



TARIM, ORMAN VE SU BİLİMLERİNDE, KURAM, BAĞLAM VE UYGULAMA

Editör: Prof. Dr. Ulaş ŞENYİĞİT



**TARIM, ORMAN VE
SU BİLİMLERİNDE, KURAM,
BAĞLAM VE UYGULAMA**

Editör

Prof. Dr. Ulaş ŞENYİĞİT ¹

¹ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
ulassenyigit@isparta.edu.tr ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-4864-0790>



Tarım, Orman ve Su Bilimlerinde, Kuram, Bağlam ve Uygulama
Editör: Prof. Dr. Ulaş ŞENYİĞİT

Genel Yayın Yönetmeni: Berkan Balpetek

Kapak ve Sayfa Tasarımı: Duvar Design

Baskı: Ağustos 2025

Yayıncı Sertifika No: 49837

ISBN: 978-625-5698-20-9

© Duvar Yayınları

853 Sokak No:13 P.10 Kemeraltı-Konak/İzmir

Tel: 0 232 484 88 68

www.duvar yayinlari.com

duvarkitabevi@gmail.com

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir. Yayınevi ve editörler sorumlu tutulamaz.

İÇİNDEKİLER

1. Bölüm5

Tunceli İlindeki İçme sularında Siyanür Oranları
Banu KUTLU

2. Bölüm22

Organik Badem Yetiştiriciliği
Gülşah DOĞAN

3. Bölüm.....43

Tıbbi ve Aromatik Bitkilerle Kurakçıl Peyzaj
Handan ÇAKAR

4. Bölüm60

Şeritsel Toprak İşleme ve Toprak İşlemesiz Tarımın
Çeşitli Açılardan Karşılaştırılması
İlknur DURSUN

5. Bölüm78

Farklı Toprak İşleme Tekniklerinin
Yakıt Tüketimlerinin Karşılaştırılması
İlknur DURSUN

6. Bölüm89

Nanohidrojellerin Bitki Kök Bölgesindeki Nemin Korunması ve
Sürdürülebilir Tarım Uygulamaları Üzerindeki Rolü
Sabqatullah ALIPOUR, Ulaş ŞENYİĞİT

1. Bölüm

Tunceli İlindeki İçme sularında Siyanür Oranları

Banu KUTLU¹

Giriş

İçme suyu, insan sağlığının korunması ve yaşamın sürdürülebilmesi için vazgeçilmez bir kaynaktır. Ancak suyun kimyasal ve mikrobiyolojik açıdan kirlenmesi, özellikle duyarlı bireyler bebekler, yaşlılar ve bağışıklık sistemi zayıf olan kişiler için ciddi sağlık tehditleri oluşturabilir. Nitelsiz içme suyu, yalnızca bulaşıcı hastalıkların yayılmasını kolaylaştırmakla kalmaz; aynı zamanda toksik madde birikimi ve uzun vadede gelişen kronik rahatsızlıkların da temel sebeplerinden biri olabilir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) verilerine göre, her yıl dünya genelinde yarım milyondan fazla insan, güvenli olmayan içme suyu kaynaklarına bağlı hastalıklar nedeniyle yaşamını yitirmektedir.

Mikroorganizmalara bağlı kirlenmeler genellikle ani etkiler gösterir. Örneğin, *Escherichia coli*, *Salmonella* ya da *Giardia* gibi patojenler; ishal, mide bulantısı ve sıvı kaybı gibi semptomlarla seyreden enfeksiyonlara yol açabilir. Bu tür enfeksiyonlar, özellikle hijyen koşullarının yetersiz olduğu bölgelerde çocuk ölümlerinin başlıca nedenleri arasında yer almaktadır. Buna karşılık, kimyasal kirleticiler daha sinsi ve uzun vadeli bir risk oluşturur. Ağır metaller (örneğin cıva, arsenik ve kurşun), pestisit kalıntıları ve uçucu organik bileşikler zamanla insan vücudunda birikerek; sinir sistemi bozuklukları, karaciğer ve böbrek fonksiyonlarında azalma, endokrin sistem bozuklukları ve bazı kanser türlerinin gelişimi gibi ciddi sağlık sonuçlarına yol açabilir. Özellikle metilcivaya maruz kalmak, nörolojik bozukluklara neden olmanın yanı sıra, plasenta bariyerini geçerek gelişmekte olan fetüsü de etkileyebilmektedir. Bununla birlikte, içme suyunda siyanür gibi akut toksik bileşiklerin bulunması, düşük dozlarda dahi hızla gelişen semptomlara neden olabilir. Solunum güçlüğü, bilinç kaybı ve baş dönmesi gibi belirtiler, bu tür bileşiklerin organizma üzerindeki ani ve ciddi etkilerini göstermektedir. Bu nedenle siyanür maruziyeti acil müdahale gerektiren halk sağlığı durumları arasında yer almaktadır.

Çevresel ve Ekolojik Denge: İçme suyu yalnızca insan sağlığı açısından değil, aynı zamanda doğal ekosistemlerin devamlılığı ve çevresel dengenin

¹ Prof. Dr., Munzur Üniversitesi, Su Ürünleri-Temel Bilimler Bölümü, Orcid: 0000-0001-6348-2754

korunması açısından da stratejik öneme sahiptir. Tatlı su kaynakları göller, nehirler, yeraltı suyu ve akarsular hem canlı yaşamının temel bileşenlerinden biridir hem de ekolojik süreçlerde taşıyıcı ortam rolü görerek biyosferin işleyişinde merkezi bir konuma sahiptir (Postel & Carpenter, 1997; Vörösmarty et al., 2010).

Bu sucul sistemlerde meydana gelen fiziksel, kimyasal veya biyolojik bozulmalar yalnızca insanları değil; planktonik organizmalar, makroomurgasızlar, amfibiler, balıklar ve su kuşları gibi suya bağımlı türleri de doğrudan tehdit eder (Dudgeon et al., 2006). Özellikle içme suyu havzalarında gerçekleşen kirlenmeler, zamanla hem ekosistem sağlığını hem de suyun kalitesini ciddi biçimde zayıflatabilir.

Siyanür ve cıva gibi toksik elementler, sucul organizmalar üzerinde hem akut hem de kronik etkiler yaratabilmektedir. Örneğin, düşük konsantrasyonlardaki siyanür bile balıkların solungaç fonksiyonlarını bozarak oksijen alımını engeller ve ölümlere yol açabilir (Eisler, 1991). Cıva ise çevresel koşullarda metilciva formuna dönüşerek planktonik canlılarda birikmeye başlar; bu birikim trofik seviyeler boyunca artarak büyük yırtıcılarda nörotoksisite, üreme bozuklukları ve davranışsal anomaliler oluşturabilir (Driscoll et al., 2013; Mergler et al., 2007).

Kirilik sadece canlılar üzerindeki etkilerle sınırlı kalmaz; çevresel yapıların bütünlüğünü de bozar. Özellikle su kaynaklarına yakın sulak alanlar, orman ekosistemleri ve tarımsal alanlar bu etkilerden ciddi biçimde zarar görebilir. Bu durum, habitat parçalanması, biyoçeşitlilik kaybı ve ekosistem hizmetlerinde azalmaya neden olur (MEA, 2005). Ayrıca, kirli suyun arıtılması için gereken ileri teknolojiler ve altyapı yatırımları, ekonomik açıdan da ciddi yükler doğurur (UNEP, 2016).

Kirleticiler içme suyu sistemlerine farklı yollarla ulaşabilir. Bunlar arasında atmosferik çökeltme, tarımsal alanlardan kaynaklanan yüzey akışları, maden sahalarındaki asidik drenajlar ve yerleşim alanlarından gelen atıksular yer almaktadır (Gómez-Canela et al., 2012; Wang et al., 2025). Özellikle pestisitler, ağır metaller ve endüstriyel kimyasallar gibi bileşikler, bölgesel ölçekte su kaynaklarının ekolojik sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Bu nedenle içme suyu havzalarının korunması yalnızca insan sağlığı için değil, aynı zamanda biyolojik çeşitliliğin sürdürülmesi ve ekosistem dayanıklılığının artırılması açısından da kritik öneme sahiptir. Bu koruma çabaları, izleme ve erken uyarı sistemleriyle desteklenmelidir. Özellikle biyobelirteç türlerin kullanımı (örneğin diyatomlar, bentik makroomurgasızlar), uzaktan algılama teknikleri ve biyosensör tabanlı izleme sistemleri su kalitesinin değerlendirilmesinde etkili araçlardır (Blettler et al., 2018; Kaur & Mishra, 2020).

Ayrıca doğa temelli çözümler sulak alan restorasyonu, yeşil altyapı uygulamaları ve tampon bölge oluşturma stratejileri entegre su yönetimi politikalarıyla birlikte uygulanmalıdır (Raymond et al., 2017). Bu tür ekolojik mühendislik yaklaşımları hem su kalitesini iyileştirir hem de iklim değışikliğine karşı dirençli su sistemleri oluşturulmasına katkı sağlar.

Kirli İçme Suyu Kaynaklarının Ekosistem ve Gıda Zinciri Üzerindeki Etkileri: İçme suyu kaynaklarının kirlenmesi, yalnızca insan sağlığını tehdit etmekle kalmaz; aynı zamanda bütüncül ekosistem yapısını ve çevresel sürdürülebilirliği de derinden etkiler. Suyu karışan kimyasal kirleticiler, sucul ekosistemlerin dinamiklerini bozarak zincirleme etkilerle kara ekosistemlerine ve nihayetinde insanlara kadar ulaşabilen bir tehdit ağını oluşturur. Sucul canlılar üzerindeki toksik etkileri, Kimyasal kirleticilerin en doğrudan etkisi, sucul canlılar üzerinde gözlemlenir. Siyanür, ağır metaller (örneğin kurşun, cıva, kadmiyum), pestisit kalıntıları ve farmasötik bileşikler gibi toksik maddeler; balıklar, kabuklular, fitoplankton ve bentik organizmalarda fizyolojik stres, üreme bozuklukları ve ölümle sonuçlanan etkiler yaratabilir (Relyea & Hoverman, 2006; Malaj et al., 2014). Özellikle metilciva gibi bileşikler, planktonik organizmalarda birikerek trofik seviyelerde yukarı doğru taşınarak yırtıcılarda nörotoksik etkiler oluşturur (Boening, 2000).

Toprak ve tarım ekosistemlerine etkileri, kirli içme suyu kaynaklarının tarımsal sulamada kullanılması, toprak kalitesini de olumsuz yönde etkiler. Sulama yoluyla toprağa taşınan ağır metaller, mikroorganizma dengelerini bozabilir, bitkilerde büyüme geriliğine ve verim kaybına neden olabilir (Nagajyoti et al., 2010). Özellikle arsenik ve kurşun gibi elementler, toprakta birikerek uzun vadeli kirlilik yaratır ve mahsul kalitesini düşürür. Gıda zincirinde biyobirikim ve dolaylı insan maruziyeti: kirleticiler yalnızca doğrudan su yoluyla değil, biyobirikim (bioaccumulation) ve biyobüyüme (biomagnification) yoluyla da insanlara ulaşabilir. Bu süreçte kirleticiler önce düşük trofik düzeydeki organizmalarda birikir; ardından tüketim yoluyla üst basamaklardaki canlılara aktarılır. Örneğin, tarım ürünlerinin kirli suyla sulanması sonucu bitkilerde biriken toksik elementler, gıdalar aracılığıyla insan vücuduna girebilir (Khan et al., 2008). Aynı şekilde, kontamine balık ve kabuklu deniz ürünlerinin tüketimi, toksinlerin dolaylı olarak insanlara ulaşmasına neden olur. Ekosistem Servislerinde Zayıflama ve Geri Dönüşü Zor Bozulmalar: Kirli su kaynakları, doğal ekosistem hizmetlerinin (su arıtımı, habitat temini, karbon depolama, iklim regülasyonu vb.) etkinliğini azaltır. Özellikle sulak alanlar ve nehir ağızları gibi biyolojik çeşitliliğin yüksek olduğu alanlar bu kirlilikten fazlasıyla etkilenir. Bu durum hem biyolojik hem ekonomik değerlerin kaybına ve bazı durumlarda geri

döndürülemez ekosistem hasarlarına yol açabilir (MEA, 2005; Vörösmarty et al., 2010).

Sosyal ve Ekonomik Etkileri: İçme suyunun kalitesi ve güvenli erişimi, yalnızca bireysel sağlığı değil, aynı zamanda toplumların sosyal yapısını ve ekonomik sürdürülebilirliğini de derinden etkileyen temel bir unsurdur. Suyu erişim hakkı, Birleşmiş Milletler tarafından temel bir insan hakkı olarak tanımlanmış olsa da dünya genelinde milyonlarca insan hâlen güvenli içme suyuna ulaşamamaktadır (WHO/UNICEF, 2021). Bu durum, yalnızca sağlık göstergelerini değil, aynı zamanda eğitim, istihdam, cinsiyet eşitliği ve yoksullukla mücadele gibi çok boyutlu kalkınma göstergelerini de olumsuz yönde etkilemektedir. Halk sağlığı üzerindeki sosyal yansımaları, kirli içme suyuna maruziyet, başta ishal, tifo, kolera ve hepatit A gibi su kaynaklı hastalıkların yaygınlaşmasına neden olmaktadır. Bu hastalıklar, özellikle bebekler ve yaşlılar gibi savunmasız gruplarda ağır seyretmekte, yüksek morbidite ve mortalite oranlarına yol açmaktadır (Prüss-Ustün et al., 2019). Bu tür sağlık sorunları, bireylerin günlük işlevselliğini azaltmakta ve iş gücüne katılımını sekteye uğratmaktadır. Ayrıca, yetersiz su kalitesi, hane halkı düzeyinde sağlık harcamalarının artmasına neden olmakta ve özellikle düşük gelirli gruplar üzerinde ekonomik baskı oluşturmaktadır (Hutton & Varughese, 2016). Böylece, yoksulluk döngüsü daha da derinleşmekte, toplumsal eşitsizlikler yeniden üretilmektedir. Toplumsal cinsiyet ve eğitim üzerindeki etkiler su temini görevi çoğunlukla kadınlar ve kız çocuklarına düştüğü için, güvenli suya erişimin kısıtlı olduğu bölgelerde kadınlar daha fazla zaman ve fiziksel emek harcamak zorunda kalmaktadır (UN Women, 2022). Bu durum, özellikle kız çocuklarının okula devam oranlarını düşürmekte, kadınların ise üretken iş gücüne katılımını sınırlamaktadır. Dolayısıyla, içme suyu hizmetlerindeki eksiklikler yalnızca altyapısal değil, aynı zamanda toplumsal cinsiyet eşitliği açısından da belirleyici bir faktör hâline gelmektedir. Kamu yönetimi ve altyapı üzerindeki ekonomik baskılar yetersiz su kalitesi, yerel yönetimler ve sağlık sistemleri üzerinde doğrudan bir maliyet baskısı yaratmaktadır. İçme suyu arıtma tesislerinde kullanılan teknolojilerin karmaşıklığı ve işletme maliyetleri artarken, eş zamanlı olarak sağlık sistemleri üzerinde acil müdahale ve tedavi yükü oluşmaktadır (OECD, 2022). Ayrıca, uzun vadeli altyapı yatırımlarının gecikmesi veya ihmal edilmesi, kırılgan toplulukların yaşadığı bölgelerde kalıcı sosyoekonomik dezavantajlara neden olabilir. Tarım ve sanayi üzerindeki dolaylı etkiler, tarım ve sanayi gibi suya dayalı sektörler de içme suyu kaynaklarının kalitesinden doğrudan etkilenmektedir. Özellikle tarımsal üretimde kullanılan düşük kaliteli su hem ürün verimini hem de gıda kalitesini olumsuz etkileyerek kırsal ekonomileri

zayıflatmaktadır (FAO, 2021). Bu durum, gıda güvencesi üzerinde tehdit oluşturmakta ve gıda fiyatlarında dalgalanmalara neden olarak toplumsal huzursuzluğu tetikleyebilmektedir. Sanayi sektöründe ise düşük kaliteli su; ürün proseslerini sekteye uğratmakta, kalite kontrol problemleri yaratmakta ve üretim maliyetlerini artırmaktadır.

Afetlere ve İklim Değişikliğine Karşı Dayanıklılık: İklim değişikliği ve doğal afetler, içme suyu kaynaklarının sürekliliği ve güvenliği açısından artan bir tehdit oluşturmaktadır. Kuraklık, sel, toprak kaymaları, don olayları ve sıcak hava dalgaları gibi ekstrem iklim olayları; su temin altyapılarını doğrudan etkileyerek hem fiziksel sistemleri zayıflatmakta hem de suyun kalitesini ve erişilebilirliğini tehlikeye atmaktadır (IPCC, 2022; UNDRR, 2020). Bu koşullar altında içme suyu sistemlerinin iklim değişikliğine ve afet risklerine karşı dayanıklı hâle getirilmesi, yalnızca çevresel değil, aynı zamanda sosyal ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından da kritik bir öncelik hâline gelmiştir. İklimsel aşırılıklar ve su kalitesi üzerindeki etkiler, İklim değişikliği, özellikle yağış rejimlerinde meydana gelen düzensizlikler yoluyla hem yüzeysel hem de yer altı su kaynaklarını tehdit etmektedir. Kuraklık dönemlerinde su hacmindeki düşüş, mevcut kirleticilerin seyreltilmemesine neden olarak su kalitesini bozmakta; bu durum özellikle küçük ölçekli, kırsal su temin sistemlerinde halk sağlığını doğrudan riske atmaktadır (Howard et al., 2016). Tersine, yoğun yağış ve taşkın olayları, yüzey akışları aracılığıyla pestisitler, ağır metaller, kanalizasyon taşkınları ve endüstriyel sızıntıların su kaynaklarına karışmasına neden olabilir (UNICEF, 2017). Bu kirleticiler, akut ve yaygın su kaynaklı hastalıkların (örneğin kolera, leptospiroz, ishal) ortaya çıkma riskini artırır ve arıtma tesisleri üzerindeki yükü çoğaltır. Su arıtma sistemleri üzerindeki baskılar iklim kaynaklı değişimler aynı zamanda mevcut içme suyu arıtma altyapılarının teknik kapasitesini de zorlamaktadır. Ani debi değişiklikleri, artan sediment yükleri ve sıcaklık değişimlerine bağlı olarak gelişen alg patlamaları (örneğin Microcystis türleri), özellikle geleneksel arıtma sistemlerinin verimliliğini düşürebilir (LeChevallier et al., 2015). Bu durum, daha gelişmiş ve esnek teknolojilerin kullanımını zorunlu kılmaktadır. Dayanıklı sistem tasarımı ve uyum stratejileri iklim ve afet risklerine karşı dirençli içme suyu sistemlerinin oluşturulması, yalnızca mühendislik çözümleriyle değil; entegre yönetim yaklaşımlarıyla da desteklenmelidir. Bu kapsamda; Havza temelli planlama, suyun doğal çevrimini korumaya yönelik önlemler içerir. Erken uyarı sistemleri, meteorolojik ve hidrolojik tehlikeleri öngörerek müdahale sürecini hızlandırır. Su verimliliği stratejileri (örneğin, kayıp-kaçak yönetimi, düşük debili armatürler) kaynak kullanımını optimize eder. İklim uyum planları, uzun vadeli kurumsal dayanıklılığın artırılmasını sağlar (OECD, 2021). Ayrıca alternatif su

kaynaklarının devreye alınması (yağmur suyu hasadı, gri su geri kazanımı), sürdürülebilir içme suyu yönetiminde stratejik bir rol oynamaktadır. Topluluk temelli izleme sistemleri ve yerel dayanıklılık uygulamaları, özellikle afet sonrası toparlanma kapasitesini artırmak için önem taşır (Srinivasan et al., 2017). Afet anlarında esnek müdahale ve su güvencesi kriz dönemlerinde içme suyu erişiminin devamlılığını sağlamak için taşınabilir arıtma sistemleri, modüler su depolama üniteleri ve hızlı dağıtım altyapıları gibi esnek çözümler kritik rol oynamaktadır. Bu tür çözümler, özellikle afet sonrası müdahalelerde halk sağlığı riskleri en aza indirmeyi amaçlar (Sphere Association, 2018). Dolayısıyla, içme suyu sistemlerinin yönetimi; afet risk azaltımı, iklim değişikliğine uyum politikaları ve su güvenliği hedefleriyle entegre edilmelidir. Bu entegrasyon, yalnızca sağlıkla ilişkili etkileri sınırlamakla kalmaz, aynı zamanda ekonomik kalkınma, sosyal refah ve çevresel sürdürülebilirlik gibi çok boyutlu faydalar sağlar.

Siyanür Kirliliği ve Yasal-Uluslararası Mevzuat Gerekliliği: Siyanür, içme suyunda bulunduğu ciddi toksik etkiler gösteren, çevre ve insan sağlığı açısından yüksek risk oluşturan bir kimyasaldır. Doğal kaynaklardan sınırlı miktarda gelebilse de esasen endüstriyel faaliyetler sonucu su kaynaklarına karışmaktadır. Altın ve gümüş madenciliğinde kullanılan sodyum siyanür ve hidrojen siyanür bileşikler; ayrıca elektrogalvanizleme, plastik üretimi, tarım ilaçları imalatı ve fotoğrafçılık gibi birçok sanayi kolunda da yaygın olarak kullanılmaktadır (Logsdon et al., 1999; Mudder & Botz, 2004). Bu endüstriyel süreçlerden çıkan atık suların yeterince arıtılmadan doğrudan yüzeysel veya yer altı su kaynaklarına deşarj edilmesi, zamanla içme suyu sistemlerinde siyanür birikimine neden olabilir. Özellikle madencilik faaliyetlerinin yoğun olduğu bölgelerde bu durum kritik bir çevresel tehdit hâline gelmektedir (Korte & Coulston, 1998). Serbest siyanür iyonları (CN⁻), hücresel düzeyde solunum zincirini bloke ederek mitokondriyal oksijen kullanımını engeller. Bu durum hızla gelişen hipoksiye, hücre ölümü ve organ yetmezliğine neden olabilir (ATSDR, 2006). Düşük dozlarda bile baş ağrısı, baş dönmesi, bulantı ve nefes darlığı gibi semptomlarla kendini gösterebilirken; yüksek dozlarda maruziyet, hızlı bir şekilde bilinç kaybı ve ölümle sonuçlanabilir. Kronik maruziyet ise tiroid disfonksiyonu, nörolojik etkiler ve bazı davranışsal bozukluklar ile ilişkilendirilmiştir (Erickson & Smith, 2007). Bu nedenle içme suyunda siyanür varlığı, acil halk sağlığı müdahalesi gerektiren durumlardan biri olarak kabul edilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), içme suyundaki toplam siyanür için maksimum sınır değerini 0.07 mg/L olarak belirlemiştir (WHO, 2017). Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi (WFD) kapsamında bu değer 0.05 mg/L, ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından ise 0.2 mg/L olarak sınırlandırılmıştır.

(European Commission, 2015; US EPA, 2023). Türkiye’de ise bu sınırlar, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) çerçevesinde WHO standartları esas alınarak 0.05 mg/L olarak uygulanmaktadır. Bu sınır değerler, kamu sağlığını korumaya yönelik önleyici eşiklerdir ve düzenli izleme, raporlama ve hızlı müdahale süreçleriyle desteklenmektedir. İçme suyundaki siyanür, genellikle spektrofotometrik yöntemlerle (örneğin, distilasyon-sonrası kolorimetrik analiz) tespit edilmektedir. Siyanürün arıtımı ise kimyasal oksidasyon (hipoklorit, ozon, hidrojen peroksit), iyon değişimi ve biyolojik arıtma gibi yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir (Boucabeille et al., 1994; Desai & Dave, 2012). Ancak bu yöntemlerin etkinliği, suyun pH değeri, sıcaklığı, siyanürün serbest ya da kompleks formda bulunması gibi faktörlere bağlıdır. Özellikle endüstriyel atık suların arıtımında, kompleks siyanürlerin ayrıştırılması ileri teknoloji gerektirmekte ve maliyet-etkinlik analizlerinin yapılmasını zorunlu kılmaktadır. İçme suyu sistemleri, iklim değişikliğinin etkileri ve doğal afetler (kuraklık, sel, toprak kaymaları) karşısında giderek daha kırılgan hale gelmektedir. Kurak dönemlerde su miktarının azalması, kirleticilerin konsantrasyonunu artırırken; sel olayları, siyanür gibi toksik maddelerin ani yayılımına neden olabilir. Bu nedenle afet direncine sahip su altyapılarının inşası ve kriz senaryolarına karşı hazırlıklı su yönetim politikaları elzemdir (IPCC, 2022). Bu bağlamda içme suyu yönetiminin ulusal ve uluslararası mevzuatlarla entegrasyonu önemlidir. Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED), havza koruma planları, endüstriyel deşarj yönetmelikleri ve izleme-raporlama mekanizmaları, içme suyu güvenliğini sağlamak için zorunlu araçlardır. Türkiye, 2004’ten bu yana AB çevre müktesebatına uyum sürecinde bu düzenlemeleri güncellemekte ve içme suyu kalitesini güvence altına almaya çalışmaktadır. Siyanür gibi toksik kirleticilerin su kaynaklarına karışmasının önlenmesi, yalnızca teknolojik arıtma çözümleri ile değil; aynı zamanda güçlü, uygulanabilir ve uluslararası standartlarla uyumlu bir yasal zemin ile mümkündür. İçme suyu sistemlerinde siyanür dahil tüm tehlikeli kirleticilerin düzenli olarak izlenmesi, halk sağlığı müdahale eşiklerinin belirlenmesi ve şeffaf raporlama süreçlerinin işleme gerektirmektedir. Sonuç olarak, güvenli içme suyu yalnızca susuzluğun giderilmesi değil; aynı zamanda sağlıklı yaşamın sürdürülebilirliği, ekonomik kalkınma ve sosyal refahın teminatıdır. Bu nedenle su kalitesine yönelik standartların kararlılıkla uygulanması ve gelişen çevresel tehditlere karşı sürekli olarak güncellenmesi kaçınılmazdır.

Tunceli ili, Türkiye’nin doğu kesiminde yer alıp, Fırat Havzası’nın üst kısımlarında konumlanmıştır. Zengin doğal kaynakları, yüksek dağ ekosistemleri ve düşük sanayi yoğunluğu ile nispeten bozulmamış su

kaynaklarına sahip olan bu bölge, aynı zamanda içme suyu kalitesinin korunması açısından da stratejik öneme sahiptir. Son yıllarda, komşu il Erzincan'ın İliç ilçesinde yaşanan siyanür sızıntısı olayları, bölgedeki su kaynaklarının güvenliği konusunda toplumsal farkındalığı artırmış ve potansiyel risklerin daha yakından izlenmesi gerekliliğini ortaya koymuştur. Her ne kadar güncel veriler olumlu yönde olsa da Fırat Havzası'nın yukarı kısımlarında sürdürülen madencilik faaliyetleri, uzun vadede havza boyunca su yolları üzerinden taşınım yoluyla kirleticilerin Tunceli su kaynaklarına ulaşma riskini barındırmaktadır. Özellikle siyanür gibi mobil kimyasallar, yüzeysel akışlar veya yer altı su yolları aracılığıyla geniş mesafelere taşınabilir ve belirli çevresel koşullarda yeniden aktif hâle gelebilir (Mudder & Botz, 2004). Bu nedenle, riskin düşük seviyelerde seyretmesi, izleme ve müdahale gereksinimini ortadan kaldırmamakta; aksine erken uyarı sistemlerinin kurulması ve veri temelli karar alma süreçlerinin güçlendirilmesi ihtiyacını doğurmaktadır. Tunceli özelinde siyanür kirliliği riskine karşı uygulanabilecek stratejiler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Periyodik Numune Alma ve Hassas Analizler: Yerel içme suyu kaynaklarından aylık bazda numune alınarak, ICP-MS (İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi) gibi yüksek hassasiyetli cihazlarla siyanür ve diğer toksik element analizlerinin yapılması.
- Sürekli İzleme Ağı Kurulması: Mobil laboratuvarlar, uzaktan algılama sistemleri ve otomatik sensörler ile desteklenen, gerçek zamanlı veri ileten bir izleme altyapısının oluşturulması.
- Havza Tabanlı Önleyici Politikalar: Fırat Havzası genelinde madencilik faaliyetlerinin ÇED süreçlerinin sıkılaştırılması, endüstriyel deşarjların denetimi ve havza koruma planlarının bölgesel düzeyde güncellenmesi.
- Şeffaf Veri Paylaşımı ve Toplum Katılımı: Kamuoyuna açık düzenli su kalitesi raporlamalarının yapılması, halk sağlığı bilgilendirme mekanizmalarının oluşturulması ve topluluk temelli izleme süreçlerinin teşvik edilmesi.

Tunceli'de siyanür açısından mevcut içme suyu durumu güvenli olmakla birlikte, havza bazlı kümülatif etkiler ve yukarı havzada yoğunlaşan madencilik faaliyetleri, risk değerlendirmesinin sürekliliğini gerekli kılmaktadır. İzleme verilerinin sürekliliği, yalnızca akademik kurumlar ve kamu otoriteleri arasında değil; aynı zamanda vatandaşla da şeffaf bir biçimde paylaşılmalı, böylece toplum temelli çevresel farkındalık güçlendirilmelidir. Bu yaklaşım, yalnızca siyanür için değil, genel su kalitesi yönetimi açısından da katılımcı, bilim temelli ve sürdürülebilir bir modelin inşasına katkı sağlayacaktır.

Materyal ve Metot

Bu çalışmada, Tunceli iline bağlı içme suyu kaynaklarında siyanür kirliliği riskini değerlendirmek amacıyla su örnekleri alınmış ve spektrofotometrik analiz yöntemleri kullanılmıştır (Şekil 1). Numuneler, analiz öncesi buzlu ortamda taşınarak, laboratuvara ulaştırılmıştır.



Şekil 1. Örnekleme alanları

Siyanür analizleri, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na bağlı mobil analiz laboratuvarlarında yapılmıştır. Ölçümler sırasında potansiyometrik elektrot yöntemi ve spektrofotometrik analiz (650 nm dalga boyunda absorpsiyon ölçümü) kullanılmıştır. Bu yöntem, serbest siyanür iyonlarının (CN^-) kolorimetrik olarak tespitine dayanmaktadır. Ölçümlerde kullanılan cihazların algılama limiti (LOD) 0.01 mg/L olarak belirlenmiştir. Numunelerin pH, sıcaklık ve iletkenlik gibi fiziksel parametreleri de taşınabilir çoklu parametrelili ölçüm cihazları ile yerinde kaydedilmiştir.

Bulgular

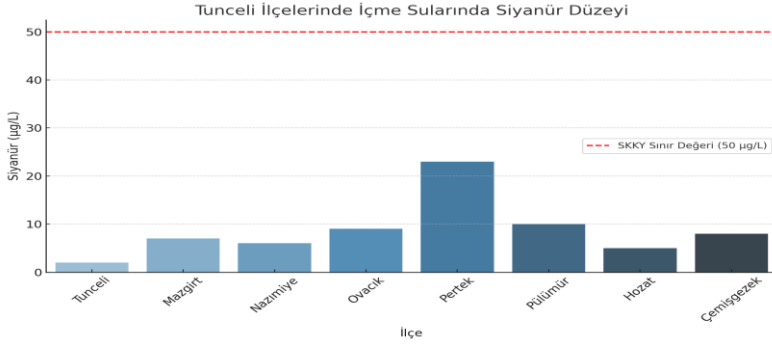
Tunceli ili içme suyu kaynaklarından alınan örneklerde yapılan siyanür analizleri sonucunda, ölçülen siyanür konsantrasyonlarının tamamı cihazın tespit sınırının altında (<0.01 mg/L) bulunmuştur. Bu sonuçlar, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından belirlenen içme suyundaki maksimum siyanür sınır değeri olan 0.05 mg/L'nin oldukça altında değerlere işaret etmektedir.

Özellikle Tunceli İli ve ilçelerinde alınan örneklerde, hiçbir istasyonda siyanür pozitif sonuç vermemiş, tüm ölçümler “tespit sınırının altında” (BQL: Below Quantification Limit) olarak raporlanmıştır. Bu durum, Tunceli'deki içme suyu kaynaklarında şu an için siyanür kirliliğine dair bir halk sağlığı riski

olmadığını göstermektedir. Bu çalışma, Tunceli ilindeki içme suyu kaynaklarının kalitesini değerlendirmekte ve siyanür kirliliği başta olmak üzere çeşitli parametreler ışığında analiz sunmaktadır. Rapor kapsamında grafikler, harita görseli ve yasal mevzuat karşılaştırmaları yer almaktadır.

Siyanür Değerleri

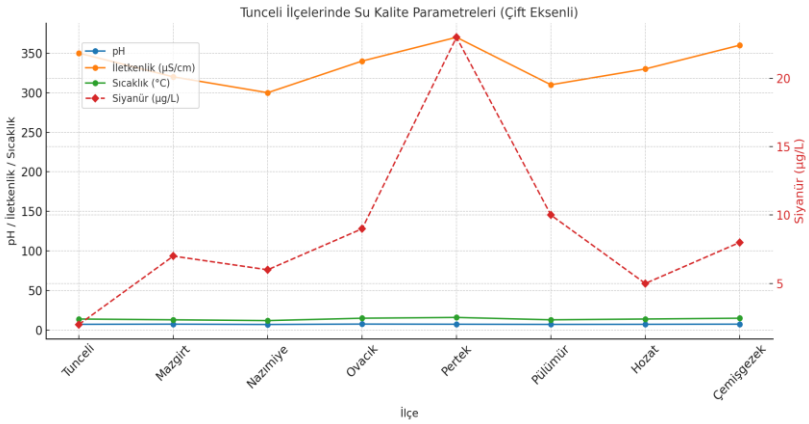
İlçelere göre ölçülen siyanür düzeyleri Türkiye SKKY limitlerinin altındadır (Şekil 2).



Şekil 2. Örnekleme alanlarının siyanür değerleri

Su Kalite Parametreleri

Aşağıdaki grafikte pH, sıcaklık, iletkenlik ve siyanür değerleri birlikte sunulmuştur (Şekil 3).



Şekil 3. Örnekleme alanlarının sıcaklık, pH, iletkenlik ve siyanür değerleri

Mevzuat Karşılaştırması

Tablo 1. Siyanür ve ağır metaller için farklı kurumların belirlediği sınır değerler:

Parametre	Türkiye (mg/L)	WHO (mg/L)	AB (mg/L)	EPA (mg/L)
Siyanür	0.05	0.07	0.05	0.2
Arsenik	0.01	0.01	0.01	0.01
Kurşun	0.01	0.01	0.01	0.015
Civa	0.001	0.006	0.001	0.002

İçme suyu kaynaklarının güvenliği, sadece bireylerin sağlığını korumakla kalmayıp; çevresel sürdürülebilirlik, ekonomik istikrar ve toplumsal refah açısından da hayati önemdedir (WHO, 2017; UN-Water, 2021). Bu bağlamda, siyanür gibi toksik kirleticiler, özellikle madencilik faaliyetlerinin yürütüldüğü bölgelerde kritik bir risk faktörü olarak değerlendirilmektedir (Dzombak et al., 2005)(Tablo 1).

Tunceli örneğinde yapılan güncel analizler, içme suyu örneklerinde siyanür konsantrasyonlarının Dünya Sağlık Örgütü (0.05 mg/L) ve Türkiye Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği sınırlarının (<0.01 mg/L) oldukça altında olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, kısa vadede akut toksisite riskinin düşük olduğunu ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, Wanjeri ve ark. (2023) tarafından Kenya Gazi Körfezi'nde yürütülen bir çalışmada, madencilik faaliyetlerine yakın su kaynaklarında siyanür düzeylerinin yüksek çıkmasına rağmen, kontrol bölgelerinde tespit edilmediği bildirilmiştir. Tunceli örneği, bu kontrol bölgeleriyle benzer bir güvenlik seviyesi sunmaktadır.

Bununla birlikte, Fırat Havzası'nın yukarı kesimlerindeki endüstriyel faaliyetler, uzun vadede difüz taşınım ve hidrolojik yollarla su kalitesini etkileyebilir (Agunbiade & Moodley, 2014; Sigonya et al., 2022). Özellikle iklim değişikliği kaynaklı aşırı hava olayları — sel, kuraklık ve sıcak hava dalgaları — siyanür ve benzeri kirleticilerin taşınabilirliğini artırmakta ve içme suyu sistemleri üzerinde ciddi baskılar oluşturmaktadır (Kroeker et al., 2014; Serra-Compte et al., 2018). Bu durum, su kalitesinin korunmasında dinamik, iklime duyarlı ve entegre izleme sistemlerinin önemini ortaya koymaktadır (Bethke et al., 2023).

Ayrıca, kirli içme suyuna bağlı sağlık etkilerinin sadece fizyolojik değil; aynı zamanda sosyal ve ekonomik düzeyde de yansımaları bulunmaktadır. WHO (2017) verilerine göre, güvenli olmayan suya erişim dünya genelinde yılda yaklaşık 500.000 ölüme yol açmakta, düşük gelirli topluluklarda yoksulluk döngüsünü derinleştirmektedir. Kadınlar ve çocukların su temini sürecinde harcadıkları zaman, eğitim ve istihdama katılımı önemli kayıplara neden olmaktadır (UN Women, 2020).

Tarımda kullanılan kirli su kaynaklarının ürün kalitesini düşürdüğü ve gıda güvenliğini tehdit ettiği daha önce Madikizela ve Chimuka (2017) tarafından vurgulanmıştır. Tunceli özelinde bu durum henüz gözlenmemiş olsa da, gelecekteki senaryolarda bölgesel sürdürülebilirliği tehdit edebilir. Tunceli ili mevcut koşullarda siyanür açısından güvenli bir içme suyu yapısına sahiptir. Ancak bu güvenliğin korunması; sürekli izleme, şeffaf veri paylaşımı, çevresel etki değerlendirmesi süreçlerinin sıkılaştırılması ve afet/iklim risklerine karşı dayanıklı altyapıların kurulması ile mümkündür. Literatürün de işaret ettiği gibi, içme suyu yönetimi sadece mühendislik temelli değil; çevresel, sosyal ve yönetim odaklı bütüncül yaklaşımlar içermelidir (Reis-Santos et al., 2018; Grabicová et al., 2022).

İçme suyu kaynaklarının güvenliği, yalnızca halk sağlığının korunması açısından değil, aynı zamanda ekosistem dengesi, ekonomik sürdürülebilirlik ve toplumsal refahın devamlılığı açısından da stratejik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, su kalitesini tehdit eden toksik kirleticilerden biri olan siyanür, özellikle endüstriyel faaliyetlerin yoğun olduğu havzalarda ciddi bir risk faktörü olarak değerlendirilmektedir.

Tunceli ili örneği, doğal kaynakları ve yüzeysel su varlığı bakımından avantajlı bir konumda olmasına rağmen, Fırat Havzası'ndaki yukarı kesimlerde yürütülen madencilik faaliyetlerinin uzun vadeli etkilerine açık bir coğrafyada yer almaktadır. Yapılan analiz sonuçları, Tunceli'deki içme suyu örneklerinde siyanür düzeylerinin WHO ve ulusal mevzuatın öngördüğü sınırların oldukça altında olduğunu ve şu an için halk sağlığı açısından akut bir risk taşımadığını göstermektedir. Ancak bu durum, olası bir kirlenme senaryosuna karşı bölgesel izleme sistemlerinin kurulmasının gerekliliğini ortadan kaldırmamaktadır.

Gelecekte iklim değişikliğine bağlı ekstrem hava olaylarının (sel, kuraklık, sıcak dalgaları vb.) artışı; siyanür ve benzeri kimyasal maddelerin içme suyu sistemlerine taşınmasını kolaylaştırabilir. Bu nedenle dayanıklı altyapıların inşası, erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi, alternatif su kaynaklarının devreye alınması ve özellikle taşra bölgelerinde düzenli analizlerin yapılması, su güvenliği açısından temel öncelikler arasında yer almalıdır.

Ayrıca, güvenli içme suyuna erişimdeki eşitsizlikler; kadınlar, çocuklar ve kırsal toplumlar üzerinde derin sosyal ve ekonomik etkiler yaratmaktadır. Kirli içme suyu kaynaklı hastalıklar, iş gücü kayıplarına, sağlık harcamalarının artmasına ve eğitime erişimde aksamalara neden olmaktadır. Dolayısıyla su yönetimi yalnızca teknik değil, aynı zamanda sosyal adalet ve kalkınma politikalarının ayrılmaz bir bileşeni olarak ele alınmalıdır.

Sonuç olarak, içme suyunun güvenliği için etkili bir koruma stratejisi, disiplinler arası yaklaşımları gerektiren bütüncül bir planlama ile mümkün olabilir. Bu kapsamda:

- Yasal düzenlemeler uluslararası standartlarla uyumlu hale getirilmeli,
- Bilimsel temelli izleme ve değerlendirme sistemleri yaygınlaştırılmalı,
- Kamusal farkındalık artırılarak su hakkı bir insan hakkı olarak korunmalıdır.

Tunceli örneğinde olduğu gibi, yerel verilerin sürekli izlenmesi, şeffaf veri paylaşımı ve katılımcı yönetim yaklaşımları, Türkiye genelinde içme suyu güvenliğinin sağlanmasında model oluşturabilecek iyi uygulamalar arasında sayılabilir.

Kaynakça

- Agunbiade, F. O., & Moodley, B. (2014). Pharmaceuticals as emerging organic contaminants in Umgeni River water system, South Africa. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(11), 7273–7291.
- ATSDR. (2006). Toxicological profile for cyanide. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. <https://www.atsdr.cdc.gov>
- Bethke, A. M., Kwidzińska, K., Stepnowski, P., & Caban, M. (2023). Climate-related changes in aquatic toxicology. *Science of the Total Environment*, 877, 162829. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162829>
- Blettler, M. C. M., Abrial, E., Khan, F. R., Sivri, N., & Espinola, L. A. (2018). Freshwater plastic pollution: Recognizing research biases and identifying knowledge gaps. *Water Research*, 143, 416–424. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.06.016>
- Boucabeille, C., Bories, A., Ollivier, P., & Michel, G. (1994). Microbial degradation of cyanide: From research to industrial applications. *Water Science and Technology*, 30(11), 67–70.
- Boening, D. W. (2000). Ecological effects, transport, and fate of mercury: A general review. *Chemosphere*, 40(12), 1335–1351. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(99\)00392-0](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00392-0)
- Desai, J. D., & Dave, S. R. (2012). Microbial degradation of cyanide waste. *Indian Journal of Microbiology*, 52(3), 384–392. <https://doi.org/10.1007/s12088-012-0267-2>
- Driscoll, C. T., Mason, R. P., Chan, H. M., Jacob, D. J., & Pirrone, N. (2013). Mercury as a global pollutant: Sources, pathways, and effects. *Environmental Science & Technology*, 47(10), 4967–4983. <https://doi.org/10.1021/es305071v>
- Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z.-I., Knowler, D. J., Lévêque, C., Naiman, R. J., Prieur-Richard, A.-H., Soto, D., Stiassny, M. L. J., & Sullivan, C. A. (2006). Freshwater biodiversity: Importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81(2), 163–182. <https://doi.org/10.1017/S1464793105006950>
- Dzombak, D. A., Ghosh, R. S., & Wong-Chong, G. M. (Eds.). (2005). *Cyanide in water and soil: Chemistry, risk, and management*. CRC Press.
- Eisler, R. (1991). *Cyanide hazards to fish, wildlife, and invertebrates: A synoptic review*. U.S. Fish and Wildlife Service.
- Erickson, T., & Smith, S. W. (2007). Cyanide poisoning. In R. C. Goldfrank (Ed.), *Goldfrank's toxicologic emergencies* (8th ed.). McGraw-Hill.
- European Commission. (2015). Directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption. Brussels.

- FAO. (2021). The State of Food and Agriculture 2021: Making agri-food systems more resilient to shocks and stresses. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Grabicová, K., et al. (2022). Species-specific pharmaceutical bioaccumulation in freshwater invertebrates. *Environmental Pollution*, 292, 118336. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118336>
- Howard, G., et al. (2016). Climate change and water and sanitation: Likely impacts and emerging trends for action. *Annual Review of Environment and Resources*, 41, 253–276. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085856>
- Hutton, G., & Varughese, M. (2016). The costs of meeting the 2030 Sustainable Development Goal targets on drinking water, sanitation, and hygiene. World Bank Group.
- IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- Kaur, A., & Mishra, S. K. (2020). Biosensors for water quality assessment and environmental monitoring. *Environmental Chemistry Letters*, 18, 1–20. <https://doi.org/10.1007/s10311-019-00930-4>
- Khan, S., Cao, Q., Zheng, Y. M., Huang, Y. Z., & Zhu, Y. G. (2008). Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. *Environmental Pollution*, 152(3), 686–692.
- Korte, F., & Coulston, F. (1998). Some considerations on the impact of cyanides in gold mining. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 41(2), 119–129. <https://doi.org/10.1006/eesa.1998.1701>
- Kroecker, K. J., Kordas, R. L., Crim, R. N., & Singh, G. G. (2014). Interacting environmental stressors and marine communities: A meta-analysis of experiments in ocean acidification and warming. *Ecology Letters*, 17(2), 141–151.
- LeChevallier, M. W., et al. (2015). Managing microbial risks in drinking water. WHO Press.
- Logsdon, M. J., Hagelstein, K., & Mudder, T. (1999). The management of cyanide in gold extraction. International Council on Metals and the Environment (ICME).
- Madikizela, L. M., & Chimuka, L. (2017). Occurrence of pharmaceuticals in South African surface water. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189, 139.

- Malaj, E., von der Ohe, P. C., Grote, M., Kühne, R., Mondy, C. P., Usseglio-Polatera, P., ... & Brack, W. (2014). Organic chemicals jeopardize the health of freshwater ecosystems on the continental scale. *PNAS*, 111(26), 9549–9554.
- MEA. (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press.
- Mergler, D., Anderson, H. A., Chan, L. H. M., Mahaffey, K. R., Murray, M., Sakamoto, M., & Stern, A. H. (2007). Methylmercury exposure and health effects in humans: A worldwide concern. *Ambio*, 36(1), 3–11.
- Mudder, T., & Botz, M. (2004). Cyanide and society: A critical review. *Minerals & Energy*, 19(3), 5–12. <https://doi.org/10.1080/14041040410034937>
- Nagajyoti, P. C., Lee, K. D., & Sreekanth, T. V. M. (2010). Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 8(3), 199–216.
- OECD. (2021). *Adapting to climate change in water management: Capacity, governance and investment*. OECD Publishing.
- OECD. (2022). *Financing water supply, sanitation and flood protection: Challenges in EU member states and policy options*. OECD Publishing.
- Postel, S. L., & Carpenter, S. R. (1997). Freshwater ecosystem services. In G. C. Daily (Ed.), *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems* (pp. 195–214). Island Press.
- Prüss-Ustün, A., Wolf, J., Bartram, J., Clasen, T., Cumming, O., Freeman, M. C., . & Johnston, R. (2019). Burden of disease from inadequate water, sanitation and hygiene for selected adverse health outcomes: An updated analysis. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 222(5), 765–777.
- Raymond, C. M., Frantzeskaki, N., Kabisch, N., Berry, P., Breil, M., Nita, M. R., & Calfapietra, C. (2017). A framework for assessing and implementing the co-benefits of nature-based solutions in urban areas. *Environmental Science & Policy*, 77, 15–24.
- Relyea, R. A., & Hoverman, J. T. (2006). Assessing the ecology in ecotoxicology: A review and synthesis in freshwater systems. *Ecology Letters*, 9(10), 1157–1171.
- Reis-Santos, P., et al. (2018). Tracing the environmental fate of pharmaceuticals in coastal ecosystems using stable isotope analysis. *Science of the Total Environment*, 644, 1455–1466.
- Serra-Compte, A., et al. (2018). Bioaccumulation of pharmaceuticals in aquatic invertebrates under pH and temperature stressors. *Environmental Pollution*, 236, 1004–1013.

- Sigonya, M. K., et al. (2022). Heavy metal contamination and ecological risk in rivers near gold mining areas. *Environmental Advances*, 10, 100263.
- Sphere Association. (2018). *The Sphere Handbook: Humanitarian charter and minimum standards in humanitarian response* (4th ed.). Sphere Association.
- Srinivasan, V., Gorelick, S. M., Goulder, L., & Thompson, B. H. (2018). Building resilience into water systems. *Nature Sustainability*, 1(12), 659–666. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0160-0>
- UNEP. (2016). A snapshot of the world's water quality: Towards a global assessment. United Nations Environment Programme.
- UNDRR. (2020). GAR special report on drought 2021. United Nations Office for Disaster Risk Reduction.
- UNICEF. (2017). Thirsting for a future: Water and children in a changing climate. United Nations Children's Fund.
- UN Women. (2020). Gender, water and sanitation. UN Women.
- UN Women. (2022). Gender, climate and security: Sustaining inclusive peace on the frontlines of climate change. UN Women and UNDP.
- UN-Water. (2021). Summary progress update 2021: SDG 6 – Water and sanitation for all. <https://www.unwater.org>
- US EPA. (2023). National primary drinking water regulations. United States Environmental Protection Agency.
- Vörösmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., ... & Davies, P. M. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467(7315), 555–561. <https://doi.org/10.1038/nature09440>
- Wanjeri, V. W. O., Okuku, E., Gachanja, A., Ngila, J. C. & Ndungu, P. G. (2023). Occurrence, distribution, and environmental risk of pharmaceutical residues in Mombasa peri-urban creeks, Kenya. *Chemosphere*, 311, 137144.
- Wang, Z., Yang, X., Fu, L., & Li, M. (2025). A review of secondary contamination of drinking water quality in distribution systems: Sources, mechanisms, and prospects. *AQUA – Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 74(1), 118–141.

2. Bölüm

Organik Badem Yetiştiriciliği

Gülşah DOĞAN¹

1.Giriş

1.1. Dünyada ve Türkiye’de Organik Tarımın Gelişimi

Organik ürün pazarı, küresel tarım sektörü içinde nispeten sınırlı bir paya sahip olmasına rağmen, son yıllarda sürekli bir büyüme eğilimi göstermektedir. 2019 yılında organik gıda ve içecek satışlarının dünya genelinde 112 milyar ABD doları seviyesine ulaştığı, 2013’ten bu yana ise yaklaşık %55 oranında büyüdüğü rapor edilmektedir (Sahota, 2019). Bu artışın temel nedenleri arasında tüketicilerin besin tercihlerini bilinçli şekilde yapmalarından dolayı organik ürünleri daha sağlıklı, güvenilir, besleyici ve çevreyle uyumlu olarak değerlendirmesi yer almaktadır (Sahota, 2019; Boz ve Kılıç, 2021).Organik gıda tüketimi ile ilgili yürütülen çalışmalarda daima organik ürünleri tüketiyor olmanın obezite riskini azalttığı ve bebeklerde alerji ve egzama riskini azalttığına yönelik kanıtlar bulunmuştur (Alfvén ve ark.. 2006 ;Kummeling ve ark. 2008; Kleemann ve Abdulai, 2013).

Küresel ölçekte badem yetiştiriciliği incelendiğinde, toplam üretim alanı yaklaşık 2,16 milyon hektardır. En geniş üretim alanı 718 bin hektar ile İspanya’da bulunmakta, onu 505 bin hektar ile ABD takip etmektedir (FAOSTAT, 2023). İspanya’da badem yetiştiriciliği çoğunlukla Akdeniz kıyılarında yoğunlaşmış olup, üretimin büyük kısmı yağmurla beslenen alanlarda yapılmaktadır. Bu bahçeler genellikle düşük girdi kullanımı, yoğun işleme ve monokültür karakteri nedeniyle hektar başına 350–400 kg gibi görece düşük verim değerlerine sahiptir (FAOSTAT, 2023). Organik tarım ürünlerinden elde edilen verimler konvansiyonel tarım ile kıyaslandığında %33 daha fazla ortalama ürün verimine sahip olduğunu, gelişmiş ülkeler de konvansiyonel tarımdan %9 daha düşük olduğu gelişmekte olan ülkelerde ise %74 verim artışı araştırıcılar bulmuşlardır. Organik ürün yetiştirmenin gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler ile yetiştiricinin tecrübelerine göre değişebilmektedir (Meemken ve Qaim; 2018).

¹ Öğr. Gör. Dr., Batman Üniversitesi Sason Meslek Yüksekokulu Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü
Organik Tarım Programı, ORCID: 0000-0003-2038-0082

Türkiye’de organik tarım faaliyetleri 1980’li yıllarda başlamış ve özellikle 1985 sonrası ihracata yönelerek gelişim göstermiştir (İstanbul Ticaret Odası, 2001). Başlangıçta yalnızca birkaç ürünle sınırlı olan organik üretim, 1990’lı yılların sonunda 90’dan fazla ürüne ulaşmıştır. Günümüzde ürün çeşitliliği artmış olsa da, Türkiye’nin dünya organik gıda pazarındaki payı sahip olduğu ekolojik potansiyele kıyasla sınırlı düzeydedir (Demiryürek, 2011).

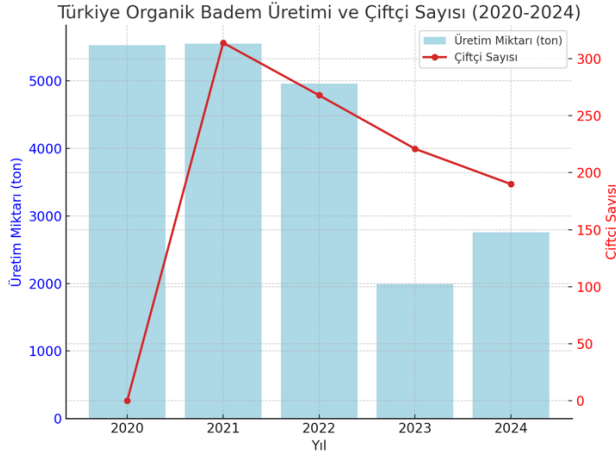
Organik üretim, ülkemizde **5262 sayılı Organik Tarım Kanunu** ve ilgili yönetmeliklerle düzenlenmektedir. Sertifikasyon sürecinde üretimden tüketiciye kadar tüm aşamalar yetkili kuruluşlar tarafından kontrol edilmekte, ürünler yalnızca gerekli koşulları sağladıklarında “organik” etiketiyle piyasaya sunulabilmektedir. Bu sistem hem üreticiye hem de tüketiciye güven sağlamaktadır (Kılıçaslan, 2015).

1.2. Türkiye’de Organik Badem Üretimi

Türkiye’de organik badem üretimi, özellikle ihracat talebi ve iç pazardaki artan ilgi doğrultusunda gelişmiştir. Ancak Tarım ve Orman Bakanlığı verileri, son beş yılda üretim miktarında dalgalı bir seyir izlendiğini göstermektedir (Tablo 1). 2020 ve 2021 yıllarında yaklaşık 5.500 ton olan üretim, 2022’de 4.959 tona, 2023’te ise 1.994 tona kadar gerilemiştir. 2024 yılında üretim bir miktar toparlanarak 2.759 ton olarak gerçekleşmiştir.

Çiftçi sayısındaki azalma da dikkat çekicidir. 2021’de 314 üretici bulunurken bu sayı 2024’te 190’a düşmüştür. Bu durum, organik badem yetiştiriciliğinde karşılaşılan ekonomik zorluklar, pazarlama problemleri ve teknik sınırlılıkların üretim sürecine yansımaları olarak yorumlanabilir.

Bu veriler, organik badem üretiminin sürdürülebilirliğinin yalnızca ekolojik koşullara değil, aynı zamanda üretici motivasyonu, destek politikaları ve pazar koşullarına bağlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 1-Türkiye Organik Badem Üretimi ve Çiftçi Sayısı (2020-2024)

Tablo 1-Türkiye Organik Badem Üretim verileri
(Tarım ve Orman Bakanlığı, 2025)

yıl	çiftçi sayısı	Üretim alanı (ha)	Üretim Miktarı (ton)
2020	-	2.155.00	5.526,79
2021	314	2.323,89	5.552,11
2022	268	18.332 (da)	4.959,28
2023	221	1.595,84	1.994,00
2024	190	1.219,48	2.759,78

2. Ekolojik ve Bölgesel Uygunluk

2.1. Bademin İklim ve Toprak İstekleri

Badem, farklı ekolojik koşullara uyum sağlayabilen ve kurak alanlarda dahi yetişebilen oldukça dayanıklı bir türdür. Bu özelliği sayesinde organik tarım sistemlerinde özellikle marjinal ve su kısıtı bulunan alanlar için önemli bir seçenek olarak öne çıkmaktadır (Pérez-Murcia vd., 2021).

Bitki, ılıman ve sıcak iklim kuşağında gelişimini en iyi şekilde sürdürür. Soğuk kışlara belirli ölçüde dayanabilse de, ilkbahar geç donları yetiştiriciliğin en kritik kısıtlayıcı faktörüdür. Çiçeklenme döneminde kısa süreli -4 °C'ye kadar dayanabilen çiçekler, taç yaprakların dökülmeye başlamasıyla daha hassas hâle gelmekte ve küçük meyveler -1 °C gibi daha hafif donlardan dahi zarar görmektedir. Bu nedenle, don riskinin yoğun olduğu alanlarda ekonomik olarak sürdürülebilir badem üretimi mümkün olmamaktadır. Yıllık 500–600 mm yağış alan ve sulama desteği sağlanan bahçelerde ise hem verim hem de meyve kalitesi belirgin şekilde artmaktadır (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019).

Toprak açısından bakıldığında badem ağacı fazla seçici değildir. Çakıllı, taşlı, kireçli ve kurak alanlarda dahi yetişebilir. En iyi sonuçlar süzek ve derin topraklarda alınmakta, köklerin 3 metreye kadar ulaşabildiği koşullarda güçlü bir gelişim sergilenmektedir. Kumlu ve orta derecede killi topraklar da uygun kabul edilirken, aşırı su tutan, drenajı zayıf ve taban suyu yüksek alanlarda gelişim sınırlı kalmaktadır. Organik madde bakımından fakir topraklarda ise üretim ancak organik girdilerle desteklendiğinde sürdürülebilir olmaktadır. Ayrıca badem ağacı kirece karşı dayanıklı olmasına karşın, yüksek tuzluluk, bor ve sodyum klorür varlığı olumsuz etkiler yaratabilmektedir. Bu nedenle tuzlu alanlarda bahçe kurulması tavsiye edilmemektedir. Yarı kurak ve bozulmuş sınırlı yetiştiricilik yapılan topraklarda badem yetiştirmenin toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini düzeltmeye katkı sunmaktadır (Macci ve ark., 2012).

Farklı ekolojilerde yapılan denemeler, çeşitlerin çevresel koşullara verdikleri yanıtların değişkenlik gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Örneğin Manisa/Demirci koşullarında yürütülen bir araştırmada, yıllar arasında çeşitlerin performansında önemli farklılıklar gözlenmiştir. Ferraduel çeşidi ilk yıl yüksek kabuklu meyve eni ve verim ile öne çıkarken, Ferragnes çeşidinde ince kabuk, yüksek iç randımanı ve düşük çift iç oranı dikkati çekmiştir. İkinci yılda ise Ferragnes'in verim açısından daha avantajlı olduğu saptanmıştır. Çeşit × yıl etkileşiminin istatistiksel olarak anlamlı bulunması, badem yetiştiriciliğinde ekolojik faktörlerin kritik rolünü göstermektedir (Acarsoy Bilgin, 2020).

2.2. İklim Değişikliği ve Kuraklık Riskleri

Geleceğe dönük iklim senaryoları, Akdeniz havzasında sıcaklıkların artacağını, yağış miktarının azalacağını ve yağışların düzensizleşeceğini öngörmektedir. Son yıllarda azalan yağmur ve yer altı su seviyelerinde azalma kuraklık olaylarının daha sık ve şiddetli yaşanması öngörülmekte, bu durum badem üretimini sınırlandırabilecek potansiyel bir tehdit oluşturmaktadır. Nitekim yapılan tahminler, küresel tarım alanlarının yaklaşık %60'ının iklim değişikliğinden olumsuz etkileneceğini ortaya koymaktadır (Ray vd., 2019; Cárceles Rodríguez vd., 2023b).

Yağmurla beslenen organik badem plantasyonları, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı oldukça hassastır. Yapılan çalışmalar, bu bahçelerin sürdürülebilir yönetiminde organik uygulamaların önemine dikkat çekmektedir. Uygun yöntemler sayesinde hem toprak sağlığı korunabilmekte hem de düşük verimler daha yüksek fiyatlı ürünlerle dengelenebilmektedir. Badem bahçesinde darbeli damla sulama yöntemini su kaynaklarını etkin kullanmak ve nehir havzalarını eski şekline geri getirmek için yürütülen çevreci sulama yaklaşımında araştırmacılar su tüketiminde yaklaşık %35 tasarruf, verimde sadece %8

kaydedilmiştir (Cárceles Rodríguez vd., 2023a; Phogat ve ark.,2013). Su tasarrufu sağlayan çevresi yaklaşımlar kuraklık ile karşı karşıya kalmadan bahçelerde uygulanmaya başlaması su tüketimi konusunda bilinç oluşturmaktadır.

3. Çeşit ve Anaç Seçimi

3.1. Bademlerin Organik Koşullardaki Performansı

Organik ve konvansiyonel üretim sistemlerinde yetiştirilen badem çeşitlerinin biyokimyasal bileşimleri arasında önemli farklılıklar gözlenmektedir. Organik tarım uygulamaları ile yetiştirilen bademlerde şeker, organik asitler, lif ve şeker miktarı yüksek bulunmuştur (Sánchez-Bel ve ark., 2008). Örneğin Ferragnes ve Ferraduel çeşitleri üzerinde yapılan bir çalışmada, üretim sistemlerinin biyokimyasal içerik üzerinde belirgin etkilere sahip olduğu rapor edilmiştir. Bulgulara göre, konvansiyonel olarak yetiştirilen bademler mineral içeriği açısından daha zengin bulunurken, organik üretim koşullarındaki örneklerde yağ asitlerinin daha yüksek seviyelerde olduğu tespit edilmiştir (Gulsoy vd., 2022). Bu durum, üretim sisteminin besin kalitesi üzerinde doğrudan etkili olduğunu ve ticari açıdan tüketici tercihlerini etkilemede çevreci organik şartlarda yetiştirilen ürünleri tercihinde fayda sayılabileceğini göstermektedir.

3.2. Geç Çiçeklenen Çeşitlerin Önemi

Bademde çiçeklenme zamanı hem türlerin soğuklama ihtiyacını hem de sıcaklık koşullarına uyum kabiliyetini yansıtan kritik bir fenolojik özelliktir. Bazı yıllar erken gelen yüksek sıcaklıkların ardından gelen don riski pembe tomurcuklarda hasara sebep olarak ticari ürün kayıplarına neden olmaktadır. Olası İlkbahar geç don riskinin görülebileceği yerlerde geç çiçeklenen çeşitlerin tercih edilmesi üretim güvenliği açısından avantaj sağlamaktadır (Alonso Segura vd., 2017; Vitasse vd., 2018).

Fenolojik aşamaları inceleyen çalışmalar, sonbahar, kış ve ilkbahar dönemlerindeki sıcaklıkların çiçeklenme üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymuştur (Tromp, 1976; Young, 1992; Abu-Asab vd., 2001; Chmielewski vd., 2004; Menzel vd., 2006). Bununla birlikte, bitkilerin tepkilerinin yetiştirildiği coğrafi bölgeye ve hakim iklim tipine göre farklılık gösterdiği de belirtilmektedir. Çeşitlerde yürütülen farklı bölgelerdeki adaptasyon çalışmaları değerlendirilerek bahçeler kurulmalıdır. (Legave vd., 2013; 2015; El Yaacoubi vd., 2016). Akdeniz koşullarında yapılan çalışmalar, iklim değişikliğinin etkisiyle bademlerin uyanma ve çiçeklenme süreçlerinde kaymalar olabileceğini ve bu durumun üretim üzerine doğrudan yansıyabileceğini göstermektedir (El Yaacoubi vd., 2019).

3.3. Çeşit × Yıl Etkileşimleri ve Verim-Kalite İlişkisi

Bademde besin bileşiminin büyük ölçüde genotipe bağlı olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte, yetiştirme koşulları, uygulanan tarımsal yöntemler, ekolojik faktörler ve tane olgunluğu gibi değişkenler de kalite parametreleri üzerinde önemli etkilere sahiptir. Çeşit ile yıl arasındaki etkileşim, hem verim hem de kalite açısından farklı sonuçların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir (Cárceles Rodríguez vd., 2023a).

Dolayısıyla, badem üretiminde çeşit seçimi yapılırken yalnızca genotip değil, aynı zamanda ekolojik koşullar ve yetiştirme teknikleri de dikkate alınmalıdır. Özellikle organik koşullarda, bu etkileşimlerin ürünün mineral, yağ asidi ve diğer biyoaktif bileşenler açısından farklı kalite özelliklerine sahip olmasına yol açtığı bildirilmektedir (Cárceles Rodríguez vd., 2023b).

4. Toprak Yönetimi ve Örtü Bitkileri

4.1. Toprak İşleme Yaklaşımları ve Erozyon Kontrolü

Geleneksel tarımsal uygulamalarında, yoğun toprak işleme ve monokültür üretim sistemleri, arazi bozulmasının en önemli nedenleri arasında yer almaktadır. Arazi bozulması, tarımsal verimlilik kayıplarının yanı sıra çevre, gıda güvenliği ve insan refahı üzerinde de olumsuz sonuçlara yol açmaktadır. Küresel ölçekte yapılan değerlendirmeler, dünya genelinde tarım alanlarının yaklaşık üçte birinin bozulma riski altında olduğunu, Avrupa’da ise toprakların %60–70’inin sürdürülemez yönetim nedeniyle çeşitli işlevlerini yitirdiğini ortaya koymuştur (Le vd., 2016).

Organik tarım, bu olumsuz etkileri azaltmak için önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Sürdürülebilir sistemlere dayalı ve üretimin çevresel etkisini en aza indirmeyi, toprağın geleceğini korumayı ve yenilenemeyen kaynakların kullanımını en aza indirmeyi amaçlar Organik sistemlerde yalnızca kimyasal girdilerin sınırlandırılması değil, aynı zamanda toprağın fiziksel ve biyolojik sağlığını artırmaya yönelik stratejiler uygulanmaktadır. Bu kapsamda toprak işlemenin azaltılması, minimum müdahale yöntemlerinin benimsenmesi, kısıtlayıcı sulama yöntemleri ve örtü bitkilerinin kullanımı, erozyon kontrolü, toprak yapısının korunması ve verimliliğin sürdürülebilmesi için kritik öneme sahiptir. Organik olarak yönetilen topraklar konvansiyonel tarım ile işlenen topraklara göre daha fazla su ve C depolamaya sahiptir (Cárceles Rodríguez vd., 2023a; Gomiero ve ark.,2011).

4.2. Örtü Bitkilerinin Ekosistem Hizmetleri ve Yeşil Gübreleme

Örtü bitkileri, organik bahçe yönetiminde yalnızca kısa vadeli bir uygulama değil, çok işlevli ekosistem hizmetleri sunan kalıcı bir strateji olarak

değerlendirilmektedir. Bu bitkiler, toprak sıkışmasının ve kabuklanmanın azaltılmasında, erozyonun önlenmesinde, yabancı ot kontrolünde ve azot fiksasyonu yoluyla toprak verimliliğinin artırılmasında etkin rol oynamaktadır (San Joaquin, 2024; Reynolds vd., 2019).

Örtü bitkilerinin kökleri, toprağı gevşeterek su sızmasını kolaylaştırmakta ve böylece yağışın daha etkin kullanılmasına katkı sağlamaktadır. Kaliforniya’da yapılan araştırmalar, örtü bitkilerinin toprak nemi üzerindeki etkisinin çıplak toprakla kıyaslandığında daha olumlu olduğunu ve bu sayede iklim değişikliği senaryolarında su kıtlığı riskine karşı önemli bir uyum aracı sunduğunu göstermektedir (DeVincentis vd., 2021; Novara vd., 2021).

Ayrıca, örtü bitkileri toprak biyolojik aktivitesini de desteklemektedir. Mikrobiyal çeşitlilik, mikoriza mantarları, solucanlar ve diğer toprak organizmalarının varlığı, ekosistem sağlığını güçlendirmekte ve uzun vadede badem bahçelerinin üretkenliğine katkı sağlamaktadır (Delgado-Baquerizo vd., 2020; Sofo vd., 2020).

Ek bir fayda olarak, örtü bitkilerinin çiçekleri polinatörler için besin kaynağı sunmakta, bal arılarının yaşamını desteklemekte ve badem tozlaşmasına katkı sağlamaktadır. Bu durum, monokültür badem bahçelerinin sınırlı nektar ve polen kaynaklarını çeşitlendirerek arı sağlığı için kritik bir ekosistem hizmeti yaratmaktadır (Alaux vd., 2010; Lundin vd., 2017).

Organik badem bahçelerinde, örtü bitkisi olarak baklagillerin kullanımı, toprak verimliliğini artırma potansiyeli nedeniyle dikkat çekmektedir. Yapılan bir denemede yaygın fiğ (*Vicia sativa*), yem bezelyesi (*Pisum arvense*) ve bakla (*Vicia faba*) alt bitki olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, yem bezelyesinin yeşil ot ve kuru madde veriminin diğer türlerden daha yüksek olduğunu göstermiştir. Ayrıca, bu baklagillerin yeşil gübre olarak kullanılması, toprağı organik madde ve azot katkısı sağlamış; dolayısıyla badem bahçelerinde besin döngüsünü desteklemiştir. Çiçekli örtü bitkileri bademlerin tozlaşmasını için bahçeye her zaman uğraması istenen arıların da davet etmektedir (Wauters vd., 2023).

Bu stratejiler yalnızca toprak besin içeriğini artırmakla kalmamış, aynı zamanda iç bademin biyokimyasal özellikleri üzerinde de olumlu etkiler yaratmıştır. Örneğin, baklagil örtüsünün antioksidan kapasiteyi ve toplam polifenol içeriğini artırdığı, böylece ürünün besin değerini zenginleştirdiği bildirilmiştir (Cárceles Rodríguez vd., 2023a).



Şekil 2: *Raphanus raphanistrum* (Turp otu) örtü bitkisi

5. Organik Gübreleme Stratejileri

5.1. Çiftlik Gübresi ve Yeşil Gübreleme

Organik üretimde besin maddesi yönetiminde çiftlik gübresi önemli bir yere sahiptir. Bitki besin elementleri bakımından zengin olan bu kaynak, kolay ulaşılabilir olması ve mineral gübrelere olan bağımlılığı azaltması nedeniyle öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, hayvansal gübrelere bulunan azotun büyük bir kısmı (%70–80) çevreye kaybolmakta ve bu durum etkinliğini sınırlandırmaktadır (Bai vd., 2016). Bu nedenle, mineral gübrelerin yerini alabilecek şekilde daha etkin kullanım stratejilerinin geliştirilmesi önemlidir.

Çeşitli çalışmalar, gübre uygulamalarının toprak organik karbonu depolanması, pH artışı ve besin elementlerinin zenginleşmesi yoluyla verim üzerinde olumlu etkiler sağlayabileceğini göstermiştir (Cai vd., 2019). Örneğin, Çin’de yürütülen çok sayıda tarla denemesinde, mineral gübreyle kıyasla çiftlik gübresi uygulamalarının verimi %10’a varan oranlarda artırdığı belirlenmiştir (Chen vd., 2014). Bununla birlikte, elde edilen sonuçların gübre türü, iklim koşulları ve yetiştirilen ürün türüne bağlı olarak değişiklik gösterdiği de bildirilmiştir (Zavattaro vd., 2017). Uzun vadeli çiftlik gübresi uygulamaları,

yalnızca kısa vadeli verim artışı değil, aynı zamanda toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini geliştirerek sürdürülebilir üretim sistemlerine katkı sunmaktadır (Du vd., 2020).

5.2. Kompost Uygulamaları ve İç Meyve Kalitesi

Tarımsal-endüstriyel yan ürünlerin kompost haline getirilerek tarımda değerlendirilmesi, organik üretimde yaygın olarak önerilen stratejilerden biridir. Organik badem bahçelerinde yapılan uygulamalar, tarımsal gıda atıklarından elde edilen kompostların hem toprak verimliliğini hem de ürün kalitesini olumlu yönde etkilediğini ortaya koymuştur. Guara çeşidi üzerinde yürütülen bir çalışmada, kompost kullanımının koyun gübresine kıyasla iç meyve verimi açısından benzer sonuçlar verdiği, ancak toprak özelliklerini ve biyolojik aktiviteyi daha iyi desteklediği saptanmıştır (Pérez-Murcia vd., 2021). Ayrıca, bu uygulamanın toprak tuzluluğu ve nitrat birikimini sınırlayarak sürdürülebilirlik açısından avantaj sağladığı vurgulanmaktadır.

5.3. Alternatif Gübre Kaynakları: Yarasa Gübresi ve Diğer Organik Materyaller

Organik tarım uygulamalarında olumsuz insan ve çevre etkilerinden dolayı kimyasal gübre kullanımına izin verilmemesi, verimi olumlu yönde artıran alternatif organik gübrelerle ilgi çekici olmuştur. Çevresi organik gübrelerin toprak yapısını iyileştirdiği, toprağın su tutma kapasitesini arttırdığı bilinmektedir. Bunlar arasında yarasa gübresi (guano), solucan gübresi(vermikompost) içerdiği yüksek düzeyde organik madde, azot ve fosfor nedeniyle toprak iyileştirici özelliktedirler. Toprak solucanları toprakta yeterli humus biriktirmeleri, açtıkları galeriler ile toprağı gevşeterek bitki köklerinin büyüme gelişmesini, toprağın su tutucu özelliğinin artması gibi bir dizi olumlu etkisi sayılabilir (Abacioğlu ve ark.,2020). Türkiye’de yapılan bir çalışmada, yarasa guanosunun Nonpareil çeşidinde kabuklu badem eni, iç eni ve çekirdek ağırlığını artırdığı, Texas çeşidinde ise etkisinin sınırlı kaldığı belirlenmiştir (Bilgin, 2020). Çeşit × uygulama etkileşimi dikkate alındığında, Nonpareil çeşidinde yarasa gübresinin ürün kalitesi üzerinde daha belirgin katkılar sunduğu görülmüştür.

Yarasa gübresi yalnızca ürün kalitesine değil, aynı zamanda toprağın biyolojik aktivitesine de katkı sağlamakta; mikrobiyal faaliyetlerin artmasına, besin döngüsünün hızlanmasına ve toprağın organik madde içeriğinin yükselmesine neden olmaktadır. Türkiye topraklarının çoğunda organik madde düzeyinin %3’ün altında olduğu dikkate alındığında, yarasa gübresinin kullanımı bu açıdan da önemli bir iyileştirme aracı olarak değerlendirilmektedir. Organik

Tarım Yönetmeliği'nde de uygun bir kaynak olarak tanımlanan bu gübre, çevre dostu, doğal ve ekonomik özellikleri nedeniyle organik üretimde sürdürülebilir bir seçenek sunmaktadır (Bilgin, 2020, Karagöz, 2014, Ulukapı ve Şener;2018).

6. Su Yönetimi ve İklimle Etkileşim

Yağmurla beslenen tarım sistemleri, özellikle kurak iklimlerde düşük verimlilikleri nedeniyle çoğu zaman terk edilme riskiyle karşı karşıyadır. Badem meyvesi yıllık yağış miktarının 500-600mm olduğu yerlerde ekonomik olarak yetiştiriciliği yapılabilir. Yağmur suyunun ya da kuraklığın bitki yağ asidi değişimini etkilediğini Sathe vd., 2015; García-Martínez vd., 2025 araştırmacılar bildirmişlerdir.

Organik badem üretiminde yağ asidi bileşimi, uygulanan tarımsal yöntemlere bağlı olarak önemli ölçüde değişkenlik göstermektedir. Oleik asit oranı genellikle %59–78 arasında değişmekte olup, destekleyici sulama ve örtü bitkisi uygulamaları oleik asit düzeyini artırmaktadır. Buna karşılık, linoleik asit oranı %11–25 arasında değişmekte ve özellikle kurak koşullarda yetiştirilen organik bademlerde daha yüksek seviyelere ulaşmaktadır. Linoleik asit, insan vücudu tarafından sentezlenemeyen ve beslenme yoluyla alınması gereken temel yağ asitlerinden biri olup, kalp-damar sağlığı açısından kritik bir rol oynamaktadır (EFSA, 2010). Guara badem çeşidi üzerine yapılan incelemelerde, organik üretim ve uygun sulama tekniklerinin birlikte uygulanması durumunda, badem tüketiminin Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) tarafından önerilen günlük linoleik asit ihtiyacının yaklaşık %38'ini karşılayabildiği ortaya konmuştur. Yoğun sulama uygulamalarında yağ oranlarında artış görülmezken, kurak koşullara uyumlu yönetim stratejileri linoleik asit düzeylerinde önemli artışlara yol açmıştır. Bu durum, organik yöntemlerle üretilen bademlerin aterosjenik ve trombojenik indeks değerlerinde iyileşme sağladığını ve yağ kalitesinin insan sağlığı açısından daha elverişli hale geldiğini göstermektedir (Sathe vd., 2015; García-Martínez vd., 2025).

İklim değişikliğinin etkilerinin giderek belirginleştiği günümüzde, yağmur suyunun etkin biçimde toplanması ve yönetilmesi, hem toprak sağlığının korunması hem de üretim sistemlerinin sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından kritik öneme sahiptir. Bu bulgular, organik ve rejeneratif üretim sistemlerinin yalnızca toprak ve çevresel sürdürülebilirliği değil, aynı zamanda insan sağlığına yönelik katkıları da güçlendirdiğini göstermektedir (Cárceles Rodríguez vd., 2023).

7. Organik Tarımda Zararlı ve Hastalık Yönetimi

7.1. Badem İç Kurdu (*Eurytoma amygdali*) ile Mücadele

Badem yetiştiriciliğinde önemli zararlılardan biri olan badem iç kurdu (*Eurytoma amygdali*), verim ve kaliteyi doğrudan olumsuz etkileyen etmenlerdendir. Kimyasal mücadele yöntemleri organik tarım sistemlerinde kullanılmadığı için, çevre dostu ve sürdürülebilir alternatif yöntemlerin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu bağlamda partikül film teknolojisi, özellikle kaolin uygulamaları öne çıkmaktadır. Kaolin kaplaması yapılan ağaçlarda badem iç kurdu zararının önemli ölçüde azaldığı gözlenmiştir. Kaolin, böceklerin beslenme ve yumurta bırakma davranışlarını engelleyerek, ayrıca konukçu bitkiyi gizleyerek koruma sağlamaktadır (Glenn vd., 1999). Bunun yanında, kaolin uygulamasının bitki yüzeyinde su tutunmasını azaltarak fungal ve bakteriyel patojenlerin gelişimini de sınırlandırdığı bildirilmiştir (Oliver vd., 1998). Çeşitli çalışmalarda, kaolinin yalnızca badem iç kurduna karşı değil, farklı meyve türlerinde yaprak pireleri, kırmızı örümcekler ve elma iç kurdu gibi zararlılara karşı da etkili olduğu ortaya konmuştur (Knight vd., 2000; Puterka vd., 2000; Wunschhe vd., 2004). Dolayısıyla kaolin, organik badem yetiştiriciliğinde kimyasal mücadeleye alternatif olabilecek etkin bir yöntem olarak değerlendirilmektedir (Karakaya ve Dereli, 2025).

7.2. Doğal Düşmanların Teşviki ve Biyoteknik Mücadele

Organik tarım sistemlerinde zararlı popülasyonlarının baskılanmasında, ürün kayıplarını en az düzeye indirip insan ve doğaya zararlı olmayan sürdürülebilir bir yöntem olan doğal düşmanların korunması ve teşvik edilmesi temel stratejilerden biridir. Bu yönetime biyolojik kontrolde denir. Doğal düşmanlar parazitoidler ,patojenler, yabancı otlar ve yabancı ot tohumlarıyla beslenen otçullar, bulunur. Zararlı grupları takip ederek avcı böceklerden yaralamak ya da canlı organizmalardan yapılan formüle edilmiş biyopestisitleri içerir (Baker ve ark.,2020). Kompost, hayvansal gübreler ve örtü bitkileri gibi uygulamalar, yararlı böcekler için uygun yaşam alanları sağlayarak biyolojik kontrolün etkinliğini artırmaktadır. Bunun yanı sıra, biyoteknik mücadele yöntemleri de (örneğin feromon tuzakları, kitle yakalama teknikleri) organik badem bahçelerinde önemli katkılar sunmaktadır (Cemaloğlu, 2021).

Ancak organik üretim koşullarında zararlı ve hastalık yönetimi çiftçiler için hâlen önemli bir zorluktur (van Bruggen vd., 2016; El-Shafie, 2020). Buna rağmen, organik bademlerin sağladığı yüksek katma değer, tüketicilerin gıda güvenliği ve çevresel sürdürülebilirliğe yönelik artan talepleriyle birleştiğinde, bu üretim sisteminin benimsenmesini teşvik etmektedir (Casanova, 2003;

Iglesias vd., 2021). İspanya’da yürütülen çalışmalar, organik yetiştiricilikte badem çeşitlerinin fenolojisi, büyüme ve verim özelliklerinin farklı tepkiler verdiğini ve zararlı baskısının yönetim stratejilerinden doğrudan etkilendiğini göstermektedir (Arroyo vd., 2022).

Sonuç olarak, organik badem yetiştiriciliğinde zararlı ve hastalık yönetimi kimyasal mücadeleye dayanmayan, ekolojik tabanlı ve entegre yöntemlerle yürütölmektedir. Biyolojik ve biyoteknik yöntemlerin entegrasyonu, sürdürölebilir zararlı yönetimi için önemli bir temel oluşturmaktadır.



şekil 3- Zeuzera Pyrina (Ağaç Sarı Kurdu)



şekil 4-Yaprak Biti Zararı



Şekil 5- *Aphis gossypii* (Yaprak biti)



(a)



(b)

Şekil 6 (a,b)- Predatör (Uğur Böceği)

8. Ürün Kalitesi ve İşleme

8.1. Organik ve Konvansiyonel Bademlerde İç Kalite Karşılaştırmaları

Organik yöntemlerle yetiştirilen badem çeşitlerinin tane veriminin, konvansiyonel koşullarda yetiştirilen çeşitlerle benzer seviyelerde olduğu bildirilmektedir (Arroyo, Herencia ve Capote, 2022). Bu durum, organik üretim sistemlerinin verimlilik açısından konvansiyonel tarıma alternatif olabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, kalite parametreleri bakımından organik üretimin özellikle besin içeriği ve sürdürülebilirlik açısından avantaj sağladığı öne sürülmektedir.

8.2. Hasat Sonrası İşlemler ve Depolama

Bademlerin kimyasal bileşimi yalnızca üretim tekniğine değil, aynı zamanda hasat zamanı, çevresel koşullar, genotip, fizyolojik süreçler ve dönüşümlü ekim gibi faktörlere bağlı olarak da değişiklik göstermektedir (Cárceles Rodríguez vd., 2023). Bu nedenle, hasat sonrası işlemler ve depolama koşulları, bademin hem besinsel hem de teknolojik kalitesinin korunmasında kritik rol oynamaktadır.

9. Ekonomik ve Sosyal Boyutlar

9.1. Organik ve Konvansiyonel Yetiştiricilikte Kârlılık Karşılaştırmaları

Organik badem üretimi, özellikle zararlı ve hastalık kontrolünde kullanılan çevre dostu fakat kimyasal alternatiflere göre daha az etkili olan yöntemler nedeniyle belirli zorluklar barındırmaktadır. Bununla birlikte, tüketicilerin çevresel sürdürülebilirlik ve gıda güvenliği konularına artan ilgisi, organik üretime yönelik güçlü bir pazar talebi yaratmaktadır. Bu durum, organik badem yetiştiriciliğini ekonomik açıdan cazip kılmakta ve sürdürülebilir tarım araştırmalarına ivme kazandırmaktadır (Arroyo, Herencia ve Capote, 2022).

Organik ürünlere olan talepteki artış, badem fiyatlarının da önemli ölçüde yükselmesine yol açmıştır. Çeşitli raporlara göre, organik bademlerin fiyatları konvansiyonel ürünlere kıyasla genellikle %75–200 oranında daha yüksek gerçekleşmektedir (Brodt, 2009). Bu durum, organik üreticilerin pazar avantajını korumalarında önemli bir faktördür.

9.2. Üretim Maliyetleri ve Dönüşüm Süreci

Organik sertifikalı üretime geçiş süreci, çiftçiler için belirli maliyetleri de beraberinde getirmektedir. Sertifikasyon öncesinde üç yıllık dönüşüm dönemi boyunca üreticilerin organik kurallara uyması zorunludur. Geçiş sürecinde ürünlerini organik ürün etiketi ile satamadıkları için satış fiyatına göre maliyetler bu dönemde düşük kalmaktadır. Bu süreçte mekanize yabancı ot temizliği, kimyasal kalıntıların azaltılması ve toprak testleri gibi ek uygulamalar maliyetleri

artırmaktadır. Ayrıca dönüşüm döneminde verimde geçici düşüşler yaşanabilmekte, bu da üreticilerin gelirlerinde kayıplara neden olabilmektedir.

Ekonomik analizler, organik badem üretiminin konvansiyonel üretime göre kârlı olabilmesi için belirli bir fiyat primine ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Yapılan hesaplamalara göre, organik bir badem bahçesinin kârlılığı için en az %29'luk bir fiyat primi gerekmektedir. Günümüzde organik bademlerin pazarda %192'ye varan primlerle satılması, bu üretim modelini çiftçiler için ekonomik olarak cazip hale getirmektedir (Evers, 2011).

9.3. Sosyal ve Tüketici Boyutu

Organik bademlerin yüksek katma değeri yalnızca üretici gelirini artırmakla kalmamakta, aynı zamanda tüketicilerin çevre dostu üretim sistemlerine yönelik taleplerini de karşılamaktadır. Organik ürünlerin büyük marketlerde ve özel mağazalarda daha görünür hale gelmesi, toplumun sağlıklı beslenme ve çevresel sürdürülebilirlik konularında bilinçlenmesine katkı sağlamaktadır. Bu yönüyle organik badem üretimi, yalnızca ekonomik değil aynı zamanda sosyal sürdürülebilirliğin de bir parçası olarak değerlendirilmektedir.

10. Gelecek Perspektifleri ve Sonuç

10.1. İklim Değişikliğinin Organik Badem Üretimine Etkileri

Küresel iklim değişikliği, artan sıcaklıklar, değişken yağış rejimleri ve ekstrem hava olaylarının sıklığındaki artış nedeniyle tarım için en kritik çevresel tehditlerden biri haline gelmiştir. Badem, kuraklığa dayanıklılığı sayesinde önemli bir uyum potansiyeline sahip olsa da, üretim süreci büyük ölçüde toprak nemi ve hava sıcaklığına bağlıdır. Bu nedenle, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı savunmasızdır. Çiftçiler, giderek artan kuraklık riskine karşı sulama teknolojileri, toprak yönetimi ve kuraklığa dayanıklı çeşitlerin kullanımı gibi uyum stratejilerini uygulamaya yönelmektedir.

Bademin gelişiminde iklim koşulları belirleyici bir faktördür. Orta derecede yağış alan bölgeler ile kısa ve serin kışların ardından gelen uzun ve sıcak yazlar, en uygun yetiştirme ortamını sağlamaktadır. Ancak iklim değişikliğinin etkisiyle, özellikle Akdeniz iklim kuşağında sıcaklıkların artışı, ilkbahar donlarının daha sık görülmesi ve yağışların azalması, üretimde önemli verim kayıplarına yol açabilecek riskler doğurmaktadır.

10.2. Fenolojik ve Fizyolojik Yanıtlar

İklim senaryoları, gelecekte daha yüksek sıcaklıkların ve düzensiz yağışların yaşanacağını öngörmektedir. Bu değişimler, badem ağaçlarının fenolojik dönemlerinde kaymalara, çiçeklenme ve meyve tutumunda azalmaya ve kalite

parametrelerinde dalgalanmalara yol açabilir. Özellikle soğuklama gereksinimlerinin yeterince karşılanmaması, tomurcuk gelişiminde bozulmalara, düzensiz çiçeklenmeye ve iç badem kalitesinde düşüşlere neden olabilmektedir. Bunun yanında, aşırı sıcaklıklar polinatör böceklerin aktivitesini azaltarak döllenme başarısını olumsuz etkileyebilir.

10.3. Ekosistem ve Toprak Üzerindeki Etkiler

İklim değişikliği yalnızca bitki fizyolojisini değil, aynı zamanda ekosistem bütünlüğünü de tehdit etmektedir. Artan sıcaklık ve kuraklık, toprak neminde azalmaya, erozyon ve sıkışma gibi sorunlara yol açarak toprak verimliliğini düşürebilir. Bu durum, badem üretiminin sürdürülebilirliğini ve uzun vadeli gıda güvenliğini tehdit etmektedir. Aşırı yağış olayları ise ürün nemini artırarak fungal hastalıkların gelişimine elverişli bir ortam sağlayabilir. Diğer yandan, düşük nem koşulları bazı hastalıkları sınırlayabilse de, zararlı popülasyonlarının artışı iklim değişikliğinin dolaylı sonuçları arasında yer almaktadır.

Genel Değerlendirme

Sonuç olarak, iklim değişikliğinin organik badem yetiştiriciliği üzerindeki etkileri çok boyutludur. Hem üretim fizyolojisi hem de ekolojik denge üzerinde doğrudan ve dolaylı etkiler gözlenmektedir. Bu nedenle, gelecekte sürdürülebilir üretim için su yönetimi, çeşit seçimi, ekolojik tarım uygulamaları ve biyoteknik mücadele yöntemlerinin entegrasyonu hayati önem taşımaktadır. Organik badem üretimi, iklim değişikliğinin zorluklarına rağmen çevre dostu ve insan sağlığına faydalı ürünler sunmaya devam edebilecek potansiyele sahiptir. Ancak bu potansiyelin korunabilmesi, uyum stratejilerinin zamanında ve etkin şekilde uygulanmasına bağlıdır.

KAYNAKÇA

- Abacioğlu, E., Yatgın, S., Tokel, E. ve Yücesoy, P. (2020). Vermikompostun (solucan gübresi) üretimi ve bitki beslemesindeki önemi. *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences*, 3(1), 1–10. <https://doi.org/10.33724/zm.728393>
- Abu-Asab, M. S., Peterson, P. M., Shetler, S. G. ve Orli, S. S. (2001). Earlier plant flowering in spring as a response to global warming in the Washington, DC, area. *Bioscience*, 51(7), 571–581.
- Acarsoy Bilgin, N. (2020). Demirci/Manisa ekolojisinde organik badem yetiştiriciliğinin uygulanabilirliği. *Ziraat Mühendisliği*, 369, 84–93. <https://doi.org/10.33724/zm.728393>
- Alaux, C., vd. (2010). Diet effects on honeybee immunocompetence. *Biology Letters*, 6(4), 562–565.
- Alfvén, T., Braun-Fahrlander, C., Brunekreef, B. V., Von Mutius, E., Riedler, J., Scheynius, A., ... PARSIFAL Study Group. (2006). Allergic diseases and atopic sensitization in children related to farming and anthroposophic lifestyle – The PARSIFAL study. *Allergy*, 61(4), 414–421.
- Alonso Segura, J., vd. (2017). Late-blooming almond cultivars and frost risk management. *Scientia Horticulturae*, 225, 476–482.
- Arroyo, F. T., Herencia, J. F. ve Capote, N. (2022). Phenology, growth, and yield of almond cultivars under organic and conventional management in southwestern Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 20(3), e0901.
- Bai, Z., Ma, W., Ma, L., Velthof, G. L., Wei, Z., Havlík, P., ... Oenema, O. (2016). Nitrogen losses from animal manure in China: A review. *Environmental Science ve Technology*, 50(3), 1343–1352.
- Baker, B. P., Green, T. A. ve Loker, A. J. (2020). Biological control and integrated pest management in organic and conventional systems. *Biological Control*, 140, 104095.
- Bilgin, N. A. (2020). Badem yetiştiriciliğinde organik madde kullanım potansiyeli: Yarasa guanosu. *Bahçe*, 50(2), 129–134.
- Boz, İ. ve Kılıç, B. (2021). Organik tarımda denetim ve sertifikasyon süreçleri. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 27(2), 389–400.
- Brodt, S. (2009). Economic and environmental implications of organic almond production. *California Agriculture*, 63(1), 23–30.
- Cai, A., vd. (2019). Long-term manure amendments improve soil carbon sequestration. *Soil ve Tillage Research*, 189, 45–52.
- Cárceles Rodríguez, B., Durán Zuazo, V. H., Herencia Galán, J. F., Lipan, L., Soriano, M., Hernández, F. ve García-Tejero, I. F. (2023). Soil

- management strategies in organic almond orchards: Implications for soil rehabilitation and nut quality. *Agronomy*, 13(3), 749.
- Cárceles Rodríguez, B., Lipan, L., Durán Zuazo, V. H., Soriano Rodríguez, M., Sendra, E., Carbonell-Barrachina, Á. A. ve García-Tejero, I. F. (2023). Linking conventional and organic rainfed almond cultivation to nut quality in a marginal growing area (SE Spain). *Agronomy*, 13(11), 2834.
- Casanova, L. (2003). Organic almond production and consumer trends. *Journal of Sustainable Agriculture*, 21(2), 55–67.
- Cemaloğlu, N. (2021). *İş sağlığı ve güvenliği bakımından geri dönüşüm yaklaşımları: Pestisit ve kimyasal gübre zararını en aza indirmede kompost gübre ve solucan gübresi üretiminde iyi örnekler* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Rumeli Üniversitesi].
- Chen, X., vd. (2014). Manure fertilization effects on crop yields in China. *Field Crops Research*, 159, 40–47.
- Chmielewski, F. M., Müller, A. ve Bruns, E. (2004). Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961–2000. *Agricultural and Forest Meteorology*, 121(1–2), 69–78.
- Clark, A. (2013). *Managing cover crops profitably* (3. bs.). SARE.
- Daane, K. M., vd. (2018). Vegetation management in vineyards. *Agriculture, Ecosystems ve Environment*, 251, 132–140.
- DeGrandi-Hoffman, G., vd. (2018). Honey bee nutrition and colony health. *Current Opinion in Insect Science*, 26, 79–84.
- Delgado-Baquerizo, M., vd. (2020). Soil microbial diversity and ecosystem multifunctionality. *Nature Communications*, 11(1), 1169.
- Demiryürek, K. (2011). Organik tarım ekonomisi. *Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi*, 17(1), 25–34.
- DeVincentis, A., vd. (2021). Cover crops in almond orchards and water use. *Agricultural Water Management*, 255, 107015.
- Du, Y., Cui, B., Wang, Z., Sun, J. ve Niu, W. (2020). Effects of manure fertilization on crop yield and soil properties in China: A meta-analysis. *Catena*, 193, 104617.
- EFSA (European Food Safety Authority). (2010). Scientific opinion on dietary reference values for fats. *EFSA Journal*, 8(3), 1461.
- El-Shafie, H. (2020). Ecological pest management in organic farming systems. *Agricultural Sciences*, 11(4), 331–340.
- El Yaacoubi, A., Oukabli, A., Legave, J. M., Ainane, T., Mouhajir, A., Zouhair, R. ve Hafidi, M. (2019). Climate change impact on almond phenology in Mediterranean environments. *Scientia Horticulturae*, 257, 108687.

- El Yaacoubi, A., vd. (2016). Variability in phenological responses of fruit trees to climate across Mediterranean regions. *International Journal of Biometeorology*, 60(11), 1699–1712.
- Evers III, C. B. (2011). *Profitability comparison study of an organic almond orchard versus a conventionally farmed almond orchard in Stanislaus County*. University of California Cooperative Extension Report.
- FAOSTAT. (2023). *Almond cultivated area and production statistics*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Folorunso, O. A., vd. (1992). Effects of cover crops on soil physical properties. *Soil ve Tillage Research*, 23(1), 1–9.
- García-Martínez, M. D., Esteve Ciudad, P., Gómez Tenorio, M. Á. ve Raigón Jiménez, M. D. (2025). Effect of organic farming techniques on the quality of almond fat. *Horticulturae*, 11(2), 135. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11020135>
- Glenn, D. M., Puterka, G. J. ve Drake, S. R. (1999). Particle film technology: A new approach to pest and disease management. *Horticultural Reviews*, 23, 1–44.
- Gomiero, T., Pimentel, D. ve Paoletti, M. G. (2011). Environmental impact of different agricultural management practices: Conventional vs. organic agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30(1–2), 95–124.
- Gulsoy, E., Tarhan, A., İzol, E., Cokran, B. D. ve Simsek, M. (2022). A research on the chemical, mineral and fatty acid compositions of two almond cultivars grown as organic and conventional in southeastern Turkey. *Grasas y Aceites*, 73(3), e477.
- İstanbul Ticaret Odası. (2001). *Türkiye’de organik tarım raporu*. İTO Yayınları.
- Karagöz, K. (2014). Yarasa gübresinin tarımda kullanılma olanakları. *Alinteri*, 27(B), 35–42.
- Karakaya, G. ve Dereli, M. (2025). Bazı badem (*Amygdalus communis* L.) çeşitlerinde kaolinin fizyolojik parametrelere ve badem içkurduna (*Eurytoma amygdali*) etkisi. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(1), 119–126.
- Kılıçaslan, N. (2015). Organik tarımda mevzuat ve sertifikasyon uygulamaları. *Ziraat Mühendisliği Dergisi*, 366, 23–30.
- Kleemann, L. ve Abdulai, A. (2013). Organic certification, agro-ecological practices and return on investment: Evidence from pineapple producers in Ghana. *Ecological Economics*, 93, 330–341.
- Knight, A. L., Puterka, G. J. ve Glenn, D. M. (2000). Effects of kaolin-based particle film on insect pests of apple. *Journal of Economic Entomology*, 93(2), 340–348.

- Kummeling, I., Thijs, C., Huber, M., van de Vijver, L. P., Snijders, B. E., Penders, J., ... Dagnelie, P. C. (2008). Consumption of organic foods and risk of atopic disease during the first 2 years of life in the Netherlands. *British Journal of Nutrition*, 99(3), 598–605.
- Le, Q. B., Nkonya, E. ve Mirzabaev, A. (2016). Biomass productivity-based mapping of global land degradation hotspots. *ZEF-Discussion Papers on Development Policy*, 193.
- Legave, J. M., vd. (2013). The impact of climate change on the dormancy and flowering of fruit trees. *Acta Horticulturae*, 976, 15–22.
- Legave, J. M., vd. (2015). Blooming phenology of fruit trees in relation to climate change. *Acta Horticulturae*, 1068, 103–110.
- Lundin, O., vd. (2017). Floral resources in landscapes and pollination services. *Ecology Letters*, 20(5), 577–585.
- Macci, C., Doni, S., Peruzzi, E., Masciandaro, G., Mennone, C. ve Ceccanti, B. (2012). Güney İtalya’da toprak kalitesinin iyileştirilmesi için badem ağacı ve organik gübreleme. *Journal of Environmental Management*, 95(Suppl.), S215–S222.
- Meemken, E. M. ve Qaim, M. (2018). Organic agriculture, food security, and the environment. *Annual Review of Resource Economics*, 10(1), 39–63.
- Menzel, A., Sparks, T. H., Estrella, N., Koch, E., Aasa, A., Ahas, R., ... Zust, A. (2006). European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*, 12(10), 1969–1976.
- Novara, A., vd. (2021). Cover crops in Mediterranean perennial crops: Impacts on soil and water. *Catena*, 196, 104938.
- Oliver, M., Glenn, D. M. ve Puterka, G. J. (1998). Particle film effects on pest and disease suppression. *Crop Protection*, 17(7), 653–657.
- Pérez-Murcia, M. D., Bustamante, M. Á., Orden, L., Rubio, R., Agulló, E., Carbonell-Barrachina, Á. A. ve Moral, R. (2021). Use of agri-food composts in almond organic production: Effects on soil and fruit quality. *Agronomy*, 11(3), 536.
- Phogat, V., Skewes, M. A., Mahadevan, M. ve Cox, J. W. (2013). Evaluation of soil–plant system response to pulsed drip irrigation of an almond tree under sustained stress conditions. *Agricultural Water Management*, 118, 1–11.
- Puterka, G. J., Glenn, D. M. ve Sekutowski, D. G. (2000). Particle films: A new technology for insect and disease control. *Acta Horticulturae*, 525, 445–452.
- Ray, D. K., Mueller, N. D., West, P. C. ve Foley, J. A. (2019). Global crop yield response to climate change. *Nature Climate Change*, 9(7), 440–444.

- Reynolds, H. L., vd. (2019). Cover crops in agroecosystem management. *Ecological Applications*, 29(3), e01869.
- Sánchez-Bel, P., Egea, I., Martínez-Madrid, M. C., Flores, B. ve Romojaro, F. (2008). Influence of irrigation and organic/inorganic fertilization on chemical quality of almond (*Prunus amygdalus* cv. Guara). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(21), 10056–10062.
- San Joaquin, V. N. (2024). *Organic almonds* (Doktora tezi, U.S. Department of Agriculture).
- Sahota, A. (2019). The global market for organic food ve drink. İçinde *The World of Organic Agriculture* (s. 113–118). FiBL ve IFOAM.
- Sathe, S. K., vd. (2015). Fatty acid composition of California almonds. *Journal of Food Composition and Analysis*, 42, 1–7.
- Sofo, A., vd. (2020). Soil biodiversity and sustainable agriculture. *Applied Soil Ecology*, 145, 103345.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2019). *Badem bahçesi tesisi projesi*.
- Tromp, J. (1976). Flower-bud formation in apple under various day and night temperature regimes. *Scientia Horticulturae*, 5(4), 331–338.
- Ulukapı, K. ve Şener, S. (2018). Farklı organik gübrelerin tarla ve örtüaltı koşullarında yetiştirilen karnabaharın bitki gelişimi ve verim parametreleri üzerine etkisi. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Science*, 32(3), 510–515. <https://doi.org/10.15316/SJAFS.2018.130>
- van Bruggen, A. H. C., Gamliel, A. ve Finckh, M. R. (2016). Plant disease management in organic farming systems. *Plant Pathology*, 65(6), 887–902.
- Vitasse, Y., vd. (2018). Frost risk assessment in almond under climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 250, 127–136.
- Wauters, V. M., Jarvis-Shean, K., Williams, N., Hodson, A., Hanson, B. D., Haring, S. ve Gaudin, A. C. (2023). Developing cover crop systems for California almonds: Current knowledge and uncertainties. *Journal of Soil and Water Conservation*, 78(1), 5A–11A.
- Wunschhe, J., Glenn, D. M. ve Puterka, G. J. (2004). Kaolin applications for control of arthropod pests. *Journal of Applied Entomology*, 128(8), 541–549.
- Young, E. (1992). Timing of flowering in temperate fruit trees. *HortScience*, 27(3), 239–243.
- Zavattaro, L., vd. (2017). Long-term effects of organic amendments on soil fertility and crop yield: A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(3), 29.

3. Bölüm

Tıbbi ve Aromatik Bitkilerle Kurakçıl Peyzaj

Handan ÇAKAR¹

1.Giriş

Tıbbi ve aromatik bitkiler, Birleşmiş Milletler, Gıda ve Tarım Örgütü Biyoçeşitlilik El Kitabı'nda, insan sağlığının korunması, hastalıkların önlenmesi ve tedavi edilmesi amacıyla insanlara ilaç sağlayan bitkiler olarak tanımlanmaktadır (Marshall 2011). Bu bitkiler; insanlık tarihi boyunca gıda, ilaç, kozmetik ve baharat başta olmak üzere pek çok alanda yararlanılan, çok yönlü kullanım potansiyeline sahip bitki gruplarındandır (Acıbuca ve Bostan Budak, 2018).

Tıbbi ve aromatik bitkilerin geleneksel kullanımları büyük oranda sağlık, beslenme ve kozmetik alanlarıyla ilgili olsa da günümüzde bu bitkiler peyzaj mimarlığı açısından da önemli bir potansiyele sahip görülmektedir. Özellikle biyolojik çeşitliliği artırma ile çevresel stres koşullarına uyum sağlamakla birlikte estetik ve işlevsel katkılar sunma gibi çok yönlü özellikleri sayesinde, tıbbi ve aromatik bitkiler peyzaj tasarımlarında işlevsel birer unsur olarak yer almaktadır (Akat Saraçoğlu vd., 2020).

Günümüzde artan çevresel farkındalık, iklim değişikliği ve su kaynaklarının azalmasıyla birlikte, peyzaj mimarlığında sürdürülebilir ve doğa dostu yaklaşımların önemi giderek artmıştır (İlhan vd., 2024a). Bu bağlamda, tıbbi ve aromatik bitkiler; çevresel dayanıklılıkları ve estetik değerleriyle kurakçıl peyzaj (xeriscape) uygulamalarında öne çıkan bitki gruplarından biri olarak görülmektedir. Görsel çeşitlilik, hoş koku, polinatör canlıları cezbetme ve ekolojik işlevsellik gibi çok yönlü özellikleri sayesinde bu bitkiler hem geleneksel peyzaj tasarımlarında hem de modern temalı bahçelerde yaygın olarak kullanım potansiyeline sahiptir.

Bu çalışmada, tıbbi ve aromatik bitkilerin tarihsel süreçten günümüze uzanan çok yönlü kullanım alanları incelenmiş, üretim yöntemleri ve ekolojik istekleri açıklanarak, kurakçıl peyzaj tasarımı bağlamında sahip oldukları potansiyel incelenmiştir. Ayrıca Türkiye'nin farklı iklim bölgeleri dikkate

¹ Doç. Dr. *Ege Üniversitesi, Bayındır Meslek Yüksekokulu, İzmir/Türkiye
handan.cakar@ege.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7209-5545

alınarak, kurakçıl peyzaj uygulamalarında değerlendirilebilecek uygun tıbbi ve aromatik bitki türlerine ilişkin öneriler sunulmuştur.

2.Tarihsel süreç içerisinde tıbbi ve aromatik bitkiler

Tıbbi ve aromatik bitkiler, tarih boyunca tüm dünyada hem günlük yaşamda hem de kültürel geleneklerde önemli bir yer tutmuştur. Bitkilerle tedaviye ilişkin en eski yazılı kayıtlara M.Ö. 5000’li yıllarda Mezopotamya uygarlığında rastlanmakta olup, bu dönemde yaklaşık 250 çeşit şifalı bitkinin kullanıldığı söylenmektedir (Demirezer, 2010). Asur, Babil, Eski Mısır ve Eski Yunan gibi uygarlıklarda tıbbi ve aromatik bitkilerin; hastalıkların tedavisinde, fiziksel performans ve zindeliği artırmaya yönelik beslenmede, hoş kokulardan faydalanmak amacıyla ve ölümlerin mumyalanmasında kullanıldığı bilinmektedir (İli, 2003; Faydalıoğlu ve Sürücüoğlu, 2013; Aslan ve Karakuş, 2019).

Başlangıçta doğadan toplanarak kullanılan tıbbi ve aromatik bitkiler, insanlığın yerleşik hayata geçişiyle birlikte bahçelerde yetiştirilmeye başlanmıştır. Tedavi edici özelliklerinin anlaşılmasından sonra ise beslenme ve ilaç üretimi amacıyla sistemli bir şekilde tarımı yapılmıştır. “Tıbbi bitkiler bahçesi”, “Terapi bahçeleri”, “Şifa bahçeleri”, “Sağlık bahçeleri” ya da “İyileştirme bahçeleri” olarak da adlandırılan bu bahçelerin Orta çağ Avrupa’sında oldukça yaygın olduğu bilinmektedir (Çakar ve Akat Saraçoğlu, 2023). Orta Çağ Avrupa’sında, manastır bahçeleri hem tıbbi bitkilerin yetiştirildiği alanlar hem de bu bitkiler aracılığıyla tedavi hizmeti sunulan ilk hastane işlevi gören yapılar olarak değerlendirilmiştir (Marcus ve Barnes, 1999; Serez, 2011).

Osmanlı döneminde, modern psikoloji biliminin oluşmaya başladığı 1870’li yıllardan önce, psikolojik sağlık uygulamalarında sağlıklı beslenme, mimari unsurlar, müzik ve doğa gibi çeşitli iyileştirici unsurların yanı sıra aromaterapiden de yararlanıldığı bilinmektedir (Belen, 2019).

İnsanlık tarihi boyunca başta hastalıkların tedavisi olmak üzere çeşitli amaçlarla yararlanılan tıbbi ve aromatik bitkiler, II. Dünya Savaşı’ndan sonra yaşanan ekonomik ve sosyal değişimler ile sanayileşme süreci ve sentetik maddelerin keşfi sonucunda, 1970’li yılların sonuna dek belirli ölçüde popülaritesini yitirmiştir. Ancak, sentetik maddelerin insan sağlığına ve çevreye yönelik olumsuz etkilerinin fark edilmesiyle birlikte, son 30–40 yılda modern toplumlarda doğal kaynaklı ürünlere yönelim artmıştır (Kuzgun ve Tuğrul Ay, 2014).

1990’ların sonu ve 2000’li yılların başından itibaren tıbbi ve aromatik bitkiler üzerinde yeni çalışmalar yapılmaya başlanmış ve bu süreçte çok

sayıda yeni tıbbi bitki türü kültüre alınmış, üretilmiş ve marketlerde satışa sunulmuştur (Karık ve Tunçtürk, 2019).

3.Dünya ve Türkiye’deki Tıbbi ve Aromatik Bitki Potansiyeli

Dünya Sağlık Örgütü’ne göre, dünya genelinde yaklaşık 20.000 tıbbi ve aromatik bitki kullanılmaktadır. Bu bitkilerden yaklaşık 4.000’i, kurutulmuş ham veya yarı mamul bitkisel materyal anlamına gelen drog formunda yaygın olarak kullanılmaktadır. Dünya genelinde 2.000, Batı Avrupa’da ise yaklaşık 500 tıbbi bitkinin ticareti yapılmaktadır (Kuzgun ve Tuğrul Ay, 2014).

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü’nün verilerine göre, tıbbi ve aromatik bitki üretiminde Çin ve Hindistan gibi bitki çeşitliliği açısından zengin ülkeler ön sıralarda yer almaktadır (FAO, 2014). Türkiye ise, sahip olduğu zengin flora ile dikkat çekmektedir. Yaklaşık 10.000’i aşkın bitki türüyle, Avrupa kıtasının tamamında bulunan toplam bitki sayısına (yaklaşık 12.000) oldukça yakın bir çeşitliliğe sahip olan Türkiye florasının yaklaşık üçte biri tıbbi ve aromatik bitkilerden oluşmaktadır. Bu bitkilerin 3.905 kadarı da endemik türlerdir (Kuzgun ve Tuğrul Ay, 2014). Türkiye’de tıbbi ve aromatik bitkilerin yaklaşık 1.000 türünden farklı şekillerde yararlanılmakta olup, yaklaşık 400 türün ticareti yapılmaktadır (Arslan, 2014).

4.Tıbbi ve aromatik bitkilerde üretim yöntemleri

Tıbbi ve aromatik bitkilerin üretimi; generatif, vejetatif ve doku kültürü yöntemleriyle gerçekleştirilmektedir. Generatif üretimde, adaçayı, anason, kimyon gibi türlerde tohum doğrudan ekilerek üretim sağlanırken, fesleğen, nane, oğulotu, papatya gibi bazı bitkilerde ise tohumdan elde edilen fideler kullanılmaktadır. Vejetatif üretim yönteminde ise yaprak, sürgün, sap, kök, yumru, rizom ve soğan gibi bitki organları üretim materyali olarak değerlendirilmektedir. Örnek olarak, adaçayı, biberiye, lavanta, sardunya, defne ve nane gibi türlerde sap, sürgün ve yaprak çeliklerinden fidan üretimi yapılmakta; çöven, meyankökü, zencefil gibi türlerde rizom ve stolonlar kullanılarak; kardelen, lale, nergis, sümbül gibi türlerde ise soğan ve yumru gibi organların dikilmesiyle üretim gerçekleştirilmektedir. Bunun yanı sıra, doku kültürü (in vitro) yöntemi steril ortamda bitki hücreleri, dokuları veya organlarından yeni bireylerin üretilmesini sağlamaktadır. Bu yöntemle hastalıklardan arı, kaliteli ve hızlı üretim mümkün olup, modern tıbbi ve aromatik bitki üretiminde giderek yaygınlaşmaktadır (Salehi Surmaghi, 2006; Baydar, 2009).

5. Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Ekolojik İstekleri

Bitki yetiştiriciliğinde ekolojik faktörler, tarih boyunca önemli bir rol oynamıştır. Özellikle tıbbi ve aromatik bitkiler söz konusu olduğunda, ekolojik faktörlerin etkisi diğer kültür bitkilerine kıyasla çok daha belirgindir. Zira bu bitkilerde yalnızca verim değil, aynı zamanda kalite de büyük önem taşımaktadır. Belirlenen kalite standartlarının altında kalan bitkiler, yüksek verim sağlasalar dahi ticari olarak tercih edilmemektedir. Bu nedenle, tıbbi ve aromatik bitkilerin üretimi, yalnızca ekolojik koşullarına uygun bölgelerde gerçekleştirilmelidir. Türkiye'nin iklim ve ekolojik yapısı, pek çok tıbbi ve aromatik bitkinin yetiştirilmesine olanak sağlamakta ve aynı zamanda birçok tür, dünya genelinde olduğu gibi doğadan toplanmaktadır (Yıldıztekin vd., 2019).

Tıbbi ve aromatik bitkilerin ekolojik isteklerinin detaylı olarak anlaşılması hem verim hem de kalite açısından üretim başarısını artırmak için büyük önem taşımaktadır. Tıbbi ve aromatik bitkilerin sağlıklı gelişimi ve kaliteli ürün verebilmesi, çevresel faktörlerin uygunluğuna bağlıdır. Bu bitkiler genellikle tam güneş ışığı altında, 350–780 nm dalga boyundaki görünür ışığı en iyi şekilde kullanarak fotosentez yapmaktadır. Özellikle kırmızı ve mavi ışık dalga boyları, bitkinin büyümesini ve uçucu yağ üretimini desteklemektedir. Sıcaklık, büyüme hızı ve metabolik faaliyetler üzerinde kritik bir faktör olup, optimum sıcaklık genellikle 25–35 °C aralığındadır. Bu değerlerin dışına çıkıldığında fotosentez hızı düşmekte ve bitkinin gelişimi olumsuz etkilenmektedir. Su, bitkilerin besin maddelerini almasını sağlayan ve metabolik süreçlerde rol oynayan temel bir faktördür; tıbbi ve aromatik bitkiler, toprak yapısına bağlı olarak farklı su gereksinimleri gösterebilmektedir. Karbondioksit, fotosentez için gerekli olup belirli bir seviyeye kadar artışı fotosentez hızını olumlu etkilerken, aşırı CO₂ bitkilerde zararlı etkilere yol açabilmektedir. Toprak özellikleri, tıbbi ve aromatik bitkilerin yetiştirildiği ortamın kalitesini belirler. İyi drene edilen, kumlu-tınlı veya alüvyal topraklar genellikle tercih edilmelidir. Ayrıca topraktaki mikroorganizmalar, özellikle bakteriler ve mantarlar, bitki gelişimini destekleyen önemli biyotik faktörlerdir. Bu ekolojik etmenlerin dengeli ve uygun olması, tıbbi ve aromatik bitkilerde verim ve kaliteyi doğrudan etkilemektedir (url-1).

6. Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Kullanım Alanları

Tıbbi ve aromatik bitkiler, tarihsel süreç boyunca tedavi edici özellikleriyle ön plana çıkmış, günümüzde ise çok daha geniş bir yelpazede kullanım alanı bulmuştur. Modern çağda bu bitkiler, fitoterapi kapsamında alternatif tıpta

önemli bir yer tutmakta; bitkilerin taze ya da kurutulmuş organlarından elde edilen droglar, sentetik ilaçlara alternatif olarak kullanılmaktadır. Ayrıca galenik preparatlar ve hazır bitkisel ilaçlar bu kapsamda yaygın olarak kullanılmaktadır (D'Souza vd., 2017). Tıbbi ve aromatik bitkilerin yüksek antioksidan etkilerinden kaynaklı olarak bitkisel çayların iyileştirici özelliklerine ilaveten taşıdığı hoş tatları ve aromaları sayesinde yaygın kullanımları vardır (Akat vd., 2020; Çakar vd., 2020). Bunun yanı sıra, beslenme ve gıda sanayisinde de baharat olarak kullanımları oldukça yaygındır. Baharatlar hem tat, koku ve renk kazandırmakta hem de antimikrobiyal ve koruyucu özellikleri ile gıdaların raf ömrünü uzatmaktadır (Gottardi vd., 2016). Ayrıca, bu bitkilerden elde edilen bileşenler, gıda takviyesi olarak da değerlendirilmekte ve çeşitli vitamin, mineral ve biyoaktif maddelerle zenginleştirilerek tüketiciye sunulmaktadır. Ancak bu ürünlerin denetimi ve güvenilirliği hususunda dikkatli olunması gerektiği vurgulanmaktadır.

Tıbbi ve aromatik bitkiler yalnızca sağlık ve gıda sektöründe değil, aynı zamanda kozmetik, parfümeri ve biyoyakıt üretimi gibi farklı endüstriyel alanlarda da önemli bir potansiyele sahiptir. Bitkilerden elde edilen uçucu yağlar ve reçineler kozmetikte ve doğal parfüm formülasyonlarında tercih edilmekte; bu durum özellikle tüketicilerin sentetik kimyasallara karşı artan duyarlılığı ile daha da önem kazanmaktadır. Ayrıca, fosil yakıtların çevresel ve ekonomik açıdan sürdürülemez hale gelmesiyle birlikte, kanola, ketencik, ayçiçeği, hintyağı ve jojoba gibi bitkilerden elde edilen biyoyakıtlar, çevre dostu enerji kaynakları arasında değerlendirilmektedir (Göktaş ve Gıdık, 2019).

Ayrıca tıbbi ve aromatik bitkiler, yalnızca sağlık, gıda, kozmetik ve enerji gibi endüstriyel alanlarda değil, peyzaj mimarlığı kapsamında da çeşitli işlevsel ve estetik amaçlarla kullanılmaktadır. Bu bağlamda, tıbbi ve aromatik bitkiler; sağlık, gıda, kozmetik, enerji ve peyzaj gibi çok disiplinli alanlarda sürdürülebilir çözümler sunan, yüksek katma değerli doğal kaynaklar olarak ön plana çıkmaktadır.

6.1 Tıbbi ve aromatik bitkilerin peyzaj uygulamalarında kullanım alanları

Tıbbi ve aromatik bitkiler; botanik bahçeleri, terapi bahçeleri, çatı ve teras bahçeleri ile kaya bahçeleri gibi çeşitli peyzaj uygulamalarında hem görsel zenginlik hem de kullanıcı sağlığına katkı sunan doğal bileşenler olarak değerlendirilmektedir (Kösa ve Güral, 2019; Çetinkale Demirkan ve Akat,

2018). Bu tür uygulamalar, bireylerin doğayla olan bağıını güçlendirerek hem zihinsel hem de fiziksel sağlıklarını olumlu yönde etkilemektedir.

Botanik bahçeleri

Botanik bahçeleri, doğal ve kültür bitkilerini belli bir düzen içinde yetiştirerek halkı ve öğrencileri eğiten, rekreatif ihtiyaçlara yanıt veren ve bilimsel araştırmaların yürütüldüğü kurumlardır (Heywood, 1987). Bu bahçeleri Uluslararası Botanik Bahçeleri Koruma Kurumu koruma, araştırma, sergileme ve eğitim amacıyla canlı bitki koleksiyonlarının belgelenerek muhafaza edildiği yerler olarak tanımlamaktadır (Weyse Jackson ve Sutherland, 2000). Bilimsel temele dayalı yapıları, estetik bitkisel tasarımları ve çevre eğitimi ile koruma işlevleri sayesinde, botanik bahçeleri hem insan-bitki etkileşimini güçlendiren hem de tehlike altındaki türlerin korunmasına katkı sağlayan özel mekânlar olarak karşımıza çıkmaktadır (Oldfield, 2007). Bu bahçelerde, tıbbi ve aromatik bitkilere ayrılmış özel bölümler yer almakta olup, söz konusu alanlar ziyaretçilere bu bitkiler hakkında bilgi edinme ve tür çeşitliliğini keşfetme açısından önemli bir öğrenme ortamı sunmaktadır.

Terapi bahçeleri

Bu bahçeler, bireylerin fiziksel ve zihinsel sağlığını desteklemeyi amaçlayan, doğa temelli iyileştirici etkilere sahip özel peyzaj düzenlemeleri olarak kentsel yeşil alanlar içerisinde yer almaktadır (Çalışkan Mimarlar, 2020). Bir mekânın terapi bahçesi olarak tanımlanabilmesi için, yeşil bitki örtüsü, çiçekler ve su gibi doğal unsurların peyzajda belirgin şekilde yer almasının yanı sıra, bu alanın kullanıcıların çoğunda terapötik etkiler oluşturması veya olumlu psikolojik-fizyolojik değişimlere katkı sağlaması beklenmektedir (Marcus ve Barnes, 1999).

Tasarım kriterleri projeye ve kullanıcı ihtiyaçlarına göre farklılık gösterse de terapi bahçelerinin tasarımında en önemli adımlardan biri, bahçede yer alacak tıbbi ve aromatik bitkilerle gerçekleştirilecek bitkisel tasarım sürecidir. Bu bitkiler, yalnızca estetik katkı sağlamakla kalmayıp; koku, doku, renk ve kullanım amaçlarına göre oluşturdukları duyuusal etkilerle bahçenin işlevselliğini de artırmakta, böylece fiziksel ve psikolojik iyileşme sürecine doğrudan katkı sunmaktadır (Kösa ve Güral, 2019).

Çatı ve teras bahçeleri

Bu bahçeler, kentleşmenin yoğun olduğu alanlarda yeşil alan ihtiyacını karşılamak, mikroklimayı iyileştirmek ve sürdürülebilir kentsel yaşam alanları oluşturmak amacıyla geliştirilen peyzaj uygulamaları olarak karşımıza çıkmaktadır (Çakar vd., 2023). Bu alanlarda kullanılacak bitki

türlerinin düşük bakım gereksinimi ve sığ toprak koşullarına uyum gibi özellikler taşıması önemlidir. Tıbbi ve aromatik bitkiler, bu nitelikleri taşımalarının yanı sıra estetik, aromatik ve ekolojik katkıları sayesinde çatı ve teras bahçelerinde ideal bir bitki grubunu oluşturmaktadır. Hoş kokularıyla kullanıcı deneyimini zenginleştirirken, arı ve kelebek gibi faydalı canlıları çekerek kentsel biyolojik çeşitliliği desteklemektedir.

Kaya bahçeleri

Kaya bahçeleri, farklı büyüme koşullarına sahip bitkilerin estetik bir biçimde sergilendiği ve genellikle doğal bir dağ veya taşlık alan görünümü verilen özel peyzaj düzenlemeleridir. Bu bahçelerde, özellikle kuraklığa dayanıklı, yavaş büyüyen ve düşük bakım gereksinimi olan bitkiler tercih edilmektedir. Tıbbi ve aromatik bitkiler, yapısal uyumları, kompakt formları, hoş kokuları ve kurak koşullara adaptasyon yetenekleri sayesinde kaya bahçelerinde sıklıkla yer almaktadır.

6.1.1. Bitkisel Tasarımda Tıbbi ve Aromatik Bitki Seçim Kriterleri

Peyzaj uygulamalarında tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanım potansiyelini değerlendiren çalışmalarda, çeşitli morfolojik ve estetik özelliklere dayalı belirli kriterlerin ön planda tutulduğu görülmektedir (Dönmez vd., 2016; Bozkurt, 2019). Bitki türlerinin seçimi; çiçek, yaprak ve meyve gibi organlarının biçimsel ve görsel özellikleri, hoş koku yayma potansiyelleri, kullanım biçimleri (çit, soliter, parter) ve budanabilirlik gibi peyzaj tasarımına katkı sağlayacak niteliklerine göre yapılmalıdır. Bu kapsamda öne çıkan seçim kriterleri şunlardır:

Çiçek özellikleri: Çiçeklenme yapısı, yoğunluğu ve görsel çekiciliği,

Yaprak özellikleri: Renk, yapı ve mevsimsel estetik katkı,

Meyve özellikleri: Büyüklük, renk ve dekoratif potansiyel,

Hoş koku: Bitkinin yaprak, çiçek veya meyvesinden yayılan aromatik etkiler,

Çiçek parterlerinde kullanım: Çiçeklenme süresi ve estetik katkı açısından değerlendirilebilirlik,

Soliter kullanım: Gövde ve form yapısıyla dikkat çekicilik,

Canlı çit oluşturma potansiyeli: Yoğun dallanma ve form bütünlüğünü sürdürebilme,

Budanma özelliği: Estetik şekillendirmeye olanak sağlaması.

Ayrıca bu bitkilerin düşük su gereksinimi, yüksek dekoratif değerleri (renk, form, doku), yerel olmaları ya da bölgeye doğal uyum göstermeleri, yabancı ot ve zararlılara karşı dirençli olmaları da seçim sürecinde önemli tamamlayıcı

faktörlerdir (Dönmez vd., 2016; Bozkurt, 2019; Karaşah, 2021). Söz konusu kriterler doğrultusunda yapılan bilinçli bitki seçimi, peyzaj uygulamalarında hem estetik hem de fonksiyonel açıdan başarılı ve sürdürülebilir sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamaktadır.

7. Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Peyzajda Değerlendirilme Potansiyeli

Tıbbi ve aromatik bitkilerin sahip oldukları görsel, kokusal ve dokusal çeşitlilik; onları hem geleneksel hem de modern peyzaj uygulamalarında önemli bitki gruplarından biri hâline getirmiştir. Özellikle doğal görünümlü alan tasarımlarında, düşük bakım gereksinimi ve çevresel streslere karşı dayanıklılık gibi özellikleri sayesinde bu bitkiler tercih sebebi olmaktadır (Dönmez vd., 2016; Kösa ve Güral, 2019). Böylece hem biyolojik çeşitliliğin artırılması hem de estetik niteliklerin ön plana çıkarılması açısından önemli katkılar sunmaktadırlar (Karaşah, 2021).

Tıbbi ve aromatik bitkiler, sadece sağlık ve kozmetik sektörlerinde değil, aynı zamanda estetik ve işlevsellik odaklı peyzaj düzenlemelerinde de giderek daha fazla tercih edilmektedir. Görsel çekicilikleri, hoş kokuları, polinatörleri cezbeden çiçek özellikleri ve doğaya uyumlu formları sayesinde bu bitkiler; park, bahçe, rekreasyon alanları ve temalı peyzaj projelerinde çok yönlü kullanıma olanak tanımaktadır (Yaldız ve Şekeroğlu, 2013). Bunun yanı sıra, birçok türün çevresel stres faktörlerine karşı dirençli olması, onları sürdürülebilir ve doğa dostu peyzaj uygulamaları için ideal hâle getirmektedir (Avan, 2021; Çorbacı vd., 2017). Özellikle su kaynaklarının kısıtlı olduğu bölgelerde hem estetik hem de ekolojik fayda sağlayan bitkilerin kullanımı, kurakçıl peyzaj tasarımı anlayışının önem kazanmasına yol açmıştır. Bu bağlamda, tıbbi ve aromatik bitkilerin kurakçıl peyzaj tasarımlarındaki yeri ve işlevi, değerlendirilmesi gereken önemli bir konu hâline gelmiştir (Bozkurt, 2019).

8. Kurakçıl Peyzaj Uygulamaları ve Sürdürülebilirlik

İklim değişikliğine bağlı olarak artan kuraklık, su kaynaklarının giderek azalması ve kentleşmenin hızla yayılması, peyzaj tasarımlarında sürdürülebilir ve düşük bakım gerektiren bitki tercihlerinin önemini artırmıştır (İlhan vd., 2024b; Çetinkale Demirkan ve Akat, 2024). Dünya genelinde kullanılabilir su kaynaklarının önemli bir bölümü tarımsal üretimde tüketildiğinden, bitkisel üretimde su gereksinimlerinin ekonomik ve sürdürülebilir yöntemlerle karşılanması büyük önem taşımaktadır (Akat, 2020).Günümüzde iklim değişikliği, su kıtlığı ve artan kuraklık riskleri, peyzaj mimarlığı uygulamalarında suyun etkin kullanımı ile kuraklığa dayanıklı

bitkilerin tercih edilmesini kaçınılmaz hâle getirmiştir (Atik ve Karagüzel, 2007; Akgedik vd., 2025). Bu noktada, kurakçıl peyzaj anlayışı; suyun etkin kullanımı, yerel ve kuraklığa dayanıklı bitkilerin tercih edilmesi, toprak ve mal  uygulamaları gibi ilkeleriyle  ne çıkmaktadır (  p ve Akat, 2021). Geleneksel  im alanların yerine daha az su isteyen bitki örtüsüyle yapılan tasarımlar hem ekolojik hem ekonomik açıdan avantaj sağlamaktadır. Kurakçıl peyzaj, sadece su tasarrufu sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda doğal çevreyle uyumlu, estetik ve uzun ömürlü peyzaj alanları oluşturulmasına da katkı sunmaktadır. Bu kapsamda, tıbbi ve aromatik bitkiler; düşük su ihtiyacı, dayanıklılıkları ve peyzaj esteti ine katkıları nedeniyle kurakçıl peyzaj uygulamalarında güçlü bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Yerel türlerin kullanımıyla biyolojik çeşitlilik desteklenirken, aynı zamanda kültürel bitki mirası da korunmaktadır.

9. Kurakçıl Peyzaj Uygulamalarında Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Estetik ve Ekolojik   levleri

Kurakçıl peyzaj uygulamalarında tıbbi ve aromatik bitkiler, hem estetik hem de ekolojik   levleriyle dikkat çeken bitki gruplarındandır. Görsel  e itlilikleri; renk, doku ve form zenginlikleriyle peyzaj tasarımlarına sanatsal değer kazandırırken, yaydıkları hoş aromalar sayesinde kullanıcı deneyimlerini duysal olarak da zenginle tirmektedir. Bununla birlikte, bu bitkiler arı ve kelebek gibi polinat rleri cezbetmeleri sayesinde kentlerde biyolojik çeşitliliği desteklemektedir. Düşük su gereksinimi olan türler sayesinde sürdürülebilir peyzajın temel ilkeleriyle örtüşmektedir. Ayrıca bazı türlerin toprak stabilizasyonuna katkı sağlaması ve erozyon kontrolü açısından kullanımı da ekolojik açıdan önemli bir avantaj sunmaktadır. Erozyon kontrolü amacıyla dağlık, tepe, eğimli arazilerde ve baraj g lleri çevresindeki kurakçıl peyzaj uygulamalarında kullanılabilen tıbbi ve aromatik bitkilere; *Capparis spp.* (Kapari), *Acantholimon spp.* (At Geveni), *Astragalus spp.* (Geven), *Euphorbia spp.* (S tle en) ve *Thymus L.* (Kekik)  rnek olarak verilebilmektedir (Yaldız ve  ekero lu, 2013).

Farklı peyzaj   levlerine yönelik olarak kent parkları, meydanlar, konut bahçeleri gibi tasarım alanlarında kurakçıl peyzaj anlayışıyla oluşturulan koku bahçelerinde,  it bitkisi veya vurgu elemanları olarak gruplar h linde kullanılabilen türler arasında *Rosmarinus officinalis L.* (Biberiye), *Lavandula sp.* (Lavanta) ve *Salvia tomentosa L.* (Adaçayı) yer almaktadır. Sınır bitkisi olarak, kaya bahçelerinde veya renk bahçelerinde de erlendirilebilen türler arasında ise *Calendula officinalis L.* (Sefa  i e i) ve *Thymus praecox Opitz.* (Yayla keki i) dikkat çeken örneklerdendir (Kara ah, 2021).

Tıbbi ve aromatik bitkilerin kurakçıl peyzajlardaki işlevi yalnızca estetik değerleriyle sınırlı değildir. Bu bitkilerin kullanımı, görsel ve ekolojik avantajların ötesinde, kentsel ekosistemlerde biyoçeşitliliğin korunmasına, tozlaşma faaliyetlerinin desteklenmesine ve çevre bilincinin artırılmasına da katkı sağlamaktadır. Dolayısıyla tıbbi ve aromatik bitkilerin kurakçıl peyzaj uygulamalarında kullanımı, sürdürülebilir peyzaj anlayışına uygun, fonksiyonel ve estetik değeri yüksek çözümler üretmek açısından oldukça değerlidir.

10. Kurakçıl peyzaj uygulamalarında kullanılan bazı Tıbbi ve aromatik bitkiler

Çorbacı vd. (2017) tarafından Türkiye'nin farklı iklim bölgeleri için önerilen kurakçıl peyzaj bitki türleri listesi ile birlikte, literatürde yer alan aromatik ve tıbbi bitkilere ilişkin çeşitli kaynaklardan (Avan, 2021; Karaşah, 2021; Dönmez vd., 2016; Bozkurt, 2019; Url-2; Url-3) yararlanılarak, Türkiye genelinde kurakçıl peyzaj uygulamalarında kullanılabilecek uygun tıbbi ve aromatik bitkilere yönelik bir tür listesi oluşturulmuştur. Tablo 1'de, Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde kurakçıl peyzaj uygulamalarında değerlendirilmek üzere önerilen bazı tıbbi ve aromatik bitki türleri sunulmaktadır.

Tablo 1. Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde kurakçıl peyzaj uygulamalarında değerlendirilmek üzere önerilen bazı tıbbi ve aromatik bitki türleri

Bitki Türü	Kategorisi
<i>Cedrus atlantica</i> (Endl.) Carr.	Ağaç - Herdem yeşil
<i>Cedrus libani</i> A. Rich.	Ağaç - Herdem yeşil
<i>Cupressus arizonica</i>	Ağaç - Herdem yeşil
<i>Cupressus sempervirens</i> L.	Ağaç - Herdem yeşil
<i>Picea orientalis</i> (L.) Link.	Ağaç - Herdem yeşil
<i>Pinus mugo</i> Tura	Ağaç - Herdem yeşil
<i>Pinus silvestris</i> L.	Ağaç - Herdem yeşil
<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.)	Ağaç - Yaprak döken
<i>Betula pendula</i>	Ağaç - Yaprak döken
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	Ağaç - Yaprak döken
<i>Liquidambar orientalis</i>	Ağaç - Yaprak döken
<i>Magnolia grandiflora</i> L.	Ağaç - Yaprak döken
<i>Platanus orientalis</i> L.	Ağaç - Yaprak döken
<i>Prunus avium</i> L.	Ağaç - Yaprak döken

<i>Quercus robur L.</i>	Ağaç - Yaprak döken
<i>Quercus rubra L.</i>	Ağaç - Yaprak döken
<i>Rhus typhina L.</i>	Ağaç - Yaprak döken
<i>Cotinus coggygia (Scop.)</i>	Ağaççık - Yaprak döken
<i>Crataegus monogyna L.</i>	Ağaççık - Yaprak döken
<i>Hibiscus syriacus</i>	Ağaççık - Yaprak döken
<i>Sambucus nigra L.</i>	Ağaççık - Yaprak döken
<i>Syringa vulgaris L.</i>	Ağaççık - Yaprak döken
<i>Vitex agnus-castus L.</i>	Ağaççık - Yaprak döken
<i>Abelia x grandiflora</i>	Çalı - Herdem yeşil
<i>Buxus sempervirens</i>	Çalı - Herdem yeşil
<i>Camellia japonica</i>	Çalı - Herdem yeşil
<i>Gardenia jasminoides Ellis</i>	Çalı - Herdem yeşil
<i>Juniperus sp.</i>	Çalı - Herdem yeşil
<i>Osmanthus fragrans</i>	Çalı - Herdem yeşil
<i>Pyracantha coccinea M. J. Roemer</i>	Çalı - Herdem yeşil
<i>Rosmarinus officinalis L.</i>	Çalı - Herdem yeşil
<i>Taxus baccata L.</i>	Çalı - Herdem yeşil
<i>Thuja occidentalis L.</i>	Çalı - Herdem yeşil
<i>Buddleia davidii Franch.</i>	Çalı - Yaprak döken
<i>Eleagnus angustifolia L.</i>	Çalı - Yaprak döken
<i>Jasminum nudiflorum Lindl.</i>	Çalı - Yaprak döken
<i>Lonicera tatarica L.</i>	Çalı - Yaprak döken
<i>Lycium barbatum L.</i>	Çalı - Yaprak döken
<i>Ribes nigrum</i>	Çalı - Yaprak döken
<i>Rosa canina L.</i>	Çalı - Yaprak döken
<i>Viburnum fragrans Bunge</i>	Çalı - Yaprak döken
<i>Viburnum opulus L.</i>	Çalı - Yaprak döken
<i>Hedera helix L.</i>	Sarılıcı - Herdem yeşil
<i>Jasminum sp.</i>	Sarılıcı - Herdem yeşil
<i>Achillea millefolium L.</i>	Çok Yıllık Otsu Bitki
<i>Aloe vera L.</i>	Çok Yıllık Otsu Bitki
<i>Centaurea sp.</i>	Çok Yıllık Otsu Bitki
<i>Dianthus barbatus L.</i>	Çok Yıllık Otsu Bitki
<i>Dianthus caryophyllus L.</i>	Çok Yıllık Otsu Bitki
<i>Echinacea sp.</i>	Çok Yıllık Otsu Bitki

<i>Helleborus orientalis</i> Lam.	Çok Yıllık Otsu Bitki
<i>Iris germanica</i> L.	Çok Yıllık Otsu Bitki
<i>Lavandula</i> sp.	Çok Yıllık Otsu Bitki
<i>Salvia</i> sp.	Çok Yıllık Otsu Bitki
<i>Santolina chamaecyparissus</i> L.	Çok Yıllık Otsu Bitki
<i>Thymus</i> sp.	Çok Yıllık Otsu Bitki
<i>Verbena officinalis</i> L.	Çok Yıllık Otsu Bitki
<i>Calendula officinalis</i> L.	Tek Yıllık Çiçekli Bitki
<i>Senecio cineraria</i> DC.	Tek Yıllık Çiçekli Bitki
<i>Tagetes patula</i> L.	Tek Yıllık Çiçekli Bitki
<i>Viola tricolor</i> L.	Tek Yıllık Çiçekli Bitki

11. Sonuç ve Öneriler

Tıbbi ve aromatik bitkiler, geleneksel kullanım alanlarının ötesine geçerek günümüzde sürdürülebilir peyzaj uygulamaları için önemli bir bitki grubu hâline gelmiştir. Özellikle kurakçıl peyzaj tasarımlarında; düşük su gereksinimi, estetik çeşitlilik, biyolojik çeşitliliği destekleme potansiyeli ve çevresel dayanıklılık gibi çok yönlü işlevleriyle dikkat çekmektedirler. Tarihsel süreçte tıbbi amaçlarla kullanılan bu bitkiler, günümüzde ekolojik ve estetik peyzaj işlevlerini bir arada sunmaları nedeniyle çağdaş peyzaj mimarlığında yeniden değerlendirilmeye başlanmıştır.

Türkiye, sahip olduğu zengin flora ve farklı iklim bölgeleriyle kurakçıl peyzaj uygulamaları için geniş bir potansiyel barındırmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'nin farklı bölgelerinde uygulanabilecek tıbbi ve aromatik bitki türleri belirlenmiş ve bitkisel tasarıma katkı sağlayacak seçim kriterleri ortaya konmuştur. Bitkilerin görsel, kokusal ve yapısal özellikleri kadar ekolojik isteklerinin de dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır. Bu çerçevede, elde edilen bulgular doğrultusunda tıbbi ve aromatik bitkilerin kurakçıl peyzaj tasarımında etkin ve sürdürülebilir biçimde kullanılabilmesine yönelik bazı temel öneriler geliştirilmiştir. Peyzaj tasarımlarında yerel ve kuraklığa dayanıklı tıbbi ve aromatik türlerin kullanımına öncelik verilmelidir. Tasarım sürecinde, bu bitkilerin yalnızca estetik katkıları değil; aynı zamanda biyolojik çeşitliliği artırma, toprak sağlığını destekleme ve erozyon kontrolü gibi ekosistem hizmetleri de dikkate alınmalıdır. Kurakçıl peyzaj anlayışıyla kentsel yeşil alanların planlanmasında tıbbi ve aromatik bitkilere yönelik eğitim, araştırma ve üretim desteklenmelidir. Ayrıca, bu bitkilerin kültürel ve ekonomik değerleri dikkate alınarak toplumun bilinçlendirilmesi sağlanmalı, bitki çeşitliliğinin korunmasına yönelik uygulamalar teşvik edilmelidir.

Sonuç olarak, tıbbi ve aromatik bitkilerin peyzaj mimarlığı kapsamında değerlendirilmesi; estetik, ekolojik, ekonomik ve kültürel boyutları bütüncül Şekilde bir araya getiren, sürdürülebilir bir tasarım yaklaşımını mümkün kılmaktadır.

Kaynaklar

- Acıbuca, V. ve Bostan Budak, D. (2018). Dünya’da ve Türkiye’de Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Yeri ve Önemi. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 33(1), 37-44.
- Akat, H. (2020). Su Tutucu Polimer (SAP) Uygulamalarının Anadolu Sığıla Ağacı (Liquidambar Orientalis Mill.) ve Biberiye (Rosmarinus officinalis L.) Türlerinde Bitki Gelişimi Üzerine Etkisi. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 8(3), 721-727.
- Akat, H., Akat Saraçoğlu, Ö. ve Çakar, H. (2020). Ülkemizdeki Bazı İçilebilir Bitkilerin Peyzaj Tasarımlarında Değerlendirilme Olanakları. Ziraat ve Doğa Bilimleri Teori, Güncel Araştırmalar ve Yeni Eğilimler, IVPE, Bölüm: VIII, 127-144. (Ed: TÜRKÖGLÜ Nalan, CANTÜRK Sevil), Basım sayısı:1, Sayfa Sayısı: 180, ISBN:978-9940-46-039-6.
- Akat Saraçoğlu, Ö., Akat, H. ve Çakar, H. (2020). Peyzaj Mimarlığı Çalışmalarında Değerlendirilebilen Bazı Yenilebilir ve İçilebilir Meyve Türleri. Tarım ve Hayvancılıkta Yapılan Çalışmalar ve Güncel Değişimler, IKSAD Publishing House, Bölüm: 2, 45-71. (Ed: Sevilmiş Uğur), Basım sayısı:1, Sayfa Sayısı: 344, ISBN:978-625-7139-78-6.
- Akgedik, S.A., Akat, H. ve Çetinkale Demirkan, G. (2025). Köyceğiz Kulak Mesire Alanı Örneğinde Su Etkin Uygulamaların İrdelenmesi. *BAHÇE*, 54(Özel Sayı 1), 183-191.
- Arslan, N. (2014). Endemik Tıbbi Bitkilerimiz. II. Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Sempozyumu, 23–25 Eylül 2014 Yalova, Bildiriler Kitabı, s:9-21.
- Aslan, R. ve Karakuş, Z. (2019). Gelenekten Günümüze Tıbbi ve Aromatik Bitkiler. *Göller Bölgesi Aylık Hakemli Ekonomi ve Kültür Dergisi*, 6,73
- Baydar, H. (2009). Tıbbi ve aromatik bitkiler bilimi ve teknolojisi. *SDÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 51, 122-123.
- Atik, M. ve Karagüzel, O. (2007). Peyzaj mimarlığı uygulamalarında su tasarrufu olanakları ve süs bitkisi olarak doğal türlerin kullanım önceliği. *Tarımın Sesi*, TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası Antalya Şubesi Yayını, 15, 9-12.
- Avan, M. (2021). Türkiye’de ve Dünya’da Görülen Önemli Tıbbi ve Aromatik Bitkiler, Özellikleri ve Hastalıkları Üzerine Araştırmalar, *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, 3(1), 129-156. <https://doi.org/10.47898/ijeased.864877>
- Belen, F. Z. (2019). Osmanlı’da Psikolojik Sağlık Uygulamaları ve Osmanlıca Psikoloji Literatürü Üzerine Bir Değerlendirme. *Kalemname*, 4(7), 65–78.
- Bozkurt, S. G. (2019). Gürün (Sivas)-Tohma Çayı Vadisinde Yetişen Bazı Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Peyzaj Mimarlığında Kullanım Olanaklarının

- Belirlenmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 21(1), 66-80.
<https://doi.org/10.24011/barofd.446657>
- Çakar, H., Akat, H. ve Akat Saraçoğlu, Ö. (2020). Konut Bahçelerinin Bitkisel Tasarımında İçilebilir Türlerin Kullanımı Üzerine Kullanıcı Görüşleri: İzmir İli Örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(Ek Sayı 1), 336-345.
- Çakar, H. ve Akat Saraçoğlu, Ö. (2023). Doğa ile İyileşme: Terapi Bahçeleri, Kentleşme Perspektifinden Peyzaj Mimarlığına Bakış, Editör Doç. Dr. Kübra YAZICI, İksad yayınevi, Aralık-2023, Ankara, s.183-212.
<https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10301427>
- Cakar, H., Saracoglu, O.A., Akat, H., Kilic, C.C. ve Adanacioglu, H. (2023). The Potential For Using Different Substrates Ingreen Roofs. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 31, 44–51.
<https://doi.org/10.3846/jeel.2023.18487>
- Çalışkan Mimarlar, H. (2020). Şifa Bahçeleri'nin Terapik Faydaları ve Tasarım İlkelerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, s. 100, Bursa.
- Çetinkale Demirkan, G. ve Akat, H. (2018). Use of Medical and Aromatic Plants as Ornamental Plants in Landscape Designs. Recent Researches in Science and Landscape Management, Cambridge Scholars Publishing. Chapter: 9, 111-117. (Eds: Efe, R., Zencirkiran, M., and Curebal, İ.), ISBN (10): 1-5275-1087-5/ISBN (13): 978-1-5275-1087-6.
- Çetinkale Demirkan, G. ve Akat, H., (2024). Suyun Sürdürülebilir Kullanımı Kapsamında Kurakçıl Peyzaj Yaklaşımı Değerlendirmeleri. Mimarlık, Planlama ve Tasarımda Güncel Yaklaşımlar, BİDGE Yayınları, (Ed: Gülbin ÇETİNKALE DEMİRKAN), Bölüm: V, 87-105. Basım sayısı:1, Sayfa Sayısı: 105, ISBN: 978-625-372-372-9.
- Çorbacı, Ö. L., Yazgan, M. E. ve Özyavuz, M. (2017). Kurakçıl Peyzaj (Xeriscape) ve Uygulamaları (1. Baskı). Karakayalar Matbaa, Edirne.
- Çöp, S. ve Akat, H. (2021). Kurakçıl Peyzaj Çalışmalarında Bitkisel Uygulamalar: Muğla-Sarıgerme Halk Plajı Örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(2), 263-277.
- Demirezer, L. Ö. (2010). Bitkilerin Tıpta Kullanılması Konusundaki Sorumluluklarımız. Bitkilerle Tedavi Sempozyumu 5-6 Haziran 2010 Zeytinburnu/İstanbul Bildiri Kitabı, s: 87- 88.
- Dönmez, Ş., Çakır, M. ve Kef, Ş. (2016). Bartın’da Yetişen Bazı Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Peyzaj Mimarlığında Kullanımı. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 1(2), 1-8. <https://doi.org/10.30785/mbud.295486>

- D'Souza, S.P, Chavannavar, S.V., Kanchanashri, B. ve Niveditha, S. B. (2017). Pharmaceutical Perspectives of Spices and Condiments as Alternative Antimicrobial Remedy, *Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine*, 22(4), 1002-1010
<https://doi.org/10.1177/2156587217703214>
- FAO, (2014). <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> Erişim Tarihi: 22.07.2025
- Faydalıoğlu, E. ve Sürücüoğlu, M.S. (2013) Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Antimikrobiyel, Antioksidan Aktiviteleri ve Kullanım Olanakları. *EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(2), 233-65.
- Gottardi, D., Bukvicki, D., Prasad, S. ve Tyagi, A.K. (2016). Beneficial Effects of Spices in Food Preservation and Safety. *Front Microbiol.* 7(1394), 1-20. doi: 10.3389/fmicb.2016.01394.
- Göktaş, Ö. ve Gıdık, B. (2019). Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Kullanım Alanları. *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 145-151.
- Heywood, V.H. (1987). The Changing Role of the Botanic Garden, IUCN (International Union for Conservation of Nature) Monitoring Centre, Kew, England, UK.
- İlhan, Ö., Akat, H. ve Saraçoğlu, Ö. A. (2024a). Kurakçıl Peyzaja Dönüşüm Projesi Kapsamında Gerçekleştirilen Bitkisel Uygulamalar: Muğla-Ortaca İlçesi Örneği. *International Journal of Social and Humanities Sciences Research*, 11(104), 570-582.
- İlhan, Ö., Akat, H. ve Saraçoğlu, Ö. A. (2024b). Muğla İli Ortaca İlçesindeki Kültür Park'ın Kurakçıl Peyzaj Açısından İrdelenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(4), 1754-1774.
- İli, P. (2003). Bazı Tıbbi Bitkilerin Kimyasal İçerikleri ve Hayvanlara Etkileri. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Karaşah, B. (2021). Bitkilendirme Tasarımında Renk Özellikleri Dolayısıyla Değerlendirilebilecek Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Üzerine Bir Araştırma. *Turkish Journal of Forest Science*, 5(2), 536-550.
<https://doi.org/10.32328/turkjforsci.982174>
- Karık, Ü. ve Tunçtürk, M. (2019). Türkiye’de Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Üretimi, Ticareti ve Gelecek Perspektifi. *ANADOLU Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 29(2), 154-163. <https://doi.org/10.18615/anadolu.660316>
- Kösa, S. ve Güral, S. M. (2019). Tıbbi ve Aromatik Bitkiler ve Peyzajda Kullanımları. *PEYZAJ - Eğitim, Bilim, Kültür ve Sanat Dergisi*, 1(1), 41-54.
- Kuzgun, M. ve Tuğrul Ay, S. (2014). Tıbbi ve Aromatik Bitkiler. Tarımsal Araştırmalardan Bakış, EDİT. Mehmet Cihad KAYA, Ayten ZAN

- SANCAK, Alkan DEMİR, Zehra ÇİÇEKGİL, Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü Müdürlüğü, ANKARA, s.19-32
- Marcus, C.C. ve Barnes M. (1999). Healing gardens. John Wiley and Sons, New York.
- Marshall, E. (2011). Health and Wealth from Medicinal Aromatic Plants. FAO Diversification Booklet 17. Rural Infrastructure and Agro-Industries Division Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome 2011. ISSN 1810-0775.
- Oldfield, S. (2007). Great Botanic Gardens of The World. New Holland Publishers. UK.
- Salehi Surmaghi, M.H. (2006). Medicinal plants and phytotherapy. The World of Nutrition Publications, Iran, 201-217.
- Serez, A. (2011) Tarihsel Süreç İçinde Sağlık Bahçeleri. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Wyse Jackson, P.S., Sutherland, L.A. (2000). International Agenda for Botanic Garden in Conservation. ISNB 09520275 9 3. Botanic Garden Conservation International, London, UK.
- Yaldız, G. ve Şekeroğlu, N. (2013). Küresel İklim Değişikliğinde Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Önemi. *Turkish Journal of Scientific Reviews*, (1), 85-88.
- Yıldıztekin, M., Ulusoy, H. ve Tuna, A. L. (2019). "Türkiye’de Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Yetiştiriciliği ve Sürdürülebilir Gelişimi", 4th International Symposium on Innovative Approaches in Engineering and Natural Sciences November 22-24, 2019, Samsun, Turkey, SETSCI Conference Proceedings, vol. 9, pp. 481-484.
- Url-1 Tonçer, Ö., Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Yetiştiriciliği, https://www.dicle.edu.tr/Contents/pages/Files/36a31efa-fea2-446e-937b-5c7e1d5b2db9/1ae4d5dade0c466083ee97bbe6e8892f_ORG219%20T%C4%B1bbi%20ve%20Aromatik%20Bitkiler%20Teorik%20Dersi.pdf Erişim Tarihi: 05.07.2025
- Url-2; Tıbbi Bitki Listesi, Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu, <https://www.titck.gov.tr/dinamikmodul/112> Erişim Tarihi: 11.07.2025
- Url-3) Tıbbi ve Aromatik Bitki Türü Listesi. Kütahya Sanayi ve Ticaret Odası, <https://www.kutso.org.tr/wp-content/uploads/2019/01/T%C4%B1bbi-ve-Aromatik-Bitki-T%C3%BCr%C3%BC-Listesi.pdf> Erişim Tarihi: 12.07.2025

4. Bölüm

Şeritsel Toprak İşleme ve Toprak İşlemesiz Tarımın Çeşitli Açılardan Karşılaştırılması

İlknur DURSUN¹

1. Giriş

Gıda güvenliği, gıda üretiminden tüketimine kadar geçen sürede gıdaların fiziksel, kimyasal ve biyolojik tehlikelerden arındırılması anlamına gelmektedir. Günümüzde hızla artan dünya nüfusu ile birlikte gıda ihtiyacı da hızla yükselmekte ve bu durum gıda güvenliğinin önemini artırmaktadır (Foley vd., 2011; Knapp ve van der Heijden, 2018; Dou vd., 2024). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO) 2023 yılı raporuna göre, dünya genelinde açlıkla mücadele eden insan sayısı 733 milyona ulaşmış olup, bu değer dünya nüfusunun yaklaşık %10' una karşılık gelmektedir (FAO vd., 2024). Bitkisel üretimde ise ürün verimini artırmak ve birim alandan daha fazla kazanç sağlamak amacıyla toprak yoğun şekilde işlenmekte ve sentetik kimyasallar ile fosil enerji kaynakları yaygın olarak kullanılmaktadır (Dubois vd., 1999; Garnett vd., 2013; Schiefer vd., 2015; Dou vd., 2024). Geleneksel toprak işleme (GTİ); toprak yapısının bozulmasına, toprak sıkışmasına, nem kaybına, erozyonun artmasına, topraktaki canlı yaşamın kesintiye uğramasına, sera gazı emisyonlarının artmasına ve su kaynaklarının kirlenmesine neden olur. Çevre, ekonomik ve sosyal açıdan uzun vadeli üretkenliği ve kaynakların korunmasını amaçlayan sürdürülebilir tarım, bu durumdan olumsuz yönde etkilenir. Gıda ihtiyaçları karşılanırken, gelecek nesillerin de kendi gıda ihtiyaçlarını karşılamaları gerektiği unutulmamalıdır. Gıda güvenliğine, en az ürün veriminin artırılması kadar dikkat edilmesi gerekmektedir (Liu vd., 2010a; Garnett vd., 2013; Dou vd., 2024).

Bitkisel üretimin başlangıç aşaması, toprak işlemedir. Toprak işleme teknikleri; geleneksel (GTİ), azaltılmış (ATİ) ve koruyucu toprak işleme (KTİ) olmak üzere üç gruba ayrılır. Toprak işlemenin temel amaçları; tohum yatağının hazırlanması, yabancı otların kontrol edilmesi, toprak erozyonun önlenmesi, toprağın devrilmesi, karıştırılması, parçalanması, düzeltilmesi, toprak sıkışmasının giderilmesi, sulama

¹ Prof. Dr., Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Ankara, TÜRKİYE, dursun@agri.ankara.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-1957-718X

ve yağışlardan toprağın daha iyi yararlanması ile drenaj sorununun giderilmesidir (Dursun, 2018).

Toprak erozyonu ve nem kaybının önlenmesi amacıyla GTİ tekniğine alternatif olarak ATİ ve KTİ teknikleri geliştirilmiştir. KTİ tekniğinin başlıca tipleri; maçlı toprak işleme, şeritsel toprak işleme (ŞT), toprak işlemez tarım (TİT), doğrudan ekim (DE), sırta ekime yönelik toprak işleme ve rezervuar toprak işlemedir (Baker vd., 2002; Dursun, 2018). KTİ tekniğinde, toprak yüzeyinin ekimden sonra %30 ve daha fazla miktarda bitki yüzey artıklarıyla kaplanması amaçlanır (CTIC, 1990; Zheng vd., 2014; Dursun, 2018). Toprak yüzeyindeki koruyucu örtü, toprak erozyonunu ve nem kaybını önler (Dursun, İ. ve Dursun, E. 2018; Hayes, 2018). Buna karşın GTİ tekniği; toprak yapısının bozulmasına, erozyonun artmasına ve toprak üst yüzeyindeki organik madde miktarının azalmasına neden olur.

KTİ tekniğinde; toprak kaybının azaltılması, toprak kalitesinin artırılması ve ürün veriminin korunması ve/veya artırılması amaçlanır (Blanco-Canqui ve Lal, 2009). Bu nedenle KTİ tekniği, toprak ve suyun korunması ile gıda güvenliğinin sağlanması açısından en uygun toprak işleme tekniğidir. Yapılan araştırmalar sonucunda; KTİ' nin erozyonu önlediği (Koga vd., 2003; Yang vd., 2003; Seitz vd., 2019), nem içeriğini koruduğu, toprak yapısını iyileştirdiği (Zhang vd., 2012; Zuber vd., 2015), organik karbon ve azot miktarını artırdığı (Lal, 2004; Kumar vd., 2012; Lopez-Fando vd., 2012; Mazzoncini vd., 2016; Chen vd., 2023), su tutma kapasitesini yükselttiği, CO₂ emisyonunu azalttığı, su kullanım etkinliğini iyileştirdiği (Liu vd., 2013; Brunel-Saldias vd., 2018), enerji ihtiyacını, yakıt tüketimini ve maliyeti düşürdüğü (Koga vd., 2003) belirlenmiştir. Ancak KTİ' nin ürün verimi üzerindeki etkisi tartışmalıdır. Toprak nem içeriği, bitki besin maddeleri ve verimliliğin artmasıyla ürün veriminin yükselmesi beklenirken (Holland, 2004; Govaerts vd., 2007; Liu vd., 2010b); bitki yüzey artıklarının gölgeleme etkisiyle erken büyüme döneminde toprak sıcaklığının düşük ve hacim ağırlığının ise yüksek olması, ürün veriminin azalmasına yol açabilmektedir (Lin vd., 2014; Zhang vd., 2015; Li vd., 2022; Chen vd., 2023).

Ürün verimi, toprak işleme tekniğinin yanı sıra iklim koşullarından da etkilenir. Örneğin; TTİ' de, kuru geçen yıllarda ürün verimi normal veya daha yüksek, yağışlı yıllarda ise daha düşük olabilmektedir (Wang vd., 2007). Bu nedenle, KTİ' nin ürün verimi üzerindeki etkisi; uygulanan toprak işleme tekniği, toprak tekstürü, toprağın fizikomekanik özellikleri ve iklim koşullarıyla yakından ilişkilidir (Zheng vd., 2014; Morugán-Coronado vd., 2020; Shakoob vd., 2021).

1.1. Şeritsel toprak işleme

Şeritsel toprak işleme (ŞTİ), toprak işlemede en az müdahaleyle yalnızca bitki sırasındaki toprağın işlenmesini sağlayan bir tekniktir. ŞTİ, ABD' de geliştirilmiş

bir doğrudan ekim ya da toprak işlesiz tarım versiyonudur (Morris, 2014; Pöhlitz vd., 2018). “Bölgesel toprak işleme olarak” da bilinir. Sadece tohum ekilecek şeritler işlenir; diğer kısımlar işlenmez. Toprak işlesiz tarım (TTİ) ile derin düşey toprak işlemenin avantajları birleştirilir. Böylece hem toprağın doğal yapısı korunur hem de ürün verimi artırılabilir. İşlenen şeritler, tohum yatağına, diğer kısımlar ise erozyonun ve nem kaybını önlenmesini sağlayan bölgelere dönüştürülür. İşlenen şeritlerin yüzeyinde bitki yüzey artığı örtüsü bulunmaz. Diğer kısımlar ise bitki yüzey artıklarıyla kaplıdır (Pöhlitz vd., 2018). Toplam tarla yüzeyinin 1/3’ünden azı işlenir. İşlenen şerit genişliği 5-25 cm, yüksekliği ise 7-10 cm arasında değişir (Lal, 1983; Morris, 2014; Pöhlitz vd., 2018). Şeritler, toprak ve mikroklima koşullarının bitkinin çimlenmesi ve büyümesi amacıyla 25 cm derinliğe kadar işlenir (Lal, 1983). Şerit yüksekliği, ilkbaharda 1-2 cm azalır. İşlenmemiş kısımların genişlikleri ise 2-20 cm arasında değişir (Dursun, 2018). Özellikle mısır-soya ekim nöbetinde tercih edilen bu teknik; mısır, soya fasulyesi, pamuk ve buğday tarımında da kullanılır. Ürün veriminin az olduğu soğuk ve nemli topraklarda doğrudan ekime göre daha popülerdir.

ŞTİ tekniği; toprak yüzeyinde kalan bitki artıklarını ve dinamik toprak yapısını koruyarak, toprağın su tutma kapasitesini artırır; toprak erozyonunu azaltır ve toprak sıcaklığını optimize ederek bitki gelişimini destekler. Yüzey akışları ve toprak sıkışması azalır. Tohum yatağı koşulları iyileşir. Organik madde içeriği yükselir. Ürün verimi artar. Su ve enerji kullanımı azalır. Yakıt ve işgücü tasarrufu sağlanır; maliyet düşer. Toprağın sıkışık yapısı, yüzey akışı ve oluk erozyonuna karşı direnç sağlar. Tarlada ekipmanlarla çalışma sırasında oluşan toz ve ince parçacık miktarı azalır. Bitki köklerinin oluşturduğu boşluklar sayesinde suyun toprağa sızması kolaylaşır (NRCS, 2005; Mei vd., 2017; Mikha vd., 2020; Chen vd., 2021). Ancak özel ekipmanlara ihtiyaç duyulması, başlangıç maliyetinin yüksek olması ve yoğun yönetim bilgisi gerektirmesi gibi dezavantajları vardır.

ŞTİ tekniğinde toprağın işlenmesinde, kendine özgü ayrı ayrı ekipmanlardan ya da toprak işleme, ekim ve gübrelemeyi bir arada yapan alet ve makina kombinasyonlarından yararlanılır. Toprak işlemede düz veya kertikli kenarlı diskli, dar uç demirli sabit ayaklı ya da çizel tipi işleyici parçalar kullanılır. Arka sırada tamamlayıcı ekipman olarak iş genişliği sınırlandırılmış, toprağı hafifçe parçalayarak bastıran, toprak zeminden hareket alarak dönen, kafes tipi merdane ya da döner tırmık yer alabilir (Karlen vd., 2013). Ekim, doğrudan ekim makinaları veya şeritsel işlemeli ekim makinalarıyla yapılır. Bu ekim makinaları, tahıl ekim makinası veya pnömatik ekim makinası şeklinde olabilir. Gübre, şeritsel gübre dağıtma makinaları dağıtılır veya sıvı gübreyi toprak altına enjekte eden gübre dağıtma makinalarıyla enjekte edilir. Sıra aralarının çapalanmasında çapa kùltivatörlerinden yararlanılır. ŞTİ’de, tüm iş genişliği boyunca toprağı işleyen

ekipmanların kullanılmasına izin verilmez. Anız ve diğer bitki yüzey artıklarının yakılması yasaktır (NRCS, 2005).

1.2. Toprak işlemez tarım

Toprak işlemez tarım (TİT) tekniği, hasattan ekimine kadar olan sürede toprağın işlenmediği, tarla yüzeyinin yaklaşık %60 oranında bitki artıklarıyla kaplı olduğu bir koruyucu toprak işleme tekniğidir. Tohumlar, doğrudan ekim makinalarıyla ekilirler. Yabancı ot kontrolü, herbisitlerle sağlanır (Soane vd., 2012; Dursun, 2018). Bu teknik; ayçiçeği, soya fasulyesi ve mısır tarımında tercih edilir. Uygulandığı toprakta drenaj ve toprak sıkışması sorununun bulunmaması gerekir. Toprak yüzeyinin yıl boyunca bitki artıklarıyla kaplı olması sayesinde toprağın doğal yapısı korunur. Topraktaki canlı yaşam desteklenir. Toprağın organik karbon içeriği artar. Erozyon ve nem kaybı önlenir. Tarla trafiği ve CO₂ emisyonu azalır. Yakıt tüketimi ve maliyet düşer. Ancak TİT tekniğinin özel ekipmanlara ihtiyaç duyulması, başlangıç maliyetinin yüksek olması, art arda uzun süre uygulanması durumunda toprak sıkışması tehlikesinin ortaya çıkması, yabancı ot baskısının artması, soğuk iklimlerde toprak sıcaklığının düşmesi ve ürün veriminin azalması gibi bazı dezavantajları vardır (NRCS, 2005; Derpsch vd., 2014; Lal, 2015; Pittelkow vd., 2015). Tüm bu dezavantajlarına karşılık TİT tekniği; toprak sağlığını koruyan, erozyonu önleyen, CO₂ emisyonunu azaltan ve organik maddeyi artıran sürdürülebilir tarıma uygun bir toprak işleme tekniğidir.

Bu çalışmanın amacı; ŞTİ ve TİT tekniklerinin toprağın fizikomekanik özellikleri, erozyon ve ürün verimi üzerindeki etkilerinin karşılaştırılmasıdır. Çalışmada; hacim ağırlığı, penetrasyon direnci, organik madde içeriği, CO₂ emisyonu, toprak kaybı ve ürün verimi bağımlı değişkenler olarak incelenmiştir. Kapsamlı bir literatür taraması sonucunda sayısal veriler elde edilmiş, her iki tekniğin avantaj ve dezavantajlı yanları açıklanmış ve önerilerde bulunulmuştur.

2. Hacim Ağırlığının Karşılaştırılması

Fernández vd. (2015), mısır ve soya fasulyesi tarımında ŞTİ ve TİT' in hacim ağırlığı, penetrasyon direnci, organik madde içeriği, agregat stabilitesi ve su infiltrasyon hızı üzerindeki etkilerini incelemiştir. ŞTİ' de hacim ağırlığının toprak işlemez tarıma göre %4 daha az olduğu bulunmuştur. 2012-2013 yılı tarla denemelerinde, ŞTİ' deki hacim ağırlığının 1.35 g cm⁻³, TİT' deki hacim ağırlığının ise 1.40 g cm⁻³ olduğu belirlenmiştir.

Pöhlitz vd. (2018); ŞTİ' de sıralar arasında ve TİT' de ise tüm tarla yüzeyinde ölçüm yapılan yerlerde, hacim ağırlığının zamanla arttığını bulmuştur. TİT' de hacim ağırlığındaki artış miktarı; ŞTİ' deki işlenmiş şeritlerden ve malçlı toprak işlemeden daha fazladır. Bu durum, 12-18 cm derinliğe kıyasla 2-8 cm derinlikte

daha belirgindir. Ayrıca ŞTİ' de sıralar arasında ölçülen hacim ağırlığı, hem malçlı toprak işlemeden hem de şeritsel toprak işlemedeki işlenmiş şeritlerden fazladır. Buna karşın ŞTİ' de sıralar arasında ölçülen toprak doygunluk iletkenliği, ŞTİ' deki işlenmiş şeritlerden ve malçlı toprak işlemeden daha yüksektir. Doymunluk iletkenliği; drenaj, bitki su alımı ve erozyon tehlikesi açısından önemlidir. ŞTİ' de sıralar arasında ölçülen toprak doymunluk iletkenliği, işlenmiş şeritlerden ve malçlı toprak işlemeden daha yüksektir. ŞTİ' deki işlenmiş şeritler ile işlenmemiş sıra araları sayesinde hem optimum bitki gelişimi sağlanmakta hem de toprak sıkışması önlenmektedir. Ayrıca tarla trafığı de azalmaktadır (Nowatzki vd., 2009).

3. Penetrasyon Direncinin Karşılaştırılması

Fernández vd. (2015), ŞTİ' de penetrasyon direncinin toprak işlemez tarıma göre %18 daha düşük olduğunu bildirmiştir. İki yıllık tarla denemeleri sonucunda, ŞTİ' de penetrasyon direnci 0.94 MPa, TİT' de ise penetrasyon direnci 1.14 MPa olarak bulunmuştur. ŞTİ ve TİT' de 0-5 cm derinlikteki penetrasyon dirençleri 0.22 MPa ve 0.40 MPa; 5-10 cm derinlikteki penetrasyon dirençleri 1.05 MPa ve 1.44 MPa; 10-30 cm derinlikteki penetrasyon dirençleri ise 1.56 MPa ve 1.60 MPa olarak belirlenmiştir.

Licht ve Al-Kaisi (2005); ABD' de iki farklı bölgede, mısır-soya rotasyonunda, tınlı toprak koşullarında; ŞTİ, TİT ve çizelle toprağı işlemenin nem içeriğine, sıcaklığa ve penetrasyon direncine etkilerini incelemiştir. Genel olarak, ŞTİ ve TİT' de toprak penetrasyon direncinin benzer düzeylerde olduğu bulunmuştur. Ancak 0-20 cm derinlikte çizelle işlemeye göre daha ŞTİ' de penetrasyon direncinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun başlıca nedeni, çizelle işlenen toprağın hacim ağırlığının daha düşük olmasıdır. Ancak ŞTİ' deki işlenen şeritlerde benzer koşullar oluşmaktadır. Toprak penetrasyon direnci, her iki deneme bölgesinde ve üç toprak işleme tekniğinde de Mayıs ayından Haziran ve Temmuz aylarına doğru artış göstermiştir. En yüksek penetrasyon dirençleri sırasıyla TİT, çizelle işleme ve ŞTİ' den elde edilmiştir. Derinlik arttıkça penetrasyon direnci yükselmiş ve 20-25 cm' den sonra incelenen toprak işleme teknikleri arasındaki fark azalmıştır. Temmuz ayında, her üç toprak işleme tekniğinde de 30-35 cm derinlikte, toprak penetrasyon direncinde belirgin artış gözlenmiştir.

Morrison (2002), yaptığı araştırma sonucunda toprak penetrasyon direnci yönünden ŞTİ' de özellikle başak hasadı öncesinde toprağın daha az sıkıştığını ve kök gelişimine elverişli bir ortamın sağlandığını belirtmiştir.

4. Organik Madde İçeriğinin Karşılaştırılması

Fernández vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada, ŞTİ' de organik madde içeriğinin TİT' e göre %8.6 oranında daha az olduğu açıklanmıştır. ŞTİ' de organik madde içeriği %3.80 seviyesindeyken, TİT' deki organik madde içeriği %4.15 olarak bulunmuştur. Organik madde içeriği, toprağın bitki sırasına yakınlığı azaldıkça ve derinliği arttıkça düşmektedir. Bitki sırasındaki organik madde içeriği, sıralar arasındaki kısımdan (bitki sırasından 36 cm mesafedeki bölüm) daha düşüktür. ŞTİ' de, ekim şeritlerindeki toprak hareketlendirildiği için bitki yüzey artıkları sıra aralarına taşınmaktadır. TİT' de ise ekim sırasında doğrudan ekim makinalarıyla bitki yüzey artıkları sıralar arasına taşınmaktadır. Bu durum, organik madde birikimini etkilemektedir. Bitki sırası konumunun yıllar boyunca sabit olduğu tarlalarda, organik madde içeriği yüksek ve düşük olan bölgeler oluşur. ŞTİ ve TİT' de, yüzey artıklarının toprağa yeterince karışmaması nedeniyle tabakalı bir yapı oluşabilir (Franzluebbers vd., 1994). Bununla birlikte bitki yüzey artıkları, toprağın üst kısımlarında tutulurlar. Örneğin; 0-5 cm derinlikte organik madde içeriği %4.3 seviyesindeyken 30-50 cm derinlikte ise %2.9' dur.

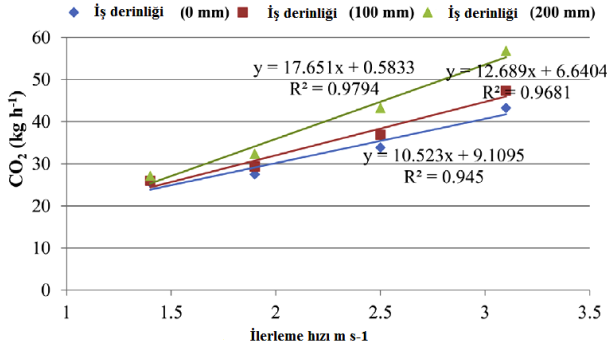
ŞTİ, toprakta bulunan glomalin gibi toprak sağlığına katkı sağlayan önemli protein miktarını artırır. Bu proteinler; toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin korunması ve mikroorganizma aktivitesinin sürdürülmesinde önemli rol oynarlar (Jaskulska vd., 2020).

5. CO₂ Emisyonunun Karşılaştırılması

ŞTİ ve TİT teknikleri, GTİ tekniğine kıyasla toprak sağlığı açısından daha avantajlıdır. TİT, CO₂ emisyonunun azaltılmasında daha olumlu sonuç verir. Her iki teknik de sürdürülebilir tarım ve çevre koruma için uygundur.

Šarauskiš vd. (2017) tarafından yapılan araştırmada, ŞTİ' de traktörden kaynaklanan CO₂ emisyonu üzerinde etkili olan faktörler incelenmiştir. Sıra temizleyici disklerin toprağa giriş açısı 10-22.5°, iki disk arasındaki mesafe 105-135 mm, dar uç demirinin iş derinliği 0-200 mm ve ilerleme hızı 1.4-3.1 m s⁻¹ arasında değiştirilerek 44 farklı koşul oluşturulmuştur. Şekil 1' de, ŞTİ' de iş derinliği ve ilerleme hızının CO₂ emisyonuna etkisi gösterilmiştir. Şekil 1' den anlaşılabacağı gibi, iş derinliği ve ilerleme hızı arttıkça CO₂ emisyonu artmaktadır. ŞTİ' de CO₂ emisyonunun azaltılması için iş derinliği düşürülmeli ve azami ilerleme hızı aşılmamalıdır. Şeritsel toprak işleme ekipmanının ilerleme hızı ve dar uç demirli sabit ayağın iş derinliği, traktörün saatlik yakıt tüketimi üzerinde oldukça etkilidir. İş derinliğinin 200 mm' ye çıkarılması durumunda yakıt tüketimi %10.3-24.3 arasında artarken, CO₂ gazı emisyonu yaklaşık %20 oranında yükselmektedir. Buna karşılık CO₂ gazı emisyonu üzerinde sıra temizleyici disklerin giriş açısı ve diskler arasındaki mesafenin etkisi oldukça düşüktür. En

düşük yakıt tüketimi ve CO₂ gazı emisyonu, disk giriş açısının 10°, diskler arası mesafenin 105 mm, ilerleme hızının 2.5 m s⁻¹ ve şerit genişliğinin 135 mm olduğu koşullarda elde edilmiştir. Düşük ilerleme hızında (1.4 m s⁻¹) hektar başına düşen CO₂ gazı emisyonlarının daha yüksek olduğu, ilerleme hızı arttıkça hektar başına düşen emisyonların azaldığı; ancak saatlik bazda CO₂ gazı emisyonlarının ilerleme hızının artmasıyla birlikte yükseldiği belirlenmiştir. Saatlik CO₂ gazı emisyonları, çalışma süresine bağlı olduğundan, hız arttıkça birim zamandaki yakıt tüketimi ve emisyon da artar. Buna karşın, hektar başına hesaplanan CO₂ emisyonları, işin tamamlandığı alan dikkate alındığında düşük hızda daha fazla yakıt tüketimiyle daha yüksek değerler ortaya çıkar. Orta hızlarda ise daha verimli çalışma ile hektar başına düşen emisyon azalır. Bu nedenle, CO₂ gazı emisyon analizlerinde, saatlik ve hektar başı veriler arasındaki fark ve çalışma koşullarının etkisi dikkate alınmalıdır.



Şekil 1. ŞTİ' de iş derinliği ve ilerleme hızının CO₂ emisyonuna etkisi (Šarauskis vd., 2017)

Tablo 1' de şeritsel toprak işleme (ŞTİ), toprak işlemez tarım (TİT) ve geleneksel toprak işleme (GTİ) teknikleri, CO₂ gazı emisyonları yönünden karşılaştırılmıştır (Filipovic vd., 2006; Stajanko vd., 2009; Šarauskis vd., 2014; Šarauskis vd., 2017).

Tablo 1. ŞTİ, TİT ve GTİ tekniklerinin CO₂ gazı emisyonları yönünden karşılaştırılması

Toprak işleme tekniği	CO ₂ emisyonu (kg ha ⁻¹)	NT' ye göre fark (%)	GTİ' ye göre kat	Açıklama
TİT	16-33	-	5.1-8.3	Toprağın çok az veya hiç işlenmesi ve doğrudan ekim yapılması sayesinde yakıt tüketimi ve CO ₂ emisyonu en düşük düzeydedir.
ŞTİ	20-40	21.2-25	3.3-8.4	Yalnızca tohumların ekileceği şeritler işlenir. Yüzeyin ~%33' ü işlenebilir.
GTİ	132-168	179-409	-	Tarla trafiği fazla olduğundan yakıt tüketimi ve emisyon çok yüksektir.

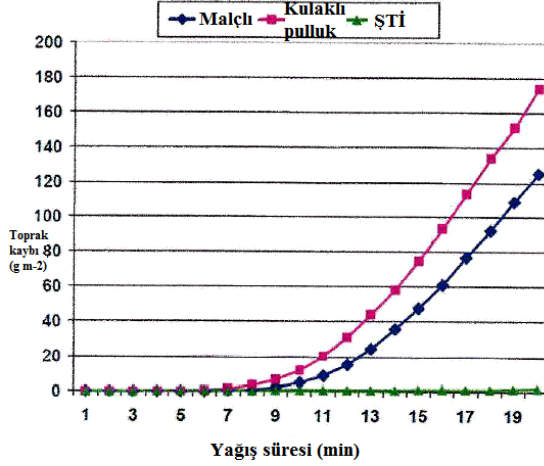
Tablo 1 incelendiğinde, CO₂ gazı emisyonu açısından en düşük emisyonun (16-33 kg ha⁻¹) TİT' de olduğu anlaşılmaktadır. CO₂ gazı emisyonu yönünden ŞTİ, GTİ' ye kıyasla çevre açısından daha avantajlı bir alternatiftir. En yüksek sera gazı salınımı, GTİ' de meydana gelmiştir. Bu bağlamda, çevreye en az zarar veren yani en temiz teknik, TİT tekniğidir. Çevreyi en fazla kirleten toprak işleme tekniği ise GTİ' dir. ŞTİ, CO₂ emisyonu bakımından bu iki tekniğin arasında yer almaktadır.

6. Toprak Kaybının Karşılaştırılması

GTİ tekniğinde, toprak kulaklı pullukla toprak alt üst edildiğinden koruyucu örtüden yoksun kalır. Bu nedenle toprak kaybı artar. ŞTİ' de, hem toprak işleme yoğunluğu hem de toprak kaybı daha azdır. TİT tekniği, toprak çok az hareketlendirildiğinden ya da hiç işlenmediğinden tüm toprak işleme teknikleri arasında erozyonun en düşük olduğu tekniktir (Drewitz ve Stoltenberg, 2018).

Yapılan uzun süreli araştırmalar sonucunda; ŞTİ' nin toprağın nem tutma kapasitesini artırdığı ve aynı zamanda mineralizasyon süreçlerinde de olumlu etki gösterdiği belirlenmiştir (Haramoto ve Brainard, 2012; Haramoto ve Brainard, 2017). ŞTİ, GTİ' ye kıyasla özellikle erozyon riskini azaltmada önemli avantajlara sahiptir.

Pflugfelder (2013); siltli killi toprakta ŞTİ, malçlı toprak işleme ve kulaklı pullukla sürümü, toprak kaybı açısından karşılaştırmıştır. Araştırma sonucunda, ŞTİ' nin kulaklı pullukla sürüme kıyasla toprak kaybını %98 düzeyinde azalttığı ve malçlı toprak işlemeye göre daha az toprak kaybına yol açtığı belirlenmiştir. Şekil 2' de ŞTİ, malçlı toprak işleme ve kulaklı pullukla sürümün laboratuvar ortamındaki yağış süresine (min) bağlı olarak yüzey akışının neden olduğu toprak kayıpları (g m⁻²) gösterilmiştir.



Şekil 2. Laboratuvar ortamında ŞTİ, malçlı toprak işleme ve kulaklı pullukla sürüm tekniklerinde yağış süresine bağlı olarak yüzey akışının neden olduğu toprak kayıpları (g m^{-2}) (Pflugfelder, 2013; Morris, 2014)

WICST (Wisconsin Integrated Cropping Systems Trial) (2017) tarafından ŞTİ’ de toprak erozyonunun GTİ’ den daha düşük olduğu belirtilmiştir. Bu durum, ŞTİ’ de toprak yüzeyinin daha az hareketlendirilmesi ve işlenmemiş kısımlarda ise bitki yüzey artıklarının korunması ile ilişkilendirilmektedir (Hedctke vd., 2012).

Buhler (1995) tarafından yoğun toprak işlemenin erozyonu artırdığı, toprak yapısını bozduğu ve toprak kayıplarını yükselttiği açıklanmıştır. Buna karşın, TİT’ de ise koruyucu örtünün ve toprak yapısının korunmasıyla birlikte erozyonun azaldığı belirtilmiştir.

Fernández vd. (2015) tarafından ŞTİ ve TİT tekniklerinde toprak özelliklerinin iyileştiği ve erozyon riskinin azaldığı açıklanmıştır. Özellikle ŞTİ’ de toprak yüzeyinde bulunan bitki artıklarının toprağın nem içeriğini koruduğu ve organik madde içeriğini artırdığı belirtilmiştir. Buna bağlı olarak ŞTİ’ de daha dirençli bir ortamın oluştuğu ve erozyona karşı koruma sağlandığı bildirilmiştir. Ayrıca, ŞTİ’ nin mikro ortamların çeşitliliğinde ve toprağın fiziksel özelliklerinde meydana getirdiği olumlu değişikliklerin toprak sağlığının uzun vadede iyileşmesini desteklediği belirtilmiştir.

WICST (2017) tarafından da ŞTİ’ nin TİT tekniğine göre toprağı biraz daha fazla hareketlendirmesine karşılık GTİ’ ye kıyasla çok daha düşük toprak kaybına yol açtığı belirlenmiştir. ŞTİ, erozyon kontrolünde etkili bir seçenek olarak değerlendirilmektedir (Posner vd., 1995).

Yapılan uzun vadeli (>10) tarla denemelerine göre ŞTİ, GTİ’ ye kıyasla toprağın korunması ve erozyonun azaltılması açısından önemli avantajlar

sağlamaktadır. TİT, çok düşük erozyon riski taşıırken; ŞTİ bu avantajı önemli ölçüde koruyup aynı zamanda erken sezonda toprağın ısınması ve nemin muhafaza edilmesi gibi avantajlara da sahiptir (Wolkowski vd., 2009)..

7. Ürün Veriminin Karşılaştırılması

ŞTİ ve TİT' in ürün verimi üzerindeki etkileri; bitki türü, toprak özellikleri, iklim koşulları, kullanılan makinaların teknik özellikleri ve ayarlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Özellikle mısır tarımında yapılan çalışmalarda, farklı sonuçlar ortaya konulmuştur. Bazı araştırmalarda, mısırdaki ŞTİ ve TİT arasında ürün verimi açısından farkı olmadığı belirtilirken (Vetsch ve Randall, 2002; Al-Kaisi ve Licht, 2004, Licht ve Al-Kaisi, 2005;), diğer araştırmalarda ise ŞTİ' nin ürün verimini artırdığı bulunmuştur (Vetsch vd., 2007; Fernández ve White, 2012).

Fernández ve White (2012) yaptıkları araştırmada, siltli killi tınlı toprak koşulunda mısırdaki ŞTİ' nin ürün veriminin (9.43 Mg ha^{-1}), TİT' e göre %7.8 daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bu artışa, ŞTİ' de bitki besin maddesi alımının ve kök gelişiminin iyileşmesi ile daha düşük stresli bir toprak ortamının sağlanması neden olarak gösterilmiştir. Ancak bu hipotezin doğrulanması için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Dou vd. (2024) tarafından ise meta-analiz yöntemiyle 53 makaleden elde edilen 290 karşılaştırmalı veri üzerinde inceleme yapılmıştır. Bu analizde gübreleme, sulama, iklim ve toprak tipi gibi faktörler dikkate alınmıştır. ŞTİ' nin hem TİT' e hem de GTİ' ye göre daha yüksek ürün verimi sağladığı belirlenmiştir. ŞTİ, TİT' e göre ürün verimini %4.81 oranında istatistiksel olarak anlamlı şekilde artırmıştır. Ayrıca, farklı tarımsal uygulamalarda; sürekli ekim (aynı tarlada nadas yapılmadan bir yıl boyunca ya da her yıl art arda aynı bitkinin ekilmesi), çoklu ekim (aynı tarlada bir yıl içinde iki veya daha fazla bitkinin yetiştirilmesi), buğdaygillerin yetiştirilmesi ve hasattan sonra kalan bitki artıklarının uzaklaştırılması gibi durumlarda da ŞTİ, ürün verimini TİT' e kıyasla sırasıyla %5.40, %10.29, %7.66 ve %7.60 oranlarında artırmıştır. Tüm toprak tekstürleri ve nötr pH değerlerine sahip topraklarda ŞTİ, ürün verimini ortalama %5.68 ve %11.63 oranlarında artırmasını sağlamıştır. Özellikle soğuk iklimlerde ($<10^{\circ}\text{C}$) ürün verimi, %3.64 oranında anlamlı şekilde artmaktadır. Ekim yönteminin ve yıllık ortalama sıcaklığın, ürün verimi üzerinde etkili olan temel faktörler oldukları vurgulanmıştır. Bu nedenle soğuk ve nemli topraklarda özellikle buğdaygillerin (buğday, mısır, arpa, yulaf, çeltik vb.) sürekli ve çoklu ekiminde verim artışı için ŞTİ tekniğinin uygulanması önerilmektedir.

Licht ve Al-Kaisi (2005) tarafından ise mısır veriminde ŞTİ ile TİT arasında ürün verimi açısından fark olmadığı ancak ŞTİ' de bitki çıkış hızı endeksinin TİT' den anlamlı şekilde daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Bu farkın nedeni,

ŞTİ' de toprak sıcaklığının artmasıdır. Artan toprak sıcaklığı, tohum çimlenmesini ve erken bitki gelişimini hızlandırarak verim artışına katkı sağlamaktadır. Sonuç olarak ŞTİ, özellikle soğuk ve nemli topraklarda ürün verimini artırmak için tercih edilebilir. TİT' e göre daha yüksek verim potansiyeline sahiptir.

8. Sonuç ve Öneriler

ŞTİ ve TİT teknikleri, GİT' e kıyasla hacim ağırlığı, penetrasyon direnci ve organik madde içeriği gibi toprağın fizikomekanik özelliklerini iyileştirirler. Yakıt, iş gücü, zaman ve maliyet tasarruf sağlarlar. CO₂ emisyonlarını önemli ölçüde düşürürler. Toprak erozyonu ve nem kaybını önlenirler. TİT, bu düşüşte en etkili tekniktir. ŞTİ ise verim açısından daha avantajlıdır.

ŞTİ tekniğinin üstünlükleri:

- Ürün verimi, yüksektir. Özellikle soğuk ve nemli topraklarda verim artışı sağlanır.
- Bitki besin maddesi alımı ve kök özellikleri iyileştiğinden stresli toprak koşulları hafifler. Bu nedenle özellikle mısırdaki ürün verimi artar.
- İşlenen şeritlerdeki toprak sıcaklığı yüksek olduğundan çimlenme hızlanır.
- İşlenen şeritler ve işlenmeyen kısımlar sayesinde hem tohum yatağının oluşturulur hem de işlenmeyen kısımlar sayesinde erozyon ve nem kaybı önlenir.
- GTİ' ye göre yakıt tüketimi, CO₂ emisyonu ve masraflar daha azdır.

TİT tekniğinin üstünlükleri:

- Toprağın doğal yapısı korunduğundan uzun vadede toprak sağlığı iyileşir.
- Toprak yüzeyi yaklaşık olarak %60 oranında bitki artıklarıyla kaplı olduğundan humus birikimi ve toprak canlılığı desteklenir.
- CO₂ emisyonlarını en fazla azaltan tekniktir.
- Erozyon ve nem kaybının önlenmesinde oldukça başarılıdır.
- Yakıt tüketimi ve maliyet oldukça düşüktür.
- Tarla trafiği azaldığından toprak sıkışması önlenir.

Öneriler:

- ŞTİ, özellikle soğuk ve nemli toprak koşullarında ürün verimini yükseltmek ve kök gelişimini desteklemek için tercih edilebilir. GPS destekli ekipmanlar, şeritlerin düzgün bir hat halinde işlenmesini sağlar.
- TİT; toprak sağlığının uzun vadede korunması, erozyonun ve CO₂ emisyonunun en düşük düzeye indirilmesi bakımından en uygun tekniktir.

- Çiftçilerin bu yöntemleri etkili biçimde uygulayabilmeleri için özel ekipman kullanımı ve yönetim stratejileri konusunda kapsamlı eğitim programları düzenlenmelidir.
- Her iki tekniğin performansının farklı iklim, toprak tipleri ve bitkilerde uzun süreli tarla denemeleriyle araştırılması başarı oranını artıracaktır.

Sonuç olarak günümüzde giderek artan küresel ısınma, erozyon, su kıtlığı, yüksek maliyet, toprak sıkışması, CO₂ gazı emisyonu gibi sorunlar göz önüne alındığında GTİ tekniğinin yerine alternatif olarak toprak ve suyu korumayı amaçlayan ŞTİ ve TİT tekniklerine yönelmek gerekmektedir. ŞTİ tekniği, ürün veriminin artması, erken bitki gelişimi ve daha düşük stresli toprak ortamı sağlama açısından öne çıkmaktadır. TİT ise erozyon kontrolü ve CO₂ emisyonunun azaltılmasında daha avantajlıdır. Her iki tekniğin yerel iklim ve toprak koşullarına uyarlanması ve etkilerinin uzun vadeli araştırmalarla belirlenmesi ülkemiz tarımına oldukça önemli katkılar sağlayacaktır.

Kaynaklar

- Al-Kaisi, M., & Licht, M.A. (2004). Effect of strip tillage on corn nitrogen uptake and residual soil nitrate accumulation compared with no-tillage and chisel plow. *Agron. J.* 96:1164-1171. doi:10.2134/agronj 2004 .1164
- Blanco-Canqui, H., & Lal, R. (2009). Corn stover removal for expanded uses reduces soil fertility and structural stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73, 418-426. <https://doi.org/10.2136/sssaj2008.0141>.
- Baker, C. J., Saxton, K. E., & Ritchie, W. R. (1996). No-tillage seeding: science and practice. 2nd ed. Oxford, UK: CAB International.
- Brunel-Saldias, N., Seguel, O., Ovalle, C., Acevedo, E., & Martinez, I. (2018). Tillage effects on the soil water balance and the use of water by oats and wheat in a Mediterranean climate. *Soil Tillage Res* 184, 68-77. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.07.005>.
- Buhler, D. D. (1995). Influence of tillage systems on weed population dynamics and management in corn and soybean in the central USA. *Crop Science*, 35, 1247-1258.
- Chen, Q., Zhang, X.Y., Sun, L., Ren, J.H., Yuan, Y.R., & Zang, S. Y. (2021). Influence of tillage on the Mollisols physicochemical properties, seed emergence and yield of maize in northeast China. *Agriculture* 11, 939. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100939>
- Chen, N.N., Zhao, X., Dou, S.X., Deng, A.X., Zheng, C.Y., Cao, T.H., Song, Z.W., & Zhang, W. J. (2023). The tradeoff between maintaining maize (*Zea mays* L.) productivity and improving soil quality under conservation tillage practice in semi-arid region of northeast China. *Agriculture* 13, 508. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020508>.
- CTIC. (1990). National survey of conservation tillage practices.
- Derpsch, R., Franzluebbers, A. J., Duiker, S. W., Reicosky, D. C., Koeller, K., Friedrich, T., ... & Weiss, K. (2014). Why do we need to standardize no-tillage research?. *Soil and Tillage Research*, 137, 16-22.
- Dou, S., Wang, Z., Tong, J., Shang, Z., Deng, A., Song, Z., & Zhang, W. (2024). Strip tillage promotes crop yield in comparison with no tillage based on a meta-analysis. *Soil and Tillage Research*, 240, 106085.
- Drewitz, N. M., & Stoltenberg, D. E. (2018). Weed communities in strip-tillage corn/no-tillage soybean rotation and chisel-plow corn systems after 10 years of variable management. *Weed Science*, 66(6), 651-661.
- Dubois, D., Zihlmann, U., & Fried, P. M. (1999). Yields and economic results of three farming systems at Burgrain.
- Dursun, İ. (2018). *Toprak işleme alet ve makinaları* (Yayın No: 1644, Ders Kitabı: 595). Ankara: Ankara Üniversitesi Yayınları.

- Dursun, İ., & Dursun, E. (2018). Evaluation of Various Soil Tillage Methods in Terms of Percent Crop Residue Cover and Erosion Control. *Gaziosmanpasa Journal of Scientific Research*, 7(1), 69-76.
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO (2024). The state of food security and nutrition in the world 2024. FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO.
- Fernández, F. G., & White, C. (2012). No-till and strip-till corn production with broadcast and subsurface-band phosphorus and potassium. *Agronomy Journal*, 104(4), 996-1005.
- Fernández, F. G., Sorensen, B. A., & Villamil, M. B. (2015). A comparison of soil properties after five years of no-till and strip-till. *Agronomy Journal*, 107(4), 1339-1346.
- Filipovic, D., Kosutic, S., Gospodaric, Z., Zimmer, R., & Banaj, D. (2006). The possibilities of fuel savings and the reduction of CO₂ emissions in the soil tillage in Croatia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 115(1), 290-294
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., ... & Zaks, D. P. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337-342.
- Franzluebbers, A. J., F. M. Hons, & Zuberer, D. A. (1994). Long-term changes in soil carbon and nitrogen pools in wheat management systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:1639–1645. doi:10.2136/sssaj1994.03615995005800060009x
- Garnett, T., Appleby, M. C., Balmford, A., Bateman, I. J., Benton, T. G., Bloomer, P., ... & H. C. J. Godfray (2013). Sustainable intensification in agriculture: premises and policies. *Science*, 341(6141), 33-34.
- Govaerts, B., Fuentes, M., Mezzalama, M., Nicol, J. M., Deckers, J., Etchevers, J. D., Figueroa-Sandoval, B. & Sayre, K. D. (2007). Infiltration, soil moisture, root rot and nematode populations after 12 years of different tillage, residue and crop rotation managements. *Soil Tillage Res* 94, 209-219. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.07.013>.
- Haramoto, E. R., & Brainard, D. C. (2012). Strip tillage and oat cover crops affect soil moisture and N mineralization patterns in cabbage. *HortScience*, 47, 1596-1602.
- Haramoto, E. R., & Brainard, D. C. (2017). Spatial and temporal variability in Powell amaranth (*Amaranthus powellii*) emergence under strip tillage with cover crop residue. *Weed Science*, 65, 151-163.
- Hayes, W. A. (2018). Conservation tillage systems and equipment requirements. In *A Systems Approach to Conservation Tillage* (pp. 21-40). CRC Press.
- Hedtcke, J., Posner, J., & Tautges, N. (2012). Soil erosion, soil conditioning index, soil tillage intensity rating, and fall soil nitrates summary. In Wisconsin Integrated Cropping Systems Trial (WICST) 13th Technical Report (pp. 111-123). University of Wisconsin-Madison.

- Holland, J. M. (2004). The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agric. Ecosyst. Environ.* 103, 1-25. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.12.018>.
- Jaskulska, I., Romaneckas, K., Jaskulski, D., Gałezewski, L., Breza-Boruta, B., Dębska, B., & Lemanowicz, J. (2020). Soil properties after eight years of the use of strip-till one-pass technology. *Agronomy*, 10(9), 1596.
- Karlen, D. L., Cambardella, C. A., Kovar, J. L., & Colvin, T. S. (2013). Soil quality response to long-term tillage and crop rotation practices. *Soil and Tillage Research*, 133, 54-64.
- Knapp, S., & M. G. van der Heijden, G. (2018). A global meta-analysis of yield stability in organic and conservation agriculture. *Nature communications*, 9(1), 3632.
- Koga, N., Tsuruta, H., Tsuji, H., & Nakano, H. (2003). Fuel consumption-derived CO₂ emissions under conventional and reduced tillage cropping systems in northern Japan. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 99(1-3), 213-219.
- Kumar, S., A. Kadono, R. Lal, & Dick, W. (2012). Long-term no-till impacts on organic carbon and properties of two contrasting soils and corn yields in Ohio. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 76:1798-1809. doi:10.2136/sssaj2012.0055
- Lal, R. (1983). No-till farming: soil and water conservation and management in the humid and subhumid tropics. *Monograph*, 2, 64.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304, 1623-1627. <https://doi.org/10.1126/science.1097396>.
- Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, 7(5), 5875-5895.
- Li, R. P., Zheng, J. Y., Xie, R. Z., Ming, B., Peng, X. H., Lou, Y., Zheng, H. B., Sui, P. X., Wang, K. R., Hou, P., Hou, L. Y., Zhang, G. Q., Bai, S. J., Wang, H., Liu, W. R., & Li, S. K. (2022). Potential mechanisms of maize yield reduction under short-term no-tillage combined with residue coverage in the semi-humid region of Northeast China. *Soil Tillage Res* 217, 105289. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105289>.
- Licht, M. A., & Al-Kaisi, M. (2005). Corn response, nitrogen uptake, and water use in strip-tillage compared with no-tillage and chisel plow. *Agron. J.* 97:705-710. doi:10.2134/agronj2004.0102.
- Lin, J., Liu, Y., Li, B., Qian, W., & Niu, J. (2014). Effect of ridge-till and no-till mulching modes in Northeast China on soil physicochemical properties. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 30(23), 58-64.
- Liu, X. B., Zhang, X. Y., Wang, Y. X., Sui, Y. Y., Zhang, S. L., Herbert, S. J., & Ding, G. (2010a). Soil degradation: a problem threatening the sustainable development of agriculture in Northeast China. *Plant, Soil and Environment*, 56(2), 87-97.

- Liu, E. K., Zhao, B. Q., Mei, X. R., So, H. B., Li, J., & Li, X. Y. (2010b). Effects of no-tillage management on soil biochemical characteristics in northern China. *The Journal of Agricultural Science*, 148(2), 217-223.
- Liu, Y., Gao, M., Wu, W., Tanveer, S. K., Wen, X., & Liao, Y. (2013). The effects of conservation tillage practices on the soil water-holding capacity of a non-irrigated apple orchard in the Loess Plateau, China. *Soil and Tillage Research*, 130, 7-12.
- López-Fando, C., & Pardo, M. T. (2012). Use of a partial-width tillage system maintains benefits of no-tillage in increasing total soil nitrogen. *Soil and Tillage Research*, 118, 32-39.
- Mazzoncini, M., Antichi, D., Di Bene, C., Risaliti, R., Petri, M., & Bonari E., (2016). Soil carbon and nitrogen changes after 28 years of no-tillage management under Mediterranean conditions. *Eur. J. Agron.* 77, 156-165. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.02.011>.
- Mei, N., Liu, L., Sui, P. X., Zhang, W. K., Tian, P., Wang, F., ... & Qi, H. (2017). Effects of tillage and straw management on brown soil physical and chemical properties and maize yield. *Journal of Maize Sciences*, 25(6), 87-94.
- Mikha, M.M., Hergert, G.W., Qiao, X. & Maharjan, B. (2020). Soil chemical properties after 12 years of tillage and crop rotation. *Agron. J.* 112, 4395-4406. <https://doi.org/10.1002/agj2.20281>.
- Morris, N. L. (2014). *A review of strip tillage for sugar beet production-A desk study*. British Beet Research Organisation (BBRO) Report 14/04. NIAB, Cambridge.
- Morrison, J. E., Jr. (2002). Strip tillage for crop production in conservation tillage systems. *Applied Engineering in Agriculture*, 18, 129-136.
- Morugán-Coronado, A., Linares, C., Gómez-López, M.D., Faz, A., & Zornoza, R. (2020). The impact of intercropping, tillage and fertilizer type on soil and crop yield in fruit orchards under Mediterranean conditions: A meta-analysis of field studies. *Agric. Syst.* 178, 102736 <https://doi.org/10.1016/j.agry.2019.102736>.
- Nowatzki, J., Endres, G., Dejong-Hughes, J., & Aakre, D. (2017). Strip till for field crop production. NDSU Extension Service, 1370(8).
- NRCS, U. (2005). Residue and Tillage Management No Till/Strip Till/Direct SeedED. Conservation National Conservation Practice Standard, 329.
- Pflugfelder M. (2013). Strip tillage-strengths and weaknesses in practice. KTBL Technical Discussion Group; 15-16 th May 2013. University of Hohenheim, Germany.

- Pittelkow, C. M., Liang, X., Linnquist, B. A., Van Groenigen, K. J., Lee, J., Lundy, M. E., ... & Van Kessel, C. (2015). Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature*, 517 (7534), 365-368.
- Posner, J. L., Casler, M. D., & Baldock, J. O. (1995). The Wisconsin Integrated Cropping Systems Trial: Combining agroecology with production agronomy. *American Journal of Alternative Agriculture*, 10, 98-107.
- Pöhlitz, J., Rücknagel, J., Koblenz, B., Schlüter, S., Vogel, H. J., & Christen, O. (2018). Computed tomography and soil physical measurements of compaction behaviour under strip tillage, mulch tillage and no tillage. *Soil and Tillage Research*, 175, 205-216.
- Šarauskis, E., Buragienė, S., Masilionytė, L., Romaneckas, K., Avižienytė, D., & Sakalauskas, A. (2014). Energy balance, costs and CO₂ analysis of tillage technologies in maize cultivation. *Energy*, 69, 227-235.
- Šarauskis, E., Buragienė, S., Masilionytė, L., Romaneckas, K., Avižienytė, D., & Sakalauskas, A. (2017). Influence of strip tillage equipment parameters on tractor fuel consumption and related CO₂ emissions. *Energy*, 118, 957-968.
- Schiefer, J., Lair, G. J., & Blum, W. E. (2015). Indicators for the definition of land quality as a basis for the sustainable intensification of agricultural production. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(1), 42-49.
- Seitz, S., Goebes, P., Puerta, V.L., Pereira, E.I.P., Wittwer, R., Six, J., van der Heijden, M. G. A., Scholten, T. (2019). Conservation tillage and organic farming reduce soil erosion. *Agron. Sustain. Dev.* 39, 4. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0545-z>.
- Shakoor, A., Shahbaz, M., Farooq, T. H., Sahar, N. E., Shahzad, S. M., Altaf, M. M., Ashraf, M. (2021). A global meta-analysis of greenhouse gases emission and crop yield under no-tillage as compared to conventional tillage. *Sci. Total Environ.* 750, 142299 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142299>.
- Soane, B. D., Ball, B. C., Arvidsson, J., Basch, G., Moreno, F., Roger-Estrade, J. (2012). No till in northern, western and south western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil Tillage Res.* 118, 66-87. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.015>.
- Stajniko, D., Lakota, M., Vucajnk, F., & Bernik, R. (2009). Effects of different tillage systems on fuel savings and reduction of CO₂ emissions in production of silage corn in Eastern Slovenia. *Polish Journal of Environmental Studies*, 18(4), 711-716.

- Vetsch, J. A., & Randall, G.W. (2002). Corn production as affected by tillage system and starter fertilizer. *Agron. J.* 94:532–540. doi:10.2134/ agronj 2002.5320.
- Vetsch, J. A., G. W. Randall, & Lamb, J. A. (2007). Corn and soybean production as affected by tillage systems. *Agron. J.* 99:952-959. doi:10.2134/agronj2006.0149.
- Wang, X., Manning, W., Feng, Z., & Zhu, Y. (2007). Ground-level ozone in China: distribution and effects on crop yields. *Environmental pollution*, 147(2), 394-400.
- WICST. (2017). Wisconsin Integrated Cropping Systems Trial Project. <https://wicst.wisc.edu>. Accessed: May 13, 2017.
- Wolkowski, R., Cox, T., & Leverich, J. (2009). Strip-tillage: A conservation option for Wisconsin farmers. University of Wisconsin-Extension, Cooperative Extension A3883.
- Yang, X. M., Zhang, X. P., Deng, W., & Fang, H. J. (2003). Black soil degradation by rainfall erosion in Jilin, China. *Land Degrad. Dev.* 14, 409-420. <https://doi.org/10.1002/ldr.567>.
- Zhang, S., Li, Q., Zhang, X., Wei, K., Chen, L., & Liang, W. (2012). Effects of conservation tillage on soil aggregation and aggregate binding agents in black soil of Northeast China. *Soil and Tillage Research*, 124, 196-202.
- Zhang, S., Chen, X., Jia, S., Liang, A., Zhang, X., Yang, X., ... & Zhou, G. (2015). The potential mechanism of long-term conservation tillage effects on maize yield in the black soil of Northeast China. *Soil and Tillage Research*, 154, 84-90.
- Zheng, B., Campbell, J. B., Serbin, G., & Galbraith, J. M. (2014). Remote sensing of crop residue and tillage practices: Present capabilities and future prospects. *Soil and Tillage Research*, 138, 26-34.
- Zuber, S. M., Behnke, G. D., Nafziger, E. D., & Villamil, M. B. (2015). Crop rotation and tillage effects on soil physical and chemical properties in Illinois. *Agronomy Journal*, 107(3), 971-978.

5. Bölüm

Farklı Toprak İşleme Tekniklerinin Yakıt Tüketimlerinin Karşılaştırılması

İlknur DURSUN¹

1. Giriş

Tarım alet ve makinalarının yakıt tüketimleri, özellikle sürdürülebilir tarımın sağlanması ve ekonomik verimlilik açısından oldukça önemlidir. Tarım traktörlerinin büyük bir kısmı dizel motorludur. Bu nedenle motorin fiyatları arttıkça yakıt masrafları da artar. Toprak işleme, ekim, bitki koruma, gübre dağıtma ve sulama gibi üretim aşamalarında yakıt tüketiminin artması, hem çevreyi hem de masrafları olumsuz yönde etkiler. Traktör yakıt tüketimi arttıkça küresel ısınmaya katkı sağlayan CO₂ emisyonları çevre kirliliğine yol açar. Tarla trafiği arttığından toprak sıkışması sorunu ortaya çıkar. Yakıt tüketimi üzerinde en fazla etkili olan üretim aşaması, toprak işlemedir.

Ülkemizde toprak işlemede yaygın olarak birincil ve ikincil toprak işlemeden oluşan geleneksel toprak işleme tekniğinden yararlanılır. Geleneksel toprak işlemede, birincil toprak işleme kulaklı pullukla yapılır. İkincil toprak işlemede ise tarla kültivatörü ve hafif diskli tırmık gibi yüzeysel toprak işleme aletleri tercih edilir. Geleneksel toprak işlemede tarla trafiği yüksektir. Bu nedenle hem enerji ihtiyacı hem de yakıt tüketimi ve masraflar oldukça fazladır (Stajnko vd., 2009; Moitzi vd., 2014). İş derinliği, ilerleme hızı, toprak yapısı, nem içeriği, penetrasyon direnci, tarla ayarları ve ekipmanın teknik özellikleri gibi faktörler toprak işlemenin başarısı üzerinde etkilidir (Dursun, 2018). Bu nedenle toprak işleme sırasında tüketilen yakıt miktarının azaltılması, çok karmaşık bir işlemdir.

Geleneksel toprak işlemeye alternatif olarak toprak ve su korumasına yönelik toprak işleme teknikleri geliştirilmiştir. Bu tekniklerin başlıcaları, azaltılmış ve koruyucu toprak işlemedir (Dursun, 2018). Geleneksel toprak işlemede, toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artığı kaplama yüzdesi, $\leq 15\%$ dir. Azaltılmış toprak işlemede, bu değer $15-30\%$ arasında değişir. Koruyucu toprak işlemede ise toprak işleme ve ekimden sonraki bitki yüzey artığı kaplama yüzdesi $\geq 30\%$ dur. Bitki yüzey artığı ve canlı ya da ölü örtü bitkileri, toprak erozyonunu ve nem kaybını önlerler. Aynı zamanda toprağın doğal yapısını da korurlar.

¹ Prof. Dr., Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Ankara, TÜRKİYE, dursun@agri.ankara.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-1957-718X

Azaltılmış ve koruyucu toprak işlemede; geleneksel toprak işlemeye göre toprak işleme yoğunluğu, zaman ihtiyacı, yakıt tüketimi ve masraflar daha azdır. Toprak ve suyu korumayı amaçlayan toprak işleme tekniklerinde, toprak yüzeyi koruyucu örtüyle kaplı olduğundan topraktaki canlı yaşama zarar verilmez. Solucan popülasyonu ve organik madde içeriği artar (Reicosky, 2015). Yalnızca bitki yüzey artışı kaplama yüzdesi, azaltılmış ve koruyucu toprak işlemeyi tam olarak tanımlamak için yetersizdir (Baker vd., 2002). Çünkü, yakıt tüketimini azaltmak için istenilen miktarda geçiş sayısı, iş derinliği veya ilerleme hızı azaltılamaz. Bu amaçla yapılan değişiklikler, ürün verimini olumsuz yönde etkileyebilir.

Azaltılmış toprak işlemede, bazı işlemlerden vazgeçilir veya işlenen alan azaltılır. Toprak, daha az hareketlendirilir. Düşey toprak işleme yapan aletler tercih edilir. Uzun kanatlı kazayağı uç demirli veya karışık tip kanatlı uç demirli çizel ile ağır diskli tırmık gibi ekipmanlar kullanılır. Ayrıca çizel-diskli tırmık, toprak frezesi-tahıl ekim makinası gibi alet-makina kombinasyonlarının kullanımı da yaygındır (Stajanko vd., 2009). Koruyucu toprak işleme, şemsiye terimdir. Başlıca tipleri; malçlı toprak işleme, şeritsel toprak işleme, sırta ekime yönelik toprak işleme, doğrudan ekim ve toprak işlesiz tarımdır (Baker vd., 2002).

Azaltılmış ve koruyucu toprak işleme teknikleri sayesinde su ve rüzgâr erozyonu önlenir. Toprağın nem içeriği korunur. Toprak sıkışması azalır. Toprağın organik madde içeriği artar. CO₂ emisyonu düşer. Enerji ihtiyacı azalır. Yakıt tüketimi ve masraflar düşer. Örneğin; kışlık buğdayda azaltılmış toprak işlemede yakıt tüketimi %15, CO₂ emisyonu ise %29 oranında azalmıştır (Koga vd., 2003).

Bu çalışmada; geleneksel toprak işleme, azaltılmış toprak işleme ve koruyucu toprak işleme tekniklerinin yakıt tüketimlerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bunun için kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Ayrıca yakıt tüketiminin azaltılmasına yönelik çözüm önerileri sunulmuştur.

2. Ekipmanların Yakıt Tüketimleri ve Yakıt Tüketimlerine Etkili Faktörler

Farklı toprak işleme tekniklerinin yakıt tüketimlerinin karşılaştırılması amacıyla Herbek (2000), Wuest vd. (2008), Williams vd. (2009), Martinez vd. (2015), Pittelkow vd. (2015) ve Ibendahl (2016) tarafından çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalarda, yakıt tüketiminin yanı sıra toprak kaybı, maliyet, ürün verimi, çeki gücü ihtiyacı, CO₂ emisyonunun değişimleri de incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda geleneksel toprak işlemenin enerji ihtiyacı yönünden dezavantajlı, azaltılmış ve koruyucu toprak işlemenin ise çevre koruma ve ekonomik verimlilik açısından avantajlı olduğu belirlenmiştir.

Tablo 1' de, tınlı toprak koşulunda çeşitli ekipmanlarla toprak işleme, ekim ve bakım işlemlerinde kullanılan farklı ekipmanların yakıt tüketimleri (L ha⁻¹) verilmiştir (Hanna, 2005). Gerçek yakıt tüketimi; traktör tipi, yaşı ve toprak tekstürü ve

strüktürüne bağlı olarak $\pm$ %35 değişiklik gösterebilmektedir. Yakıt tüketimleri; kulaklı pullukla 17.78 cm iş derinliğinden, diğerlerinde 7.62-15.24 cm iş derinliğinden, toprak işlemede 6.43-9.65 km h⁻¹, ekim ve ilaçlamada ise 8.05 km h⁻¹ ilerleme hızında çalışılması koşulunda ölçülmüştür. Çapa bitkilerinde sıralar arası uzaklık, 76.2 cm alınmıştır. Farklı sıralar arası uzaklıklardaki yakıt tüketimleri bu değere göre ayarlanmalıdır. Ölçümler sırasında patinaj %15' in altındadır (Hanna, 2005). Tablo 1' e göre en yüksek yakıt tüketimi (16.85 L ha⁻¹) kulaklı pullukla sürüm ve dipkazanla derin toprak işlemeden, daha sonra disk-çizel kombinasyonu (12.83 L ha⁻¹) ile çizelle (10.71 L ha⁻¹) çalışmadan elde edilmiştir. En düşük yakıt tüketimi (0.94 L ha⁻¹), tarla pülverizatörüne aittir.

Tablo 1. Farklı ekipmanların yakıt (motorin) tüketimleri (Hanna, 2005)

İşlem/Ekipman		Yakıt Tüketimi (L ha ⁻¹)
Gübre Dağıtma		
Merkezi depolu katı mineral gübre dağıtma makinası		1.41
Susuz amonyak (Sıra aralığı, 76.2 cm)		5.44
Toprak İşleme		
Mısır saplarının parçalanması		4.21
Kulaklı pullukla sürüm		16.85
Dipkazan derin toprak işleme		16.85
Disk-çizel kombinasyonu		12.83
Çizel		10.71
Offset diskli tırmık		8.31
Tandem diskli tırmık	Önceden pullukla sürülmüş tarla	6.45
	Önceden işlenmiş tarla	5.46
	Mısır yüzey artıklı tarla	4.46
Tarla kültivatörü	Önceden pullukla sürülmüş tarla	6.81
	Önceden işlenmiş tarla	6.45
Alet-makina kombinasyonu ile tohum yatağı hazırlığı		8.40
Ekim (Sıra aralığı, 76.2 cm)		
Üniversal ekim makinası (tohum yatağı hazırlanmış)		3.75
Kombine ekim makinası (tohum yatağı hazırlanmış)		5.18
Toprak işleme + ekim makinası kombinasyonu		5.18
Doğrudan ekim makinası		4.46
Tahıl ekim makinası		2.97
Serpme ekim yapan ekim makinası		1.49
Pnömatik tahıl ekim makinası		6.81
Yabancı ot kontrolü (Sıra aralığı, 76.2 cm)		
Tarla pülverizatörü		0.94
Döner çapa		1.89
Ara çapa kültivatörü		3.77

Tablo 2’ de ise ABD’ nin 11 farklı bölgesinde ve diğer bazı ülkelerde yapılan tarla çalışmalarından elde edilen yakıt tüketimleri ($L ha^{-1}$) verilmiştir (Browsers, 1992; Stanila vd., 2013). Yakıt tüketimi; toprak tipi, çalışma koşulları ve iş derinliği gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Yakıt tüketiminin azaltılması için kulaklı pullukla çok derinden sürüm yapılmaması, kulaklı pulluğa alternatif olarak birincil toprak işlemede ağır diskli tırmıktan yararlanılması, dört yıllık ekim nöbetinde 1-2 yıl kulaklı pullukla sürüm yapılmaması ve toprağın optimum nem içeriğinde işlenmesi önerilmektedir (Stanila vd., 2013). Lekavičienė vd. (2019)’ ne göre traktör ilerleme hızı arttıkça birim alana düşen yakıt tüketimi ve CO_2 emisyonu azalmakta ancak iş verimi artmaktadır. Tablo 2’ ye göre en yüksek yakıt tüketimi ($17.49 \pm 2.06 L ha^{-1}$) kulaklı pullukla sürümden daha sonra dipkazanla toprak işlemeden ($14.59 \pm 3.55 L ha^{-1}$) ve çizelle derin çalışmadan ($10.20 \pm 1.50 L ha^{-1}$) elde edilmiştir. En düşük yakıt tüketimi ($1.22 \pm 0.47 L ha^{-1}$), tarla pülverizatöründen bulunmuştur. İşleyici parçaları toprak içinde çalışmayan ekipmanların yakıt tüketimleri, işleyici parçaları toprak içerisinde çalışan ekipmanların yakıt tüketimlerinden daha azdır.

Tablo 2. Farklı ekipmanların yakıt tüketimleri (Browsers, 1992; Stanila vd., 2013)

İşlem/Ekipman	Yakıt Tüketimi ($L ha^{-1}$)
Birincil toprak işleme	
Kulaklı pulluk	17.49 ± 2.06
Çizel ile derinden çalışma	10.20 ± 1.50
Çizel ile toprağı gevşetme	5.80 ± 0.85
Offset diskli tırmık	9.07 ± 3.37
Dipkazan	14.59 ± 3.55
Rototiller	14.97
İkincil toprak işleme	
Tarla kültivatörü, pulluktan sonra	7.29 ± 2.80
Tarla kültivatörü, toprak işlemeden sonra	7.00 ± 1.80
İlaçlama ve gübreleme	
Pülverizatör	1.22 ± 0.47
Kimyasal gübrenin toprağı katılması	7.29 ± 2.80
Kimyasal gübrenin toprağı yayılması	9.82 ± 3.27
Ekim ve dikim	
Ekim	2.81 ± 0.73
Gübre ve ilaç atan kombine ekim makinası	4.86 ± 1.21
Patates dikim makinası	8.89 ± 1.68
Doğrudan ekim makinası	4.02 ± 1.03
Bakım	
Tarla kültivatörü	3.93 ± 0.75
Döner tırmık	1.96 ± 0.37

Tablo 3’ de, kulaklı pulluk, bağımsız diskli tırmık, tarla kültivatörü ve dipkazanla farklı iş derinliğinden çalışma koşulundaki saatlik yakıt tüketimleri ile patinajsız ve patinajlı koşulda birim alana düşen yakıt tüketimleri verilmiştir (Moitzi vd., 2006). Toprak kıvamına bağlı olarak kulaklı pullukla sürümdeki yakıt tüketimi, sürüm derinliğinin her 1 cm’ sinde 0.5-1.5 L ha⁻¹ arasında artar (Kalk ve Hülsbergen, 1999; Filipović vd., 2004; Moitzi vd., 2006; Moitzi vd., 2014). Ölçümler; siltli tınlı, nem içeriği %14.3-18.3 ve hacim ağırlığı 1.35-1.40 g cm⁻³ olan toprak koşullarında dört tekerleği muharrik traktörle yapılmıştır. Pullukla çalışmadaki iş derinliği 18 cm, diğer ekipmanlarla çalışmadaki iş derinliği ise 7-15 cm arasında değişmektedir. İlerleme hızı, tüm toprak işleme ekipmanlarında 6.5-9.5 km h⁻¹ alınmıştır. Patinaj, %15’ in altında tutulmuştur. İş derinliği arttıkça patinaj ve buna bağlı olarak yakıt tüketimi de artmaktadır. Tablo 3’ e göre en yüksek yakıt tüketimi patinajlı koşulda 35 cm sürüm derinliğinden kulaklı pullukla sürümden (18.29 L ha⁻¹) ve daha sonra 45 cm iş derinliğinden dipkazanla çalışmadan (18.47 L ha⁻¹) elde edilmiştir. En düşük yakıt tüketimleri (2.85 L ha⁻¹) ise patinajsız koşulda 0 cm iş derinliğinden tarla kültivatörü ve bağımsız diskli tırmıkla çalışmadan bulunmuştur. Patinaj ve iş derinliği arttıkça yakıt tüketimi artmaktadır.

Tablo 3. Bazı ekipmanlarla çalışmada yakıt tüketimleri (Moitzi vd., 2014)*

Ekipman*	İş derinliği (cm)	Patinaj (%)	Yakıt tüketimi		
			Saatlik (L h ⁻¹)	Patinajlı (L ha ⁻¹)	Patinajsız (L ha ⁻¹)
Kulaklı pulluk	18	3.34	14.61	12.82	12.49
	20	6.03	15.85	13.32	12.38
	30	5.84	20.36	17.55	16.69
	35	6.12	20.67	18.29	17.23
Bağımsız diskli tırmık	0	0.03	7.14	2.85	2.85
	8	3.40	16.11	6.53	6.31
	10	4.33	17.74	7.20	6.89
	13	6.00	20.40	8.40	7.91
Tarla kültivatörü	0	0.03	7.14	2.85	2.85
	13	2.02	17.03	6.78	6.63
	15	3.47	20.45	8.63	8.35
Dipkazan	20	4.29	8.90	8.70	8.32
	30	5.84	11.41	11.21	10.55
	33	6.93	11.87	11.97	11.14
	40	10.06	14.32	15.05	13.53
	45	16.38	16.43	18.47	15.45

*Kulaklı pulluğun iş genişliği 1.70 m, bağımsız diskli tırmık, tarla kültivatörü ve dipkazanın iş genişliği 3 m’ dir. Kulaklı pulluk ve dipkazanla işlenen tarlanın önceki ürünü mısır, bağımsız diskli tırmık ve tarla kültivatörü ile işlenen tarlanın önceki ürünü ise kışlık kolzadır.

Toprak işlemede yakıt tüketimini etkileyen başlıca faktörler, dört ana başlık altında sınıflandırılabilir:

I. Toprak ve Tarla Özellikleri

- Yakıt tüketimi üzerinde toprağın tekstürü, strüktürü, organik madde içeriği, nem içeriği, kıvamı, penetrasyon direnci, hacim ağırlığı ve porozitesi etkilidir.
- Killi, nem içeriği ve penetrasyon direnci yüksek olan topraklarda yakıt tüketimi artar (Dedousis, 2007; Swarnkar ve Sharma, 2009). Çünkü bu tip topraklarda toprağın işlenmesi güçtür. Ağır bünyeli topraklarda yakıt tüketimi artar.
- Toprak nem içeriğinin %19.5 olması koşulunda yapılan toprak işlemedeki yakıt tüketimi, nem içeriği %10.7 ve %31.5 olan koşullardaki çalışmalardan elde edilen yakıt tüketimlerine kıyasla daha azdır (Sirhan vd., 2002). Bu sonuca göre toprak nem içeriğinin belirli bir değerden daha düşük ya da yüksek olması koşulunda yakıt tüketimi artmaktadır. Yakıt tüketimini azaltmak için toprak işleme tavına dikkat edilmelidir.
- Yakıt tüketimi ile çeki kuvveti arasında pozitif ilişki vardır (Lekavičienė vd., 2019). Çeki kuvveti üzerinde toprağın tekstürü, nem içeriği, penetrasyon direnci ve ekipmanın iş derinliği etkilidir. Mouazen ve Ramon' a (2002) göre; toprağın nem içeriği, özgül ağırlığı ve iş derinliği arttıkça çeki kuvveti artar.
- Tarlanın eğimi ve büyüklüğü, enerji ihtiyacını etkiler. Büyük tarlalarda, birim alan başına düşen yakıt tüketimi ve parsel başlarındaki dönüş süreleri daha azdır.
- Tarlanın önceden işlenmiş olması, önceki bitki cinsi ve bitki yüzey artığı kaplama yüzdesi, yakıt tüketimi üzerinde etkilidir.

II. Bitki ve Toprak İşleme Teknikleri

- Ana ya da ticari bitkinin istediği koşullar, yakıt tüketimini etkiler.
- Gevrek olmayan bitki yüzey artıklı tarlalarda toprak işleme güçleştiğinden yakıt tüketimi artar. Önceki ürünü gevrek olan bitki yüzey artıklı tarlalarda ise yakıt tüketimi daha azdır.
- Geleneksel toprak işlemede kulaklı pullukla sürüm yapıldığından yakıt tüketimi artar. Çünkü kulaklı pullukla sürümdeki çeki kuvveti ihtiyacı diğer ekipmanlardan oldukça yüksektir. Toprak işlemez tarımda ise tarla trafiği azaldığından yakıt tüketimi de azalır.

III. Traktör ve Ekipman Özellikleri

- Traktör motor gücü, çeki etkinliği, teknolojisi, rölanti süresi, patinaj gibi faktörler yakıt tüketimi üzerinde etkilidir.
- Modern traktörlerin yakıt verimlilik oranı, eski tip traktörlerden %50 daha fazladır.
- Gereksiz rölanti süresi, yakıt kaybına neden olur. Gereksiz rölanti süresi, traktör motorunun iş yapmadan çalıştığı süre olarak tanımlanır. Ancak bu sürede, yakıt tüketimi tamamen durmaz. Toprak işlemede, rölanti süresinin azalması; yakıt tüketimi, maliyet ve çevre koruma açısından önemlidir.
- Patinaj %15' i aşarsa yakıt verimliliği, ciddi şekilde düşer.
- Traktör-equipman uyumu, yakıt tüketimi üzerinde etkilidir.
- Kullanılan ekipmanların teknik ve yapısal özellikleri, yakıt tüketimine etki eder.
- Yakıt tüketimi üzerinde iş derinliği ve iş genişliği gibi çalışma ayarları etkilidir. İş derinliği artarsa, çeki kuvveti ihtiyacı yükseldiğinden yakıt tüketimi artar.

IV. İşletme Koşulları

- İlerleme hızı ve sürücünün yeteneği, yakıt tüketimini etkiler.
- Deneyimli sürücü, hızı optimize ederek yakıt tasarrufu sağlar (Kalk ve Hülsbergen, 1999; Koga vd., 2003; Filipović vd., 2004; Hanna, 2005; Moitzi vd., 2006; McLaughlin vd., 2008; Stanila vd., 2013; Moitzi vd., 2014; Leghari vd., 2016).

3. Geleneksel, Azaltılmış ve Koruyucu Toprak İşleme Tekniklerinin Yakıt Tüketimlerinin Karşılaştırılması

Buğday, mısır, soya fasulyesi ve pamuk tarımında kullanılan toprak işleme tekniklerinin toplam yakıt tüketimleri, farklı toprak ve iklim koşullarına göre bölgesel farklılıklar gösterir. Örneğin; Marmara Bölgesi'nde toprakların ağır bünyeli olması, Doğu Anadolu Bölgesi'nde ise düşük sıcaklık koşulları nedeniyle geleneksel toprak işleme daha fazla tercih edildiğinden yakıt tüketimi artmaktadır. Buna karşın Ege Bölgesi'nde toprakların hafif bünyeli olması ve yoğun pamuk tarımı yapılması nedeniyle azaltılmış toprak işleme yaygın olarak kullanılmakta ve bu durum yakıt tüketimini azaltmaktadır. Akdeniz Bölgesi'nde ise mısır ve pamuk tarımının yoğun olarak yapılmasına rağmen toprak nem içeriğinin yüksek olması nedeniyle yakıt tüketimi artmaktadır. İç Anadolu Bölgesi'nde, tahıl tarımında doğrudan ekimin yaygınlaşması, yakıt tüketiminin azalmasını sağlamaktadır. Karadeniz Bölgesi'nde nemli iklim koşulları ve erozyon tehlikesi nedeniyle

koruyucu toprak işleme uygulandığından yakıt tüketimi düşmektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde ise modern tarım uygulamalarına geçişle birlikte yakıt tüketimi optimize edilmiştir.

Filipović vd. (2006), siltli tınlı toprak koşullarında yaptıkları araştırma sonucunda; mısır, buğday, soya ve arpada en düşük yakıt tüketiminin toprak işlemez tarımdan, en yüksek yakıt tüketiminin ise geleneksel toprak işlemeden elde edildiği bulunmuştur. Tablo 4' te; mısır, buğday, soya ve arpa tarımında uygulanan farklı toprak işleme tekniklerinin yakıt tüketimleri verilmiştir (Filipović vd., 2006). İncelenen ürünler arasında; her üç toprak işleme tekniğinde de en düşük yakıt tüketimi arpadan, en yüksek yakıt tüketimi ise mısırdan elde edilmiştir. Toprak işlemez tarıma göre geleneksel toprak işlemedeki yakıt tüketimi, mısırdan %87.94, buğdayda %88.06, soyada %87.82 ve arpada ise %87.95 daha fazladır. Benzer şekilde geleneksel toprak işlemedeki yakıt tüketimi; azaltılmış toprak işlemeden mısırdan %42.92, buğdayda %36.69, soyada %42.16 ve arpada ise %35.32 daha fazladır. Bu sonuçlara göre geleneksel toprak işleme ile azaltılmış toprak işleme ve toprak işlemez tarım arasında yakıt tüketimi yönünden önemli farklar bulunmaktadır.

Tablo 4. Mısır, buğday, soya ve arpada farklı toprak işleme tekniklerinin yakıt tüketimleri (Filipovic et al., 2006)

Toprak işleme tekniği	Ekipman/işlem	Yakıt tüketimi (L ha ⁻¹)			
		Mısır	Buğday	Soya	Arpa
Geleneksel toprak işleme	Kulaklı pulluk	35.52	28.16	34.45	27.50
	İki kez diski tırmık	15.02	12.76	14.76	12.24
	Alet kombinasyonu	6.93	5.26	6.51	5.08
	Ekim makinası	3.52	3.34	3.50	3.31
Toplam		60.99	49.52	59.22	48.13
Azaltılmış toprak işleme	Çizel	22.84	20.80	22.43	20.67
	Alet kombinasyonu (Multitiller)	8.45	7.21	8.32	7.15
	Ekim makinası	3.52	3.34	3.50	3.31
Toplam		34.81	31.35	34.25	31.13
Toprak işlemez	Doğrudan ekim makinası	7.35	5.91	7.21	5.80

Stajenko vd. (2009) tarafından orta ağır bünyeli toprak koşullarına sahip olan iki farklı bölgede, silajlık mısır tarımında yakıt tüketimlerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma yapılmıştır. Tablo 5' te bu araştırmanın sonuçları verilmiştir. Tablo 5' e göre; en düşük yakıt tüketimi doğrudan ekimden en yüksek yakıt tüketimi ise geleneksel toprak işlemeden elde edilmiştir. Bölge 1' de uygulanan geleneksel toprak işleminin yakıt tüketimi, doğrudan ekimden %78.41, azaltılmış toprak

işlemeden ise %48.68 daha fazladır. Bölge 2’ de geleneksel toprak işlemede yakıt tüketimi, doğrudan ekimden %80.31, azaltılmış toprak işlemeden %52.36 daha fazladır. Ayrıca tüm toprak işleme tekniklerinde Bölge 2’ deki yakıt tüketimleri, Bölge 1’ den daha fazladır. Bu sonuç, bölgesel farklılıkların toprak işleme tekniklerinin yakıt tüketimlerinde farklılığa neden olabileceğini göstermektedir. İklim koşulları, toprağın fizikomekanik özellikleri, kullanılan ekipmanların teknik özellikleri ve tarla ayarları gibi faktörler sonuç üzerinde etkili olmaktadır. Geleneksel toprak işlemede yakıt tüketiminin artması, atmosferde salınan CO₂ miktarının da artmasına yol açmaktadır. Yapılan araştırma sonucunda; siltli killi tınlı toprak koşulunda CO₂ emisyonunun 225.03 kg ha⁻¹, siltli tınlı toprak koşulunda ise 188.06 kg ha⁻¹ olduğu belirlenmiştir. Doğrudan ekimde, CO₂ emisyonu belirgin şekilde azalmaktadır.

Tablo 5. Silajlık mısır tarımında geleneksel, azaltılmış toprak işleme ve doğrudan ekimdeki yakıt tüketimleri (Stanjko vd., 2009)

Toprak işleme tekniği	Ekipman/işlem	Yakıt tüketimi (L ha ⁻¹)	
		Bölge 1*	Bölge 2*
Geleneksel toprak işleme	Kulaklı pulluk	28.15	34.68
	Döner tırmık	28.06	34.09
	Kombine pnömatik hassas ekim makinası	12.18	13.06
Toplam		68.38	81.83
Azaltılmış toprak işleme	Çizel	22.84	25.81
	Kombine pnömatik hassas ekim makinası	12.25	13.12
Toplam		35.09	38.93
Doğrudan ekim	Tarla pülverizatörüyle herbisit uygulaması	2.58	2.69
	Kombine pnömatik hassas doğrudan ekim makinası	12.18	13.42
Toplam		14.76	16.11

* Bölge 1, siltli tınlı; Bölge 2 ise siltli killi tınlı toprak bünyesine sahiptir.

Tablo 6’ da; küçük, orta ve büyük olmak üzere 2 ha, 10 ha ve 20 ha büyüklüğündeki tarlalarda uygulanan farklı toprak işleme ve ekim teknikleriyle çalışmada ölçülen yakıt tüketimleri verilmiştir (Sarauskis vd., 2012). Araştırmada; iki farklı geleneksel toprak işleme, üç farklı azaltılmış toprak işleme ve doğrudan ekim tekniği karşılaştırılmıştır.

Tablo 6. Üç farklı büyüklükteki tarlada, çeşitli toprak işleme ve ekim teknikleriyle çalışmada ölçülen yakıt tüketimleri (Sarauskis vd., 2012)

Toprak işleme tekniği	Ekipman/işlem	Yakıt tüketimi (L ha ⁻¹)		
		2 ha	10 ha	20 ha
Geleneksel toprak işleme-1 (GTİ-1)	Kulaklı pulluk + Diskli tırmık + Tahıl ekim makinası	37	35	34
Geleneksel toprak işleme-2 (GTİ-2)	Birincil toprak işleme: Döner kulaklı pulluk + Ekim öncesi toprak işleme: Alet kombinasyonu + Tahıl ekim makinası	34	33	32
Azaltılmış toprak işleme-1 (ATİ-1)	Çizel + Diskli tırmık + Malça ekim	32	29	29
Azaltılmış toprak işleme-2 (ATİ-2)	Diskli anız bozma tırmığı + Alet kombinasyonu + Malça ekim	22	20	18
Azaltılmış toprak işleme-3 (ATİ-3)	Rotovator + Malça ekim	19	18	17
Doğrudan ekim (DE)	Doğrudan ekim makinası	7	7	6

Tablo 6’ dan anlaşılabacağı gibi geleneksel toprak işlemenin yakıt tüketimi, azaltılmış toprak işleme ve doğrudan ekimden daha fazladır. Doğrudan ekimin yakıt tüketimi, azaltılmış toprak işlemenin yakıt tüketiminden 2.5-4.8 kat, geleneksel toprak işlemenin yakıt tüketiminden ise 5 kat daha azdır. GTİ-1’ in yakıt tüketimi ATİ-1’ in yakıt tüketiminden %14.70, ATİ-2’ nin yakıt tüketiminden %47.06, ATİ-3’ nin yakıt tüketiminden %50 ve DE’ nin yakıt tüketiminden ise %82.32 daha fazladır. Kulaklı pulluğun yer aldığı geleneksel toprak işleme ve ekim tekniklerinde, yalnızca kulaklı pullukla sürümde tüketilen yakıt miktarı, toplam yakıt tüketiminin yaklaşık %70’ ini oluşturmaktadır.

Tarla büyüklüğü de yakıt tüketimini etkilemektedir. Tarla büyüklüğünün 2 ha’ dan 20 ha’ a çıkması durumunda yakıt tüketimi, yaklaşık olarak %10-20 düzeyinde azalmıştır. Tarla büyüklüğü arttıkça yakıt tüketiminin azalmasının başlıca nedeni, küçük tarlalarda dönme süresinin daha fazla olmasıdır. Büyük tarlalarda, makina hareketleri daha verimli olmakta ve dönüş manevraları azalmaktadır.

Tablo 6’ dan yakıt tüketimi en yüksek olan toprak işleme tekniğinin geleneksel toprak işleme olduğu; azaltılmış toprak işlemenin geleneksel toprak işlemeye göre %40 oranında yakıt tasarrufu sağladığı; yakıt tüketimi en düşük olan toprak işleme tekniğinin doğrudan ekim olduğu ve tarla büyüklüğü arttıkça yakıt tüketiminin azaldığı anlaşılmaktadır.

4. Sonuç ve Öneriler

Traktör yakıt tüketimi, özellikle çevre koruma ve maliyet üzerinde etkilidir. Toprak işlemede yakıt tüketimi; ilerleme hızı, iş derinliği, toprağın tekstürü ve fizikomekanik özellikleri, toprak işleme tekniği, ekipmanların teknik özellikleri, tarlanın büyüklüğü ve iklim koşulları gibi birçok faktöre bağlıdır.

Yapılan literatür araştırması sonucunda; toprak işleme tekniklerinin yakıt tüketimi yönünden önemli farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle geleneksel toprak işleme, azaltılmış toprak işleme ve koruyucu toprak işleme teknikleri arasında yakıt tüketimi yönünden belirgin farklar bulunmaktadır. Geleneksel toprak işlemede toplam yakıt tüketimi, azaltılmış ve koruyucu toprak işlemeden daha yüksektir. Bu nedenle geleneksel toprak işlemeye alternatif olarak azaltılmış ve koruyucu toprak işleme tekniklerine yönelmek maliyetlerin azalması ve çevre korumanın sağlanması açısından faydalı olacaktır.

Yakıt tüketiminin azaltılmasına yönelik başlıca öneriler, aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır:

- I. Toprak işleme tekniği:** Tarımsal işletmelerde, özellikle yakıt verimliliğinin ön planda tutulduğu durumlarda, geleneksel toprak işleme yerine azaltılmış veya koruyucu toprak işleme teknikleri tercih edilmelidir. Toprağı devirmeden düşey yönde işleyen çizel, diskli anız bozma tırmığı gibi aletler kullanılmalıdır.
- II. İş derinliği ayarı ve patinaj:** İş derinliğinin optimizasyonu ve patinajın azaltılması sayesinde yakıt tüketimi azaltılabilir.
- III. Toprak nem içeriği ve ilerleme hızı:** Nem içeriğinin çok yüksek olduğu koşulda toprak işleme yapılması koşulunda hem yakıt tüketimi artar hem de toprak sıkışmasına yol açılır. Toprak işleme, toprak kıvamının yarı katı bölgede olduğu ya da % 40-60 nem içerdiği koşulda yapılmalıdır. Bu sayede iş kalitesi artar ve yakıt tüketimi azalır. En düşük yakıt tüketimi, optimum traktör ilerleme hızında çalışmada elde edilir. Gereğinden fazla yüksek ilerleme ya da düşük ilerleme hızlarında çalışmada yakıt tüketimi artar. Aynı zamanda iş kalitesi bozulur. Bu nedenle önerilen optimum ilerleme hızlarında çalışılmalıdır.
- IV. Geniş kapsamlı araştırmalar:** Farklı toprak tipleri ve uygulama koşullarında, uzun dönemli karşılaştırmalı araştırmalar yapılmalı ve böylece bölgesel farklılıklar net olarak ortaya konulmalıdır.
- V. Çiftçilerin bilgilendirilmesi:** Çiftçilere yakıt tüketiminin azaltılması konusunda teorik ve uygulamalı eğitimler verilmelidir.

Azaltılmış ve koruyucu toprak işleme teknikleri, geleneksel toprak işlemeye kıyasla hem yakıt tüketiminin ve maliyetin daha düşük olması hem de toprak ve suyun korunması yönünden daha avantajlıdır. Bu nedenle söz konusu tekniklerin yaygınlaşması oldukça önemlidir. Bilimsel araştırmalar ve teknoloji geliştirme çalışmalarıyla azaltılmış ve koruyucu toprak işleme tekniklerinin daha da iyileştirilmesi, tarımsal üretimde sürdürülebilirliğin sağlanmasında önemli bir rol oynayacaktır.

Kaynaklar

- Baker, C. J., Saxton, K. E., & Ritchie, W. R. (1996). No-tillage seeding: science and practice. 2nd ed. Oxford, UK: CAB International.
- Browsers, W. (1992). Chapter 10 - Agricultural field equipment. In R. C. Fluck (Ed.), *Energy in farm production: A volume in energy in world* (pp. 117-129). Elsevier. ISBN: 978-0-444-88681-1.
- Dedousis, A. P. (2007). An Investigation Into the Design of Precision Weeding Mechanisms for Inter-and Intra-row Weed Control (Doctoral dissertation, Cranfield University).
- Dursun, İ. (2018). *Toprak işleme alet ve makinaları* (Yayın No: 1644, Ders Kitabı: 595). Ankara: Ankara Üniversitesi Yayınları.
- Filipović, D., Kosutić, S., & Gospodarić, Z. (2004). Energy efficiency in conventional tillage of clay. In *The Union of Scientists Rouse: Energy Efficiency and Agricultural Engineering* (pp. 85-91). 3-5 June 2004, Rouse, Bulgaria.
- Filipović, D., Kosutić, S., Gospodarić, Z., Zimmer, R., & Banaj, D. (2006). The possibilities of fuel savings and the reduction of CO₂ emissions in the soil tillage in Croatia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 115(1-4), 290-294.
- Hanna, M. (2005). *Fuel required for field operations*. Ag Decision Maker, PM 709, File A3-25. Iowa State University Extension. Retrieved from <http://www.extension.iastate.edu/agdm>
- Kalk, W. D., & Hülsbergen, K. J. (1999). Dieselkraftstoffeinsatz in der Pflanzenproduktion. *Landtechnik*, 54(6), 332-333.
- Koga, N., Tsuruta, H., Tsuji, H., & Nakano, H. (2003). Fuel consumption-derived CO₂ emissions under conventional and reduced tillage cropping systems in northern Japan. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 99(1-3), 213-219.
- Lekavičienė, K., Šarauski, E., Naujokienė, V., Buragienė, S., & Kriauciūnienė, Z. (2019). The effect of the strip tillage machine parameters on the traction force, diesel consumption and CO₂ emissions. *Soil & Tillage Research*, 192, 95-102.
- Leghari, N., Oad, V. K., Shaikh, A. A., & Soomro, A. A. (2016). Analysis of different tillage implements with respect to reduced fuel consumption, tractor operating speed and its wheel slippage. *Sindh University Research Journal (Science Series)*, 48(1), 37-40.
- McLaughlin, N. B., Drury, C. F., Reynolds, W. D., Yang, X. M., Li, Y. X., Welacky, T. W., & Stewart, G. (2008). Energy inputs for conservation and conventional primary tillage implements in a clay loam soil. *Transactions of the ASABE*, 51(4), 1153-1163.

- Moitzi, G., Weingartmann, H., & Boxberger, J. (2006). Effects of tillage systems and wheel slip on fuel consumption. In *The Union of Scientists Rouse: Energy Efficiency and Agricultural Engineering* (pp. 237-242). 7-9 June 2006, Rouse, Bulgaria.
- Moitzi, G., Wagentristl, H., Refenner, K., Weingartmann, H., Piringer, G., Boxberger, J., & Gronauer, A. (2014). Effect of working depth and wheel slip on fuel consumption of selected tillage implements. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 16(1), 182-190.
- Mouazen, A. M., & Ramon, H. (2002). A numerical–statistical hybrid modelling scheme for evaluation of draught requirements of a subsoiler cutting a sandy loam soil, as affected by moisture content, bulk density and depth. *Soil and Tillage Research*, 63(3-4), 155-165.
- Reicosky, D. C. (2015). Conservation tillage is not conservation agriculture. *Journal of Soil and water conservation*, 70(5), 103A-108A.
- Sarauskis, E., Buragiene, S., Romanekas, K., Sakalauskas, A., Algirdas, J., Vaiciukevicius, E., & Karayel, D. (2012). Working time, fuel consumption and economic analysis of different tillage and sowing systems in Lithuania. In *Engineering for Rural Development* (pp. 52-59). 24-25 May 2012, Jelgava, Latvia.
- Sirhan, A. A., Battikhi, A., & Snobar, B. (2002). Management of primary tillage operation to reduce tractor fuel consumption.
- Stajnko, D., Lakota, M., Vučajnk, F., & Bernik, R. (2009). Effects of different tillage systems on fuel savings and reduction of CO₂ emissions in production of silage corn in Eastern Slovenia. *Polish Journal of Environmental Studies*, 18(4), 711-716.
- Stanila, S., Drocaș, I., Molnar, A., & Ranta, O. (2013). Studies regarding comparative fuel consumption at classical and conservation tillage. *ProEnvironment*, 6, 199-202.
- Swarnkar, R., & Sharma, A. K. (2009). Soil moisture effects on energy requirement for different conservation tillage systems in sandy loam soil. *IE (I) Journal-AG*, 90, 39-42.

6. Bölüm

Nanohidrojellerin Bitki Kök Bölgesindeki Nemin Korunması ve Sürdürülebilir Tarım Uygulamaları Üzerindeki Rolü

Sabqatullah ALIPOUR¹, Ulaş ŞENYİĞİT^{*2}

Özet

İklim değişikliği, kuraklık ve su kaynaklarının azalması nedeniyle tarımsal üretimi tehdit eden en önemli çevresel sorunlardan biridir. Bu çalışmada, nanohidrojellerin bitki kök bölgesinde nemin korunması ve sürdürülebilir tarım uygulamaları üzerindeki rolünü incelemektedir. Bu bağlamda, çevresel uyaranlara tepki verebilen nano ölçekli, üç boyutlu polimerik malzemeler olan nanohidrojel, kök bölgesinde nemi tutma, toprak özelliklerini iyileştirme ve su eksikliği koşullarında bitki büyümesini destekleme yetenekleri nedeniyle dikkat çekmektedir. Söz konusu çalışmada, sentetik, yarı sentetik ve doğal kaynaklardan elde edilen çeşitli nanohidrojel türlerini incelemekte ve %200 ila %8000'in üzerinde şişme kapasitesiyle önemli miktarda suyu emme ve tutma yeteneklerini vurgulamaktadır. Çok sayıda çalışma, nanohidrojellerin tarım topraklarına, özellikle kumlu topraklara eklendiğinde, tarla kapasitesini önemli ölçüde iyileştirdiğini, bitkilerin kullanabileceği su miktarını artırdığını ve nem kaybını azalttığını göstermiştir. Gübreler ve nanopartiküllerle entegrasyonlarının, besin maddelerinin kullanılabilirliğini, fotosentezi ve kök gelişimini artırarak bitki verimini iyileştirdiği de gösterilmiştir. Kısıtlı sulama koşulları altında farklı bitkilerde nanohidrojel kullanımının değerlendirilmesi, verimde önemli bir artış olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, kuraklık stresini hafifletme yetenekleri, stoma fonksiyonunun iyileştirilmesi, ozmotik düzenleme ve antioksidan savunma mekanizmalarının aktivasyonu ile bağlantılıdır. Ancak, nanohidrojel uygulamalarının etkisi toprak yapısı, uygulama dozu ve çevre koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterdiğinden, daha fazla arazi denemesi ve optimizasyon çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Sonuç olarak, nanohidrojeller, su kaynaklarının sınırlı olduğu ortamlarda bitki kök

¹ Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Ziraat Fakültesi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, 32000, Türkiye, alipour.sbh@gmail.com ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-9686-5409>

² *Sorumlu yazar: Prof. Dr., ulassenyigit@isparta.edu.tr
ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-4864-0790>

bölgesindeki nemi koruyarak tarımda sürdürülebilirliği artıran yenilikçi malzemeler olarak öne çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Nanohidrojel; toprak nemi; bitki kök bölgesi; kuraklık; sürdürülebilir tarım

ABSTRACT

Climate change, drought, and the depletion of water resources are among the most significant environmental issues threatening agricultural production. This study assesses the role of nanohydrogels in maintaining moisture in the plant root zone and their impact on sustainable agricultural practices. In this context, nanohydrogels nanoscale, three dimensional polymeric materials capable of responding to environmental stimuli have drawn attention due to their ability to retain moisture in the root zone, improve soil properties, and support plant growth under water deficient conditions. The study examines various types of nanohydrogels obtained from synthetic, semi-synthetic, and natural sources, highlighting their ability to absorb and retain significant amounts of water with swelling capacities ranging from 200% to 8000%. Numerous studies have shown that when nanohydrogels are added to agricultural soils, particularly sandy soils, they significantly improve field capacity, increase the amount of water available to plants, and reduce moisture loss. It has also been shown that fertilizers and their integration with nanoparticles improve plant yield by increasing nutrient availability, photosynthesis, and root development. The evaluation of nanohydrogel use in different plants under limited irrigation conditions has revealed a significant increase in yield. Additionally, their ability to alleviate drought stress is associated with improved stomatal function, osmotic regulation, and activation of antioxidant defense mechanisms. However, the effect of nanohydrogel applications varies depending on soil structure, application rate, and environmental conditions, necessitating further field experiment and optimization studies. In conclusion, nanohydrogels emerge as innovative materials that enhance sustainability in agriculture by preserving moisture in the plant root zone in environments with limited water resources.

Keywords: Nanohydrogel; soil moisture; plant root zone; drought; sustainable agriculture

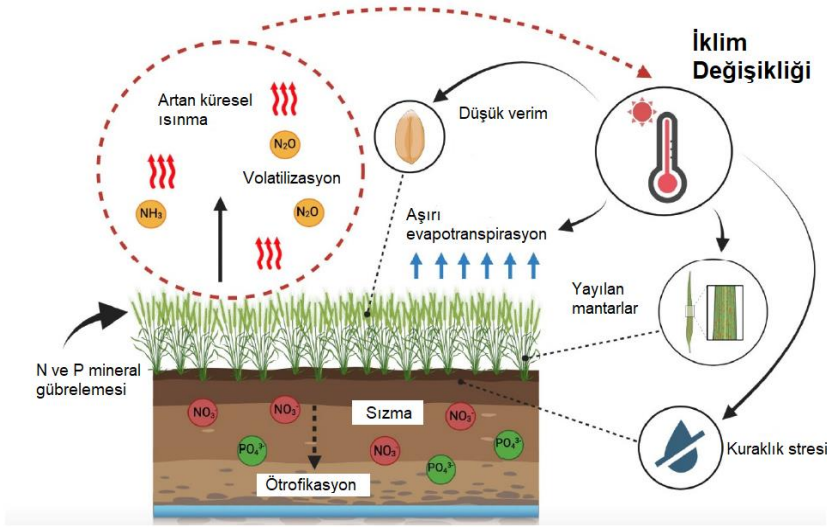
1. GİRİŞ

Su kıtlığı ve kuraklık, küresel sürdürülebilirliği tehdit eden en ciddi iklim sorunları arasında yer almaktadır. Su kıtlığı, bir ülkede veya bölgede mevcut suyun kişi başına düşen miktarının yılda 500 ila 1000 m³ arasında olması durumunda ortaya çıkarken, gerçek su kıtlığı ise 500 m³ altındaki seviyeler olarak tanımlanmaktadır (Pereira vd., 2009). Bu durum, su kaynakları üzerindeki baskıyı artıran hızlı nüfus artışı ve iklim değişikliği nedeniyle daha da kötüleşmektedir (Bauli vd., 2021). Artan sıcaklıklar, değişen yağış modelleri ve uzun süreli kuraklıklar doğal su döngüsünü bozarak su mevcudiyetini her zamankinden daha belirsiz hale getirmiştir. Buna ek olarak, nüfus artışı ve ekonomik kalkınma küresel su talebini önemli ölçüde artırmıştır. Tatlı su kullanımının 1900 yılında 500 milyar metreküpten 2017 yılında yaklaşık 3,9 trilyon metreküpe yükseldiği tahmin edilmektedir (Ingrao vd., 2023). Tüm tatlı su tüketicileri arasında en büyük paya sahip olan tarım sektörü su kaynaklarının yaklaşık %70'ini kullanılırken, sanayi ve kentsel alanlar sırasıyla %22 ve %8 oranında su tüketmektedir. Gıda kaynaklarına yönelik artan talep göz önüne alındığında, tarım arazilerinin genişletilmesi ve birim alan başına verimin artırılması bir gerekliliktir. Sulanan araziler ekili arazilerin sadece %24'ünü oluştururken, küresel gıda üretiminin %40'ı sulanan arazilerden karşılanmaktadır (Qin vd., 2024). Sulama suyu talebinin 2030 yılına kadar %30 artarak 750 km³'e ulaşması beklenmektedir (Q. Li vd., 2022).

Tarım, su kaynaklarının en büyük tüketicisi olmasına rağmen, günümüzde iklim değişikliği ve buna bağlı olarak büyüme mevsimlerinde gerçekleşen kısa kurak dönemlerin sıklaşması nedeniyle, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde bitkiler su kıtlığına karşı daha savunmasız kalmaktadır (Şekil 1) (Dutta vd., 2020). Kuraklık toprak nemini azaltmakta ve bitki büyümesini sınırlamakta ve bu durum gıda üretiminin azalmasına ve ekonomik dengesizliğe yol açmaktadır. Kuraklık şu anda dünyadaki tarım alanlarının yaklaşık %20'sini kapsamaktadır. Kuraklık, toplam diğer doğal afetlerin %5'ini oluşturmasına rağmen, kayıpları bakımından tüm doğal afet kayıplarına kıyasla yaklaşık yüzde 30'a ulaşmaktadır (Mesbahzadeh vd., 2020). Özellikle, 2015 yılında yaklaşık 10 milyon insanın kuraklık nedeniyle açlıkla karşı karşıya kaldığı bildirilmiştir (Mansoor vd., 2022). Su kıtlığı ve kuraklığa ek olarak tarım üretim, derine süzülme ve yüzey akış gibi bilinçsiz sulama uygulamaları nedeniyle oluşan yüksek su kaybı, düşük toprak nemi tutma, besin yıkanması, toprak tuzluluğu ve aşırı kimyasal gübre kullanımı gibi çok sayıda başka zorlukla da karşı karşıya kalmaktadır (Sharma vd., 2024).

Bu nedenle, su kıtlığı ve kuraklık su kaynaklarını ve ekili alanları etkileyerek kök bölgesindeki nemin korunmasını da azaltmaktadır. Günümüzde, bu

koşulların olumsuz etkilerini azaltmak için basınçlı sulama ve malçlama gibi uygun yöntemler kullanılarak suyun daha etkin kullanılması sağlansa da, bu yöntemler topraktaki suyu uzun süre depolaması için yeterli olmamaktadır. Bu nedenle, araştırmacılar kök bölgesinde nemin korunmasını artırmak ve kuraklığın etkilerini hafifletmek için yenilikçi malzemeleri önermişlerdir; bunlardan biri de nanohidrojel kullanımıdır. Bu derleme, nanohidrojellerin su tasarrufu ve toprak yapısının iyileştirilmesindeki rolünü araştırmayı, kök bölgesinde nem tutma kapasitesini artırma potansiyellerini değerlendirmeyi ve sulama talebini azaltma ve tarımsal sürdürülebilirliğin üzerindeki etkilerini keşfetmeyi amaçlamaktadır. Bu derlemenin bir diğer amacı da, özel formülasyonlarından bağımsız olarak nanohidrojellerin suyun toprakta depolanmasını artırma mekanizmalarını değerlendirmektir.

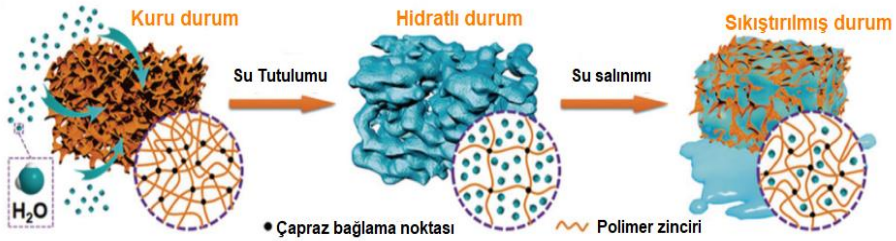


Şekil 1: İklim değişikliğinin bitki verimi üzerindeki etkileri (Quintarelli vd., 2024).

2. NANOİDROJEL

Nanohidrojeller, 3 boyutlu, esneklik, genişleyebilirlik, biyolojik olarak parçalanabilirlik, iyonik iletkenlik ve elektrokimyasal aktivite gibi benzersiz özellikleri nedeniyle su kaynakları yönetiminde, su ve gübre tüketiminin optimizasyonunda yeni bir çözüm olarak önerilmektedir. Genel olarak nanohidrojeller, 10 ila 1000 nm arasında değişen boyutları ve uygun çözücülerde şişebilen, çapraz bağlı polimer ağları olarak tanımlanmaktadır. Nanohidrojeller tarafından toprak içerisinde suyun tutulması ve salınmasına

ilişkin görsel Şekil 2’de verilmiştir (Guerrero-Ramírez vd., 2008; Zhao vd., 2020; Wang vd., 2024). Su, toprak ve çevre iyileştirme alanlarında potansiyel uygulamaları bulunan nanohidrojellerin bir diğer önemli özelliği de pH, ışık ve elektrik iletkenlik gibi çevresel koşullara tepki vermesidir (Shaghaleh vd., 2024; Demirkıran & Sohrabi, 2024). Özellikle pH’daki değişimler polimerlerin içindeki hareketli iyonların sayısında değişikliğe neden olmakta ve bu da hacminin artmasına veya azalmasına yol açabilmektedir. Bu reaksiyon çoğunlukla polimer yapıdaki asidik veya bazik kimyasal grupların, ortamın pH’ına olan duyarlılığından kaynaklanmaktadır (Mohammad vd., 2020). Örneğin, alkali koşullarda (yüksek pH), COOH grupları gibi anyonik hidrojellerdeki zayıf asidik fonksiyonel gruplar iyonize olarak polimer ağının şişmesine yol açarken, bu durum asidik koşullarda (düşük pH), aminler gibi katyonik hidrojellerdeki bazik fonksiyonel grupların iyonlaşması ile gerçekleşmektedir. Ancak, iyonik (tuzlu) koşullar altında, hidrojellerin iç ve dış ortamları arasındaki ozmotik basınç farkı artmakta ve bu durum şişme niteliğini olumsuz etkilemektedir (Mahmood vd., 2023).



Şekil 2: Nanohidrojel tarafından suyun tutulması ve salınması (Wang vd., 2024).

2.1. Nanohidrojellerin Sınıflandırılması

Kaynağına bağlı olarak, tarımda kullanılan nanohidrojeller; (i) sentetik, (ii) yarı sentetik ve (iii) doğal nanohidrojeller olarak üç farklı gruba ayrılmaktadır. Piyasada bulunan sentetik veya petrol bazlı nanohidrojeller; nişasta kopolimerleri, polivinil alkoller ve sodyum akrilat akrilamid kopolimerler (çapraz bağlı poliakrilamidler) olarak kimyasal bileşimlerine ve yapılarına göre genellikle üç ana türe ayrılmaktadır (Patra vd., 2022). Doğal nanohidrojel olarak, doğal kaynaklardan elde edilen biyopolimerler, biyolojik olarak parçalanabilmekte ve çevre dostu olması nedeniyle nanohidrojellerin formülasyonu için önemli bir rol oynamaktadır. Bu materyallerin kullanımı, sürdürülebilir kaynak kullanımını teşvik etmesi, suyu etkili bir şekilde depolaması ve tarımsal kimyasalları serbest bırakabilmesinden dolayı tarımsal üretim için daha değerli hale gelmektedir. Doğal polimerler nanohidrojel polimerlerine dönüştürülmekle birlikte, selüloz, kitosan ve nişasta gibi polisakkaritler organik toprak iyileştiricilerde ana bileşenler olarak kullanılmaktadır. Polisakkaritler bitkilerden (agar, guar zamkı vb.),

mikroorganizmalardan (ksantan, glan vb.), alglerden (aljinat vb.) ve deniz hayvanlarından (kitosan vb.) elde edilmektedir (Ali vd., 2024).

2.2. Nanohidrojellerin Mekanizması ve Su Emme Kapasitesi

Çözünmeden büyük miktarda sıvıyı emme ve tutma konusunda dikkate değer bir yeteneğe sahip olan nanohidrojeller, hidrofilik gruplar (-OH, -COOH, -NH₂ vs.) sayesinde absorpsiyon kapasiteleri 200 g ile 1–2 kg arasında değişmektedir (Venkatachalam ve Pushparaju, 2022). Bu gruplar, hidrojen bağları aracılığıyla su molekülleriyle etkileşime girerek nanohidrojinin önemli ölçüde şişmesini sağlamaktadır (Li vd., 2025). Nanohidrojeller, nanomalzemelerle birleştirildiğinde temas yüzeyi artmakta ve çeşitli moleküllerin kapsüllenmesi için daha aktif bölgeler sağlanmaktadır (Nizam vd., 2023). Çeşitli nanohidrojellere ilişkin şişme oranlarındaki farklılıkları gösteren bazı araştırmalar Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1: Nanohidrojellerin Suda Şişme Oranları

Nanohidrojeller	Şişme oranı	Referanslar
PAA-ko-PAM / Kil nanohidrojel (Nanohidrojel+%2 kil)	%8000	(Patra & Swain, 2011)
Karbon Noktalı karboksimetilselüloz nanohidrojel (N-S-P) / CDs@CMC	%2582 (pH4)	(Sharma vd., 2024)
Nanokompozit hidrojel (Na karboxymethylselüloz / Hidroxyethylselüloz)	%1070 (Na CMC/HEC:2/1) ve %840 (Na CMC/HEC:3/1)	(Das vd., 2023)
Poly (acrylik asid-ko-acrylamid) / AlZnFe ₂ O ₄ /K-Nanohirojel	892 g/g (damıtılmış su); 471 g/g (musluk suyu); 390 g/g (tuzlu su)	(Shahid vd., 2012)
NCC (Nano-selüloz hidrojel kompozit)	%420	(Iqbal vd., 2024)
Nano-silica hidrojel	Minimum 650 g/g	(El-Aziz vd., 2025)
Filtrelenmiş nanohidrojel	%214	(Maddu vd., 2019)
Biyolojik olarak parçalanabilir nanohidrojel (Gümüş kaplamalı SAP)	190 g/g (damıtılmış su); 161 g/g (musluk suyu); 119 g/g (tuzlu su)	(Vundavalli vd., 2015)
Poly acrylik asid / guar gum-zeolit nanokompozit hidrojel	92.5 ml/gr	(Songara vd., 2022)

Bahsedilen alışmalar içerisinde en etkili olanlardan biri, %8000 gibi etkileyici bir şişme oranına sahip olan PAA-ko-PAM/Kil nanohidrojel su tutma için güçlü bir kapasiteyi işaret etmektedir (Patra ve Swain, 2011). Ayrıca, Karbon Noktaları (N-S-P)/CDs@CMC nanohidrojel ile zenginleştirilmiş biyolojik olarak parçalanabilir süper emici karboksimetilselüloz nanohidrojel de %2582 gibi önemli bir şişme oranı göstermektedir (Sharma vd., 2024). Nano-silika hidrojel ve nano-selüloz hidrojel kompoziti (NCC) dahil olmak üzere diğerk nanomalzemeler de umut verici emme kapasiteleri göstererek nanohidrojellerin bitkiler için su stresini azaltmadaki etkinliğini daha da desteklemektedir (El-Aziz vd., 2025; Iqbal vd., 2024).

3. NANOHİDROJELLERİN TOPRAK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Toprak, suyu depolayarak bitkilerin su ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Toprak, kurak ve yarı kurak bölgelerde, yağışın etkinliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olup ekim sistemlerde bitki gelişimi açısından da belirleyici bir rol oynamaktadır (He ve Wang, 2019). Kurak ve yarı kurak bölgeler, yaygın olarak düşük yıllık yağış miktarları ile düşük kil ve organik madde içerikli ve sınırlı kullanılabilir su tutma kapasiteli topraklara sahiptir (Albalasmeh vd., 2022). Son yıllarda, nanohidrojeller toprak özelliklerini iyileştirmek için yeni bir teknoloji olarak gösterilmektedir. Bu malzemeler yüksek su emme ve tutma kapasitesine sahip olduğu için topraktaki nemi uzun süre tutabilmekte ve bunu bitkinin kullanımına kademeli olarak sunabilmektedir. Bu zellik, yüzey buharlaşmasını azaltıp tarımda su kullanım etkinliğini iyileştirdiği için kurak ve yarı kurak bölgelerde su kaynakları yönetimi için yararlı bir czm olarak kabul edilmektedir (El-Aziz vd., 2025).

Çeşitli nanohidrojel türlerinin farklı bitkiler ve toprak yapıları üzerindeki etkileri karşılaştırmalı bir şekilde Tablo 2’de sunulmuştur. Genenl olarak bakıldığında, uygulanan nanohidrojel ve nanokompozit malzemelerin toprakta özellikle su tutma kapasitesi, tarla kapasitesi ve bitki tarafından kullanılabilir su gibi suya ilişkin özellikleri dikkate değer biçimde iyileştirdiği görülmektedir. Nassaj-Bokharaei vd. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, domates bitkileri üzerinde doğal kmr nanopartikülleri (NCNP) hidrojjeller ile birlikte uygulanmış ve elde edilen bulgulara göre, büyüme parametreleri, besin konsantrasyonları ve toprak mikrobiyal aktivitesi üzerindeki etkisi de dahil olmak üzere nanohidrojel uygulamasına karşı bitki tepkisinin, uygulanan nanohidrojel miktarına ve su stresinin şiddetine bağlı olduğunu göstermiştir. Bahsedilen çalışmanın sonucuna göre, su tutma kapasitesinin %85’nin uygulandığı %0,3’lk nanohidrojel oranı ve %75’nin uygulandığı %0,6

nanohidrojel oranı içeren iki uygulamanın, büyüme endeksleri, domates bitkisinin beslenmesi (P, Fe ve Zn), solunum hızı ve toprak mikrobiyal aktivitesi üzerinde diğer konulara göre daha olumlu etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Diğer yandan, Karboksimetil selüloz/Nano-Kalsiyum Karbonat Hidrojel (CMC/NCC) uygulayarak tınlı-kumlu topraklarda su tutma kapasitesini geliştirmek için Watcharamul vd., (2022) tarafından yapılan bir araştırmaya göre, nanohidrojellerin eklenmesinin toprağın su emme kapasitesini ve su tutma kapasitesini artırdığını ve CO₂ üretiminde kademeli bir artışa neden olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, CMC/NCC hidrojellerinin bitki büyümesini sürdürerek ve karbon dağılımını değiştirerek kurak ve yarı kurak iklime sahip bölgelerdeki tarımda etkili bir toprak ıslahı olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Buna ek olarak, bazı çalışmalar çeşitli nanohidrojellerin toprak özellikleri ve bitki büyümesi üzerindeki etkilerini göstererek, özellikle suyun kısıtlı olduğu koşullar altında tarımda önemli bir potansiyele sahip olduklarını ortaya koymaktadır.

El-Aziz vd., (2025) Nano-silika hidrojel üzerine denemeler yapmış ve bunu killi-tınlı toprakta yetiştirilen pirinç ve yoncaya uygulamıştır. Elde ettikleri bulgulara göre, toprağın su tutma kapasitesinde (pirinç için %71,96 ve yonca için %61,98) bir artış olduğu ortaya konulmuş ve bitkilerin sulama döneminde yeterli nemi almasının sağlandığı belirtilmiştir. Aynı zamanda, daha yüksek hidrolik iletkenlik değerleri (pirinç için 0,729 m/gün ve yonca için 0,813 m/gün) ile topraktaki suyun daha verimli bir şekilde dağıtıldığı belirlenmiştir. Ayrıca, pirinç için 0,98 kg/m³ ve yonca için 1,05 kg/m³ olarak elde edilen su verimliliği (WP) değerleri göz önüne alındığında, nanohidrojellerin su kullanımını optimize etme konusunda olumlu etkisi vurgulanmıştır. Ayrıca, Sharma vd. (2024) maş fasulyesi (*Vigna radiata*) üzerinde CDs@CMC nanohidrojel kullanımını değerlendirmiş; ağırlıkça %1 dozda nanohidrojellerin toprağın su tutma kapasitesini önemli ölçüde artırdığını (%39,5) ve 12 gün boyunca su tutma süresini uzatarak su stresi koşullarında bile daha iyi bitki performansı sağladığını tespit etmişlerdir. Genel olarak, nanohidrojellerin toprak nem dinamiklerini iyileştirebileceği, bitki direncini artırabileceği ve özellikle kuraklık ile karşı karşıya olan bölgelerde su kullanımını optimize edebileceği bahsedilen çalışma sonuçları ile desteklenmektedir. Nanohidrojellerin kullanımı, zaman içinde suyu tutma ve salma yetenekleriyle, su sıkıntısı çeken ortamlarda tarım için sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır.

Tablo 2: Farklı Bitkilerde Nanohidrojellerin Toprak Özelliklerine Etkileri

Nanohidrojeller	Bitki	Doz	Sonuçlar	Referanslar
Nano-silika hidrojel	Pirinç	119 kg/ha Nano-silika+%9 0 sulama	Killi-tınlı toprakta, STK (71,96), TK (48,27), SN (23,98), KS (24,29), hacim ağırlığı (1,333 g/cm ³), ve Hidrolik İletkenliği (0,729 m/gün) artırdığı belirtilmiştir	(El-Aziz vd., 2025)
Nano-silika hidrojel	Yonca	119 kg/ha Nano-silika+%9 0 sulama	Killi-tınlı toprakta, STK (61,98), TK (37,41), SN (17,68), KS (19,69), hacim ağırlığı (1,384 g/cm ³), ve Hidrolik İletkenliği (0,813 m/gün) artırdığı sonucu elde edilmiştir	(El-Aziz vd., 2025)
Karbon noktaları (N-S-P) Karboxymethyl selüloz nanohidrojel	Maş fasulyesi	Ağırlık %1+%21.2 toprak	STK kontrolden %39,5 oranında önemli ölçüde artmış ve su tutma süresi de 5 günden 12 güne çıkmıştır	(Sharma vd., 2024)
Kitosan-Montmorillonit Nanokomposit Hidrojel		Ağırlık %10	Saf kitosan jele kıyasla toplam fosfor (P) ve potasyum (K) serbest bırakımını sırasıyla %22,0'dan %94,9'a ve %9,6'dan %31,4'e arttırmıştır. Uygulanan gübrenin toplam %55,3'ü 15 gün boyunca serbest bırakılmış ve günlük serbest bırakma oranı %2,8 olarak gerçekleşmiştir. Geleneksel gübre için, gübrenin %89,2'si aynı düzenekteki ilk sulama sırasında yıkanmıştır.	(Dou vd., 2023)
Karboxymethylselüloz / Nano kalsiyum karbonat hidrojel (CMC/NCC)		Ağırlık %1 NCC ve %5NCC	Tınlı-kumlu toprakta SAK ile STK miktarını ve CO ₂ salınımını artırmıştır. CO ₂ salınım sırası: CMC>CMC/NCC1>CMC/NCC2>kontrol şeklinde gerçekleşmiştir	(Watcharamu l vd., 2022)
Doğal kümür nanopartikül / hidrojel kompozit	Tomato	Ağırlık %0,3 + %85 STK ve %0,6 + %75 STK	%0,3+%85 STK uygulamasıyla domates gelişimi %22-45; P, Fe ve Zn gibi besin alımı %16-29 oranında artmıştır ve %0,6+%75 STK uygulamasında, toprak solunum hızı %61 ve mikrobiyal popülasyon büyüklüğü %89 artış göstermiştir.	(Nassaj-Bokharaci vd., 2021)
Poly (acrylik asid-ko-akrylamid) AlZnFe ₂ O ₄ / Na humate Nanokompozit Hidrojel (PSHNC)	Çimen	Ağırlık %0,1-0,4	Kumlu toprakta, bitki tarafından KS %10,94'ten %19,22'ye, TK %22,45'ten %33,13'e ve SN %11'ten %13,91'e kadar artmıştır. Toprak hacim ağırlığı (1,21 g/cm ³) azalmış, toplam porozitesi artmıştır. Toprak pH değeri sırasıyla 7,28(%0,1), 7,19 (%0,2), 7,11 (%0,3) ve 7,02 (%0,4) olarak düşmüştür. Hidrolik iletkenlik (37,33 mm/saat) değeri ise anlamlı şekilde artmıştır	(Nada vd., 2015)
Poly (acrylik asid-ko-akrylamid) AlZnFe ₂ O ₄ / K humate nanokompozit hidrojel (PHNC)	Buğday	Ağırlık %0,1-0,4	Kumlu-tınlı toprağın STK, gözeneklilik ve hidrolik iletkenlik değerlerini artırırken, hacim ağırlığını azaltmıştır. Bu değişiklikler sayesinde, bitki tarafından alınabilir su miktarı artmış ve buğdayın çimlenmesi ile fide gelişimi iyileşmiştir	(Shahid vd., 2012)

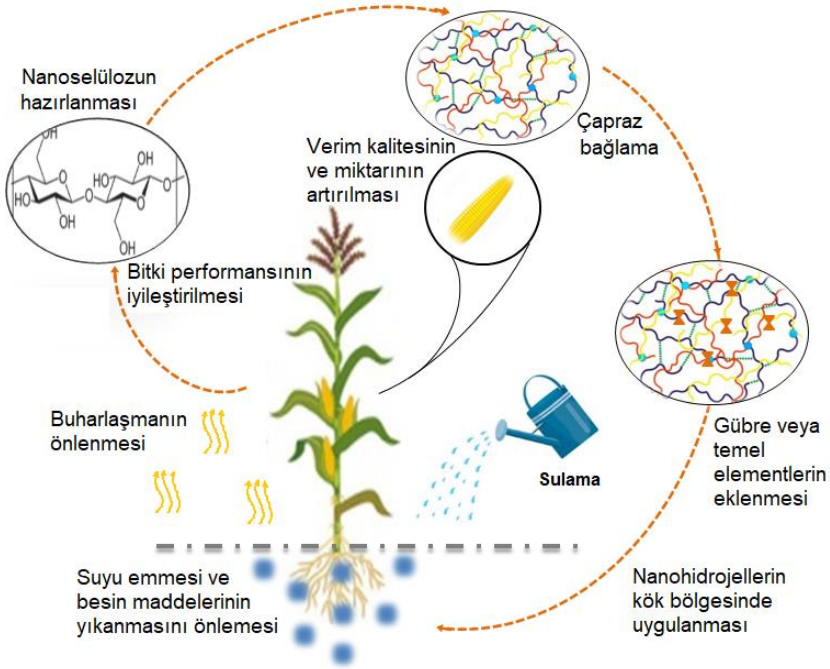
STK, su tutma kapasitesi; TK, tarla kapasitesi; SN, solma noktası; KS, kullanılabilir su; ST, su tutma; SAK, su absorpsiyon kapasitesi

4. NANOHİDROJELLERİN BİTKİ PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Nanohidrojeller, toprakta su tutma kapasitesini artırmasının yanında, bitki verimliliğini de artırmak için su ve besin maddelerini etkin bir şekilde kök bölgesinde serbest bırakabilen tarımda kullanılabilecek önemli bir teknolojidir (Şekil 3). Bu polimerler bitkilerde fotosentez etkinliğini optimize ederek kuraklığın etkisini azaltabilmektedir. Bu amaçla, bazı farklı bitkilerde yapılan çalışmalarda nanohidrojellerin bitki büyümesi ve gelişimi üzerine olan etkileri Tablo 3’de özetlenmiştir. Buna göre, nanoselüloz bazlı hidrojellerin değerlendirilmesine yönelik olarak biber (*Capsicum annuum*) üzerinde yapılan bir çalışmada, nanohidrojel + %5 NPK gübresinin birlikte uygulanması ile en yüksek bitki boyu (%16,49) ve yaprak sayısı (9 yaprak) elde edilmiştir. Bunun yanında, nem tutma kapasitesi (%15,82), azot konsantrasyonu (%1,81), potasyum konsantrasyonu (%1,57), fosfor konsantrasyonu (%0,04) ve nanohidrojellerin stabilitesinin (25,17 mJ) de önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir (Winarti vd., 2021). Marul üzerinde yapılan bir başka araştırmada ise, Zn (ağırlıkça %1-2) ile modifiye edilmiş ve edilmemiş nanoselüloz hidrojel uygulaması yapılmış, ve özellikle Zn ile modifiye edilmiş nanoselüloz hidrojinin, azot yıkanmasını üreye kıyasla %38-49 ve NPK'ya kıyasla %36-47 oranında azalttığı belirtilmiştir. Sızan azotun çoğu nitrat (NO_3^-) formundayken toplam azot kaybının %98,4'ünü oluşturmuştur. Buna ek olarak, nanoselüloz hidrojel uygulaması (%1 Zn), marul sürgün biyokütlesini üreye kıyasla %30 ila %42 ve NPK'ya kıyasla %44 ila %57 arasında önemli ölçüde artırmıştır. Sonuç olarak, hem modifiye edilmemiş hem de Zn ile modifiye edilmiş nanoselüloz hidrojel kullanımı toprakta azot tutulmasını %27 ila %94 oranında artırmıştır (Aikpokpodion vd., 2024). Hamoud vd., (2024), hafif derecede kuraklık (%90) koşulları altında uygulanan akıllı azot yüklü nanohidrojinin, toprak pH'sına yanıt olarak kontrollü bir şekilde azot saldıgını, bunun sonucunda pirinç bitkilerinde fotosentezin arttığını, yaprak hücre yapısının desteklendiğini ve verim kalitesinin korunduğunu bildirmişlerdir. Öte yandan, Iqbal vd. (2024), nanoselüloz hidrojel kompozitinin, odun külü içeren nanohidrojel ve NPK içeren nanohidrojel ile karşılaştırıldığında yaprak sayısı ve bitki boyu açısından en düşük performansı gösterdiğini iddia ederken, Kül ve NPK içeren nanohidrojellerin, bitkilerin ihtiyaç duyduğu elementleri en iyi şekilde sağladığını belirtmişlerdir. Bir başka çalışmada, kitosan-polivinil alkol hidrojel formundaki kalsiyum nanopartiküllerinin (Ca-NPs) domates meyvesinin büyümesi ve kalitesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Ca-NPs içeren 10 mg hidrojinin kullanılmasıyla sap çapının önemli ölçüde arttığı ve ayrıca sap ve yaprak kuru biyokütlesinin %13, köklerin %30 ve verimin de %17 arttığı

belirtilmiştir. Buna karşılık, çok daha düşük bir konsantrasyon olan 0,02 mg Ca-NPs kullanımı, meyvede likopen içeriğini %37, toplam antioksidan kapasitesini ise %10 artırmıştır (Hernández et al., 2017).

Nanohidrojellerin organik ve inorganik gübrelerle entegre edilmesiyle, bitkilerin büyümesine olan olumlu etkileri ve besin kayıplarını azaltma yeteneği ile tarımsal verimlilik artırılırken çevresel olumsuz etkilerin de en aza indirilebileceği öngörülmektedir.



Şekil 3: Nanohidrojellerin kök bölgesinde nemin korunması ile bitki gelişimi ilişki şeması

Tablo 3: Nanohidrojellerin Bitki Büyümesi ve Gelişimi Üzerindeki Etkileri

Nanohidrojel	Bitki	Sonuçlar	Referanslar
Nanoselüloz bazlı hidrojel + 5% NPK	Biber	Bitki boyunda (%16,49) ve yapraklarda (9/bitki) önemli artış, artan nem içeriği (%15,82) ve iyileştirilmiş besin kullanılabilirliği sağlanmıştır.	(Winarti vd., 2021)
Nanoselüloz-bazlı hidrojel (ağırlıkça %1, %2 Zn)	Marul	Marul sürgün biyokütlesinde önemli artış (üreye göre %30-42, NPK'ya göre %44-57) sağlanmış ve azot yıkanması üreye kıyasla %45-49 ve NPK'ya kıyasla %43-47 oranında azaltmıştır.	(Aikpokpodion vd., 2024)
Akıllı azot nanohidrojel	Pirinç	Hafif kuraklık (%90) + 0.175 g N/Kg koşullarında, toprak pH'sındaki değişimlere tepki vererek azotu kontrollü şekilde salmakta, bitkinin büyüme sürecini desteklemekte, fotosentezi artırmakta, yaprak hücre yapısını güçlendirmekte ve pirinç veriminin kalitesini artırmaktadır.	(Hamoud vd., 2024)
Kitosan-niştasta @ nanoselüloz hidrojel kompozit	Bezelye	Nanoselüloz hidrojel kompozit, odun külü içeren hidrojel (bitki yaprak sayısı 34, bitki boyu 18,1 cm) ve NPK içeren hidrojel (bitki yaprak sayısı 37, bitki boyu 20,2 cm) ile karşılaştırıldığında yaprak sayısı ve bitki boyu açısından en düşük performansı göstermiştir. Odun külü ve NPK içeren hidrojeller bitkilere gerekli elementleri en iyi şekilde sağlamıştır.	(Iqbal vd., 2024)
Kalsiyum nanopartikel kitosan polivinil alkol hidrojel	Domates	10 mg Ca-NPs hidrojel içeren uygulama, bitkinin sap çapını artırmış; sap-yaprak kuru biyokütlesinde %13, köklerde %30 ve verimde %17 artış sağlamıştır. Buna karşılık, çok daha düşük olan 0.02 mg Ca-NPs konsantrasyonu, meyvede likopen içeriğini %37 ve toplam antioksidan kapasitesini %10 oranında artırmıştır.	(Hernández vd., 2017)

5. NANOHİDROJELLERİN BİTKİLERİN KURAKLIĞA KARŞI DİRENCİNİ ARTIRMADAKİ ROLÜ

Kuraklık, su mevcudiyetinin azalması, toprak yapısının ve bitki metabolizmasının bozulması yoluyla tarımsal üretimi tehdit eden en ciddi çevresel stres faktörlerinden biridir. Bu durum, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde verimliliği büyük ölçüde sınırlamakta ve tarımsal sürdürülebilirliği riske atmaktadır. Bu zorluk karşısında, nanoyapılı supramoleküler biyopolimerler ve nanopartiküller sadece fiziksel su tutma avantajları için değil, aynı zamanda bitki fizyolojisini çok katmanlı olarak desteklemeleri için de geliştirilmiştir (Saberı Riseh vd., 2024). Bu malzemeler besin alımını kolaylaştırmakta, toprak yapısını iyileştirmekte ve nem tutma kapasitesini artırmakta ve böylece sulama suyu ihtiyacını azaltarak su kullanım etkinliğini artırmaktadır. Ayrıca, stoma iletkenliğini düzenleme, fotosentezi teşvik etme, ozmolit birikimini destekleme, antioksidan savunmayı geliştirme ve kuraklık stresine duyarlı genlerin ekspresyonunu artırma gibi birçok fizyolojik ve moleküler süreci olumlu yönde etkilemektedirler (Kandhol vd., 2022; Ahmed vd., 2021). Bu nanomalzemelerden biri, birçok olumlu özellikleri nedeniyle su kaynakları yönetimi ve su ve gübre tüketiminin optimizasyonu için yeni bir çözüm olarak önerilen nanohidrojellerdir.

Yapılan çalışmalar birlikte ele alındığında, nanohidrojellerin kuraklık stresine karşı çok boyutlu bir savunma hattı oluşturduğunu göstermektedir. Bitki düzeyinde, fotosentetik pigmentlerin korunması, hücresel su dengesinin sürdürülmesi ve topraktaki nemin daha uzun süre tutulabilmesi gibi etkiler, nanohidrojelleri tarımsal adaptasyonun önemli bileşenlerinden biri haline getirmektedir.

6. NANOHİDROJELLERİN KULLANIM ZORLUKLARI VE SINIRLAMALARI

Nanohidrojellerin birçok olumlu özelliklerine rağmen, bu malzemelerin tarımda kullanımlarını ve uygulamalarını sınırlayan birçok zorlukla karşılaşabilmektedir. Doğal nanohidrojeller biyolojik olarak parçalanabilir özelliğe sahip olmasına karşın bazı sentetik nanohidrojeller bozulmaya karşı dayanıklı ancak çevresel açıdan zararlı olabilmektedir. Öte yandan, nanohidrojellerin üretim maliyetinin yüksek olması, üreticilerin çoğunun bunları temin edememesine neden olabilmekte aynı zamanda üreticilerin, bu malzemeleri nasıl kullanacaklarına dair bilgi eksiliği ile kullanımı esnasında toprağa homojen dağılımının sağlanması için gerekli özel ekipman ve koşullar da nanohidrojellerin kullanımını sınırlamaktadır. (Shaghaleh vd., 2024; Padzil vd., 2020). Ayrıca, bazı besin maddelerinin nanohidrojel yapılarına etkili bir şekilde dahil edilememesi besin tutma kapasitelerini sınırlamaktadır (Tariq vd., 2023).

7. SONUÇ

Literatür verileri ve karşılaştırmalı analizler, nanohidrojellerin toprakta daha uzun süre su tutulmasına katkıda bulunduğunu, buharlaşma ve süzülme gibi kayıpları azalttığını ve bitkileri kuraklık gibi olumsuz çevre koşullarına karşı daha dirençli hale getirdiğini göstermektedir. Özellikle su geçirgenliği yüksek olan hafif bünyeli topraklarda nanohidrojellerin performansı daha da ön plana çıkmaktadır. Buna ek olarak, çalışmalar nanohidrojellerin sadece su mevcudiyeti üzerinde değil, aynı zamanda bitki büyümesi, besin alımı, kök bölgesi aktivitesi ve mikrobiyal canlılık üzerinde de olumlu etkileri olduğunu göstermektedir. Su kıtlığına karşı çözüm ihtiyacının arttığı kritik bir dönemde, bu tür malzemelerin kullanımı tarımda sürdürülebilirliğin sağlanmasına katkıda bulunabilecek önemli bir araç olarak değerlendirilmektedir.

Ancak, üretim maliyetinin yüksek olması, bazı formülasyonların doğada tam olarak parçalanabilir olmaması ve bu malzemelerin tarla koşullarına uygunluğunun hala tam olarak test edilmemiş olması, nanohidrojellerin tarıma entegre edilmesini zorlaştıran faktörlerdir. Ayrıca, bu malzemelerin ekonomik maliyetleri, uzun vadeli sürdürülebilirliği ve potansiyel çevresel etkileri gibi zorluklar daha fazla araştırmayı gerektirmektedir. Gelecekteki araştırmaların, nanohidrojellerin formülasyonunu optimize etmeye, uygun maliyetli çözümler geliştirmeye ve bu teknolojinin tarımda yaygın ve sürdürülebilir kullanımını sağlamak için çevresel etkilerinin değerlendirmesine yönelik olması önerilmektedir.

REFERANSLAR

- Ahmed, T., Noman, M., Manzoor, N., Shahid, M., Abdullah, M., Ali, L., ... & Li, B. (2021). Nanoparticle-based amelioration of drought stress and cadmium toxicity in rice via triggering the stress responsive genetic mechanisms and nutrient acquisition. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 209, 111829.
- Aikpokpodion, P. E., Hsiao, B. S., & Dimkpa, C. O. (2024). Mitigation of Nitrogen Losses in a Plant–Soil System through Incorporation of Nanocellulose and Zinc-Modified Nanocellulose. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 72(31), 17295–17305.
- Albalasmeh, A. A., Mohawesh, O., Gharaibeh, M. A., Alghamdi, A. G., Alajlouni, M. A., & Alqudah, A. M. (2022). Effect of hydrogel on corn growth, water use efficiency, and soil properties in a semi-arid region. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 21(8), 518–524.
- Ali, K., Asad, Z., Agbna, G. H. D., Saud, A., Khan, A., & Zaidi, S. J. (2024). Progress and Innovations in Hydrogels for Sustainable Agriculture. *Agronomy*, 14(12), 2815.
- Bauli, C. R., Lima, G. F., de Souza, A. G., Ferreira, R. R., & Rosa, D. S. (2021). Eco-friendly carboxymethyl cellulose hydrogels filled with nanocellulose or nanoclays for agriculture applications as soil conditioning and nutrient carrier and their impact on cucumber growing. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 623, 126771.
- Das, D., Bhattacharjee, S., & Bhaladhare, S. (2023). Preparation of cellulose hydrogels and hydrogel nanocomposites reinforced by crystalline cellulose nanofibers (CNFs) as a water reservoir for agriculture use. *ACS Applied Polymer Materials*, 5(4), 2895-2904.
- Demirkıran, A. R., & Sohrabi, M. (2024). The application of nanotechnology on plant nutrition and agriculture: A review. *Journal of Agriculture*, 7(1), 100–112.
- Dou, Z., Bini Farias, M. V., Chen, W., He, D., Hu, Y., & Xie, X. (2023). Highly degradable chitosan-montmorillonite (MMT) nano-composite hydrogel for controlled fertilizer release. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 17(5), 53.
- Dutta, P., Chakraborti, S., Chaudhuri, K. M., & Mondal, S. (2020). Physiological responses and resilience of plants to climate change. *New Frontiers in Stress Management for Durable Agriculture*, 3–20.
- El-Aziz, M. A. A., Elbagory, M., Arafat, A. A., Aboelsoud, H. M., El-Nahrawy, S., Khalifa, T. H., & Omara, A. E.-D. (2025). Evaluating the Impact of Nano-Silica and Silica Hydrogel Amendments on Soil Water Retention

- and Crop Yield in Rice and Clover Under Variable Irrigation Conditions. *Agronomy*, 15(3), 652.
- Guerrero-Ramírez, L. G., Nuno-Donlucas, S. M., Cesteros, L. C., & Katime, I. (2008). Smart copolymeric nanohydrogels: Synthesis, characterization and properties. *Materials Chemistry and Physics*, 112(3), 1088–1092.
- Hamoud, Y. A., Shaghaleh, H., Chang, T., Zhang, K., & Al-Rejaie, S. S. (2024). Physio-biochemical responses of rice to smart nitrogen fertilizer nano-hydrogel under drought stress and flooding alternation: An eco-friendly innovative approach to enhance the grain quality. *South African Journal of Botany*, 168, 270-285.
- He, D., & Wang, E. (2019). On the relation between soil water holding capacity and dryland crop productivity. *Geoderma*, 353, 11–24.
- Hernández, H. H., Benavides-Mendoza, A., Ortega-Ortiz, H., Hernández-Fuentes, A. D., & Juárez-Maldonado, A. (2017). Cu Nanoparticles in chitosan-PVA hydrogels as promoters of growth, productivity and fruit quality in tomato. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 29(8), 573-580.
- Ingrao, C., Strippoli, R., Lagioia, G., & Huisingh, D. (2023). Water scarcity in agriculture: An overview of causes, impacts and approaches for reducing the risks. *Heliyon*, 9(8).
- Iqbal, D. N., Tariq, Z., Philips, B., Sadiqa, A., Ahmad, M., Al-Ahmary, K. M., Ali, I., & Ahmed, M. (2024). Nanocellulose/wood ash-reinforced starch–chitosan hydrogel composites for soil conditioning and their impact on pea plant growth. *RSC Advances*, 14(13), 8652–8664.
- Kandhol, N., Jain, M., & Tripathi, D. K. (2022). Nanoparticles as potential hallmarks of drought stress tolerance in plants. *Physiologia Plantarum*, 174(2), e13665.
- Li, Q., Chen, Y., Sun, S., Zhu, M., Xue, J., Gao, Z., Zhao, J., & Tang, Y. (2022). Research on crop irrigation schedules under deficit irrigation—A meta-analysis. *Water Resources Management*, 36(12), 4799–4817.
- Li, X., Chen, R., Tang, X., Chen, M., & Fan, Y. (2025). A collagen/nanocellulose/lignin hydrogel dressing mimicking to the plant cell wall for enhanced wound healing and bacterial inhibition. *Industrial Crops and Products*, 228, 120872.
- Maddu, A., Winarti, C., & Kurniati, M. (2019). Cellulose-based nano hydrogel from corncob by gamma irradiation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 299(1), 12003.
- Mahmood, A., Ijaz, H., Sarfraz, R. M., Zafar, N., Zaman, M., & Azam, M. (2023). Polymeric hydrogels and nanogels: classification, development

- and pharmaceutical applications. In *Hydrogels and Nanogels-Applications in Medicine*. IntechOpen.
- Mansoor, S., Khan, T., Farooq, I., Shah, L. R., Sharma, V., Sonne, C., Rinklebe, J., & Ahmad, P. (2022). Drought and global hunger: biotechnological interventions in sustainability and management. *Planta*, 256(5), 97.
- Mesbahzadeh, T., Mirakbari, M., Mohseni Saravi, M., Soleimani Sardoo, F., & Miglietta, M. M. (2020). Meteorological drought analysis using copula theory and drought indicators under climate change scenarios (RCP). *Meteorological Applications*, 27(1), e1856.
- Mohammad, F., Bwatanglang, I. B., Al Balawi, A. N., Chavali, M., & Al-Lohedan, H. A. (2020). General introduction on sustainable nanocellulose and nanohydrogel matrices. In *Sustainable Nanocellulose and Nanohydrogels from Natural Sources* (pp. 1-31). Elsevier.
- Nada, W.M., Blumenstein, O. (2015). Characterization and Impact of Newly Synthesized Superabsorbent Hydrogel Nanocomposite on Water Retention Characteristics of Sandy Soil and Grass Seedling Growth. *International Journal of Soil Science*, 10: 153-165
- Nassaj-Bokharai, S., Motesharezedeh, B., Etesami, H., & Motamedi, E. (2021). Effect of hydrogel composite reinforced with natural char nanoparticles on improvement of soil biological properties and the growth of water deficit-stressed tomato plant. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 223, 112576.
- Nizam, P. A., Aiswarya, P. R., & Thomas, S. (2023). Nanohydrogels for achieving green economy. In *Sustainable Hydrogels* (pp. 113-136). Elsevier.
- Padzil, F. N. M., Lee, S. H., Ainun, Z. M. A. A., Lee, C. H., & Abdullah, L. C. (2020). Potential of oil palm empty fruit bunch resources in nanocellulose hydrogel production for versatile applications: a review. *Materials*, 13(5), 1245.
- Patra, S. K., Poddar, R., Brestic, M., Acharjee, P. U., Bhattacharya, P., Sengupta, S., Pal, P., Bam, N., Biswas, B., & Barek, V. (2022). Prospects of hydrogels in agriculture for enhancing crop and water productivity under water deficit condition. *International Journal of Polymer Science*, 2022(1), 4914836.
- Patra, S. K., & Swain, S. K. (2011). Swelling study of superabsorbent PAA-co-PAM/clay nanohydrogel. *Journal of Applied Polymer Science*, 120(3), 1533–1538.
- Pereira, L. S., Cordery, I., & Iacovides, I. (2009). *Coping with water scarcity: Addressing the challenges*. Springer Science & Business Media.

- Qin, C., Wang, H., Zhao, Y., Qi, Y., Wu, N., Zhang, S., & Xu, W. (2024). Recent advances of hydrogel in agriculture: Synthesis, mechanism, properties and applications. *European Polymer Journal*, 113376.
- Quintarelli, V., Ben Hassine, M., Radicetti, E., Stazi, S. R., Bratti, A., Allevato, E., Mancinelli, R., Jamal, A., Ahsan, M., & Mirzaei, M. (2024). Advances in Nanotechnology for Sustainable Agriculture: A Review of Climate Change Mitigation. *Sustainability*, 16(21), 9280.
- Saberi Riseh, R., Hassanisaadi, M., Vatankhah, M., Varma, R. S., & Thakur, V. K. (2024). Nano/micro-structural supramolecular biopolymers: innovative networks with the boundless potential in sustainable agriculture. *Nano-Micro Letters*, 16(1), 147.
- Shaghaleh, H., Hamoud, Y. A., & Sun, Q. (2024). Functionalized nanocellulose nanocomposite hydrogels for soil and water pollution prevention, remediation, and monitoring: A critical review on fabrication, application properties, and potential mechanisms. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(1), 111892.
- Shahid, S. A., Qidwai, A. A., Anwar, F., Ullah, I., & Rashid, U. (2012). Improvement in the water retention characteristics of sandy loam soil using a newly synthesized poly (acrylamide-co-acrylic acid)/AlZnFe₂O₄ superabsorbent hydrogel nanocomposite material. *Molecules*, 17(8), 9397–9412.
- Sharma, P., Sharma, M., Laddha, H., Agarwal, M., & Gupta, R. (2024). Enhancing plant growth of *Vigna radiata* using biodegradable superabsorbent carboxymethylcellulose nanohydrogel enriched with carbon dots under water-stressed conditions. *ACS Applied Polymer Materials*, 6(8), 4661–4672.
- Songara, J. C., Patel, J. N., & Mungray, A. A. (2022). Preparation and characterization of PAA/GG-zeolite nano-composite hydrogel for agricultural applications. *Journal of the Indian Chemical Society*, 99(10), 100686.
- Tariq, Z., Iqbal, D. N., Rizwan, M., Ahmad, M., Faheem, M., & Ahmed, M. (2023). Significance of biopolymer-based hydrogels and their applications in agriculture: A review in perspective of synthesis and their degree of swelling for water holding. *RSC Advances*, 13(35), 24731–24754.
- Venkatachalam, D., & Pushparaju, S. (2022). Smart Polymer Hydrogels as Matrices for the Controlled Release Applications in Agriculture Sector. In *Hydrogels-From Tradition to Innovative Platforms with Multiple Applications*. IntechOpen.

- Vundavalli, R., Vundavalli, S., Nakka, M., & Rao, D. S. (2015). Biodegradable nano-hydrogels in agricultural farming-alternative source for water resources. *Procedia Materials Science*, 10, 548–554.
- Wang, R., Cheng, C., Wang, H., & Wang, D. (2024). Swollen hydrogel nanotechnology: Advanced applications of the rudimentary swelling properties of hydrogels. *ChemPhysMater*.
- Watcharamul, S., Lerddamrongchai, S., Siripongpreda, T., Rodtassana, C., Nuisin, R., & Kiatkamjornwong, S. (2022). Effects of carboxymethyl cellulose/nano-calcium carbonate hydrogel amendment of loamy sand soil for maize growth. *ACS Agricultural Science & Technology*, 2(5), 1071–1080.
- Winarti, C., Sasmitaloka, K. S., & Arif, A. B. (2021). Effect of NPK fertilizer incorporation on the characteristics of nanocellulose-based hydrogel. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 648(1), 12180.
- Zhao, Y., Wan, S., Li, L., Li, S., Shi, Y., & Pan, L. (2020). Nanocellulose and nanohydrogel for energy, environmental, and biomedical applications. In *Sustainable Nanocellulose and Nanohydrogels from Natural Sources* (pp. 33–64). Elsevier.