

CİLT: 5 SAYI: 2 2025

Ereğli Tarım Bilimleri Dergisi

ISSN: 2822-4167

NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ EREĞLİ TARIM BİLİMLERİ DERGİSİ

Eregli Journal of Agricultural Sciences (EJAS)

ISSN: e-ISSN: 2822-4167

Cilt/Volume: 5, Sayı/Issue: 2 (Aralık / December 2025)
Uluslararası Hakemli Dergi / International Peer Reviewed Journal

Sahibi / Owner

Necmettin Erbakan Üniversitesi / Necmettin Erbakan University

Editör / Editor-in-Chief

Doç. Dr. Sevim Seda YAMAÇ

Yardımcı Editörler/ Associate Editors

Dr. Öğr. Üyesi Seda GÜNAYDIN

Yayın Türü / Publication Type

Sürekli Yayın / Periodical

Yayın Periyodu / Publication Period

Yılda 2 kez yayınlanır (Haziran ve Aralık) / Published twice-annual (June and December)

Baskı Tarihi / Print Date

Aralık / December 2025

Yazışma Adresi / Correspondence Address

Necmettin Erbakan Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Orhaniye Mah.
Üniversite Cad. no: 15 PK: 42310 Ereğli/KONYA

Tel / Phone: (0 332) 777 00 30

Web: <http://ereglitarimbilimleri.com>

E-posta / E-mail: info@ereglitarimbilimleri.com

Ereğli Tarım Bilimleri Dergisi yılda 2 kez yayınlanan uluslararası hakemli bir dergidir /
Eregli Journal of Agricultural Sciences is an international peer reviewed twice-annual journal

EDITORIAL BOARD

Prof. Dr. Ebrahim Amiri, Islamic Azad University, Iran
Prof. Dr. Yusuf Uçar, Isparta University of Applied Sciences, Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Pelin Alaboz, Isparta University of Applied Sciences, Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Başar Altuntaş, Kırşehir Ahi Evran University, Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Kübra Sultan Özdemir Bilici, İzmir Demokrasi University, Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Mehmet Akif Boz, Yozgat Bozok University, Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Ömer Ertuğrul, Kırşehir Ahi Evran University, Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Hasan Ali İrik, Erciyes University, Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Hamza Negiş, Selçuk University, Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Gonca Özmen Özbakır, Harran University, Türkiye
Assist. Prof. Dr. Önder Volkan Bayraktar, Siirt University, Türkiye
Assist. Prof. Dr. Furkan Çoban, Atatürk University, Türkiye
Assist. Prof. Dr. Akife Dalda Şekerci, Erciyes University, Türkiye
Assist. Prof. Dr. Yunus Emre Sekerli, Hatay Mustafa Kemal University, Türkiye
Assist. Prof. Dr. İnci Şahin Negiş, Selçuk University, Türkiye
Assist. Prof. Dr. Turcan Teker, Eskişehir Osmangazi University, Türkiye
Dr. Zuhair Hasnain, Pir Mehr Ali Shah Arid Agriculture University, Pakistan

LANGUAGE EDITOR

Assist. Prof. Dr. Furkan Ömer Kanarya, Necmettin Erbakan University, Türkiye
Dr. İsmail Çinkaya, Konya Institute for Water and Desertification Research, Türkiye

SPELLING EDITOR

Res. Asst. Muhammet İslam Işık, Necmettin Erbakan University, Türkiye

LAYOUT EDITOR

Dr. Mustafa Tevfik Hebecci, Necmettin Erbakan University, Türkiye

İçindekiler / Contents

Makale adı / Title of the article Yazar(lar) / Author(s)	Sayfa/Page
Türkiye’de Dikenli İncir (<i>Opuntia ficus-indica</i> L.) Üretimi: Sorunlar, Fırsatlar ve Çözümler Prickly Pear (<i>Opuntia ficus-indica</i> L.) Production in Türkiye: Problems, Opportunities and Solutions <i>Hayri Erdoğan, Orhan Kara</i>	55-59
Herbisit Safener’leri: Kimyasal, Moleküler ve Biyoteknolojik Yaklaşımlar Üzerine Güncel Bir Değerlendirme Herbicide Safeners: A Contemporary Review on Chemical, Molecular and Biotechnological Approaches <i>Esra Karaca</i>	70-83
Konya Koşullarında Farklı Soya Genotiplerinin Verim ve Kalite Özelliklerinin Değerlendirilmesi Evaluation of Yield and Quality Characteristics of Different Soybean Genotypes Under Konya Conditions <i>Ramazan Keleş, Hasan Koç, Berat Demir</i>	84-95
Ağaçlandırma Çalışmalarında Farklı Su Hasadı Teknikleri ve Örtü Malzemelerinin Etkinliğinin Belirlenmesi Determining the Effectiveness of Different Water Harvesting Techniques and Covering Materials in Afforestation Studies <i>Osman Çağırğan, Osman Mücevher, Mehmet Ali Dündar, Kemal Duyan, Erdal Gönülal, Durmuş Ali Kipritci, Feti Kirtiş</i>	96-103
Giberellik Asit (GA₃) Uygulamasının Ayçiçeği (<i>Helianthus annuus</i> L.) Islahında Kullanım İmkânlarının Araştırma Kekik Hidrolatının Asma Çeliklerinde Köklenmeye Etkileri <i>Abdullah Çil, Ayşe Nuran Çil, Hatice Hızlı</i>	104-116

Türkiye’de Dikenli İncir (*Opuntia ficus-indica* L.) Üretimi: Sorunlar, Fırsatlar ve Çözümler

Hayri Erdoğan^{1*}  Orhan Kara¹ 

Alata Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Mersin, Türkiye

Makale Bilgisi

Geliş Tarihi: 7.10.2025
Kabul Tarihi: 22.12.2025
Yayın Tarihi: 31.12.2025

Anahtar Kelimeler:

Dikenli incir,
İklim değişikliği,
Ekonomi,
Türkiye,
Mekanizasyon.

ÖZET

İklim değişikliğinin neden olduğu kuraklık, düzensiz yağış ve artan sıcaklıklar, tarımsal üretim üzerinde ciddi kısıtlamalar oluşturmaktadır. Türkiye’de, su kaynaklarının verimli kullanımı ve gıda güvenliğini sağlamak ve kırsal kalkınmayı desteklemek için kuraklığa dayanıklı alternatif bitkilerin üretim sistemlerine dâhil edilmesi önemli bir zorunluluk haline gelmiştir. Crassulacean Asit Metabolizması (CAM) fotosentezi sayesinde su kullanım etkinliği yüksek olan dikenli incir (*Opuntia ficus-indica* L.), bu anlamda stratejik bir potansiyel sunmaktadır. Dikenli incir Türkiye’nin Ege ve Akdeniz bölgelerine adaptasyon sağlamış olup; yaş meyve, gıda, yem, erozyon kontrolü ve biyokütle üretimi gibi kullanım alanlarıyla ön plana çıkmaktadır. Türkiye’de üretim doğal popülasyonlarla sınırlı kalmış, modern tarım uygulamaları ve işleme altyapısı yeterince gelişmemiştir. Çeşit standardizasyonu eksikliği, hasat ve diken temizleme güçlükleri ile pazarlama yetersizlikleri, ekonomik değerlendirmeyi sınırlandıran temel faktörlerdir. Buna karşın dikenli incir, düşük su gereksinimi, yüksek besin içeriği ve işlenebilirliği sayesinde sürdürülebilir tarım ve kırsal kalkınma açısından önemli bir fırsat sunmaktadır. Katma değerli ürün üretimi, markalaşma ve kooperatifleşme süreçlerinin desteklenmesi; çeşit ıslahı, mekanizasyon ve soğuk zincir altyapısının geliştirilmesi gerekmektedir. Dikenli incir yetiştiriciliği; bilimsel yöntem ve çok paydaşlı stratejilerle, katma değeri yüksek ürünlerin geliştirilmesi, su kaynaklarının etkin kullanımı ve yerel ekonomilerin güçlendirilmesi durumunda, sürdürülebilir tarıma önemli katkı sağlayabilecek potansiyele sahiptir. Bu çalışma, mevcut literatür, kaynak, veri ve kayıtlar ile Türkiye’de dikenli incir yetiştiriciliğinin mevcut durumunu, ekonomik önemini, karşılaşılan sorunları, çözüm önerilerini ve ortaya çıkan fırsatları değerlendirmektedir.

Prickly Pear (*Opuntia ficus-indica* L.) Production In Türkiye: Problems, Opportunities and Solutions

Article Info

Received: 7.10.2025
Accepted: 22.12.2025
Published: 31.12.2025

Keywords:

Prickly pear,
Climate change,
Economy,
Türkiye,
Mechanization.

ABSTRACT

Drought, irregular rainfall, and rising temperatures caused by climate change are placing serious limitations on agricultural production. In Türkiye, incorporating drought-resistant alternative crops into production systems has become a crucial necessity to ensure the efficient use of water resources, food security, and support rural development. Prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.), with its high water use efficiency thanks to Crassulacean Acid Metabolism (CAM) photosynthesis, offers strategic potential in this respect. Prickly pear has adapted to the Aegean and Mediterranean regions of Türkiye and stands out for its uses in fresh fruit, food, feed, erosion control, and biomass production. In Türkiye, production has remained limited to natural populations, and modern agricultural practices and processing infrastructure have not been sufficiently developed. Lack of variety standardization, difficulties in harvesting and thorn removal, and inadequacies in marketing are the main factors limiting economic evaluation. In contrast, prickly pear offers a significant opportunity for sustainable agriculture and rural development due to its low water requirements, high nutritional content, and ease of processing. Supporting value-added product manufacturing, branding, and cooperative processes; improving variety breeding, mechanization, and cold chain infrastructure are necessary. Prickly pear cultivation has the potential to make a significant contribution to sustainable agriculture if it is implemented using scientific methods and multi-stakeholder strategies, developing high value-added products, ensuring efficient use of water resources, and strengthening local economies. This study evaluates the current status, economic importance, challenges, proposed solutions, and emerging opportunities of prickly pear cultivation in Türkiye using existing literature, resources, data, and records.

Bu makaleyi alıntılar için:

Erdoğan, H., & Kara, O. (2025). Türkiye’de dikenli incir (*Opuntia ficus-indica* L.) üretimi: Sorunlar, fırsatlar ve çözümler. *Ereğli Tarım Bilimleri Dergisi*, 5(2), 55-69.

*Sorumlu Yazar: Hayri Erdoğan, hayri.erdogan@tarimorman.gov.tr



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ

Dünyada artan sıcaklık, kuraklık, düzensiz yağış rejimleri ve bunlara bağlı olarak iklimdeki değişiklik, tarımsal üretim sistemlerine direk tesir eden en önemli temel sorunlardan biri durumuna gelmiştir (FAO, 2020; IPCC, 2021). Akdeniz iklim kuşağında yer alan ülkelerde bu sorunlar daha görünür bir hale gelmekte; su kaynaklarının azalması, tarımsal üretimde daralma ve birim alanda verim kayıpları yaşanmaktadır. Türkiye, coğrafi konumu ve yarı kurak iklim özellikleri nedeniyle bu risklerden aşırı derecede etkilenmekte, gıda güvenliği ve kırsal kalkınma açısından sürdürülebilir çözümler geliştirme ihtiyacı duymaktadır. Çözümler geliştirme noktasında; kuraklığa dayanıklı ve düşük girdi gerektiren alternatif bitki türlerinin tarımsal üretim yöntemlerine entegrasyonu büyük önem taşımaktadır (Nobel, 2002; Barbera ve ark., 2010). Bu türler arasında öne çıkan dikenli incir, Amerika'nın sıcak ve tropik bölgelerinde, Anadolu'da ise Güney bölgelerde doğal olarak yetişen kaktüsgiller (Cactaceae) familyasından bir meyvedir. Ülkemizde, hint inciri, kaynana dili, tahta yemişi ve kilis inciri gibi birbirinden farklı adlarla bilinmektedir (Karadeniz, 2004; Bak ve ark., 2023). Kökeni Amerika kıtalarına dayanmasına rağmen, Akdeniz havzasına, özellikle de Türkiye'nin sahil kuşağına mükemmel bir şekilde adapte olmuş, dayanıklı ve çok yıllık bir bitki olarak ön plana çıkmaktadır (Türkay ve ark., 2024).

Dikenli incir (*Opuntia ficus-indica* L.), yüksek ekolojik adaptasyon yeteneği ile dikkat çekmektedir. Crassulacean Asit Metabolizması (CAM) fotosentez mekanizması sayesinde suyu son derece verimli kullanabilen bu bitki, yüksek sıcaklık, kuraklık ve tuzluluk gibi abiyotik stres koşullarına karşı güçlü bir toleransa sahiptir (Nobel, 2002). Günümüzde dikenli incir Meksika, İtalya, Fas, İspanya ve Güney Afrika gibi ülkelerde hem meyve üretimi hem de hayvancılıkta yem kaynağı olarak yaygın şekilde değerlendirilmektedir (İnglese ve ark., 2017). Türkiye'de ise dikenli incir, özellikle Ege ve Akdeniz bölgelerinde doğal yayılım göstermekte ve geleneksel ölçekte, çoğunlukla kırsal kesimde ve yerelde taze tüketim amacıyla kullanılmaktadır (Yılmaz, 2010; Dumanoglu ve Turanberk Özerden, 2025). Ancak bitkinin fonksiyonel gıda potansiyeli (Martins ve ark., 2023), hayvan yemi olarak kullanımı (Pastorelli ve ark., 2022), erozyon kontrolündeki etkinliği (Le Houérou, 1996) ve biyoenerji hammaddesi olabilmesi (Varela Pérez, ve ark., 2024), onu çok yönlü ve ekonomik açıdan değerli bir tür haline getirmektedir. Buna rağmen, Türkiye'deki yetiştiricilik faaliyetleri çoğunlukla doğal popülasyonlara dayalı olup, sistematik tarım uygulamaları, mekanizasyon, modern yetiştiricilik teknikleri ve pazarlama stratejileri yönünden önemli eksiklikler bulunmaktadır (Anonim, 2019).

İklim değişikliği ve su kıtlığı baskısı, dikenli incirin Türkiye tarımında alternatif bir bitki olarak değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Bitkinin hem gıda güvenliği hem de kırsal kalkınma açısından sunduğu fırsatlar, sürdürülebilir üretim modellerinin geliştirilmesi için önemli bir yol haritası ortaya koymaktadır (FAO / ICARDA, 2017; Naorem ve ark., 2024).

Bu çalışma bugüne kadar yapılmış bilimsel çalışmalar, literatürler, kaynaklar ve kayıtlar ışığında; Türkiye'de dikenli incir yetiştiriciliğinin mevcut durumu, karşılaşılan sorunları, fırsatları ile çözüm önerilerini kapsamlı bir şekilde değerlendirmeyi, aynı zamanda konuya dikkat çekmeyi ve farkındalık oluşturmayı amaçlamaktadır. Sonuç olarak; çalışmanın temel amacı, hem akademik ve araştırma çevrelerine hem de doğrudan üreticilere yol gösterici bir çerçeve sunmaktır. Bu açıdan, dikenli incirin tarım dışı arazilerin kullanımı, tarımsal çeşitliliğin artırılması, gıda güvenliğinin sağlanması, kırsal kalkınmanın desteklenmesi, iklim değişikliği gibi konularda stratejik bir ürün olarak ele alınması ve bu doğrultuda politika geliştirme süreçlerine yönelik katkı sunmayı hedeflenmektedir.

Fizyolojik ve Morfolojik Özellikler

Fizyolojik özellikler

Dikenli incir, Crassulacean Asit Metabolizması (CAM) fotosentez mekanizması sayesinde kuraklığa mükemmel bir şekilde adapte olmuştur. Bu Bitkide, su kaybını en aza indirmek için stomalar gündüzleri kapalı, geceleri ise açıktır. Bu fizyolojik adaptasyon, bitkinin en yüksek buharlaşma oranının yaşandığı sıcak gündüz saatlerinde su kaybetmesini engeller. Bunun yerine, fotosentez için gerekli olan karbondioksiti (CO₂) serin ve nemli olan geceleri alır. Gece alınan CO₂, PEP-karboksilaz enzimi ile organik asitlere dönüştürülerek vakuollerde depolanır; gündüz ise stomalar kapalıyken bu asitler parçalanır ve açığa çıkan CO₂, rubisco enzimi ile fotosentez döngüsünde kullanılır. Böylece fotosentez, gündüz boyunca dış ortamdan CO₂ alımına gerek kalmadan devam eder. Bu mekanizma sayesinde CAM bitkilerinde 1 g CO₂ fiksasyonu için yalnızca 50 - 100 g su kaybolurken, bu miktar C4 bitkilerinde yaklaşık 500 g, C3 bitkilerinde ise 1000 g’dır. Ayrıca dikenli incirin etli ve sulu yapıya sahip kladotları (yaprakları), önemli miktarda su depolayarak uzun süreli kuraklık dönemlerinde, çöl gibi aşırı sıcak ve kuru iklimlerde hayatta kalmasına imkân verir. Sonuç itibarıyla CAM fotosentezi ve yüksek su tutma kapasitesi, dikenli inciri su kullanım etkinliği yüksek ve kuraklığa dayanıklı önemli bir bitki haline getirmektedir (Nobel, 1998; Ayyıldız ve ark., 2020).

Morfolojik özellikler

Dikenli incir, çalıdan ağaca değişen formlarda, 5 - 8 metreye kadar boyolanabilen, çok yıllık ve etli (sukkulent) bir bitkidir (Ak, 2007). Klorofil içeren, yassı ve etli gövdeleri (kladotlar) aslında yaprak görevi görür ve su kaybını azaltan bir kütikula ile kaplıdır (Uzun ve Şengül, 1994; Nobel, 2002). Bu bitkinin güçlü kök sistemi, hem derinlere hem de yanlara doğru yayılarak toprağı sıkıca tutar. Bu sayede, eğimli arazilerde erozyonu önler ve yüzey akışını azaltarak suyun daha verimli kullanılmasını sağlar (Le Houérou, 1996). Dikenli incirin kök yapısı, bulunduğu ortama göre uyum sağlayabilir (Snyman, 2006). Uygun topraklarda 30 cm’e kadar derine inen bir kazık kök gelişirken, kurak koşullarda bu kökten çıkan etli yan kökler daha derinlerdeki nemi emer. Bununla birlikte, her türlü toprakta, yüzeyin ilk 30 cm’lik kısmında geniş bir alana yayılan çok sayıda emici kök bulunur (FAO / ICARDA, 2017).

Dikenli incir’de kök sistemi 20 - 30 cm’lik iskelet köklerden oluşur; nemle hızla emici “yağmur kökleri” geliştirir (North ve ark., 1992; Dubrovsky ve ark., 1998), mahmuzlardan ve areollerden de kökler çıkabilir. Kökler mikoriza ile ilişkili olup su eksikliğinde endodermal hücre sayısı artar. Çiçekler çoğunlukla tek yıllık kladotlarda oluşur (FAO / ICARDA, 2017), erselik, gösterişli, çok sayıda erkek organlıdır, taç yaprakları sarı-kırmızı olup kısa sürede kahverengiye döner (Nerd ve ark., 1989; Uzun ve Şengül, 1994). Meyveler 5 - 10 cm uzunluğunda, sert kabuklu, tatlı ve düşük asitlidir (Uzun ve Şengül, 1994), Türkiye tiplerinde ortalama 74,4 mm uzunluk ve 235 çekirdek ile “orta” gruptadır (Chessa ve Nieddu, 1997; Ak, 2006); abortif çekirdek oranı çeşitlere göre değişir (Inglese ve ark., 1993). Bitki bir kladotta 20-25 meyve verebilir (Ak, 2007). Kladotlar ise su depolayan CAM yapılar olup (Buxbaum, 1955; Hunt ve Taylor, 1986), 30 - 40 cm (nadiren 70 - 80 cm) uzunluğunda ve su tutan depolayan öz dokusuyla (Nobel, 1994), kuraklığa uyum sağlayan organlardır (Şekil 1).

Şekil 1*Kladot, çiçek, meyve, çekirdek ve diken (Orijinal Fotoğraf)***Yetiştiricilik ve Mevcut Durum**

Çoğunlukla yabani olarak yetişen dikenli incirin; başta Meksika olmak üzere Şili, Brezilya, Arjantin, İtalya ve Amerika Birleşik Devletleri gibi birçok ülkede kültüre alınarak yetiştiriciliğinin yapıldığı görülmektedir. Kültüre alınmış olarak üretimin yapıldığı dünyanın en önemli dikenli incir üreticisi Meksika'dır. Meksika'yı İtalya, Güney Afrika ve Şili takip etmektedir. Dikenli incir yetiştiren diğer ülkeler ise Peru, Kolombiya, Ürdün, Mısır, Tunus, Cezayir, Fas, İsrail, İspanya ve Yunanistan'dır (Nobel, 1998). Meksika üretimin %70'ni taze, %30'unu işlenmiş gıda olarak tüketicilere ulaştırdıkları belirtilmektedir (SIAP, 2018; Dumanlı ve ark., 2020). İtalya'da dikenli incir üretimi genellikle Sicilya adasında yapılmaktadır. Meyve eti rengine göre üç gruba ayrılabilir: Gialla (sarı), Bianca (beyaz), Rossa (kırmızı). Gialla, verimli ve tüketiciler tarafından çok sevildiğinden dolayı %90 oranında en fazla plantasyona sahiptir. (Barbera ve ark., 1992). En popüler dikenli incir çeşidi "Gialla"dir. Dikenli incir bahçelerinde modern tüm kültürel uygulamalar yapılmaktadır. Meyveler ülke içinde satılmakla birlikte ihraç da edilmektedir. Dikenli incir üretimi gün geçtikçe artma eğilimindedir ve ülkede henüz verime yatmamış birçok bahçe bulunmaktadır. İspanya'da dikenli incir plantasyonları 5x4, 5x5, 5x7 ve 6x4 metre mesafelerle, genellikle Kuzey - Güney yönünde dikilmekte ve damla sulama sistemi ile sulama yapılmaktadır (Barbera ve ark., 1992; Nobel, 1998).

Dikenli incir kuraklığa dayanıklı olmakla birlikte, Akdeniz koşullarında ideal verim almak için yaz aylarında ek sulamaya ihtiyaç duymaktadır. Sulama, vejetatif büyümeyi, kladot oluşumunu ve gölgelik alanın genişlemesini teşvik etmekte; sulanan bitkilerde meyve verimi sulanmayanlara göre daha yüksek olmaktadır. Yüzey, damla ve yağmurlama sulama sistemleri kullanılarak hem suyun etkinliği hem de etkin gübreleme sağlanabilmekte, böylece verimin miktarı ve kalitesi yükselmektedir (Ahmed ve ark., 2024). Öte yandan, ekim zamanı da verim üzerinde etkili olmaktadır. Temmuz ayında dikilen dikenli incir kladotlarının diğer dönemlere göre daha iyi gelişim gösterdiği bildirilmiştir. Bununla birlikte, bu durum gübreleme ve sulama gibi uygulamalarının yanında, toprak tipi ve yağış miktarına bağlı olarak da değişebilmektedir (Kumar ve ark., 2021). Düşük yağışlı ve su kaynakları kısıtlı

bölgelerde az sulama sayesinde dikenli incir’de verim önemli ölçüde artırmaktadır. Meyve büyüme döneminde tek bir sulama, iki sulamadan daha iyi sonuç vererek sulamanın sınırını ve aşırı sulamanın dezavantajlarını ortaya koymaktadır. Aşırı sulama uygulamaları ise meyvenin kimyasal kalitesini olumsuz etkilememiştir (Arba ve ark., 2018).

Şekil 2

Kültüre alınmış dikenli incir (Orijinal Fotoğraf)



Dikenli incir bitkileri, fizyolojik ve morfolojik özellikleri bakımından diğer ürünlerden farklı olduğundan, klasik agronomik tavsiyeler doğrudan uygulanamaz. Dikenli incir bahçeleri için sulama yöntemleri ve organik gübreleme, özellikle yeni ıslah edilmiş çöl alanlarında çok önemlidir ve araştırılmalıdır (Ahmed ve ark., 2024). Dikenli incirde yatay yan dikim, en hızlı başlangıç büyümesini ve yüksek üretim performansını sağlayarak kurak bölgeler için önerilen en uygun dikim yöntemi olmuştur. Dik kladot dikiminde ise en iyi kuru madde ve meyve verimi doğu - batı yönelimiyle elde edilmiştir; kladotun üçte ikisinin toprağa gömülmesi köklenmeyi artırıp rüzgar zararını önlemektedir (Homrani ve ark., 2016). Caloggero ve Parera (2004) yaptıkları çalışmada dikimlerde çift ve tek kladot dikim sistemleri uygulanmış, 5 x 2,7 m aralıkla 741 bitki/ha yoğunluğu sağlanmıştır. Çift kladot sistemi, tüm mevsimlerde tek kladot sistemine göre daha fazla fotosentez alanı ve kladot sayısı sunmuş; toplam üretim ise çift kladot sisteminde iki katı olarak gerçekleşmiştir. Şekil 2’de kültüre alınmış dikenli incir bahçelerinde yüksek meyve verimi ve kalitesi için sulama, meyve seyreltmenin yanında yıllık kladot budaması da önemlidir. Budama, bitkinin formunu korur, verimsiz veya yanlış konumlanmış kladotları temizler, meyve oluşumunu teşvik eder, hijyen sağlar ve sonraki sezon için büyüme dengesini destekler (Zegbe, 2020). Dikenli incir’de yaygın “budama gereksiz” inancı nedeniyle bu işlem çoğu zaman ihmal edilmekte, sonuçta ürün miktarında azalma görülmektedir. Yere yakın, kurumuş veya şekli bozan dallar kışın budanmalıdır. Ağaçlar genellikle küresel şekilli ya da gobleye benzer çalı formunda terbiye edilir; İtalya’da ticari bahçelerde çit, küresel veya vazo (goble) formu uygulanır. Küresel form, bakımı kolaylaştırır da gölgelenme nedeniyle ürün dış yapraklarda yoğunlaşır; vazo formunda bitki yerden 40 - 60 cm yükseklikten dallandırılır. Dikim sonrası 3 - 4 yılda uç yapraklar alınır, verime yatınca ana yaprak üzerinde ikiden fazla tek yıllık yaprak bırakılmaz. Bitki başına 80 -120 tek yıllık yaprak bırakılması önerilir. Budama, erken ilkbaharda bitkiler uyanmadan önce yapılmalı; meyve veren iki yıllık yapraklar ve iç kısımlardaki az çiçekli yapraklar alınmalıdır. İhracatta yaprak başına 6’den fazla meyve bırakılmamalıdır. İtalya’da genç yapraklar ile çiçekler koparılmak suretiyle bitkinin yeniden çiçeklenmesi sağlanır. Bu işleme İtalya’da “scozzolatura”, Tunus’ta “yakhsi” adı verilir (Uzun ve Şengül, 1994).

Türkiye'de sadece Mersin, Adana, Osmaniye, Hatay, Antalya ile Güney Ege sahillerinde doğal olarak yetişen dikenli incir, yaz aylarında toplanarak yerel pazarlarda satılmaktadır. Türkiye'de resmi istatistiklerde dikenli incir üretim miktarı konusuna ait bir veri bulunmamaktadır. Dikenli incir, yıllık ortalama 100 - 600 mm yağış alan, ılık kış ve sıcak yaz iklimlerine sahip bölgelerde yetişmektedir. Ekonomik verim için yıllık yağışın 300 mm'nin altına düştüğü alanlarda sulama gereklidir. İdeal toprak derinliği en az 60-70 cm olmalı, drenajı zayıf, taban suyu yüksek ve kil oranı %20'nin üzerinde olan topraklar tercih edilmemelidir. Bitkinin tuzluluğa karşı toleransı düşüktür. Bu nedenle, tuzluluk sorunu olan topraklarda yetiştiriciliği tavsiye edilmez (Ayyıldız ve ark., 2020). Dikenli incirin meyvesinin yenilebilir olgunluğa erişme dönemi, kuzey yarım kürede Haziran-Kasım ayları arasında, Türkiye'de ise genellikle Ağustos ve Eylül aylarına denk gelmektedir. Hasat işlemi, mikrobiyal çürüme riskini azaltmak amacıyla sabahın erken saatlerinde, keskin bir bıçak yardımıyla ve ana kladottan (etli gövde) küçük bir parça bırakılarak yapılmalıdır. Hasat periyodu, meyve olgunlaşma sürecine bağlı olarak yaklaşık 2 ila 6 hafta sürebilir. Bitki, dikimden sonraki 2 - 3. yıllarda meyve vermeye başlasa da, ekonomik anlamda tam verim çağına 7 - 8 yaşlarında ulaşır. Dekar başına ortalama verim 1 ila 3 ton arasında değişmektedir. İhracat açısından tercih edilen meyveler, 120 gramın üzerinde ağırlığa ve %55'in üzerinde meyve et verimine sahip olmalıdır (Zoghlam ve ark., 2002; Yılmaz, 2010; Güzel, 2019). Çoğunlukla subtropik iklim koşullarına adaptasyon göstermiş (Yılmaz, 2010-2013; Güzel, 2019) doğal yetişen dikenli incir, Türkiye'de henüz düzenli ve planlı kültüre alınmış olarak yetiştirilmemektedir. Bu durum, bitkinin potansiyelinden tam olarak yararlanılamamasına ve tarımsal üretimdeki belirsizliklerin devam etmesine yol açmaktadır. Türkiye'de dikenli incirinin ekonomik anlamda yetiştirildiği tarımsal işletmeler henüz mevcut değildir. (Karababa ve ark., 2004; Ak, 2006). Türkiye'de çeşit İslahı konusunda; Mersin, Adana, Osmaniye, Hatay (Yılmaz ve ark., 2016) ve Muğla (Sert ve ark., 2023) illerini kapsayan bazı seleksiyon çalışmaları yapılmış olup, mevcut literatürlerde; dikenli incirin çoğaltma yöntemleri, toprak işleme teknikleri, dikim mesafeleri, budama, çapalama, gübreleme ve sulama gibi temel tarımsal uygulamalarla ilgili kapsamlı bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bu eksiklik, bitkinin verimli ve sürdürülebilir bir şekilde yetiştirilmesini engellemektedir. Özellikle, bitkinin adaptasyon süreçleri, su yönetimi ve toprak verimliliği üzerindeki etkileri gibi konulara dair bilimsel veriler yok denecek kadar sınırlıdır.

İçerik ve Besin Değerleri

Dikenli incir, zengin besin içeriği ve biyoaktif bileşenleriyle dikkat çeken, sağlık açısından oldukça faydalı bir meyvedir. Meyvenin kuru maddesindeki temel bileşenler, glukoz ve fruktoz gibi basit şekerlerden oluşan karbonhidratlardır. Bitki, yüksek diyet lifi içeriği sayesinde sindirim sisteminin düzenlenmesine katkıda bulunur ve kabızlık gibi sorunların önlenmesinde etkilidir. Makro besinler açısından protein ve yağ oranı oldukça düşüktür. Dikenli incir, C vitamini başta olmak üzere A, B1, B2, B6 ve E vitaminleri gibi önemli bir vitamin kaynağıdır. Ayrıca potasyum ve kalsiyum gibi makro minerallerin yanı sıra magnezyum, fosfor, sodyum, çinko ve demir gibi elementleri de bünyesinde barındırır. İçerdiği fenolik bileşenler, flavonoidler ve betasiyaninler gibi güçlü antioksidanlar, serbest radikallerin neden olduğu hücresel hasara karşı koruma sağlayarak anti - kanser ve anti - diyabetik gibi sağlık üzerindeki olumlu etkilerini desteklemektedir (Mantins ve ark., 2023). Tablo 1'de dünyanın farklı bölgelerindeki dikenli incir ekotiplerinin fizikokimyasal ve besin içerik değerleri verilmiştir (Mantins ve ark., 2023).

Tablo 1*Dünyanın farklı bölgelerindeki dikenli incir ekotiplerinin fizikokimyasal ve besin içerikleri*

Ülke	Eko Tip	KM (%)	Su (%)	Kül (%)	Karbonhidrat (%)	Protein (%)	Lipid (%)	DF (%)	AA (%)	PC $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$
Meksika	Potosino-Zacatecano 18 çeşidi	10-15	85-90		T: 10-17 RS: 5-14	1.4-1.6	0.50	2.40	4.6- 41	-
	Naranjona (sarı/turuncu)	-	-	-	-	-	-	-	1.5-2.0	10-65
	Pelon rojo (kırmızı)	7.52	92.48	13.14	-	TE	0.94	SDF: 8.12 IDF: 19.39	-	1.54
	Alfajayucan (yeşil)	5.41	94.59	17.07	-	TE	1.40	SDF: 7.98 IDF: 34.95	-	2760
İtalya	Beyaz	-	-	-	Glu:6.4 Fruk:5.7	0.33	-	-	33	-
	Kırmızı/Mor	-	-	-	Glu:6.0 Fruk:5.4	0.33	-	-	31	-
	Sarı/Turuncu	16.10	83.30	-	Glu:2.4 Fruk:1.04	-	-	-	30.2	69.8
İspanya	Yeşil	17.99	82.01	0.41	-	0.87	0.48	5.65	17.1	45.0
	Turuncu	17.39	82.61	0.37	-	0.94	0.53	4.86	17.2	45.4
	Kırmızı	-	-	-	-	-	-	-	18.5	218.8
A.B.D	Yeşil								45.8	242
	Turuncu								51.1	247
	Kırmızı								70.2	335
	Mor								95.4	660
Arjantin	-	15.80	84.20	0.51	10.27	0.99	0.24	3.36	22.56	-
	Sarı	14 - 18	82 - 86	-	-	-	-	-	25-32	60 - 77
	-	16.20	83.80	0.44	14.06	0.82	0.09	0.23	20.33	-
Şili	Turuncu	-	-	-	-	-	-	-	-	371.95
	Mor	-	-	-	-	-	-	-	-	777.43
	Fas - Sarı	14.49	85.51	0.29	RS: 15.23	0.28	-	-	-	-
Fas Cezayir	-									1.50
	Fas- Kurnızı									1.78
	Cezayir	5.60	94.40	1.0	Glu:29 Fruk:24 Suc:0.19	1.45	0.70	-	-	-
Mısır	6 yerel çeşit ortalamaları	17.72 - 19.24	80.76 - 82.28	1.85 - 2.12	Suc: 14.9	5.09-7.62	2.52- 3.17	-	1050- 1200	-
	-	14.90	85.10	0.40	-	0.80	0.70	0.10	25	-
	Beyaz (meyve)	17.4	82.6	0.43	T: 14.3 RS: 10.7	0.49	0.15	TDF: 1.5	26.5	37.3
Portekiz	Turuncu (meyve)	15.5	84.5	0.57	T: 18.7 RS: 14.2	0.56	0.12	TDF: 1.7	21.4	43.9
	Kırmızı (meyve)	5.2	84.8	0.49	T: 17.5 RS: 12.9	0.50	0.10	TDF: 1.2	20.6	46.2
	-				T:8.26 -11.4 Glu:4.44 - 6.18					
Güney Afrika (Cape)	Beş farklı çeşit	15.3 - 19.2	80.8 - 84.7	-	Fruk:3.25- 3.24 Suc:0.08-0.24	-	-	-	-	-

Açıklama: KM:Kuru madde, DF: diyet lifi, AA: askorbik asit, PC: fenolik bileşikler, T: toplam, RS: indirgen şeker, Glu: Glukoz, Fruk: Fruktöz, Suc:sakkaroz, SDF: çözünür diyet lifi, IDF: çözünmeyen diyet lifi

Kullanım Alanları

Dikenli incir meyve ve kladotları, yüksek besleyici özellikleri, vitaminler ve tıbbi içerikleri nedeniyle çok değerli bir bitkidir (Hegwood, 1990). Türkiye’de genellikle taze meyve olarak tüketilse

de diğer ülkelerde çok çeşitli şekillerde değerlendirilmektedir (Ak, 2007). Dikenli incir meyveleri, taze tüketimin yanı sıra tatlı, şurup, reçel, marmelat ve konserve yapımında kullanılabildiği gibi, alkollü ve alkolsüz içecek üretiminde de yer bulmaktadır. Ayrıca kurutulularak da tüketilmektedir (Ak, 2007; Türkay ve ark., 2024). Taze tüketimde düşük asitlik ve yüksek pH özellikleri nedeniyle hızla bozulabilen dikenli incir, kısa sürede fermantasyona uğrayabilmektedir. Son yıllarda ambalajlama ve gıda teknolojilerindeki gelişmeler, ürünün raf ömrünü uzatarak hem iç hem de dış pazarlarda daha yaygın şekilde sunulmasına olanak sağlamıştır. Dondurulmuş ürünler şeklinde de tüketiciye ulaştırılan meyveler, kalite ve aroma değerlerini koruyarak uluslararası pazarda rekabet gücü kazandırmaktadır (Ayyıldız ve ark., 2020). Dikenli incirin sadece meyvesi değil, genç kladotları da değerlendirilmektedir. Özellikle Meksika'da kladotlar sebze olarak tüketilirken, aynı zamanda kurak bölgelerde hayvan yemi olarak da değerlendirilmektedir. Bu amaçla özel olarak sık dikim bahçeleri kurulmaktadır (Ak, 2007; Türkay ve Ark., 2024). Kladotlar, gıda endüstrisinde de kendine yer bulmuştur. Amerika Birleşik Devletleri ve Meksika'da lif açısından zengin olan bu kısımlar un haline getirilerek tahıl gevrekleri gibi diyet ve zayıflama ürünlerinde kullanılmaktadır. Örneğin Meksika'da bir şirket, kladotlardan "Kladot suyu" adlı bir içecek üretirken, Amerika Birleşik Devletleri'nde başka bir şirket böğürtlen ve yaban mersini ile karıştırarak şurup haline getirip pazara sunmaktadır. Dikenli incir, yalnızca gıda sektöründe değil, gıda dışı endüstrilerde de önemli bir hammadde olarak değerlendirilmektedir. Bitkisel kaynaklı ürünlere yönelik artan talep doğrultusunda, özel beslenme gereksinimi olan bireyler için alternatif gıda takviyeleri sunmaktadır. İçeriğinde bulunan yüksek kaliteli biyolojik bileşenler, sabun, krem, vücut losyonu, yüz maskesi ve şampuan gibi kozmetik ürünlerin üretiminde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, özellikle Güney Amerika'daki turistik bölgelerde dikenli incir ürünleri işlenerek sepet ve benzeri hediyelik eşyalar şeklinde pazarlanmaktadır. Kladotlar üzerinde yetiştirilen koşnil böceğinden elde edilen karmin pigmenti, doğal boya üretiminde değerlendirilmektedir. Ayrıca son yıllarda, özellikle Amerika Birleşik Devletleri'nde dikenli incir kladotlarının biyodizel üretiminde potansiyel bir enerji kaynağı olarak kullanımına yönelik araştırmalar gerçekleştirilmektedir (Ayyıldız ve ark., 2020). Dikenli incir; meyvesi, çekirdekleri ve kladotlarıyla gıdadan kozmetiğe, hayvan yeminden biyoyakıta kadar geniş bir yelpazede değerlendirilebilen çok yönlü bir bitkidir ve gelecekte kullanım alanlarının daha da genişleyeceği öngörülmektedir.

Ekonomik Önemi

Dikenli incir, kurak ve yarı kurak bölgelerde yetiştirilebilen, düşük girdi gereksinimi ile dikkat çeken ve ekonomik değeri giderek artan bir bitki türüdür. Özellikle meyvesi, genç sürgünleri, yem hammadde olarak kullanılan kısımları ve türev ürünleriyle birçok sektöre hammadde sağlamaktadır. Dikenli incir üretimi, dünya genelinde az sayıda ülke tarafından gerçekleştirilmektedir. Meksika, yıllık yaklaşık 500.000 tonluk üretimiyle dünya üretiminin yaklaşık %80'ini karşılayarak lider konumdadır (FAO / ICARDA, 2017). Meksika'da yapılan ekonomik analizlere göre, dikenli incir sektörünün ülke ekonomisine katkısı oldukça yüksektir. Soberon ve ark., (2001)' de yaptığı çalışmada, sadece dikenli inciri meyvesinin iç ve dış piyasaya toplam ekonomik girdisi yıllık yaklaşık 100 milyon dolar olarak hesaplanmış; bu değer yarısı ihracat kaynaklı olarak raporlanmıştır. Bu durum, ürünün sadece iç pazarda değil, aynı zamanda uluslararası ticarete de önemli bir tarımsal emtia haline geldiğini göstermektedir. Dikenli incir, gıda sektörünün yanı sıra, ilaç, kozmetik ve hayvancılık gibi birçok farklı endüstride de kullanılarak çok yönlü ekonomik fayda sunmaktadır. Bu veriler, bu bitkinin doğru stratejiler ile küresel ekonomide ne kadar değerli olabileceğini göstermekte, özellikle kuraklıkla mücadelede sürdürülebilir tarım politikalarının merkezinde yer almaya namzettir.

Türkiye, sahip olduğu uygun iklim koşulları sayesinde dikenli incir yetiştiriciliği için elverişli bir ülkedir. Özellikle Akdeniz ve Ege kıyılarında yer alan Mersin, Antalya, Adana, Hatay ve İzmir illerinde bu bitki doğal olarak yetişmekte ve yerel pazarlarda tüketilmektedir. Ancak üretim, çoğunlukla

kendiliğinden yetişen alanlarla sınırlı kalmış; ticari ölçekte organize bir yapıya kavuşamamıştır. Bu durum, yüksek potansiyele sahip olan ürünün ekonomik açıdan yeterince değerlendirilememesine yol açmaktadır. Üretimin yaygınlaşmasının önünde başta hasat ve işleme güçlükleri olmak üzere çeşitli yapısal engeller bulunmaktadır. Meyvenin dikenli yapısı, hasadı zahmetli hale getirerek işçilik maliyetlerini artırmakta ve lojistik süreçleri zorlaştırmaktadır. Türkiye’de dikenli incir, meyve suyu, reçel, marmelat, kozmetik ve fonksiyonel gıdalar gibi katma değerli ürünlerin üretiminde değerlendirilebilecek önemli bir tarımsal kaynak niteliği taşımaktadır. Mersin ilinde yapılan saha çalışmaları ve yerel otoritelerin verilerine göre, bölgede yıllık yaklaşık 25.000 ton üretim gerçekleştirilmektedir. Her ne kadar hasat sürecindeki zorluklar maliyetleri yükseltse de, ürünün yerel pazarlarda sağladığı gelir özellikle küçük aile işletmeleri için önemli bir ekonomik katkı sunmaktadır (Anonim, 2023). Dikenli incir, düşük su gereksinimi, yüksek biyokütle üretimi ve çok yönlü kullanım alanları sayesinde tarımsal sürdürülebilirlik açısından dikkat çekici bir alternatiftir. Özellikle kurak ve düşük verimli tarım arazilerin üretime kazandırılmasında stratejik bir rol oynayabilir. Dünya genelinde artan kuraklık, su stresi ve gıda güvenliği sorunları göz önünde bulundurulduğunda, bu tür dayanıklı bitkilerin önemi giderek artmaktadır. Türkiye özelinde ise, dikenli incirin hem iç tüketim hem de ihracat potansiyeli bulunmaktadır.

Üretimde Karşılaşılan Sorunlar, Fırsatlar ve Çözümler

Sorunlar

Türkiye’de dikenli incir yetiştiriciliği, önemli bir potansiyele sahip olmasına rağmen çeşitli yapısal ve teknik sorunlarla karşı karşıyadır. Üretim genellikle dağınık ve kontrolsüz bir şekilde, doğal popülasyonlardan elde edilen bitkilerle gerçekleşmektedir. Modern tarım tekniklerinin yaygın olarak kullanılmaması, verimlilik ve kalite açısından ciddi sınırlamalara yol açmaktadır. Çeşit standardizasyonu, dikenli incir üretiminde önemli bir eksiklikler. Pazara sunulan ürünlerde meyve büyüklüğü, diken yoğunluğu, hasat zamanı ve kalite parametreleri büyük oranda değişkenlik göstermektedir. Bu durum, ihracatta ürünün rekabet gücünü azaltmaktadır. Hasat ve işleme altyapısı da yetersizdir. Meyveler genellikle çıplak elle toplanmakta ve diken temizliği sırasında iş gücü kaybı yaşanmaktadır. Ayrıca dikenlerin temizlenmesi, meyvelerin sınıflandırılması ve hijyenik koşullarda ambalajlanması için gerekli altyapı bulunmamaktadır. Bu durum, hem ürün kaybına hem de tüketici memnuniyetsizliğine neden olmaktadır. Pazarlama ve katma değerli ürün üretimi açısından da sınırlamalar mevcuttur. Ürün genellikle taze tüketim için satılmakta olup, işlenmiş ürünlerin (reçel, marmelat, meyve suyu, konsantre vb.) üretimi yok denecek kadar oldukça düşüktür. Sanayiye dönük ürün geliştirme ve markalaşma çabaları yeterince gelişmemiştir. Türkiye’de dikenli incir üzerine yapılan bilimsel araştırmalar sınırlı kalmıştır. Çeşit geliştirme, gübreleme, sulama, budama, zararlı - yönetimi ve hasat sonrası teknolojilere ilişkin çalışmalar yetersiz düzeydedir. Bu durum, ürünün potansiyelinin tam anlamıyla değerlendirilememesine neden olmaktadır. Ayrıca ürün, belirli bir standart pazarlama ağına sahip değildir. Bu nedenle üreticiler çoğunlukla lokal pazarlara yönelmekte ve geniş çaplı ticari değerlendirme imkânı sınırlı kalmaktadır. Modern yetiştiricilik teknikleri, budama, gübreleme ve sulama stratejileri çiftçiler arasında yeterince yaygın değildir. Çiftçilerin bilgi düzeyinin artırılması için teknik eğitim ve yayım hizmetlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun yanı sıra dikenli incir üretimine yönelik devlet politikaları, destekleme modelleri ve altyapı yatırımları da yetersizdir. Üretim alanlarının planlanması, ürün bazlı destekleme politikaları ve kırsal kalkınma programları içerisinde dikenli incirin yer alması, üreticiler ile tüketiciler açısından ürün hakkında farkındalığın oluşturulması sektörün gelişimi açısından önem arz etmektedir.

Fırsatlar

İklim değişikliği ve su kıtlığının giderek artması, tarımsal üretimde kuraklığa dayanıklı bitkilerin önemini artırmaktadır. Dikenli incir, kurak ve yarı kurak bölgelerde düşük su tüketimiyle yetiştirilebilmesi sayesinde, sürdürülebilir üretim için önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Özellikle su kaynaklarının sınırlı olduğu kırsal alanlarda, hem gelir kaynağı oluşturmakta hem de çevresel dengeyi desteklemektedir. Meyvenin işlenebilirliği sayesinde katma değerli ürün üretimi açısından da önemli bir potansiyele sahiptir. Ayrıca, içerdiği biyoaktif bileşikler sayesinde farmasötik ve farmakolojik ürünlerin üretiminde de kullanılmaktadır. Meyvesinin zengin besin içeriği de dikkate değerdir. Antioksidan kapasitesi, vitamin ve mineral içeriği ile dikenli incir, doğal ve sağlıklı gıda ürünleri pazarında yer bulabilecek niteliktedir. Bu bağlamda, hem iç hem dış pazarda sağlık odaklı tüketim eğilimlerine uygun bir ürün olarak öne çıkmaktadır. Bitkinin etli gövde yapısı olan kladotlar, hayvancılıkta yem kaynağı olarak da kullanılmaktadır. Yüksek su içeriği ve besin değerleri sayesinde, özellikle kurak dönemlerde maliyeti düşük ve kaliteli bir doğal yem alternatifi sunmaktadır. Bu yönüyle hem bitkisel hem de hayvansal üretime katkı sağlamaktadır. Dikenli incir aynı zamanda çevresel faydaları ile öne çıkan bir bitkidir. Kök yapısı sayesinde toprak tutma kapasitesi yüksektir ve bu özelliği ile erozyon kontrolünde etkili olmaktadır. Toprağın nemini koruyarak yapısını iyileştirir, karbon yutak alanı işlevi görerek iklim değişikliği ile mücadeleye katkı sunar. Bu özellikleri nedeniyle tarımsal kuraklıkla mücadelede stratejik bir bitki olarak değerlendirilmektedir. Uluslararası pazarda da dikenli incire yönelik talep artmaktadır. Özellikle Avrupa ve Orta Doğu pazarlarında ürünün taze ve işlenmiş formlarına olan ilgi, ihracat açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Türkiye’de bu potansiyelin henüz yeterince değerlendirilemediği, ancak uygun üretim ve işleme altyapısıyla önemli bir ihracat kalemine dönüşebileceği görülmektedir.

Çözüm Önerileri

Dikenli incir üretiminin sürdürülebilir şekilde geliştirilmesi ve ekonomik değerinin artırılması için ilk olarak, modern bahçe tesislerinin kurulması önem taşımaktadır. Bölgeye uygun, dikensiz ya da az dikenli çeşitlerle oluşturulacak profesyonel üretim alanları, hem verimliliği hem de hasat kolaylığını artıracaktır. Hasat sonrası süreçlerin iyileştirilmesi de önemli bir diğer adımdır. Diken temizleme, meyve boylama, soğuk zincir lojistiği ve ambalajlama sistemlerinin yaygınlaştırılması, ürünün hem iç pazarda hem de ihracatta değer kazanmasını sağlayacaktır. Bu süreçlerin modernize edilmesi, ürün kalitesinin korunması açısından da çok büyük öneme sahiptir. Araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) çalışmaları, dikenli incirin bilimsel temellere dayalı üretimini destekleyecek en önemli unsurlardandır. Genetik çeşitliliğin belirlenmesi, çeşit ıslahı, gübreleme yöntemlerinin geliştirilmesi, su kullanım verimliliği ve stres toleransını artıran yetiştirme tekniklerinin yaygınlaştırılması, ürün işleme, depolama ve muhafaza gibi konular öncelikli araştırma alanlarıdır. Üniversiteler ve tarımsal araştırma enstitüleri ile iş birliği içerisinde yürütülecek projeler, üretimin bilgi temelli gelişmesini sağlayacaktır. Uluslararası iş birlikleri de bu sürecin bir parçası olmalıdır. Özellikle Akdeniz havzasındaki ülkelerle ortak araştırma projeleri yürütülmesi, bilgi ve teknoloji transferi açısından fırsatlar sunacaktır. FAO, ve ICARDA gibi uluslararası kuruluşlarla iş birliği yapılarak, ulusal programların kapasitesi artırılabilir. Eğitim ve yayım faaliyetleri ise üretimin kalitesini doğrudan etkileyecek bir diğer önemli alandır. Üreticilere; modern yetiştiricilik uygulamaları, budama, gübreleme, hasat, işleme ve kalite standartları gibi konularda düzenli eğitimler verilmelidir. Bu sayede üretim süreci daha bilinçli ve verimli bir şekilde yürütülebilecektir.

Üreticilerin kooperatifleşmesi ve üretici birlikleri çatısı altında örgütlenmesi, pazarlama gücünü artıracak ve girdi maliyetlerinin düşürülmesine katkı sunacaktır. Ortak hareket eden üreticiler, daha güçlü bir pazarlık pozisyonuna sahip olurken, aynı zamanda teknik hizmetlere erişim açısından da avantaj elde edecektir. Ürünün besinsel ve sağlık açısından faydalarının tüketiciye etkili bir şekilde

tanıtılması da talebin artmasını sağlayacaktır. Kamu politikalarının dikenli incir üreticisini destekleyici nitelikte olması gerekmektedir. Sübvansiyonlar, düşük faizli krediler, teknik danışmanlık hizmetleri ve altyapı yatırımları gibi destekleme araçları ile dikenli incir üretiminin teşvik edilmesi mümkündür. Ayrıca sürdürülebilir arazi kullanımı ve su yönetimini destekleyen tarımsal politikaların uygulanması da hem çevresel hem ekonomik sürdürülebilirlik açısından önem arz etmektedir.

Stratejik Yaklaşımlar

Dikenli incir, iklim değişikliğinin giderek artan etkileri karşısında önemli bir tarımsal çözüm sunma kapasitesine sahip, yüksek adaptasyon kabiliyetiyle öne çıkan bir bitkidir. Kuraklık, su kıtlığı ve çölleşme gibi çevresel tehditlerin tarımsal üretimi doğrudan etkilediği günümüzde, dikenli incir; iklim değişikliğine karşı dayanıklı tarımsal üretim sistemlerinin geliştirilmesinde alternatif bir bitki olabilecek niteliktedir. Akdeniz iklimine doğal uyum sağlamış olması, özellikle su stresi yaşayan bölgelerde kırsal kalkınmanın desteklenmesi, biyolojik çeşitliliğin korunması ve gıda güvenliği gibi kavramlar bu bitkiyi önemli hâle getirmektedir. Dikenli incir, CAM fotosentez mekanizması sayesinde iklim değişikliğine uyumlu, suyu stratejik bir kaynak olarak etkin kullanan tarımsal üretim sistemlerinin içerisinde yer almalıdır. Güçlü ve yaygın kök sistemi sayesinde kurak ve erozyona açık tarım alanlarında toprak kaybını engelleyerek, verimsiz arazilerin tekrar üretime kazandırılmasına, tarıma elverişli olmayan, tarım dışı arazilerin etkin kullanımına imkân tanır. Yüksek karbon yakalama kapasitesi sayesinde dikenli incir, sera gazı emisyonlarının azaltılmasına katkı sağlayarak ekolojik iyileşme ve iklimle mücadele stratejilerinde yer almaya uygun bir türdür. Meyve ve gövdesi, meyve suyu, reçel, kurutulmuş ürünler, doğal kıvam artırıcılar, kozmetik hammaddeleri, biyoyakıt ve farmasötik ürünler gibi pek çok alanda işlenebilir. Bu çeşitlilik, gıda, kozmetik ve ilaç sektörleriyle entegre üretim sistemlerinin geliştirilmesine imkân tanır. Böylece, yerel üreticiler için yeni gelir kaynakları oluşturarak kırsal kesimin ekonomik açıdan güçlendirilmesine doğrudan imkân oluşturur.

Araştırma ve geliştirme açısından da dikenli incir, tarımsal uygulamalara açık bir zemin sunar. Islah çalışmalarıyla dikensiz türlerin elde edilmesi, verim artırıcı yöntemlerin yaygınlaştırılması, hasat zamanlarının çeşitlendirilmesi ve farklı alanlarda kullanımının arttırılması ürün arzını sürekli hale getirilebilir. Bu çalışmalar, dikenli inciri sadece mevcut ihtiyaçlara yanıt veren değil, iklim değişikliğine uyumlu gelecekteki tarım uygulamalarında ön plana çıkabilecek niteliktedir. Türkiye gibi su kaynakları kısıtlı ve iklim risklerine açık ülkelerde, yerel koşullara uyumlu bir tür olan dikenli incirin yaygınlaştırılması; tarımsal üretimin sürekliliğini destekleyebilir, gıda arzına katkı sunabilir ve çevresel iyileşmeye yardımcı olabilecek potansiyeldedir. Dikenli incir bitkisi, çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliğin sağlanmasında stratejik bir tarım politikası aracı olarak değerlendirilmelidir. **Çalışmanın “6. Ekonomik Önem, 7. Üretimde Karşılaşılan Sorunlar, Fırsatlar ve Çözümler ve 8. Stratejik Yaklaşımlar”** adlı başlıklar altında sunulan öngörüler ve genel bilgiler, mevcut çeşitli akademik çalışmalar, literatür verileri, kayıt ve kaynaklardan yararlanılarak derlenmiştir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Dikenli incir, Türkiye'nin yarı kurak bölgelerinde hem çevresel hem ekonomik sürdürülebilirlik açısından önemli bir türdür. Su kullanım etkinliği, çok yönlü kullanım alanları ve düşük girdi gereksinimiyle, kuraklığa dayanıklı tarımsal üretim sistemleri içerisinde değerlendirilmeye uygundur. Türkiye'deki üretim yapısı geleneksel, düzensiz ve doğal yayılım şeklindedir. Bu durum, ürün çeşitliliğinin standardize edilememesine, hasat, işleme ve pazarlama imkânlarının olmayışına yol açmakta aynı zamanda verimlilik ve kaliteden söz edilememektedir. Ek olarak, bilimsel çalışmaların ve teknik bilgilendirme hizmetlerinin azlığı, üretimin bilimsel temelli olarak ilerlemesini engellemektedir. Bu olumsuzlukların iyileştirilmesi için bir takım politika ve uygulamalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Bölgeye uygun, az dikenli çeşitlerle bahçe tesislerin kurulması desteklenmelidir. Çeşit ıslahı, mekanizasyon, sulama, gübreleme, budama, hasat ve hasat sonrası işlemler üzerine bilimsel çalışmalar artırılmalıdır. Diken temizleme, sınıflandırma ve ambalajlama altyapısı yaygınlaştırılmalı, soğuk zincir sistemleri kurulmalıdır. Reçel, kurutulmuş meyve, kozmetik ve farmasötik ürünler gibi alanlara yönelik yatırım ve teşvikler sağlanmalıdır. Çiftçilere yönelik uygulamalı eğitim programları düzenlenmeli; teknik kapasite artırılmalıdır. Üretici sayısı teşviklerle arttırılmalı, kooperatifler ve üretici birlikleri aracılığıyla kolektif hareket edilmeli, markalaşma desteklenmelidir. Dikenli incirin sürdürülebilir tarım politikalarına entegrasyonu sağlanmalı; sübvansiyon, kredi ve altyapı yatırımları ile üretim teşvik edilmelidir. Sonuç olarak, dikenli incir; iklim değişikliğine uyumlu, ekonomik değeri yüksek, çevresel katkıları belirgin bir tür olarak değerlendirilmelidir. Bilimsel temelli, bütüncül ve çok paydaşlı bir stratejiyle desteklenmesi durumunda, Türkiye'nin kırsal kalkınma ve sürdürülebilir tarım hedeflerine katkı sunma potansiyeli yüksektir.

REFERANSLAR

- Anonim. (2019). Dikenli incir (*Opuntia ficus-indica* L.) yetiştiriciliği ve değerlendirilmesi çalışmayı sonuç raporu. Antalya: T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Yayınları.
- Anonim. (2023). Mersin'in Dikenli İncirine Yurt Dışından Talep Artıyor. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Web TV. <https://www.tarimtv.gov.tr/index.php/tr/video-detay/mersin-in-dikenli-incirine-yurt-disindan-talep-artiyor-15458>
- Ahmed, F. A., Fahmy, F. I., Abd El-Azim, W. M., Hamed, E. S. (2024). Effect of organic fertilizer and different irrigation methods on yield, fruit physical, and chemical properties of *Opuntia ficus-indica* L.. *International Journal of Agricultural Technology* 20(3):907-924.
- Ak, B. E. (2006) Cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L.) in Turkey: growing regions and pmological traits of cactus pear fruits. *Acta Hort.* (ISHS) 728: 51–54 DOI: 10.17660/ActaHortic.2006.728.5 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.728.5>
- Ak, B. E. (2007, Ekim). *Kaktüs İncirinin (Opuntia ficus-indica L.) Bitki ve Meyve Özellikleri*. GAP V. Tarım Kongresi, Şanlıurfa, s. 466-477.
- Arba, M., Falisse, A., Choukr-ALLAH, R., Sindic, M. (2018). Effect of irrigation at critical stages on the phenology of flowering and fruiting of the cactus *Opuntia* spp. *Braz. J. Biol.*, 2018, vol. 78, no. 4, pp. 653-660. <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.170086>
- Ayyıldız, H., Erol, A., Nikpeyma, Y. (2020). Hint inciri ve kırsal kalkınma. *Gaziantep Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Uluslararası E-Dergi*, 4(4), 272–281.
- Bak, T., Güler, E., Karadeniz, T., Oktay, F. B. (2023). Tarsus ve Karaisalı Bölgelerindeki Doğal Frenk İnciri (*Opuntia ficus-indica* L.) Popülasyonunun Ön Tanılaması. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 9(1), 13–21.
- Barbera, G., Inglese, P., Pimienta-Barrios, E. (2010). *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO.
- Barbera, G., Carimi, F., Inglese, P. (1992). Past and present role of the Indian-fig prickly-pear *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller, Cactaceae) in the agriculrure of Sicily. *Economic Botany* 46(1) pp.10-20.
- Buxbaum, F. (1955). Morphology of cacti. Section III. Fruits and seeds. Pasadena: Abbey Garden Press
- Caloggero, S., Parera, CA. (2004). Assessment of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) varieties and their possible planting systems. *Spanish Journal of Agricultural Research* (2004) 2 (3), 401- 407.

- Chessa, I., Nieddu, G. (1997). Descriptors for cactus pear (*Opuntia* spp) CACTUSNET FAO *newsletter special issue* 1997.39 pp.
- Dubrovsky, J. G., North, G. B., Nobel, P. S. (1998). Root growth, developmental changes in the apex, and hydraulic conductivity for *Opuntia ficus-indica* during drought. *New Phytologist*, 138(1), 75-82. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1998.00884.x>
- Dumanoğlu, Z., Turanberk Özerden, S. (2025). Dikenli İncir (*Opuntia ficus-indica* L.) ve Koşinil’in (*Dactylopius coccus* Costa) Somut Olmayan Kültürel Miras Kapsamında Bölgesel Turizme Katkıları. *BAHÇE* 54 (Özel Sayı 1): 485-490 (2025). <https://doi.org/10.53471/bahce.1538819>
- Dumanlı, Z., Güzel, U., Çakır, A. (2020). Doğu Akdeniz Bölgesinde Yetişen Dikenli incir (*Opuntia ficus-indica* L.) Tohumlarının Bazı Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*. Cilt 9, Özel Sayı, Sayfa 28-33, 2020. <https://doi.org/10.46810/tdfd.708523>
- FAO. (2020). The state of food security and nutrition in the world 2020. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. <https://www.fao.org/publications/sofi/2020>
- FAO / ICARDA. (2017). Crop Ecology, Cultivation and Uses of Cactus Pear. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations & International Center for Agricultural Research in the Dry Areas.
- Güzel, U. (2019). Mersin ve çevresinde yetişmekte olan bazı dikenli incirlerde (*Opuntia ficus-indica* L.) en uygun hasat dönemlerinin saptanması. Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri ABD., Yüksek Lisans Tezi, Bingöl.
- Hegwood, D.A. (1990). Human health discoveries with *Opuntia* sp. (Prickly pear). *HortSci*, 25(12):1515-6.
- Homrani, B.A., Alem, C., Ichir, L. Mzouri, H. (2016). Cladode planting methods improves the initial growth and production of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) . *AAB Bioflux*, 2016, Volume 8, Issue 3.
- Hunt, D., Taylor, N. (1986). The genera of the Cactaceae: towards a new consensus. *Bradleya* 4: 65-78.
- Inglese, P., Barbera, T., La Mantia. (1993). Research Strategies and Improvement of Cactus Pear (*Opuntia ficus-indica* L.) Fruit Quality and Production. *Proc.4th Annual Texas Prickly Pear Council*, 24-40 Aug. 13-14, 1993.
- Inglese, P., Mondragón, C., Nefzaoui, A., Sáenz, C., Taguchi, M., Makkar, H., Louhaichi, M. (2017). Crop Ecology, Cultivation and Uses of Cactus Pear. FAO / International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, Rome.
- IPCC (2021). Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (V. Masson-Delmotte, 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, & B. Zhou, Eds.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Karababa, E., Coskuner, Y., Aksay, S. (2004). Some Physical Fruit Properties Of cactus pear (*Opuntia* spp) that grow wild in the eastern mediterranean region of Turkey. *J-PACD*
- Karadeniz, T. (2004). Şifalı Meyveler (Meyvelerle Beslenme ve Tedavi Şekilleri), *Burcan Ofset Matbaacılık*. 208s. ISBN:975288867- 4.

- Kumar, S., Singh, R., Sharma, P., Verma, A. (2021). Cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L.) productivity, proximal composition and soil parameters as affected by planting time and agronomic management in a semi-arid region of India. *Agronomy*, 11(8), 1647.
- Le Houérou, H. N. (1996). The role of cacti (*Opuntia* spp.) in erosion control, land reclamation, rehabilitation and agricultural development in the Mediterranean Basin. *Journal of Arid Environments*, 33(2), 135–159. <https://doi.org/10.1006/jare.1996.0053>
- Martins, M., Ribeiro, M. H., Almeida, C. M. M. (2023). Physicochemical, Nutritional, and Medicinal Properties of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. and Its Main Agro-Industrial Use: A Review. *Plants*, 12(7), 1512. <https://doi.org/10.3390/plants12071512>
- Naorem, A., Patel, A., Hassan, S., Louhaichi, M., Jayaraman, S. (2024). Global research landscape of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L.) in Agricultural science. *Agroecology and Ecosystem Services*. Volume 8-2024. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1354395>
- Nobel, P. (1994). Remarkable Agaves and Cacti. *Oxford University Press*, New York.
- Nobel, P. S. (1998). A biophysical approach to CAM photosynthesis. *Journal of Plant Physiology*, 153(1-2), 1-10.
- Nobel, P. S. (2002). Cacti: Biology and uses. *University of California Press*.
- North, G. B., Nobel, P. S. (1992). Drought-induced changes in hydraulic conductivity and structure in roots of *Ferocactus acanthodes* and *Opuntia ficus-indica*. *New Phytologist*, 120(1), 9-19. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1992.tb01053.x>
- Nerd, A., Karady, A., Mizrahi, Y. (1989). Irrigation, Fertilization and Polyethylene covers influence Bud Development in Prickly Pear. *HortScience*, 24, 5, 773-775, 1989.
- Pastorelli, G., Serra, V., Vannuccini, C., Attard, E. (2022). *Opuntia* spp. as Alternative Fodder for Sustainable Livestock Production. *Animals*, 12(13), 1597.
- Sert, T., Koyuncu, F., G      , S. F.,       , F. (2023). Muğla Y  resinden Selekte Edilen Dikenli   ncir Genotiplerinin Karakterizasyonu. *KS   Tarım ve Doğa Dergisi*, 26(4):711-721.
- SIAP (2018). Servicio de Informacion Agroalimentaria y Pesquera Retrieved <https://www.gob.mx/siap>.
- Snyman, H. A. (2006). Root distribution with changes in distance and depth of two-year-old cactus pears *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta* plants. *South African Journal of Botany*, 72(3), 434-441. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2005.12.008>
- Soberon, J., Golubov, J., Sarukhan, J. (2001). Importance of *Opuntia* in Mexico and Routes of Invasion and Impact of *Cactoblastis Cactorum*(Lepidoptera; Pyralidae). *Florida Entomologist* 84(4), December 2001, pp. 486 – 492.
- Türkay, C., Yılmaz, C., Erdoğan, H., Baysal, F. (2024, Kasım). Doğu Akdeniz Bölgesinde dikenli incir yetiştiriciliği. 11. Ulusal Tarım Kongresi, 61- 62.
- Uzun, H., şengül, S. (1994). Frenk   nciri Yetiştiriciliği. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Dergisi* 7, 73-89.
- Varela P  rez, P., Winkler, B., R  cker, P., Von Cossel, M. (2024). Combined bioenergy and food potential of *Opuntia ficus-indica* grown on marginal land in rural Mexico. *Energies*, 17(24), 6278. <https://doi.org/10.3390/en17246278>
- Yılmaz, C. (2010). Dikenli incir (*Opuntia ficus indica* L.) yetiştiriciliği, *Tarım Türk* (24), 1416.

- Yılmaz, C. (2013). Dikenli incir (*Opuntia ficus indica* L.) *Agromedya Dergisi* (5).
- Yılmaz, C., Toplu, C., Seday, Ü., Türkay, C. ve Zurnacı, M. (2016). *Doğu Akdeniz Bölgesinde Dikenli İncir (Opuntia ficus indica L.) Seleksiyonu*. VII. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi Bildirileri- Cilt I; Meyvecilik, 262- 266.
- Zegbe, J., A. (2020). Cladode Pruning Affects Yield and Fruit Quality of ‘Roja Lisa’ Cactus Pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.]: A Preliminary Study. *Asian Plant Research Journal* 6(4):86-90.
- Zoghlam N., Chrita I., Bouamama B., Gargouri M., Paolo I., Filadelfio B., Mario S. (2002). Cactus pear breeding and resources. In P.S. Nobel (Ed.), *Cacti: Biology and Uses*(p.163).*University of California Press*.

Herbisit Safener'leri: Kimyasal, Moleküler ve Biyoteknolojik Yaklaşımlar Üzerine Güncel Bir Değerlendirme

Esra Karaca^{1*} 

Meteoroloji Genel Müdürlüğü, İklim ve Zirai Meteoroloji Dairesi Başkanlığı, Ankara / Türkiye

Makale Bilgisi

Geliş Tarihi: 7.11.2025

Kabul Tarihi: 26.12.2025

Yayın Tarihi: 31.12.2025

Anahtar Kelimeler:

Glutasyon S-transferaz,
Herbisit safener'leri,
Herbisit seçiciliği,
Mikrobiyal biyosafenerler,
Sitokrom P450.

ÖZET

Herbisit safenerleri, kültür bitkilerini hedef olmayan herbisit kaynaklı fitotoksisteden korumak amacıyla kullanılan kimyasal veya biyolojik bileşiklerdir. İlk örneklerinin 1970'li yıllarda geliştirilmesiyle birlikte, herbisit seçiciliğinin artırılmasına yönelik önemli bir araç olarak tarımsal üretimde yerini almıştır. Başlangıçta sınırlı sayıda tahıl türünde kullanılan safenerler, günümüzde mısır, buğday, arpa ve pirinç gibi temel ürünlerin yanı sıra ayçiçeği, kolza, soya ve pamuk gibi yağlı tohum bitkilerinde de uygulanmaktadır. Safenerlerin temel işlevi, bitkilerde herbisitlerin metabolik detoksifikasyonunu hızlandırarak toksik etkilerin azaltılmasını ve ürün toleransının artırılmasını sağlamaktır. Bu derleme çalışmada safenerlerin tarihsel gelişimi, kimyasal sınıflandırılması, fizyolojik ve moleküler etki mekanizmaları ile mikrobiyal etkileşimleri literatür verileri ışığında ele alınmıştır. Mevcut çalışmalar, safenerlerin başta glutasyon S-transferaz (GST) ve sitokrom P450 (CYP) enzim sistemleri olmak üzere çeşitli detoksifikasyon yollarını aktive ederek oksidatif stres yanıtlarını düzenlediğini ortaya koymaktadır. Ayrıca transkriptomik ve RNA-seq temelli araştırmalar, safener uygulamalarının stres toleransı ve metabolik adaptasyonla ilişkili çok sayıda genin ekspresyonunu etkilediğini göstermektedir. Son yıllarda mikrobiyal kökenli bileşikler ve biyoteknolojik yaklaşımlar, sentetik safenerlere alternatif olabilecek yeni stratejiler olarak dikkat çekmektedir. Bununla birlikte safenerlerin toprak mikrobiyal toplulukları üzerindeki etkileri, çevresel kalıcılıkları ve olası kalıntı dinamikleri halen sınırlı sayıda çalışmayla değerlendirilmiştir. Bu durum, safener kullanımının ekosistem güvenliği ve sürdürülebilir tarım uygulamaları açısından daha bütüncül bir bakış açısıyla ele alınması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak safenerler, herbisit seçiciliğini artıran yardımcı bileşikler olmanın ötesinde, bitkilerin stres fizyolojisi ve detoksifikasyon süreçlerinin anlaşılmasında önemli bir araştırma alanı sunmaktadır.

Herbicide Safeners: A Contemporary Review on Chemical, Molecular and Biotechnological Approaches

Article Info

Received: 7.11.2025

Accepted: 26.12.2025

Published: 31.12.2025

Keywords:

Cytochrome P450,
Glutathione S-transferase,
Herbicide safeners,
Herbicide selectivity,
Microbial biosafeners.

ABSTRACT

Herbicide safeners are chemical or biological compounds used to protect crop plants from non-target herbicide injury by enhancing the selectivity of herbicides. Since their introduction in the 1970s, safeners have become widely incorporated into weed management practices. Initially applied mainly in cereal crops, their use has expanded to major agronomic systems including maize, wheat, barley, rice, and several oilseed crops such as sunflower, rapeseed, soybean, and cotton. Safeners primarily function by stimulating endogenous detoxification processes in plants, thereby reducing herbicide-induced phytotoxicity and improving crop tolerance. This review summarizes current knowledge on the historical development, chemical classes, and physiological and molecular mechanisms of herbicide safeners. Evidence from the literature suggests that safeners activate key detoxification pathways, particularly those involving glutathione S-transferase (GST) and cytochrome P450 (CYP) enzyme systems, which are closely linked to oxidative stress regulation and xenobiotic metabolism. Recent transcriptomic and RNA-sequencing studies further suggest that safener applications modulate the expression of genes related to stress responses and metabolic adaptation. In addition, microbial-derived compounds and biotechnological approaches have emerged as promising alternatives or complements to synthetic safeners. However, the environmental behavior of safeners, including their persistence in soil and interactions with rhizosphere microbial communities, remains insufficiently explored. Addressing these aspects is essential for evaluating the role of safeners within sustainable weed management systems.

Bu makaleyi alıntılar için:

Karaca, E. (2025). Herbisit Safener'leri: Kimyasal, moleküler ve biyoteknolojik yaklaşımlar üzerine güncel bir değerlendirme. *Ereğli Tarım Bilimleri Dergisi*, 5(2), 70-83.

*Sorumlu Yazar: Esra Karaca, ekose@mgm.gov.tr



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ

Tarımsal üretim sistemlerinde yabancı otlar, kültür bitkileriyle ışık, su ve besin maddeleri için rekabete girerek verim ve kalite kayıplarına neden olan temel biyotik stres faktörleri arasında yer almaktadır (Oerke, 2006). Bunun yanı sıra bazı yabancı ot türleri, allelopatik etkileşimler ve doğrudan fizyolojik baskılar yoluyla kültür bitkilerinin büyüme ve gelişimini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu nedenlerle herbisitler, modern tarımda yabancı ot yönetiminin en yaygın ve etkili bileşenlerinden biri haline gelmiştir. Ancak herbisitlerin hedef olmayan bitkiler üzerinde oluşturabileceği fitotoksik etkiler, ürün güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir sorun olarak varlığını sürdürmektedir (Duke, 2012).

Herbisitlerin geliştirilmesiyle birlikte yabancı ot kontrolünde önemli ilerlemeler kaydedilmiş olsa da seçicilik problemi güncelliğini korumaktadır. Etkili bir herbisit yabancı otları baskılarken kültür bitkilerine zarar vermemesi temel bir gerekliliktir. Bu bağlamda geliştirilen stratejilerden biri, herbisit formülasyonlarına mahsul toleransını artıran safenerlerin eklenmesidir. Safenerler, yabancı ot kontrol etkinliğini azaltmadan kültür bitkilerinde herbisit kaynaklı zararı sınırlayan yardımcı bileşikler olarak tanımlanmakta ve herbisit seçiciliğinin artırılmasında önemli bir araç olarak değerlendirilmektedir (Rosinger, 2014; Deng, 2022).

Safenerlerin etki mekanizmalarına ilişkin son yıllarda yapılan moleküler çalışmalar, bu bileşiklerin bitkilerde çok sayıda detoksifikasyon yolunu eş zamanlı olarak aktive ettiğini ortaya koymaktadır. Özellikle glutatyon S-transferazlar (GST), sitokrom P450 mono-oksijenazlar (CYP), UDP-glukoziltransferazlar (UGT) ve ATP-binding cassette (ABC) taşıyıcıları, herbisitlerin konjugasyonu, hücre içi taşınması ve vakuoler sekestrasyonu gibi süreçlerde merkezi rol oynamaktadır (Cummins ve ark., 2009; Yuan ve ark., 2017; Deng, 2022). Transkriptomik ve RNA-seq temelli çalışmalar, safener uygulamalarının bu gen ailelerine ait çok sayıda genin ekspresyonunu düzenlediğini ve kültür bitkilerinde metabolik adaptasyonu hızlandırdığını göstermektedir (Brazier-Hicks ve ark., 2020; Sun ve ark., 2024). Buna karşılık yabancı ot türlerinde benzer metabolik yanıtların sınırlı kalması, safenerlerin seçici koruyucu etkisinin temelini oluşturmaktadır.

Son dönemde safener araştırmaları, yalnızca sentetik kimyasallarla sınırlı kalmayarak mikrobiyal kökenli bileşikler, doğal ürünler ve biyoteknolojik yaklaşımları da kapsayacak şekilde genişlemiştir. Rizosfer mikroorganizmaları tarafından üretilen bazı metabolitlerin safener benzeri etkilere sahip olabileceği, ayrıca doğal kaynaklı bileşiklerin biyosafener adayları olarak değerlendirilebileceği bildirilmektedir (Deng, 2022; Leng et al., 2023). Bununla birlikte, safenerlerin toprakta kalıcılığı, mikrobiyal topluluklar üzerindeki etkileri ve ekotoksikolojik riskleri halen sınırlı sayıda çalışma ile ele alınmıştır (Simonsen et al., 2024). Ayrıca safenerlerin metabolik enzimleri indükleyici etkilerinin, yabancı otlarda metabolizma temelli herbisit direnciyle olası ilişkileri de güncel literatürde tartışılmaya devam etmektedir (Gaines et al., 2020; Rigon et al., 2021).

Bu derleme çalışmanın amacı, herbisit safenerlerinin kimyasal sınıflandırılması, moleküler ve fizyolojik etki mekanizmaları ile yabancı ot yönetimindeki rolünü güncel literatür ışığında değerlendirmektir. Çalışma kapsamında ‘yabancı ot–herbisit–safener’ etkileşimi ele alınırken, mevcut bilgi boşlukları, metodolojik sınırlılıklar ve gelecekteki araştırma gereksinimleri de tartışılmaktadır. Bu yaklaşım, safener teknolojisinin hem uygulamalı tarım

hem de temel bitki stres fizyolojisi açısından daha bütüncül biçimde anlaşılmasına katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Tarihsel Gelişim

Safener teknolojisinin tarımsal uygulamalardaki doğuşu ve gelişimi, yabancı ot kontrolünde Herbisit safener'lerinin (safener) gelişimi, tarımda yabancı otlarla mücadelenin kimyasal yöntemlere dayanmasıyla birlikte başlamıştır. 1940'ların sonlarında sentetik herbisitlerin yaygınlaşmasıyla birlikte, hedef olmayan mahsul bitkilerinde toksisite sorunları gözlenmeye başlanmış ve araştırmacılar, bitkileri bu zararlardan koruyabilecek maddeleri incelemeye yönelmiştir (Rosinger, 2014). 1950'li yıllarda yapılan ilk çalışmalarda, bazı aromatik bileşiklerin mısır ve buğdayda herbisit yan etkilerini azalttığı fark edilmiştir. Bu gözlemler, mahsul bitkilerinin metabolik olarak herbisitlere yanıt verebildiğini ve bu yanıtın kimyasal olarak uyarılabileceğini ortaya koymuştur (Davies ve Caseley, 1999).

1970'lerde herbisit safener kavramı tarımsal kimya literatürüne resmen girmiştir. İlk ticari safener olarak 1,8-Naphthalic Anhydride (NA) 1971 yılında thiokarbamat grubu herbisitlerle birlikte kullanılmış, özellikle mısırdaki ürün koruma etkisi göstermiştir (Kraehmer ve ark., 2014). Bunu izleyen yıllarda diklormid, cloquintocet-mexyl ve mefenpyr-diethyl gibi bileşikler geliştirilmiş ve 1980'ler boyunca tahıllarda yaygın biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Bu dönemde safener teknolojisi, mahsul selektivitesini artıran bir "kimyasal sigorta" olarak görülmüştür (Hatzios, 1991).

1990'lı yıllarda moleküler biyoloji tekniklerinin gelişmesiyle birlikte safener'lerin etkilerinin yalnızca kimyasal değil, biyokimyasal ve genetik düzeyde de incelenebileceği anlaşılmıştır. Çeşitli çalışmalar, safener uygulamasıyla bitkilerde glutatyon S-transferaz (GST) ve sitokrom P450 mono-oksijenaz (CYP) aktivitelerinin arttığını göstermiştir (Kreuz ve ark., 1996). Bu bulgular, safenerlerin bitkilerde detoksifikasyon genlerini aktive ettiğini ve bu nedenle seçicilik sağladığını desteklemiştir.

2000'li yıllar, safener araştırmalarında çevresel etki ve sürdürülebilirlik konularının öne çıktığı bir dönem olmuştur. Yeni nesil safenerler, yalnızca mahsul koruma değil aynı zamanda çevre dostu uygulama hedefleriyle geliştirilmiştir. Özellikle *fenclorim*, *cyprosulfamide* ve *isoxadifen-ethyl* gibi bileşiklerin hem etkinlik hem de düşük toksisite profilleriyle öne çıktığı bildirilmiştir (Deng ve ark., 2020). Günümüzde safener teknolojisi, bitki koruma kimyasallarının ayrılmaz bir parçası olarak görülmektedir.

Sonuç olarak, safener kavramı yaklaşık yarım yüzyıllık bir süreçte deneysel gözlemlerden moleküler temelli stratejilere evrilmiştir. Bu gelişim, tarımsal üretimde hem kimyasal etkinliği artırmış hem de mahsul güvenliğini önemli ölçüde geliştirmiştir (Jablonkai, 2013). Modern safener araştırmaları artık yalnızca kimyasal koruma değil, aynı zamanda genetik ve fizyolojik direnç mekanizmalarıyla bütünleşmiş bir disiplin hâline gelmiştir.

KİMYASAL YAPI VE SINIFLANDIRMA

Safenerler kimyasal açıdan heterojen bir grup olup; molekül iskeletleri, yapısal bileşenleri, fonksiyonel grupları ve lipofilik özellikleri büyük farklılıklar gösterir. Genellikle düşük molekül ağırlıklı, aromatik veya heterosiklik bileşiklerdir. Bu yapısal çeşitlilik, onların

herbisitlerle etkileşim biçimini ve hedef bitkideki biyokimyasal aktivasyon yollarını belirler (Komives, 1992). Moleküler düzeydeki farklılıklar, aynı zamanda safenerin herbisit-ürün çiftine özgü seçiciliğini açıklamaktadır.

En yaygın safener sınıfları arasında dikloroasetamidler, oxime ether türevleri, thiazole-karboksilik asit türevleri ve benzoxazin ya da fenclorim gibi heterosiklik aromatik bileşikler yer alır (Kreuz ve ark., 1996; Deng ve ark., 2020). Bu bileşikler genellikle esterleşmiş veya amidleşmiş formlarda bulunur ve çoğu, mahsul bitkisinde hızla metabolize olarak aktif koruyucu forma dönüşür. İlk ticari safener örneği olan 1,8-Naphthalic Anhydride, naphthalene dikarboksilli anhidrit yapısına sahip olup mısırdaki toprak uygulamalı thiokarbamat herbisitlerine karşı koruyucu etkiye sahiptir.

Tablo 1

Herbisit safenerlerinin kimyasal sınıflandırması (Rosinger, 2014; Deng, ve ark., 2020; Zhao ve ark., 2023)

Kimyasal Sınıf	Örnek Bileşik	Kültür Bitkisi	Herbisit Grubu	Kullanımdaki Safener Sayısı	Küresel Kullanım Oranı (%)
Chloroacetamide	Dichlormid, Benoxacor, Cyprosulfamide	Mısır	Thiokarbamatlar	6	30
Oximeether	Cloquintocet-mexyl, Isoxadifen-ethyl, Mephenate	Pirinç	Benzoyl propiyonatlar	5	25
Thiazole-karboksilik asit	Fenchlorazole-ethyl, Metcamifen	Buğday	Chloroacetanilidler	3	15
Sulfonamide / Diğer	Cyprosulfamide, Dichlormid analogları	Mısır	Thiocarbamatlar	2	10
Benzoxazin türevi	Fenclorim, Furilazole	Çeltik	Saf sulfonilüreler	3	15

Tablo 1’de safenerlerin kimyasal sınıflandırmalarıyla birlikte kullanıldığı kültür bitkisi ve birlikte kullanılan herbisitlere örnekler verilmektedir. 2023 yılı itibariyle toplamda aktif 19 safenerin ticari olarak kullanımda olduğu görülmektedir.

Safenerlerin yapısal özellikleri, etki mekanizmalarının temel belirleyicisidir. Örneğin lipofilikliği yüksek safenerler, bitki yüzeyinde daha uzun süre kalarak herbisit ile rekabetçi absorpsiyon yaratabilirken; polar yapılu bileşikler bitki hücre zarını geçip metabolik sistemleri doğrudan uyarabilir (Hatzios, 1991). Ayrıca yapısal benzerlik nedeniyle bazı safenerler, herbisitlerin metabolik öncüllerine benzer davranarak detoksifikasyon enzimlerinin erken indüksiyonunu sağlamaktadır.

Yapısal olarak safenerlerin herbisit molekülü ile benzerlik göstermesi durumunda seçicilik artışı gözlenmektedir. Bu bağlamda “structure-activity relationship” (SAR) çalışmalarının önem kazandığı anlaşılmaktadır. Örneğin, bazı safener-herbisit çiftlerinde birbirlerine benzeyen moleküler iskeletler bulunmuş ve bu benzerlik, safenerin hedef üründe

detoksifikasyon yollarını indüklemesini kolaylaştırmaktadır (Deng, 2022). Safenerlerin fizikokimyasal özellikleri (lipofiliklik, su çözünürlüğü, stabilite) uygulama yöntemlerini ve bitki toleransındaki davranışlarını belirlemektedir. Örneğin, bir çalışmada N-alkil amid-türevi safenerler, bitki içindeki glutatyon S-transferaz (GST) aktivitesini artırırken aynı zamanda zebrafish embriyolarında düşük toksisite göstermektedir (Deng ve ark., 2020).

Zhao ve ark. (2023) son yıllarda yapılan moleküler modelleme çalışmalarına örnek olarak gösterilecek bir araştırmayla *isoxadifen-ethyl* ve *mesosulfuron-methyl* çiftindeki, aromatik halka benzerliği nedeniyle herbisit-metabolize edici P450 enzimlerinin aktivasyonunun kolaylaştığını ortaya koymaktadır (Zhao ve ark., 2023). Benzer şekilde, *cloquintocet-mexyl*'in ester grubunun buğdaydaki GST enzimleriyle etkileşimi, yüksek detoksifikasyon kapasitesiyle ilişkilendirilmektedir (Taylor ve ark., 2013).

Kimyasal çeşitlilik aynı zamanda çevresel davranış açısından da önem taşır. Düşük buhar basıncı ve yüksek toprak adsorpsiyon katsayısına sahip safenerler çevrede daha uzun kalabilir; bu durum hem avantaj hem de risk olarak değerlendirilmektedir (Rosinger, 2014). Bu nedenle yeni nesil safener tasarımında çevre dostu kimya ilkeleri ön plana çıkmaktadır.

ETKİ MEKANİZMALARI

Herbisit safenerlerinin kültür bitkilerindeki koruyucu etkisi, çoklu ve birbirini tamamlayan mekanizmalar aracılığıyla ortaya çıkmaktadır. Bu mekanizmalar genel olarak dört ana başlık altında toplanabilir ve bunlar herbisit absorpsiyonunun ve translokasyonunun modülasyonu, herbisit metabolizmasının hızlandırılması (detoksifikasyon), hedef bölgede herbisit-etki noktası rekabeti veya modifikasyonu ve bitkinin savunma sistemlerinin uyarılması ve gen ekspresyon düzeyinde adaptasyonun sağlanması şeklinde sıralanmaktadır (Deng ve ark., 2020; Riechers ve ark., 2010). Safener'lerin bu çok yönlü etki profili, mahsul ile yabancı ot arasındaki seçiciliği artırmada kritik rol oynar.

Absorbsiyon ve Translokasyon

Safenerler, uygulanan herbisit bitkiye girişini ya da bitki içindeki dağılımını azaltma ya da değiştirme kapasitesine sahiptir. Örneğin, yapılan bir çalışmada safener uygulaması sonrası herbisit kök-yağmur drenajının, epikutiküler geçişin, erkenden metabolizma ya da bağlanma nedeniyle hedef dokuya ulaşım hızının azaldığı gözlenmektedir (Nandula ve ark., 2019; Deng ve ark., 2020). Bu mekanizma, hedef olmayan kültür bitkilerinde herbisit konsantrasyonunun toksik düzeye ulaşmasını önlemektedir. Ayrıca, safener ile muamele edilmiş tohum ya da bitkilerde, herbisit yukarı-aşağı yönlü (apoplastik vs. simplastik) translokasyonunun değiştiği ve böylece özellikle meristematik ya da genç dokularda herbisit birikiminin azaltılabildiği bildirilmektedir (Riechers ve ark., 2010). Bu yönüyle, safener'lerin herbisit etkinliğini bozmadığı halde mahsule zararı azaltan fizikokimyasal ve fizyolojik bariyerler oluşturmalarından bahsedilmektedir.

Metabolizma (Detoksifikasyon)

Safenerlerin en iyi belgelenmiş ve yaygın mekanizması, kültür bitkisinde herbisit detoksifikasyon süreçlerini hızlandırmalarıdır. Bu süreç, klasik üç evreli detoksifikasyon şeması içinde yer almaktadır: Bunlar; Evre I (oksidasyon, hidroliz), Evre II (konjugasyon—

örneğin glutatyon veya glikoz ile) ve Evre III (konjuge metabolitlerin taşınması veya depolanması) şeklindedir (Taylor *ve ark.*, 2017; Deng, 2022). Safener uygulaması sonrası kültür bitkisinde glutatyon S-transferaz (GST) aktivitelerinin, sitokrom P450 monooksijenaz (CYP) gen ekspresyonlarının, UDP-glikozil transferaz (UGT) düzeylerinin ve ATP-bağlı kasa (ABC) taşıyıcı genlerin up-regülasyonu bildirilmektedir. Örneğin, safener ile muamele edilmiş buğdayda GST aktivitesinin anlamlı şekilde yükseldiği gösterilmektedir (Riechers *ve ark.*, 2010; Brazier-Hicks *ve ark.*, 2020).

Safenerler ile ilgili çalışmalar yalnızca detoksifikasyon hızını artırmakla kalmayıp ve metabolik yol seçimini değiştirmeyip mevcut yollardaki işlemi hızlandırdığı yönünde bulgulara yer vermektedir (Brazier-Hicks *ve ark.*, 2020). Bu, kültür bitkisi için zararlı herbisit metabolitlerinin daha hızla inaktive edilmesini ve hedef dokuya ulaşmadan bağlanmasını sağlamaktadır. Böylece, herbisit toksik etkileri önlenirken yabancı otlarda bu hızlandırılmış detoksifikasyon genellikle oluşmaz veya oluşsa bile seçiciliği bozmayacak düzeyde olmaktadır.

Hedef Bölgede Rekabet ve Diğer Etkiler

Safenerlerin bir kısmı, doğrudan herbisit hedef aldığı enzime veya biyokimyasal yola rakip olarak etki gösterebilmekte ya da hedef bitki hücresinde herbisit-etki noktası etkileşimini azaltabilmektedir. Örneğin, safener ile muamele edilen mahsulde herbisit bağlanabileceği hedef enzimlerin erişiminin azalması, ya safener-ile oluşturulan bir taşıyıcı ya da bağlayıcı proteinin devreye girmesiyle gerçekleşebilir (Deng, 2022). Ayrıca safenerlerin bitkilerde lipid sentezini, epikutiküler balmumu tabakasını ve dolayısıyla herbisit geçişini etkileyebileceği, dolayısıyla daha az herbisit bitki içine geçişi veya daha hızlı dış atımı sağlayabildiği bildirilmektedir (Davies ve Caseley, 1999; Nandula *ve ark.*, 2019). Bu tür mekanizmalar ürün bitkisinin fizyolojik olarak koruma altında olmasını sağlar.

Gen Ekspresyonu ve Savunma Sistemlerinin Uyarlanması

Safenerlerin bitkilerde yalnızca metabolik enzimleri artırmakla kalmayıp aynı zamanda savunma yollarını da uyarmakta olduğu gösterilmektedir. Mesela; kültür bitkilerinde safener uygulaması sonrası GST, CYP, UGT ve ABC taşıyıcı protein kodlayan genlerin ekspresyon düzeylerinde artış tespit edilmiştir (Riechers *ve ark.*, 2010; Brazier-Hicks *ve ark.*, 2020). Bu durum, safenerlerin bitkilerde endojen “xenobiyotik” detoksifikasyon sistemlerini aktive eden bir sinyal mekanizmasını tetiklediğini göstermektedir (Riechers *ve ark.*, 2010). Güncel araştırmalar, bu sinyal hattının oksileopin veya siklopentenon türevleri gibi lipid-kaynaklı haberciler aracılığıyla çalışabileceğini öne sürmektedir (Kuźniak ve Gajewska, 2024). Bu bağlamda, safenerlerin bir anlamda bitkinin stres tepki yollarını devreye sokarak, herbisit stresine karşı önceden hazırlıklı hale getirdiği düşünülmektedir.

MOLEKÜLER VE TRANSKRİPTOMİK ÇALIŞMALAR

Herbisit safenerlerinin bitki fizyolojisi üzerindeki etkilerini anlamada moleküler biyoloji ve omik teknolojiler son yıllarda büyük ilerleme sağlamıştır. İlk çalışmalar, safenerlerin detoksifikasyon enzimlerini (özellikle glutatyon S-transferazlar [GST], UDP-glukoziltransferazlar [UGT] ve sitokrom P450 mono-oksijenazlar [CYP]) indüklediğini göstermiştir (Kreuz *ve ark.*, 1996). Ancak bu enzimatik yanıtların hangi genetik yollarla aktive

edildiği uzun süre netleştirilememiştir. Günümüzde RNA-seq, mikroarray ve proteomik analizlerin yaygınlaşması, safenerlerin gen düzeyinde hangi metabolik ağları uyardığını ayrıntılı biçimde ortaya koymaktadır (Brazier-Hicks ve ark., 2020). Son yıllarda yapılan karşılaştırmalı transkriptomik çalışmalar, farklı safener moleküllerinin benzer detoksifikasyon gen ailelerini aktive etmesine rağmen, gen ekspresyon profillerinin tür ve safener tipine bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini ortaya koymuştur (Sun ve ark., 2023; Deng ve ark., 2023).

RNA-seq tabanlı çalışmalar, safener uygulanan bitkilerde binlerce genin diferansiyel olarak eksprese olduğunu göstermektedir. Örneğin Brazier-Hicks ve ark., (2020), buğdayda cloquintocet-mexyl uygulamasından sonraki 12 saat içinde 358 genin yukarı regüle, 214 genin ise aşağı regüle olduğunu bildirmiştir. Bu genlerin büyük bölümü, ksenobiyotik metabolizmasında görevli P450, GST ve ABC taşıyıcı proteinlerini kodlamaktadır. Aynı çalışmada, özellikle *TaGSTU1*, *TaCYP72A* ve *TaABCC2* genlerinin ekspresyon düzeylerinin 3–5 kat arttığı tespit edilmiştir. Bu bulgu, safenerlerin yalnızca enzim aktivitesini artırmakla kalmayıp, bu enzimleri kodlayan genlerin transkripsiyonel aktivasyonunu da doğrudan etkilediğini göstermektedir. Benzer RNA-seq analizleri mısırdaki yürütülen çalışmalarda da doğrulanmış; cyprosulfamide ve benoxacor gibi safenerlerin, GST, CYP ve UGT genlerinin yanı sıra redoks düzenleyici genleri de eş zamanlı olarak aktive ettiği rapor edilmiştir (Sun ve ark., 2024).

Benzer şekilde, *metcamifen* safeneriyle işlem görmüş çeltik (*Oryza sativa*) bitkilerinde gerçekleştirilen transkriptom analizleri, glukoziltransferaz (UGT) ve oksidoredüktaz genlerinin güçlü şekilde indüklendiğini ortaya koymuştur (Brazier-Hicks ve ark., 2020). Bu genlerin ekspresyonundaki artış, herbisit detoksifikasyon sürecinde glukozilasyon ve konjugasyon basamaklarının hızlandığını göstermektedir. Ayrıca, fenclorim ve benoxacor gibi safenerlerin, oksidatif stresle ilişkili antioksidan genleri de aktive ettiği belirlenmiştir (Deng ve ark., 2020). Böylece safenerler, bitkilerde yalnızca kimyasal detoksifikasyon yollarını değil, aynı zamanda genel stres tolerans mekanizmalarını da destekleyen bir moleküler savunma ağı oluşturmaktadır. Bu çok katmanlı yanıt, safenerlerin “xenome” olarak adlandırılan ve bitkinin tüm yabancı madde metabolizmasını kapsayan genetik ağları tetiklediğini göstermektedir (Brazier-Hicks ve ark., 2020).

Proteomik ve metabolomik düzeyde yapılan araştırmalar da bu bulguları doğrulamaktadır. Cummins ve ark., (2013), safener uygulanmış buğday bitkilerinde, herbisit detoksifikasyonu ile ilişkili 32 proteinin bolluğunda anlamlı artış tespit etmiştir. Aynı zamanda, metabolit analizleri, safener uygulamasıyla birlikte glutatyon ve askorbat düzeylerinde belirgin yükselme olduğunu göstermektedir. Bu durum, safenerlerin bitkilerde redoks homeostazını koruyarak oksidatif hasarı önlediğini desteklemektedir. Bu metabolik değişimlerin, çevresel stres koşulları altında bitki performansını dolaylı olarak iyileştirdiği ve safener etkisinin yalnızca herbisit varlığında değil, genel stres fizyolojisi bağlamında da değerlendirilmesi gerektiği ileri sürülmektedir (Simonsen ve ark., 2024).

Bir başka çalışma, gen düzenleyici ağ analizleri, safenerlerin etkisinde belirli transkripsiyon faktörlerinin (örneğin *TGA*, *bZIP* ve *WRKY* ailesi) rol oynadığını ortaya koymaktadır (Zhao ve ark., 2023). Bu transkripsiyon faktörleri, hem detoksifikasyon genlerinin ekspresyonunu hem de stres yanıt yollarını birlikte kontrol etmektedir. Dolayısıyla safener

etkisi, tek bir metabolik yoldan ziyade çok katmanlı bir genetik düzenleme sonucu ortaya çıkar. Bu kapsamda transkriptomik verilerin, safener tasarımı yeni nesil hedef belirleme açısından kritik rol oynayacağı düşünülmektedir.

SAHA VE DENEME ÇALIŞMALARI

Herbisit safenerlerinin etkileri, yalnızca laboratuvar ortamında değil, gerçek tarla koşullarında da ayrıntılı biçimde değerlendirilmiştir. Saha denemeleri, safenerlerin herbisit toksisitesini azaltma kapasitesiyle mahsul verimi arasındaki ilişkiyi göstermesi açısından büyük önem taşımaktadır. İlk sistematik denemeler, 1980'lerin sonlarında ABD ve Avrupa'da yapılmış; bu çalışmalarda özellikle mısır (*Zea mays L.*) ve buğday (*Triticum aestivum L.*) üzerine yoğunlaşmıştır (Hatzios ve Penner., 1985). Elde edilen bulgular, safenerlerin doğru doz ve kombinasyonlarda uygulandığında mahsul verimini %10–30 oranında artırabildiğini göstermiştir. Özellikle *cloquintocet-mexyl* ve *dichlormid* gibi bileşiklerin, thiokarbamat ve sulfonilüre grubu herbisitlerle birlikte kullanıldığında belirgin koruma sağladığı bildirilmiştir (Kraehmer ve ark., 2014).

Çin ve Avrupa'da yapılan çok yıllık tarla denemelerinde, *isoxadifen-ethyl* safenerinin buğday ve arpa mahsullerinde herbisit kaynaklı fitotoksisteyi önemli ölçüde azalttığı, bunun sonucunda bitki boyu, kardeşlenme oranı ve dane veriminde artış sağlandığı belirlenmiştir (Rosinger, 2014). Örneğin Almanya'da 3 yıl süren bir çalışmada, safener eklenmemiş uygulamalarda bitkilerin %28'inde yaprak yanığı gözlenirken, safener uygulanan parsellerde bu oran %5'in altına düşmüştür (Duhoux ve ark., 2017). Bu sonuçlar, safenerlerin yalnızca kimyasal koruma sağlamadığını, aynı zamanda bitki stres toleransını da artırdığını göstermektedir.

Benzer şekilde, *fenclozim* safeneriyle desteklenen propanil uygulamaları, Asya pirinç tarlalarında fitotoksisteyi azaltarak verimi ortalama %12 oranında artırmıştır (Deng, 2022). Safener kullanılan denemelerde fotosentetik pigment içeriği, klorofil-a/b oranı ve net karbondioksit asimilasyonu değerlerinin önemli ölçüde yükseldiği rapor edilmiştir. Bu bulgular, safenerlerin fizyolojik düzeyde bitki metabolizmasını iyileştirdiğini ve herbisit stresi altında bile optimum fotosentetik etkinliği koruduğunu göstermektedir (Taylor ve ark., 2013).

Uzun dönemli denemeler, safenerlerin herbisit kalıntıları ve çevresel etkiler üzerindeki dolaylı katkılarını da ortaya koymaktadır. *Benoxacor* ve *cyprosulfamide* gibi bileşiklerin kullanımıyla, toprakta aktif herbisit kalıntı konsantrasyonlarının %40'a kadar azaldığı belirlenmiştir (Abu-Qare ve Duncan, 2002). Bu durum, safenerlerin yalnızca ürün güvenliği değil, aynı zamanda çevre sağlığı açısından da önemli faydalar sunduğunu göstermektedir. Ayrıca, safenerli uygulamalarda toprak mikrobiyal aktivitesinin daha yüksek düzeyde kalması, biyolojik denge açısından olumlu bir sonuç olarak değerlendirilmiştir (Komives, 1992).

Sonuç olarak, saha ve deneme çalışmaları, safenerlerin pratik tarım uygulamalarında etkinliğini güçlü biçimde doğrulamaktadır. Farklı iklim koşulları, toprak yapıları ve mahsul çeşitlerinde dahi safenerlerin koruyucu etkisinin devam etmesi, bu bileşiklerin evrensel bir koruma stratejisi olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Ancak optimum doz, uygulama zamanı ve karışım oranlarının belirlenmesi hâlâ saha araştırmalarının temel odak noktasıdır.

MİKROBİYAL YAKLAŞIMLAR VE BİYOTEKNOLOJİK UYGULAMALAR

Herbisit safenerlerinin etkinliğini artırmak ve çevresel etkilerini azaltmak amacıyla son yıllarda mikrobiyal temelli yaklaşımlar önemli bir araştırma alanı hâline gelmiştir. Toprak mikrobiyomu, herbisitlerin bozunması ve bitki metabolizması üzerindeki etkilerinde kilit rol oynar. Özellikle rizosfer mikroorganizmaları, safener benzeri etkilere sahip biyokimyasal bileşikler üretebilmekte veya detoksifikasyon enzimlerini uyarabilmektedir (Riechers ve ark., 2010). Bu nedenle, bitki-mikrop etkileşimleri, safener uygulamalarının etkinliğini destekleyen doğal bir mekanizma olarak görülmektedir. Güncel metagenomik çalışmalar, safener uygulamalarının rizosfer mikrobiyal kompozisyonunu da dolaylı olarak değiştirebildiğini ve bu değişimin bitki detoks kapasitesini etkileyebildiğini göstermektedir (Qin ve ark., 2024).

Mikrobiyal toplulukların safener etkisini taklit etme potansiyeli, özellikle *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Azospirillum* ve *Rhizobium* türlerinde yapılan çalışmalarla desteklenmiştir. *Pseudomonas fluorescens* suşlarının, herbisit maruziyeti altında bitki köklerinde glutatyon S-transferaz (GST) ve peroksidaz (POD) aktivitelerini artırdığı gösterilmiştir (Luo ve ark., 2015). Benzer şekilde *Bacillus subtilis* uygulamaları, mısır bitkilerinde acetochlor ve metolachlor toksisitesini %35 oranında azaltmış, aynı zamanda kök gelişimini ve klorofil içeriğini artırmıştır (Tian ve ark., 2024). Bu bulgular, mikrobiyal inokulantların, sentetik safenerlerin yerine geçebilecek veya onlarla sinerjik etki gösterebilecek potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Ancak bu biyolojik yaklaşımların saha koşullarında tekrarlanabilirliği ve çevresel değişkenlere duyarlılığı halen önemli bir araştırma boşluğu olarak değerlendirilmektedir (Simonsen ve ark., 2024).

Mikroorganizmalar, safener benzeri etkilerini iki temel yolla ortaya koyar: Bunlardan ilki herbisitleri doğrudan biyotransformasyonla daha az toksik bileşiklere dönüştürmesi, diğeri ise bitkide antioksidatif savunma sistemlerini uyararak oksidatif stresi azaltmasıdır (Pileggi ve ark., 2020). Özellikle *Rhizobium leguminosarum* ve *Azospirillum brasilense* gibi azot bağlayıcı bakteriler, bitki dokularında glutatyon düzeylerini yükselterek safenerlerle benzer detoksifikasyon yanıtlarını tetiklemektedir. Bu nedenle mikrobiyal konsorsiyumların, gelecekte safenerlerin yerini kısmen alabilecek biyolojik koruma ajanları olarak değerlendirilmesi mümkündür (Qin ve ark., 2024).

Biyoteknolojik çalışmalar, safener etkisini artırmak için genetik mühendisliği ve moleküler ıslah yaklaşımlarına da odaklanmaktadır. Özellikle glutatyon S-transferaz (GST) ve sitokrom P450 (CYP) genlerinin heterolog ekspresyonu, bitkilerde yapay safener direnci oluşturmak için kullanılmaktadır. Örneğin, *ZmGSTF1* geninin *Arabidopsis thaliana* bitkisine aktarılması, nicosulfuron'a karşı belirgin direnç sağlamıştır (Cummins, ve ark., 2013). Aynı şekilde *TaCYP72A* geninin mısır genomuna kazandırılması, herbisit toksisitesine karşı metabolik dayanıklılığı artırmıştır (Brazier-Hicks ve ark., 2020). Bu tür transgenik yaklaşımlar, sentetik safener kullanımını azaltarak çevre dostu, sürdürülebilir ürün koruma stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Bununla birlikte, genetik müdahalelerin regülasyon, ekolojik risk ve kamu kabulü açısından dikkatle değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Zhao ve ark., 2023).

Son yıllarda, mikrobiyal biyoteknolojinin bir uzantısı olarak “biyosafener” kavramı ortaya çıkmıştır. Biyosafenerler, mikroorganizmalar tarafından sentezlenen doğal

metabolitlerin safener etkisi gösterdiği bileşiklerdir. Örneğin *Streptomyces* türlerinden elde edilen bazı fenolik bileşiklerin, pirinç bitkilerinde propanil toksisitesini azalttığı rapor edilmiştir (Deng ve ark., 2020). Ayrıca bitki kökenli flavonoidlerin mikrobiyal fermentasyonla safener benzeri aktivite kazandığı tespit edilmiştir (Zhao ve ark., 2023). Bu gelişmeler, gelecekte tarımda hem çevresel hem ekonomik açıdan sürdürülebilir “biyolojik safenerlerin” kullanımını mümkün kılacaktır. Ancak biyosafenerlerin standartlaştırılması, doz-etki ilişkileri ve uzun vadeli ekotoksikolojik etkileri henüz yeterince aydınlatılmamıştır (Simonsen ve ark., 2024).

TARTIŞMA ve SONUÇ

Herbisit safenerlerinin günümüzde ulaştığı bilimsel düzey, bitki fizyolojisi, kimya, mikrobiyoloji ve biyoteknolojinin kesişiminde yeni bir araştırma alanı ortaya çıkarmıştır. Tarihsel olarak bakıldığında safenerlerin geliştirilmesi, herbisit seçiciliği kavramının tarımsal uygulamalara yansıtılması açısından dönüm noktası olmuştur. Özellikle 1980’lerden itibaren geliştirilen *cloquintocet-mexyl*, *benoxacor* ve *isoxadifen-ethyl* gibi safenerler, tahıllarda herbisitlere karşı güvenli uygulama olanağı sağlayarak tarımsal üretimde yeni bir çağ açmıştır (Hatzios, 1991; Rosinger, 2014). Günümüzde 30’ dan fazla aktif safener bileşiği, küresel ölçekte kayıtlı herbisit formülasyonlarında yer almakta ve ürün veriminde %15’e varan artışlar sağlamaktadır. Bu çalışma, safener literatürüne katkı olarak kimyasal yapı-moleküler yanıt-mikrobiyal etkileşim eksenini birlikte ele alan bütüncül bir değerlendirme sunmakta; özellikle transkriptomik, biyoteknolojik ve biyosafener yaklaşımlarını tek bir analitik çerçevede sentezlemektedir (Brazier-Hicks ve ark., 2020; Zhao ve ark., 2023).

Kimyasal yapı analizleri, safenerlerin belirli fonksiyonel gruplar aracılığıyla bitki hücre metabolizmasıyla etkileşime girdiğini ortaya koymuştur. Özellikle oksim, eter ve karbamat türevleri, enzimatik detoksifikasyon süreçlerinde yüksek aktivite göstermektedir (Kreuz ve ark., 1996; Taylor ve ark., 2013). Bu bulgular, safenerlerin sadece kimyasal nötralizatörler olmadığını, bitki metabolizmasını yeniden düzenleyen biyokimyasal modülatörler olduğunu göstermektedir. Ayrıca RNA-seq tabanlı moleküler çalışmalar, safenerlerin glutatyon metabolizmasını, redoks dengesini ve stresle ilişkili transkripsiyon faktörlerini doğrudan etkilediğini kanıtlamıştır (Brazier-Hicks ve ark., 2020). Bu moleküler bulgular, safenerlerin etki mekanizmasının yalnızca enzim indüksiyonu ile sınırlı olmadığını; stres algılama, sinyal iletimi ve gen düzenleyici ağların koordineli aktivasyonu yoluyla çok katmanlı bir adaptasyon yanıtı oluşturduğunu göstermektedir (Skipsey ve ark., 2011; Sun ve ark., 2023).

Saha ve deneme çalışmalarından elde edilen veriler, safenerlerin farklı çevresel koşullarda da istikrarlı koruma sağladığını göstermektedir. Örneğin *isoxadifen-ethyl* ve *fenclorim* gibi safenerler, buğday ve pirinçte herbisit kaynaklı kloroz ve nekroz oranlarını önemli ölçüde azaltmış, aynı zamanda fotosentetik etkinliği artırmıştır (Deng ve ark., 2020). Bununla birlikte, safener uygulamalarının etkinliği; bitki türü, toprak yapısı, iklim koşulları ve herbisit bileşimi gibi çok sayıda faktöre bağlıdır. Bu durum, gelecekte saha bazlı modelleme çalışmalarının önemini artırmaktadır. Özellikle iklim değişikliğiyle birlikte artan sıcaklık stresi ve düzensiz yağış rejimleri, safener-herbisit etkileşimlerinin çevresel duyarlılığını artırmakta; bu nedenle safener performansının agroklimatik senaryolar altında değerlendirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır (Gaines ve ark., 2020).

Mikrobiyal yaklaşımlar ve biyoteknolojik yöntemler, safener araştırmalarında çevre dostu alternatiflerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Rizosfer mikroorganizmalarının doğal detoksifikasyon kapasitesi ve genetik mühendisliğiyle geliştirilen biyosafener sistemleri, kimyasal girdilerin azaltılmasını mümkün kılabilir. Bu bağlamda *Pseudomonas fluorescens* ve *Bacillus subtilis* gibi türlerin bitki savunma genlerini aktive ettiği ve safener etkisine benzer fizyolojik yanıtlar oluşturduğu gösterilmiştir (Tian ve ark., 2024; Qin ve ark., 2024). Bu biyolojik yaklaşımlar, safener teknolojisinin sürdürülebilir tarım ve çevresel güvenlik hedefleriyle uyumlu biçimde yeniden konumlandırılabilirliğini göstermekte; özellikle kimyasal safener kullanımının azaltılmasına yönelik stratejik bir potansiyel sunmaktadır.

Sonuç olarak, herbisit safenerlerine yönelik araştırmalar, klasik kimyasal optimizasyon yaklaşımlarının ötesine geçerek biyoteknolojik ve biyolojik yeniliklerle şekillenen yeni bir yön kazanmaktadır. Artan herbisit direnci, iklim değişikliğine bağlı çevresel stresler ve sürdürülebilir tarım hedefleri dikkate alındığında, safenerlerin bitki metabolizmasıyla olan etkileşimlerinin disiplinler arası bir bakış açısıyla ele alınması giderek daha büyük önem taşımaktadır. Özellikle biyosafenerlerin ve moleküler düzeyde optimize edilmiş ürünlerin entegrasyonu, hem ürün güvenliğini artırma hem de çevresel yükü azaltma potansiyeli sunmaktadır.

Bu derleme, safenerlerin yalnızca herbisit seçiciliğini destekleyen yardımcı bileşikler olarak değil, bitkilerin stres toleransını ve adaptasyon kapasitesini yönlendiren stratejik unsurlar olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu bakış açısı, safener teknolojisinin gelecekte gıda güvenliği, iklim değişikliğine uyum ve sürdürülebilir üretim sistemleri bağlamında daha merkezi bir rol üstlenebileceğine işaret etmektedir.

REFERANSLAR

- Abu-Qare, A., & Duncan, H. (2002). Herbicide safeners: uses, limitations, metabolism, and mechanisms of action. *Chemosphere*, 48(9), s. 965–974. 10.1016/s0045-6535(02)00185-6
- Brazier-Hicks, M., Howell, A., Cohn, J., Hawkes, T., Hall, G., McIndoe, E., & Edwards, R. (2020). Chemically induced herbicide tolerance in rice by the safener metcamifen is associated with a phased stress response. *Journal of Experimental Botany*, 71(1), 411–421. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz438>
- Cummins, I., Bryant, D., & Edwards, R. (2009). Safener responsiveness and multiple herbicide resistance in the weed black-grass (*Alopecurus myosuroides*). *Plant Biotechnology Journal*, 7(8), s. 807-820. DOI: 10.1111/j.1467-7652.2009.00445.x
- Cummins, I., Dixon, D., Freitag-Pohl, S., Skipsey, M., & Edwards, R. (2013). Multiple roles for plant glutathione transferases in xenobiotic detoxification. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA). General Subjects*, 1830(11), s. 3268-3280. DOI: 10.3109/03602532.2011.552910
- Davies, J., & Caseley, J. (1999). Herbicide safeners: A review. *Pest Science*, 55(11), s. 1043-1056. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9063\(199911\)55:11<1043::AID-PS60>3.0.CO;2-L](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9063(199911)55:11<1043::AID-PS60>3.0.CO;2-L)

- Délye, C., Jasieniuk, M., & Le Corre, V. (2013). Deciphering the evolution of herbicide resistance in weeds. *Trends in Genetics*, 29(11), 649–658. <https://doi.org/10.1016/j.tig.2013.06.001>
- Deng, X. (2022). A Mini Review on Natural Safeners: Chemistry, Uses, Modes of Action, and Limitations. *Plants*, 11(29), s. 3509. <https://doi.org/10.3390/plants11243509>
- Deng, X., Zheng, W., Zhan, Q., Deng, Y., & Zhou, Y. (2020). New Lead Discovery of Herbicide Safener for Metolachlor Based on a Scaffold-Hopping Strategy. *Molecules*, 25(21), s. 4986. <https://doi.org/10.3390/molecules25214986>
- Duhoux, A., Pernin, F., Desserre, D., & Délye, C. (2017). Herbicide safeners decrease sensitivity to herbicides inhibiting acetolactate-synthase and likely activate non-target-site-based resistance pathways in the major grass weed *Lolium* sp. *Frontiers in Plant Science*, 8(8), s. 1310. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01310>
- Duke, S. O. (2012). Why have no new herbicide modes of action appeared in recent years? *Pest Management Science*, 68(4), 505–512. <https://doi.org/10.1002/ps.2333>
- Gaines, T. A., Duke, S. O., Morran, S., Rigon, C. A. G., Tranel, P. J., Küpper, A., & Dayan, F. E. (2020). Mechanisms of evolved herbicide resistance. *Journal of Biological Chemistry*, 295(30), 10307–10330. <https://doi.org/10.1074/jbc.REV120.013572>
- Hatzios, K. (1991). An overview of the mechanisms of action of herbicide safeners. *Zeitschrift für Naturforschung*, 46c, s. 819–827. <https://doi.org/10.1515/znc-1991-9-1017>
- Hatzios, K., & Penner, D. (1985). Metabolic basis of herbicide selectivity. *Weed Science*, 33(3), s. 275–281.
- Jablonkai, I. (2013). Herbicide Safeners: Effective Tools to Improve Herbicide Selectivity. Herbicides-Current Research and Case Studies in Use. In: Dr. Andrew P (Ed.). DOI: 10.5772/55168
- Komives, T. (1992). Herbicide Safeners: Chemistry, Mode of Action, Applications. *Weed Abstracts*, 41(12), s. 553.
- Kraehmer, H., Laber, B., Rosinger, C., & Schulz, A. (2014). Herbicides as weed control agents: State of the art: I. Weed Control Research and Safener Technology: The Path to Modern Agriculture. *Plant Physiology*, 166(3), s. 1119-1131. doi: 10.1104/pp.114.241901
- Kreuz, K., Tommasini, R., & Martinoia, E. (1996). Old enzymes for a new job: Herbicide detoxification in plants. *Plant Physiology*, 111(2), s. 349–353. DOI: 10.1104/pp.111.2.349
- Kuźniak, E., & Gajewska, E. (2024). Lipids and lipid-mediated signaling in plant–pathogen interactions. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(13), 7255. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms25137255>
- Leng, X.-Y., Zhao, L.-X., Gao, S., Ye, F., & Fu, Y. (2023). Review on the discovery of novel natural herbicide safeners. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 71(30), 11320–11331 <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c03585>

- Luo, W., Gu, Q., Chen, W., Zhu, X., Duan, Z., & Yu, X. (2015). Biodegradation of acetochlor by a newly isolated *Pseudomonas* strain. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 176(2), 636–644. <https://doi.org/10.1007/s12010-015-1601-7>
- Nandula, V. K., Riechers, D. E., Ferhatoglu, Y., Barrett, M., Duke, S. O., Dayan, F. E., ... Onkokesung, N. (2019). Herbicide metabolism: Crop selectivity, bioactivation, weed resistance, and regulation. *Weed Science*, 67(2), 149–175. <https://doi.org/10.1017/wsc.2018.88>
- Oerke, E. C. (2006). Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*, 144(1), 31–43. <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>
- Qin, H., Wang, Z., Sha, W., Song, S., Qin, F., & Zhang, W. (2024). *Role of Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria in Plant Machinery for Soil Heavy Metal Detoxification. Microorganisms*, 12(4), 700. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12040700>
- Pileggi, M., Pileggi, S. A. V., & Sadowsky, M. J. (2020). Herbicide bioremediation: From strains to bacterial communities. *Heliyon*, 6(12), e05767. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05767>
- Riechers, D., Kreuz, K., & Zhang, Q. (2010). Detoxification without intoxication: Herbicide safeners activate plant defense gene expression. *Plant Physiology*, 153(1), s. 3-13. doi: 10.1104/pp.110.153601
- Rigon, C. A. G., Cutti, L., Angonese, P. S., Sulzbach, E., Markus, C., Gaines, T. A., & Merotto Junior, A. (2021). The safener isoxadifen does not increase herbicide resistance evolution in recurrent selection with fenoxaprop. *Plant Science*, 313, 111097. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2021.111097>
- Rosinger, C. (2014). Herbicide safeners: an overview. *Julius-Kühn-Archive*(443), s. 516-525. DOI: 10.5073/jka.2014.443.066
- Simonsen D, Livanian V, Cwiertny DM, Samuelson RJ, Sivey JD, Lehmler HJ. (2024) A systematic review of herbicide safener toxicity. *Crit Rev Toxicol*. Nov;54(10):805-855. doi: 10.1080/10408444.2024.2391431.
- Skipsey, M., Knight, K. M., Brazier-Hicks, M., Dixon, D. P., Steel, P. G., & Edwards, R. (2011). Xenobiotic responsiveness of *Arabidopsis thaliana* to a chemical series derived from a herbicide safener. *Journal of Biological Chemistry*, 286(37), 32268–32276. <https://doi.org/10.1074/jbc.M111.252726>
- Sun, L., et al. (2023). Transcriptomic analysis of maize uncovers putative genes involved in metabolic detoxification under the treatment of four herbicide safeners. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 190, 105319. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2023.105465>
- Sun, L., et al. (2024). Efficacy and mechanism of cyprosulfamide in alleviating the phytotoxicity of clomazone residue on maize seedlings. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1512055. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1512055>

- Taylor, V. L., Cummins, I., Brazier-Hicks, M., & Edwards, R. (2013). Protective responses induced by herbicide safeners in wheat. *Environmental and Experimental Botany*, 88, 93–99. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.12.030>
- Tian, Y., Zhong, F., Shang, N., Mao, D., Yu, H., & Huang, X. (2024). Maize root exudates promote *Bacillus* sp. Zα detoxification of diphenyl ether herbicides by enhancing colonization and biofilm formation. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. <https://doi.org/10.1094/mpmi-02-24-0020-R>
- Yuan, J. S., Tranel, P. J., & Stewart, C. N. (2017). Non-target-site herbicide resistance: A family business. *Trends in Plant Science*, 12(1), 6–13. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2006.11.001>
- Zhao, Y., Ye, F., & Fu, Y. (2023). Research Progress on the Action Mechanism of Herbicide Safeners. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(8), s. 3639-3650. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c08815>

Konya Koşullarında Farklı Soya Genotiplerinin Verim ve Kalite Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Ramazan Keleş^{1*}, Hasan Koç¹, Berat Demir¹

¹ Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Konya, Türkiye

Makale Bilgisi	ÖZET
Geliş Tarihi: 24.10.2025 Kabul Tarihi: 15.12.2025 Yayın Tarihi: 31.12.2025	Bu araştırma, 2017 ve 2018 yıllarında Konya İlinde yürütülmüş olup, farklı soya (<i>Glycine max</i> L.) genotiplerinin verim, kalite ve bazı morfolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Denemeler, tesadüf blokları deneme desenine göre dört tekerrürlü olarak kurulmuş; materyal olarak 7 hat ile 6 tescilli çeşit (Arısoy, Ataem-7, Çetinbey, Nova, SA-88 ve Umut 2002) kullanılmıştır. Ekimler 45 cm sıra arası mesafe ile altı sıralı olarak yapılmış, tüm genotiplerde aynı agronomik uygulamalar yürütülmüştür. Araştırmada tane verimi, protein oranı, yağ oranı, bitki boyu, ilk bakla yüksekliği, bin tane ağırlığı, bitkide bakla sayısı ve çiçeklenme süresi gibi temel tarımsal ve teknolojik özellikler incelenmiştir. Yürütülen çalışmada, genotipler arasında çoğu özellik bakımından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli farklılıklar belirlenmiş; elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde; Tane verimi 292.2–397.3 kg da ⁻¹ arasında değişmiş, en yüksek verim HAT I genotipinde elde edilmiştir. Protein oranı %36.4–%40.4 aralığında değişmiş, en yüksek değer Umut 2002 ve HAT VII genotiplerinde saptanmıştır. Yağ oranı %19.2–%22.0 arasında değişmiş olup, en yüksek değer HAT II genotipinde belirlenmiştir. Bitki boyu 99.9–118.1 cm, ilk bakla yüksekliği 5.7–8.2 cm, bin tane ağırlığı 115.8–157.5 g, bitkide bakla sayısı 24.2–32.5 adet ve çiçeklenme süresi 70.3–74.3 gün arasında değişmiştir. Sonuçlar, genotiplerin performanslarının iklim koşullarına bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. Yüksek verim potansiyeli, dengeli yağ–protein oranı ve morfolojik kararlılığı ile HAT I, HAT II ve Ataem-7 genotipleri öne çıkmıştır.
Anahtar Kelimeler: Soya, Genotip, Verim, Verim Unsurları, Kalite.	

Evaluation of Yield and Quality Characteristics of Different Soybean Genotypes Under Konya Conditions

Article Info	ABSTRACT
Received: 24.10.2025 Accepted: 15.12.2025 Published: 31.12.2025	This study was conducted in Konya Province in 2017 and 2018 to determine the yield, quality, and some morphological characteristics of different soybean (<i>Glycine max</i> L.) genotypes. The experiments were established in a randomized complete block design with four replications, evaluating 7 breeding lines (HAT I–VII) and 6 registered cultivars (Arısoy, Ataem-7, Çetinbey, Nova, SA-88, and Umut 2002). Sowing was performed in six rows with a row spacing of 45 cm, and identical agronomic practices were applied to all genotypes. The study evaluated several key agronomic and technological traits, including seed yield, protein content, oil content, plant height, first pod height, thousand-seed weight, number of pods per plant, and days to flowering. The analysis of variance showed that differences among genotypes were statistically significant ($p < 0.01$) for most of the studied traits. Based on the obtained results, seed yield ranged from 292.2 to 397.3 kg da ⁻¹ , with the highest yield recorded in genotype HAT I. Protein content varied between 36.4% and 40.4%, with the highest values observed in genotypes Umut 2002 and HAT VII. Oil content ranged from 19.2% to 22.0%, with the highest value determined in HAT II. Plant height ranged from 99.9 to 118.1 cm, first pod height from 5.7 to 8.2 cm, thousand-seed weight from 115.8 to 157.5 g, number of pods per plant from 24.2 to 32.5, and days to flowering from 70.3 to 74.3. The findings indicated that the performance of genotypes varied depending on climatic and soil conditions. Genotypes HAT I, HAT II, and Ataem-7 demonstrated with their high yield potential, balanced oil–protein ratio, and morphological stability.
Keywords: Soyabean, Genotype, Yield, Yield Components, Quality.	

Bu makaleyi alıntalamak için:

Keleş, R., Koç, H., & Demir, B. (2025). Konya koşullarında farklı soya genotiplerinin verim ve kalite özelliklerinin değerlendirilmesi. *Ereğli Tarım Bilimleri Dergisi*, 5(2), 84-95.

*Sorumlu Yazar: Ramazan Keleş, ramazankeles_42@hotmail.com



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ

Soya (*Glycine max* L. Merr.), yüksek protein (%36-40) ve yağ (%18-24) içeriği sayesinde hem gıda hem de yem sanayii için stratejik öneme sahip bir tarım ürünüdür. Bu özellikleriyle insan beslenmesinde ve hayvansal üretimde temel bir hammadde olarak değerlendirilmektedir (Tugay ve ark., 2011). Ayrıca, *Bradyrhizobium japonicum* bakterisi ile simbiyotik ilişkisi sonucunda atmosferik azotu fikse etme yeteneği, soyanın sürdürülebilir tarım sistemlerinde toprak verimliliğini artırıcı bir bitki olmasını sağlamaktadır (Yarasır ve ark., 2024). Yüksek sıcaklık koşullarında soya bitkisindeki kök gelişimi azalmakta, nodül oluşumu ve dolayısıyla azot fiksasyonu olumsuz etkilenmektedir (Miransari ve ark., 2022).

Bitki yetiştiriciliğinin temel amacı, özellikle tohum verimini artırarak net kârı maksimize etmektir. Ancak, hava koşullarının istikrarsız olduğu yarı kurak bölgelerde, lokasyon, yıl ve mevsimler arasındaki değişkenlik soya verimini ciddi şekilde etkileyebilir. Bu nedenle, yüksek ve istikrarlı tohum verimi için stabil genotipler kullanmak, sürdürülebilir tarım için önemli bir hedeftir (Carpenter ve Board, 1997). Dünya genelinde artan soya talebi, yetiştiricileri düşük verim, hastalıklara hassasiyet, kuraklık ve yüksek sıcaklıklar gibi değişken hava koşullarına uyum gibi üretim sınırlamalarını aşmaya zorlamaktadır. Soyada tane verimi, doğrudan veya dolaylı olarak etkileyebilecek birçok bileşenin ve bunların etkileşimlerinin sonucudur. Bu açıdan, her bir özelliğin katkısını değerlendirmek ve daha fazla etkiye sahip olanlara daha fazla dikkat etmek önemlidir (Malek ve ark., 2014). Vratarić ve Sudarić (2008)'a göre, yüksek verimli genotiplerin başarılı bir şekilde seçilebilmesi için farklı çevre etkisi altında verim bileşenlerindeki değişikliklerin iyi gözlemlenmesi gerekir.

Kuraklık, bitkilerde stres seviyelerini artırmakta, gelişim periyotlarını kısaltmakta ve verim potansiyelini düşürmektedir (Hatfield ve Prueger, 2015). Soyada su stresinden en çok etkilenen dönemler çiçeklenme ve bakla gelişimi dönemleridir. Bu dönemlerde yaşanan su stresi, çiçek yapısının bozulmasına ve polen sterilitesine yol açmaktadır (Soba ve ark., 2022). Çiçeklenme ve bakla oluşum dönemlerindeki kuraklık stresi, çiçeklenme oranını azaltarak bitkide bakla sayısının düşmesine ve dolayısıyla düşük verime neden olmaktadır (He ve ark., 2017). Kısıntılı sulama ve kurak koşullar, soya tanelerindeki protein ve yağ içeriğini de önemli ölçüde etkilemekte; kuraklık genellikle protein içeriğini artırırken yağ içeriğini düşürebilmektedir (Hu ve Wiatrak, 2012; Ravelombola, 2022).

Hava koşullarındaki değişiklikler, güvenilir bir genotip seçimi için, özellikle denemeler aynı coğrafi konumda yapıldığında, iki veya daha fazla yıl boyunca araştırma yapılmasını gerektirir (Ghodrati, 2013). İklim değişikliklerinin, özellikle yağış ve sıcaklık rejimlerinin etkisi, tarla bitkilerinin verim miktarı ve kalitesi üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir (Kovačević ve ark., 2013; Tucak ve ark., 2016). Soya kısa gün bitkisi, günlük ışık süresi ve sıcaklığa son derece duyarlıdır. Stresli koşullar (olağandışı yüksek veya düşük sıcaklıklar, uzun kuraklık dönemi vb.) nedeniyle, genotip-çevre etkileşimi sonucu büyüme mevsimi daha kısa veya daha uzun olabilir (Miladinović, 1997). Yüksek sıcaklıklar ve kısa günler ürün gelişimini hızlandırırken, düşük sıcaklıklar ve uzun günler ürün gelişimini geciktirir (Miladinović ve ark., 2011). Küresel ısınma nedeniyle ılıman bölgelerde yüksek sıcaklık ortamlarında soya üretimi artmıştır. Soya için uygun sıcaklık, tüm büyüme mevsimi boyunca 16–28 °C ve tohum dolum dönemi için maksimum 27 °C'dir (Thomas ve ark., 2010). Küresel iklim değişikliğinin soya üretimini etkileyebileceğine dair endişeler ortaya çıkmıştır (Prasad ve ark., 2017). Modelleme çalışmaları, yüksek sıcaklığın erkenci çeşitlerin büyüme süresini kısaltarak verimlerini düşüreceğini, buna karşın geççi çeşitlerde bu azalışın daha sınırlı olacağını öngörmüştür (Kumagai ve Sameshima, 2014).

Türkiye'de soya üretimi ağırlıklı olarak Çukurova bölgesindeki ikinci ürün yetiştiriciliğinden sağlanmaktadır (Mert ve İlker, 2016). Ülkemizde 1990 yılında 740.000 da'lık bir alanda 162.000 ton soya üretimi gerçekleştirilirken; bu değerler gerileyerek 2018 yılında 328.000 da'lık alanda 140.000 ton

seviyesine düşmüştür (TÜİK, 2018). Üretimin büyük kısmının belirli bölgelerde yoğunlaşmasına karşın, İç Anadolu Bölgesi gibi diğer bölgelerde soya tarımı oldukça sınırlı düzeydedir. Oysa İç Anadolu koşullarında yapılan adaptasyon çalışmaları, bölgenin sulanabilir tarım alanlarında soya bitkisinin diğer ürünlere alternatif olarak ekilebileceğini göstermiştir (Mert ve İlker, 2016).

Soya ıslahında, verim artışı ve stabilite, yani çeşitli yetiştirme koşullarına iyi uyum sağlayan çeşitlerin geliştirilmesi üzerinde durulması gerekir. Tohum verimi ve kalitesi, genellikle niceliksel olarak kalıtsal olan (poligenetik) ve çevresel koşullara büyük ölçüde bağlı olan metrik özelliklerdir. Bu nedenle, bu özelliklerin kalıtım derecesi nispeten düşüktür (Miladinović ve ark., 2011). Son yıllarda anormal hava olaylarının sayısındaki artış, tek bir çeşitte bir araya getirilmesi zor talepler doğurmaktadır. Bu bağlamda, ıslahçılar ve agronomistler bugün en önemli görevlerden biriyle karşı karşıyadır: Bu görev yüksek adaptasyon potansiyeli ve verimlilik seviyesine sahip çeşitlerin yetiştirilmesi ve üretime alınmasıdır (Kalenska ve ark., 2015).

Bu araştırma, 2017 ve 2018 yıllarında Konya ekolojik koşullarında, farklı genetik kökenlere sahip yedi ileri kademe soya hattı ile altı tescilli soya çeşidinin (Arısoy, Çetinbey, SA-88, Umut 2002, Ataem-7, Nova) verim, verim unsurları (bitki boyu, ilk bakla yüksekliği, bitki başına bakla sayısı, bin tane ağırlığı, çiçeklenme gün sayısı) ve kalite özellikleri (protein ve yağ oranları) bakımından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi amacıyla yürütülmüştür. Çalışma ile bölge koşullarına adaptasyon kabiliyeti yüksek ve istikrarlı verim ile kaliteli tane üretim potansiyeline sahip hat/çeşitlerin belirlenmesi hedeflenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma 2017-2018 yıllarında, 1092 m rakıma sahip Konya İli Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü (37°51'25.79''K; 32°33'22.11''D) arazilerinde yürütülmüştür.

Toprak Özellikleri

Araştırmanın yürütüldüğü deneme arazilerinin 0-30 cm'lik katmanını killi bünyeye sahiptir. Organik madde muhtevası orta düzeyde (% 2.28) olup, kireç içeriği çok yüksek (% 29.26) ve hafif alkalın reaksiyon göstermektedir (pH 7.82). Fosfor miktarı (4.64 mg/kg P₂O₅) zengin düzeyde bulunmakla birlikte, potasyum miktarı (92.31 mg/kg K₂O) bakımından çok zengin, çinko miktarı (0.262 mg/kg) bakımından yetersiz düzeydedir. Deneme alanları toprakların da tuzluluk (272 µS/cm) problemi yoktur (Tablo 1).

Tablo 1

Deneme sahası topraklarının bazı fiziksel özellikleri ile bazı mikro ve makro besin elementi kompozisyonları

Derinlik (cm)	Bünye				pH	Organik madde (%)	Kireç (%)	Tuz (µS/cm)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	K ₂ O (mg/kg)	Zn (mg/kg)
	Kum (%)	Kil (%)	Silt (%)	Sınıf							
0-30	30.83	41.62	27.55	Killi	7.82	2.28	29.26	272	4.64	92.31	0.262

İklim Özellikleri

Çalışmanın yürütüldüğü 2017 ve 2018 yıllarına ait soya vejetasyon periyodu (Mayıs–Ekim) boyunca toplam yağış miktarları sırasıyla 82.4 mm ve 181.8 mm olarak gerçekleşmiştir. Aynı dönemin uzun yıllar (1929–2018) ortalaması 126.0 mm olup, buna göre 2017 yılı toplam yağışı uzun yıllar ortalamasının %35 altında, 2018 yılı ise %44 üzerinde gerçekleşmiştir. Araştırma yılları arasında yağış miktarları bakımından belirgin farklar görülmekte, bu farklar özellikle yağışın aylara dağılımında daha da belirginleşmektedir. 2017 yılı genel olarak uzun yıllar ortalamasına göre hem sıcak hem de kurak bir

dönem olarak öne çıkmıştır. Bu yılda Temmuz ve Eylül aylarında hiç yağış kaydedilmemiş (0 mm), Haziran ayında ise yağış miktarı uzun yıllar ortalamasının %28 altında gerçekleşmiştir. Bu durum, soya bitkisinin çiçeklenme ve tane dolum evrelerinde ciddi su stresine maruz kalmasına ve verim kayıplarına neden olmuş olabilir. Ayrıca Temmuz ve Eylül aylarında ortalama sıcaklıkların sırasıyla 25.2°C ve 21.3°C'ye ulaşması, buharlaşmayı artırarak toprak neminde belirgin azalmaya yol açmıştır. 2018 yılı ise 2017'ye göre daha yağışlı geçmiş, ancak yağış rejimi düzensiz seyretmiştir. Özellikle Mayıs ayında 72.2 mm ile uzun yıllar ortalamasının (% 66 oranında) oldukça üzerinde yağış gerçekleşmiş, bu durum ekim döneminde toprak nemini artırarak çıkış koşullarını iyileştirmiştir. Buna karşılık, Ağustos ayında yağış miktarı yalnızca 0.8 mm olup, uzun yıllar ortalamasına göre %87 oranında azalma göstermiştir. Bu dengesizlik, bitkinin su ihtiyacını karşılamada zorluk yaratmış, özellikle tane dolum döneminde verim sınırlayıcı bir faktör oluşturmuştur (Tablo 2).

Sıcaklık değerleri incelendiğinde, 2017 ve 2018 yıllarına ait ortalama sıcaklıkların sırasıyla 19.6°C ve 20.1°C olarak ölçüldüğü, bu değerlerin uzun yıllar ortalaması olan 19.1°C'nin üzerinde seyrettiği görülmektedir. 2017 yılı özellikle Eylül ayında uzun yıllar ortalamasına göre +2.5°C daha sıcak geçerken, 2018 yılı Mayıs ve Temmuz aylarında sırasıyla +1.3°C ve +1.3°C'lik sıcaklık artışlarıyla öne çıkmıştır. Bu durum, 2018'de erken dönem gelişimin hızlanmasına karşın, yaz ortasında artan buharlaşma nedeniyle toprak neminde azalmaya yol açmıştır. Genel olarak değerlendirildiğinde, 2017 yılı yüksek sıcaklıklar ve yetersiz yağışın etkili olduğu kurak bir büyüme sezonu olarak öne çıkarken, 2018 yılı yüksek toplam yağış miktarına rağmen düzensiz yağış dağılımı ile karakterize olmuştur. Her iki yılda da sıcaklık değerlerinin uzun yıllar ortalamasının üzerinde seyretmesi, iklim değişikliğinin bölgedeki soya üretimi üzerindeki etkilerini açıkça ortaya koymaktadır. Bu koşullar, bitkinin su stresine karşı hassasiyetini artırmış ve özellikle sulama yönetiminin, çeşit seçiminin ve ekim zamanlamasının soya üretiminde kritik önem kazandığını göstermektedir (Tablo 2).

Tablo 2

Soya 2017-2018 yılları vejetasyon dönemi (Mayıs-Ekim) ve uzun yıllar (1929-2018) ortalamasına ait bazı meteorolojik değerler

Aylar/Yıllar	Ortalama Sıcaklık (°C)			Yağış (mm)		
	2017	2018	1929-2018	2017	2018	1929-2018
Mayıs	15.4	17.2	15.9	41.0	72.2	43.5
Haziran	20.0	21.2	20.2	18.4	38.8	25.7
Temmuz	25.2	24.9	23.6	0.0	20.4	7.7
Ağustos	24.0	24.3	23.4	19.0	0.8	6.2
Eylül	21.3	19.8	18.8	0.0	8.0	13.6
Ekim	12.1	13.4	12.9	13.0	41.6	29.3
Toplam				82.4	181.8	126.0
Ortalama	19.6	20.1	19.1			

Materyal

Araştırmada 7 adet ileri soya hattı ve 6 tescilli soya çeşidi (Arısoy, Çetinbey, SA-88, Umut 2002, Ataem-7, Nova) materyal olarak kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan hatlara ait ebeveyn kombinasyonları aşağıda verilmiştir (Tablo 3).

Denemede karşılaştırma amacıyla kullanılan tescilli çeşitlere ait temel morfolojik ve teknolojik özellikler aşağıda özetlenmiştir (Tablo 4).

Buğday hasadını takiben deneme alanı birinci ve ikinci sınıf toprak işleme aletleri ile normal derinlikte işlenmiş, ekim öncesinde dekara 30 kg 20-20-0 (N-P-K) olacak şekilde kompoze gübre uygulanmıştır. Ekim öncesinde soya tohumları *Bradyrhizobium japonicum* bakterisi ile aşılanmıştır. Aşılama işlemi, bakteri kültürünün zarar görmemesi için gölgede yapılmış; 100 kg tohuma 1 kg toz bakteri oranında, şekerli suyla hafif nemlendirilmiş, tohumlara bakteri homojen şekilde karıştırılarak uygulanmıştır. Her parsel 5 m uzunluğunda ve 45 cm sıra arası mesafede altı sıradan oluşturulmuştur. Böylece her parselin toplam alanı $2.7 \text{ m} \times 5.0 \text{ m} = 13.5 \text{ m}^2$ olarak planlanmıştır. Ekimler her iki yılda da Mayıs ayının II. haftasında makine ile yapılmış; çıkışlar yaklaşık bir hafta içinde tamamlanmıştır. Çıkışların ardından bitkilerin köklerinde nodozitelerin olduğu gözlemlendiğinden, ek azotlu gübreleme yapılmamıştır. Yabancı ot kontrolü çapalama yoluyla gerçekleştirilmiş, bitkiler 15 cm boya ulaştığında sıra üzeri mesafeler 5 cm olacak biçimde seyreltme yapılmıştır. Yetiştirme döneminde bitkinin ihtiyacına göre toplam 5 sulama yapılmış, sulamalar damlama sulama usulüyle yürütülmüştür. Hasat, çeşitlerin fizyolojik olgunluğa ulaşmasıyla birlikte her iki yılda da Ekim ayının II. yarısında gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3

Araştırmada kullanılan ileri kademe soya hatları ve melez kombinasyonları

Sıra No	Hat No	Melez Kombinasyonu
1	HAT I	HP 203 × Felix
2	HAT II	Ataem-7 x Felix
3	HAT III	NE 3399 × Apollo
4	HAT IV	NE 3399 × Apollo
5	HAT V	NE 3399 × Apollo
6	HAT VI	NE 3297 × Felix
7	HAT VII	NE 3399 × Apollo

Araştırmada incelenen özellikler; tane verimi (kg da^{-1}), protein oranı (%), yağ oranı (%), bitki boyu (cm), ilk bakla yüksekliği (cm), bitki başına bakla sayısı (adet), bin tane ağırlığı (g) ve çiçeklenme gün sayısı olmuştur. Elde edilen veriler, “Tesadüf Blokları Deneme Deseni”ne uygun olarak JMP 11 istatistik paket programında varyans analizine tabi tutulmuş, işlemler arasındaki farklar F testi ile belirlenmiş ve ortalamalar LSD testine göre gruplandırılmıştır.

BULGULAR

İki yıl süresince yürütülen çalışmada, genotipler arasındaki farklılık, bitki boyu için $p < 0.05$ düzeyinde önemli, ilk bakla yüksekliği bakımından ise istatistiki olarak önemsiz bulunmuş; diğer tüm parametreler açısından $p < 0.01$ seviyesinde anlamlı farklılık belirlenmiştir. Yıllar arasındaki farklılık yağ oranı için $p < 0.05$, ilk bakla yüksekliği için $p < 0.01$ düzeyinde önemli olup, diğer özelliklerde istatistiki bir farklılık saptanmamıştır. Genotip × yıl interaksyonu ise tüm parametrelerde istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur (**Tablo 5**).

2017 yılında tane verimleri $260.8\text{--}397.0 \text{ kg da}^{-1}$ arasında değişmiş, en yüksek değer HAT II (397.0 kg da^{-1}) genotipinden, en düşük değer ise Nova (260.8 kg da^{-1}) çeşidinden elde edilmiştir. 2018 yılında ise verim değerleri $289.5\text{--}461.4 \text{ kg da}^{-1}$ arasında değişmiş olup, en yüksek verim HAT I (461.4 kg da^{-1}), en düşük verim ise HAT VII (289.5 kg da^{-1}) genotipinde saptanmıştır (**Tablo 6**). İki yıl ortalamasına göre tane verimi $292.2\text{--}397.3 \text{ kg da}^{-1}$ arasında değişmiş, deneme ortalaması 325.3 kg da^{-1} olarak bulunmuştur (**Tablo 6**). En yüksek ortalama verim HAT I (397.3 kg da^{-1}) genotipinden elde edilmiştir. Bunu HAT II (368.5 kg da^{-1}) ve HAT III (353.0 kg da^{-1}) genotipleri izlemiştir. En düşük

ortalama değer HAT VII (292.2 kg da⁻¹) genotipinde belirlenmiştir. Standart çeşitler arasında Ataem-7 (337.6 kg da⁻¹) ve Umut 2002 (323.2 kg da⁻¹) daha yüksek verim değerine sahip olmuştur (**Tablo 6**).

Tablo 4

Soya çeşitleri ve genel özellikleri

Çeşit Adı	OG	BB (cm)	İBY (cm)	BTA (g)	VP (kg/da)	PO (%)	YO (%)	Özellik
Arısoy	Orta Erk	95-125	15	160-190	500- 600	38-39	19-23	Yüksek adaptasyon, stres toleransı, Beyaz çiçekli
Çetinbey	Orta Erk	80-120	4-14	145-205	350- 450	35-40	16-20	Yarı dik form, tane dökmez, mor çiçekli
SA-88	Erkenci	90-100	15	160-180	213- 452	35-37	19-22	Yatmaya dayanıklı, mor çiçekli, ikinci ürüne uygun, mor çiçekli
Umut 2002	Orta Erk	130- 140	14- 18	180-200	370- 380	35-37	19-22	Yüksek verimli, iri taneli, yüksek linoleik asit, mor çiçekli
Ataem-7	Orta Erk	130- 140	14- 17	170-190	350- 380	36-38	18-21	Yüksek linoleik (%55), yüksek protein, Beyaz çiçekli
Nova	Erkenci	85-110	12- 16	150-165	300- 340	30-35	18-21	Erken olgunlaşan, iri taneli, yüksek adaptasyon, Beyaz çiçekli

OG: Olgunlaşma Grubu, BB: Bitki Boyu, İBY: İlk Bakla Yüksekliği, BTA: Bin Tane Ağırlığı, VP: Verim Potansiyeli, PO: Protein Oranı, YO: Yağ Oranı

Protein oranı bakımından genotipler arasındaki farklılık istatistiki olarak $p < 0.01$ seviyesinde önemli bulunmuşken, yıl ve genotip $\times$ yıl interaksyonu ise istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur (Tablo 5).

Tablo 5

Bazı soya genotiplerinin verim ve verim unsurlarına ait varyans analiz sonuçları

Var Kaynağı	SD	TV KO	PO KO	YO KO	BB KO	BTA KO	ÇGS KO	İBY KO	BBBS KO
Yıl	1	69039.4 ^{öd}	195.2 ^{öd}	125.7*	287.7 ^{öd}	324.8 ^{öd}	116.35**	8.83 ^{öd}	324.8 ^{öd}
Genotip	12	8095.8**	10.6**	3.5**	358.9*	1295.9**	8.43**	6.08 ^{öd}	1295.9**
Genotip * Yıl	12	5250.4 ^{öd}	1.5 ^{öd}	0.5 ^{öd}	97.8 ^{öd}	76.7 ^{öd}	2.78 ^{öd}	1.44 ^{öd}	76.7 ^{öd}
Hata	6	15825.4	11.6	11.3	83.8	151.7	5.97	2.77	151.7

SD: Serbestlik Derecesi, KO: Kareler Ortalaması, TV: Tane Verimi, BB: Bitki Boyu, PO: Protein Oranı, YO: Yağ Oranı, BTA: Bin Tane Ağırlığı, ÇGS: Çiçeklenme gün sayısı, İBY: İlk Bakla Yüksekliği, BBBS: Bitki başına bakla sayısı

** : Aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar istatistiki olarak $p < 0.01$ seviyesine göre önemli değildir.

* : Aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar istatistiki olarak $p < 0.05$ seviyesine göre önemli değildir.

öd: Ortalamalar arasındaki farklılıklar istatistiki olarak önemli değildir.

2017 yılında protein oranı değerleri %38.4–%41.4 arasında değişmiş, en yüksek değer Umut 2002 (%41.4) genotipinden, en düşük değer ise Nova (%38.4) çeşidinden elde edilmiştir. 2018 yılında ise protein oranı %34.3–%39.3 arasında değişmiş olup, en yüksek değer yine Umut 2002 (%39.3), en düşük değer ise Nova (%34.3) genotipinde saptanmıştır (Tablo 6). İki yıl ortalamasına göre protein oranı %36.4–%40.4 arasında değişmiş, deneme ortalaması %38.8 olarak bulunmuştur (Tablo 6). En yüksek

ortalama protein oranı Umut 2002 (%40.4) ve HAT VII (%40.0) genotiplerinden elde edilmiştir. Bu genotipleri Çetinbey (%39.8) ve Ataem-7 (%39.7) takip etmiştir. En düşük ortalama değer Nova (%36.4) genotipinde belirlenmiştir. Standart çeşitler arasında Umut 2002 (%40.4) ve Ataem-7 (%39.7) yüksek protein değerleriyle öne çıkmıştır (Tablo 6).

Yağ oranı yönünden genotipler arasındaki farklılık istatistiki olarak $p < 0.01$ ve yıl $p < 0.05$ seviyesinde önemli bulunmuşken, genotip $\times$ yıl interaksyonu ise istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur (Tablo 5).

2017 yılında yağ oranı değerleri %18.1–%20.7 arasında değişmiş, en yüksek değer HAT II (%20.7) genotipinden, en düşük değer ise Umut 2002 (%18.1) genotipinden elde edilmiştir. 2018 yılında ise yağ oranı %20.3–%23.3 arasında değişmiş olup, en yüksek değer HAT II (%23.3), en düşük değer ise yine Umut 2002 (%20.3) genotipinde saptanmıştır (Tablo 6). İki yıl ortalamasına göre yağ oranı %19.2–%22.0 arasında değişmiş, deneme ortalaması %20.9 olarak bulunmuştur (Tablo 6). En yüksek ortalama yağ oranı HAT II (%22.0) genotipinden elde edilmiştir. Bu genotipi Nova (%21.5) ve Ataem-7 (%21.3) izlemiştir. En düşük ortalama değer ise Umut 2002 (%19.2) genotipinde belirlenmiştir. Standart çeşitler arasında Ataem-7 (%21.3) ve Arısoy (%20.8) daha yüksek yağ oranına sahip olmuştur (Tablo 6).

Bitki boyu bakımından genotipler arasındaki farklılık istatistiki olarak $p < 0.05$ seviyesinde önemli bulunmuşken, yıl ve genotip $\times$ yıl interaksyonu istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur (Tablo 5).

2017 yılında bitki boyları 88.8–118.1 cm arasında değişmiş, en yüksek değer HAT I (118.1 cm), genotipinden, en düşük değer ise Çetinbey (88.8 cm) çeşidinden elde edilmiştir. 2018 yılında ise bitki boyu değerleri 100.8–119.5 cm arasında değişmiş olup, en yüksek değer Ataem-7 (119.5 cm), en düşük değer ise Nova (100.8 cm) çeşitlerinde saptanmıştır (Tablo 6). İki yıl ortalamasına göre bitki boyu 99.9–118.1 cm arasında değişmiş, deneme ortalaması 108.6 cm olarak bulunmuştur (Tablo 6). En yüksek ortalama bitki boyu Ataem-7 (118.1 cm) ve HAT I (117.1 cm) genotiplerinden elde edilmiştir. En düşük ortalama değer ise Çetinbey (99.9 cm) çeşidinde belirlenmiştir. Standart çeşitler arasında Ataem-7 (118.1 cm) ve Umut 2002 (113.1 cm) daha uzun bitki boyuna sahip olmuştur (Tablo 6).

Bin tane ağırlığı bakımından genotipler arasındaki farklılık istatistiki olarak $p < 0.01$ seviyesinde önemli bulunmuşken, yıl ve genotip $\times$ yıl interaksyonu ise istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur (Tablo 5).

2017 yılında bin tane ağırlığı 111.6–160.8 g arasında değişmiş olup, en yüksek değer HAT II (160.8 g), en düşük değer ise SA-88 (111.6 g) genotiplerinden elde edilmiştir. 2018 yılında ise bu değerler 115.6–157.9 g arasında değişmiş; en yüksek bin tane ağırlığı Çetinbey (157.9 g) genotipinde, en düşük değer ise HAT III (115.6 g) genotipinde saptanmıştır (Tablo 6). İki yıl ortalamasına göre bin tane ağırlığı 115.8–157.5 g arasında değişmiş olup, deneme ortalaması 137.6 g olarak belirlenmiştir. Çetinbey (157.5 g) ve HAT II (154.7 g) genotipleri yüksek bin tane ağırlığı ile dikkat çekmiştir (Tablo 6).

Çiçeklenme gün sayısı genotipler arasındaki farklılık istatistiki olarak $p < 0.01$ seviyesinde önemli bulunmuşken, yıl ve genotip $\times$ yıl interaksyonu ise istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur (Tablo 5).

Tablo 6

Bazı soya genotiplerinin 2017-2018 yetiştirme dönemlerine ait verim ve verim unsurları değerleri ve LSD grupları

Genotip	Verim (kg/da)			Protein Oranı (%)			Yağ oranı (%)			Bitki boyu (cm)		
	2017	2018	Ort.	2017	2018	Ort.	2017	2018	Ort.	2017	2018	Ort.
Hat I	333.1	461.4	397.3 a	39.1	37.3	38.2 cde	20.1	22.0	21.0 bcd	118.1	116.4	117.1 a
Hat II	397.0	339.9	368.5 ab	39.7	36.3	38.2 cde	20.7	23.3	22.0 a	116.1	113.6	115.1 a
Hat III	345.1	360.9	353.0 abc	38.6	36.3	37.4 ef	19.9	22.0	21.0 bcd	98.9	105.3	101.1 bc
Hat IV	290.5	359.7	325.1 bcd	40.4	35.3	38.1 de	19.9	22.0	21.0 bcd	112.1	110.5	111.1 abc
Hat V	284.4	358.8	321.6 bcd	39.6	37.3	38.3 b-e	20.5	22.2	21.3 abc	112.1	108.9	110.1 abc
Hat VI	289.3	302.7	296.2 d	40.6	38.3	39.6 a-d	19.5	21.8	20.7 bcd	97.9	102.4	100.1 c
Hat VII	295.8	289.5	292.2 d	41.0	39.3	40.0 a	19.3	21.6	20.3 d	111.1	111.4	111.1 abc
Arisoy	275.4	321.4	298.4 cd	41.1	37.3	39.2 a-d	20.0	22.0	20.8 bcd	103.1	109.8	106.1 abc
Ataem-7	273.3	401.8	337.6 bcd	40.7	38.3	39.7 abc	20.5	22.0	21.3 abc	116.1	119.5	118.1 a
Çetinbey	292.6	343.8	318.2 bcd	41.1	38.3	39.8 ab	18.9	21.3	20.4 cd	88.8	110.1	99.9 c
Nova	260.8	330.0	295.2 d	38.4	34.3	36.4 f	19.8	23.2	21.5 ab	99.9	100.8	100.1 c
SA-88	269.6	332.9	301.3 cd	40.9	38.3	39.5 a-d	19.7	21.9	20.8 bcd	106.1	105.9	106.1 abc
Umut 2002	286.5	359.9	323.2 bcd	41.4	39.3	40.4 a	18.1	20.3	19.2 e	107.1	118.4	113.1 ab
Standart Ort	276.4	314.9	312.4	40.6	37.6	39.2	19.5	21.8	20.6	103.6	110.7	107.2
Hat Ort	319.3	353.3	336.3	39.9	37.2	38.5	20.0	22.1	21.0	109.7	109.8	109.7
Genel Ort	299.5	351	325.3	40.2	37.3	38.8	19.8	21.9	20.9	105.9	110.2	108.6

Genotip	Bin tane ağırlığı (g)			Çiçeklenme gün sayısı (gün)			İlk bakla yüksekliği (cm)			Bitki başına bakla sayısı (adet)		
	2017	2018	Ort.	2017	2018	Ort.	2017	2018	Ort.	2017	2018	Ort.
HAT I	128.0	132.4	130.2 c	69.0	71.5	70.3 e	6.8	6.6	6.7 a-e	27.3	31.5	29.4 a-d
HAT II	160.8	148.6	154.7 a	70.8	73.5	72.1 cd	7.3	7.9	7.6 a-d	29.3	32.7	31.0 abc
HAT III	115.9	115.6	115.8 d	71.8	73.3	72.5 bcd	5.6	5.7	5.7 e	30.3	33.1	31.7 ab
HAT IV	133.8	139.9	136.8 c	71.0	72.5	71.8 cd	8.1	7.5	7.8 ab	26.0	29.7	27.8 a-e
HAT V	146.6	148.5	146.6 b	70.3	72.8	71.5 de	6.6	7.5	7.1 a-e	27.3	35.8	31.5 ab
HAT VI	146.4	146.4	146.4 b	72.0	73.8	72.9 bc	6.1	5.9	6.0 de	25.5	29.6	27.5 b-e
HAT VII	128.8	139.4	134.1 c	70.8	72.0	71.4 de	7.5	9.0	8.2 a	30.4	32.0	31.2 ab
Arisoy	146.6	150.1	145.4 b	72.0	72.0	72.0 cd	7.4	7.3	7.3 a-e	34.4	30.7	32.5 a
Ataem-7	134.1	140.5	137.3 c	71.0	74.3	72.6 bcd	7.6	8.2	7.9 ab	20.6	31.9	26.3 cde
Çetinbey	157.1	157.9	157.5 a	71.8	72.0	71.9 cd	7.8	7.7	7.7 a-d	18.3	30.2	24.2 e
Nova	136.0	138.4	137.2 c	72.0	75.5	73.8 ab	5.6	7.2	6.4 b-e	27.8	31.0	29.4 a-d
SA-88	111.6	121.8	116.7 d	72.5	76.0	74.3 a	5.3	6.8	6.0 de	25.5	33.3	29.4 a
Umut 2002	126.1	133.9	130.0 c	70.5	73.8	72.1 cd	5.0	6.6	6.0 cde	20.3	30.3	25.3 de
Standart Ort	135.3	140.5	137.4	71.6	73.9	72.8	6.4	7.4	6.8	24.5	31.2	27.9
Hat Ort	137.2	138.7	137.8	70.8	72.8	71.8	6.9	7.2	7.0	28.0	32.0	30.0
Genel Ort	136.3	139.6	137.6	71.2	73.3	72.2	6.7	7.3	6.9	26.4	31.6	29.0

2017 yılında çiçeklenme gün sayısı 69.0–72.5 gün arasında değişmiş; en erken çiçeklenen genotip HAT I (69.0 gün), en geç çiçeklenen ise SA-88 (72.0 gün) olarak belirlenmiştir. 2018 yılında bu değerler 71.5–76.0 gün arasında değişmiş, en kısa sürede çiçeklenen genotip HAT I (71.5 gün), en uzun sürede çiçeklenen ise SA-88 (76.0 gün) çeşidi olmuştur. İki yıl ortalamasına göre çiçeklenme süresi 70.3–74.3 gün arasında değişmiş, deneme ortalaması 72.2 gün olarak bulunmuştur. En yüksek ortalama çiçeklenme gün sayısı SA-88 (74.3 gün) çeşidinden, en düşük ortalama değer ise HAT I (70.3 gün) genotipinde belirlenmiştir (Tablo 6).

İlk bakla yüksekliği yönünden genotip, yıl ve genotip X yıl interaksyonu bakımından istatistiki olarak önemli farklılık bulunmamıştır (Tablo 5). 2017 yılında ilk bakla yüksekliği 5.3–8.1 cm arasında değişmiş olup, en yüksek değer HAT IV (8.1 cm), en düşük değer SA-88 (5.3 cm) çeşidinde belirlenmiştir. 2018 yılında değerler 5.9–9.0 cm arasında değişmiş; en yüksek değer HAT VII (9.0 cm), en düşük değer ise HAT VI (5.9 cm) genotipinde saptanmıştır. İki yıl ortalamasına göre ilk bakla yüksekliği 5.7–8.2 cm arasında değişmiş, deneme ortalaması 7.0 cm olarak bulunmuştur. Ataem-7 (7.9 cm) ve Çetinbey (7.7 cm) genotipleri yüksek ilk bakla yüksekliğiyle öne çıkmıştır (Tablo 6).

Bitki başına bakla sayısı açısından genotipler arasındaki farklılık istatistiki olarak $p < 0.05$ seviyesinde önemli bulunmuşken, yıl ve genotip $\times$ yıl interaksyonu istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur (Tablo 5). 2017 yılında bitki başına bakla sayısı 18.3–34.4 adet arasında değişmiş, en yüksek değer Arısoy (34.4 adet), en düşük değer ise Çetinbey (18.3 adet) genotipinden elde edilmiştir. 2018 yılında ise bakla sayısı 29.6–35.8 adet arasında değişmiş olup, en yüksek değer HAT V (35.8 adet), en düşük değer ise HAT VI (29.6 adet) genotipinde belirlenmiştir (Tablo 6). İki yıl ortalamasına göre bitki başına bakla sayısı 24.2–32.5 adet arasında değişmiş, deneme ortalaması 29.0 adet olarak bulunmuştur (Tablo 6). En yüksek ortalama değer Arısoy (32.5 adet) ve HAT III (31.7 adet) genotiplerinde saptanmıştır. En düşük ortalama değer ise Çetinbey (24.2 adet) genotipinde belirlenmiştir. Standart çeşitler arasında Arısoy (32.5 adet) en yüksek bakla sayısına sahip olmuştur (Tablo 6).

TARTIŞMA

Bu çalışma, Konya'nın yarı kurak ekolojisinde farklı soya genotiplerinin verim ve kalite özellikleri üzerinde genotip, yıl ve genotip $\times$ yıl interaksyonunun etkilerini ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, soya verimliliği ve kalitesinin, genetik potansiyel ile çevresel koşulların, özellikle de vejetasyon dönemi sıcaklık ve yağış dağılımının karmaşık bir etkileşiminin sonucu olduğunu göstermektedir. Çalışmanın yürütüldüğü 2017 ve 2018 yılları, sıcaklık ve yağış rejimleri açısından belirgin farklılıklar göstermiş; 2017 yılı kurak ve sıcak, 2018 yılı ise toplamda daha yağışlı ancak yağış dağılımı düzensiz bir karaktere sahip olmuştur. Bu değişken iklim, genotiplerin fenolojik, morfolojik ve fizyolojik tepkilerinde farklılaşmaya yol açmıştır.

Tane veriminde gözlemlenen genotipik farklılıklar hem genetik varyasyon hem de yıllık iklim koşullarıyla etkileşimin bir sonucudur. HAT I, HAT II ve HAT III gibi ileri hatların her iki yılda da nispeten yüksek ve istikrarlı verim performansı göstermesi, bu genotiplerin değişen çevre koşullarına daha iyi uyum sağlayabildiğini düşündürmektedir. Malek ve ark. (2014) ve Vratarić & Sudarić (2008)'ın da belirttiği gibi, yüksek verimli ve istikrarlı genotiplerin seçiminde verim bileşenlerinin farklı çevreler altındaki davranışının iyi gözlemlenmesi kritik öneme sahiptir. Ayrıca literatürde rapor edilen tane verimi aralıkları (122–496 kg/da; Boydak ve İşler, 1995) ve Menemen koşullarında bildirilen 215–387 kg/da aralığı (Karagül ve ark., 2011) ile bu çalışmada elde edilen 292.2–397.3 kg/da aralığındaki verim değerleri genel çerçevede uyumludur. Bu durum, elde edilen verim düzeylerinin İç Anadolu koşullarında rekabet edebilir olduğunu ve yıllar arası farklılığın büyüklüğünün bölgesel iklim değişkenliğiyle doğrudan ilişkili bulunduğunu göstermektedir.

Verim bileşenleri açısından, bitki başına bakla sayısı verim istikrarı ile ilişkili önemli bir bileşendir. Arısoy ve HAT III gibi yüksek bakla sayısına sahip genotipler, daha uygun vejetatif gelişim dönemi olan 2018'den daha fazla fayda sağlamıştır; buna karşılık Çetinbey gibi düşük bakla sayılı genotiplerde nihai verimin sınırlandığı görülmüştür. Bu gözlem, Yaver ve Paşa (2009) ile Çalışkan ve Arıoğlu (2004) tarafından bildirilen bakla sayısı $\times$ verim ilişkisinin yerel koşullarda da geçerli olduğunu desteklemektedir. Benzer şekilde, Karagül ve ark. (2011) de Menemen koşullarında 28–36 adet bakla sayısına sahip genotiplerin 350 kg/da düzeyine kadar verim gösterebildiğini bildirmiştir; bu bulgu,

mevcut araştırmadaki Arısoy ve HAT III genotiplerinin verim performansı ile örtüşmektedir.

Protein ve yağ oranları bakımından sonuçlar da literatür ile genel olarak uyumludur. Denemede protein oranı %36.4–40.4, yağ oranı ise %19.2–22.0 arasında değişmiş, literatürde bildirilen %35–42 protein (Karagül *ve ark.*, 2011) ve %18–23 yağ (Boydak ve İşler, 1995) aralıklarıyla uyum göstermiştir. Kurak yıllarda protein oranının artarken yağ oranının azalması eğilimi, Hu ve Wiatrak (2012) ile Ravelombola (2022)'nin belirttiği çevresel stres tepkileriyle paraleldir. Bu sonuçlar, 2017 yılında yüksek sıcaklık ve düşük yağış nedeniyle protein oranlarının nispeten yüksek, yağ oranlarının ise düşük gerçekleşmesini açıklamaktadır.

Bin tane ağırlığı bakımından, Çetinbey ve HAT II genotipleri yüksek değerlere ulaşmış olup (157.5 g ve 154.7 g), bu durum genetik yapının etkisini açıkça göstermektedir. Boydak ve İşler (1995) tarafından bin tane ağırlığı değerlerinin 130–170 g aralığında bildirildiği dikkate alındığında, bu çalışmada gözlenen değerlerin Türkiye koşulları için tipik sınırlar içinde olduğu söylenebilir. Bu parametrenin yıl faktöründen etkilenmemesi, bin tane ağırlığının büyük oranda genotipik kontrol altında olduğunu desteklemektedir (Vratarić ve Sudarić, 2008).

Bitki boyu ve ilk bakla yüksekliği genotipik özelliklerle yakından ilişkilidir. Ataem-7 ve HAT I, HAT II genotipleri yüksek bitki boyu değerleriyle öne çıkarken, bu değerler Karagül *ve ark.* (2011)'in Menemen koşullarında bildirdiği 95–120 cm aralığıyla benzerlik göstermektedir. İlk bakla yüksekliği bakımından önemli bir farklılık olmamakla birlikte, Arısoy ve Ataem-7 genotiplerinin yüksek değerlere sahip olması, hasat kolaylığı açısından avantaj sağlamaktadır (Tucak *ve ark.*, 2016).

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu araştırma, Konya'nın yarı kurak koşullarında yürütülen iki yıllık denemelerle farklı soya genotiplerinin verim, kalite ve adaptasyon performanslarını ortaya koymuştur. Bulgular, bölge koşullarında soya tarımında başarının yalnızca genotiplerin yüksek verim potansiyeline değil; aynı zamanda çevresel streslere dayanıklılık, verim istikrarı ve uygun morfolojik özelliklerin bir arada bulunmasına bağlı olduğunu göstermiştir.

Hat I (397.3 kg/da) en yüksek verimi sergilerken, Hat II, Ataem-7 ve Umut 2002 genotipleri istikrarlı performanslarıyla öne çıkmıştır. Kalite yönünden Umut 2002 ve Hat VII yüksek protein oranlarıyla, Hat II ise yüksek yağ içeriğiyle dikkat çekmiştir. Bu durum, protein ve yağ arasındaki ters ilişkinin ıslah çalışmalarında denge gözetilerek ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Genel olarak Hat I, Hat II, Ataem-7 ve Umut 2002; yüksek verim, kaliteli tane yapısı, stres toleransı ve mekanizasyona uygun morfolojik özellikleri ile Konya koşulları için en uygun aday genotipler olarak belirlenmiştir.

İklim değişikliği ve su kısıtının giderek arttığı günümüz koşullarında, erkenci ve orta erkenci genotiplerin tercih edilmesi, yalnızca verim değil; aynı zamanda kalite, adaptasyon ve sürdürülebilirlik kriterlerinin birlikte değerlendirilmesi yönünde önemli bir strateji olarak önerilmektedir.

REFERANSLAR

- Boydak, E., & İşler, N. (1995). Şanlıurfa koşullarında ikinci ürün olarak bazı soya çeşitlerinin dört farklı sıra arasında önemli tarımsal karakterlerinin ve veriminin belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 1(3), 65–80.
- Carpenter, A. C., & Board, J. E. (1997). Growth dynamic factors controlling soybean yield stability across plant populations. *Crop Science*, 37(5), 1520–1526.

- Çalışkan, S., & Arıoğlu, H. H. (2004). Amik Ovası koşullarında ikinci ürün olarak yetiştirilebilecek soya çeşit ve hatlarının belirlenmesi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(1–2), 23–32.
- Ghodrati, G. (2013). Study of genetic variation and broad sense heritability for some qualitative and quantitative traits in soybean (*Glycine Max* L.) Genotypes. *Current Opinion in Agriculture*, 2(1), 31–35.
- Hatfield, J. L., & Prueger, J. H. (2015). Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, 10, 4–10.
- He, J., Du, Y. L., Wang, T., Turner, N. C., Yang, R. P., Jin, Y., & Li, F. M. (2017). Conserved water use improves the yield performance of soybean (*Glycine Max* L. Merr.) under drought. *Agricultural Water Management*, 179, 236–245.
- Hu, M., & Wiatrak, P. (2012). Effect of planting date on soybean growth, yield, and grain quality. *Agronomy Journal*, 104(3), 785–790.
- Kalenska, S. M., Ermakova, L. M., Palamarchuk, V. D., Polishchuk, I. S., & Polishchuk, M. I. (2015). System of modern intensive technologies in crop production. Kyiv: Rogalska I. O. (in Ukrainian).
- Karagül, E. T., Tunca, Z., Yücel, D., Akçin, A., & Tuğay, M. E. (2011). Ege Bölgesi'nde ana ürün olarak yetiştirilen bazı soya genotiplerinin verimi, verim öğeleri ve nitelikleri üzerinde bir araştırma. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 59–68.
- Kovačević, V., Kovačević, D., Pepo, P., & Marković, M. (2013). Climate change in Croatia, Serbia, Hungary and Bosnia and Herzegovina: Comparison of the 2010 and 2012 maize growing seasons. *Poljoprivreda*, 19(2), 16–22.
- Kumagai, E., & Sameshima, R. (2014). Genotypic differences in soybean yield responses to increasing temperature in a cool climate are related to maturity group. *Agricultural and Forest Meteorology*, 198, 265–272.
- Malek, M. A., Rafii, M. Y., Afroz, M. S. S., Nath, U. K., & Mondal, M. M. A. (2014). Morphological characterization and assessment of genetic variability, character association, and divergence in soybean mutants. *The Scientific World Journal*, 968796.
- Mert, M., & İlker, E. (2016). Ana ürün koşullarında bazı soya (*Glycine Max* L. Merr.) hat ve çeşitlerinin Aksaray bölgesine adaptasyonu üzerine çalışmalar. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25(2), 176–181.
- Miladinović, J. (1997). Components of phenotypic variation for photoperiod in soybean (*Glycine Max* L. Merr.) (Master's thesis). University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Serbia.
- Miladinović, J., Hrustić, M., & Vidić, M. (2011). Soybean. Novi Sad, Serbia: Institute of Field and Vegetable Crops and AMB Graphics.
- Miransari, M., Adham, S., Miramsari, M., & Miramsari, A. (2022). The physicochemical approaches of altering growth and biochemical properties of medicinal plants in saline soils. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 106(5), 1895–1904.
- Prasad, P. V. V., Thomas, J. M. G., & Narayanan, S. (2017). Global warming effect. In B. Thomas, B. G. Murray, & D. J. Murphy (Eds.), *Encyclopedia of Applied Plant Science* (2nd ed., pp. 289–299). Academic Press.

- Ravelombola, F. S. (2022). Breeding soybean (*Glycine Max* L. Merr.) under reduced irrigation (Doctoral dissertation). University of Arkansas.
- Soba, D., Arrese-Igor, C., & Aranjuela, I. (2022). Additive effects of heatwave and water stresses on soybean seed yield are caused by impaired carbon assimilation or pod formation but not flowering. *Plant Science*, 321, 111320.
- Thomas, J. M. G., Boote, K. J., Pan, D., & Allen, L. H. Jr. (2010). Elevated temperature delays onset of reproductive growth and reduces seed growth rate of soybean. *Journal of Agro Crop Science*, 1, 19–32.
- Tucak, M., Popović, S., Čupić, T., Krizmanić, G., Španić, V., Meglič, V., & Radović, J. (2016). Assessment of red clover (*Trifolium pratense* L.) productivity in environmental stress. *Poljoprivreda*, 22(2), 3–9.
- Tugay, M. E., Tunca, Z., & Akçin, A. (2011). *Soya Fasulyesi Tarımı ve Islahı*. İzmir, Ege Üniversitesi Yayınları.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2018). Bitkisel üretim istatistikleri. <http://tuikapp.tuik.gov.tr/bitkiselapp/bitkisel.zul>
- Vratić, M., & Sudarić, A. (2008). Soja (*Glycine Max* L. Merr.). Osijek: Poljoprivredni Institut Osijek.
- Yarasır, N., Yiğit, A., & Ereku, O. (2024). Yield and quality responses of soybean (*Glycine Max* L. Merr.) varieties inoculated with Rhizobia strains under drought stress. *Turkish Journal of Field Crops*, 29(2), 165–176.
- Yaver, S., & Paşa, C. (2009, Ekim 19–22). *Tekirdağ koşullarındaki bazı soya çeşitlerinin verim kriterleri üzerine bir araştırma*. In VIII. Tarla Bitkileri Kongresi (Cilt 1, ss. 197–200). Hatay, Türkiye.

Ağaçlandırma Çalışmalarında Farklı Su Hasadı Teknikleri ve Örtü Malzemelerinin Etkinliğinin Belirlenmesi

Osman Çağırğan^{1*}, Osman Mücevher¹, Mehmet Ali Dünder²,
Kemal Duyan¹, Erdal Gönülal², Durmuş Ali Kipritci¹, Feti Kırtış¹

¹ Toprak Su ve Çölleşme ile Mücadele Araştırma Enstitüsü, Konya, Türkiye

² Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Konya, Türkiye

Makale Bilgisi

Geliş Tarihi: 20.11.2025
Kabul Tarihi: 26.12.2025
Yayın Tarihi: 31.12.2025

Anahtar Kelimeler:

Su hasadı,
Örtü malzemeleri,
Toprak nemi,
Ağaçlandırma.

ÖZET

Su, bitkisel üretim çeşitliliğini ve verimi sınırlandıran en önemli faktördür. Yağışın yetersiz olduğu kurak ve yarı kurak alanlarda sulama imkânının çok sınırlı olması, maliyetinin yüksek olması ve tuzlanma gibi sorunlar ağaçlandırma çalışmalarını da sınırlandırmaktadır. İklim değişikliğiyle beraber yağışların daha da azalma eğiliminde olduğu bu alanlardaki bitki örtüsünden yoksun arazilerde çölleşme ve erozyon riski giderek artmaktadır. Bu alanlarda sürdürülebilir ve makul ağaçlandırma büyük ölçüde yağışlara bağlıdır. Yüzey akışına geçen yağışın toprak profilinde biriktirilmesi olan su hasadı, kurak alanlarda etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Toprak yüzeyinin örtü malzemeleriyle kapatılması ise mevcut nemin korunmasında etkilidir. 2015-2019 yılları arasında yürütülen bu çalışmada Toros sediri (*Cedrus libani*) ile yapılan ağaçlandırma çalışmalarında mikro havza su hasadı tekniği olarak eş yükselti seddeler ve kaş seddeler uygulamalarının toprağın su muhafazasına etkileri incelenmiştir. Ayrıca alt konu olarak örtü malzemeleri uygulanmış ve plastik, taş, talaş, kontrol konuları denenmiştir. Deneme sonucunda en yüksek toprak nem içeriği 381.90 mm ile KŞSp ve 368.69 mm ile EYEp konularında tespit edilmiştir. Örtü malzemelerinde ortalama toprak nemi kontrol konusunda 248.35 mm iken plastik, taş ve talaş konularında sırasıyla 375.30, 328.48 ve 294.59 mm düzeylerinde istatistikî olarak önemli farklılıklar tespit edilmiştir. Deneme sonunda bitki boyu eş yükselti ve kaş seddelerde sırasıyla 125 ve 99 cm olarak tespit edilmiş olup farklılık önemli bulunmuştur. Örtü malzemelerinde plastiğin kontrole nazaran bitki boyunda % 100 artış sağladığı görülmektedir. Bitki çapındaki ölçümler bitki boyuna benzer bulunmuştur. Çalışmanın sonuçları dikkate alındığında kurak ve yarı kurak bölgelerde ağaçlandırma çalışmalarında su hasadı uygulamalarına ilave olarak örtü malzemelerinin kullanılması önerilmektedir.

Determining the Effectiveness of Different Water Harvesting Techniques and Covering Materials in Afforestation Studies

Article Info

Received: 20.11.2025
Accepted: 26.12.2025
Published: 31.12.2025

Keywords:

Water harvesting,
Cover materials,
Soil moisture,
Afforestation.

ABSTRACT

Water is the most important factor limiting crop diversity and yield. In arid and semiarid areas with insufficient rainfall, the limited availability of irrigation, its high cost, and problems such as salinization also limit afforestation efforts. With climate change, the risk of desertification and erosion is increasing in these areas, where rainfall is increasingly decreasing, in land devoid of vegetation. Sustainable and reasonable afforestation in these areas depends largely on rainfall. Water harvesting, the accumulation of precipitation that passes into surface runoff within the soil profile, is effectively used in arid areas. Covering the soil surface with cover materials is effective in preserving available moisture. This study, conducted between 2015 and 2019, investigated the effects of contour banks and eyebrow banks, a micro-catchment water harvesting technique, on soil water conservation in afforestation studies with Taurus cedar (*Cedrus libani*). Cover materials were also applied as sub-themes, and plastic, stone, sawdust, and control materials were tested. As a result of the experiment, the highest soil moisture content was found in the KŞSp (381.90 mm) and EYEP (368.69 mm). Statistically significant differences were found in the control soil moisture content of 248.35 mm for the cover materials, while the plastic, stone, and sawdust cover materials were 375.30, 328.48, and 294.59 mm for the respective plastic, stone, and sawdust covers. At the end of the experiment, plant height was measured as 125 and 99 cm for the contour and brow berms, respectively, and the differences were found to be significant. It was observed that the plastic cover materials provided a 100% increase in plant height compared to the control. Plant diameter measurements were found to be similar to plant height. Considering the results of the study, the use of cover materials in addition to water harvesting practices in afforestation efforts in arid and semi-arid regions is recommended.

To cite this article:

Çağırğan, O., Mücevher, O., Dünder, M. A., Duyan, K., Gönülal, E., Kipritci, D. A., & Kırtış, F. (2025). Ağaçlandırma çalışmalarında farklı su hasadı teknikleri ve örtü malzemelerinin etkinliğinin belirlenmesi. *Ereğli Tarım Bilimleri Dergisi*, 5(2), 96-103

*Sorumlu Yazar: Osman Çağırğan, osman.cagirgan@tarimorman.gov.tr



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ

Ormanlar, flora ve fauna için oluşturdukları zengin yaşam alanları, hidrolojik dengeyi ve karbon tutumunu sağlamaları ve rekreatif fonksiyonları ile kurak ekosistemlerinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Özellikle rüzgar erozyonu riski olan kurak ve yarı kurak alanlarda canlı rüzgar perdesi oluşturacak ağaçlandırmaların hayati önemi bulunmaktadır. Karasal iklimin görüldüğü Konya ilinde orman varlığı, toplam arazi varlığının %15.74'üne karşılık gelmektedir. Bölgede sulama imkânlarının kısıtlı oluşu ve yağışların azlığı (311 mm/yıl) yoğun emekli olan ağaçlandırma çalışmalarında fidanların hayatta kalma oranında ve gelişmesinde sınırlayıcı bir faktör olmakta (Çalışkan ve Boydak, 2017), bu sebeple il genelindeki orman varlığının ancak %28'i normal kapalı alan olarak nitelendirilmektedir (Anonim, 2015). İklim değişikliğinin etkisiyle sıcaklık artışına bağlı olarak bitki su ihtiyacı artarken, yağış miktarında azalma ve rejiminde değişimler görülmekte, yaz kuraklığının şiddetinde ve süresinde artışlar kaydedilmektedir (Anonim, 2025).

Kurak alanlarda yağışlardan daha etkin yararlanmada su hasadı teknikleri kullanılabilmektedir. Düşen yağışın daha büyük bir alandan yüzey akışı yardımıyla küçük bir alanda toplanması olan su hasadı (Oweis ve ark., 1999), düşük maliyetli, çevre dostu ve sürdürülebilir bir uygulamadır (Reij ve ark., 1988). Su hasadı uygulamalarında arazinin yağış miktarları ve eğim durumu dikkate alınarak, kaş seddeler, eş yükselti eğrileri, negarim, yarı dairesel seddeler farklı teknikler uygulanabilmektedir (Cebeci ve ark., 2017; Şen ve ark., 2019; Nacar ve ark., 2021). Su hasadı uygulamaları ağaçlandırma çalışmalarında bitkinin ihtiyaç duymadığı dönemlerde düşen yağışın toprak profilinde biriktirilerek kurak yaz dönemlerini tolere edebilmesine imkân vermektedir. Örneğin Sheikh ve ark. (1984), Pakistan'da Thal çölünde *Acacia aneura*, *Acacia modesta*, *Acacia tortilis*, *Acacia victoriae*, *Parkinsonia aculeata*, *Prosopis cineraria* ve *Tecoma undulata* gibi ağaç türlerinde en yüksek başarının eğimli sipersiz su hasadı tekniklerinde olduğu belirlemişlerdir. Bir başka çalışmada Hira ve ark. (1990) tarafından 4*4 mikro havza alanlarında mandarin ağaçlarında negarim tipi su hasadı tekniği uygulanmıştır. Serpantie ve ark. (1992), Burkina Faso'da %20 eğimli bir alanda kaş seddelerin tesis edilmesiyle bitki boyunda %70 artış olduğu verimin ise 4 katına çıktığını bildirmişlerdir.

Su hasadı yapılan mikro havzalarda malç malzemeleri ile yüzey kapalılığının sağlanması toprak neminin muhafaza edilmesinde etkili olduğu gibi akış etkinliğinin artırılmasında katkı sağlamaktadır. Yapılan bir çalışmada sırt karık sisteminde çıplak sırtlarda %7 olan akış etkinliğinin, plastik örtü kullanımı sonucu %87'ye çıktığı belirlenmiştir (Xiao-Yan ve ark., 2003).

2015-2019 yıllarında yürütülen bu çalışmada kaş ve eş yükselti eğrileri su hasadı tekniklerinin, farklı örtü malzemeleri ile birlikte kullanımının (plastik örtü, taş, dal parçaları) toprak nem içeriğine etkileri ve ağaçlandırmada etkinliği incelenmiştir.

Tablo 1

Deneme Alanı Topraklarının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Derinlik (cm)	Kum (%)	Kil (%)	Silt (%)	Bünye	Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	Tarla Kapasitesi (%)	Solma Noktası (%)	pH	EC (dS/m)	Organik Madde (%)
0-30	56,5	28,6	14,9	Kumlu killi tın	1,63	19,04	11,19	7,8	0,57	0,64
30-60	72,5	20,6	6,9	Kumlu tın	1,58	18,86	8,80	8,1	0,68	0,34
60-90	60,1	25,8	13,3	Kumlu killi tın	1,55	18,23	12,74	7,9	0,50	0,56

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma 2015-2019 yıllarında Konya'nın Meram ilçe sınırlarında yer alan 1250 m rakımlı Bayraktepe ağaçlandırma sahasında yürütülmüştür. Çalışmanın yürütüldüğü alan homojen bir yapıda olup %5 eğimlidir. Araştırma yerine ait uzun yıllar iklim verileri **Tablo 1** ve toprak özellikleri **Tablo 2**'de verilmiştir. Çalışmada 2+0 yaşlı, 30 cm boyunda ve tüplü olan Toros sediri (*Cedrus libani*) kullanılarak ağaçlandırma yapılmıştır. *C. libani* 800-1200 m rakımda yayılım gösteren, 40 m kadar boylanabilen derin bir kök yapısına sahip ormancılık açısından önemli bir ibreli (Işık ve Yıldırım, 1990). Fidanlar mikro havza alanların tesisinde sonra Mayıs 2015'te dikilmiş ve can suyu verilmiştir.

Çalışmada su hasadı teknikleri olarak eş yükselti eğrileri (EYE) ve kaş şekilli seddeler (KŞS) kullanılmıştır. Kaş şekilli seddelerde fidan en çukur alana dikilmiş, eş yükselti eğrilerinde ise fidanın yan tarafında 80*80*40 cm boyutlarında infiltrasyon çukuru oluşturulmuştur. Her iki teknik için mikro havza alanı 25 m² olarak tesis edilmiş ve her bir mikro havzaya 1 fidan dikilmiştir. Denemede örtü malzemeleri olarak her iki su hasadı tekniğinde mikro havza alanları, 0.1 µm kalınlığındaki siyah plastik örtü (p), talaş (tlş), bölgeden toplanılan taş (t) kullanılmış, kontrol (k) ise örtüsüz olarak bırakılmıştır. Tesadüf blokları deneme desenine göre 4 tekerrürlü yapılan çalışma 5 yıl süreyle yürütülmüştür.

Tablo 2

Deneme Yerine Ait Uzun Yıllar İklim Verileri (1929-2019)

	Aylar												YILLIK
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Ortalama Sıcaklık (°C)	-0.1	1.4	5.5	11.0	15.8	20.1	23.4	23.2	18.7	12.6	6.5	1.6	11.6
Ort. Yağışlı Gün sayısı	10.0	8.4	8.8	9.0	10.5	6.6	2.2	1.5	3.1	6.1	6.6	10.1	82.9
Aylık Toplam Yağış (mm)	37.9	28.5	28.7	31.9	43.3	25.7	7.1	6.5	13.2	29.9	32.2	42.8	327.7

Toprak nem ölçümleri her yıl bitkinin aktif gelişme gösterdiği Nisan-Ekim ayları arasındaki dönemde 15 gün aralıklarla nötronmetre ile gerçekleştirilmiştir. Her parselde fidana yakın noktada 110 cm uzunluğunda alüminyum borular yerleştirilmiş ve 90 cm derinliğe kadar her 30 cm'lik katman için ayrı ayrı okuma yapılmıştır. Her katman için mm cinsine çevrilen nem değerleri toplanarak 0-90 cm deki toprak nemi olarak değerlendirilmiştir. Deneme sonunda fidanların gövde çapı toprak yüzeyinden 5 cm yukarıdan olacak şekilde kumpas yardımıyla ölçülmüştür. Bitki boyu şerit metre yardımıyla belirlenmiştir. Fidanların hayatta kalma oranları da yüzde olarak hesaplanmıştır. Varyans analizleri Yurtsever (2011)'e göre JMP istatistik programında yapılmıştır. Uygulamalar arasındaki farklılıkların etkisini görebilmek için konular LSD testi ile kontrol edilmiştir.

BULGULAR

Deneme süresince en yüksek yağış 2014-2015 su yılında 407 mm olarak ölçülmüştür. En kurak dönem ise 2015-2016 su yılı döneminde yaşanmış olup yağış miktarı uzun yıllar ortalamasına göre %49, bir önceki seneye göre %60 oranında azalarak 167 mm olarak gerçekleşmiştir. Deneme konularının yıllara göre 0-90 cm toprak profilindeki nem içerikleri Tablo 4'te verilmiştir. En yüksek

toprak nem içeriği 2015 yılında 436.26 mm ile KŞSp konusunda, en düşük toprak nemi ise 2016 yılında EYEk konusunda 192.85 mm olarak tespit edilmiştir. Su hasadı tekniklerinden EYE ve KŞS konularında ortalama toprak nem değerleri sırasıyla 254.99 ve 263.10 mm düzeyinde tespit edilmiş olup aralarındaki farklılık istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur. Plastik örtü, diğer örtü malzemelerine kıyasla üstün bulunmuştur. EYE ve KŞSp konularında sırasıyla 333.19 ve 350.66 mm ortalama toprak nemi tespit edilmiştir. Eş yükselti eğrilerinde ortalama toprak nem değerleri, talaş konusunda 243.11 ve taş konusunda 250.76 mm düzeyinde belirlenmiş olup her iki örtü malzemesinin örtü malzemesinin bulunmadığı kontrol konusuna 192.85 mm kıyasla istatistiki olarak anlamlı avantaj sağladığı görülmektedir. KŞS tekniğinde EYE tekniğine benzer şekilde plastik örtü 350.66 mm ile en yüksek toprak nemini sağlarken taş, talaş ve kontrol konusu ise sırasıyla 261.75, 237.33 ve 202.65 mm düzeyinde bulunmuştur. Su hasadı tekniklerinin üstünlüğü kurak geçen dönemlerde daha belirgin olarak görülmektedir. Örneğin ölçüm yapılan Nisan-Ekim döneminde 2017 senesinin yağış miktarı uzun yıllar ortalamasına kıyasla % 46 azalarak 78 mm ölçülmüştür. Ancak aynı senenin kış aylarında alınan yoğun kar yağışı ile aynı dönem eş yükselti ve kaş seddelerin ortalama toprak nem içeriği % olarak sırasıyla 16 ve 18 oranında artış göstermiştir. Benzer durum 2016 senesinde de gözlemlenmiştir. Bir önceki seneye kıyasla ölçüm dönemi yağışın % 39, toplam yağışın % 60 oranında azaldığı dönemde eş yükselti ve kaş seddelerin bir önceki yıla göre ortalama toprak nem içeriğindeki düşüş sırasıyla % 27 ve % 28 düzeyinde kalmıştır.

Şekil 1

Deneme alanından bir görüntü



Tablo 3

Deneme Yıllarına Ait İklim Verileri

		Aylar						
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
2015	Ort. Sıcaklık (°C)	8.9	16.2	18.4	23.3	23.9	21.1	14.0
	Yağış (mm)	6.2	37.2	36.8	7.0	16.8	25.0	43.0
2016	Ort. Sıcaklık (°C)	14.4	15.7	21.9	24.3	24.7	17.6	13.3
	Yağış (mm)	10.2	31.2	36.4	2.8	0	23.6	1.2
2017	Ort. sıcaklık(°C)	10.7	15.2	20.2	24.6	23.6	20.7	11.6
	Yağış (mm)	21.8	33.7	15.2	0	7.2	0	12
2018	Ort. Sıcaklık (°C)	13.5	16.9	20.7	24.5	23.7	19.3	12.9
	Yağış (mm)	7.6	54.8	56.0	4.8	1.8	7.4	29.8
2019	Ort. Sıcaklık (°C)	11	18.5	21.2	22.4	34.8	18.5	15.1
	Yağış (mm)	27.3	13.2	30.4	6.2	7.8	9.6	14

Deneme sonucunda (5 yılın sonunda) fidanların hayatta kalma oranı % 100 olarak belirlenmiştir.

En yüksek bitki boyu 174.66 cm ile EYEp konusunda tespit edilmiştir (Tablo 5). EYE tekniğinde diğer örtü malzemelerinde bitki boyları taş, talaş ve kontrol konularında sırasıyla 114.00, 111.33 ve 102.33 cm olarak belirlenmiştir. Kaş şekilli seddeler de eş yükselti eğrilerine benzer şekilde en yüksek bitki boyu 151.00 cm ile plastik örtüde en düşük boy ise 61.66 cm ile kontrol konusunda görülmüştür. KŞSt ve KŞStlş konularında ise bitki boyu sırasıyla 91.33 ve 92.66 cm düzeyinde gerçekleşmiştir. Bitki boylarında EYE ve KŞS tekniklerinin ortalama olarak 125.58 ve 99.16 cm düzeyinde bulunmuş olup aradaki farklılık istatistiki açıdan önemlidir. Örtü malzemelerinin ortalama olarak bitki boyuna etkisi incelendiğinde plastik 162.83 cm ile en yüksek bulunmuş, taş, talaş ve kontrolde ise sırasıyla 102.66, 102.00 ve 82.00 cm olarak belirlenmiştir.

Tablo 4

Deneme konularında 0-90 cm toprak nem değerleri (mm)

Konu	2015	2016	2017	2018	2019	Konu ortalaması	Su hasadı tekniği ort.
EYEp	417.46 a*	333.19 a	350.91 a	407.44 a	368.69 ab	333.19 a	254.99 a
EYEt	365.40 b	270.76 b	304.07 bc	331.88 b	325.61 bcd	250.76 b	
EYEtłş	322.86 bc	243.11 b	283.37 cd	291.15 cd	282.24 de	243.11 b	
EYEk	303.96 c	192.85 d	244.42 e	262.19 d	245.19 e	192.85 d	
KŞSp	436.26 a	350.66 a	356.89 a	400.35 a	381.90 a	350.66 a	263.10 a
KŞSt	356.95 b	261.75 b	325.50 ab	338.95 b	331.34 bc	261.75 b	
KŞStłş	338.46 bc	237.33 bc	303.05 bc	321.87 bc	306.94 cd	237.33 bc	
KŞSk	334.00 bc	202.65 cd	263.01 de	267.79 d	251.51 e	202.65 cd	

*: Aynı sütunda bulunan küçük harfler aynı ise istatistiki olarak ($P>0.05$) fark önemsizdir.

Tablo 5

Deneme konularına göre fidanlarda boy gelişimleri (cm)

Su Hasadı Tekniği	Örtü Malzemeleri				Konu Ortalama
	Plastik	Taş	Talaş	Kontrol	
KŞS	151.00 a*	91.33 b	92.66 b	61.66 c	99.16 b
EYE	174.66 a	114.00 b	111.33 b	102.33 b	125.58 a
Örtü ortalama	162.83 A**	102.66 B	102.00 BC	82.00 C	

*: Aynı sütunda bulunan küçük harfler aynı ise istatistiki olarak ($P>0.05$) fark önemsizdir.

** : Aynı satırda bulunan büyük harfler aynı ise istatistiki olarak ($P>0.05$) fark önemsizdir.

Tablo 6'da deneme sonunda fidanların gövde çap ölçümleri verilmiştir. En büyük çap 44.05 mm ile EYEp konusunda, en küçük çap ise 15.48 mm ile KŞSk konusunda tespit edilmiştir. Gövde çap ölçümlerinde bitki boyuna benzer şekilde eş yükselti eğrileri 34.06 mm ortalama ile kaş şekilli seddelerden (ortalama 25.60 mm) anlamlı düzeyde farklı bulunmuştur. Örtü malzemelerinin gövde çapına etkilerine bakıldığında plastik örtünün 40.97 mm ile diğer örtü malzemelerinden önemli düzeyde ayrıştığı, taş ve talaşın ise 28.96 ve 28.54 mm ile kontrole kıyasla (20.85 mm) üstün olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 6

Deneme konularına göre fidanlarda gövde çapı gelişimleri (mm)

Su Hasadı Tekniği	Örtü Malzemeleri				Konu Ortalama
	Plastik	Taş	Talaş	Kontrol	
KŞS	37.90 b*	24.74 c	24.30 c	15.48 d	25.60 b
EYE	44.05 a	33.18 b	32.78 b	26.22 c	34.06 a
örtü ortalama	40.97 A**	28.96 B	28.54 B	20.85 C	

*: Aynı sütunda bulunan küçük harfler aynı ise istatistiki olarak ($P>0.05$) fark önemsizdir.**: Aynı satırda bulunan büyük harfler aynı ise istatistiki olarak ($P>0.05$) fark önemsizdir.**TARTIŞMA VE SONUÇ**

Bu çalışma ile 2015-2019 yıllarında Konya ili Meram ilçesinde su hasadı teknikleri ve malç malzemelerinin toprağın nem içeriğine etkileri ve Toros sediri ağaçlandırmasında bitki gelişimi üzerine etkileri incelenmiştir. Su hasadı tekniği olarak yükselti eğrileri ve kaş şekilli seddeler denenmiş ve toprak nem içeriğinde aralarındaki farklılık önemsiz bulunmuştur. Tekniklerin aynı mikro havza alanına sahip ve deneme alanının eğim ve topografik özellikler bakımından oldukça homojen olması hasebiyle her iki teknik açısından önemli bir farklılığın oluşmaması beklenen bir durumdur.

Her iki su hasadı tekniğinde plastik örtünün bariz üstünlüğü görülmektedir. Bu durum yapılan benzer çalışma sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir (Cebeci ve ark., 2017; Nacar ve ark., 2021). Örtü malzemelerinde taş ve talaş kullanımı da kontrole göre anlamlı farklılık göstermiştir. Talaşın toprak nem içeriğinde ilk yıl kontrole yakın çıkmasının talaş serme işleminin gecikmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer yıllarda kontrolden istatistiksel olarak ayrışması da bu ihtimali kuvvetlendirmektedir. Denemenin son iki senesinde talaş kullanılan parsellerin taş kullanılan parsellere kıyasla istatistiksel anlamda negatif ayrışması talaş örtüsünün rüzgar, çürüme, yaban hayatı vb. faktörlerle açılma göstermesi taşın ise uzun süreli korunumu ile açıklanabilir.

Çalışma sonucunda fidanların hayatta kalma oranı % 100 olarak gerçekleşmiştir. Dağdaş (2011), Kozludere’de (yağış 722 mm, rakım 1550 m) toros sediri ile yapılan ağaçlandırma çalışmalarında yaşama oranını 6. yılın sonunda %54.9, 10. yılda %53.99 olarak bildirmektedir. Yağışların çok daha az olmasına rağmen çalışmamız lehine oluşan farklılık su hasadı ile sağlanan ve örtü malzemeleri ile korunan toprak nemi sebebiyle yaz kuraklığının tahripkâr etkisinin hafifletilmesinin sonucu olarak değerlendirilmektedir. Deneme sonucunda ölçülen bitki boyu en fazla 187 cm olarak eş yükselti su hasadı tekniği ve plastik örtü malzemesi kombinasyonundan elde edilmiştir. Malç malzemelerinin bitki boyuna etkileri incelendiğinde kontrole nazaran taş ve talaş örtü malzemelerinin % 25, plastik örtünün ise % 100 artış sağladığı tespit edilmiştir. Dağdaş (2011), kozludere de ortalama bitki boyunun 6. yılda 136 cm, 10. yılda 292 cm olarak ölçmüşlerdir. Her iki çalışma arasındaki bitki boyundaki farklılıklar toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bitki gelişimi üzerindeki farklı etkilerine bağlanmaktadır.

Fidanların gövde çapı ölçümleri değerlendirildiğinde bitki boyuna benzer olarak anlamlı farklılıkların olduğu görülmektedir. En kalın gövde çapı 45.4 mm ile eş yükselti plastik örtü kombinasyonunda, en ince gövde çapı ise 12.83 mm ile kaş seddelerin kontrol parselinde ölçülmüştür. Nacar ve ark. (2021), antep fıstığında taş malç örtüsünün kontrole göre bitki boyuna farklılığını önemsiz bulmuşlarsa da mevcut çalışmada taş ve talaş örtü malzemelerinin kontrole nazaran % 40 artış sağladığı belirlenmiştir. Su hasadı tekniklerinde kaş ve eş yükselti seddelerinin ortalama gövde çapları sırasıyla 25.60 ve 34.06 mm olarak ölçülmüştür. Dağdaş (2011), Arslanköy de 10’uncu yılda ortalama gövde çapını 41.2 mm olarak ölçmüşlerdir.

Çalışma sonuçlarında yağışların az ve düzensiz olduğu kurak ve yarı kurak alanlarda su hasadı

teknikleri ve örtü malzemelerinin etkinliğini bariz olarak görülmektedir. Çalışma sonuçlarına göre bölge şartlarında düşük eğimli alanlarda mekanizasyon kolaylığı da dikkate alınarak eş yükselti seddeler daha uygulanabilir bulunmaktadır. Kaş seddeler ise daha fazla iş gücü gerektirmesine rağmen özellikle eğimin arttığı alanlarda başarılı olmaktadır. Mikro havza alanının artırılması, daha çok yağmur suyu hasat edilmesini sağlayacağından, arazi kullanım durumu ile ihtiyaç duyulan mikro havza alanı arasında en verimli ilişkinin kurulması gerekmektedir. Bu amaçla ağaçlandırma çalışmalarında sıklıkla kullanılan belirli ağaç türlerinin farklı alanlarda farklı havza alanlarında çalışılarak optimal etkinliğinin belirlenmesi faydalı olacaktır.

Çalışmanın sonuçları dikkate alındığında kurak ve yarı kurak bölgelerde ağaçlandırma çalışmalarında su hasadı uygulamalarına ilave olarak örtü malzemelerinin kullanılması önerilmektedir. Toprak profilindeki nemin muhafazası bakımından en ideal örtü malzemesi tarımsal üretimde de sıklıkla kullanılan siyah plastik olarak değerlendirilmektedir. Bölge şartlarında plastik örtünün 5 yıl süreyle önemli bir aşınma olmaksızın kullanılabildiği ve bu sürenin fidanın adapte olabilmesi için yeterli olduğu gözlemlenmiştir. Plastik örtünün, diğer örtü malzemelerine nazaran en önemli üstünlüğü az miktardaki yağışlarda bile yüzey akışının gerçekleşmesidir. Örtü malzemelerinde talaş kullanımı uygulama kolaylığı ve üstünlüğü açısından tavsiye edilebilir, ayrıca ekosistem hizmetlerini teşvik etmesi ve ekolojik açıdan sürdürülebilirliği önemli görülmektedir. Örtü malzemesi olarak taşın kullanımı tesisinde yoğun işgücü gerektirmesine rağmen uzun süreli olmaktadır.

KAYNAKÇA

- Anonim, (2015). Türkiye Orman Varlığı. https://www.turcev.org.tr/turcevCMS_V2/files/files/T%C3%99CRK%C4%B0YE%20ORMAN%20VARLI%C4%99EI%202016-2017.pdf.
- Anonim, (2025). Konya Yerel İklim Değişikliğine Uyum Stratejisi ve Eylem Planı (2025-2030). <https://iklim.gov.tr/db/turkce/dokumanlar/konya-yerel--8230-3146-20250311112603.pdf>.
- Cebeci, İ., Başkan, O., Mücevher, O., Köşker, Y., Cebel, H., Demirkıran, O., Öztürk, Ö., & Gönülal, E. (2017). Yarı Kurak Alanlarda Mikro Havza Su Hasadı Uygulamalarının Toprak Nemine Etkilerinin Belirlenmesi. *Toprak Su Dergisi*6 (2): (1-10)
- Çalışkan, S., & Boydak, M. (2017). Afforestation of arid and semiarid ecosystems in Turkey. *Turk J Agric For.* 41: 317-33.
- Dağdaş, S. (2011). Doğu Akdeniz Bölgesinde Kurulu Toros Sediri (*Cedrus libani* A. Rich.) Orijin Denemelerinin 6. ve 10. Yıl Sonu Ara Sonuçları. I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, 26-28 Ekim 2011, Kahramanmaraş.
- Hira, G.S., Raghbir, S., Saggu, S. S., & Singh, R. (1990). College of Agricultural Engineering, Punjab Agricultural University, Luthiana, India. A Study on the In Situ Water Harvesting Conservation Technology For Kinnow. *Journal of Punjab Horticultural.* 1990. Volume 30, Issue 1-4, Pages 20-26.
- Işık K, & Yıldırım T. (1990) Strategies for conversation of forest gen resources and some recommendations on *Cedrus libani*. Uluslararası Sedir Sempozyumu. Orm. Araş. Enst. Muhtelif Yayın No: 59, s. 342-352
- Nacar, A.S., Gülle Sakin, E., Taş, M., Değirmenci, V., Açar, İ., Kaya, S., & Kuzucu, M. (2021). Şanlıurfa Yöresi Antepfıstığı Bahçelerinde Farklı Örtümalzemelerinin Kullanıldığı Negarim Tipi Mikrohavza Tekniği ile Su Hasadının İncelenmesi. PROJE NO:05140J01 Proje Sonuç Raporu. Şanlıurfa.
- Oweis T, Hachum A, & Kijne J (1999). Water harvesting and supplementary irrigation for improved

- water use efficiency in dry areas. SWIM paper 7. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.
- Reij, C., Mulder, P., & Begemann, L. (1988). Water Harvesting for Plant Production. World Bank Techn. Paper. Washington DC.
- Serpantie, G., Lamachere, J.M., Hurni, H. & Tato, K. (1992). Geographica Bernensia, c/o Group for Development and Environment; Berne; Switzerland. Contour Stone Bunds for Water Harvesting on Cultivated Land in the North Yatenga Region of Burkina Faso. Erosion, Conservation, and Small Scale Farming. 1992. 459-469; 3 ref.
- Sheikh, M.I., Shah, B.H. & Aleem, A. (1984). Pakistan Forest Institute., Peshawar, Pakistan. Effect of Rainwater Harvesting Methods on the Establishment of Tree Species. Forest Ecology and Management. 1984. 8: 3-4, 257-263; 7 ref.
- Şen, S., Yılmaz, G., Topdemir, T., & Alkan, Ü. (2019). Zeytin Fidan Gelişimine Mikrohavza Su Hasadı Tekniği ile Toprak Su Tutma Kapasitesini Artırıcı Bazı Uygulamaların Etkisi. Toprak Su Dergisi, 2019, Özel Sayı: (122-129)
- Xiao-Yan, L., Zhong-Kui, X. & Xiang-Kui, Y. (2003). Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, 730000, P.R. China. Runoff Characteristics of Artificial Catchment Materials for Rainwater Harvesting in the Semiarid Regions of China. Journal of Agricultural Water Management Volume, 65, Issue 3, March 2004, Pages 211-224.
- Yurtsever, N. (2011). Deneysel İstatistik Metotları. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merk. Araşt. Enst. Yayınları. Gn Yay No: 121, Tek Yay No:56. 2, Baskı. Ankara.

Giberellik Asit (GA₃) Uygulamasının Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) İslahında Kullanım İmkânlarının Araştırması

Abdullah Çil^{1*}, Ayşe Nuran Çil², Hatice Hızlı²

¹ Biyolojik Mücadele Araştırma Enstitüsü, Adana

² Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Adana, Türkiye

Makale Bilgisi

Geliş Tarihi: 7.11.2025
Kabul Tarihi: 28.12.2025
Yayın Tarihi: 31.12.2025

Anahtar Kelimeler:

Ayçiçeği,
Giberellik asit,
Büyüme düzenleyici,
Döllenme,
Hibrit tohum üretimi.

ÖZET

Bu çalışma, farklı giberellik asit (GA₃) konsantrasyonları, uygulama dozları ve uygulama tarihlerinin ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) bitkisinin temel morfolojik ve fenolojik özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Araştırmada bitki boyu, tabla çapı, döllenme oranı ve çiçeklenme süresi olmak üzere verimle ilişkili dört temel özellik incelenmiştir. Deneme, tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak kurulmuş; altı farklı GA₃ konsantrasyonu (0, 45, 60, 75, 100 ve 200 mg L⁻¹), bitki başına üç uygulama dozu (5, 7.5, 10 mL bitki⁻¹) ve üç farklı uygulama zamanı (47, 50 ve 53. gün) değerlendirilmiştir. GA₃ çözeltileri distile su kullanılarak hazırlanmış ve uygulamalar püskürtme yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen araştırma bulgularına göre GA₃ uygulamalarının bitki boyu üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif etkiler oluşturduğu belirlenmiştir; özellikle 75–200 mg L⁻¹ konsantrasyon aralığında uygulanan GA₃'ün bitkilerde belirgin boy artışına neden olduğu gözlenmiştir. Buna karşın, GA₃ uygulamalarının tabla çapı üzerinde azaltıcı bir etki gösterdiği, en yüksek değer kontrol uygulamasından elde edildiği tespit edilmiştir. Döllenme oranı bakımından orta düzey GA₃ uygulamaları (45–75 mg L⁻¹) olumlu sonuçlar üretmiş; yüksek konsantrasyonlar ise döllenme oranını düşürmüştür. Çiçeklenme süresi GA₃ uygulamalarıyla genel olarak kısalmış, özellikle 60–75 mg L⁻¹ düzeyleri erken çiçeklenmeyi teşvik etmiştir. Araştırma sonuçları, GA₃'nin ayçiçeğinde vejetatif gelişmeyi artırırken generatif özellikler üzerinde çift yönlü etkiler oluşturabileceğini göstermektedir. Optimum GA₃ seviyelerinin doğru doz ve zamanda uygulanması, verim parametrelerinin iyileştirilmesine katkı sağlayabilecektir. Bu çalışma, ayçiçeği yetiştiriciliğinde büyüme düzenleyicilerinin etkin kullanımına yönelik önemli bilimsel bilgiler sunmaktadır.

Research on the Usage Possibilities of Gibberellic Acid (GA₃) Application in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Breeding

Article Info

Received: 7.11.2025
Accepted: 28.12.2025
Published: 31.12.2025

Keywords:

Sunflower,
Gibberellic acid,
Growth regulator,
Fertility,
Hybrid seed production.

ABSTRACT

This study was conducted to determine the effects of different gibberellic acid (GA₃) concentrations, application doses, and application timings on key morphological and phenological traits of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Four yield-related traits were examined: plant height, head diameter, fertilization rate, and flowering time. The experiment was established as a randomized complete block design with three replications. Six GA₃ concentrations (0, 45, 60, 75, 100, and 200 mg L⁻¹), three application doses per plant (5, 7.5, and 10 mL plant⁻¹), and three application timings (47th, 50th, and 53rd day) were evaluated. GA₃ solutions were prepared using distilled water, and applications were carried out by spraying. According to the results, GA₃ applications had a statistically significant and positive effect on plant height; particularly, GA₃ applied within the 75–200 mg L⁻¹ range caused a marked increase in plant height. In contrast, GA₃ applications reduced head diameter, and the highest head diameter was obtained from the control treatment. In terms of fertilization rate, moderate GA₃ applications (45–75 mg L⁻¹) produced favorable outcomes, whereas higher concentrations decreased the fertilization rate. Flowering time generally shortened with GA₃ applications, and especially the 60–75 mg L⁻¹ levels promoted earlier flowering. Overall, the findings indicate that while GA₃ enhances vegetative growth in sunflower, it may exert bidirectional effects on generative traits. Applying the optimum GA₃ level at the appropriate dose and timing may contribute to improving yield-related parameters. This study provides important scientific information for the effective use of plant growth regulators in sunflower cultivation.

Bu makaleye atıfta bulunmak için:

Çil, A., Çil, A. N., & Hızlı, H. (2025). Giberellik asit (GA₃) uygulamasının ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) ıslahında kullanım imkânlarının araştırılması. *Ereğli Tarım Bilimleri Dergisi*, 5(2), 104-115.

*Sorumlu Yazar: Abdullah Çil, acil7@hotmail.com



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ

Ayçiçeği (*Helianthus annuus ssp. macrocarpus*), Asteraceae familyasına ait olup $2n = 34$ kromozomlu, geniş adaptasyon yeteneğine sahip önemli bir kültür bitkisidir. Arkeobotanik veriler ile genetik çözümler, bu türün ilk olarak Kuzey Amerika'nın doğusunda, günümüzden birkaç bin yıl önce yerli topluluklar tarafından tarıma alındığını göstermektedir. Zamanla yağ üretimi, çerezlik kullanım ve süs bitkisi yetiştiriciliği gibi çeşitli amaçlara yönelik seçim süreçleri ile dünyanın farklı bölgelerine yayılmıştır (Mandel ve ark., 2013). *Helianthus* cinsi içerisinde çok sayıda yabancı tür bulunmakta olup, bu türler morfolojik yapı, yaşam süresi ve kromozomal özellikler bakımından geniş bir varyasyon sergilemektedir (Jan, 1997; Aboki ve ark., 2012). Günümüzde ayçiçeği, hem yağ sanayisi hem de yem katkı maddesi olarak yüksek ekonomik değere sahiptir. Türkiye, geniş ekim alanı ve üretim miktarıyla küresel ölçekte önemli üretici ülkeler arasında yer almaktadır (TÜİK, 2020; FAO, 2021).

Ayçiçeğinde hibrit çeşitlerin geliştirilmesi, türün sahip olduğu heterosis potansiyelinden yararlanmayı amaçlayan temel ıslah stratejilerinden biridir. Ancak klasik yöntemlerde uygulanan manuel kısırlaştırma işlemi hem zaman hem de iş gücü açısından oldukça maliyetlidir. Bu nedenle hibrit üretimini kolaylaştıran genetik erkek kısırlık (GMS), sitoplazmik erkek kısırlık (CMS) ve kimyasal melezleme ajanları (CHA) gibi alternatif mekanizmalar geliştirilmiştir. Erkek kısırlık, bitkide erkek organ fonksiyonunun devre dışı kalmasıyla ortaya çıkar ve kendileme riskini ortadan kaldırarak kontrollü melezlemeye imkân tanır. CMS, nükleer genler tarafından yönetildiğinden çevresel koşullara duyarlı olabilmekte ve her zaman istenen stabilizeyi sağlayamamaktadır (Fick, 1978; Kaul, 1988). CMS ise mitokondriyal kalıtımla aktarıldığı için daha kararlı bir sistem sunmakta ve uygun restorasyon genleri bulunduğu verimli bir hibrit üretim aracı hâline gelmektedir (Leclercq, 1969; Horn, 2002).

Her ne kadar CMS sistemi hibrit üretiminde yaygın kullanılsa da bazı çevresel stres koşullarında veya genetik uyumsuzluk durumlarında fertilitate restorasyonunda aksaklıklar yaşanabilmektedir. Bu nedenle kimyasal melezleme ajanları, özellikle kısa süreli erkek kısırlığın oluşturulması gereken durumlarda alternatif bir yöntem olarak önem kazanmıştır. CHA uygulamaları bitkinin belirli gelişim aşamalarında anter oluşumunu baskılayarak polen üretimini geçici olarak sınırlandırabilir ve bu durum kendileme eğilimi yüksek türlerde hibrit tohum üretimini kolaylaştırabilir (Virmani, 1994; Zhang ve ark., 2008).

Giberellik asit (GA_3), bitkilerde uzama büyümesi, internod gelişimi, çiçeklenme davranışı ve generatif organ farklılaşması gibi birçok fizyolojik süreci düzenleyen önemli bir büyüme hormonudur. Uygulama zamanı ve miktarına bağlı olarak bitkide boy uzamasını artırabilir, çiçek oluşumunu hızlandırabilir; ancak yüksek dozlarda fitotoksisiteye yol açabilmektedir (Kaya & Atak, 2012; Kaur & Gupta, 2013). Bazı gelişim dönemlerinde uygulanan yüksek GA_3 seviyelerinin anter gelişimini baskılayarak geçici erkek kısırlık oluşturabildiği ve bu etkinin entomofil türlerde kimyasal hibritizasyon amacıyla kullanılabileceği belirtilmektedir (Davis, 1982; Kaul, 1988).

Son yıllarda ayçiçeği üretiminde görülen verim artışlarının yalnızca yeni hibrit çeşitlerden değil, aynı zamanda büyüme düzenleyicilerinin kontrollü kullanımından da kaynaklandığı bildirilmiştir (Škorić, 2012; Kaya ve ark., 2018). Bu doğrultuda GA_3 'nin hem morfolojik gelişim hem de kısmi erkek kısırlık oluşturma kapasitesi nedeniyle ıslah çalışmalarında önemli bir araç olabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışma, Doğu Akdeniz koşullarında uygulanan farklı GA_3 konsantrasyonları, dozları ve uygulama zamanlarının ayçiçeğinin temel morfolojik ve fenolojik özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Elde edilen bulguların, hibrit tohum üretiminde GA_3 'nin olası kullanım potansiyelinin değerlendirilmesine katkı sağlayacağı ve üretim süreçlerinin daha verimli hâle getirilmesine yönelik önemli bilgiler sunacağı öngörülmektedir.

YÖNTEM

Araştırma Yeri ve İklim Koşulları

Çalışma, 2019 yılı ikinci ürün yetiştiricilik döneminde Doğu Akdeniz kuşağında yer alan Adana ili Doğankent Tarımsal Araştırma sahasında gerçekleştirilmiştir. Bölge, yaz aylarında yüksek sıcaklık ve kuraklık, kış aylarında ise ılıman ve yağışlı koşulların hâkim olduğu tipik Akdeniz iklim karakterine sahiptir. Deneme süresince günlük sıcaklık ortalamaları 28–35°C arasında değişmiş, nispi nem genellikle %60–70 seviyelerinde seyretmiştir. Toprak nemi orta düzeyde olup deneme alanı killi-tınlı tekstüre sahip, hafif alkali reaksiyon gösteren (pH 7.6) bir yapı sergilemiştir. Toprak analizlerinde organik madde düzeyi %1.9, fosfor (P₂O₅) 32 kg da⁻¹ ve potasyum (K₂O) 68 kg da⁻¹ olarak belirlenmiştir. Yüksek sıcaklık birikimi, uzun güneşlenme süresi ve düşük hastalık baskısı nedeniyle bölge, büyüme düzenleyicilerinin etkilerini test etmek için uygun bir ekolojik ortam sunmaktadır.

Bitki Materyali

Denemede, Çukurova koşullarına uyum yeteneği yüksek olan ticari nitelikte bir ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) hibriti kullanılmıştır. Bitkiler 70 cm sıra arası ve 25 cm sıra üzeri mesafe ile ekilmiş; her parsel üç sıradan oluşturulmuş ve her sırada 10 bitki bulunacak şekilde düzenleme yapılmıştır. Ekim 10 Haziran 2019 tarihinde gerçekleştirilmiş, hasat ise 15 Ekim 2019'da tamamlanmıştır. Yetiştirme sürecinde sulama, çapalama, yabancı ot kontrolü ve hastalık-zararlı yönetimi gibi standart agronomik uygulamalar uygulanmıştır.

Deneme Düzeni

Araştırma, tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak planlanmıştır. Denemede üç temel faktör değerlendirilmiştir:

1. GA₃ konsantrasyonu: 45, 60, 75, 100 ve 200 mg L⁻¹
2. Uygulama hacmi: 5, 7.5 ve 10 mL bitki⁻¹
3. Uygulama zamanı: 47. gün (02.08. 2019), 50. gün (05.08. 2019) ve 53. gün (08.08.2019)

Ayrıca, herhangi bir GA₃ uygulanmayan kontrol grubu oluşturulmuştur. Tüm kombinasyonların üçer tekerrürü ile toplam uygulama birimi sayısı 46'ya ulaşmıştır.

GA₃ Uygulaması

GA₃ çözeltileri saf su kullanılarak hazırlanmış ve bitkilerde tabla oluşumunun erken görüldüğü dönemde el sprey pompası yardımıyla yaprak ve sap yüzeyine ince bir tabaka şeklinde uygulanmıştır. Uygulamalar sabah saatlerinde (08.00–09.00) rüzgârın düşük olduğu zamanlarda yapılmıştır. Konsantrasyon × doz × zaman kombinasyonları, GA₃'nin bitkideki vejetatif ve generatif süreçleri nasıl etkilediğini kapsamlı biçimde değerlendirmek amacıyla seçilmiştir. Ön çalışmalar, 45–75 mg L⁻¹ düzeylerinin büyümeyi desteklediğini, 100–200 mg L⁻¹ aralığında ise stres belirtilerinin ortaya çıkabileceğini göstermiştir. Belirlenen uygulama aralıkları literatürde bildirilen uygun GA₃ seviyeleri ile de uyumludur.

Gözlem ve Ölçümler

- Denemede aşağıdaki özellikler değerlendirilmiştir:
- Bitki boyu (cm): Kök boğazı hizasından bitkinin en üst büyüme noktasına kadar dikey uzunluk ölçülmüştür.
- Tabla çapı (cm): Olgun dönem tablalarda merkezden kenara dijital kumpasla ölçüm yapılmıştır.

- Çiçeklenme süresi (gün): Ekim tarihinden ilk çiçek açımına kadar geçen süre kaydedilmiştir.
- Döllenme oranı (%): Tablada oluşan döllenmiş tohum sayısının toplam çiçek sayısına oranı hesaplanmıştır.
- Bu ölçümler AOAC (2016) kriterlerine uygun biçimde yapılmış; yöntemsel olarak Mut ve ark. (2006) ile Kaur ve ark. (2013)'ün uygulamalarından yararlanılmıştır.

İstatistiksel Analiz

Elde edilen tüm veriler JMP Pro 16.2 istatistik yazılımında değerlendirilmiştir. Çok faktörlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmış, ortalamalar LSD %5 önem düzeyi ile karşılaştırılmıştır. Varyasyon katsayısı (CV %) hesaplanmış ve faktörler arası etkileşimler grafiksel olarak yorumlanmıştır. Bu analiz yaklaşımı, GA₃'nin bitki büyümesi üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde literatürde sıklıkla kullanılan yöntemler ile uyumludur (Singh ve ark., 2010).

BULGULAR

Bitki Boyu

GA₃ uygulamalarının bitki boyu üzerine etkisi yapılan varyans analizine göre anlamlı bulunmuştur ($P < 0.05$). Farklı GA₃ konsantrasyonlarına ait ortalamalar ve istatistikî gruplar Tablo 1'de sunulmuştur. Konsantrasyonlar dikkate alındığında bitki boyu değerlerinin 94.00 ile 113.50 cm arasında değiştiği görülmektedir. En kısa bitkiler GA₃ uygulanmayan kontrol parsellerinde ölçülmüş (94.00 cm) ve bu uygulama "a" grubunda yer almıştır. 45 mg L⁻¹ düzeyi, boy açısından kontrol ile aynı istatistikî grupta bulunmuştur. Buna karşılık 60, 75, 100 ve 200 mg L⁻¹ GA₃ uygulamalarında bitkiler belirgin şekilde daha uzun gelişmiş ve bu uygulamalar 110.07–113.50 cm aralığında değişen ortalamalarla "b" grubunda toplanmıştır.

Tablo 1

GA₃ konsantrasyonu, dozu ve uygulama tarihine göre bitki boyu ortalamaları (cm)

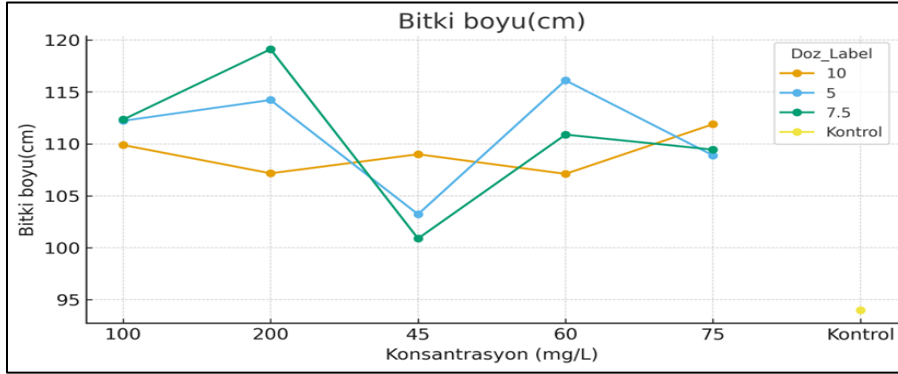
Faktör	Düzy	Ortalama	Grup	Std. Sapma	CV (%)	LSD (0.05)
Konsantrasyon	45 mg L ⁻¹	104.37	a*	7.75	7.42	7.18
	75 mg L ⁻¹	110.07	b	9.17	8.33	
	60 mg L ⁻¹	111.37	b	7.86	7.06	
	100 mg L ⁻¹	111.48	b	18.35	16.46	
	200 mg L ⁻¹	113.50	b	15.03	13.24	
Doz	10 mL	109.01	b	9.69	8.89	5.99
	7.5 mL	110.53	b	13.71	12.40	
	5 mL	110.93	b	14.12	12.73	
Uygulama Tarihi	53. Gün	101.98	a	9.67	9.48	5.32
	47. Gün	113.54	b	12.23	10.77	
	50. Gün	114.96	b	11.69	10.17	
Kontrol	0 mL	94.00	a	1.73	1.84	

*Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar istatistikî açıdan önemlidir ($P < 0.05$).

Doz faktörü incelendiğinde, 0 mL'lik kontrol uygulaması en düşük bitki boyu değerini vermiştir (94.00 cm). GA₃ içeren 5, 7.5 ve 10 mL dozlarının birbirlerinden istatistiksel olarak ayrılmadığı, ancak her üç dozun da kontrol grubuna göre daha yüksek bitki boyu sağladığı (109.01–110.93 cm) belirlenmiştir (Şekil 1). Uygulama tarihleri arasında da anlamlı farklılıklar ortaya çıkmıştır.

Şekil 1

GA₃ konsantrasyonu ve uygulama dozlarına göre bitki boyu değişimi.



Şekil 1’de görüldüğü üzere, kontrol ve 53. Gün yapılan uygulama birimleri en kısa bitkileri oluştururken (94.00–101.98 cm), 47. ve 50. günlerinde yapılan uygulamalar sonucunda bitki boyu artmış ve ortalamalar 113.54–114.96 cm düzeyine ulaşmıştır. Grafik incelendiğinde, özellikle 75–200 mg L⁻¹ konsantrasyon aralığında GA₃’nin boy uzaması üzerindeki etkisinin daha belirgin olduğu görülmüştür.

Tabla Çapı

GA₃ uygulamalarının tabla çapı üzerine etkisi de istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (P<0.05). Tablo 2’de gösterildiği gibi, tabla çapı ortalamaları 3.32 ile 10.75 cm arasında değişmiştir. En büyük tabla çapı, GA₃ uygulanmayan kontrol parsellerinde kaydedilmiş ve bu uygulama istatistiksel olarak “a” grubunda yer almıştır.

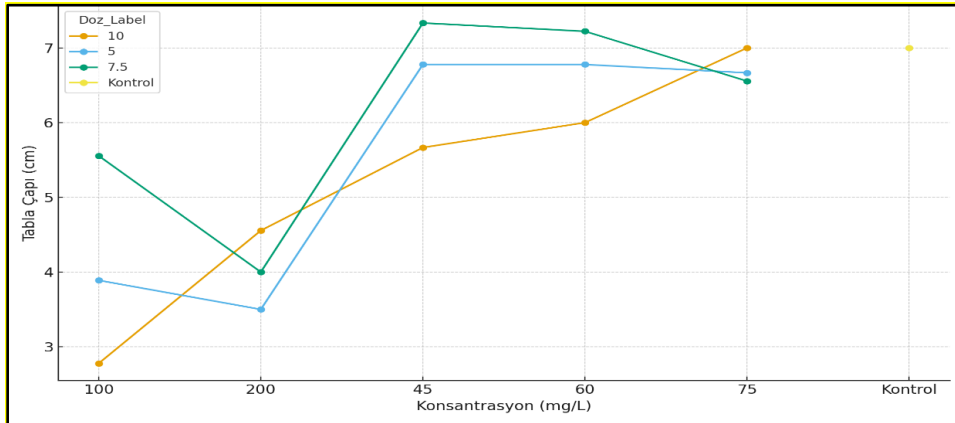
Tablo 2

GA₃ konsantrasyonu, dozu ve uygulama tarihine göre tabla çapı ortalamaları (cm)

Faktör	Düzyey	Ortalama	Grup	Std. Sapma	CV (%)	LSD (0.05)
Konsantrasyon	45 mg L ⁻¹	6.43	b*	2.66	14.15	0.89
	60 mg L ⁻¹	6.00	b	2.21		
	75 mg L ⁻¹	6.00	b	2.20		
	100 mg L ⁻¹	3.48	c	2.62		
	200 mg L ⁻¹	3.32	c	1.89		
Doz	5 mL	5.51	b	2.72	14.15	0.72
	7.5 mL	5.24	b	2.69		
	10 mL	4.32	c	2.53		
Uygulama Tarihi	47. Gün	4.81	b	2.33		0.84
	50. Gün	5.74	b	2.76		
	53. Gün	4.55	b	2.81		
Kontrol	0 mg L ⁻¹	10.75	a	1.50		

*Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar istatistikî açıdan önemlidir (P<0.05).

GA₃ uygulanan tüm konsantrasyon düzeylerinde kontrol grubuna kıyasla daha küçük tabla çapları elde edilmiştir. 45–75 mg L⁻¹ aralığındaki uygulamalarda orta düzeyde tabla çapı değerleri (6.00–6.43 cm) gözlenirken, 100 ve 200 mg L⁻¹ konsantrasyonlarında çap değerlerinin azaldığı (3.32–3.48 cm). Tespit edilmiştir (Şekil 2).

Şekil 2*GA₃ konsantrasyonu ve dozuna göre tabla çapı (cm) ortalamaları*

Doz faktörü açısından değerlendirildiğinde, kontrol grubu en yüksek tabla çapı değerini verirken, 10 mL dozunun uygulandığı parsellerde ortalamaların en düşük seviyeye indiği görülmüştür. **Şekil 2**, konsantrasyon arttıkça tabla çapında genel bir düşüş eğilimi olduğunu açık şekilde ortaya koymaktadır. Uygulama tarihleri bakımından en yüksek ortalama 50. Gün tarihli uygulamada, en düşük ortalama ise 53. Günde yapılan uygulamada elde edilmiştir.

Çiçeklenme Süresi(gün)

Çiçeklenme süresi üzerine GA₃ uygulamalarının etkisi de istatistikî olarak önemli bulunmuştur ($P < 0.05$). **Tablo 3**'de yer alan verilere göre, kontrol bitkilerinde çiçeklenme süresi 56–57 gün civarında gerçekleşirken, GA₃ uygulanan parsellerde bu sürenin 53–55 gün aralığına gerilediği görülmektedir.

Tablo 3*GA₃ konsantrasyonu, dozu ve uygulama tarihine göre çiçeklenme süresi ortalamaları (gün)*

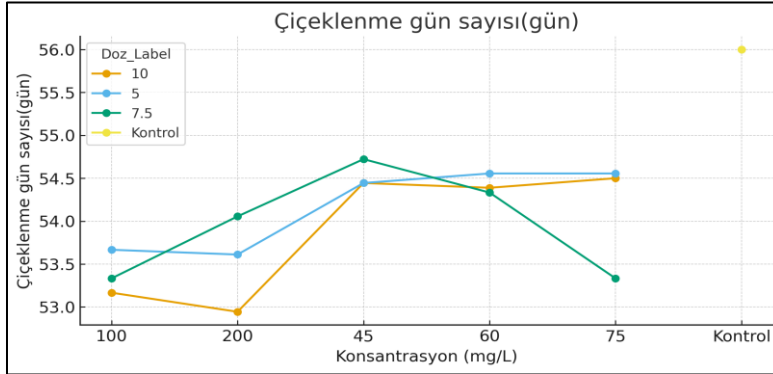
Faktör	Düzy	Ortalama (gün)	Grup	Std. Sapma	CV (%)	LSD (0.05)
Konsantrasyon	100 mg L ⁻¹	53.39	a*	1.30	2.44	0.69
	200 mg L ⁻¹	53.54	a	1.21	2.26	
	75 mg L ⁻¹	54.13	b	1.22	2.26	
	60 mg L ⁻¹	54.43	b	1.19	2.19	
	45 mg L ⁻¹	54.54	b	0.95	1.74	
Doz	10 mL	53.89	a	1.29	2.40	0.60
	7.5 mL	53.96	a	1.26	2.33	
	5 mL	54.17	a	1.22	2.25	
Uygulama Tarihi	47. Gün	53.61	a	1.31	2.43	0.58
	50. Gün	53.99	a	1.29	2.40	
	53. Gün	54.41	b	1.04	1.90	
Kontrol		56.00	c	1.00	1.79	

*Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar istatistikî açıdan önemlidir ($P < 0.05$).

Konsantrasyonlar yönünden değerlendirildiğinde, 100 ve 200 mg L⁻¹ GA₃ düzeyleri en kısa çiçeklenme sürelerini (53.39–53.54 gün) oluşturmuş ve “a” grubunda yer almıştır. 60 ve 75 mg L⁻¹ uygulamalarında çiçeklenme süresi bir miktar daha uzun olmakla birlikte (54.13–54.43 gün), kontrol grubuna göre yine de kısalmıştır. 45 mg L⁻¹ düzeyi ise benzer şekilde “b” grubunda toplanmıştır (Şekil 3).

Şekil 3

GA₃ konsantrasyonu ve uygulama tarihine göre çiçeklenme süresi (gün).



Doz faktörü incelendiğinde, 5, 7.5 ve 10 mL dozlarının çiçeklenme süresi üzerine benzer etki gösterdiği; tüm GA₃ dozlarında kontrol grubuna göre çiçeklenme süresinin kısaldığı görülmektedir. Uygulama tarihleri açısından en kısa çiçeklenme süresi 47. ve 50. günlerinde yapılan uygulamalarda elde edilmiş; 53. Günde yapılan uygulamada ise çiçeklenme süresi nispeten daha uzun bulunmuştur. Kontrol grubunda çiçeklenme süresi 56.00 gün ile en yüksek seviyede gerçekleşmiştir. Şekil 3, GA₃ uygulamalarının çiçeklenmeye başlama zamanını genel olarak öne çektiğini, buna karşın geç uygulamaların bu etkiyi kısmen zayıflatabildiğini göstermektedir.

Döllenme Oranı

GA₃ uygulamalarının döllenme oranı üzerindeki etkisi de önemli bulunmuştur ($P < 0.05$). Tablo 4, farklı konsantrasyon, doz ve uygulama tarihlerine ait ortalama döllenme oranlarını göstermektedir. Döllenme oranının uygulamalar arasında yaklaşık %30 ile %76 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Tablo 4

GA₃ konsantrasyonu, dozu ve uygulama tarihine göre döllenme oranı (%).

Faktör	Düzy	Ortalama (%)	Grup	Std. Sapma	CV (%)	LSD (0.05)
Konsantrasyon	200 mg L ⁻¹	34.67	a*	2.65	7.63	3.44
	45 mg L ⁻¹	50.89	b	8.68	17.05	
	100 mg L ⁻¹	55.78	c	5.33	9.56	
	60 mg L ⁻¹	64.15	d	7.12	11.10	
	75 mg L ⁻¹	70.15	e	3.96	5.64	
Doz	10 mL	52.60	a	11.98	22.77	6.36
	5 mL	54.31	b	13.52	24.90	
	7.5 mL	58.47	b	14.70	25.15	
Uygulama Tarihi	53. Gün	50.60	a	13.43	26.55	6.22
	47. Gün	55.11	b	12.96	23.52	
	50. Gün	59.67	b	13.06	21.89	
Kontrol		37.00	a	1.00		

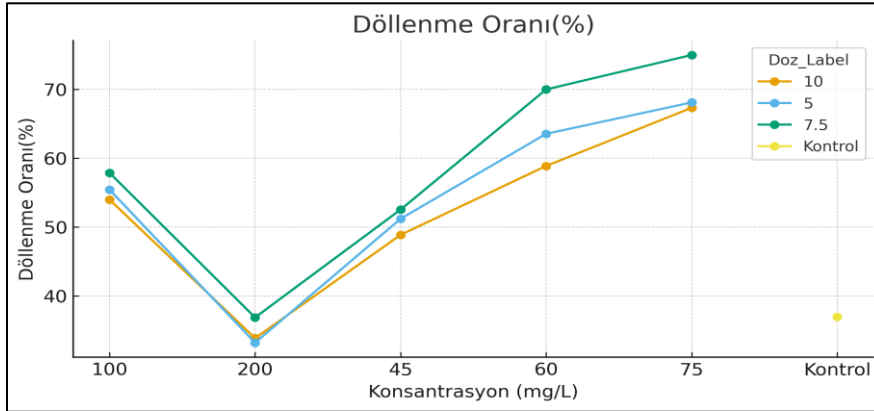
*Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar istatistikî açıdan önemlidir ($P < 0.05$).

Konsantrasyonlar incelendiğinde, en düşük döllenme oranlarının 200 mg L⁻¹ düzeyinde (%34.67) ortaya çıktığı, bunu 45 mg L⁻¹ ve 100 mg L⁻¹ uygulamalarının takip ettiği görülmektedir. Buna karşılık, 60 ve 75 mg L⁻¹ GA₃ uygulamaları döllenme oranı açısından en yüksek değerlere (% 64.15 ve %70.15) ulaşmış ve “d” ve “e” gruplarında yer almıştır. Bu sonuçlar, orta düzey GA₃ uygulamalarının generatif başarıyı desteklediğini, daha yüksek konsantrasyonlarda ise döllenme oranının belirgin şekilde

düştüğünü ortaya koymaktadır.

Şekil 4

GA₃ konsantrasyonu ve uygulama tarihine göre dölleme oranı (%)



Doz açısından bakıldığında, 5 ve 7.5 mL uygulamaları daha yüksek dölleme oranları sağlarken, 10 mL dozunda bu oranın azaldığı görülmektedir. Uygulama tarihleri içinde en yüksek dölleme oranları 47. ve 50. günlerinde kaydedilmiş; 53. Günde yapılan uygulama ile kontrol grubu daha düşük değerler vermiştir. Şekil 4, GA₃ konsantrasyon ve uygulama zamanına bağlı olarak dölleme başarısının nasıl değiştiğini görsel olarak da doğrulamaktadır.

TARTIŞMA

Bu çalışmada elde edilen bulgular, GA₃'nin ayçiçeğinde büyüme ve gelişim süreçlerini çok yönlü olarak etkilediğini göstermektedir. Özellikle 75–200 mg L⁻¹ aralığındaki uygulamalarda bitki boyunda gözlenen belirgin artış, bu hormonun hücre uzamasını teşvik eden fizyolojik rolü ile uyum içindedir. GA₃'nin hücre duvarı esnekliğini artırarak internod uzamasını hızlandırdığı ve böylece bitki boyunun uzamasına katkı sağladığı daha önceki çalışmalarda da vurgulanmaktadır (Rademacher, 2000; Taiz & Zeiger, 2010). Çalışmamızda yüksek konsantrasyonların belirgin boy artışı oluşturmaması, bu mekanizmaların ayçiçeğinde de etkin olduğunu düşündürmektedir.

Ayçiçeği üzerine yapılan araştırmalar da GA₃'nin benzer şekilde bitki boyunu artırdığını ortaya koymaktadır. Kaya (2019), GA₃ uygulamalarının ayçiçeğinde bitki boyunda %15–20 düzeyinde artış sağladığını bildirmiş; Ahmed ve ark. (2020) ise 100–200 mg L⁻¹ GA₃ konsantrasyonlarında en yüksek uzama etkilerini elde ettiklerini rapor etmiştir. Bu sonuçlar, çalışmamızda 100 ve 200 mg L⁻¹ düzeylerinde görülen yüksek bitki boyu ortalamaları ile paralellik göstermektedir. Dozlar arasında büyük farklılıkların ortaya çıkmaması, GA₃'nin yaprak yüzeyinden hızla emilen ve düşük uygulama hacimlerinde dahi etkili olabilen bir hormon olduğunu düşündürmektedir. Singh ve Gill (2016), GA₃'nin foliar uygulama sonrasında kısa sürede absorbe edildiğini ve belirli bir hacimden sonra artan uygulama miktarının etkiyi artırmadığını bildirmiştir; bu bulgu, çalışmamızdaki doz davranışı ile örtüşmektedir. Uygulama zamanları arasındaki farklılıklar da literatürle uyumlu olup, özellikle vejetatif gelişimin erken safhalarında yapılan uygulamaların daha güçlü yanıt oluşturduğu bildirilmektedir (Mutui ve ark., 2002; Göksoy ve ark., 2009). Çalışmamızda 02.08 ve 05.08 tarihlerinde yapılan uygulamaların daha yüksek bitki boyu ile sonuçlanması, GA₃'nin etkisinin bitkinin fenolojik dönemine bağlı olarak değiştiğini ortaya koymaktadır.

Tabla 4'teki azalmalar, GA₃'nin vejetatif organ gelişimini desteklerken generatif yapıları görece olarak geri planda bırakması ile ilişkilendirilebilir. Daha önceki çalışmalar, GA₃'nin güçlü uzama etkisinin, fotosentetik ürünlerin ve kaynakların sürgün ve gövde gibi yapılar lehine yönlendirilmesine yol açabileceğini belirtmiştir (Rademacher, 2000; Taiz & Zeiger, 2010). Bu durum, çalışmamızda

özellikle 100 ve 200 mg L⁻¹ konsantrasyonlarında tabla çapında belirgin daralmalar görülmesiyle uyumludur. Kaya (2019) ve Ahmed ve ark. (2020) de yüksek GA₃ dozlarının generatif organ gelişimini sınırlandırabileceğini ve tabla büyüklüğünün bu durumdan olumsuz etkilenebileceğini ifade etmektedir. Çalışmamızda 10 mL'lik en yüksek uygulama hacminde tabla çapının en düşük seviyeye düşmesi, Singh ve Gill (2016)'ın yüksek hacimli uygulamaların hormon dengesini bozabileceğine ilişkin bulgularıyla da örtüşmektedir. Genel olarak bakıldığında, GA₃'nin ayçiçeğinde tabla çapını artırıcı değil, azaltıcı bir etkiye sahip olduğu ve bu etkinin özellikle yüksek konsantrasyonlarda daha belirgin hâle geldiği söylenebilir.

Çiçeklenme süresindeki kısalma, GA₃'nin generatif geçişi hızlandırıcı fonksiyonu ile açıklanabilir. GA₃'nin birçok bitki türünde çiçeklenmeyi indükleyici bir sinyal olarak işlev gördüğü, fenolojik aşamaların hızlanmasına katkı sağlayabildiği bilinmektedir (Taiz & Zeiger, 2010). Ayçiçeğinde yürütülen çalışmalarda da GA₃ uygulamalarının çiçeklenme süresini birkaç gün kısaltabildiği bildirilmiştir (Kaya, 2019; Ahmed ve ark., 2020). Çalışmamızda özellikle 60–75 mg L⁻¹ düzeylerinde çiçeklenme süresinin belirgin şekilde azalması, bu konsantrasyon aralığının fenolojik geçişi hızlandırmak için uygun olduğunu düşündürmektedir. Buna karşılık 10 mL gibi daha yüksek uygulama hacimlerinde sürenin tekrar uzama eğilimi göstermesi, Singh ve Gill (2016)'ın yüksek GA₃ uygulamalarında metabolik dengenin bozulabileceği yönündeki değerlendirmeleriyle uyumludur. Bu sonuçlar, GA₃'nin çiçeklenme süresini kısaltma potansiyeli olduğunu, ancak optimum düzeylerin üzerinde yapılacak uygulamaların bu avantajı zayıflatabileceğini ortaya koymaktadır.

Döllenme oranında gözlenen değişimler, GA₃'nin generatif fizyoloji üzerinde iki yönlü etki gösterebildiğini düşündürmektedir. Mutui ve ark. (2002), düşük ve orta düzey GA₃ uygulamalarının polen canlılığını ve döllenme başarısını artırabildiğini, buna karşılık yüksek konsantrasyonların fertilitiyi olumsuz etkileyebileceğini rapor etmiştir. Çalışmamızda 200 mg L⁻¹ uygulamasının en düşük döllenme oranını vermesi bu bulguyu desteklemektedir. Kaya (2019) ile Ahmed ve ark. (2020) de GA₃'nin generatif organ gelişimine duyarlı bir hormon olduğunu, yüksek dozların verim unsurları üzerinde baskılayıcı etki oluşturabileceğini vurgulamıştır. Çalışmamızda 60–75 mg L⁻¹ düzeylerinin en yüksek döllenme oranlarını sağlaması, literatürde optimum GA₃ aralığı olarak ifade edilen değerlerle uyum içindedir. Buna karşın 100–200 mg L⁻¹ konsantrasyonlarının döllenme oranını düşürmesi, hormonun yüksek düzeylerde generatif fizyolojiyi baskıladığına işaret etmektedir. Genel değerlendirmede GA₃'nin, düşük ve orta konsantrasyonlarda döllenme başarısını artırabilen; ancak yüksek düzeylerde erkek kısırlığa yol açabilecek ölçüde generatif süreci sınırlandıran bir etkiye sahip olduğu söylenebilir.

Bu bulgular, GA₃ uygulamalarının yalnızca bitkinin vejetatif büyümesini değil, aynı zamanda generatif organların işlevini de önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymaktadır. Özellikle yüksek GA₃ konsantrasyonlarında döllenme oranındaki belirgin azalma, literatürde bildirilen GA₃ kaynaklı geçici erkek kısırlık (chemical male sterility) olgusu ile örtüşmektedir (Davis, 1982; Kaul, 1988). Polen canlılığının düşmesi, anter gelişiminin baskılanması ve stigma reseptivitesinin zayıflaması yüksek dozlara verilen tipik tepkiler olarak görülmektedir. Çalışmamızda yüksek GA₃ uygulamalarının döllenme başarısını sınırlaması, bu hormonun kontrollü dozlarda kullanılması hâlinde hibrit tohum üretiminde kimyasal melezleme ajanı (CHA) olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Nitekim 60–75 mg L⁻¹ düzeylerinde bitki boyunun artmasına karşın generatif yapının tamamen baskılanmaması; ancak 100–200 mg L⁻¹ düzeylerinde döllenme oranının keskin şekilde düşmesi, GA₃'nin erkek kısırlık indüksiyonunda doza bağımlı bir mekanizmaya sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, ayçiçeği gibi böceklerle tozlanan türlerde klasik CMS sistemlerine ek olarak kimyasal temelli alternatif bir yaklaşım geliştirilmesi açısından dikkat çekicidir. Sonuç olarak GA₃'nin, uygun doz ve zamanlama ile kullanıldığında hem büyüme düzenleyicisi hem de melezleme aracı olarak ayçiçeği ıslah programlarına entegre edilebilecek çift yönlü bir potansiyel taşıdığı söylenebilir.

SONUÇ

Bu çalışmada farklı GA₃ konsantrasyonlarının, uygulama hacimlerinin ve uygulama zamanlarının ayçiçeğinin temel morfolojik ve generatif özellikleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, GA₃'nin bitkinin büyüme dinamikleri üzerinde güçlü ve yönlendirici bir etkiye sahip olduğunu; ancak bu etkinin doza ve uygulama zamanına son derece duyarlı olduğunu göstermiştir.

Bitki boyu, GA₃ uygulamalarına en belirgin yanıt veren özellik olmuş; özellikle 75–200 mg L⁻¹ aralığındaki uygulamalar bitki boyunda kayda değer artış sağlamıştır. Buna karşın generatif gelişimi temsil eden tabla çapı ve döllenme oranı gibi özellikler, yüksek GA₃ seviyelerinde baskılanmış ve değerlerin belirgin şekilde düştüğü görülmüştür. Bu sonuçlar, GA₃'nin yüksek dozlarda vejetatif gelişimi desteklerken generatif süreçleri sınırlandırdığını göstermektedir. Çiçeklenme süresinin GA₃ uygulamalarıyla kısılması ise hormonun fenolojik geçişi hızlandırıcı işlevine işaret etmektedir. Döllenme oranında en yüksek değerlerin 60–75 mg L⁻¹ düzeylerinde elde edilmesi, ayçiçeğinde GA₃'nin optimum konsantrasyonlarda kullanıldığında generatif performansı iyileştirebileceğini; ancak yüksek dozlarda bu avantajın tersine dönebileceğini ortaya koymuştur.

Bu bulgular ışığında, GA₃'nin ayçiçeğinde hem bir büyüme düzenleyicisi hem de belirli koşullarda geçici erkek kısırlık oluşturabilecek bir ajan olarak çift yönlü potansiyele sahip olduğu söylenebilir. Özellikle yüksek konsantrasyonlarda döllenme oranının keskin biçimde düşmesi, GA₃'nin kimyasal melezleme ajanı (CHA) olarak değerlendirilebilecek nitelikte bir etki oluşturduğunu göstermektedir. Bu durum, hibrit tohum üretiminde klasik CMS sistemlerine alternatif olabilecek kimyasal temelli bir yaklaşımın geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır.

Araştırmadan elde edilen bulgular, GA₃'nin ayçiçeğinde hem vejetatif hem de generatif gelişim üzerinde belirgin etkiler oluşturduğunu göstermiştir. Bu nedenle GA₃ uygulamalarının üretim ve ıslah programlarında dikkatle planlanması gerekmektedir. Çalışma sonuçları özellikle 60–75 mg L⁻¹ konsantrasyon aralığının bitki boyunda artış sağlarken generatif yapıda önemli bir kayba neden olmadığını ortaya koymaktadır. Dolayısıyla bu düzeyin ayçiçeği yetiştiriciliğinde optimum GA₃ aralığı olarak değerlendirilebileceği düşünülmektedir. Öte yandan 100–200 mg L⁻¹ gibi daha yüksek konsantrasyonların döllenme oranını düşürdüğü görülmüş; bu durum GA₃'nin uygun koşullarda geçici erkek kısırlık oluşturabilen bir bileşik olarak hibrit tohum üretiminde kimyasal melezleme ajanı şeklinde kullanılabileceğine işaret etmiştir.

Uygulama zamanının da sonuçlar üzerinde önemli bir belirleyici olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle erken dönemde yapılan GA₃ uygulamalarının hem bitki boyu hem de döllenme oranı açısından daha olumlu sonuçlar vermesi, zamanlamanın hormon etkinliğinde kritik bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır. Bunun yanında farklı uygulama hacimlerinin benzer sonuçlar vermesi, GA₃'nin düşük hacimlerde dahi etkili olabildiğini ve belirli bir eşikten sonra artan hacmin bitki üzerinde ek bir avantaj yaratmadığını göstermektedir.

Teşekkür

Bu çalışma kapsamında yürütülen tüm araştırma süreçlerinde sağladıkları teknik destek, araştırma altyapısı ve imkânlar için Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne teşekkür ederim. Deneme alanlarının kullanımında sundukları kolaylıklar, laboratuvar imkânları ve çalışma boyunca gösterdikleri iş birliği, araştırmanın başarıyla tamamlanmasına önemli katkı sağlamıştır. Ayrıca arazi ve laboratuvar çalışmalarında destek veren enstitü personeline de değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim.

REFERANSLAR

- Aboki, M. A., Mohammed, M. S., & Aliyu, B. S. (2012). Genetic diversity in wild *Helianthus* species: An overview. *International Journal of Plant Breeding and Genetics*, 6(3), 134–141.
- Ahmed, F., Shahid, M., & Rehman, H. (2020). Effect of gibberellic acid (GA₃) on growth and yield attributes of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Agricultural Research*, 58(3), 245–253.
- AOAC. (2016). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 20th Ed.
- Bhat, T. A., Sofi, P. A., Rather, A. G., & Anwar, F. (2011). Influence of growth regulators on growth and yield traits in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Helia*, 34(54), 87–94.
- Cockerell, T. D. A. (1904). The North American *Helianthus annuus* complex. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences*, 56, 315–335.
- FAO. (2022). FAOSTAT Agricultural Data.
- Davis, A. R. (1982). The effects of gibberellins on stamen and pollen development. *Annals of Botany*, 50, 345–354.
- Ghaffar, A., & Rauf, S. (2014). Hormonal regulation of flowering and yield attributes in sunflower. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 51(2), 365–372.
- Göksoy, A. T., Türkeri, M., & Kaya, M. (2009). Effects of different growth stages on physiological responses of sunflower to plant growth regulators. *Turkish Journal of Field Crops*, 14, 123–130.
- Fick, G. N. (1978). Cytoplasmic male sterility in sunflower: Inheritance and utilization in breeding. *Crop Science*, 18, 335–340.
- Filippi, C., Hernández, L. F., & Hall, A. J. (2014). Oil biosynthesis and source–sink relationships in sunflower. *Field Crops Research*, 166, 11–16.
- Horn, R. (2002). The molecular basis of cytoplasmic male sterility and fertility restoration in *Helianthus annuus*. *Plant Molecular Biology*, 50, 855–870.
- Jan, C. C. (1997). Wild *Helianthus* species as a genetic resource. *Field Crops Research*, 50, 37–46.
- Jan, C. C. (2014). Advances in sunflower hybrid seed production. *Helia*, 37(60), 1–12.
- Kaya, M., Yılmaz, S., & Arslan, B. (2018). Recent advances in sunflower breeding: Yield and stress tolerance. *Helia*, 41(69), 95–112.
- Kaya, M. (2019). Gibberellic acid (GA₃) applications improving growth parameters in sunflower. *Anadolu Journal of Agricultural Sciences*, 34(4), 561–568.
- Kaya, M., & Atak, Ç. (2012). The effects of GA₃ on plant height and reproductive traits in sunflower. *Journal of Plant Growth Regulation*, 31, 310–318.
- Kaul, M. L. H. (1988). *Male Sterility in Higher Plants*. Springer-Verlag, Berlin.
- Kaur, R., Sharma, P., & Singh, S. (2013). Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to different levels of gibberellic acid (GA₃) on growth and flowering behaviour. *International Journal of Agricultural Sciences*, 5(2), 210–215.
- Leclercq, P. (1969). Une stérilité mâle cytoplasmique chez le tournesol. *Annales de l'Amélioration des Plantes*, 19, 99–106.
- Lee, H., Zhou, X., & Zhang, L. (2021). Chemical hybridizing agents and their application in hybrid

- seed production. *Agronomy*, 11(4), 655.
- Mandel, J. R., Nambeesan, S., & Burke, J. M. (2013). Origins and genetic diversity of domesticated sunflower. *Genetics*, 194, 1029–1040.
- Mut, Z., Sezer, I., & Gülümser, A. (2006). Effect of different plant growth regulators on yield and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Asian Journal of Plant Sciences*, 5(4), 881–884.
- Mutui, T. M., Emongor, V. E., & Hutchinson, M. J. (2002). Effect of gibberellic acid on growth, flowering and vase life of tuberose. *Journal of Plant Growth Regulation*, 21, 381–387.
- Rademacher, W. (2000). Growth retardants: Effects on gibberellin biosynthesis and metabolism. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 51, 501–531.
- Singh, G. ve Gill, S. S. (2016). Foliar absorption and growth responses to gibberellic acid in different application volumes. *International Journal of Plant Sciences*, 8(2), 45–52.
- Singh, V., Kumar, R., & Singh, P. (2010). Effect of plant growth regulators on growth and flowering behaviour in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 2(1), 45–50.
- Škorić, D. (2012). Sunflower breeding for resistance to abiotic stresses. *Helia*, 35(57), 1–16.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant Physiology* (5th ed.). Sinauer Associates, Sunderland, MA, USA.
- TÜİK (2020). Bitkisel Üretim İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu.
- Virmani, S. S. (1994). Heterosis and hybrid rice breeding. *Springer*, 3–24.
- Wit, F. (1960). Male sterility in sunflower and its significance in hybrid seed production. *Euphytica*, 9, 349–359.
- Zhang, L., Chen, X., & Wang, Y. (2008). Advances in chemical hybridizing agents used in crop breeding. *Plant Breeding Reviews*, 30, 77–112.