı zamanda toprak yapısını iyileştirir ve yabancı ot baskısını azaltır (Kirkegaard ve ark., 2008: 185–195). Bu nöbet etkisi yalnızca agronomik değil, aynı zamanda ekolojik olup sistemin uzun vadeli sürdürülebilirliğini de teşvik eder.

Karışık Ekim ve Agroormancılık Sistemleri

Baklagillerin mısır, darı veya sorgum gibi diğer ürünlerle birlikte karışık ekimi, ışık, su ve besin gibi kaynakların tamamlayıcı kullanımını sağlar. Baklagillerin kök sistemleri tahıllardan farklı toprak katmanlarına ulaşarak besin elementlerinin daha etkin alınmasını ve türler arası rekabetin azaltılmasını mümkün kılar. Aynı zamanda karışık ekim, arazi kullanım verimliliğini artırır ve erozyon riskini azaltır (Lithourgidis ve ark., 2011: 396–410.). Agroormancılık sistemlerinde ise özellikle *Gliricidia sepium* ve *Leucaena leucocephala* gibi ağaç formundaki baklagiller, azot sağlayıcısı, biyokütle kaynağı ve gölge üreticisi olarak çok işlevli roller üstlenir. Bu türler çok katmanlı sistemlere entegre edildiğinde ekolojik dirençliliği artırır ve çiftçilerin gelir kaynaklarını çeşitlendirir (Nair, 2011: 784–790).

4.Örtü Bitkisi ve Yeşil Gübreleme

Fiğ (*Vicia spp.*), yonca (*Trifolium spp.*) ve kadife fasulyesi (*Crotalaria juncea*) gibi baklagil türleri, örtü bitkisi ve yeşil gübre olarak yaygın şekilde kullanılır ve çok sayıda fayda sağlamaktadır:

- Toprak örtüsü sağlayarak erozyonu önler,
- Ayırışan biyokütle yoluyla azot zenginliği sağlar,

- Hızlı toprak kaplayıcı özelliği sayesinde yabancı otları baskılar,
- Toprak yapısını ve mikrobiyal aktiviteyi iyileştirir.

Araştırmalar, örtü bitkilerinin ekim nöbetlerine entegrasyonunun, toprak organik maddesini artırdığını, azot yıkanmasını azalttığını ve verimleri zamanla dengelediğini göstermektedir (Snapp ve ark., 2005: 322–332). Bu türler aynı zamanda su tutma kapasitesini artırarak ve toprak karbonunu sekestre ederek iklim dostu tarım uygulamalarına da katkıda bulunur.

Organik ve Düşük Girdili Sistemler

Organik tarım sistemlerinde, sentetik girdilerin yasaklandığı ya da sınırlandığı koşullarda, baklagiller vazgeçilmez birer azot kaynağıdır. Biyolojik olarak kullanılabilir azotun başlıca kaynağı olarak, verimlilik yönetiminin temelini oluştururlar. Ilıman ve tropikal bölgelerde yapılan çalışmalar, baklagillerin konvansiyonel sistemlerde genellikle sentetik gübreyle sağlanan azotun %60–80’ini karşılayabildiğini göstermektedir (Mäder ve ark., 2002: 1694–1697).

Ayrıca, baklagillerin düşük girdili veya geçimlik üretim sistemlerine entegrasyonu, protein teminini artırarak gıda güvencesine katkı sağlar ve pazar girdilerine bağımlılığı azaltır. Bu, özellikle tarımsal girdilere veya teknik desteklere erişimin sınırlı olduğu bölgelerde büyük önem taşır.

Küresel ve Ulusal Uygulama Örnekleri

- Afrika’nın Sahra Altı bölgesinde, N2Africa gibi programlar, geliştirilen yeni çeşitler, rizobiyal inokulantlar ve çiftçi eğitimleriyle, baklagil temelli teknolojilerin ölçeklenebilirliğini ortaya koymuş; toprak verimliliğini ve çiftçi gelirlerini artırmıştır (Vanlauwe ve ark., 2014).

- Güney Amerika’da, Crotalaria ve Mucuna gibi baklagil örtü bitkileri, koruyucu tarım sistemlerinde yaygın olarak kullanılmakta; toprak organik maddesini artırmakta ve nadas sürelerini azaltmaktadır.

Türkiye ve Akdeniz Bölgesi:

- Türkiye’de, nohut, mercimek ve fiğ gibi türler, özellikle kuru tarım rotasyonlarında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Arazi denemeleri, baklagil eklemenin, ardıl buğday verimini artırdığını, toprak azot içeriğini iyileştirdiğini ve eğimli arazilerde erozyonu azalttığını göstermiştir (Gökkuş ve ark., 2011: 173–180).
- Ulusal araştırma kurumları ayrıca rizobiyum temelli biyogübre formülasyonları geliştirmiş, bu da özellikle küçük ölçekli çiftçiler arasında baklagil kullanımının yaygınlaşmasını teşvik etmiştir.

Baklagillerin tarım sistemlerine entegrasyonu yalnızca bilimsel olarak kanıtlanmış değil, aynı zamanda agronomik olarak uygulanabilir bir stratejidir. Rotasyon, karışık ekim, örtü bitkisi kullanımı ve agroormancılık gibi yöntemlerle baklagillerin dahil edilmesi, toprak sağlığını, ekolojik bütünlüğü ve gıda sistemlerinin dirençliliğini artırmaya yönelik güçlü araçlar sunar. Küresel tarım benzeri görülmemiş zorluklarla karşı karşıya iken, baklagiller agronomik performans ile çevresel sorumluluğu birleştiren, uygulanabilir ve ölçeklenebilir çözümler sunmaktadır.

5. Karşılaşılan Zorluklar ve Yaygınlaştırma Gereksinimi

Baklagillerin toprak sağlığı, ekosistem işleyişi ve tarımsal sürdürülebilirlik üzerindeki faydalarına rağmen, birçok agroekolojik bölge ve üretim sisteminde yaygın olarak benimsenmeleri hâlâ sınırlıdır. Bu sınırlamaların aşılması yalnızca teknolojik çözümleri değil, aynı zamanda tarımsal araştırma, yayım ve politika

çerçevelerinin yapısal olarak yeniden tasarlanmasını da gerektirmektedir.

Birçok çiftçi, baklagilleri özellikle kuraklık gibi abiyotik stres koşullarında ya da marjinal alanlarda verimlerinin düşük ve değişken olması nedeniyle tahıllara göre agronomik açıdan yetersiz olarak görmektedir. Ayrıca sertifikalı tohum ve etkili rizobiyal inokulantların bulunabilirliği, doğru ekim zamanlaması, artık yönetimi, karışık ekim düzenleri gibi konularda bilgi eksikliği, özellikle küçük ölçekli üreticilerde yaygındır (Giller ve ark., 2013: 23–34). Yerel koşullara uyum sağlayabilen yüksek performanslı baklagil çeşitlerine erişimin yetersizliği, benimsenmeyi daha da sınırlandırmaktadır. Geçmişte ıslah programları çoğunlukla temel tahıllara odaklanmış, bu da baklagil genetik geliştirme çalışmalarını görece ihmal edilir hâle getirmiştir. Baklagiller, resmi piyasalarda çoğu zaman yetersiz değer görmektedir, bu da çiftçiler açısından ekonomik teşvikleri düşürmekte ve üretim sistemlerine entegrasyonlarını sınırlandırmaktadır. Pek çok bölgede, baklagil ürünleri için pazar altyapısı, işleme kapasitesi ve fiyat destek mekanizmaları, tahıllara kıyasla daha zayıf durumdadır. Birçok ülkede uygulanan tarım politikaları hâlen girdi-yoğun monokültürleri desteklemekte, sentetik gübreler ve ticari tarım girdilerine sübvansiyon sağlarken; biyolojik temelli alternatiflere, özellikle de baklagillere yeterli destek verilmemektedir. Bu durum, sürdürülemez uygulamaları besleyen yapısal teşvikler yaratmaktadır. Ayrıca mevcut Ar-Ge gündemleri, ziraat, ekoloji, sosyo-ekonomi ve politika gibi farklı disiplinleri bütünleştiren transdisipliner bir yaklaşımdan genellikle yoksundur; bu da baklagil temelli sistemlerin yaygınlaşmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesini zorlaştırır.

6.İklim Değişikliği ve Çevresel Stresler

Artan iklim değişkenliği, baklagil üretimi açısından ciddi bir zorluktur. Özellikle çiçeklenme ve kapsül oluşumu dönemlerindeki sıcaklık dalgalanmaları, kuraklıklar ve zararlı baskısı baklagilleri orantısız şekilde etkileyebilir. Bu durum, iklim dirençli baklagil genotipleri ve uyarlanabilir yönetim stratejileri üzerine odaklanmış araştırmaları gerekli kılmaktadır (Sita ve ark., 2017: 1658).

Öte yandan, iklim değişikliği aynı zamanda bir fırsat da sunmaktadır: Düşük girdi gereksinimleri ve toprak direncini artırıcı özellikleriyle baklagiller, iklim uyumu ve azaltım stratejilerinin merkezine yerleştirilebilir.

Politika ve Strateji Önerileri

Bu çok yönlü engellerin aşılabilmesi için, aşağıdaki gibi entegre, kanıta dayalı ve sistem düzeyinde politika ve kurumsal önerilere ihtiyaç vardır:

1. Araştırma ve Islah Programlarının Güçlendirilmesi

- Kuraklık, besin kullanımı verimliliği ve verim istikrarı açısından toleranslı baklagil çeşitleri için kamu ve özel sektör yatırımları artırılmalıdır.
- Katılımcı ıslah yaklaşımları desteklenerek, çiftçi ihtiyaçlarına ve yerel koşullara uygunluk sağlanmalıdır.

2. Girdi ve Pazar Sistemlerinin İyileştirilmesi

- Sertifikalı, yüksek kaliteli tohum ve inokulantların erişimi yaygınlaştırılmalıdır.
- İşleme, depolama ve pazarlama altyapısı geliştirilerek değer zincirleri güçlendirilmelidir.

3. Tarımsal Teşvik Yapılarının Yeniden Düzenlenmesi

- Baklagillerin yeşil gübre, ara ürün ve toprak sağlığı iyileştirici olarak kullanımı, doğrudan teşvik edilmeli ve sübvansiyonlar genişletilmelidir.
- Toprak organik karbonu artıran ve sera gazı emisyonlarını azaltan sistemler için karbon ve ekosistem hizmeti kredileri uygulanmalıdır.

4. Yayım ve Kapasite Geliştirme Programlarına Entegrasyon

- Özellikle kadınlar ve genç çiftçiler, baklagil entegrasyonu konusunda eğitilmeli ve desteklenmelidir.
- Yayım sistemleri, yerel koşullara uyarlanmış, kültürel olarak uygun bilgileri etkin şekilde ulaştırmalıdır.

5. Ulusal İklim ve Sürdürülebilirlik Politikalarına Uyum

- Baklagiller, Ulusal Katkı Beyanları (NDC) ve iklim anlaşmaları kapsamındaki toprak sağlığı girişimlerine entegre edilmelidir.
- Organik, koruyucu ve rejeneratif tarım çerçevelerinde kullanımları teşvik edilmelidir.

Baklagil temelli tarımı, niş bir uygulamadan sürdürülebilirliğin ana akım stratejisine dönüştürmek, bilim, politika ve uygulamayı birleştiren sistem temelli bir yaklaşım gerektirir. Baklagiller yalnızca tarımsal ürünler değil; iklim direnci, gıda güvenliği ve ekolojik yenilenme için stratejik varlıklardır.

Bu dönüşüm, araştırmacılar, uygulayıcılar, politika yapımcılar ve çiftçiler arasında ortak bir sürdürülebilir tarım vizyonu etrafında birleşen bir bağlılık ile mümkündür.

7. Sonuç ve Gelecek Perspektifi

21.yüzyılda sürdürülebilir tarım hedefi, doğal kaynakları tüketen üretim modellerinden, ekolojik bütünlüğü tarımsal

verimlilikle uyumlaştıran rejeneratif sistemlere doğru köklü bir paradigma değişimini zorunlu kılmaktadır. Bu dönüşümün merkezinde yer alan baklagiller, ölçeklenebilir, ekonomik ve biyolojik temelli çözümler sunan kilit türler olarak öne çıkmaktadır. Baklagiller; toprak bozulumu, besin dengesizlikleri, biyoçeşitlilik kaybı ve iklim istikrarsızlığı gibi temel sorunlara yönelik etkili stratejiler sunar.

Bu bölümde, baklagillerin toprak sağlığına olan katkıları dört temel boyutta ele alınmıştır:

1. Biyolojik Azot Fiksasyonu: Sentetik gübrelerle olan bağımlılığı azaltır ve azot döngüsünü kapatır.
2. Toprak Organik Maddesi ve Mikrobiyal Aktivite: Biyolojik işlevselliği ve karbon depolamayı artırır.
3. Toprağın Fiziksel Özellikleri: Agregat oluşumu, porozite ve su hareketini iyileştirir.
4. Ekosistem Hizmetleri: Biyoçeşitliliği destekler, zararlı ve hastalıkları düzenler, sistem dayanıklılığını artırır.

Bu katkılar yalnızca agronomik faydalar değil; aynı zamanda tarımsal sistemlerin yönünü, kimyasal girdilere değil, biyolojik süreçlere dayalı ekolojik yoğunlaştırmaya çevirmeyi ifade eder.

Tüm bu potansiyele karşın, baklagiller hâlâ birçok bölgede yetersiz düzeyde benimsenmektedir. Bunun ardında yatan nedenler arasında pazar yetersizlikleri, politik uyumsuzluklar ve yapısal engeller yer almaktadır. Bu sorunların üstesinden gelinmesi, aşağıdaki unsurları birleştiren entegre stratejiler gerektirir:

- İklim dirençli baklagil çeşitlerine yönelik araştırma ve ıslah yatırımlarının artırılması,
- Güçlü tohum ve inokulant dağıtım sistemlerinin kurulması,

- Ekosistem hizmetlerini teşvik eden politika araçlarının geliştirilmesi,
- Yayım hizmetlerinin güçlendirilmesi ve kapsayıcı kapasite geliştirme faaliyetlerinin desteklenmesi,
- Baklagillerin iklim değişikliği ve toprak sağlığı politikalarına ana akım bir unsur olarak entegre edilmesi.

Geleceğe dönük olarak, baklagiller yalnızca tamamlayıcı veya ikincil ürünler olarak değil; rejeneratif tarım sistemlerinin temel bileşenleri olarak değerlendirilmelidir. Baklagillerin diğer ürünlerle entegrasyonları yalnızca teknik ve ekolojik kazanımlar değil; aynı zamanda sosyo-ekonomik faydalar da sağlamaktadır. Ayrıca, iklim krizinin derinleştiği bu dönemde baklagiller hem uyum hem de azaltım süreçlerinde rol alabilecek, ulusal ve uluslararası sürdürülebilirlik çerçevelerinde stratejik varlıklar olarak konumlanmalıdır. Toprakları onarmak, gıda sistemlerini güvence altına almak ve ekosistemleri gelecek kuşaklara devretmek istiyorsak, tarımsal üretim sistemlerinin baklagiller gibi ürünlerin ekolojik işlevlerini merkeze alması gerekir. Bilimsel veriler nettir, uygulanabilir pratikler mevcuttur ve faydaları çok boyutludur. Eksik olan tek unsur, bu çözümleri politikalar, disiplinler ve araziler genelinde ölçeklendirme yönündeki kolektif iradedir. Bu bağlamda, baklagiller yalnızca toprak sağlığının destekçileri değil; aynı zamanda daha sürdürülebilir ve dirençli bir tarımsal geleceğin dönüştürücü aktörleridir.

Kaynaklar

Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Henao, A., & Lana, M. A. (2015). Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(3), 869–890. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2>

Amosse, C., Jeuffroy, M. H., Mary, B., & Dore, T. (2013). Contribution of legumes to soil nitrogen and carbon in conventional and organic farming systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 177, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.05.005>

Dakora, F. D., & Phillips, D. A. (2002). Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments. *Plant and Soil*, 245(1), 35–47. <https://doi.org/10.1023/A:1020809400075>

Drinkwater, L. E., Wagoner, P., & Sarrantonio, M. (1998). Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. *Nature*, 396, 262–265. <https://doi.org/10.1038/24376>

FAO. (2020). *State of knowledge of soil biodiversity*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (01/04/2025 tarihinde <https://www.fao.org/3/i6595e/i6595e.pdf> adresinden erişilmiştir).

Finckh, M. R., & Wolfe, M. S. (2006). Diversification strategies. In B. M. Cooke, D. Gareth Jones & B. Kaye (Eds.), *The epidemiology of plant diseases* (pp. 269–307). Dordrecht: Springer.

Giller, K. E., & Cadisch, G. (1995). Future benefits from biological nitrogen fixation: An ecological approach to agriculture. *Plant and Soil*, 174(1), 255–277. <https://doi.org/10.1007/BF00032251>

Giller, K. E., Witter, E., Corbeels, M., & Tiftonell, P. (2013). Conservation agriculture and smallholder farming in Africa: The

heretics' view. *Field Crops Research*, 114(1), 23–34.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.06.017>

Gökkuş, A., Tuna, C., & Korkmaz, A. (2011). The effects of vetch–wheat rotations on grain yield and soil fertility under rainfed conditions in Turkey. *Field Crops Research*, 123(2), 173–180.

Graham, P. H., & Vance, C. P. (2003). Legumes: Importance and constraints to greater use. *Plant Physiology*, 131(3), 872–877.
<https://doi.org/10.1104/pp.017004>

Herridge, D. F., Peoples, M. B., & Boddey, R. M. (2008). Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. *Plant and Soil*, 311(1–2), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9668-3>

Jensen, E. S., Peoples, M. B., & Hauggaard-Nielsen, H. (2012). Faba bean in cropping systems. *Field Crops Research*, 115(3), 203–216. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.10.008>

Kirkegaard, J., Christen, O., Krupinsky, J., & Layzell, D. (2008). Break crop benefits in temperate wheat production. *Field Crops Research*, 107(3), 185–195.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.02.010>

Lal, R. (2009). Soil degradation as a reason for inadequate human nutrition. *Food Security*, 1, 45–57.
<https://doi.org/10.1007/s12571-008-0009-5>

Lemanceau, P., Maron, P. A., Mazurier, S., Mougel, C., Pivato, B., Plassart, P., & Ranjard, L. (2015). Soil and rhizosphere microbial communities: Microbial diversity and functions. *Comptes Rendus Biologies*, 338(7), 464–475.
<https://doi.org/10.1016/j.crvi.2015.03.005>

Lithourgidis, A. S., Dordas, C. A., Damalas, C. A., & Vlachostergios, D. N. (2011). Annual intercrops: An alternative

pathway for sustainable agriculture. *Australian Journal of Crop Science*, 5(4), 396–410.

Lindström, K., & Mousavi, S. A. (2020). Effectiveness of nitrogen fixation in rhizobia. *Microbial biotechnology*, 13(5), 1314–1335. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13517>

Mäder, P., Fließbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., & Niggli, U. (2002). Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science*, 296(5573), 1694–1697. <https://doi.org/10.1126/science.1071148>

Nair, P. K. R. (2011). Agroforestry systems and environmental quality: Introduction. *Journal of Environmental Quality*, 40(3), 784–790.

Peoples, M. B., Brockwell, J., Herridge, D. F., et al. (2009). The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. *Symbiosis*, 48, 1–17. <https://doi.org/10.1007/BF03179980>

Sita, K., Sehgal, A., HanumanthaRao, B., Nair, R. M., Vara Prasad, P. V., Kumar, S., & Nayyar, H. (2017). Food legumes and rising temperatures: Effects, adaptive functional mechanisms specific to reproductive success, and strategies to improve heat tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1658. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01658>

Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., & Denef, K. (2004). A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and Tillage Research*, 79(1), 7–31. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.03.008>

Snapp, S. S., Swinton, S. M., Labarta, R., Mutch, D., Black, J. R., Leep, R., ... & O’Neil, K. (2005). Evaluating cover crops for benefits, costs and performance within cropping system niches.

Agronomy Journal, 97(1), 322–332.
<https://doi.org/10.2134/agronj2005.0322>

Storkey, J., Macdonald, A. J., Poulton, P. R., Scott, T., Köhler, I. H., Schnyder, H., ... & Macdonald, L. J. (2015). Grassland biodiversity bounces back from long-term nitrogen addition. *Nature*, 528(7582), 401–404. <https://doi.org/10.1038/nature16444>

Heijden, V. D., M. G. A., Bardgett, R. D., & van Straalen, N. M. (2008). The unseen majority: Soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 11(3), 296–310. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01139.x>

Vanlauwe, B., Van Asten, P., & Blomme, G. (2014). *Challenges and opportunities for agricultural intensification of the humid highland systems of Sub-Saharan Africa*. Cham: Springer.

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SOYA (*Glycine max* L.) BİTKİSİNE YANSIMALARI

BORA BAYHAN²²
MEFHAR GÜLTEKİN TEMİZ²³

Giriş

İklim değışikliği, günümüz dünyasının küresel ölçekte karşı karşıya olduğu en önemli çevresel ve ekonomik sorunlarından biridir. Temelde sıcaklık, yağış, nem, rüzgâr gibi meteorolojik unsurların uzun dönem ortalamalarında meydana gelen belirgin ve kalıcı farklılıkları ifade etmektedir. Son birkaç on yıl içinde yapılan kapsamlı araştırmalar ve gözlemler, iklim değışikliğinin temel nedeninin atmosfer bileşiminde meydana gelen değışimler olduğunu ve bu değışimlerin de büyük oranda artmış insan faaliyetlerinden kaynaklandığını ortaya koymaktadır (Malhi ve ark., 2021). Sanayi Devriminden itibaren özellikle sera gazlarının atmosferik konsantrasyonlarında kayda değer artışlar gerçekleşmiştir. 1750 yılı

²² Doktora Öğrencisi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, E-mail: bayhanbora6@gmail.com, Orcid: 0000-0002-6555-5272

²³ Profesör, Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, E-mail: mtemiz@dicle.edu.tr, Orcid: 0000-0001-6479-6050

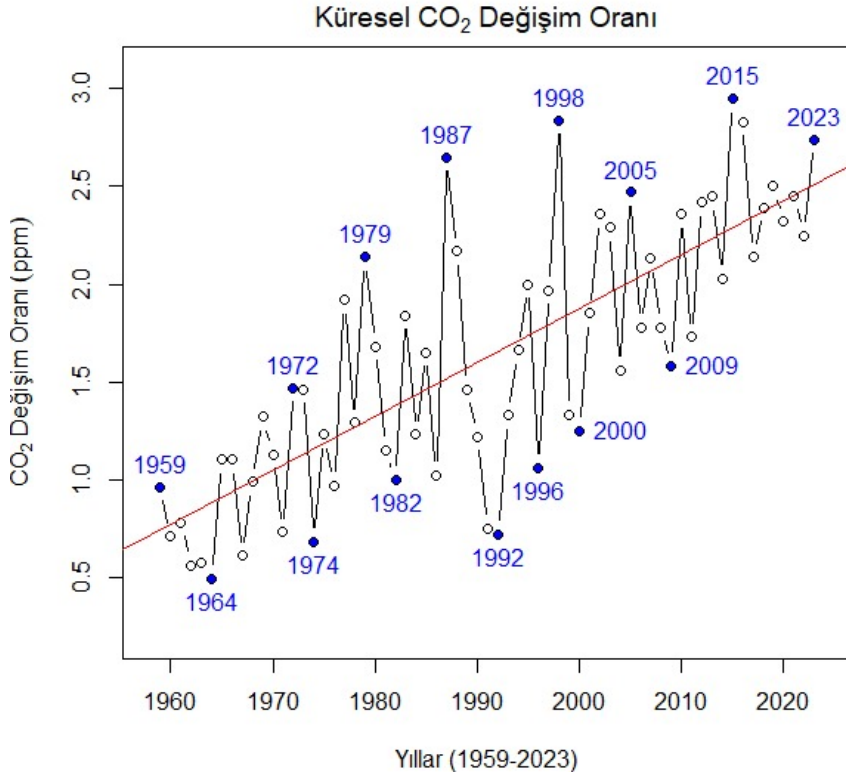
baz alındığında, yakın tarihe kadar atmosferdeki metan (CH_4) oranı yaklaşık % 150, karbondioksit (CO_2) oranı % 40, azot oksit (N_2O) oranı ise % 20 artmıştır (IPPC, 2014). Bu gazlar arasında en büyük paya sahip olan karbondioksit emisyonlarının, özellikle enerji üretimi, sanayi faaliyetleri, ulaşım ve fosil yakıt kullanımındaki artışla doğrudan ilişkili olduğu belirtilmektedir. Bu bağlamda, 1990 yılında 22,15 milyar metrik ton olan CO_2 emisyonları, 2014 yılına gelindiğinde 36,14 milyar metrik tona yükselerek ciddi bir artış göstermiştir (Malhi ve ark., 2021). Bu da beraberinde küresel ısınmaya sebep olan etmenlerin artmasına neden olmuştur.

Küresel sıcaklık artışı, 1975 yılından itibaren her on yıllık süreçte yaklaşık 0,15–0,20 °C oranında gerçekleşmiştir. Bilimsel modellemelere göre, mevcut eğilimin devam etmesi durumunda, 2050 yılına kadar küresel sıcaklıkta 1,5 °C, 2100 yılına kadar ise yaklaşık 5,8 °C artış olması beklenmektedir. Bu artışın başlıca sebepleri arasında hızla artan ormansızlaşma, sera gazı emisyonlarındaki artış ve buna bağlı olarak toprak, su kaynakları ve hava kirliliğindeki yükseliş bulunmaktadır. Bu faktörlerin birleşimiyle meydana gelen iklim değişikliğinin, ekosistemlerin doğal dengesinde ciddi bozulmalara yol açması, tarımsal üretimde verim kaybına neden olması, su kaynaklarını azaltması ve çeşitli sağlık sorunlarını artırması beklenmektedir (Arora, 2019).

Sera gazları içinde en büyük paya sahip olan karbondioksitin yaklaşık %65'i fosil yakıtların kullanımından, endüstriyel faaliyetlerden ve ulaşımından kaynaklanmaktadır. Ormansızlaşma ve diğer arazi kullanım değişiklikleri ise karbondioksit emisyonlarının yaklaşık %11'ini oluşturmaktadır. Geriye kalan kısmı ise büyük ölçüde tarımsal faaliyetler ve hayvancılık kaynaklı metan (% 16) ve azot oksit (% 6) ile özellikle endüstriyel ve kimyasal süreçlerden kaynaklanan florlu gazlar (% 2) oluşturmaktadır. Özellikle metan ve azot oksidin tarım sektöründen, florlu gazların ise endüstriyel süreçlerden kaynaklandığı bilinmektedir (Malhi ve ark., 2021).

Küresel ısınmanın temel sebepleri arasında yer alan sera gazları büyük oranda enerji üretimi, ulaşım ve sanayi faaliyetleri sırasında fosil yakıtların yakılması sonucu atmosfere salınan karbondioksit gazından kaynaklanmaktadır. Yapılan bilimsel araştırmalar, sera gazı emisyonlarının bugün tamamen durdurulması durumunda dahi, atmosferde birikmiş olan mevcut gazların iklim üzerindeki etkilerinin uzun vadeli olacağını göstermektedir. Özellikle karbondioksit, atmosferde uzun süre kalabilen bir sera gazı olup atmosferik ömrü yüzlerce yıla kadar uzayabilmektedir. Bu nedenle mevcut sera gazı konsantrasyonlarının sebep olduğu sıcaklık artışının, küresel iklim sistemleri üzerinde kalıcı ve uzun süreli etkilere neden olacağı öngörülmektedir (Kadioğlu, 2008). Oranlar baz alındığında, atmosferik karbondioksit konsantrasyonu 1959 yılında ölçülen 315,98 ppm seviyesinden 2019 yılına gelindiğinde 411,43 ppm seviyesine yükseldiği belirtilmiştir (Malhi ve ark., 2021). Uzun yıllar boyunca değişim oranları göz önünde bulundurulduğunda eğilimin artış yönünde olduğu görülmektedir (Şekil 1).

Şekil 1. 1959-2023 Yılları Arasında Küresel CO₂ Yıllık Artış Oranı



Kaynak: ABD NOAA Global Monitoring Laboratory verileriyle oluşturulmuştur. (Lan ve ark., 2025)

Küresel sera gazı emisyonlarının kaynağı incelendiğinde en yüksek payın enerji kullanımına ait olduğu görülmektedir. Yapılan araştırmalar, Dünya genelindeki insan kaynaklı sera gazı salınımlarının yaklaşık % 73'ünün enerji tüketiminden kaynaklandığını ortaya koymaktadır. Enerji sektörü dışında emisyon üreten önemli alanlar arasında ise tarım (% 12), ormancılık ile arazi kullanımı (örneğin arazi kullanım değişikliği ve ormansızlaşma) (% 6,5), kimyasallar ve çimento gibi çeşitli endüstriyel süreçler (% 5,6) ile depolama sahaları ve atık suların dahil olduğu atık yönetimi faaliyetleri (% 3,2) yer almaktadır. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarım Reformu Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan İklim Değişikliği ve Tarım Değerlendirme Raporu (2021) incelendiğinde,

2019 yılında ülkemizin sera gazı emisyonu 506,1 Mt CO₂ eşd. olarak bildirilmiştir. Toplam sera gazı emisyonlarında 2019 yılında CO₂ eşd. olarak en büyük payı % 72 ile enerji kaynaklı emisyonlar alırken bunu sırasıyla; % 13,4 ile tarım, % 11,2 ile endüstriyel işlemler ile ürün kullanımı ve % 3,4 ile atık sektörü takip etmiştir.

Karbondioksitin yanı sıra tarım sektöründe gerçekleştirilen faaliyetlerden ve atık yönetimi süreçlerinden kaynaklanan metan (CH₄), azot oksit (N₂O) ve çeşitli endüstriyel süreçlerden salınan kloroflorokarbonlar (CFC'ler) ve diğer florlu gazlar da sera etkisini arttırıp sıcaklık artışına neden olmaktadır (Arora, 2019). Küresel ısınmanın neden olduğu sıcaklıktaki bu artış, dünya genelinde kuraklıklar, seller, düzensiz yağış rejimleri, sıcak hava dalgaları ve diğer aşırı hava olaylarının artmasına yol açmaktadır. 2023 Weather, Climate and Catastrophe Insight tarafından yayınlanan yıllık rapora göre, 2022 yılında küresel ısınmanın sebep olduğu dünya genelindeki doğal afetlerde hayatını kaybedenlerin sayısının yaklaşık 31.300 kişi olduğu ve meydana gelen can kayıplarının yaklaşık üçte ikisinin, haziran ve temmuz aylarında Avrupa'da etkili olan sıcak hava dalgalarından kaynaklandığı bildirilmiştir. Bunun yanı sıra, Hindistan, Pakistan, Nijerya, Güney Afrika, Çin ve Brezilya gibi ülkelerde gerçekleşen sellerin de önemli sayıda can kaybına yol açtığı görülmektedir. Can kaybının yanında, 2022 yılında dünya genelinde yaşanan doğal afetlerin neden olduğu ekonomik kayıpların toplamda yaklaşık 313 milyar ABD dolarına ulaştığı ve bu rakamların 21. yüzyılın ortalamasının % 4 üzerinde olduğu bildirilmiştir (Anonim, 2023).

İklim Değişikliğinin Tarımsal Üretime Etkisi

İklim değişikliğinin birçok alandaki etkisi göz önündedir. Tarım sektörü, ürün verimliliği ve deseninden azalan su kaynaklarına, artan sıcaklıklara ve gıda güvenliğiyle ilgili risklere kadar pek çok açıdan iklim değişikliğinden en fazla etkilenen

sektörlerden birisidir. 21. yüzyılın stratejik sektörleri arasında yer alan tarım ve gıda sektörü, 2050’de dünya nüfusunun 10 milyara ulaşacağı öngörüsü karşısında, beslenme gereksinimlerini yeterince karşılayamama riskiyle karşı karşıyadır. Araştırmalar, 2050 yılında dünya nüfusunun artan taleplerini karşılamak için, mevcut tarım ve gıda üretiminin en az %50 oranında artırılması gerektiğini ortaya koymaktadır (İklim Değişikliği ve Tarım Değerlendirme Raporu, 2021). İklim değişikliği ile tarım arasındaki sıkı bağ göz önüne alındığında, hızlı ve beklenmeyen iklimsel değişimlerin küresel ölçekte gıda güvenliğini tehdit ettiği açıkça görülebilmektedir. Bu durum, iklim değişikliğinin zaten olumsuz etkilediği tarımsal alanlar üzerindeki baskıyı artırarak gıda talebinin karşılanmasını daha da zorlaştıracaktır. İklim koşullarındaki ani ve hızlı değişiklikler, gıda güvenliğini küresel ölçekte tehdit etmektedir. Dünya Gıda Programı’nın (WFP) 2018 raporu verilerine göre hektar başına düşen mahsul verimindeki artış hızının, nüfus artış hızına kıyasla önemli ölçüde daha yavaş olduğu gözlemlenmektedir (Arora, 2019).

Besin zincirinin temel bileşeni konumunda olan bitkiler ise, söz konusu etkilerden en çok etkilenen canlı grupları arasında yer almaktadır. Özellikle dengesiz ve öngörülmesi güç hava koşulları, aşırı sıcaklık, kuraklık ve olumsuz düzeydeki yağış rejimleri, bitki türlerinde kayda değer bir azalma riskini beraberinde getirmektedir (Tablo 1). Bu durum, bitkilerin duyarlılığını giderek artırırken, tüm canlı popülasyonları için de ciddi bir tehdit unsuru oluşturmaktadır (Aydın ve Sarptaş, 2018).

Tablo 1. Farklı Bitki Gruplarının Tahmin Edilen İklim Değişikliği Koşullarında Verim Değişimi ve Etkili Faktörler

Bitki Grubu	Tahmin Edilen Verim Değişimi	Verim Değişimine Sebep olan Etken
Mısır Soya Pamuk	-%30,-%46 (2100 yılına kadar)	En yavaş şekilde ilerleyen ısınma durumunda
Mısır Soya Pamuk	-%63,-%82 (2100 yılına kadar)	Hızlı şekilde ilerleyen ısınma durumunda
Ayçiçeği Buğday Pamuk	-%2,-%9 (2050 yılına kadar)	Orta derecede ve düşük derecede artan sera gazı emisyonu durumunda
Buğday	-%6	2100 yılına kadar Dünya sıcaklık ortalamasının her bir santigrat derece değişimi durumunda
Çeltik	-%3,5	
Mısır	-%7,4	
Soya	-%3,1	
Yağışa dayalı yetiştirilen Mısır	-%23,-%34 (2055 yılına kadar)	Artan sıcaklık ve değişen yağış rejimi

Buğday	-%2,1	Artan yıllık sıcaklıklar
Arpa	-%9,1	
Mısır	-%24,5	
Mısır	-%5,8	
Şeker Pancarı	-%3,9	
Sorgum (Kurak koşullara dayanıklı)	-%0,7	
Kassava	-%1,7	
Buğday	-%9	Yetiştirme sezonundaki her bir santigrat derece değişim durumunda
Çeltik	-%3,7	
Buğday	-%10,2	
Mısır	-%10,-%22	Hava olaylarının değişim sıklığı ve artan sıcaklıklar
Buğday	-%5,-%13	
Sorgum	-%2,2	Artan yıllık sıcaklıklar
Soya	-%0,5	

Kaynak: (Malhi ve ark.,2021)

Birçok bitki türü; iklim değişikliğine bağlı oluşan yüksek sıcaklıklar, azalan yağış ve nem miktarı ya da sel gibi doğrudan etkiler karşısında yüksek düzeyde duyarlılık gösterir. İklim değişikliğinin bitki gelişimi üzerindeki en belirgin olumsuzluklarından biri, yüksek sıcaklık koşullarının zararlı etkileriyle ilgili olduğu düşünülmektedir. Bu olumsuz etkiler, çoğunlukla kuraklık ve tuzluluk stresıyla birlikte ele alınmaktadır. Artan sıcaklıkların, bitkinin gelişme dönemi sürelerinde farklılaşmaya yol açarak özellikle olgunlaşma takvimini değiştirdiği ifade edilmektedir (Sayılğan, 2016). Sıcaklığın meristem veya organ büyümesini hızlandırması, bitkinin büyüme süreci için ayrılan zamanın kısalmasına neden olmakta; bu da daha küçük organ boyutu, daha az biokütle oluşumu ve genellikle generatif döneme daha erken geçiş gibi sonuçlar doğurmaktadır (Yavaş ve İnay, 2018). Yüksek sıcaklığın, bitki gelişiminin tüm aşamalarında etkili olduğu bilinmekle birlikte, özellikle tozlanma ve tane dolumu gibi hassas dönemlerdeki rolünün daha fazla olduğu vurgulanmaktadır (Bayraç ve Doğan, 2016). Yapılan araştırmalar sıcaklık stresinin; enzim aktivitesi, zar akışkanlığı, protein kompleksi oluşumu, klorofil sentezi, fotosentez ve solunum gibi temel bitki hücresi fonksiyonlarında belirgin değişikliklere yol açabileceği bildirilmiştir. Ayrıca, iklim değişikliğinin gece-gündüz sıcaklık farklarının seyri üzerinde değişimlere neden olacağı ve bunun da bitki gelişime etkisinin olacağı öne sürülmektedir (Önen ve Özcan, 2010). Bitkilerin yanı sıra, iklimde meydana gelen değişikliklerin, toprağın mikrobiyal popülasyonu ve bu popülasyonun enzimatik faaliyetleri üzerinde de önemli etkileri bulunmaktadır. Bu durumu incelemek amacıyla sıcaklığın 4-5 °C daha yüksek olduğu bir ısı gradyan tüneli kullanılarak yapılan araştırmalar, bu koşullardaki mikrobiyal popülasyonun, geleneksel saha koşullarına oranla anlamlı biçimde daha fazla olduğunu göstermiştir. Özellikle azot bağlayan ve fosfor çözücü bakteri ile mantar türlerinin

popölasyonunda ve enzimatik aktiviterinde geniş bir sıcaklık aralığında artış kaydedilmiştir. Bununla birlikte, en yüksek değerler çoğunlukla en uygun (optimum) sıcaklık seviyesine yakın koşullarda elde edilmiştir (Kaur ve ark., 2014).

Toprak neminin başlıca kaynağı konumundaki yağış, ürün verimliliğini belirlemede en kritik etmenlerden biri olduğu gibi, yağışın dönemsel dağılımı da ürün verim ve kalitesinde ortaya çıkan dalgalanmaların başlıca nedenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır (Arslan, 2019). Küresel iklim değışikliği senaryoları, kuraklık ve sıcak hava dalgaları gibi aşırı hava olaylarının sıklığında bir artış yaşanacağını öngörmektedir. CO₂ miktarının yükselmesiyle beraber artan sıcaklık ve buna eşlik eden kuraklık, bitkilerin fizyolojik süreçlerinde kayda değer dönüşümlere yol açabilmektedir. Özellikle, artan CO₂ ortamında kuraklıkla birleşen yaprak sıcaklığının yükselmesi ve stomaların daha az açık kalması, bitki iç sıcaklığının yeterince düşürülememesine neden olmakta ve bu durumun en kritik etki olduğu vurgulanmaktadır (Yavaş ve İnay, 2018). Buna ek olarak, CO₂ artışı ile azalan stomatal iletkenlik, transpirasyon oranındaki azalmanın aksine su kullanım etkinliğini artırabilmektedir. Ancak kuraklık stresi, metabolizma ve fotosentez gibi temel biyokimyasal süreçleri baskıladığından, bitkinin büyüme ve verim potansiyelini olumsuz etkilemektedir. Bitkilerin stres altında hayatta kalma kabiliyeti ise bitkinin türü, büyüme dönemi, kuraklık süresi ve su yetersizliğinin şiddeti gibi değışkenlere bağılı olarak önemli ölçüde farklılaşabilmektedir (Tátrai ve ark., 2016).

İklimde öngörülen değışimlerin, özellikle bitki patojenlerinin gelişim ve yaşam sürelerine büyük ölçüde etki etmesi de kaçınılmazdır. Zararlı organizmalar ve hastalık etmenlerinin gelişimi büyük ölçüde sıcaklık ve neme bağılıdır. Uygun sıcaklık aralığı içinde her türün gelişimini en kısa sürede tamamladığı optimum bir sıcaklık değeri söz konusudur. Bir bölgede iklim ya da hava koşullarındaki kaymalar, tarım ürünlerinin hastalıklar, zararlılar ve

yabancı otlar karşısında daha savunmasız hale gelmesine neden olabilir. Yapılan araştırmalar, düşük enlemlerde verim düşüşü yaşanabileceğini öne sürmektedir (Elad ve Pertot, 2014). Ancak sıcaklığın yalnızca 1 °C artmasıyla bile böcek kaynaklı kayıpların %10 ila %25 oranında yükselebileceğine dair tahminler bulunmaktadır. İklim değişikliği, zararlıların nüfusunu ve göç yeteneklerini artırabilecek; bu da verimlilik ve hatta üretim sürdürülebilirliği açısından olumsuz sonuçlara yol açabilecektir. Zira böcek popülasyonları, çoğunlukla nem ve sıcaklık gibi abiyotik etkenlere bağlı olarak şekillenmektedir (Shrestha, 2019). Hastalıklarla ilgili olarak ise, tek döngülü (monosiklik) hastalıkların (sap çürüklüğü, kım çürüklüğü ve yalancı rastık gibi) çevresel koşullardan daha az etkilendiği ve popülasyonlarında ani artışların nadir görüldüğü belirtilmektedir. Buna karşılık, çok döngülü (polisiklik) hastalıklar, bitkilerin hava ile temas eden kısımlarına doğrudan nüfuz ettiğinden iklim koşullarından sürekli etkilenmekte ve hızla epidemi düzeyine ulaşarak büyük ölçüde zarara yol açabilmektedir (Kalra ve ark., 2007).

Küresel iklim değişikliği, son yıllarda özellikle tarımsal üretim üzerinde önemli bir tehdit unsuru hâline gelirken, stratejik öneme sahip yağlık bitkiler de bu durumdan doğrudan etkilenmektedir. Artan sıcaklık, değişken yağış rejimleri ve aşırı hava olaylarının sıklığındaki artış, yağlık bitkilerin yetiştirme koşullarını ve verim potansiyelini yeniden şekillendirmektedir (Kılıç, 2018).

İklim Değişikliğinin Soya Bitkisi (*Glycine max.* L) Yetiştiriciliğine Etkisi

Soya fasulyesi (*Glycine max* L.), pek çok alanda kullanım imkânı sunan ve ekonomide önemli bir yer tutan değerli bir tarım ürünüdür (Zhu ve ark., 2024). Soya tohumları ortalama %36-40 oranında protein, %18-24 oranında yağ %27 oranında karbonhidrat

ve yaklaşık %18 düzeyinde değerli mikro elementler barındırmaktadır. Dünyanın önde gelen bitkileri arasında kabul edilen soya, bu zengin besin içeriği ile hem insan hem de hayvan beslenmesindeki önemli konumunu korumaktadır. Ayrıca, %61'lik küresel üretim payı, yağlı tohumlu bitkiler arasında soyanın stratejik önemini açıkça ortaya koymaktadır. Bu durum, yalnızca gıda odaklı kullanımlarını değil, aynı zamanda biyoyakıt, kozmetik ve ilaç gibi çeşitli endüstriyel sektörlerdeki potansiyelini de güçlendirmektedir. (Bayhan ve Temiz, 2024). Buna ek olarak, soya fasulyesi, baklagil olması nedeniyle atmosferik azotu bitkilerin kolaylıkla yararlanabileceği bir şekle dönüştürmektedir. Bu süreç, topraktaki azot miktarını artırarak hem toprak yapısını iyileştirmekte hem de bitkilerin besin alımını kolaylaştırarak verimliliği yükseltmektedir. Özellikle mono kültür uygulanan alanlarda, soyanın rotasyonda kullanılması toprakta organik madde birikimini desteklemekte ve mineral kaybını en aza indirmektedir. Böylece, hem sürdürülebilir üretim hedeflerine katkı sağlaması, hem de ekolojik dengenin korunmasına katkıda bulunan soyanın üretimi tarım sektörü açısından büyük önem taşımaktadır (Zhu ve ark., 2024). Ancak diğer bitki gruplarında olduğu gibi, iklim değişikliğinin tetiklediği sıcaklık artışı, düzensiz yağış rejimleri ve sıklaşan ekstrem hava olayları, soya tarımı yapılan alanları, verim ve kalite ölçütlerini adeta yeniden şekillendirmektedir.

Soya fasulyesi, foto periyot duyarlılığı sebebiyle iklim değişikliği kapsamında analiz edilmesi gereken kritik bir ürün olarak öne çıkmaktadır. Bu alanda yapılan çeşitli araştırmalar, artan sıcaklıklar ve değişen yağış örüntülerinin soya fasulyesi verimi üzerindeki etkileri noktasında hem olumlu hem de olumsuz sonuçlar elde edildiğini göstermiştir. Söz konusu çelişkili bulguların, farklı coğrafi bölgelerde yaşanan iklimsel değişimlerin yönü ve şiddetindeki çeşitlilikten kaynaklandığı düşünülmektedir (Sharma ve ark., 2022).

Sıcaklığın Soya Bitkisinin (*Glycine max* L.) Büyüme Faktörleri Üzerindeki Etkisi

Soya tohumlarının çimlenme ve fide gelişimi, farklı sıcaklık koşullarında gerçekleşen kritik aşamalardır. Sıcaklık, bu süreçlerde hem tohumların çimlenme performansı hem de fidelerin sağlıklı gelişimi açısından başlıca çevresel etkenlerden biri olarak kabul edilmektedir. Uygun sıcaklıklar, çimlenme oranını ve hızını artırarak canlı, sağlam fidelerin yetişmesine olanak sağlar. Buna karşılık, aşırı yüksek veya düşük sıcaklık değerleri hem çimlenme sürecini hem de fide gelişimini olumsuz yönde etkileyebilir. Özellikle çimlenme döneminde, aşırı yüksek sıcaklıklar tohumun nem kaybını hızlandırıp çimlenme oranını ve hızını düşürürken; çok düşük sıcaklıklar ise süreci geciktirebilir. Fide aşamasında ise, uygun sıcaklıklar bitkinin dayanıklı ve hızlı büyümesini desteklerken, yüksek veya düşük sıcaklıklara maruz kalmak yavaş büyüme, doku hasarı ve hatta fidelerin ölümü gibi sorunlara yol açabilir (Li ve ark., 2024). Her aşamada olduğu gibi soya bitkisinin büyüme döngüsünde tomurcuk oluşumu ve çiçeklenme aşamalarında da sıcaklık, en önemli ve belirleyici faktörlerden biri olarak görülmektedir. Erken dönemde sağlanan uygun sıcaklık aralıkları, canlı ve bol çiçek tomurcuğu oluşumunu teşvik ederken, aşırı yüksek veya düşük sıcaklık değerleri tomurcuk sayısını azaltarak ilerleyen süreçteki verim potansiyelini düşürebilmektedir. Benzer şekilde, çiçeklenme ve bakla bağlama evrelerinde de ideal aralıkların üzerine ya da altına çıkan sıcaklıklar, çiçek dökülmesine ve yetersiz tozlaşmaya yol açarak meyve oluşumunu sekteye uğratmaktadır. Bu durum, ürün kalitesi ve miktarını olumsuz etkileyebilmektedir. Dolayısıyla, sıcaklık koşullarının düzenli takibi ve doğru yönetimi hem tomurcuk oluşumunda hem de çiçeklenme döneminde sağlıklı ve verimli bir gelişimi sürdürmek açısından büyük önem taşımaktadır (Liu ve ark., 2017). Sıcaklık, soyanın olgunluk aşamasında zamanlamayı doğrudan etkilemektedir. Zamanlamanın yanı sıra, olgunlaşma

aşamasında meydana gelen sıcaklık dalgalanmaları, ürün verimi ve kalitesini de doğrudan şekillendirmektedir ki bu da çoğu zaman bakla çatlama gibi sorunlarla sonuçlanmaktadır. Dolayısıyla, üreticilerin ve tarım uygulayıcılarının bu olgunlaşma döneminde sıcaklık dalgalanmalarını dikkate alacak önlemler alması kritik önem arz etmektedir. Böylece, soya bitkisinin en uygun sıcaklık aralığında gelişimini tamamlaması sağlanarak hem yüksek verim hem de istikrarlı ürün kalitesi elde edilebilmektedir (Jie ve ark., 2023).

Soya bitkisinin solunum, fotosentez gibi fizyolojik ve ekolojik süreçleri, sıcaklık koşullarına bağlı olarak büyük ölçüde değişim göstermektedir; bu da bitkinin büyüme ve gelişimini doğrudan etkilemektedir. Öncelikle, sıcaklığın yükselmesi solunumu hızlandırarak besin metabolizması ve enerji kullanımında artışa sebep olabilirken, düşük sıcaklıklar fotosentez hızını yavaşlatarak büyümeyi sınırlandırabilmektedir. Düşük sıcaklıklar soya bitkilerinde don zararına sebep olarak hücre yapısını bozarak normal gelişimi engelleyebilir ve hatta bu durum bitkinin ölümüne yol açabilmektedir (Zhu ve ark., 2024). Yüksek sıcaklıklar kök sisteminin ilerlemesini kısıtlayarak bitkinin su ve besinlere ulaşmasını güçleştirirken, düşük sıcaklıklar besin kullanım verimini düşürerek genel büyümeyi yavaşlatmaktadır. Bu nedenle, soya bitkisinin farklı büyüme evrelerinde ideal sıcaklık gereksinimlerinin gözetilmesi, sağlıklı gelişim ve yüksek verim açısından kritik önem taşımaktadır (Ye ve ark., 2018).

Yağış Desenlerindeki (*Glycine max* L.) Değişimlerin Soya Bitkisi Üzerindeki Etkileri

Yağış desenlerindeki değişimler, soya bitkisinin büyüme, gelişim ve verimlilik potansiyelini şekillendirmektedir. Özellikle yetersiz yağışın sebep olduğu kuraklık koşulları, bitkinin çimlenmeden fide gelişimine kadar tüm büyüme sürecinde verim ve

kalite kayıplarına yol açabilmektedir. Toprak neminin azalması veya düzensiz dağılımı, soya bitkisinin kök sistemini strese sokarak su ve besin alımını doğrudan etkilemekte, büyüme hızını yavaşlatmaktadır. Buna karşılık, aşırı yağışın yarattığı yüksek nem koşulları da benzer biçimde sorunlara neden olmaktadır. Uzun süreli yoğun yağış, su baskını veya toprakta aşırı su birikimi, köklerin oksijensiz kalmasına yol açarak bitkinin yatma (devrilme) riskini arttırmakta ve özellikle kök çürüklüğü gibi hastalıkların gelişmesine zemin hazırlamaktadır. Bu koşullar hem verimi hem de ürün kalitesini belirgin ölçüde düşürmektedir (Zhu ve ark., 2024). Yağış desenlerindeki değişimler, soya bitkisi üzerinde iki önemli etki daha ortaya çıkarmaktadır. İlk olarak, yağış olaylarının sıklığı ve yoğunluğundaki artış, bitkinin büyüme ve gelişim süreçlerini sekteye uğratabilmektedir. Yoğun ve sık yağışlar, bir yandan topraktaki buharlaşma hızını ve erozyon riskini artırırken, diğer yandan zararlı ve hastalık etmenlerinin yayılmasını kolaylaştırarak ürünün verimini ve kalitesini düşürmektedir. İkinci olarak, aşırı yağış olaylarının çoğalması, su baskını ve toprak erozyonu gibi sorunları daha da derinleştirerek soya bitkisinin gelişimine doğrudan zarar verir; bu da nihayetinde verim ve kalitede kayıplara yol açmaktadır (Li ve ark., 2020).

Aşırı hava olayları içerisinde en sık karşılaşılan kuraklık durumu tüm tarımsal ürünlerde olduğu gibi, soya bitkisinin gelişimini ve verimini derinden etkileyen temel etmenlerden biridir. Özellikle fide ve yoğun büyüme aşamalarında belirgin şekilde hissedilen kuraklık koşulları, bitkinin farklı gelişim evrelerini doğrudan etkilemektedir. Topraktaki nem yetersizliği, köklerin su emilimini güçleştirerek hem tohum çimlenmesini hem de fide gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir. Kuraklığın şiddeti ve süresine göre zarar boyutu değişmektedir ancak, uzun süreli kuraklık, yaprak solgunluğu ve bodur gelişme gibi fizyolojik problemlerin yanı sıra, bitkinin ölümüne kadar varan ciddi

tahribatlara yol açmaktadır. Bu durum, sonunda verim ve kalitede kayıpları beraberinde getirerek üretim sürecini doğrudan etkilemektedir (Zhu ve ark., 2024).

İklim Değişikliği Kaynaklı Zararlı ve Hastalıkların Soya Bitkisinin Verim ve Kalitesine Etkileri

İklim değişikliğinin neden olduğu sıcaklık, yağış ve aşırı hava olaylarındaki dalgalanmalar, patojen mikroorganizmaların ve zararlı böceklerin ekolojik dengelerini ve biyolojik özelliklerini değiştirerek soya üretimini çok boyutlu bir biçimde etkilemektedir. Yükselen sıcaklıklar daha önce yaygın olmayan patojen veya zararlı türlerin popülasyon yoğunluğunu ve faaliyet süresini artırabilmekte, yaygın türlerin ise saldırganlık seviyesini yükseltebilmektedir. Bu durum, soya bitkilerinde enfeksiyon oranını artırarak bitkinin normal büyüme ve gelişme süreçlerini etkileyerek ürün kayıplarına ve kalitede düşümlere yol açmaktadır (Zhu ve ark., 2024). Zararlı böceklerin üreme oranları, mevsimsellikleri ve yayılım alanları da iklim koşullarındaki değişimlerden etkilenmektedir. Özellikle istilacı türler, yeni bölgelere hızla yayılabilmekte ve soya üzerinde önemli kayıplara sebep olabilmektedir. Benzer şekilde, hastalık etmenlerinin patojenitesi ve yayılma hızı da iklim koşullarına bağlı olarak artış gösterebilir. Neticede, bu durum hem verimde azalmaya hem de gıda güvenliği açısından risk oluşturan toksinlerin üretimine zemin hazırlamaktadır (Zhu ve ark., 2024).

Sonuç

İklim değişikliğinin etkileri, yalnızca çevresel koşulları değil, aynı zamanda tüm canlı yaşamını doğrudan tehdit eden küresel bir kriz hâline gelmiştir. Bu etkiler, Dünyanın farklı coğrafi bölgelerinde çeşitli şiddet ve biçimlerde hissedilmekte olup, özellikle sıcaklık artışı, yağış rejimlerindeki düzensizlik, kuraklık, deniz seviyesindeki yükselme, ekstrem hava olayları ve biyolojik çeşitlilikteki azalma gibi belirtilerle kendini göstermektedir. Tüm bu

gelişmeler, sadece doğal ekosistemleri değil; tarım, hayvancılık, su kaynakları, ormanlar ve insan sağlığı gibi temel yaşam alanlarını da tehdit etmektedir. Dolayısıyla, iklim değişikliği artık yalnızca çevresel değil; sosyo-ekonomik ve ekolojik düzeyde de çok boyutlu etkiler yaratan kritik bir sorun hâline gelmiştir (Yavaş ve İnay, 2018). Bu nedenle günümüzde tarım sektörü, bir yandan değişen iklim koşullarına uyum sağlamayı hedefleyen uygulamalara ağırlık verirken, diğer yandan tarımsal faaliyetlerin neden olduğu karbon salınımını azaltmaya odaklanan yeni tarım yaklaşımlarını sisteme entegre etmektedir (İklim Değişikliği ve Tarım Değerlendirme Raporu, 2021).

İklim değişikliği, tüm bitkilerde olduğu gibi, soya tarımı üzerinde de giderek artan düzeyde baskı oluşturmaktadır. Artan sıcaklıklar, düzensiz yağış rejimleri, kuraklık ve aşırı hava olayları, soya bitkisinin tüm gelişim evrelerini olumsuz etkilemekte ve bu durum verim ve kalite kayıplarına yol açmaktadır. Özellikle çiçeklenme ve tane bağlama dönemlerinde görülen yüksek sıcaklık stresi, dölleme başarısını düşürmekte; kuraklık ise su stresine bağlı olarak büyümeyi ve ürün kalitesini olumsuz etkilemektedir. Ayrıca, iklim koşullarındaki değişiklikler, zararlılar ve hastalık etmenlerinin popülasyonlarını ve yayılım alanlarını artırarak bitki sağlığı üzerinde ek baskılar oluşturmaktadır. Bu sorunlara karşı en etkili çözüm yollarından biri, çevresel stres faktörlerine (kuraklık, yüksek sıcaklık, zararlı ve hastalıklar vb.) dirençli yeni çeşitlerin ıslah edilmesidir. Bu yaklaşım sayesinde, soya bitkisi iklim değişikliğinin tetiklediği olumsuz etkenlere karşı daha güçlü bir adaptasyon sağlayarak verim ve kalite düşüşlerini en aza indirebilmektedir. Bu bağlamda, soya bitkisinin genetik çeşitliliğinden faydalanmak, stres toleransını iyileştirmede öncelikli yöntemlerden biridir. Bu çeşitlilik, yabani soya türlerinden ve kültüre alınmış mevcut varyantlardan elde edilebilecek gen kaynaklarını içermektedir. Böylece, kuraklık toleransı, zararlılara direnç, yüksek sıcaklık veya soğuğa

dayanıklılık gibi özellikler açısından taranan ve değerlendirilen germplazm materyalleri, yeni çeşit ıslahında ebeveyn olarak kullanılmak üzere stratejik bir temel sunmaktadır. Bu çerçevede, farklı stres koşullarına uyumlu gen kaynaklarının keşfi ve bunların ıslah programlarına dahil edilmesi, üretim istikrarını önemli ölçüde desteklemektedir (Guo ve ark., 2024).

Buna ek olarak, ürün çeşitliliğini artıran ekim sistemlerinin (ürün rotasyonu, ara ekim) kullanılması; modern sulama tekniklerinin (damla ve mikro yağmurlama) yaygınlaştırılması; toprak sağlığını koruyucu uygulamaların (organik gübreleme, örtü bitkisi yetiştiriciliği) benimsenmesi ve tarımda mekanizasyon ile dijital teknolojilerin entegrasyonu gibi uygulamalar hem üretim verimliliğini hem de ekolojik sürdürülebilirliği artırmaktadır.

Sonuç olarak, soya üretiminin iklim değişikliğine karşı daha dirençli hâle getirilmesi, çok boyutlu stratejik bir yaklaşım gerektirmekte olup; bu süreçte bilimsel araştırmalar, politika desteği, üretici eğitimi ve teknolojik inovasyonun birlikte yürütülmesi elzemdir. Bu çerçevede atılacak her adım, yalnızca soya tarımının değil, küresel tarım sistemlerinin sürdürülebilirliği açısından da kritik öneme sahiptir.

Referanslar

Arora, N. K. (2019). Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions. *Environmental sustainability*, 2(2), 95-96.

Arslan, M. (2019). Küresel iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı ümitvar baklagiller olarak mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) ve burçak (*Vicia ervilia* L.)'ın önemi. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(1), 97-104.

Avrupa Çevre Ajansı. 2018.
https://www.eea.europa.eu/tr/isaretler/copy_of_raporlar.

Aydın, F., & Sarptaş, H. (2018). İklim değişikliğinin bitki yetiştiriciliğine etkisi: model bitkiler ile Türkiye durumu. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(3), 512-521.

Bayhan, B., TEMİZ, M., G. (2024). Soya (*Glycine max* L.) Üretimine Genel Bakış. Halil BOLU, Ali Murat TATAR (Ed.), Tarımın Dili: Disiplinler Arası Bakış (s. 65-75). Ankara: Serüven Yayınevi

Bayraç, H. N., Doğan, E. (2016). Türkiye'de İklim Değişikliğinin Tarım Sektörü Üzerine Etkileri. *Eskişehir Osmangazi Üniv. İİBF Derg.* 11(1):23-48.

Elad, Y., & Pertot, I. (2014). Climate change impacts on plant pathogens and plant diseases. *Journal of Crop Improvement*, 28(1), 99-139.

Gun, T., Guo, M., Li C., Wang, Z., Zheng, W., Xu, J., Zhao, X., Wang, X. (2024). Combination Scale, Variety Selection Probability and Parental Selection of Soybean Crossbreeding. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, (4): 1-10.

Weather, Climate and Catastrophe Insight (2023).
<https://www.aon.com/weather-climate-catastrophe/index.aspx>.
Erişim tarihi: 15.03.2025

IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report; Pachauri, R.K., Meyer, L.A., Eds.; Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC: Geneva, Switzerland, 2014; 151p

Jie, W., Lin, H., Yang, D. (2023). Influences of Rhizophagus intraradices on mature biomass, root rot and chlorothalonil residue in rhizosphere soil of soybean. Jiangsu Agricultural Sciences, 51(14), 153-158.

Kaur, J., Gosal, S. K., Kaur, P. (2014). Effects of climate change on plant associated microbial communities and enzyme activities.

Kadioğlu, M., (2008). Küresel İklım Değişikliğine Uyum Stratejileri, Kar Hidrolojisi Konferansı, Erzurum.

Kalra, N., Chander, S., Pathak, H., Aggarwal, P. K., Gupta, N. C., Sehgal, M., & Chakraborty, D. (2007). Impacts of climate change on agriculture. *Outlook on AGRICULTURE*, 36(2), 109-118.

Kılıç, L. (2018). İklım Değişikliğinin Tarım zerine Olası Etkileri. *21. Yzyılda Fen ve Teknik*, 1(9), 1-6.

Lan, X., Tans, P. and K.W. Thoning. Trends in globally-averaged CO₂ determined from NOAA Global Monitoring Laboratory measurements. Version Monday, 05-May-2025 16:38:58 MDT <https://doi.org/10.15138/9N0H-ZH07>

Li, T., Yu, J., Qiao, Y. (2024). Effect of short-term low temperature on seedling growth and nodule nitrogen fixation in soybean. Chinese Journal of Agrometeorology. 45(2), 159-169.

Li, X., Guo, Z., Zhu, H., (2020). Time-series characteristics of drought and flood in spring soybean growing season and its effect on soybean yield in Heilongjiang Province, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*. 31(4), 1223-1232.

Liu, F., Wang, W., Li, W. (2017). Coordinated effects of IAA and ethylene and temperature on adventitious root organogenesis in soybean hypocotyl cuttings: *Soybean Science* 36(4), 547-553.

Malhi, G. S., Kaur, M., & Kaushik, P. (2021). Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review. *Sustainability*, 13(3), 1318.

Önen, H., Özcan, S. (2010). İklim Değişikliğine Bağlı Olarak Yabancı Ot Mücadelesi. Ed. Sayılı, M. 2010. İklim Değişikliğinin Tarıma Etkileri ve Alınabilecek Önlemler. T.C. Kayseri Valiliği İl Tarım Müdürlüğü. 2: 336-357. Fidan Ofset, Kayseri.

Sayılğan, Ç. (2016). Küresel Sıcaklık Artışının Buğdayda Beklenen Etkileri ve Yüksek Sıcaklığa Toleranslılığın Fizyolojik Göstergeleri. *YYÜ Tar. Bil. Derg.* 26(3): 439-447.

Sharma, R. K., Kumar, S., Vatta, K., Dhillon, J., & Reddy, K. N. (2022). Impact of recent climate change on cotton and soybean yields in the southeastern United States. *Journal of Agriculture and Food Research*, 9, 100348.

Shrestha, S. (2019). Effects of climate change in Agricultural Insect Pest. *Acta Scient. Agric.* 3, 74–80.

İklim Değişikliği ve Tarım Değerlendirme Raporu, Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarım Reformu Genel Müdürlüğü (2021). <https://www.tarimorman.gov.tr/TRGM/Belgeler/IKLIM%20DEGISIKLIGI%20VE%20TARIM%20DEGERLENDIRME%20RAPORU.pdf>

Tátrai, Z. A., Sanoubar, R., Pluhár, Z., Mancarella, S., Orsini, F., Gianquinto, G. (2016). Morphological and Physiological Plant Responses to Drought Stress in *Thymus citriodorus*. 8 pages. [http :// dx.doi.org/10.1155/2016/4165750](http://dx.doi.org/10.1155/2016/4165750).

Yavaş, İ., & Ünay, A. (2018). Küresel iklim değişikliğinin fotosentez üzerine etkileri. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15(2), 95-99.

Ye, P., Kang, H., Duan, S. (2018). Photosynthetic physiological characteristics in soybean leaves at different CO₂ concentrations. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 29(2), 583-591.

Zhu, W., Li, J., & Xie, T. (2024). Impact of climate change on soybean production: Research progress and response strategies. *Advances in Resources Research*, 4(3), 474-496.

ESKİŞEHİR EKOLOJİK KOŞULLARINDA BAZI ŞEKER PANCARI ÇEŞİTLERİNİN VERİM ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

CEREN EKSİK²⁴
DURAN KATAR²⁵

GİRİŞ

Dünyada şeker üretiminin yaklaşık %30'unu karşılayan şeker pancarı (*Beta vulgaris ssp. vulgaris*), şeker kamışından sonra en çok üretilen ikinci şeker bitkisidir (Kandil ve ark., 2020; Yaşar, M., 2022). Şeker pancarı aynı zamanda kırsal nüfusun sosyo-ekonomik kalkınmasında önemli bir role sahip endüstriyel bir bitkidir (Yağmur ve Yaşar., 2023). Şeker pancarı, stratejik öneme sahip bir hammadde olarak hem dünya genelinde hem de Türkiye'de tarıma dayalı sanayi sektörü için kritik bir konumdadır. Bu bitki, temel bir gıda maddesi olan şekerin yanı sıra melas, alkol, maya ve biyoetanol gibi çeşitli endüstriyel hammaddelerin üretiminde ana kaynaklardan birini

²⁴Yüksek Lisans Öğrencisi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orcid: 0009-0007-4495-6708, cerenneksik03@gmail.com

²⁵ Prof. Dr., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Orcid: 0000-0003-1340-8040, dkatar@ogu.edu.tr

oluşturmaktadır. Ayrıca, şekerli gıda üretim sanayisinin gelişimine ve tarım sektörünün büyümesine önemli katkı sağlamaktadır (Tosun ve Arslan, 2016; Eştürk, 2018; Yaşar ve Şahin, 2023). Dünyada şeker elde etmek için şeker kamışı yetiştiriciliği yapılıyor olsa da ülkemizin şeker ihtiyacı şeker pancarı bitkisinden karşılanmaktadır. Dünya şeker üretiminin % 22'si şeker pancarından sağlanırken, geriye kalan yaklaşık % 78'lik kısım şeker kamışından elde edilmektedir (FAOSTAT, 2019; Yaşar ve Ekinci., 2021). Dünya da üretilen şekerin büyük bir kısmı şeker kamışından elde ediliyor olmasına karşılık ülkemizde de yetiştiriciliği denenmiş fakat yetiştiriciliği için gereken iklim ve bitki örtüsü istekleri yeterli olmamıştır. Bu nedenle karasal iklimin hâkim olduğu ülkemizde şeker pancarı tarımının yapılması şeker elde etmek için daha uygundur (Ada ve Akınerdem, 2011).

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2020 yılı verilerine göre ülkemizde şeker pancarı ekimi yaklaşık 3,4 milyon dekar alanda gerçekleştirilmiştir. Ekim alanları bakımından en önde gelen iller sıralamayla Konya, Eskişehir ve Yozgat'tır (Yaşar and Kendal., 2022). Türkiye'de şeker pancarı üretimi, kota sistemine tabi olup bu sistem çerçevesinde üreticiler/temsilcileri ile şeker fabrikaları arasında sözleşmeli üretim modeli uygulanmaktadır. Söz konusu yılda toplam 23 milyon 26 bin ton olarak kaydedilen şeker pancarı üretiminin bölgesel dağılımı incelendiğinde; Konya %31,4'lük payla ilk sırada yer alırken, bunu sırasıyla %8,6 ile Eskişehir ve %7,1 ile Yozgat takip etmektedir (Anonim, 2020). Ülkemizde 2024 yılı verilerine göre şeker pancarı üretimi bir önceki yılın üretim miktarına kıyasla %8,9 oranında azalarak 23 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (TÜİK, 2024). Şeker pancarı tarımı üretici için önemli ölçüde gelir sağlaması nedeniyle çiftçinin tercih sebebi olmakta ve ülke ekonomisine de yüksek oranda katkı sağlamaktadır. Şeker endüstrisi, hayvancılık, ilaç, et-süt üretimi ve ulaşım gibi pek çok sektörle yakından ilişkilidir. Ilıman iklim kuşağının önemli bir

bitkisi olan şeker pancarı, aynı zamanda yenilenebilir bir enerji kaynağı olan biyoetanolün ve hayvan yeminin en verimli hammadde kaynaklarından birini oluşturmaktadır (Dohm vd., 2014; Yaşar ve ark., 2023). Tarımsal üretimde üreticinin amacı birim alandan yüksek gelir elde etmektir. Şeker pancarı tarımında üreticinin birim alandan yüksek gelir elde etmesinde etkili olan 2 faktör bulunmaktadır. Bunlardan birincisi birim alandan mümkün olan en yüksek kök-gövde verimini elde etmektir. Diğeri ise elde edilen kök-gövdenin yüksek oranda şeker içeriyor olmasıdır. Şeker pancarı fabrikaları kök-gövde alımı yaparken birim fiyatı şeker oranını dikkate alarak belirlemektedirler. Bu durum şeker pancarı ıslah firmalarının kök-gövde verimi ve şeker oranı yüksek çeşit geliştirmelerini gerektirmektedir. Buna bağlı olarak şeker pancarı tohumluk ıslah firmaları kök- gövde verimi ve şeker oranı yüksek olan farklı çeşitler geliştirmekte ve piyasaya arz etmektedirler (Şahiner ve Demir, 2020).

Şeker pancarı tarımında üretici birim alandan yüksek gelir elde etmeyi amaçlarken, sanayi kuruluşları yüksek miktarda şeker elde etmeyi amaçlamaktadır. Bu amacın gerçekleştirilmesi bölgenin ekolojik koşullarına uygun, yüksek şeker oranına ve yüksek kök-gövde verimine sahip çeşitlerin yetiştirilmesi ile mümkün olmaktadır (Özcan, 1993).

Şeker pancarı yetiştiriciliğinde, *Cercospora beticola* Sacc'nın neden olduğu *Cercospora* yaprak lekesi hastalığı verimi olumsuz etkilemektedir. Bu hastalık Dünya'da ve ülkemizde şeker pancarı tarımında en çok zarara uğratan hastalık olarak kabul edilmektedir. *Cercospora* yaprak lekesi hastalığı şeker pancarının dış yaprakları üzerinde görülmeye başlayan daire şeklinde, orta alanı gri-açık kahverengi, çevresi kırmızı-koyu kahverengi belirgin bir dış kenarla kuşatılmış, 2-5 mm çapında küçük lekeler şeklinde belirti göstermektedir. Bu belirtiler kısa zamanda yaprak alanını kaplayıp

yaprağın tamamen kuruyup ölmesine neden olmaktadır (Tunalı ve ark., 2018).

Materyal ve Metot

İklim Özellikleri

Denemenin yürütüldüğü Nisan ve Aralık ayları arasındaki 1991-2023 ve 2024 yıllarına dair iklim özellikleri Çizelge 2’de sunulmuştur.

*Çizelge 1. Eskişehir İli için 1991-2023 yılları ve 2024 yılları ortalaması göz önünde bulundurularak ortalama sıcaklık ve aylık ortalama yağış verileri**

AYLAR	Ortalama sıcaklık (°C)		Aylık Toplam yağış miktarı ortalaması (mm)	
	1991-2023	2024	1991-2023	2024
Nisan	9,9	10,1	44,1	44,1
Mayıs	14,9	14,8	42,3	42,3
Haziran	18,9	19,0	24,2	24,2
Temmuz	21,9	22,0	15,0	15,0
Ağustos	22,0	22,1	11,2	11,2
Eylül	17,5	17,6	17,2	17,2
Ekim	12,1	12,1	35,0	35,0
Kasım	6,0	6,0	33,4	33,4
Aralık	2,0	2,0	42,4	42,4

** Eskişehir Meteoroloji Genel Müdürlüğü Verileri*

Çizelge 1 incelendiğinde ekim yapılan nisan ayında ortalama sıcaklık 10,1°C ölçülmüştür. Bunun yanında aylık toplam yağış miktarı ortalama 44,1 mm en yüksek değer olarak nisan ayında ölçülürken bu değeri sırasıyla aralık, mayıs, ekim ve kasım ayları takip etmiştir. Aylık toplam yağış miktarı ortalama 11,2 mm en düşük değer olarak ağustos ayında ölçülmüştür.

Toprak Özellikleri

Araştırmanın yürütüldüğü Eskişehir İnönü İlçesi deneme alanı tınlı toprak bünyesine sahip olup, pH değeri nötre çok yakın reaksiyon göstermektedir (Çizelge 2). Deneme alanı, orta düzeyde kireçli olup organik madde miktarı %1,9 ile düşük seviyededir. Deneme alanına ait toprak analiz verileri aşağıda mevcuttur.

Çizelge 2. Deneme alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Bünye (0-40cm)	Kireç (%)	Toplam Tuz (%)	Yarayışlı Fosfor (P ₂ O ₅) (kg/da)	Yarayışlı Potasyum (K ₂ O) (kg/da)	pH	Organik Madde (%)
(2024) Tınlı	5,50	0,031	4,08	203,1	7,5	1,9

**Analizler, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Ziraat Fakültesi toprak analiz laboratuvarında yapılmıştır*

Bitki Materyali

Denemede materyal olarak altı şeker pancarı çeşidi (Sephora, Deonila, Marteba, Sandpiper, Talidia, Hilary) kullanılmıştır. Denemede kullanılan şeker pancarı çeşitleri Eskişehir İnönü Pancar Kooperatifinden temin edilmiştir.

Yöntem

Deneme 2024 yılı Eskişehir ili İnönü ilçesi ekolojik koşullarında tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Her bir blokta 6 parsel bulunmakta olup parsellere sıra arası 45 cm ve sıra üzeri 20 cm olacak şekilde Nisan ayının 18'inde ekim yapılmıştır. Parsel uzunlukları 5 m olup parsel de 6 sıra olup dolayısıyla parsel genişlikleri 2,70 m'dir. Her bir parsel 13,5 m² 'den oluşmakta olup her bir blok da 6 parselden oluştuğu

için blok alanı 81 m²'dir. Toplam deneme alanı ise blok araları hariç 81*3=243 m²'dir. Tohumlar daha önce hazırlanmış parsellere pnömatik mibzerle ekilmiştir.

Gübreleme işlemi için 21-35 kg/da N, 10-14 kg/da P ve 28-42 kg/da K uygulanmıştır. Fosfor ve potasyumun tamamı uygulanırken, azotun 1/3'ü taban gübresi olarak kullanılmış, kalan azot 1/3 oranında ekimden bir ay sonra ve 1/3 oranında ekimden 2 ay sonra üst gübreleme şeklinde verilmiştir. Deneme parselinde yabancı ot kontrolü 2 defa gerçekleştirilmiştir. İlk kontrol yabancı otun ilk çıkışından 15 gün sonra, sonraki kontrol de tarla yüzeyini kapatınca çapalama şeklinde mekanik yöntemlerle yapılmıştır.

Hasat

02.12.2024 tarihinde pancar gövdesi elle sökülerek uygun şekilde baş kısımları kesilerek, toprak temizlenmiş hasat gerçekleştirilmiştir. Hasatta her parseldeki 6 sıradan kenardaki 1'er sıra kenar tesiri olarak hasat dışı tutulmuştur. Çalışmada elde edilen veriler ortadaki 4 sıradan hesap edilmiştir.

***Resim 1.** Deneme materyalinden bir görüntü ve bitkinin ekim zamanından bir kesit*



Bulgular ve Tartışma

Çizelge 3. Farklı şeker pancarı çeşitlerinin incelenen özelliklerine ait varyans analizi

Varyasyon kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması			
		Tek bitki kök-gövde verimi (g)	Kök verimi (ton/da)	Şeker oranı (%)	Şeker verimi (kg/da)
Tekerrürler	2	1522,6 ^{ns}	0,15226 ^{ns}	0,18 ^{ns}	9964,2 ^{ns}
Çeşitler	5	94628,5 ^{**}	9,46285 ^{**}	4,921 ^{**}	392731,2 ^{**}
Hata	10	892,2	0,08922	0,384	6857,6
Genel	17	28535,9	2,85359	1,69441	120715,3

(**) %1 düzeyinde önemli (ns) önemsiz

Altı farklı şeker pancarı çeşidinin tek bitki kök-gövde verimi (g), kök verimi (ton/da), şeker oranı (%) ve şeker verimi (kg/da) verilerinin analiz değerleri Çizelge 3’de sunulmuştur.

Çizelge 4. Araştırmada incelenen özelliklere ait ortalama değerler ve LSD grupları

Çeşitler	Tek bitki kök-gövde verimi (g)	Kök verimi (ton/da)	Şeker oranı (%)	Şeker verimi (kg/da)
Sephora	473,5 ^D	4,735 ^D	14,8667 ^C	704,35 ^D
Deonila	814,933 ^C	8,14933 ^C	15,2333 ^C	1240,82 ^C
Marteba	909,133 ^B	9,09133 ^B	16,5333 ^B	1504,84 ^B
Sandpiper	970,467 ^A	9,70467 ^A	18,4333 ^A	1789,47 ^A
Talidia	829,433 ^C	8,29433 ^C	16,7667 ^B	1390,28 ^{BC}
Hilary	903,733 ^B	9,03733 ^B	15,8667 ^{BC}	1435,1 ^B
LSD	24,38	0,24	0,51	67,61
CV %	3,65662	3,65662	3,80559	6,16085

Çalışmada tek bitki kök-gövde verimi 473,5-970,4 g arasında değişiklik göstermektedir. (Çizelge 4). Ortalama tek bitki kök-gövde verimi değeri 816,8 g’dır.

Çizelge 4'ün incelenmesi sonucu, farklı şeker pancarı çeşitlerine yönelik sıralamada, ortalama en yüksek tek bitki kök-gövde verimi 970,4 g ile Sandpiper çeşidinden alınmıştır. İstatistiki olarak A grubunda yer almıştır.

İkinci sırada bulunan Marteba çeşidi ise istatistiki olarak Hilary çeşidi ile aynı grupta yer almaktadır. Marteba çeşidinin tek bitki kök-gövde verimi ortalaması 909,1 g'dır.

Üçüncü sırada bulunan Talidia çeşidi ise istatistiki olarak Deonila çeşidi ile aynı grupta yer almaktadır. Talidia çeşidinin tek bitki kök-gövde verimi ortalaması 829,4 g'dır. Son olarak ta Sephora çeşidi D grubunda yer almaktadır. Tek bitki kök-gövde verimi ortalaması ise 473,5 g olarak ölçülmüştür.

Altı farklı şeker pancarı çeşidinin kök verimi (ton/da) üzerinde etkilerinin analiz sonuç verileri Çizelge 3'de sunulmuştur. Ortalama kök verimine göre oluşturulan gruplar Çizelge 4'de yer almaktadır.

Çalışmada kök verimi 4,73-9,70 ton/da arasında değişiklik göstermektedir (Çizelge 4). Ortalama kök verimi değeri 8,16 ton/da'dır. Çizelge 4'ün incelenmesi sonucu, farklı şeker pancarı çeşitlerine yönelik sıralamada, şeker oranı %14,86- 18,43 arasında değişmekle birlikte ortalama en yüksek şeker oranı %18,43 ile Sandpiper çeşidinden alınmıştır. İstatistiki olarak A grubunda yer almıştır. Sırayı %16,76 şeker oranıyla Talidia çeşidi takip ederken istatistiki açıdan Marteba çeşidi ile B grubunda yer almıştır.

Farklı şeker pancarı çeşitlerinin verim özellikleri bakımından şeker verimi(kg/da) üzerinde etkileri olup, ortalama en yüksek şeker verimi 1789,4 kg/da ile Sandpiper çeşidinden elde edilmiştir (Çizelge 4). Şeker verimi 704,3-1789,4 kg/da arasında değişiklik göstermektedir.

Sonuç

Şeker pancarı yetiştiriciliğinde asıl amaç birim alandan elde edilen şeker verimidir. Günümüz zamanında çiftçilerin istedikleri çeşidi seçebilmesi, çeşit seçiminin önemini göstermektedir. Eskişehir ekolojik koşullarında şeker pancarı (*Beta vulgaris var. saccharifera* L.) bitkisinde tek bitki kök-gövde verimi (g), kök verimi (ton/da), şeker oranı (%), şeker verimi (kg/da) değerleri dikkate alındığında Sandpiper çeşidi kullanımı başarılı bir yetiştiricilik için önerilmektedir. Sadece yapılan bu araştırma değerlerine dayanarak bir çeşit tavsiyesinde bulunmanın her zaman için geçerli olmayacağı unutulmamalıdır. Bu nedenle şeker pancarı bitkisi üzerine yapılan araştırma ve geliştirme faaliyetlerine devam edilmesi, farklı lokasyonlarda birçok defa tekrarlanan araştırmalar yapılarak üretimin teşvik edilmesi gerekmektedir. Şeker pancarı (*Beta vulgaris var. saccharifera* L.) bitkisinin ekonomik değeri ve sağladığı verimler göz önüne alındığında, Eskişehir gibi bölgelerde şeker pancarı üretiminin arttırılması ve bu bitki üzerine yapılan çalışmalara devam edilmesi oldukça önemlidir.

Çıkar çatışması: Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Yazarların katkı payı: Tüm yazarlar araştırma süresince birlikte çalışmışlardır.

Kaynakça

Anonim, (2020).
<https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20Tar%C4%B1m%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Piyasalar%C4%B1/2021Haziran%20Tar%C4%B1m%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Raporu/%C5%9Eekerpancar%C4%B1,%20Haziran2021,%20Tar%C4%B1m%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Piyasa%20Raporu,%20TEPGE.pdf>

Ada, R. ve Akınerdem F. (2011). Farklı zamanlarda hasat edilen şeker pancarında (*Beta vulgaris saccharifera* L.) verim, kalite ve hasat kayıplarının belirlenmesi. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi* 25 (1): (2011) 17-25

Dohm, J. C., Minoche, A. E., Holtgräwe, D., Capella-Gutiérrez, S., Zakrzewski, F., Tafer, H., and Hmmlbauer, H. (2014). The genome of the recently domesticated crop plant sugar beet (*Beta vulgaris*). *Nature*, 505(7484), 546-549.

Eştürk, Ö. (2018). Türkiye’de şeker sektörünün önemi ve geleceği üzerine bir değerlendirme. *Anadolu İktisat ve İşletme Dergisi*, 2(1): 67-81.

FOASTAT, (2019). Food And Agriculture Organization Of The United Nations <https://www.fao.org/faostat/en/#data> (Erişim Tarihi: 13 Şubat 2025)

Kandil, E. E., Abdelsalam, N. R., Aziz, A. A. A. E., Ali, H. M., & Siddiqui, M. H. (2020). Efficacy of nanofertilizer, fulvic acid and boron fertilizer on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) yield and quality. *Sugar Tech*, 22(5), 782-791.

Özcan, E. (1993). Trakya bölgesinde bazı şeker pancarı çeşitlerinin verim ve verim unsurları üzerinde araştırmalar. Trakya Üniv. FBE Yüksek Lisans Tezi, 65 Sayfa.

Şahiner, A. ve Demir, İ., 2020. Kırşehir Ekolojik Koşullarında Bazı Şeker Pancarı (*Beta vulgaris L.*) Çeşitlerinin Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences 10 (2) (2020) 71-75.

Tosun, F., ve Arslan, S. (2016). 4634 Sayılı Şeker Kanunu sonrasında Türkiye Şeker Sanayinde meydana gelen gelişmeler. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25 (Özel sayı2): 328-333.

Tunalı ve ark., 2018. Determination of Distribution, Pathogenicity and Resistance of Some Varieties of Sugar Beet to *Cercospora beticola* Sacc. in Turkey. J. Turk. Phytopath., Vol. 47 No. 1, 21-30, 2018

TÜİK (2024) İstatistikler. <http://tuik.gov.tr/Start.do> (Erişim Tarihi: 09.01.2025).

Yağmur, H., Yasar, M. (2023). Investigation of yield and quality parameters of some sugar beet varieties in Muş ecological conditions. International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences, 7 (2), 436-447

Yaşar, M. ve Şahin, K. (2023). Şeker Pancarı Üretiminde Yetiştirici Uygulamaları: Muş İli Örneği. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13(3), 2195-2204.

Yaşar, M. (2022). Muş'ta Şeker Pancarı (*Beta Vulgaris L.*) Üretiminin Mevcut Durumu ve Üretimi Artırmanın Yolları Stratejik Sektör: TARIM Kitabı. Bölüm 2. Sayfa: 41-86. ISBN: 978-625-8405-49-1 Erişim Linki: <https://iksadyayinevi.com/wp-content/uploads/2022/03/Stratejik-Sektor-TARIM.pdf> İksad Yayınevi. Ankara/Türkiye 2022.

Yaşar, M., and Kendal, E. (2022). Muş şartlarına en uygun şeker pancarı çeşitlerinin belirlenmesi. munzur 4th international conference on applied sciences. ISBN: 978-605-71828-4-5

AUGUST 13- 14, 2022.TUNCELI, TURKEY. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum).

Yaşar, M., and Ekinci, R. (2021). Stability Analysis Of Sugar Beet Genotypes In Terms Of Yield And Sugar Ratios (*Beta Vulgaris* Var. *Saccharifera* L.). International Agricultural Congress Of Muş Plain, Proceeding Book Sayfa: 519-524. Isbn: 978-605-51370-69. 24-27 September 2019 Muş, Turkey

GENÇ ARAŞTIRMACILARIN TARIMA BAKIŞI

