

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ALANINDA AKADEMİK TARTIŞMALAR

Editör: Prof.Dr.Aydın ADILOĞLU

yaz
yayınları

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Alanında Akademik Tartışmalar

Editör

Prof.Dr. Aydın ADİLOĞLU

yaz
yayınları

2026

**Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Alanında
Akademik Tartışmalar**

Editör: Prof.Dr. Aydın ADILOĞLU

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-8926-33-0

Haziran 2026 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

İÇİNDEKİLER

- Nano-Gübre Teknolojilerinin Toprak Verimliliği ve Sürdürülebilir Tarım Üzerindeki Etkileri1**
Sude KARTAL, Sevinç YEŞİLYURT
- Mikroplastikler ve Tarıma Etkileri25**
Sude KARTAL, Doğan Berk KARA, Uğur GÜNEŞ, Bilal Can ERKAN, Sevinç YEŞİLYURT
- Topoğrafya ve Arazi Kullanımının Toprak Karakteristikleri Üzerindeki Etkisi44**
Siyami KARACA, Füsun GÜLSEK
- Zeytin Yetiştiriciliğinde Organik Materyal ve Fosfor Uygulamalarının Verim ve Meyve Besin Element İçeriği Üzerine Etkileri66**
Bülent YAĞMUR, Zekeriya ÇİĞDEM

"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."

NANO-GÜBRE TEKNOLOJİLERİNİN TOPRAK VERİMLİLİĞİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Sude KARTAL¹

Sevinç YEŞİLYURT²

1. GİRİŞ

Dünya nüfusundaki hızlı artış, tarımda daha fazla ürün elde edilmesini ve doğal kaynakların korunarak çevresel baskıların en aza indirilmesini zorunlu kılmakta, bu nedenle küresel tarım sistemleri yüksek verim ve sürdürülebilirlik ilkesine uygun yönetim modelleri ile teknolojik uygulamaları benimsemelidir (Duru, 2025; Cüre, 2022). Bu hedef doğrultusunda gübre kullanımı bitkisel üretimde verim ve kaliteyi artıran temel uygulamalardan biri olarak öne çıkmaktadır. Nitekim farklı gübre dozlarının bitkilerin besin elementi içerikleri ve gelişim özellikleri üzerinde önemli etkiler oluşturduğu çeşitli araştırmalarla ortaya konmuştur. Örneğin, kalsiyum nitrat uygulamalarının yapraklı maydanoz (*Petroselinum crispum*) bitkisinde bazı fito-besin elementlerinin içeriklerini önemli ölçüde etkilediği (Adiloğlu vd., 2017), artan kükürt dozlarının ise kanola bitkisinde besin elementi içerikleri, C vitamini ve protein miktarı ile bazı biyolojik özellikler üzerinde belirgin değişimlere neden olduğu rapor edilmiştir (Adiloğlu vd., 2013). Bununla birlikte gübrelemenin yalnızca bitki verimine etkisi değil, çevre üzerinde oluşturabileceği sonuçlar da titizlikle

¹ L., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, ORCID: 0009-0004-8679-9243.

² Prof. Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, ORCID: 0000-0002-0062-0491.

değerlendirilmelidir. Çünkü yanlış gübreleme uygulamaları; toprakta tuzluluk birikimine, ağır metallerin artmasına, besin maddesi dengesizliklerine, mikrobiyal toplulukların zarar görmesine, ötrifikasyon süreçlerinin hızlanmasına ve hem su hem de hava kirliliği gibi ekosistemi olumsuz etkileyen sonuçlara neden olabilmektedir (Kadioğlu, 2021). Bu sorunlara çözüm üretmek ve hem verimliliği artırmak hem de çevresel sürdürülebilirliği güçlendirmek amacıyla modern teknolojilere yönelim artmış, özellikle nanoteknoloji tarım alanında dikkat çeken bir konuma ulaşmıştır. Son dönemlerde değeri giderek artan nanoteknoloji, sahip olduğu benzersiz özellikler sayesinde tarımsal üretimin çeşitli aşamalarında önemli bir araç haline gelmiştir (Nongbet vd., 2022). Boyutları 1–100 nm aralığında değişen nano materyaller; nano gübreler, nano pestisitler, nano biyosensörler gibi farklı ürünlerin geliştirilmesinde kullanılmakta ve ayrıca toprak kirliliğinin giderilmesinde de rol almaktadır (Tomak ve Karakuş, 2024; Uysal, 2024; Gökdemir vd., 2023; Esmeray ve Özata, 2019; Mim vd., 2025). Bu yönüyle nano materyaller hem verim artışı hem de çevresel etkilerin azaltılması hedeflerinde modern tarım için önemli fırsatlar sunmaktadır.

2. NANO-GÜBRELERİN TEMEL ÖZELLİKLERİ VE SINIFLANDIRILMASI

Nano gübreler, bitkisel üretimde önemli bir girdi olup nano ölçekli (1–100 nm) malzemelerin kullanılmasıyla üretilen veya mevcut gübrelerin nano bileşenlerle yeniden düzenlenmesiyle elde edilmektedir (Ayenew vd., 2025). Küçük boyutları ve geniş yüzey alanları sayesinde bitki dokularına daha kolay ulaşarak metabolik süreçleri desteklemekte, çözünürlük ve etkileşim kapasitesini artırarak besin alımını güçlendirmektedir. Nano boyutlu malzemelerin fiziksel ve kimyasal davranışlarının değişmesi, bu gübrelerin kök ve yaprak gözeneklerinden kolayca

geçmesine ve besin kullanım verimliliğinin artmasına imkân tanımaktadır (Öztürk vd., 2025). Nano gübreler, yapraktan, sudan veya topraktan uygulanabilen ve kontrollü salınım, hedefe yönelik besin taşıma, gelişim desteği ve besin kaybını azaltma özellikleriyle öne çıkan gübrelerdir (Saraiva vd., 2022; Öztürk vd., 2025). Bu gübreler besin maddelerinin çözünürlüğünü artırarak kök bölgesine düzenli salınım sağlar, böylece daha az gübre ile optimum beslenme gerçekleşmektedir (Madlala vd., 2024; Mim vd., 2025). Ayrıca besinleri toprakta eşit şekilde dağıtarak buharlaşma ve akış kaynaklı kayıpları azaltır; kontrollü salınım özellikleri sayesinde bitkinin gereksinimiyle verilen gübre miktarı arasında denge kurulmasına yardımcı olur (Haydar vd., 2024; Singh vd., 2024). Standart gübreler, yüzey akışı ile su ve toprağın kirlenmesine neden olmaktadır. Ancak nano gübreler besinleri eşit ölçüde dağıtır. Konvansiyonel gübreler, düşük besin kullanım etkinliği nedeniyle yüzey akışı ve yıkanma yoluyla su kaynaklarının kirlenmesine ve toprakta besin kayıplarına neden olabilmektedir. Buna karşılık nano gübreler, kontrollü ve hedefli besin salımı sağlayarak besin kullanım etkinliğini artırmakta ve çevresel kayıpları azaltarak daha sürdürülebilir bir gübreleme yaklaşımı sunmaktadır (Easwaran vd., 2024; Mim vd., 2025). Üretim süreçleri ileri teknoloji gerektirdiği için başlangıç maliyetleri yüksek olsa da daha etkili dağılım, düşük kullanım miktarı ve artan verim nedeniyle nano gübreler uzun vadede ekonomik bir seçenek olarak değerlendirilmektedir (Shanmugavel vd., 2023). Nano gübreler; eylem temelli, besin temelli ve yapı temelli olmak üzere üç grupta sınıflandırılmaktadır. Eylem temelli gübreler kontrollü salınım ve hedefe yönelik taşıma sağlarken, besin temelli gübreler temel elementleri sağlamaya odaklanır. Yapı temelli gübreler ise yüzey kaplamalı veya nano taşıyıcı nitelikli formülasyonları içermektedir. Bu sınıflandırma, nano gübrelerin kullanım amaçlarını netleştirerek tarımsal üretimdeki potansiyel katkılarını ortaya koymaktadır (Ayenew vd., 2025; Saraiva vd., 2022).

2.1. Besin temelli nano gübreler

Nano gübreler, üreticilerin ürün verim, kalite ve üretkenliğini artırmaları ve besin alımını geliştirmeleri açısından oldukça önemli bir yere sahiptir. Bitkiler, büyüme ve gelişimleri için gerekli besin maddelerini doğru zaman ve doğru miktarlarda nano gübrelerden sağlayabilir (Mim vd., 2025). Nano gübrelerin doğru olmayan, aşırı yüksek dozlarda kullanılması sonucunda bitkilerde toksisite görülebilmektedir (Gökdemir vd., 2023). Besin içerikli nano gübreler, bitkilerin gerekli besin maddelerini daha etkin biçimde almasını ve kullanmasını sağlayarak, artan gıda ihtiyacıyla ortaya çıkan tarımsal zorluklara yenilikçi bir çözüm sunmaktadır (Saraiva vd., 2022). İçeriğindeki besin elementlerine göre nano gübreler, makro ve mikro besin nano gübreleri olarak gruplandırılırlar.

2.1.1. Makro besin içeren nano gübreler

Makro besin elementleriyle (azot (N), potasyum (K), fosfor (P), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve kükürt (S)), bitkilere optimum miktarda besin iletimini sağlamak amacıyla nanomalzemelerle entegre edilmiştir. Bu tür makro besin temelli nano gübreler, belirli nanomalzeme yapıları içerisinde kapsüllenmiş bir ya da birden fazla besin maddesinden oluşmaktadır (Nongbet vd., 2022).

2.1.1.1. Azot nano gübresi

Azot, bitkinin büyümesi ve gelişimi için olmak üzere bitkinin metabolik faaliyetlerinde de (fotosentez süreçleri, enzimlerin ve proteinlerin yapı taşı vb.) hayati önem taşıyan bir bileşendir (Seleiman vd., 2020). Azot nano gübre uygulaması ile bitki yapraklarında klorofil içeriği artarak bitkinin hızlı büyümesinde (sürgün ve kök sistemleri) etkilidir. Özellikle NPK (azot, fosfor ve potasyum) içeren nano gübre uygulamaları tarımsal döngünün uzunluğunu azaltmasının yanında mahsul verimini de artırmaktadır (Rajput vd., 2021). Nano boyuttaki azot

partikülleri, geleneksel üreye göre sıvı nano-üre formunun yaklaşık %4'ünü oluşturabilmektedir. Bu durum, parçacıkların 20–50 nm arasındaki küçük boyutları sayesinde daha geniş yüzey alanına ve birim hacim başına daha fazla partikül yoğunluğuna sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Bu özellikleri sayesinde, nano azot parçacıkları hücre duvarlarını ve yaprak stomalarını kolaylıkla geçebilir; plazmodezmal (yaklaşık 40 nm çapında), akuaporinler, iyon kanalları ve taşıyıcı proteinler aracılığıyla endositoz yoluyla bitkinin diğer organlarına taşınabilir. Ayrıca, nano gübrelerde yer alan aktif bileşenler çevresel stres koşullarında bitkinin fizyolojik ihtiyaçlarına bağlı olarak kontrollü biçimde salınabilmektedir (Verma vd., 2023).

2.1.1.2. Fosfor nano gübresi

Bitki bünyesinde birincil bileşik olan fosfor, bitkilerde çok çeşitli sayıda hayati biyokimyasal tepkimede katalitik role sahiptir. Bu element, hücre bölünmesinde, yeni dokuların oluşumunda ve bitkilerdeki enerji transferi ve depolanmasında büyük rollere sahiptir (Öztürk vd., 2025). Uygun dozlardaki P konsantrasyonu, kök büyümesinin hızlanması ve bitkinin daha çabuk olgunlaşmasını sağlarken, düşük P konsantrasyonları bitkide şeker oluşumunu artırabilir ve antosiyaninler gibi kırmızımsı mor pigmentler oluşturabilirler (Ayenew vd., 2025). Fosfor nano gübreleri, fosforun kademeli salınmasını sağlayarak sızıntıları azaltır ve besin bulunabilirliğini artırır. Küçük boyutlarının vermiş olduğu olumlu özellikler sayesinde bitki kökleri tarafından daha iyi adsorpsiyon ve alım sağlar ve fosfor kullanım verimliliğini büyük düzeyde düzenlemektedir. Buna ek olarak, yüzey akışı ve toprak fiksasyonunu minimize ederek su kirliliğinin engellenmesinde ve sürdürülebilir tarımın desteklenmesinde öneme sahiptir (Dhiman vd., 2025). Rashmi ve Prakash (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, nano fosfor gübresinin mısır bitkisi üzerindeki etkileri araştırılmış ve araştırma sonucunda nano fosforun hem toprak hem de yapraktan

uygulanması, bitkilerin boyunu, yaprak sayısını, klorofil içeriğini ve kuru madde birikimini artırmış; koçan gelişimi, sıra ve tane sayısı ile tane verimi üzerinde de en yüksek etkiyi sağladığı ve nano fosfor uygulamalarının, mutlak kontrole ve geleneksel gübre uygulamasına kıyasla daha üstün büyüme ve verim performansı sunduğu belirtilmiştir.

2.1.1.3. Potasyum nano gübresi

Büyüme parametreleri ve ürün miktarı için kritik role sahip olan potasyum, enzim aktivitelerini düzene sokan, fotosentezde stomaların hareketini modüle eden önemli bir besin elementidir (Sanyal vd., 2020). Potasyum, bitkilerin iyonik ve ozmotik basınç dengesini koruyarak genel dirençlerini güçlendiren temel bir besin elementidir. Aynı zamanda enzimatik süreçleri ve hücrel düzenlemeleri düzenleyerek reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikimini kontrol altında tutar. Bu etkileri sayesinde potasyum, bitkilerin çeşitli abiyotik stres koşullarına karşı dayanıklılığını önemli ölçüde artırmaktadır (Wang vd., 2024). Potasyum gübrelenmesi, meyve ağaçlarında hem ekonomik düzeyde verim alınabilmesi hem de kaliteli meyve üretimi için temel bir uygulamadır. Potasyum, hücrelerdeki su dengesinin düzenlenmesinin yanı sıra karbonhidratların sentezi ve bitki dokuları boyunca taşınmasında kritik işlevler üstlenir. Bu nedenle karbonhidratların yeterli düzeyde oluşumu ve taşınımı; vegetatif gelişim, meyve tutumu, verim ve meyve kalitesinin belirlenmesinde önemli bir etkiye sahiptir (Alsahy vd., 2021a). Alhasany ve diğ. (2021b) tarafından yapılan bir çalışmada potasyum nano-gübrelere bakla (*Vicia faba*) bitkisinin büyüme ve verimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda uygulanan potasyum nano-gübresinin artan dozlarda kullanımı, bakla bitkisinin büyüme ve verim unsurlarını olumlu yönde etkilediği; özellikle bakla uzunluğunu, bitkideki bakla sayısını ve 100 tohum ağırlığını anlamlı düzeyde artırdığı bildirilmiştir.

2.1.2. Mikro element içeren nano gübreler

Mikro elementler bitkideki çeşitli fizyolojik süreçlerde etkinlik gösterir. Bitkiler tarafından çok az miktarda ihtiyaç duyulur ve çeşitli hücrel süreçlerin katalizörleri olarak faaliyet gösterirler. Bitki büyümesi için önemli mikro besin elementleri arasında demir (Fe), çinko (Zn), manganez (Mn), bor (B), bakır (Cu), ve molibden (Mo) yer almaktadır. Mikro besinler bileşik gübrelere dahil edilebildiği gibi tek başına da kullanılabilir. Uygulaması yapraktan veya toprağa karıştırılmak suretiyle sıklıkla tercih edilmektedir (Semenova vd., 2024).

2.1.2.1. Çinko oksit (ZnO) nano gübresi

Çinko (Zn), fotosentez, enzim aktivasyonu ve membran ile tohum gelişiminin korunmasında rol oynar. Eksikliği kloroz, düşük klorofil ve zayıf büyüme ile kendini gösterirken, Zn nanopartikülleri kök ve yapraklardan alınarak büyümeyi destekler, stresi azaltır ve fosfataz ile fitaz enzim aktivitelerini artırabilir; aşırı doz ise toksik etki yaratır (Semenova vd., 2024).

Ali ve ark. (2025) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, çinko oksit nano gübresinin mercimek (*Lens culinaris* L.) bitkisinin büyüme ve verim parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre çinko oksit nanopartikül uygulamasının mercimekte büyüme ve verimi artırdığı; kök uzunluğu, bitki boyu, dal ve düğüm sayısı gibi vejetatif gelişim özelliklerini iyileştirdiği, çimlenme oranını yükselttiği ve stres koşullarında bitki gelişimini desteklediği belirlenmiştir.

2.1.2.2. Demir oksit (FeO) nano gübresi

Demir, birçok bitki proteini için kritik bir element olup klorofil üretimi ve hücrel solunum süreçlerinde görev alır. Eksikliği, özellikle genç yapraklarda mezofil kloroz olarak

kendini gösteren önemli bir beslenme bozukluğuna yol açar, çünkü demir bitkide kolayca yeniden kullanılabilen bir element değildir (Semenova vd., 2024). Bayrak ve Dağhan (2023) tarafından yapılan bir çalışmada FeO nano gübre uygulamasının fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) bitkisi üzerindeki etkileri araştırılmış ve araştırma sonucunda, FeO nanopartikül gübrelerinin fasulye bitkisinin yeşil aksamda ve köklerde demir içeriğini belirgin şekilde artırdığı, özellikle yüksek dozlarda yeşil aksamda en yüksek Fe konsantrasyonunun elde edildiği, bununla birlikte P, K, Ca, Zn ve Mn gibi diğer makro ve mikro besin maddelerinin konsantrasyonlarını olumlu yönde etkileyerek bitki besin dengesini desteklediği ve çevre dostu, etkin bir nano-gübre olduğu bildirilmiştir.

2.1.2.3. Mangan oksit (MnO) nano gübresi

Mangan (Mn), fotosistem II (PSII) işlevi sırasında suyun ayrışmasını sağlayan temel bir mikro besin unsurudur ve ayrıca fotosentetik proteinlerin ve bitki enzimlerinin yapısında yer alır (Semenova vd., 2024). Salama ve ark. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, MnO nano gübresinin fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) bitkisi üzerindeki etkisi incelenmiş ve araştırma sonucunda, MnO₂ nanopartiküllerinin fasulye bitkisinde vejetatif büyümeyi, çiçek sayısını ve verimi artırdığı; özellikle yaprak uygulamasında 40 mg/L dozunun bitki gelişimi ve verim özellikleri üzerinde en olumlu etkiyi sağladığı belirlenmiştir.

2.1.2.4. Bakır oksit (CuO) nano gübresi

Bakır, bitkilerde fotosentez, su metabolizması ve karbonhidrat dağılımı gibi süreçlerde önemli bir rol oynar ve bazı enzimlerin yapısına katılarak stres toleransını artırır. Bitkilerde bakır eksikliği, özellikle genç yapraklarda turgor kaybına ve kıvrılmaya neden olarak bitkinin solmasına yol açar (Semenova vd., 2024). Deng ve ark. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, CuO nano gübrelerinin yabancı ot ve kültür pirinç (*Oryza sativa*

L.) üzerindeki etkisi incelenmiş ve CuO uygulamasının, kültüre alınmış pirinçte başaklarda Mg, Ca, Fe ve Zn seviyelerini önemli ölçüde artırarak bitki besin içeriğini iyileştirerek bitki fizyolojisi ve moleküler aktivitelerini olumlu yönde etkilediği bildirilmiştir.

2.2. Nano taşıyıcılı gübreler

Nanopartiküller, genellikle en az bir boyutları 1–100 nm arasında değişen yapılar olarak tanımlanır; örneğin çinko ve demir nanopartikülleri bu gruba girer. Buna karşın, nanopartikül taşıyıcılar çoğunlukla 100 nm'den daha büyük partikül boyutuna sahiptir. Nanopartiküller, gübre formülasyonlarında kapsüller veya taşıyıcı sistemler içerisinde yer aldığında, besin maddelerinin bitkiye daha etkin bir şekilde ulaşmasını sağlayan kontrollü salınım özellikleri sunar; bu sayede kayıplar minimize edilir ve uygulama çevre açısından daha sürdürülebilir bir yöntem haline gelir (Beig vd., 2022; Fincheira vd., 2023).

2.2.1.1. Zeolit nano taşıyıcılarla kaplanmış klasik gübreler

Zeolitler, yapılarında gözenekler ve kanallar barındıran karmaşık silikat mineralleri olup yüksek katyon değişim kapasitesine (CEC) sahiptir. Araştırmalar hem doğal zeolit hem de nanozeolit uygulamalarının toprakta organik karbon miktarını artırarak mikro ve makro agregatların stabilizasyonunu desteklediğini göstermiştir; özellikle nanozeolitler bu açıdan en yüksek etkiyi ortaya koymaktadır. Ayrıca, bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler (PGPR) doğal yollarla bitki gelişimini destekleyen önemli mikroorganizmalardır (Khati vd., 2018). Nano boyutlu zeolit bazlı gübreler, toprağın derinlerine ulaşarak besin maddelerini köklere daha etkin iletebilir. Zeolitler, besinleri depolayarak zamanla salan bir rezervuar görevi görür ve yalnızca gerekli besinlerin verilmesini sağlayarak gübreleme maliyetlerini düşürür (Yadav vd., 2023).

2.2.1.2. Kil nano taşıyıcılarla kaplanmış klasik gübreler

Kil bazlı nanoparçacıklar ve katmanlı çift hidroksitler, geniş yüzey alanı ve aktif yapıları sayesinde kontrollü salınımlı gübre üretiminde kullanılır. Organik ve inorganik maddelerle birlikte bu mineraller, suyu tutma kapasitesi yüksek, besinleri yavaş salabilen ve toprağa uyumlu malzemeler sağlar. Katmanlı çift hidroksitler, kil benzeri çok katmanlı bir yapı olup pozitif yük taşıyan katmanlar ve aralarındaki negatif iyonlarla, gübre veya herbisit gibi maddelerin kontrollü salınımını mümkün kılar. Bu sayede bitkiler besinleri daha verimli kullanabilir ve çevreye olumsuz etkiler azalır (Yadav vd., 2023).

2.2.1.3. Nanokapsüller

Nanokapsüller, organik ve inorganik malzemelerle gübreleri kapsüllemek ve iletmek için kullanılan mikroskobik boyuttaki kapsüllerdir. Nanokapsüller adeta koruyucu bir duvar görevi görür ve besinlerin yavaş salınımını sağlayarak verimli gübre kullanımını sağlar. Nanokapsül kaplı nano gübreler besin alımını artırarak, ürün veriminin de iyileştirilmesini de artırır (Yadav vd., 2023).

2.2.1.4. Nanokompozit

Nanokompozitler, makro besin maddelerinin tarımda etkili bir şekilde kullanımını sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Nanokompozitler, gübrelerin çözünme hızını azaltır. Nanokompozit gübreler, besin maddelerinin daha verimli kullanılmasını sağlayarak salınım miktarının ve koşullarının hassas biçimde kontrol edilmesine imkân tanır. Bu özellikleri sayesinde bazı durumlarda uygulanan gübre dozunun azaltılması mümkün olmakta ve buna bağlı olarak çevresel kirlilik de düşmektedir (Guha vd., 2020).

2.3. Nanobiyogübreler

Nanobiyogübreler; bitkilerin besin alımını desteklemek, toprak verimliliğini artırmak ve böylece büyüme ile ürün verimini geliştirmek amacıyla nanoparçacıkları canlı mikroorganizmalarla birleştiren formülasyonlardır. Bu yapılar, toprağın fiziksel ve işlevsel özelliklerini iyileştirirken bitkilerin morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal ve verime ilişkin parametrelerini de olumlu yönde etkiler. Nano gübrelerin geliştirilmesi ve uygulanması, bitki gelişimini destekleyen ve ürün miktarını yükselten akıllı gübre teknolojilerine geçişte önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir (Öztürk vd., 2025).

3. NANO GÜBRELERİN TOPRAK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Nano gübre uygulamaları ile toprak mekanik özellikleri ve toprağın suyu muhafaza etme yeteneği iyileşir. Nano gübreler, toprağın pH dengesini stabilize etmeye katkı sağlayarak bitki gelişimini destekleyici bir etki oluşturabilir (Öztürk vd., 2025). Toprak sağlığının temelini, mikrobiyal toplulukların çeşitliliği ve gerçekleştirdikleri işlevleri oluşturur. Nanobiyogübreler, *Rhizobium* gibi azot bağlayan ve *Pseudomonas* gibi fosfat çözen faydalı bakterilerin çoğalmasını destekler. Ayrıca bu uygulamaların, organik maddelerin ayrışması ile besin döngüsünde önemli rol oynayan mikrobiyal biyokütle ve enzim aktivitelerini artırdığı bildirilmektedir (Al-Juthery vd., 2025). Nano gübreler, toprak yüzeyinde besin kaybını azaltan koruyucu bir film oluşturarak besinlerin kök bölgesine daha etkili taşınmasını sağlar. Toprağa daha iyi nüfuz ettikleri için bitkilerin besin alımını artırır ve gübre kaynaklı çevresel akışı düşürür (Verma vd., 2022). Bu özellikler, genel olarak bitki gelişimini desteklemektedir (Öztürk vd., 2025). Nanopartikül uygulamaları, toprak kimyasal özelliklerini önemli ölçüde etkileyebilir.

Elektriksel iletkenlik nanopartikül çözünürlüğü ve iyon salınımına bağlı olarak artabilir veya azalabilir. Katyon değişim kapasitesi, nanopartikül uygulamalarıyla toprak gözenekliliği ve yüzey yükündeki değişimlere bağlı olarak artabilir; bazı toprak tiplerinde ise etkiler sınırlı kalmaktadır. Redoks potansiyeli ise özellikle Fe ve CuO nanopartiküllerinin oksidasyon–indirgenme süreçleri nedeniyle dalgalanmalar gösterebilir. Bu etkiler, nanopartikül türü ve toprak özelliklerine bağlı olarak farklılık arz etmektedir (Haydar vd., 2025). Nanoparçacıklar toprağa ulaştığında çeşitli biyojeokimyasal dönüşümlere uğrayarak toprakta birikebilir. Bu süreçler, nanopartiküllerin biyoyararlanımını ve toksisitesini belirler; bitkilerde oksidatif strese yol açabilir ve bitki dokularına taşınarak besin zincirine aktarılabilir. Böylece, uzun vadede insan sağlığı için potansiyel risk oluşturabilecek bir birikim ortaya çıkabilir (Rajput vd., 2020).

4. NANO GÜBRELERİN BİTKİ GELİŞİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Nanopartiküller, bitkilerin azot, fosfor ve potasyum gibi temel besin maddelerini daha verimli kullanmasını sağlayarak büyüme ve gelişmeyi destekler. Ayrıca besinlerin kök bölgesine etkin iletimi ve toprakta kayıpların azalması, bitkilerin sağlıklı gelişimine katkıda bulunur (Öztürk vd., 2025). Nanopartikül uygulamaları, bitkideki metabolik aktiviteleri artırarak meristem dokusunun etkinliğini yükseltir; bu da uç büyüme ve fotosentez yapan yaprak gelişimini olumlu yönde etkileyebilir (Devi vd., 2023). Bitki fizyolojisi ve verimini olumsuz yönde etkileyen çeşitli çevresel faktörlere karşı nano gübre uygulamaları bitkilerde antioksidan enzim aktivitelerini artırmak suretiyle reaktif oksijen türlerinin (ROS) detoksifikasyonunu

güçlendirerek bitkilerin strese karşı toleransını artırmaktadır (Abdel-Aziz vd., 2023).

5. NANO GÜBRELERİN SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM AÇISINDAN ÖNEMİ

Nano gübre uygulamaları, tarımsal ve ürün verimliliğini artırmakta ve iyileştirmektedir. Ayrıca nano gübre uygulamaları, tarımsal kimyasalların kullanımını büyük ölçüde azaltmaktadır (Mathur vd., 2022). Ayrıca, bitkilerde metabolik reaksiyonları kolaylaştırarak daha yavaş, kontrollü ve yeterli besin alımını sağlar ve çevresel tetikleyicilere yanıt veren hedefe yönelik besin salımını mümkün kılar (Saraiva vd., 2023). Böylece bitkilerin besinleri daha verimli kullanmasını sağlayarak gübrelerin etkinliğini artırır; böylece hem gübre maliyetlerini düşürür hem de çevresel kirlilik risklerini minimize eden etkili bir çözüm sunar (Mathur vd., 2022). Bunun ötesinde nano gübreler, besin elementlerini bitki veya toprak üzerinde hedeflenen bölgelere yönlendirecek şekilde tasarlanabilmekte ve böylece gereksiz kayıpları önleyerek bitkilerin besin kullanım verimliliğini artırmaktadır. Bu yaklaşım, özellikle azot, fosfor ve potasyum gibi kritik makro besin elementlerinin optimum şekilde temin edilmesini sağlayarak, bitki büyümesi, çiçeklenme ve meyve tutumu gibi gelişim süreçlerini desteklemektedir (Kumar vd., 2025). Besin yönetimi, iklim değişikliğinin tarım üzerindeki etkilerini azaltmada önemli bir stratejidir ve bu nedenle gübre üretimi ve kullanımı dikkatle ele alınmalıdır (Saraiva vd., 2023).

6. ÇEVRESEL VE EKOTOKSİKOLOJİK DEĞERLENDİRMELER

Nanoparçacık uygulamalarının yoğunlaşması, sadece faydalı mikrobiyal toplulukları değil, aynı zamanda mahsuller ve

toprak sağlığını da potansiyel olarak olumsuz etkileyebilir (Rajput vd., 2018). Nanoparçacıkların çevresel toksisitesi, özellikle uzun süreli kalıcılıkları, biyolojik olarak birikme eğilimleri ve hücresele düzeyde biyolojik sistemlerle etkileşimleri nedeniyle önemli bir kaygı unsurudur. Gübrelelerde kullanılan nanoparçacıklar doğrudan toprak ekosistemine uygulanır ve bu durum çevresel kirliliğe neden olabilir (Ghazaryan vd., 2024). Organik maddenin ayrışması gibi birçok hayati süreçte görev alan mikrobiyal topluluklar, toprak verimliliğinin ve ekosistem sağlığının korunması için önemlidir. Toprakta meydana gelebilecek nanopartikül birikimi ekolojik işlevlerin bozulmasına yol açabilir (Abdullatif vd., 2024). Bu durum da toprağın karbon depolama süreçlerinin değişmesine yol açarak, dolaylı olarak iklim değişikliğinin meydana gelmesine neden olabilir. Karbon bazlı malzemeler ve metal oksitler gibi havadaki nanoparçacıklar, hava kalitesini olumsuz etkiler ve bitki örtüsü ile su kütlelerine yerleşerek karasal ve sucul ekosistemlere kirleticilerin girişine yol açar (Bouhadi vd., 2025).

7. SONUÇ

Nano gübreleler, toprak verimliliğini artırma ve çevre dostu tarım uygulamalarını destekleme açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu gübreleler, besin maddelerinin bitkiler tarafından daha etkin şekilde alınmasını sağlayarak üretim verimliliğini yükseltirken, aynı zamanda geleneksel gübre kullanımına bağlı çevresel olumsuz etkileri azaltma potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte, nano gübrelelerin uygulamasında hâlâ çeşitli sınırlılıklar mevcuttur; bunlar arasında toprak mikrobiyal toplulukları üzerindeki uzun vadeli etkiler, olası fitotoksitate ve ekosistemlerde birikim riski bulunmaktadır. Bu sınırlılıklar, nano gübrelelerin güvenli ve sürdürülebilir kullanımını destekleyecek kapsamlı risk değerlendirmelerinin yapılmasını gerektirmektedir.

Gelecekteki araştırmalar, nano gübrelerin farklı toprak tipleri ve iklim koşullarında performansını, çevresel etkilerini ve bitki-mikrobiyal etkileşimleri detaylı şekilde incelemeye odaklanmalıdır. Bu doğrultuda geliştirilecek bilgiler, tarımda hem verimliliği artıracak hem de çevresel sürdürülebilirliği güçlendirecek stratejilerin oluşturulmasına olanak sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Abdel-Aziz, H.M., Benavides-Mendoza, A., Rizwan, M., & Seleiman, M.F. (2023). Nanofertilizers and abiotic stress tolerance in plants. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1154113. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1154113>.
- Abdullatif, Y., Soliman, E., Hammad, S.A., El-Ghamry, A., & Mansour, M.M. (2024). Impact of carbon nanoparticles on aggregation and carbon sequestration under soil degradation—a review. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 15(4), 85–92.
- Adiloğlu, S., Eryılmaz Açıköz, F., Adiloğlu A. 2013. The Effect of Increasing Doses of Sulfur Application of Some Nutrient Elements, Vitamin C, Protein Contents and Biological Properties of Canola Plant (*Brassica Napus L.*) Journal of Tekirdağ Agricultural Faculty. 10 (3): 59-63.
- Adiloğlu, S., Eryılmaz Açıköz, F., Solmaz, Y., Adiloğlu, A., Karaman, M.R. (2017). The Effect of Different Doses of Calcium Nitrate Applications on Some Phytonutrient Element Contents of Leafy Parsley (*Petroselinum crispum* (Mill.)) Plant. *Journal of Experimental Agriculture International*. (2017) 19(5): 1-6
- Alhasany, A.R., Leiby, H.R., & Noaema, A.H. (2021a). Effectiveness of spraying nano-fertilizers of iron and potassium on the growth and yield of faba bean crop (*Vicia faba L.*). *Int. J. Agricult. Stat. Sci*, 17(1), 341–345. <https://connectjournals.com/03899.2021.17.341>.
- Ali, M.A., Kordrostami, M., Javar, F.M., & Rahimi, M. (2025). Effects of planting date and zinc oxide nano fertilizer on growth and yield of lentil (*Lens culinaris L.*) in two agroecological zones. *BMC Plant Biology*, 25(1), 1114. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-07187-1>.

- Al-Juthery, H.W., Al-Tae, R.A., Alhasan, A.S., Hassan, D.F., Al-Jassani, N.A., & Jarallah, R.S. (2025). Nano-biofertilizers: A promising technology for sustainable soil fertility, soil health, and environmental protection. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 22(3), 15–31. <https://dx.doi.org/10.36922/AJWEP025160123>.
- Alsahy, A.M., Al-Wasfy, M.M., Badawy, I.F.M., Gouda, F.M., & Shamroukh, A.A. (2021b). Effect of nano-potassium fertilization on fruiting of Zaghloul date palm. *SVU-International Journal of Agricultural Sciences*, 3(1), 1–9.
- Ayenew, B.M., Satheesh, N., Zegeye, Z.B., & Kassie, D.A. (2025). A review on the production of nanofertilizers and its application in agriculture. *Heliyon*, 11(1). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e41243>.
- Bayrak, M.B., & Dağhan, H. (2023). Demir oksit nanopartikül (FeO-NP) uygulamasının topraksız kültürde yetiştirilen fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) bitkisinin büyümesi üzerine etkileri. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 7(4), 759–777. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10208300>.
- Beig, B., Niazi, M.B.K., Sher, F., Jahan, Z., Malik, U.S., Khan, M.D., & Vo, D.V.N. (2022). Nanotechnology-based controlled release of sustainable fertilizers: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 20(4), 2709–2726. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01409-w>
- Bouhadi, M., Javed, Q., Jakubus, M., Elkouali, M.H., Fougrach, H., Ansar, A., & Černe, M. (2025). Sürdürülebilir tarım için nanopartiküller: fayda ve risklerin değerlendirilmesi. *Tarım Bilimi*, 15(5), 1131
- Cüre, B. (2022). Kimyasal ve organik gübrelerin çevre üzerine etkisi. *Uluslararası Biyosistem Mühendisliği Dergisi*, 3(2), 98–107.

- Deng, C., Wang, Y., Navarro, G., Sun, Y., Cota-Ruiz, K., Hernandez-Viezcas, J.A., Niu, G., Li, C., White, J.C., & Gardea-Torresdey, J. (2022). Copper oxide (CuO) nanoparticles affect yield, nutritional quality, and auxin associated gene expression in weedy and cultivated rice (*Oryza sativa* L.) grains. *Science of the Total Environment*, 810, 152260. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721073368>.
- Devi, O.R., Ojha, N., Laishram, B., Dutta, S., & Kalita, P. (2023). Roles of nano-fertilizers in sustainable agriculture and biosafety. *Environment and Ecology*, 41 (1B): 457-463.
- Dhiman, V.K., Dhiman, V.K., Rana, G., Kumar, R., Singh, D., Chauhan, A., Jabir, M., & Ghotekar, S. (2025). Recent advances in phosphorus nano-fertilizers: Impacts on crop productivity and soil sustainability. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 102885. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2025.102885>.
- Duru, S. (2025). Sürdürülebilir tarım ve iklim değişikliği. *Muş Alparslan Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 5(1), 21–32.
- Easwaran, C., Christopher, S.R., Moorthy, G., Mohan, P., Marimuthu, R., Koothan, V., & Nallusamy, S. (2024). Nano hybrid fertilizers: A review on the state of the art in sustainable agriculture. *Science of the Total Environment*, 929, 172533. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172533>.
- Esmeray, E., & Özata, O. (2019). Nanopartiküllerin çevre mühendisliğinde kullanımı ve temel laboratuvar malzemeleri ile gümüş nanopartikül (AgNPs) sentezi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 16, 521–527.

- Fincheira, P., Hoffmann, N., Tortella, G., Ruiz, A., Cornejo, P., Diez, M.C., Seabra, A.B., Benavides-Mendoza, A., & Rubilar, O. (2023). Eco-efficient systems based on nanocarriers for the controlled release of fertilizers and pesticides: Toward smart agriculture. *Nanomaterials*, 13(13), 1978.
- Ghazaryan, K., Agrawal, S., Margaryan, G., Harutyunyan, A., Rajput, P., Movsesyan, H., Rajput, V.D., Singh, R.K., Minkina, T., Elshikh, M.S., Alwahibi, M.S., Alexiou, A., Papadakis, M., Sousa, J.R., & Singh, A. (2024). Soil pollution: An agricultural and environmental problem with nanotechnological remediation opportunities and challenges. *Discover Sustainability*, 5(1), 453.
- Gökdemir, F.Ş., Gündoğdu, M., Muftareviç, S., Sunar, A., & Eyidoğan, F. (2023). Nanopartiküllerin tarımsal bilimlerdeki önemi ve kullanım alanları. *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 49(1), 11–17.
- Guha, T., Gopal, G., Kundu, R., & Mukherjee, A. (2020). Nanocomposites for delivering agrochemicals: a comprehensive review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(12), 3691–3702.
- Haydar, M.S., Alzate Zuluaga, M.Y., & Astolfi, S., Stefano, C., & Pii, Y. (2025). From synthesis to soil: Transformations and impacts of nanoparticles in agroecosystems. *Science of the Total Environment*, 1000, 180374.
- Haydar, M.S., Ghosh, D., & Roy, S. (2024). Slow and controlled release nanofertilizers as an efficient tool for sustainable agriculture: Recent understanding and concerns. *Plant Nano Biology*, 7, 100058.

- Kadioğlu, B. (2021). Toprak kirliliği ile kimyasal gbre kullanımı arasındaki olası bağlantıların incelenmesi. *Muş Alparslan Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 1(2), 26–38.
- Khati, P., Parul, Bhatt, P., Nisha, Kumar, R., & Sharma, A. (2018). Effect of nanozeolite and plant growth promoting rhizobacteria on maize. *3 Biotech*, 8(3), 141.
- Kumar, S., Sharma, Y., Khandelwal, V., Rawat, K., & Patil, A. (2025). Applications of nanotechnology in fertilizers: a review study. *Sustainable Chemistry for the Environment*, 10, 100247.
- Madlala, N.C., Khanyile, N., & Masenya, A. (2024). Examining the correlation between the inorganic nano-fertilizer physical properties and their impact on crop performance and nutrient uptake efficiency. *Nanomaterials*, 14(15), 1263.
- Mathur, S., Pareek, S., & Shrivastava, D. (2022). Nanofertilizers for development of sustainable agriculture. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 53(16), 1999–2016. <https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2070191>
- Mim, J.J., Rahman, S.M., Han, F., Paul, D., Sikder, ř., Das, H.P., Han, S., Orny, N.T., Shuvo, M.R.H., & Hossain, N. (2025). Towards smart agriculture through nano-fertilizer: A review. *Materials Today Sustainability*, 30, 101100.
- Nongbet, A., Mishra, A.K., Mohanta, Y.K., Mahanta, S., Ray, M.K., Khan, M., Baek, K.H., & Chakrabartty, I. (2022). Nanofertilizers: a smart and sustainable attribute to modern agriculture. *Plants*, 11(19), 2587.
- ztrk, D..H., Kkyıldırım, H., & Aydemir, S. (2025). Nano gübreler ve tarımsal verimlilik: geleceğin gbre teknolojisi. *Tarımda inovasyon ve srdrlebilirlik*:

güncel yaklaşımlar ve uygulamalar, 27. DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.15028284>.

- Rajput, V.D., Minkina, T., Sushkova, S., Tsitsuashvili, V., Mandzhieva, S., Gorovtsov, A., Nevidomskyaya, D., & Gromakova, N. (2018). Effect of nanoparticles on crops and soil microbial communities. *Journal of Soils and Sediments*, 18(6), 2179–2187.
- Rajput, V.D., Singh, A., Minkina, T.M., Shende, S.S., Kumar, P., Verma, K.K., Bauer, T., Gorobtsova, O., Deneva, S., & Sindireva, A. (2021). Potential applications of nanobiotechnology in plant nutrition and protection for sustainable agriculture. In *Nanotechnology in plant growth promotion and protection: recent advances and impacts* (pp. 79–92).
- Rajput, V., Minkina, T., Mazarji, M., Shende, S., Sushkova, S., Mandzhieva, S., Burachevskaya, M., Chaplygin, V., Singh, A., & Jatav, H. (2020). Accumulation of nanoparticles in the soil-plant systems and their effects on human health. *Annals of Agricultural Sciences*, 65(2), 137–143. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2020.08.001>.
- Rashmi, C.M., & Prakash, S.S. (2023). Effect of nano phosphorus fertilizers on growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in central dry zone of Karnataka. *Mysore J. Agric. Sci.*, 57 (2): 286-293
- Salama, D.M., Abd El-Aziz, M.E., Shaaban, E.A., Osman, S.A., & Abd El-Wahed, M.S. (2022). The impact of nanofertilizer on agro-morphological criteria, yield, and genomic stability of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Scientific Reports*, 12(1), 18552. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21834-9>.

- Sanyal, S.K., Rajasheker, G., Kishor, P.B.K., Kumar, S.A., Kumari, P.H., Saritha, K.V., Rathnagiri, P., & Pandey, G.K. (2020). Role of protein phosphatases in signaling, potassium transport, and abiotic stress responses. In *Protein phosphatases and stress management in plants: Functional genomic perspective* (pp. 203–232). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48733-1_11#DOI.
- Saraiva, R., Ferreira, Q., Rodrigues, G.C., & Oliveira, M. (2022). Phosphorous nanofertilizers for precise application in rice cultivation as an adaptation to climate change. *Climate*, *10*(11), 183. <https://doi.org/10.3390/cli10110183>.
- Saraiva, R., Ferreira, Q., Rodrigues, G.C., & Oliveira, M. (2023). Nanofertilizer use for adaptation and mitigation of the agriculture/climate change dichotomy effects. *Climate*, *11*(6), 129. <https://doi.org/10.3390/cli11060129>.
- Seleiman, M.F., Almutairi, H.F., Alotaibi, M., Shami, A., Alhammad, B.A., & Battaglia, M.L. (2020). Nanofertilization as an emerging fertilization technique: why can modern agriculture benefit from its use? *Plants*, *10*(1), 2.
- Semenova, N.A., Burmistrov, D.E., Shumeyko, S.A., & Gudkov, S.V. (2024). Fertilizers based on nanoparticles as sources of macro-and microelements for plant crop growth: A review. *Agronomy*, *14*(8), 1646.
- Shanmugavel, D., Rusyn, I., Solorza-Feria, O., & Kamaraj, S.K. (2023). Sustainable SMART fertilizers in agriculture systems: A review on fundamentals to in-field applications. *Science of The Total Environment*, *904*, 166729. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166729>.

- Singh, S., Singh, R., Singh, K., Katoch, K., Zaeen, A.A., Birhan, D.A., Singh, A., Sandhu, H.S., Singh, H., & Sahrma, L.K. (2024). Smart fertilizer technologies: An environmental impact assessment for sustainable agriculture. *Smart Agricultural Technology*, 8, 100504. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100504>.
- Tomak, A., & Karakuş, C.Ö. (2024). Gümüş nanopartiküllerin morfolojisinin protein etkileşimleri üzerindeki etkisi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 26(76), 82–89.
- Uysal H. (2024). Yabanıl tip ve hedef olmayan model bir organizmanın, *Drosophila melanogaster* Oregon-R, dişi ve erkek popülasyonlarında bakır hidroksit (Cu(OH)₂) nanopestisitine ait etkilerin in vivo ömür uzunluğu testi ile araştırılması. *Eurasian J Bio Chem Sci*, 7(2):96-101 <https://doi.org/10.46239/ejbc.1473449>
- Verma, K.K., Song, X.P., Degu, H.D., Guo, D.J., Joshi, A., Huang, H.R., Xu, L., Singh, M., Huang, D.L., Rajput, V.D., & Li, Y.R. (2023). Recent advances in nitrogen and nano-nitrogen fertilizers for sustainable crop production: a mini-review. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 10(1), 111. <https://doi.org/10.1186/s40538-023-00488-3>.
- Verma, K.K., Song, X.P., Joshi, A., Tian, D.D., Rajput, V.D., Singh, M., Arora, J., Minkina, T., & Li, Y.R. (2022). Recent trends in nano-fertilizers for sustainable agriculture under climate change for global food security. *Nanomaterials*, 12(1), 173.
- Wang, Q., Shan, C., Zhang, P., Zhao, W., Zhu, G., Sun, Y., Wang, Q., Jiang, Y., Shakoor, N., & Rui, Y. (2024). The combination of nanotechnology and potassium: applications in agriculture. *Environmental Science and*

Pollution Research, 31(2), 1890–1906.
<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3046113/v1>.

Yadav, A., Yadav, K., & Abd-Elsalam, K.A. (2023). Nanofertilizers: types, delivery and advantages in agricultural sustainability. *Agrochemicals*, 2(2), 296–336.
<https://doi.org/10.3390/agrochemicals2020019>.

MİKROPLASTİKLER VE TARIMA ETKİLERİ

Sude KARTAL¹

Doğan Berk KARA²

Uğur GÜNEŞ³

Bilal Can ERKAN⁴

Sevinç YEŞİLYURT⁵

1. GİRİŞ

Plastikler dünya genelinde önemli kirleticiler arasında yer almaktadır. Plastikler, üreticilerin maliyeti, üretim kolaylığı, gibi nedenlerden dolayı birinci tercihtir. 2024 yılında dünya genelinde plastik üretimi 430,9 milyon ton olmuştur. Üretilen bu plastikler, daha büyük parçacıkların parçalanıp ayrışmasıyla ya da doğrudan üretildiği haliyle mikroplastiklere dönüşmektedir. Verimsiz geri dönüşüm ve bertaraf süreçleri, doğal ekosistemlerde ciddi miktarlarda mikroplastik birikimine yol açmıştır. (Plastics Europe, 2025; Erdem ve ark., 2025). Bu mikroplastikler doğal ekosistemler ve başta insan olmak üzere tüm canlılar için olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Mikroplastiklerin zarar derecesi ortamda bulunan diğer kirleticilerin varlığıyla daha da ciddi bir

¹ Lisans Öğrencisi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme, ORCID: 0009-0004-8679-9243.

² Lisans Öğrencisi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme, ORCID: 0009-0008-8294-5003.

³ Lisans Öğrencisi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme, ORCID: 0009-0006-9570-6541.

⁴ Lisans Öğrencisi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme, ORCID: 0009-0002-7011-5711.

⁵ Prof. Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme, ORCID: 0000-0002-0062-0491.

hale gelmektedir. Mikroplastikler diğer kirleticileri bünyelerinde sorpsiyon etme yeteneğine de sahiptir. Mikroplastiklerin ağır metal ve organik kirleticiler ile etkileşimleri incelemeye değer bir konu olarak ön plana çıkmaktadır (Farooq ve ark., 2025)

Mikroplastik terimi ilk kez Thomson ve arkadaşları tarafından 2004 yılında kullanılmıştır (Thompson ve ark., 2004). Mikroplastikler için ortak kabul edilen bir tanım bulunmamaktadır. Literatür incelendiğinde mikroplastikler genel olarak 5 mm'den küçük parçacıkları tanımlamak için kullanılmıştır. Bazı araştırmacılar ise mikroplastikleri 1 nm ile 5 mm arasındaki plastik parçacıklar olarak ifade etmiştir. Hem ulusal hem uluslararası kurum ve kuruluşlar incelendiğinde de mikroplastiklerin tanımlanmasında parçacık boyutu kullanılmıştır. Bu kurum ve kuruluşların tanımları arasındaki temel fark alt sınırın varlığıdır. Bazıları mikroplastikleri 5 mm'den küçük parçacıklar olarak tanımlarken, bazıları ise bir alt sınır koymuştur. Bu alt limit genel olarak 1 nm olarak belirlenmiştir. Mikroplastikler genel olarak 5 mm'den 1nm'ye kadar olan suda çözünemeyen polimer parçacıklar olarak tanımlanabilir (Akça ve Sözüdoğru Ok, 2021; Ho ve ark., 2024; Osman ve ark., 2023; Song ve ark., 2024).

Mikroplastikler oluşum biçimlerine göre ikiye ayrılmaktadır. Birincil mikroplastikler üretildiği andan itibaren ya da bir başka deyişle üretim sürecinden çıktığı gibi mikro boyutlarda olan plastik parçacıklardır. Birincil mikroplastikler kasıtlı olarak bu boyutlarda üretilir ve kozmetik ürünler, kişisel bakım ürünleri, ilaçlar, deterjanlar ve böcek ilaçları gibi ticari ürünlere eklenir. İkincil mikroplastikler ise daha büyük plastik parçacıkların fiziksel, kimyasal ve biyolojik yollarla ayrışması, parçalanması yoluyla istenmeden oluşmaktadır. Bunlara balıkçılık ekipmanları, plastik şişeler, plastik poşetler ve plastik gıda kaplarının ayrışarak ya da parçalanarak daha küçük

boyutlara parçalanması örnek verilebilir (Koelmans ve ark., 2022; Osman ve ark., 2023; Song ve ark., 2024).

Mikroplastikler şekil ve morfolojilerine göre lifler, lif demetleri, parçalar, küreler, peletler, filmler ve köpükler olmak üzere 7 farklı kategori altında toplanabilir. Mikroplastikler, fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirleyen yüzlerce farklı polimer türünden oluşabilir ve bu polimerler termoplastikler ve termoset plastikler olarak iki temel sınıfa ayrılır. Termoplastikler, ısıtıldığında eriyebilen ve soğutulduğunda sertleşen plastiklerdir. En yaygın olanları arasında polietilen tereftalat (PET), polipropilen (PP), polistiren (PS), düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve polivinil klorür (PVC) bulunur. Termoset Plastikler ise ısıtıldığında kimyasal bir değişime uğrayan plastiklerdir. Poliüretan (PU), epoksi reçineler, akrilik, üre-formaldehit, vinil esterler ve fenolik reçineler bu grupta yer alır.

Mikroplastiklerin birçok kaynağı bulunsa da genel olarak mikroplastikler kaynaklarına göre Karasal (Land Based) ve Okyanus (Ocean Based) tabanlı olarak ikiye ayrılabilir. Karasal tabanlı mikroplastiklere örnek olarak lastik poşetler, şişeler, kişisel bakım ürünleri, inşaat malzemeleri ve giysiler verilebilir. Kanalizasyon çamuru ile granül ve küçük reçine peletleri kullanan endüstriyel faaliyetler, sucul ortama mikroplastik kirliliği diğer olası kaynaklar arasında bulunmaktadır. Belirli kozmetikler ve kişisel bakım ürünleri de ilaç taşıyıcı veya bileşen olarak kullanılan mikroplastikleri içerebildikleri için plastik kirliliğinin potansiyel kaynakları olarak kabul edilmektedir. Otomobil lastiklerinin aşınması ve yıpranması, çevreye önemli ölçüde mikroplastik salınımına neden olmaktadır. İçecek şişeleri, pipetler, çatal-bıçak takımları, kahve fincanları ve poşetler gibi polimerik plastiklerden üretilen tek kullanımlık ürünler de çevrede önemli bir plastik kirliliği kaynağı olduğu belirlenmiştir (Menéndez-Pedriza ve Jaumot, 2020; Osman ve ark., 2023).

Sucul ortama salınan mikroplastiklerin yaklaşık %10-20'lik kısmını sahil turizmi, ticari balıkçılık, deniz taşıtları ve açık deniz endüstrileri gibi denizel kaynaklar oluşturmaktadır. Plastik monofilament misinalar ve naylon ağlar gibi atılmış veya kaybolmuş balıkçılık teçhizatları, okyanusun farklı derinliklerinde yüzebilen önemli bir mikroplastik kaynağıdır. Ek olarak Petrokimya gibi açık deniz endüstrilerinden kaynaklanan büyük miktarda plastik atık deniz ekosistemlerine salınmaktadır (Menéndez-Pedriz ve Jaumot, 2020; Osman ve ark., 2023).

2. MİKROPLASTİKLERİN TARIMSAL ORTAMLARA GİRİŞİ

Karasal ekosistemde çöplük atıklarının yaklaşık %79'unun plastik olduğu bildirilmiş olup, toprak MP kirliliği için önemli bir birikim yeridir (Jia ve ark., 2023). MP'ler toprağa kanalizasyon çamuru ve kompost gibi toprak düzenleyicilerin uygulanması, kirli suyla sulama, plastik malçlama, atmosferik çökeltme ve çöp atımı gibi yollarla girmektedir (Kumar ve ark., 2022). MP'ler toprakta bitki kökleri ve toprak organizmaları (özellikle solucanlar) tarafından alınarak taşınabilir. Solucanlar besin materyalini yutarak ve vücut yüzeyleriyle kirleticileri olarak MP'lerin yüzey topraktan derin katmanlara taşınmasında rol oynamaktadır. Anecic solucanlar ise oluşturdukları dikey galerilerle bu taşınımı daha da artırmaktadır. Çamur ve kompost uygulamaları da MP birikiminin önemli kaynaklarıdır. Çamur uygulanan topraklarda sentetik lif birikimi gösterilmiş, kompostta ise yüksek MP konsantrasyonları rapor edilmiştir (Jia ve ark., 2023). Kompostun uzun süreli kullanımıyla topraklarda MP birikimi hektar başına yılda 3,30 milyon parçacığa ulaşabilmektedir (Yang ve ark., 2021). Ayrıca üretim süreçlerindeki mekanik işlemler MP oluşumunu artırabilir (Braun ve ark., 2021). MP'ler toprak işleme, hasat, yağış ve sulama ile

toprak profili içinde taşınarak alt katmanlara geçebilir (Huang ve ark., 2021; Wong ve ark., 2020). Genel olarak topraklar MP için önemli bir birikme yeri olsa da tarımsal, kentsel ve endüstriyel topraklar arasında miktar ve bileşim açısından büyük farklılıklar bulunmaktadır. Bu değişkenlik, MP kirliliğinin toprak sağlığı ve sürdürülebilir tarım üzerindeki risk değerlendirmesini zorlaştırmaktadır. Plastik malç su tutma kapasitesini artırırsa da yanlış kullanımı toprağa MP girişine neden olur ve küresel kullanım miktarı hızla artmıştır (Huang ve ark., 2020; Jia ve ark., 2023). Malçlama uygulamaları, tarımsal girdi bakımından önemli mikroplastik kaynakları arasında yer almaktadır. Malçlama işlemi, yabancı ot kontrolü, toprak neminin korunması, sıcaklık düzenlemeleri ve verim artışı amaçlarıyla yapılmaktadır. Malçlamada kullanılan örtülerin büyük bir kısmı düşük yoğunluklu polietilendir. Bu plastik örtüler tarla koşullarında çeşitli etkilerin altında kalarak fotooksidasyon, termal bozunma ve mekanik aşınma süreçlerine uğramaktadır. Bu süreçler sonucunda örtü mikroplastik boyutlarına kadar düşebilmektedir. Malç örtüsü hasat sonrası araziden tam olarak kaldırılamaz. Zamanla bu mikroplastikler toprakta fazlaca birikerek toprak ekosistemine, bitkilere ve bitkilerde birikim yoluyla da insan sağlığına zarar verebilmektedir (Erkan ve ark., 2025).

3. TOPRAK EKOSİSTEMİNDE MİKROPLASTİKLERİN DAVRANIŞI

Mikroplastikler, toprak mikroorganizmalarının biyokütlesini, populasyonunu ve çeşitliliğini doğrudan etkilemektedir. Yapılan bir araştırmada 0.1-1 konsantrasyonlarındaki polietilen (PE), polistiren (PS) ve polivinil klorür (PVC) gibi mikroplastiklerin, toprak mikrobiyal biyokütlesini %15'e kadar azalttığı ve bakteri çeşitliliğini düşürdüğü görülmüştür. Bir başka araştırma da ise

mikroplastikler, özellikle azot fikse eden faydalı bakterilerin (*Rhizobium* vb.) miktarında önemli bir düşüşe (%15 oranında) yol açmıştır (Hasan ve Tarannum, 2025).

Mikroplastikler, sahip oldukları geniş yüzey alanı ve yapıları gereği mikroorganizmalar için toprak genelinden tamamen farklı yeni bir yapay yaşam alanı (ekolojik niş) sunmaktadır. Mikroorganizmalar bu parçacıkların yüzeylerine tutunarak uzun süreli biyofilmler oluşturmaktadır (Ding ve ark., 2022). Bu "plastisfer" habitatında, *Arthrobacter* ve *Streptomyces* gibi plastiği parçalayabilen bakteriler zenginleşirken, doğal toprak mikrobiyotasından tamamen farklı, özgün mikrobiyal topluluklar ortaya çıkar (Liu ve ark., 2023)

Topraktaki karbon, azot ve fosfor döngülerini sağlayan mikroorganizmaların salgıladığı hücre dışı (ekstraselüler) enzim aktiviteleri mikroplastiklerden büyük ölçüde etkilenmektedir. Özellikle PE ve PVC gibi mikroplastikler, mikrobiyal metabolik aktivitenin önemli bir göstergesi olan FDAse (floresein diasetat hidrolaz) aktivitesini genellikle azaltırken, asit fosfataz ve üreaz gibi enzimlerin aktivitelerini artırmaktadır. Polistiren ve polietilen ise, azot döngüsünde görevli kitinaz ve lösin-aminopeptidaz gibi enzimlerin aktivitesini sınırlayarak azot döngüsünde aksamalara neden olabilmektedir (Farooq ve ark., 2025; Zhang ve ark., 2022; Zhou ve ark., 2021). Özellikle bitkilerin besin ve su alımında kritik olan arbusküler mikorizal mantarların yapısını ve çeşitliliğini değiştirerek simbiyotik işlevleri aksatır (Hanif ve ark., 2024).

Mikroplastikler, çevreye yayılan ağır metaller, kalıcı organik kirleticiler (POP'lar) ve farmasötikler gibi çeşitli zehirli maddeleri yüzeylerinde toplama (sorpsiyon) kapasitesine sahiptir. Bu durum, mikroplastiklerin vektör görevi görerek, bu kirleticilerin besin zincirine sokulmalarına neden olur; bu fenomene "Truva Atı" etkisi denir. Mikroplastikler, organik

birleşiklerin sorpsiyonu için geniş bir yüzey alanı sağlamaktadır. Sorpsiyon, temelde absorpsiyon ve adsorpsiyon süreçlerinin birleşiminden oluşmaktadır. Sorpsiyonun gücü, çevresel etkilere ve mikroplastığın kendine özgü özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Çevresel faktörler arasında pH, tuzluluk, doğal organik madde, sıcaklık ve iyonik güç yer almaktadır. Mikroplastığın boyutu, şekili, yoğunluğu, rengi, polimer tipi, kristalliliği, moleküler ağırlık ve yaşlanma derecesi ise sorpsiyonun gücünü etkileyen diğer faktörler arasındadır. Mikroplastiklerin, kalıcı organik kirleticiler ile sorpsiyonu ağırlıklı olarak hidrofobik etkileşim yoluyla gerçekleşmektedir. Mikroplastikler, emdikleri yüksek konsantrasyonlu kirleticileri besin zinciri yoluyla canlılara taşıyabilir ve biyoakümülyasyona neden olabilir. (Tang, 2021).

Tarım arazilerinde, mikroplastikler yaygın olarak inorganik kirleticilerle birlikte bulunmaktadır. Mikroplastikler bazı ağır metalleri (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn) gibi ağır metali bünyelerinde adsorbe edebilmektedir. Ağır metaller ve mikroplastikler arasındaki etkileşim genel olarak kompleks oluşumu, elektrostatik çekim ve ortak çökeltme gibi süreçlerle olmaktadır. Mikroplastiklerin partikül boyutları sorpsiyon derecesini doğrudan etkilemektedir. Parçacık boyutu küçük olan mikroplastikler daha geniş bir yüzey alanına sahiptir ve kirleticilerin tutunması için daha geniş bir yüzey alanı sunmaktadır (Erdem ve Gence, 2025).

4. BİTKİLER ÜZERİNDEKİ ETKİLER

Bitki büyümesi, bitki hacmi ve kütledeki artışı ifade etmektedir. Mikroplastik stresi ise toprak verimliliğini azaltarak ve fiziksel engeller oluşturarak bitki gelişimini olumsuz etkilemektedir (Jia ve ark., 2023). Mikroplastikler (MP'ler), toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini değiştirerek

toprak sağlığı ve ekosistem işlevleri üzerinde tehdit oluşturmaktadır (Wang ve ark., 2024; Zhou ve ark., 2023). Yapılan çalışmalar, MP'lerin oksidatif stresi artırdığını, kök gelişimini baskıladığını, besin elementi alımını azalttığını ve marul, buğday, mısır ile pirinç gibi bitkilerde biyokütle kaybına neden olduğunu göstermektedir (Azeem ve ark., 2022; Zantis ve ark., 2023). Bitki kökleri mikroplastik girişine karşı doğal bariyer oluştursa da endositoz, apoplastik taşınım ve kök yüzeyindeki çatlaklar aracılığıyla MP'lerin bitki dokularına ulaşabildiği bildirilmektedir (Schwab ve ark., 2020; Gao ve ark., 2023). Özellikle tarımsal uygulamalar sonucu oluşan kök yaralanmalarının, mikroplastiklerin bitki içerisine taşınmasını artırabileceği belirtilmektedir (Li ve ark., 2020). Tohum çimlenmesi mikroplastik stresine karşı oldukça hassastır. MP'ler, tohum kabuğundaki gözenekleri tıkayarak su alımını ve imbibisyonu azaltmakta, böylece çimlenme oranı ile hızını düşürmektedir (Zhang ve ark., 2021). Ayrıca plastiklerden salınan sızıntı maddeleri de çimlenmeyi olumsuz etkileyebilmektedir. Mikroplastikler; fotosentez, iyon dengesi, hormonal düzenleme ve redoks mekanizmalarını etkileyerek bitki fizyolojisini bozabilmektedir. Özellikle klorofil içeriğinde azalma, fotosentez hızında düşüş ve reaktif oksijen türlerinin (ROS) artışı sık bildirilen etkiler arasındadır (Lian ve ark., 2021; Liu ve ark., 2022). Sonuç olarak MP'ler, oksidatif stresi artırarak kloroplast hasarına ve fotosentetik performansın azalmasına neden olmaktadır. Mikroplastiklerin toksik etkisinin büyük ölçüde parçacık boyutuna bağlı olduğu ve boyut küçüldükçe toksisitenin arttığı bildirilmektedir (Li ve ark., 2020; Jia ve ark., 2023).



Şekil 1. Bitkilerde mikroplastik stresi

5. MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİNİN AZALTILMASINA YÖNELİK YAKLAŞIMLAR

Plastikler tarımda yaygın kullanılsa da zamanla parçalanarak toprakta mikroplastik oluşumuna neden olmaktadır. Bu kirlenme kanalizasyon çamuru, kompost, gübreler, sulama suyu ve atmosferik çökeltme gibi birçok kaynakla da artmaktadır (Kumar ve ark., 2020; Tian ve ark., 2022; Öling-Wärnå, 2025). Mikroplastikler toprak yapısını ve mikrobiyal aktiviteyi bozarak bitki gelişimini ve verimi olumsuz etkilemektedir. Ayrıca besin zinciri yoluyla insan sağlığına kadar ulaşabilen toksik etkiler oluşturabilir (Garbounis ve ark., 2026; Liu ve ark., 2022). Etkileri parçacık tipi, boyutu ve maruziyet süresine bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle mikroplastiklerin azaltılması için biyokatalitik ve fotokatalitik parçalanma, fitoremediasyon, mikrobiyal yıkım ve fiziksel, kimyasal uzaklaştırma yöntemleri (yoğunluk ayrımı, filtrasyon, flotasyon vb.) kullanılmaktadır (Garbounis ve ark., 2026). Karasal ekosistemlerde biriken plastik atıkların önemli bir bölümü tarımsal faaliyetlerden kaynaklanmaktadır. Özellikle tarım alanlarında yoğun şekilde kullanılan plastik malzemelerin zamanla parçalanarak mikroplastiklere dönüşmesi, toprak kalitesi, bitki gelişimi ve

insan sağlığı açısından ciddi çevresel riskler oluşturmaktadır. Bu nedenle toprakta biriken mikroplastiklerin uzaklaştırılması, sürdürülebilir tarım ve ekosistem sağlığı açısından önem taşımaktadır. Son yıllarda mikroplastik kirliliğinin giderilmesinde fitoremediasyon uygulamaları dikkat çekmektedir. Fitoremediasyon; kirleticileri absorbe etme, biriktirme veya stabilize etme kapasitesine sahip bitkiler aracılığıyla kirlenmiş ortamların iyileştirilmesine dayanan çevre dostu bir biyoremediasyon yaklaşımıdır (De Souza Machado ve ark., 2019; Ding ve ark., 2022; Pal ve ark., 2025; Thapliyal ve ark., 2024; Wang ve ark., 2021).

Fitoremediasyon teknolojileri, organik ve inorganik kirleticilerle kontamine olmuş alanların rehabilitasyonunda ekonomik ve uygulanabilir yöntemler arasında değerlendirilmektedir. Bu yöntemde kullanılan akümülatör bitkiler, kirleticileri kök, gövde veya yaprak dokularında depolayarak çevresel yükün azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Fitoremediasyonun başlıca avantajları arasında düşük maliyetli olması, yüksek enerji gerektirmemesi, yerinde uygulamaya uygun olması ve doğal ekosistemlere düzeyde zarar vermemesi bulunmaktadır. Ayrıca bu yöntem, çevresel sürdürülebilirliği desteklemesi nedeniyle araştırmacılar ve çevre politikaları açısından giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Asante-Badu ve ark., 2020; Kafle ve ark., 2022; Priya ve ark., 2023; Yadav ve ark., 2022). Ayrıca plastik kullanımının azaltılması, biyobozunur alternatifler ve yasal düzenlemeler önemli stratejiler arasındadır (Bai ve ark., 2024).

6. SONUÇ

Mikroplastikler, günümüzde tarım topraklarında giderek artan ve uzun vadeli etkileri olan önemli bir kirletici grubudur. Özellikle plastik malzemelerin parçalanmasıyla oluşan bu küçük

partiküller, toprak yapısına karışarak sürdürülebilir toprak verimliliğini, fiziksel ve biyolojik süreçleri olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Toprakta biriken mikroplastikler, su tutma kapasitesini ve hava geçirgenliğini değiştirebilir, bu da bitki kök gelişimini ve besin alımını sınırlandırabilir. Bunun yanında, toprak mikroorganizmalarının faaliyetlerini etkileyerek besin döngülerinde yetersizliklere neden olmaktadır. Ayrıca mikroplastikler, çevredeki bazı kirleticileri taşıma özelliğine sahip oldukları için bitkilere dolaylı yoldan zarar verme riskini artırmaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde mikroplastik kirliliği, tarımda sürdürülebilirliği tehdit eden önemli bir çevresel faktördür. Bu etkinin azaltılması için plastik kullanımının kontrol altına alınması, çevre dostu alternatiflerin geliştirilmesi ve toprak yönetiminde daha bilinçli uygulamaların benimsenmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Akça, M. O., & Sözüdoğru Ok, S. (2021). Toprak ekosistemi üzerine mikroplastiklerin etkileri [The effects of microplastics on the soil ecosystem]. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 9(2), 79–91.
- Asante-Badu, B., Kgorutla, L. E., Li, S. S., Danso, P. O., Xue, Z., & Qiang, G. (2020). Phytoremediation of organic and inorganic compounds in a natural and an agricultural environment: A review. *Applied Ecology and Environmental Research*, 18, 6875–6904.
- Azeem, I., Adeel, M., Ahmad, M. A., Shakoor, N., Zain, M., Yousef, N., Yinghai, Z., Azeem, K., Zhou, P., White, J. C., Ming, X., & Rui, Y. (2022). Microplastic and nanoplastic interactions with plant species: Trends, meta-analysis, and perspectives. *Environmental Science & Technology Letters*, 9(6), 482–492.
- Bai, X., Shoaib, N., Pan, Z., Pan, K., Sun, X., Wu, X., & Zhang, L. (2024). Occurrence characteristics and ecological impact of agricultural soil microplastics in the Qinghai Tibetan Plateau, China. *Journal of Hazardous Materials*, 480, 136413.
- Braun, M., Mail, M., Heyse, R., & Amelung, W. (2021). Plastic in compost: Prevalence and potential input into agricultural and horticultural soils. *Science of the Total Environment*, 760, 143335.
- de Souza Machado, A. A., Lau, C. W., Kloas, W., Bergmann, J., Bachelier, J. B., Faltin, E., Becker, R., Görlich, A. S., ve Rillig, M. C. (2019). Microplastics Can Change Soil Properties and Affect Plant Performance. *Environmental Science & Technology*, 53(10), 6044–6052.

- Ding, L., Huang, D., Ouyang, Z., & Guo, X. (2022). The effects of microplastics on soil ecosystem: A review. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 26, 100344.
- Erdem, H., & Gence, C. Ç. (2025). *Mikroplastiklerin ağır metallerle etkileşimi: Toprak, bitki ve insan sağlığı üzerine çevresel bir tehdit*. In H. Yeşilayer, A. Yıldırım, & C. Ç. Gence (Eds.). İksad Publishing House.
- Erkan, B. C., Güneş, U., & Yeşilyurt, S. (2025). *Akümülatör bitkiler ve mikroplastikler* [Conference presentation]. 4th International Paris Congress on Agriculture & Animal Husbandry, December 18–21. Paris, France.
- Farooq, M. A., Hannan, F., Zou, H.-X., Zhou, W., Zhao, D.-S., Ayyaz, A., Ullah Asad, M. A., Ahmad, R., & Yan, X. (2025). Microplastics in soil–plant systems: Impacts on soil health, plant toxicity, and multiomics insights. *Plant Cell Reports*, 44(12), 283.
- Gao, D., Liao, H., Junaid, M., Chen, X., Kong, C., Wang, Q., Pan, T., Chen, G., Wang, X., & Wang, J. (2023). Polystyrene nanoplastics' accumulation in roots induces adverse physiological and molecular effects in water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk.). *Science of the Total Environment*, 872, 162278.
- Garbounis, G., Karasali, H., & Komilis, D. (2026). Origin, occurrence and threats of microplastics in agricultural soils: A comprehensive review. *Sustainability*, 18(3), 1524.
- Hanif, M. N., Aijaz, N., Azam, K., Akhtar, M., Laftah, W. A., Babur, M., Abbood, N. K., & Benitez, I. B. (2024). Impact of microplastics on soil (physical and chemical) properties, soil biological properties/soil biota, and response of plants to it: A review. *International Journal*

of Environmental Science and Technology, 21(16), 10277–10318.

- Hasan, M. M., & Tarannum, M. N. (2025). Adverse impacts of microplastics on soil physicochemical properties and crop health in agricultural systems. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 17, 100528.
- Ho, K. T., Bjorkland, R., & Burgess, R. M. (2024). Comparing the definitions of microplastics based on size range: Scientific and policy implications. *Marine Pollution Bulletin*, 207, 116907.
- Huang, D., Tao, J., Cheng, M., Deng, R., Chen, S., Yin, L., et al. (2021). Microplastics and nanoplastics in the environment: Macroscopic transport and effects on creatures. *Journal of Hazardous Materials*, 407, 124399.
- Huang, Y., Liu, Q., Jia, W., Yan, C., & Wang, J. (2020). Agricultural plastic mulching as a source of microplastics in the terrestrial environment. *Environmental Pollution*, 260, 114096.
- Jia, L., Liu, L., Zhang, Y., Fu, W., Liu, X., Wang, Q., Tanveer, M., & Huang, L. (2023). Microplastic stress in plants: Effects on plant growth and their remediations. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1226484.
- Kafle, A., Timilsina, A., Gautam, A., Adhikari, K., Bhattarai, A., & Aryal, N. (2022). Phytoremediation: Mechanisms, plant selection and enhancement by natural and synthetic agents. *Environmental Advances*, 8, 100203.
- Koelmans, A. A., Redondo-Hasselerharm, P. E., Nor, N. H. M., de Ruijter, V. N., Mintenig, S. M., & Kooi, M. (2022). Risk assessment of microplastic particles. *Nature Reviews Materials*, 7(2), 138–152.

- Kumar, A., Mishra, S., Pandey, R., Yu, Z. G., Kumar, M., Khoo, K. S., et al. (2022). Microplastics in terrestrial ecosystems: Un-ignorable impacts on soil characterizes, nutrient storage and its cycling. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 158, 116869.
- Kumar, M., Xiong, X., He, M., Tsang, D. C. W., Gupta, J., Khan, E., Harrad, S., Hou, D., Ok, Y. S., & Bolan, N. S. (2020). Microplastics as pollutants in agricultural soils. *Environmental Pollution*, 265, 114980.
- Li, L., Luo, Y., Li, R., Zhou, Q., Peijnenburg, W. J. G. M., Yin, N., Yang, J., Tu, C., & Zhang, Y. (2020). Effective uptake of submicrometre plastics by crop plants via a crack-entry mode. *Nature Sustainability*, 3(11), 929–937.
- Li, W., Wufuer, R., Duo, J., Wang, S., Luo, Y., Zhang, D., & Pan, X. (2020). Microplastics in agricultural soils: Extraction and characterization after different periods of polythene film mulching in an arid region. *Science of the Total Environment*, 749, 141420.
- Lian, J., Liu, W., Meng, L., Wu, J., Chao, L., Zeb, A., & Sun, Y. (2021). Foliar-applied polystyrene nanoplastics (PSNPs) reduce the growth and nutritional quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Environmental Pollution*, 280, 116978.
- Liu, J., Wang, P., Wang, Y., Zhang, Y., Xu, T., Zhang, Y., Xi, J., Hou, L., Li, L., Zhang, Z., & Lin, Y. (2022). Negative effects of poly(butylene adipate-co-terephthalate) microplastics on *Arabidopsis* and its root-associated microbiome. *Journal of Hazardous Materials*, 437, 129294.

- Liu, R., Liang, J., Yang, Y., Jiang, H., & Tian, X. (2023). Effect of polylactic acid microplastics on soil properties, soil microorganisms and plant growth. *Chemosphere*, 329, 138504.
- Menéndez-Pedriz, A., & Jaumot, J. (2020). Interaction of environmental pollutants with microplastics: A critical review of sorption factors, bioaccumulation and ecotoxicological effects. *Toxics*, 8(2), 40.
- Osman, A. I., Hosny, M., Eltaweil, A. S., Omar, S., Elgarahy, A. M., Farghali, M., Yap, P.-S., Wu, Y.-S., Nagandran, S., Batumalaie, K., Gopinath, S. C. B., John, O. D., Sekar, M., Saikia, T., Karunanithi, P., Hatta, M. H. M., & Akinyede, K. A. (2023). Microplastic sources, formation, toxicity and remediation: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(4), 2129–2169.
- Öling-Wärnå, V. (2025). *Overview of microplastics in agriculture settings*.
- Pal, S., Dutta Gupta, S., Guha, P. S., & Saha, N. (2025). Microplastics as Emerging Stressors in Plants: Biochemical and Metabolic Responses. *Environmental Geochemistry and Health*, 47(12), 530.
- Plastics Europe. (2025). Plastics the fast facts 2025: Global and European plastics production and economic indicators. P. E. AISBL. https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2025/09/PE_TheFacts_25_digital-1pager-scrollable.pdf. (14.05.2026).
- Priya, A. K., Muruganandam, M., Ali, S. S., & Kornaros, M. (2023). Clean-up of heavy metals from contaminated soil by phytoremediation: A multidisciplinary and eco-friendly approach. *Toxics*, 11(5), 422.

- Schwab, F., Rothen-Rutishauser, B., & Petri-Fink, A. (2020). When plants and plastic interact. *Nature Nanotechnology*, 15(9), 729–730.
- Song, J., Wang, C., & Li, G. (2024). Defining primary and secondary microplastics: A connotation analysis. *ACS ES&T Water*, 4(6), 2330–2332.
- Tang, K. H. D. (2021). Interactions of microplastics with persistent organic pollutants and the ecotoxicological effects: A review. *Tropical Aquatic and Soil Pollution*, 1(1), 24–34.
- Thapliyal, C., Priya, A., Singh, S. B., Bahuguna, V., ve Daverey, A. (2024). Potential Strategies for Bioremediation of Microplastic Contaminated Soil. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 6, 117–131.
- Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W., McGonigle, D., & Russell, A. E. (2004). Lost at sea: Where is all the plastic? *Science*, 304(5672), 838.
- Tian, L., Chen, J., Ji, R., Ma, Y., & Yu, X. (2022). Microplastics in agricultural soils: Sources, effects, and their fate. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 25, 100311.
- Wang, F., Feng, X., Liu, Y., Adams, C. A., Sun, Y., & Zhang, S. (2022). Micro (nano) plastics and terrestrial plants: Up-to-date knowledge on uptake, translocation, and phytotoxicity. *Resources, Conservation and Recycling*, 185, 106503.
- Wang, F., Pei, L., Zhang, S., Sun, J., & Han, L. (2024). Microplastics affect ecosystem multifunctionality: Increasing evidence from soil enzyme activities. *Land Degradation & Development*, 35, 4379–4405.

- Wang, J., Wang, Z., Gu, F., Liu, H., Kang, G., Feng, W., Wang, Y., & Guo, T. (2021). Tillage and irrigation increase wheat root systems at deep soil layer and grain yields in lime concretion black soil. *Scientific Reports*, 11(1), 6394.
- Wong, J. K. H., Lee, K. K., Tang, K. H. D., & Yap, P. S. (2020). Microplastics in the freshwater and terrestrial environments: Prevalence, fates, impacts and sustainable solutions. *Science of the Total Environment*, 719, 137512.
- Yadav, R., Singh, S., Kumar, A., & Singh, A. N. (2022). Chapter 15 – Phytoremediation: A wonderful cost-effective tool. In S. Kathi, S. Devipriya, & K. Thamaraiselvi (Eds.), *Cost effective technologies for solid waste and wastewater treatment* (pp. 179–208). Elsevier.
- Yang, J., Li, R., Zhou, Q., Li, L., Li, Y., & Tu, C. (2021). Abundance and morphology of microplastics in an agricultural soil following long-term repeated application of pig manure. *Environmental Pollution*, 272, 116028.
- Zantis, L. J., Borch, C., Vijver, M. G., Peijnenburg, W., Di Lorenzo, S., & Bosker, T. (2023). Nano- and microplastics commonly cause adverse impacts on plants at environmentally relevant levels: A systematic review. *Science of the Total Environment*, 867, 161211.
- Zhang, Q., Zhao, M., Meng, F., Xiao, Y., Dai, W., & Luan, Y. (2021). Effect of polystyrene microplastics on rice seed germination and antioxidant enzyme activity. *Toxics*, 9(8), 179.
- Zhang, Z., Cui, Q., Chen, L., Zhu, X., Zhao, S., Duan, C., Zhang, X., Song, D., & Fang, L. (2022). A critical review of microplastics in the soil-plant system: Distribution, uptake, phytotoxicity and prevention. *Journal of*

Hazardous Materials, 424, 127750.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127750>

Zhou, J., Wen, Y., Marshall, M. R., Zhao, J., Gui, H., Yang, Y., Zeng, Z., Jones, D. L., & Zang, H. (2021). Microplastics as an emerging threat to plant and soil health in agroecosystems. *Science of the Total Environment*, 787, 147444. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147444>

Zhou, Y., He, G., Bhagwat, G., Palanisami, T., Yang, Y., Liu, W., & Zhang, Q. (2023). Nanoplastics alter ecosystem multifunctionality and may increase global warming potential. *Global Change Biology*, 29(14), 3895–3909.

TOPOGRAFYA VE ARAZİ KULLANIMININ TOPRAK KARAKTERİSTİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Siyami KARACA¹

Füsun GÜLSER²

1. GİRİŞ

Topografya ve arazi kullanımı, toprak özelliklerinin şekillenmesinde kritik rol oynayan ve tarımsal üretkenlik ile ekolojik istikrarı önemli ölçüde etkileyen temel faktörlerdir. Bu faktörler arasındaki karşılıklı ilişki, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini etkileyen karmaşık süreçleri içermektedir. Özellikle arazi kullanımındaki değişiklikler büyük önem taşımaktadır; doğal peyzajların tarım arazilerine dönüştürülmesi, toprak sıkışmasını artırarak ve bitki örtüsünü azaltarak toprak erozyonunu hızlandırabilmekte ve toprak bütünlüğünü olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Pan ve ark., 2024a; Zhu ve ark., 2021). Bununla birlikte, yüzey akışı, sediment taşınımı ve yamaç süreçleri üzerindeki topografik kontroller, toprak koşullarının mekânsal değişkenliğini güçlü bir şekilde düzenlemektedir (Zhang ve ark., 2018; Zhou ve ark., 2016; Liu ve ark., 2025). Bu ilişkiler, sürdürülebilir arazi yönetimi uygulamalarının önemini ortaya koymaktadır. Toprak işlemenin azaltılması ve koruyucu bitki örtüsünün sürdürülmesi gibi koruma odaklı yaklaşımlar, erozyonu azaltırken besin elementi döngüsünü ve toprak sağlığını destekleyebilmektedir (Pan ve ark., 2024b). Bu bölümde,

¹ Doçent Doktor, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, ORCID 0000-0002-2434-1171.

² Profesör Doktor, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, ORCID 0000-0002-9495-8839.

yükselti, eğim ve arazi örtüsündeki değişimlerin ekosistem işleyişi ve arazi yönetimi açısından kritik öneme sahip olan toprak özellikleri üzerindeki etkileri incelenmektedir.

Süreç temelli bir bakış açısıyla değerlendirildiğinde, topografik açıdan karmaşık bölgelerdeki topraklar, birbirine bağlı jeomorfolojik ve hidrolojik sistemler olarak davranmaktadır. Erozyon, birikim, yıkanma (liçing) ve biyolojik dönüşüm süreçleri alanda homojen şekilde gerçekleşmemekte; bunun yerine eğim gradyanları ve drenaj yolları boyunca yeniden dağılarak toprak derinliği, tekstürü ve verimliliğinde mozaik bir yapı oluşturmaktadır. Bu nedenle, aynı arazi kullanım uygulaması, yerel topografik konum ve nem rejimine bağlı olarak farklı sonuçlar ortaya çıkarabilmektedir (Liu ve ark., 2025).

Bu konu, iklim değişkenliğinin artmasıyla birlikte daha da önemli hale gelmiştir. Birçok bölgede yağış şiddetinin artması, işlenen yamaç arazilerde yüzey akışını ve sediment taşınımını hızlandırırken, uzun süreli kurak dönemler bitki örtüsünü ve agregat stabilitesini azaltarak sonraki yağış olaylarında toprak bozulum riskini artırabilmektedir (Lin ve ark., 2024; Montgomery, 2007). Bu nedenle, toprak kalitesinin değerlendirilmesi; topografya, arazi kullanımı ve iklimsel koşulların birlikte ele alındığı bütünlüklü bir yaklaşımı gerektirmekte, faktörlerin tek tek değerlendirilmesine dayanan yaklaşımların ötesine geçilmesini zorunlu kılmaktadır (Schönauer ve ark., 2024).

2. TOPOGRAFYANIN TOPRAK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

2.1. Yükselti ve Eğim

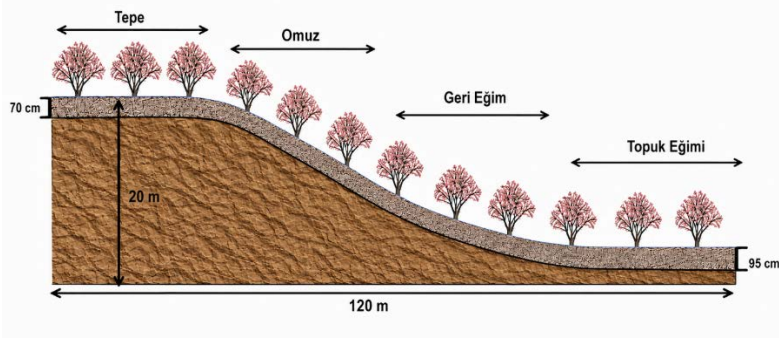
Yükselti ve eğim, toprak oluşumu ve yeniden dağılım süreçlerini doğrudan etkileyen önemli topografik faktörlerdir.

Yüksek rakımlar ve dik eğimli araziler genellikle daha sık toprak profilleri, daha güçlü erozyon baskısı ve toprak nemi ile besin elementi durumunda daha yüksek değişkenlik ile karakterize edilmektedir (Omokaro, 2023; Zhang ve ark., 2018). Buna karşılık, daha düşük eğime sahip alanlar infiltrasyon ve birikim süreçlerini destekleyerek nispeten daha derin ve daha kararlı toprak profillerinin gelişmesine olanak sağlamaktadır.

Yükselti gradyanları, sıcaklık, nem ve substrat kalitesindeki değişimlere bağlı olarak toprak biyotasının yapısını da etkilemektedir. Alpin ve subtropikal ekosistemlerde yürütülen çalışmalar, mikrobiyal toplulukların bileşimi ve çeşitliliğinin; toprak karbon/azot (C:N) oranı, organik madde içeriği ve mikroiklim koşullarındaki değişimlerle birlikte yükselti boyunca farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur (Ni ve ark., 2018; Ma ve ark., 2022; Siles ve Margesin, 2016; Wang ve ark., 2024; Wang ve ark., 2025; Zhang ve ark., 2024). Bu bulgular, topografik konum ile iklim koşullarının etkileşim içinde hem toprak fonksiyonlarını hem de toprak altı biyolojik çeşitliliğini şekillendirdiğini göstermektedir.

Yamaç üzerindeki konum, hidrolojik bağlantılılığı, erozyon-birikim dengesini ve organik maddenin katena boyunca yeniden dağılımını kontrol etmektedir. Tepe (summit) ve omuz (shoulder) pozisyonları genellikle erozyona daha yatkın olup ince materyal ve besin elementlerinin kaybının daha fazla görüldüğü alanlardır. Buna karşılık, geri eğim (backslope) ve özellikle topuk eğimi (footslope/toeslope) pozisyonları, yamaç üst kesimlerinden taşınan ince partiküllerin, besin maddelerinin ve organik karbonca zengin materyallerin biriktiği alanlar olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle, yamaç üzerindeki konum farklılıkları aynı katena içerisinde toprak özellikleri, toprak kalitesi ve verimlilik açısından belirgin değişimlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Sun ve ark., 2015; Zhang ve ark., 2023).Şekil 1,

yamaç pozisyonları boyunca toprak materyalleri, nem ve organik karbonun yeniden dağılımını kavramsal olarak göstermektedir.



Şekil 1. Erozyon, birikim ve hidrolojik yeniden dağılım süreçlerinin etkisini gösteren, yamaç boyunca toprak değişkenliğini açıklayan kavramsal katena modeli (Raiesi ve Tavakoli, 2022).

2.2. Bakı ve Mikroiklimler

Bakı (yamaç yönelimi), güneş radyasyonu miktarını, sıcaklık rejimini ve buharlaşma talebini etkileyen önemli bir topografik faktördür. Güneş ışınlarına daha fazla maruz kalan yamaçlar genellikle daha hızlı ısınmakta ve kururken, gölgede kalan yamaçlar nemi daha uzun süre koruyabilmektedir. Bu mikroiklimsel farklılıklar; toprak nemi, organik madde dönüşümü ve mikrobiyal aktivite üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Peyzaj ölçeğinde değerlendirildiğinde, topografyanın yönlendirdiği sıcaklık ve nem farklılıkları, toprak özellikleri ile agregat stabilitesinde gözlenen mekânsal heterojenliğin açıklanmasında önemli bir rol oynamaktadır (Zhang ve ark., 2023; Omokaro, 2023; Huang ve ark., 2015; Wang ve ark., 2012; Schaefer ve ark., 2024).

Topo-sekans (toposequence) temelli yaklaşımlar, bu tür değişkenliklerin yorumlanmasında oldukça yararlıdır; çünkü yerel jeomorfolojik özellikler ile pedojenik süreçler arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Eğim derecesi, yüzey eğriliği ve

drenaj yakınsamasındaki küçük değişimler bile suyun yeniden dağılımını etkileyerek toprak gelişim süreçlerinin farklı yönlerde ilerlemesine neden olabilmektedir. Bu durum, özellikle tarımsal planlama ve arazi restorasyonu çalışmalarında büyük önem taşımaktadır; çünkü topografik koşullar, farklı arazi kullanım seçeneklerinin uygunluğunu ve taşıdığı risk düzeyini belirlemektedir (Tesfa ve Leung, 2017; Wang ve ark., 2025).

Mikroiklim koşulları ayrıca ayrışma hızlarını ve besin elementlerinin mineralizasyon süreçlerini de etkilemektedir. Daha sıcak ve kuru bakıllara sahip yamaçlarda kısa vadede mineralizasyon daha hızlı gerçekleşebilmekte, ancak uzun vadeli karbon depolanması sınırlanabilmektedir. Buna karşılık, daha serin ve nemli bakıllar daha yüksek toprak nemini koruyarak farklı mikrobiyal fonksiyonel grupların gelişimini destekleyebilmektedir (Huang ve ark., 2015; Wang ve ark., 2012; Wang ve ark., 2025). Bu nedenle, bakı yönüne duyarlı yönetim uygulamaları (örneğin, yamaç yönüne göre farklı düzeylerde bitki artıklarının bırakılması veya örtü bitkisi kullanım yoğunluğunun ayarlanması) hem tarımsal verimliliğin hem de ekosistem dayanıklılığının artırılmasına katkı sağlayabilmektedir (Karaca ve ark., 2018).

2.3. Toprak Erozyonu ve Stabilitesi

Topografya, erozyona duyarlılığın ve yamaç stabilitesinin belirlenmesinde temel faktörlerden biridir. Daha dik eğimler, özellikle bitki örtüsünün yetersiz olduğu alanlarda, genellikle daha yüksek yüzey akışı enerjisine ve sediment taşınım potansiyeline sahiptir (Zhang ve ark., 2018). Buna karşılık, bitki örtüsü ve kök sistemleri üst toprağı koruyarak agregatların bir arada kalmasını desteklemekte ve şiddetli yağış olayları sırasında toprak parçacıklarının koparak taşınmasını azaltmaktadır (Meng ve ark., 2021).

Bölgesel ölçekte gerçekleştirilen çalışmalar, topografyanın etkilerinin yalnızca arazi şekli ve eğim özellikleriyle sınırlı olmadığını göstermektedir. Topografya; iklim koşulları ve arazi yönetimi uygulamaları ile etkileşime girerek toprağın yapısal bütünlüğünü ve dayanıklılığını düzenlemektedir (Zhang ve ark., 2023). Bu nedenle, erozyonun azaltılmasına yönelik uygulamalar; topografik özellikleri dikkate alan arazi planlaması, koruyucu bitki örtüsünün sürdürülmesi ve toprak bozulmasına neden olan uygulamaların azaltılmasını birlikte içeren bütüncül stratejilere dayanmalıdır.

Su erozyonunun yanı sıra, hassas yamaç pozisyonlarında meydana gelen tekrarlayan yapısal bozulmalar; yüzey kabuklaşması, sıkışmış toprak katmanlarının oluşumu ve makrogözenekliliğin azalması gibi sorunlara yol açabilmektedir. Bu değişimler, suyun toprağa sızmasını sağlayan süreçleri zayıflatmakta ve yoğun yağışlar sırasında yüzey akışının artmasına neden olmaktadır (Meng ve ark., 2021; Montgomery, 2007). Sonuç olarak, koruma uygulamalarının planlanmasında toprak erozyonu ve yapısal bozulma birbirinden bağımsız sorunlar olarak değil, birbiriyle ilişkili süreçler olarak ele alınmalıdır.

2.4. Topografik Eşikler ve Jeomorfolojik Bozulmalar

Topografyanın toprak kalitesi üzerindeki etkileri her zaman kademeli olarak ortaya çıkmamaktadır; birçok peyzajda bu etkiler eşik davranışı (threshold behavior) göstermektedir. Eğim derecesi, akış yakınsaması ve yağış şiddeti birlikte kritik seviyeleri aştığında, jeomorfolojik bozulma yavaş ilerleyen toprak yeniden dağılımı süreçlerinden hızlı kütle hareketlerine ve şiddetli yüzey toprağı kayıplarına dönüşebilmektedir. Bu tür koşullar altında, toprak yapısının ve verimliliğinin yeniden kazanılması, normal yüzey (sheet) ve oyuntu (rill) erozyonuna

kıyasla çok daha uzun zaman gerektirebilmektedir (Zhou ve ark., 2016; Montgomery, 2007).

Eşik davranışı, arazi değerlendirme çalışmaları açısından önemli sonuçlar doğurmaktadır. Ortalama koşullar altında uygun görünen alanlar, özellikle ayrılmış ana kaya üzerinde gelişmiş sığ toprakların bulunduğu bölgelerde, aşırı hava olayları sırasında yüksek derecede hassas hale gelebilmektedir. Bu alanlarda mikrotopografya, drenaj yoğunlaşması ve arazi örtüsündeki süreksizlikler; bir yamaç sisteminin kararlılığını koruyup koruyamayacağını veya sürekli bir kararsızlık durumuna geçip geçmeyeceğini belirlemektedir. Bu nedenle, özellikle yağış değişkenliğinin arttığı bölgelerde, topografik risk haritalaması çalışmalarının toprak koruma planlamalarıyla bütünleştirilmesi gerekmektedir (Liu ve ark., 2025; Lin ve ark., 2024; Schönauer ve ark., 2024).

Bunun yanında, jeomorfolojik bozulmalar uzun süreli biyojeokimyasal etkileri de tetikleyebilmektedir. Organik karbon bakımından zengin üst toprağın hızla uzaklaştırılması ve alt toprak horizonlarının açığa çıkması; mikrobiyal yaşam ortamını, besin elementi yarayışlılığını ve toprağın nem tamponlama kapasitesini önemli ölçüde değiştirmektedir. Bu durum, topografik özellikleri dikkate alan erozyon kontrol uygulamalarının yalnızca kısa vadede sediment kaybını azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda orta vadede toprak biyolojik fonksiyonlarının yeniden kazanılmasına da katkı sağladığını açıklamaktadır (Ni ve ark., 2018; Ma ve ark., 2022; Wang ve ark., 2025).

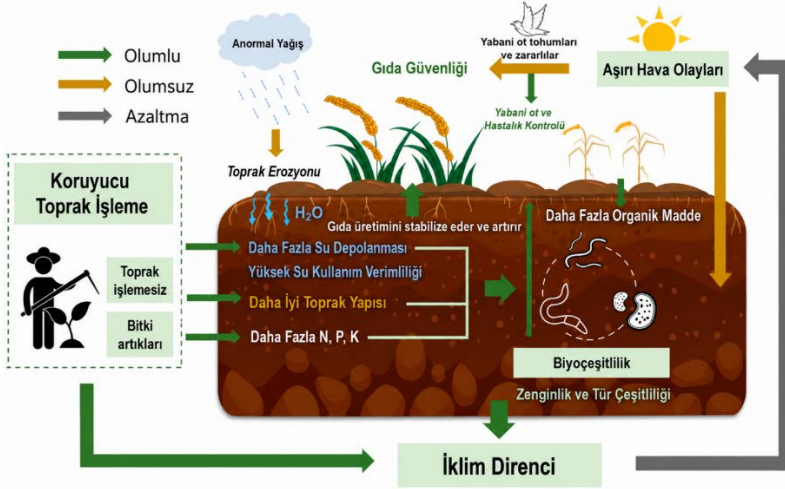
3. ARAZİ KULLANIM UYGULAMALARININ TOPRAK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

3.1. Tarımsal Uygulamalar

Doğal ekosistemlerin yoğun tarımsal kullanıma dönüştürülmesi, koruyucu uygulamaların bulunmadığı durumlarda toprak organik madde içeriğinin azalmasına, toprak sıkışmasının artmasına ve erozyon kaynaklı toprak kayıplarının hızlanmasına neden olabilmektedir. Yamaç ölçeğinde gerçekleştirilen çalışmalar, yağış rejimi ile arazi kullanım türünün birlikte toprak kaybının büyüklüğünü belirlediğini göstermektedir (Meng ve ark., 2021). Havza ölçeğindeki araştırmalar da arazi kullanımındaki değişimlerin toprak organik karbonu (SOC) ve azot dinamiklerini, ayrıca bu elementlerin kayıp mekanizmalarını önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuştur (Gao ve ark., 2020; Zhao ve ark., 2021; Pan ve ark., 2024). Bu süreçlerin sonucu olarak, özellikle erozyona duyarlı topografik alanlarda tekrarlayan bozulmalar altında, toprağın dayanıklılığında uzun vadeli azalmalar meydana gelebilmektedir.

Toprak işlemenin azaltılması, bitki artıklarının arazide bırakılması ve daha etkin örtü yönetimi gibi sürdürülebilir uygulamalar; toprak yapısının korunmasına, nem tamponlama kapasitesinin sürdürülmesine ve besin elementi döngüsünün devamlılığına katkı sağlamaktadır. Topografik açıdan karmaşık peyzajlarda bu uygulamalar daha da önem kazanmaktadır; çünkü dik ve akışım yoğunlaştığı yamaç kesimlerinde erozyon riskinin artmasını sınırlandırabilmektedirler (Yang ve ark., 2012; Lin ve ark., 2024). Ayrıca arazi kullanımının etkileri, yamaç pozisyonu ve topografik sınıflar tarafından da şekillendirilmekte, bu durum toprak organik karbonunun dağılımında topografya ve arazi kullanımı arasında güçlü etkileşimlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Sun ve ark., 2015).

Arazi kullanım değişiminin kaçınılmaz olduğu durumlarda, aşamalı geçiş stratejileri ve kontur eğrilerine uygun tarla düzenlemeleri, toprak fonksiyonlarında meydana gelebilecek ani düşüşleri sınırlandırabilmektedir. Organik materyal uygulamalarının koruyucu toprak işleme yöntemleriyle birlikte kullanılması ise agregat oluşumunu desteklemekte ve toprak organik karbon kayıplarını azaltmaktadır. Bu yaklaşımlar, özellikle eğim kırıklarının ve akış birikim alanlarının yerel bozulum odakları oluşturduğu peyzajlarda daha etkili sonuçlar vermektedir (Pan ve ark., 2024a; Sun ve ark., 2015). Şekil 2, koruyucu toprak işleme uygulamalarının toprak sağlığı, erozyon kontrolü ve ekosistem hizmetleri üzerindeki olumlu etkilerini kavramsal olarak göstermektedir. Şekilde, anız bırakma ve toprak işlemez tarım gibi uygulamaların toprak organik maddesini artırdığı, su tutma kapasitesini geliştirdiği, biyolojik çeşitliliği desteklediği ve iklim değişikliğine karşı dayanıklılığı güçlendirdiği vurgulanmaktadır.



Şekil 2. Koruyucu toprak işleme uygulamalarının toprak organik maddesi, su tutma kapasitesi, biyolojik çeşitlilik, erozyon kontrolü ve iklim dayanıklılığı üzerindeki etkilerini gösteren kavramsal şema (www.mdpi.com).

3.2. Agroormancılık ve Sürdürülebilir Uygulamalar

Agroormancılık sistemleri ve koruma odaklı arazi kullanım uygulamaları, bitki çeşitliliğini, kök yoğunluğunu ve toprağa organik madde girdisini artırarak toprak kalitesinin korunmasına ve iyileştirilmesine katkı sağlayabilmektedir. Bu sistemler, agregat stabilitesini artırmakta, toprak biyolojik aktivitesini desteklemekte ve yüzey akışına bağlı bozulum süreçlerini azaltmaktadır. Sağladıkları faydalar özellikle eğimli arazilerde daha belirgindir; çünkü ağaç ve tarımsal ürünlerin birlikte yetiştirildiği sistemler, topografik stres faktörlerini hafifletebilmekte ve toprağın uzun dönemli fonksiyonlarını geliştirebilmektedir (Zhang ve ark., 2023; Wang ve ark., 2025).

Bunun yanı sıra, agroormancılık sistemlerinde bulunan farklı derinliklere ulaşabilen tabakalı kök yapıları, besin elementlerinin toprak profilinin çeşitli katmanlarından alınmasını kolaylaştırmakta ve besin maddelerinin yıkanma yoluyla kaybını azaltmaktadır. Bitki döküntüleri (litter) ve kök salgıları (rizodepozisyon), mikrobiyal faaliyetleri destekleyerek besin elementi döngüsünün etkinliğini artırmakta ve zamanla toprak yapısının iyileşmesine katkı sağlamaktadır (Pan ve ark., 2024b; Wang ve ark., 2025). Bu özellikler, agroormancılık uygulamalarını özellikle geleneksel monokültür tarımın toprak bozulumunu hızlandırdığı marjinal yamaç arazilerinde son derece değerli bir arazi yönetim yaklaşımı haline getirmektedir.

3.3. Arazi Restorasyonu ve Toprak İyileşme Süreçleri

Toprak bozulumundan sonra gerçekleşen iyileşme süreci genellikle doğrusal değildir ve büyük ölçüde topografik koşullara bağlıdır. Daha yüksek nem içeriğine ve birikim süreçlerine sahip alt yamaç pozisyonlarında, toprak organik karbonu (SOC), mikrobiyal biyokütle ve agregat stabilitesi gibi göstergeler, restorasyon uygulamalarının hayata geçirilmesinin ardından nispeten daha hızlı iyileşebilmektedir. Buna karşılık, sürekli

yüzey akışı baskısına maruz kalan üst yamaç alanlarında benzer düzeyde bir iyileşmenin sağlanabilmesi için daha uzun süreli uygulamalar ve daha güçlü yapısal destek önlemleri gerekmektedir (Sun ve ark., 2015; Pan ve ark., 2024a,b).

Restorasyonun başarısı, yönetim uygulamalarının toprak kalitesinin hem fiziksel hem de biyolojik boyutlarını ele alıp almamasına bağlıdır. Fiziksel önlemler (kontur setleri, teraslama ve bitki artıklarıyla yüzey örtüsü sağlanması gibi) erozyon kaynaklı toprak kayıplarını azaltırken; biyolojik önlemler (çeşitli kök sistemleri, organik artık girdileri ve toprak işlemenin azaltılması gibi) besin elementi döngüsünü ve ekosistemin işlevsel dayanıklılığını desteklemektedir. Eğimli arazilerde yürütülen çalışmalar, bu yaklaşımların birlikte uygulanmasının, tek bir önleme dayalı uygulamalara kıyasla daha kalıcı ve etkili sonuçlar sağladığını göstermektedir (Meng ve ark., 2021; Zhu ve ark., 2021; Wang ve ark., 2025).

Önemli bir diğer husus ise, iyileşme süreçlerinin yalnızca nitel gözlemlerle değil, açık ve ölçülebilir göstergeler kullanılarak izlenmesi gerektiğidir. İnfiltrasyon kapasitesi, partikül organik karbon, mikrobiyal çeşitlilik ve yüzey akış katsayısı gibi göstergeler; restore edilen toprakların daha kararlı ve üretken hale gelip gelmediğini değerlendirmede tamamlayıcı bilgiler sunmaktadır. Gösterge temelli bu yaklaşım, eğitim sınıfı ve arazi kullanım baskısına göre yeniden düzenlenebilen uyarlanabilir restorasyon stratejilerinin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır (Tesfa ve Leung, 2017; Schönauer ve ark., 2024; Liu ve ark., 2025).

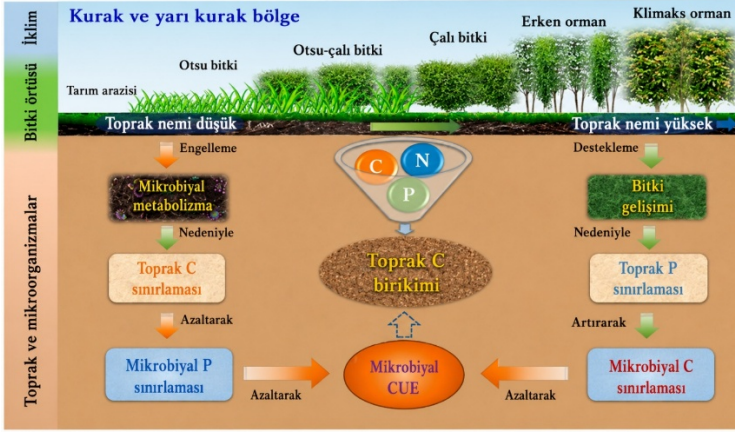
4. TOPOGRAFYA, ARAZİ KULLANIMI VE TOPRAK KALİTESİ ARASINDAKİ ETKİLEŞİMLER

4.1. Sinerjik Etkiler

Topografya ve arazi kullanımı, toprak özelliklerini belirlemede sinerjik bir etkileşim içerisindedir. Örneğin, hafif ve orta eğimli alanlarda uygulanan toprak koruma önlemleri infiltrasyonu önemli ölçüde artırabilir ve sediment taşınımını azaltabilirken, aynı uygulamalar dik yamaçlarda benzer sonuçların elde edilebilmesi için ilave yapısal destek önlemlerine ihtiyaç duyabilmektedir. Bu nedenle, etkileşim temelli bir yaklaşım, alana özgü toprak koruma planlarının geliştirilmesinde kritik öneme sahiptir (Omokaro, 2023; Yang ve ark., 2012).

Topografya aynı zamanda arazi kullanım kararlarının uygulandığı biyofiziksel ortamı şekillendirmektedir. Bu nedenle, aynı arazi kullanım kategorisi farklı eğim özellikleri, yükselti düzeyleri ve hidrolojik bağlantılılık koşulları altında çok farklı toprak tepkileri ortaya çıkarabilmektedir (Omokaro, 2023; Zhang ve ark., 2023).

Bu doğrultuda, yönetim uygulamalarının başarısı yalnızca peyzaj ölçeğindeki ortalama değerlerle değil, topografik özelliklere göre sınıflandırılmış göstergeler kullanılarak değerlendirilmelidir. Toprak organik karbonu (SOC), infiltrasyon kapasitesi, yüzey akış katsayısı ve agregat stabilitesi gibi göstergeler, farklı eğim sınıflarına göre izlenerek uygulamaların hangi alanlarda başarılı veya yetersiz kaldığı belirlenebilir. Bu yaklaşım, uyarlanabilir arazi yönetimini desteklemekte ve toprak koruma planlamasının maliyet etkinliğini artırmaktadır (Tesfa ve Leung, 2017). Şekil 3, toprak nemi gradyanları, bitki örtüsü dinamikleri, mikrobiyal süreçler ve toprak karbon sekestrasyonu arasındaki etkileşimleri kavramsal olarak göstermektedir.



Şekil 3. Topografya ve arazi kullanımının ortak etkileri altında toprak nemi, bitki örtüsü ve mikrobiyal süreçler arasındaki etkileşimleri gösteren kavramsal çerçeve (Shi ve ark., 2024).

4.2. Çevresel Etkiler

Topografik bilgilerin arazi yönetimine entegre edilmesi, erozyon riskinin azaltılması, toprak organik karbonunun korunması ve ekosistem dayanıklılığının artırılması yoluyla çevresel sonuçları iyileştirmektedir. Arazi koşullarına uygun olarak uygulanan sürdürülebilir yönetim stratejileri, hem tarımsal verimliliği hem de ekolojik istikrarı geliştirebilmektedir. Bu faydalar özellikle eğim süreçlerinin, yağış kaynaklı yüzey akışının ve toprak özelliklerindeki mekânsal heterojenliğin dikkate alındığı yönetim yaklaşımlarında daha belirgin şekilde ortaya çıkmaktadır (Yang ve ark., 2012; Lin ve ark., 2024).

Daha geniş ölçekte değerlendirildiğinde, yükseltiye bağlı olarak değişen mikrobiyal topluluk yapıları, toprak yönetiminin yalnızca fiziksel erozyon süreçlerini değil, aynı zamanda topografik gradyanlar boyunca değişen biyolojik hassasiyetleri de dikkate alması gerektiğini göstermektedir (Ni ve ark., 2018; Ma ve ark., 2022; Siles ve Margesin, 2016). Bu bütüncül yaklaşım, iklim değişikliğine dayanıklı arazi yönetiminin temel unsurlarından biridir.

Uzun vadeli politika uygulamaları açısından bakıldığında, arazi kullanım planlaması, restorasyon önceliklendirmesi ve havza yönetimi süreçlerine topografik verilerin ve toprak kalite hedeflerinin açık biçimde dahil edilmesi gerekmektedir. Topografik indekslerin arazi kullanım planlama araçlarıyla bütünleştirilmesi; bozulmuş toprakların riskini azaltırken karbon depolama, taşkın kontrolü ve besin elementi tutulumu gibi önemli ekosistem hizmetlerinin korunmasına katkı sağlayabilmektedir (Lal, 2004; Tesfa ve Leung, 2017).

Bir diğer önemli konu ise geleneksel arazi kullanım planlamalarında sıklıkla göz ardı edilen çevresel dışsallıklardır. Bozulmuş yamaç toprakları, aşağı havzalarda sediment birikimini artırabilmekte, baraj ve rezervuarların etkinliğini azaltabilmekte ve tarımsal havzalarda su arıtma maliyetlerini yükseltebilmektedir. Buna karşılık, topografik koşullara uyarlanmış koruma uygulamaları sediment taşınımını azaltmakta ve havza ölçeğinde hidrolojik düzenlemeyi iyileştirerek hem arazi üzerinde (onsite) hem de arazi dışında (off-site) önemli faydalar sağlamaktadır (Montgomery, 2007; Lin ve ark., 2024; Schönauer ve ark., 2024).

Karbon boyutu da arazi yönetimi politikalarının önemli bir bileşenidir. Toprak erozyonu ve tekrarlayan bozulmalar, daha önce koruma altında bulunan organik karbon havuzlarının taşınmasına ve mineralizasyonuna neden olarak uzun dönemli karbon sekestrasyon potansiyelini azaltabilmektedir. Bu nedenle, agregat stabilitesini artıran, sürekli bitki örtüsünü destekleyen ve toprak bozulmasını azaltan yönetim sistemleri yalnızca tarımsal üretkenlik açısından değil, aynı zamanda arazi temelli iklim değişikliğiyle mücadele hedefleri açısından da büyük önem taşımaktadır (Lal, 2004; Pan ve ark., 2024a; Wang ve ark., 2025).

Uygulama düzeyinde ise izleme sistemlerinin; toprak organik karbonu (SOC), hacim ağırlığı (bulk density),

infiltrasyon kapasitesi ve agregat stabilitesi gibi arazi ölçümlerini; eğim sınıfı, katkı alanı (contributing area) ve topografik nem göstergeleri gibi coğrafi bilgi sistemleri tabanlı analizlerle birlikte değerlendirmesi gerekmektedir. Bu bütünleşik yaklaşım, toprak bozulma eğilimlerinin erken aşamada tespit edilmesini sağlamakta ve geri dönüşü olmayan toprak fonksiyon kayıpları meydana gelmeden önce uyarlanabilir yönetim uygulamalarının hayata geçirilmesine olanak tanımaktadır (Tesfa ve Leung, 2017; Liu ve ark., 2025).

4.3. Ölçek Etkileri ve Karar Destek Sistemleri

Topografya, arazi kullanımı ve toprak kalitesi arasındaki etkileşimler ölçeğe bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Parsel ölçeğinde gözlenen süreçler (örneğin agregat parçalanması ve mikro düzeyde yüzey akışı oluşumu), kanal bağlantıları, depolama etkileri ve arazi örtüsü mozaikleri nedeniyle yamaç ve havza ölçeklerinde farklı şekillerde ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle, küçük ölçekli deneme alanlarından elde edilen yönetim önerileri, bölgesel ölçekte uygulanmadan önce dikkatli bir şekilde değerlendirilmeli ve uyarlanmalıdır (Liu ve ark., 2025; Lin ve ark., 2024).

Karar destek sistemleri, arazi gözlemleri ile mekânsal modelleme yaklaşımlarını bir araya getirerek bu ölçek uyumsuzluğunu azaltabilmektedir. Topografik verilerden türetilen göstergeler, uzaktan algılama temelli arazi örtüsü verileri ve uzun dönemli izleme kayıtları bütünleştirilerek, müdahalelerin en yüksek faydayı sağlayacağı kritik alanlar belirlenebilmektedir. Bu tür önceliklendirme yaklaşımları, özellikle bütçe kısıtlarının bulunduğu durumlarda büyük önem taşımaktadır; çünkü arazi yönetiminde temel amaç, birim maliyet başına elde edilen ekolojik faydanın en üst düzeye çıkarılmasıdır (Schönauer ve ark., 2024; Lal, 2004).

Politika geliştirme ve arazi planlaması açısından bu durum, uyarlanabilir ve kanıta dayalı yönetim anlayışına geçişi gerekli kılmaktadır. Yönetim uygulamaları belirli aşamalar halinde uygulanmalı, düzenli olarak izlenmeli ve toprakta gözlenen değişimler ile zaman içerisinde değişen hidroklimatik risk koşullarına göre güncellenmelidir. Uygulamada bu yaklaşım, topografik açıdan heterojen peyzajlarda hem çevresel dayanıklılığın hem de uzun vadeli tarımsal sürdürülebilirliğin güçlendirilmesine katkı sağlamaktadır (Montgomery, 2007; Lal, 2004). Şekil 4, toprak sistemlerinin sağladığı çeşitli ekosistem hizmetlerini kavramsal olarak göstermektedir.



Şekil 4. Toprak fonksiyonları ve sürdürülebilir arazi yönetimi tarafından desteklenen ekosistem hizmetlerini gösteren kavramsal model (FAO, 2024).

5. SONUÇ

Topoğrafya, arazi kullanımı ve toprak özellikleri arasındaki ilişkilerin anlaşılması, etkili arazi yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır. Yükselti, eğim, bakı ve arazi örtüsü; erozyon, toprak nemi, besin maddelerinin yeniden dağılımı ve mikrobiyal süreçleri birlikte kontrol etmektedir. Bu nedenle, topoğrafik özellikleri dikkate alan ve koruma odaklı bir yönetim

stratejisi, toprak fonksiyonlarının iyileştirilmesine, tarımsal üretkenliğin sürdürülmesine ve ekolojik dayanıklılığın artırılmasına katkı sağlayabilir.

Genel olarak elde edilen bulgular, sürdürülebilir toprak yönetiminin, uygulamaların topoğrafik konuma ve arazi kullanım yoğunluğuna uygun şekilde planlandığında daha etkili olduğunu göstermektedir. Gelecekteki araştırmalarda, jeomorfoloji, hidroloji ve toprak biyolojisini bütünleştiren uzun dönemli ve çok ölçekli izleme çalışmalarına ağırlık verilmelidir. Bu tür bütünleşik yaklaşımlar, hızlanan çevresel değişimler karşısında hem gıda üretimi hem de ekosistemlerin korunması için daha sağlam karar verme süreçlerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

Uygulama açısından değerlendirildiğinde, gelecekteki ilerlemeler genel önerilerden ziyade alana özgü yönetim yaklaşımlarının benimsenmesine bağlıdır. Yamaç segmentasyonu, bakı özelliklerini dikkate alan ürün yönetimi ve erozyon duyarlılığına göre koruma önceliklendirmesi; uygulamaların etkinliğini artırabilir ve maliyetleri azaltabilir. Tek tip arazi yönetiminden topoğrafya temelli arazi yönetimine geçiş, özellikle arazi kullanım baskısı ile iklim değişkenliğinin aynı anda toprak hassasiyetini artırdığı bölgelerde kritik öneme sahiptir (Zhang ve ark., 2018; Montgomery, ...).

Son olarak, toprak bilimciler, hidrologlar, ekolojistler ve arazi yöneticileri arasındaki disiplinlerarası iş birliği, bilimsel bulguların uygulamaya ve politikalara aktarılmasında temel bir gerekliliktir. Topoğrafik verilerin sürdürülebilir arazi kullanım planlamasıyla bütünleştirilmesi durumunda, ortaya çıkan sistemler toprak kaynaklarının korunması, ürün verimlerinin istikrarlı hale getirilmesi ve ekosistem hizmetlerinin uzun vadede sürdürülebilmesi açısından daha güçlü bir temel oluşturacaktır (Tesfa ve Leung, 2017; Lal, 2004).

REFERENCES

- Borrelli, P., Robinson, D. A., Fleischer, L. R., et al. (2017). An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature Communications*, 8, 2013.
- Gao, G., Tuo, D., Han, X., Jiao, L., Li, J., & Fu, B. (2020). Effects of land-use patterns on soil carbon and nitrogen variations along revegetated hillslopes in the Chinese Loess Plateau. *Science of the Total Environment*, 746, 141156.
- Huang, Y. M., Liu, D., & An, S. S. (2015). Effects of slope aspect on soil nitrogen and microbial properties in the Chinese Loess region. *Catena*, 125, 135–145.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623–1627. <https://doi.org/10.1126/science.1097396>
- Lin, Z., Wang, Q., Xu, Y., Luo, S., Zhou, C., Yu, Z., & Xu, C. Y. (2024). Soil moisture dynamics and associated rainfall-runoff processes under different land uses and land covers in a humid mountainous watershed. *Journal of Hydrology*, 636, 131249.
- Liu, H., Hui, S., Zhao, Y., Jiang, Y., Qi, Y., Boyer, E. W., de Mello, C. M. G., Guo, L., & Li, H. (2025). Spatiotemporal variability of soil moisture and its influencing factors in a forested catchment with complex terrain. *Catena*, 256, 109079. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2025.109079>
- Ma, L., Liu, L., Lu, Y., Chen, L., Zhang, Z., Zhang, H., et al. (2022). When microclimates meet soil microbes: Temperature controls soil microbial diversity along an elevational gradient in subtropical forests. *Soil Biology and Biochemistry*, 166, 108566. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108566>
- Meng, X., Zhu, Y., Yin, M., & Liu, D. (2021). The impact of land

- use and rainfall patterns on the soil loss of the hillslope. *Scientific Reports*, *11*(1), 16341. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95819-5>
- Montgomery, D. R. (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *104*(33), 13268–13272. <https://doi.org/10.1073/pnas.0611508104>
- Ni, Y., Yang, T., Zhang, K., Shen, C., & Chu, H. (2018). Fungal communities along a small-scale elevational gradient in an alpine tundra are determined by soil carbon nitrogen ratios. *Frontiers in Microbiology*, *9*, 1815. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01815>
- Omokaro, G. O. (2023). A review on the impacts of toposequence on soil properties. *American Journal of Environment and Climate*, *2*(3), 114–120. <https://doi.org/10.54536/ajec.v2i3.2209>
- Pan, Z., Cai, X., Bo, Y., Guan, C., Cai, L., Haider, F. U., Li, X., & Yu, H. (2024a). Response of soil organic carbon and soil aggregate stability to changes in land use patterns on the Loess Plateau. *Scientific Reports*, *14*, 31775. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-82300-2>
- Pan, Z., Cai, X., Cai, L., Dong, B., Haider, F. U., Bo, Y., Hu, Z., Li, A., & Xue, Q. (2024b). Soil and microbial biomass response to land-use changes in the Loess Plateau. *Sustainability*, *16*(23), 10496. <https://doi.org/10.3390/su162310496>
- Raiesi, F., & Tavakoli, M. (2022). Developing a soil quality index model for assessing landscape-level soil quality along a toposequence in almond orchards using factor analysis. *Modeling Earth Systems and Environment*, *8*(3), 4035–4050.

- Schaefer, M. L., Bogacki, W., Lopez Caceres, M. L., Kirschbauer, L., Kato, C., & Kikuchi, S.-i. (2024). Influence of slope aspect and vegetation on the soil moisture response to snowmelt in the German Alps. *Hydrology*, 11(7), 101. <https://doi.org/10.3390/hydrology11070101>
- Schönauer, M., Ågren, A. M., Katzensteiner, K., Hartsch, F., Arp, P., Drollinger, S., & Jaeger, D. (2024). Soil moisture modeling with ERA5-Land retrievals, topographic indices, and in situ measurements and its use for predicting ruts. *Hydrology and Earth System Sciences*, 28, 2617–2633. <https://doi.org/10.5194/hess-28-2617-2024>
- Shi, J., Zhang, H., Wang, K., et al. (2024). Soil organic carbon increases with decreasing microbial carbon use efficiency along a vegetation restoration chronosequence. *Frontiers in Microbiology*.
- Siles, J. A., & Margesin, R. (2016). Abundance and diversity of bacterial, archaeal, and fungal communities along an altitudinal gradient in alpine forest soils: What are the driving factors? *Microbial Ecology*, 72(1), 207–220. <https://doi.org/10.1007/s00248-016-0748-2>
- Tesfa, T. K., & Leung, L.-Y. R. (2017). Exploring new topography-based subgrid spatial structures for improving land surface modeling. *Geoscientific Model Development*, 10, 873–888. <https://doi.org/10.5194/gmd-10-873-2017>
- Wang, Q., Xu, Y., Zhu, G., et al. (2025). Terraced fields increased soil organic carbon content in croplands of the Loess Plateau. *Scientific Reports*, 15, 36020. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-19872-0>
- Wang, R., He, X., Zhang, Q., Li, B., Shu, Z., & Chu, C. (2024). Inconsistent elevational patterns of soil microbial

- biomass, diversity, and community structure on four elevational transects from subtropical forests. *Applied Soil Ecology*, 201, 105462.
- Wang, S., Fu, B. J., Gao, G. Y., Yao, X. L., & Zhou, J. (2012). Soil moisture and evapotranspiration of different land cover types in the Loess Plateau, China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16, 2883–2892. <https://doi.org/10.5194/hess-16-2883-2012>
- Wang, X., Wang, Y., Wang, Y., Yang, J., He, H., Ren, Y., ... & Song, H. (2025). Tree mycorrhizal associations strongly mediate soil microbial β -diversity along an elevational gradient in a warm-temperate forest. *Applied Soil Ecology*, 205, 105776.
- Yang, L., Wei, W., Chen, L., & Mo, B. (2012). Response of deep soil moisture to land use and afforestation in the semi-arid Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology*, 475, 111–122.
- Zhang, B., Zhu, S., Li, J., et al. (2024). Elevational distribution patterns and driver factors of fungal community diversity at different soil depths in *Abies georgei* var. *smithii* forests, southeastern Tibet. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1444260. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1444260>
- Zhang, W. C., Wu, W., Li, J. W., & Liu, H. B. (2023). Climate and topography controls on soil water-stable aggregates at regional scale: Independent and interactive effects. *Catena*, 228, 107170. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107170>
- Zhang, X., Hu, M., Guo, X., Yang, H., Zhang, Z., & Zhang, K. (2018). Effects of topographic factors on runoff and soil loss in Southwest China. *Catena*, 160, 394–402. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.10.013>

- Zhou, S., Chen, G., & Fang, L. (2016). Distribution pattern of landslides triggered by the 2014 Ludian earthquake of China: Implications for regional threshold topography and the seismogenic fault identification. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 5(4), 46. <https://doi.org/10.3390/ijgi5040046>
- Zhu, G., Shanguan, Z., Hu, X., & Deng, L. (2021). Effects of land use changes on soil organic carbon, nitrogen and their losses in a typical watershed of the Loess Plateau, China. *Ecological Indicators*, 13

ZEYTİN YETİŞTİRİCİLİĞİNDE ORGANİK MATERYAL VE FOSFOR UYGULAMALARININ VERİM VE MEYVE BESİN ELEMENT İÇERİĞİ ÜZERİNE ETKİLERİ¹

Bülent YAĞMUR²

Zekeriya ÇİĞDEM³

1. GİRİŞ

Zeytin ağacına dair en eski arkeolojik bulgular MÖ 43.000 yılına dayanmakla birlikte, kültüre alınmasının MÖ 4000 civarında Doğu Akdeniz'de gerçekleştiği akademik konsensüsle kabul görmektedir (Zohary & Hopf, 2000; Therios, 2009). "Oleaceae familyası, Flahault (1886) ve Morettini (1972) sınıflandırmalarına göre 29 cinse ayrılan zeytingilleri kapsar. Modern kültür zeytini (*Olea europaea L.*), yabani formları olan *Olea oleaster L.* ve *Olea chrysophylla Lam.*'in hibridizasyon süreçleriyle evrimleşmiştir. Bu türler arasında sadece *Olea europaea* insan tüketimine uygun meyveler üretmektedir.

Dünyada her yıl ortalama 22 milyon ton ham zeytin ve 3 milyon ton zeytinyağı üretilmektedir. FAO, 2025'e göre, İspanya, Türkiye, İtalya, Yunanistan, Tunus, Portekiz, Fas, Cezayir ve Suriye en büyük zeytin üreticisi ülkelerdir. Türkiye birçok meyve türünün anavatanı konumunda olup zeytinde bu türler arasında

¹ Doktora Tez Çalışmasından Üretilmiştir

² Dr. Öğr. Üyesi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Bornova-İZMİR, ORCID: 0000-0002-7645-8574. Sorumlu Yazar

³ Dr., ORCID: 0000-0002-8790-0663.

yer almaktadır. Zeytin, dünya çapında yalnızca belirli yerlerde yetiştirilebilmektedir. Bu coğrafi duruma sahip ender ülkelerden biri olan Türkiye için zeytincilik sektörü çok önemlidir. 2024 yılında Türkiye'de 2.750.000 ton zeytin üretilmiştir. İzmir, Manisa, Aydın, Mersin, Muğla, Balıkesir, Hatay, Bursa ve Çanakkale, zeytin üretiminin en yoğun olduğu illerdir (Anonim, 2026). Türkiye'nin tarımsal üretiminde önemli bir rol oynayan zeytin, ülke için hayati bir üründür.

Zeytin yetiştiriciliğinde gübreleme çok önemlidir. Bununla birlikte, zeytin yetiştiriciliğinde gübre söz konusu olduğunda kimyasal gübreler hemen akla gelmektedir. Türkiye'de kireçli ve eğimli arazilerde tesis edilen eski zeytinlikler çoğunluktadır ve ayrıca sulama yapılamamaktadır. Dolayısıyla buralarda gerek verim ve kalite, gerekse toprak ve su gibi çevresel faktörler göz önünde bulundurularak hassas gübreleme programları uygulanmalı ve gereksiz veya fazla gübre kullanılmamalıdır. Yeni zeytinliklerde sulama imkânı vardır fakat besin maddesi gereksinimine bakılmaksızın aşırı gübreleme ve ilaçlama yapılması sonucunda fazlalıkların taban suyuna karışmasıyla, toprak ve su kaynaklarının kirlenerek insan ve çevre sağlığını tehdit etmesidir. Sinha ve Herat (2009), kimyasal gübrelerin kısa vadede tarımsal verimi artırsa da, zamanla toprak mikrobiyotasını olumsuz etkileyerek besin değerlerinin azalmasına ve verimlilik kaybına yol açtığını ortaya koymuştur.

Türkiye'de tarım arazilerinde kontrolsüz kimyasal gübre ve pestisit kullanımı, toprak kirliliğini hızlandırmakta ve ekosistem sağlığını ciddi şekilde tehlikeye atmaktadır. Vural vd., (2000), aşırı azotlu gübre uygulamalarının bitki dokularında nitrit birikimine yol açarak insan sağlığı üzerinde toksik etkiler oluşturduğunu belgelemiştir. Dahası, tarımsal kimyasalların yoğun kullanımı, bitki dokularında toksin birikimine ve çevresel kalıcılığı yüksek maddelerin yayılımına neden olmaktadır (Saber, 2001). Bu kirleticilerin toprak porlarından sızarak yeraltı sularına

ulaşması, hem insan popülasyonları hem de biyolojik çeşitlilik için uzun vadeli riskler oluşturmaktadır (Çakmakçı, 2005).

Tarımsal verimliliğin artırılmasında inorganik gübre uygulamaları önemli bir rol oynar; ancak bu gübrelerin etkinliği, topraktaki organik madde içeriğiyle doğrudan ilişkilidir (Eyüpoğlu vd., 1995). Araştırmalara göre, organik madde seviyesinin yetersiz olduğu topraklarda kimyasal gübrelerin bitki tarafından alımı verimsizleşebilmektedir. Nitekim Türkiye'deki tarım arazilerinin önemli bir bölümünde organik madde oranı %2'nin altında seyretmekte olup (Eyüpoğlu vd., 1995), bu durum sürdürülebilir tarım uygulamaları açısından kritik bir zorluk teşkil etmektedir. Günümüzde, organik madde içeriği azalan ve besin elementlerinin bitki tarafından alımının sınırlandığı tarım topraklarında, alternatif organik kaynakların kullanımı bir zorunluluk haline gelmiştir. Ayrıca, son dönemde yapılan araştırmalar, kimyasal gübrelerin verimliliğini artırarak kullanım miktarını minimize etmek ve aynı zamanda yüksek kaliteli ürün elde etmek amacıyla organik materyallerin önemini vurgulamaktadır. Bu yaklaşım, sürdürülebilir tarım uygulamalarının desteklenmesi, insan ve çevre sağlığının korunması ile tarım arazilerinin geleceğinin güvence altına alınması açısından büyük önem taşımaktadır.

Leonardit kaynaklı hümik asit, toprak kalitesini iyileştirici özelliğiyle bilinmekte ve özellikle tuzluluk kaynaklı toksik etkilerin azaltılmasında etkin rol oynamaktadır (İstanbuluoğlu, 2012). Piyasada bulunan hümik asit ürünleri, toz veya sıvı formülasyonlarda temin edilebilmekte olup, doğrudan bitkiye, toprağa veya tohumlara uygulanabilmektedir. Bu maddeler, yabancı ot mücadelesinde kullanılan kimyasallarla ve bitki besin elementleriyle uyumlu bir şekilde kombine edilebilmektedir. Suda çözünürlük özellikleri sayesinde damla sulama sistemlerinde rahatlıkla kullanılabilir. Organik toprak maddesinin temel yapı taşı olan humusun en etkin bileşeni

olan hümik asit, toprağın fizikokimyasal özelliklerini iyileştirerek bitkilerin gelişim sürecine olumlu katkılar sağlamaktadır (Akıncı, 2011). Lobartini vd., (1997), hümik maddelerin bitki beslenmesi üzerinde hem doğrudan hem de dolaylı etkileri olduğunu ortaya koymuştur. Bu maddelerin dolaylı etkileri; toprağın su tutma kapasitesini artırması, drenaj ve havalanma özelliklerini iyileştirmesi gibi fiziksel etkilerin yanı sıra, besin elementlerinin bitki tarafından alınabilirliğini değiştirmesi ve kökler aracılığıyla besin alımını kolaylaştırması şeklinde kendini göstermektedir. Hümik maddeler, metal iyonlarıyla şelat bileşikleri veya metal hidroksitler oluşturarak bu elementlerin suda çözünebilir formlara dönüşmesini sağlamaktadır. Ayrıca, birçok elementin çözünürlük düzeyini düzenleyici rol üstlenmektedir. Araştırmacılar, hümik maddelerin doğrudan etkilerini ise kök sisteminin gelişimini teşvik etmesi ve bitkilerce alınan besin elementlerinin metabolik süreçlerini etkilemesi olarak tanımlamışlardır.

Hümik asit, fulvik asit gibi hümik maddeler, toprak organik maddesinin ana bileşenleridir (% 65-70). Solunum, fotosentez, oksijen ve fosfor alımı, kök hücre büyümesinin sağlanması ve hücre zarı geçirgenliğini artırarak bitki gelişimini büyük ölçüde artırır (Cacco ve Dell, 1984; Berlyn ve Russo, 1990). Hümik asitler, organik madde ayrışmasından elde edilen karmaşık maddelerdir. Tarımsal hümik asitin, besin alımını, kuraklığa toleransı, tohum çimlenmesini ve genel bitki performansını artırdığı bilinir (Chen ve Aviad 1990) Toprak organik maddesi temel olarak, humin materyali olarak adlandırılan hümik ve fulvik asitlerden oluşur. Onlar esas olarak, ayrılmış amino asitleri ve aromatik kompleksleri içeren, azotlu bileşiklerden oluşur (Schnitzer, 1982; Andriesse, 1988).

Zeytin ağacı verimliliği genellikle, düşük toprak verimliliği ve düşük su tutma kapasitesi nedeniyle düşüktür. Buna göre, ağaçların organik gübrelere ihtiyaç duyduğu, organik

materyallerin kirlenmeyi önlediği ve gübreleme maliyetlerini düşürdüğü görülmektedir. Ayrıca, zeytin yetiştiricilerinin dikkatini, insan için sağlıklı ve çevre için güvenli olan organik ve biyo-gübre kullanımı çekmiştir. Hümik asit (HA), toprakta ve bitki büyümesinde çeşitli işlevleri yerine getiren, benzer özelliklere sahip birçok bileşiğin heterojen bir karışımıdır (Adani vd., 1998; Fayed, 2010). Hümik asidin fonksiyonlarından biri kök gelişiminin desteklenmesi üzerindeki olumlu etkisidir. Tattini vd., (1990), hümik asidin, zeytin bitkilerinin ince yan köklerinin üretiminin yanı sıra kök / sürgün oranını arttırdığını bildirmiştir. Ayrıca, hümik asidin besin emilimini ve bitki büyümesini arttırdığı bilinmektedir. Birçok toprakta fosfat, apatit gibi, neredeyse çözünmeyen mineral bileşikler halinde kolayca oluşur. Lobartini vd., (1997) HA'nın artan miktarının, apatitin çözünme oranını arttırdığını bildirmiştir. Hümik asit uygulamasının genel ağaç canlılığını arttırmada olumlu bir etkisi vardır (Phanuphong ve Partida, 2003).

Leonardit, toprak verimliliğini artıran önemli organik kaynaklardan biridir. Bu doğal materyal, linyitin oksidasyon sürecinden geçerek oluşmakta olup, %35- 85 oranında hümik asit içeriğiyle dikkat çekmektedir (Güneş ve Turan, 2007). Kömürleşme sürecini tamamlamamış olan leonardit; karbon, makro ve mikro besin elementleri bakımından zengin, tamamen doğal bir organik bileşendir. Yüksek hümik asit içeriği nedeniyle tarımsal uygulamalarda önemli bir yere sahiptir. Leonarditin bitki gelişimini teşvik edici ve toprak verimliliğini artırıcı etkileri bulunmaktadır. Diğer organik materyallerle karşılaştırıldığında önemli bir avantaj sunmaktadır: Hayvan gübresi, kompost ve torf gibi organik maddeler hızlı bir şekilde parçalanarak etkilerini 3-5 yıl gibi kısa bir sürede kaybederken, leonardit toprakta çok daha uzun süre kalıcılık göstermektedir. Bu özelliği, onu sürdürülebilir tarım uygulamaları için vazgeçilmez kılmaktadır.

Leonardit materyali, topraktaki bitki besin elementleri açısından toprakla karşılaştırıldığında, yüksek fosfor, düşük potasyum ve yüksek kalsiyum karbonat içeriğine sahiptir. Toprak reaksiyonları (pH) nötr civarındadır. Bitki tarafından alınabilir Fe, Mn, Cu ve Zn için mikro elementlerin analizleri yapılmış ve bitki için yeterli düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca leonardit materyalinin bitki büyümesini durduracak kadar bor içermediği keşfedilmiştir (Anonim, 1996). Türkiye'de yürütülen çalışmaların büyük bir kısmı, leonarditin organik gübre olarak potansiyelini incelemeye odaklanmıştır. Bu araştırmalar özellikle; Bitki büyümesi ve verimliliği üzerindeki etkileri, toprağa kattığı organik madde ve hümik asit içeriği, farklı toprak tiplerinde fizikokimyasal iyileştirmeler gibi parametreler üzerinden değerlendirilmiştir (Anonim, 1996).

Leonarditin ağır bünyeli killi topraklarda sağladığı en önemli fayda, kök bölgesinin havalanmasını artırarak geçirgen bir yapı oluşturmasıdır. Bu sayede toprak işlenebilirliği kolaylaşmakta ve su tutma kapasitesi optimize edilmektedir. Hafif bünyeli topraklarda (kumlu/siltli) ise besin maddelerinin yıkanmasını önlerken, su tutma özelliği ile kuraklık stresini azaltmaktadır. Ayrıca, kireçli ve killi topraklarda havalanmayı iyileştirerek kök gelişimini desteklemekte, erozyon ve çatlamaı minimize etmektedir. Bunun yanı sıra, güneş ışınlarını absorbe ederek toprak sıcaklığını dengelemekte ve mikrobiyal aktiviteyi artırmaktadır. Tüm bu özellikleri sayesinde, pestisit gibi toksik bileşenlerin topraktan uzaklaştırılmasında da etkili olduğu bildirilmiştir (Anonim, 1996). Leonarditin kimyasal bileşenleri incelendiğinde, hümik asit içeriğinin %5-20 aralığında değiştiği belirlenmiştir. Bu oran, linyit, torf ve humus gibi diğer organik materyallerle benzerlik göstermektedir (Bates & Jackson, 1980).

Bu çalışmada, zeytin bitkisinin verim ve besin element içeriği üzerine, azaltılmış fosfor dozlarına ilave olarak leonardit ve hümik asit uygulamalarının etkileri incelenecektir. Ayrıca, bu

organik materyallerin fosfor alım etkinliği üzerindeki rolü ile kimyasal gübre kullanımının azaltılmasına katkıları değerlendirilecektir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma bölgesi genel olarak Akdeniz iklimi özelliklerine sahiptir. Kışları ılık ve yağışlı, yazları kuru ve sıcaktır. Kar neredeyse yoktur. Bahçe denemesi, İzmir'in Kemalpaşa ilçesindeki Zeytincilik Araştırma Enstitüsüne ait Kemalpaşa Araştırma ve Üretim Sahasında (Kemalpaşa, İzmir / Türkiye: 38°27'49.94"K, 27°22'33.64"D) iki yıllık bir çakılı deneme olarak gerçekleştirilmiştir. Tipik Akdeniz iklimi vardır ve çok yıllık bitkilerin çoğu zeytin ağaçlarıdır.

Kemalpaşa, İzmir ilinin bir ilçesidir. İlçenin batısında Bornova ve Buca, güneyinde Torbalı ve Bayındır, kuzeyinde Manisa ilinin Yunusemre ve Şehzadeler ve doğusunda Turgutlu ilçeleri yer almaktadır. Bu ilçenin eski adı Niftir. 48 mahallesi ve 681 km² yüzölçümü ile İzmir ilinin en büyük ilçeleri arasındadır. Kemalpaşa. Bu tesislerden en büyük kapasiteye sahip 200.000 kapasiteyi aşan 5 işletme bulunmaktadır. İlçenin 33.611 hektarlık yüzölçümünün yaklaşık %60'ı ormanlarla kaplıdır. Kemalpaşa ilçesi tarım alanları dağılımı incelendiğinde % 42 oranında meyve üretimi birinci sıradadır. % 25 oranıyla zeytin üretimi ikinci sıradadır. % 15 bağ alanları üçüncü sıradadır. İlçede hayvancılık sektöründe %97 oranla tavukçuluk ön plandadır. İlçede tavukçuluk yapan 65 tesis bulunmaktadır.

2.1. Materyal

2.1.1. Araştırmada Kullanılan Leonardit, Hümik Asit ve Kimyasal Gübreler

Zeytincilik Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne ait Kemalpaşa üretim ve işletme alanında organik materyallerin

uygulandığı zeytin ağaçları bulunmaktadır. 45 yıllık zeytin ağaçları, dekara 14 ağaç olarak dikilmiş ve sıra üzeri ve arası 8,5 x 8,5 m'dir. Bu bitkilere organik olarak leonardit ve hümik asit, kimyasal olarak da N, P ve K gübreleri verilmiştir. Araştırmada kullanılacak olan bu materyaller ticari firmalardan temin edilmiş, bu materyallere ait bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Denemede kontrol uygulaması olarak kullanılacak kimyasal gübre (NPK), yöre üreticilerinin uyguladığı şekilde ve toprak analizleri de dikkate alınarak 10-20-20, amonyum sülfat, potasyum sülfat ve CAN gübreleri uygulanmıştır

Çizelge 1. Denemede Kullanılan Leonardit ve Hümik Asit Materyallerinin Bazı Kimyasal ve Kimyasal Özellikleri

Özellik	Leonardit	Hümik Asit
pH	6,3	5,5
Organik Madde (%)	47,6	20,4
Hümik + Fulvik (%)	45,6	15,3
Nem (%)	22,3	-
K ₂ O (%)	-	0,3
Toplam Na (%)	-	0,03

2.1.2. Araştırma Kullanılan Bitki Materyali

Bu çalışmada materyal olarak kullanılan 'Memecik' zeytin çeşidi, Ege Bölgesi'nin karakteristik çeşitlerinden biridir. Özellikle Ege'nin güney kesimindeki zeytin plantasyonlarında yaygın olarak yetiştirilen bu çeşit, kurak koşullara adaptasyonu bilinmektedir. Sulama imkanının kısıtlı olduğu alanlarda yetiştiriciliği önerilen Memecik, iyi bakım koşullarında güçlü bir büyüme sergilemekte olup, tipik olarak yayvan formda ve nispeten küçük bir taç yapısına sahiptir. Çeşidin belirgin özelliklerinden biri de kuvvetli periyodisite eğilimi göstermesine rağmen, verim yıllarında yüksek ürün potansiyeli sunmasıdır. Üretim tekniği açısından düşük köklenme kapasitesi nedeniyle genellikle aşı yöntemiyle çoğaltılmaktadır. Kısmen kendine verimli olan bu çeşit için Ayvalık, Çakır, Erkence, Memeli ve

Gemlik çeşitleri etkili tozlayıcılar olarak kullanılabilir (Çavuşoğlu, 1980). Çeşidin önemli bir dezavantajı verticillium solgunluğu hastalığına karşı yüksek duyarlılık göstermesidir (Erten ve Yıldız, 2011). Memecik zeytini, yüksek yağ içeriği nedeniyle öncelikle yağlık olarak değerlendirilmekle birlikte, yeşil ve sofralık olarak da tüketilebilmektedir. Yağ kalitesi açısından üstün özellikler gösteren bu çeşit, karakteristik aroması, rengi ve kimyasal bileşimi ile dikkat çekmektedir (ZAE, 2015).

2.2. Yöntem

2.2.1. Bahçe Denemesinin Kurulması ve Yürütülmesi

Araştırmada Çizelge 2’den de görüleceği gibi iki farklı organik materyal, kontrol ve azaltılmış fosfor uygulamaları olmak üzere toplam 7 uygulama konusu bulunmaktadır. Leonarditin, hümitik asitin ve kimyasal gübrelerin uygulama oranları; yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler ve ilgili kurum kuruluşların tavsiyeleri ve toprak analiz sonuçları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Kontrol parseline herhangi bir uygulama yapılmamıştır.

Leonardit uygulaması 15 kg ağaç da⁻¹ olacak şekilde, ağacın taç izdüşümüne 20-25 cm genişlikte ve derinlikte açılan çiziye elle uygulanıp toprakla karıştırılmıştır (Özyazıcı ve ark., 2011; Adiloğlu, 2017; Sağlam ve ark., 2012).

Hümitik asit uygulaması tam çiçeklenmede tek uygulama şeklinde yapılmış olup, hümitik asit uygulaması 5000 ml ağaç⁻¹ dozunda topraktan ağaç taç iz düşümüne, 25-30 cm derinliğe sulandırılarak elle uygulanıp toprakla karıştırılmıştır (Gezgin ve Dursun, 2009; Gezgin ve ark., 2010).

Opt. NPK uygulamasında deneme kurulacak bahçeye ait deneme öncesi 0-30 cm ve 30-60 cm derinliğinden toprak örneği alınarak analiz sonuçlarına göre ihtiyaç duyulan NPK miktarları tespit edilmiş toprak analiz sonuçlarına göre yapılan hesaplama

sonrası ağaç başına uygulanacak saf madde miktarları 500 g N ağaç⁻¹; 800 g P₂O₅ ağaç⁻¹; 1000 g K₂O ağaç⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Uygulanacak N'un 4/5'ile P ve K gübrelere tamamı şubat ayında azotun geri kalan 1/5'ise nisan ayında topraktan uygulanmıştır. N'lu gübre (4/5'i) ağacın gövde çevresine, gövde merkezinden 1 m yarıçaplı alan dışında kalan taç izdüşümünün alanına serpilerek verilmiş ve çapa ile toprağa karıştırılmıştır. P ve K gübre uygulamaları ise ağacın taç izdüşümünün çevresine açılan 15-20 cm derinliğindeki banda şubat ayında uygulanarak toprakla kapatılmıştır. N'lu gübrenin geriye kalan 1/5'ise nisan ayında üst gübre olarak yine gövde çevresine, gövde merkezinden 1 m yarıçaplı alan dışında kalan taç izdüşümünün alanına serpilerek verilmiştir.

Ağaç başına verilecek olan optimum miktarlar olan 500 gr N ağaç⁻¹ ; 800 gr P₂O₅ ağaç⁻¹ ; 1000 g K₂O ağaç⁻¹ uygulaması için, şubat ayında 4 kg 10:20:20 ağaç⁻¹ , ve 400gr ağaç⁻¹ K₂SO₄ gübrelere tabandan verilmiştir. Geriye kalan N için ise nisan ayında 400 g ağaç⁻¹ CAN (%26) gübresi üst gübre olarak uygulanmıştır (Pekcan ve ark., 2009).

Leonardit+farklı fosfor dozları ve hümitik asit+farklı fosfor dozları uygulamaları içinde uygulama zamanı ve miktarları Opt. NPK uygulamasında olduğu gibi planlanmış, tüm uygulama konularına sabit dozda N (500 gr N ağaç⁻¹), K (1000 g K₂O ağaç⁻¹) ve leonardit denemesinde leonardit+farklı dozlarda P (P1=500 gr P₂O₅ ağaç⁻¹ ; P2= 450 gr P₂O₅ ağaç⁻¹ ; P3=400 gr P₂O₅ ağaç⁻¹ ; P4=350 gr P₂O₅ ağaç⁻¹)⁻¹ ; hümitik asit denemesinde hümitik asit+farklı dozlarda P (P1=500 gr P₂O₅ ağaç⁻¹ ; P2= 450 gr P₂O₅ ağaç⁻¹ ; P3=400 gr P₂O₅ ağaç⁻¹ ; P4=350 gr P₂O₅ ağaç⁻¹) uygulamaları yapılmıştır. Uygulama konuları ve ağaç başına uygulanan miktarları Çizelge 2'de verilmiştir.

Deneme tesadüf blokları deneme desenine göre, 2 yıl süre ile aynı yerde çakılı deneme olarak 4 tekrarlı ve her

tekerrürde 2 adet zeytin ağacı olacak şekilde tesis edilmiştir. Leonardit ve hümik asit denemeleri olmak üzere 2 ayrı deneme alanı oluşturulmuştur. Her iki denemede toplamda, 7 uygulama x 4 tekerrür her tekerrürde 2 adet olmak üzere 112 ağaç kullanılmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Deneme Konuları ve Uygulamalar

Deneme Konuları	Leonardit Uygulaması				Deneme Konuları	Hümik Asit Uygulaması			
	kg ağaç da ⁻¹					ml ağaç ⁻¹	kg ağaç da ⁻¹		
	Leonardit	N	P2O5	K2O		H.Asit	N	P2O5	K2O
Kontrol	-	-	-	-	Kontrol	-	-	-	-
Opt. NPK	-	500	800	1000	Opt. NPK	-	500	800	1000
Leonardit	15	-	-	-	H.Asit	5000	-	-	-
Leonardit+P1	15	500	500	1000	H.Asit+P1	5000	500	500	1000
Leonardit+P2	15	500	450	1000	H.Asit +P2	5000	500	450	1000
Leonardit+P3	15	500	400	1000	H.Asit +P3	5000	500	400	1000
Leonardit+P4	15	500	350	1000	H.Asit +P4	5000	500	350	1000

2.2.2. Hasat

Deneme konularına ait tüm ağaçlarda hasat elle yapılmış her bir ağaçtan toplanan meyveler kantarda tartılarak ağaç başına meyve verimi belirlenmiştir.

2.2.3. Meyve Örneklerinin Alınması ve Analiz Yöntemleri

Çalışmada meyve örnekleri hasat sırasında her uygulama konusundan tekerrürlü olacak şekilde ve analizlere yetecek miktarda alınarak laboratuvara getirilmiştir. Laboratuvarda temizleme işlemine tabi tutulan örnekler analize hazır hale getirilmiş , meyve örneklerin toplam N içeriği Dumas metodu ile (McGeehan ve Naylor, 1988). toplam P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn ve B içerikleri meyve örneklerinin konsantre H₂O₂ + HNO₃ ile mikrodalga yakma cihazında yakılıp elde edilen süzükte ICP-OES cihazı ile belirlenmiştir (Zarcinas ve ark., 1987).

2.3. İstatistiksel Değerlendirme

Tesadüf blokları deneme desenine göre kurulan denemelerden elde edilen verilerde, SPSS 18.0 bilgisayar paket

programı ile varyans analizleri yapılmış önemli bulunan uygulamaların ortalamaları arası farkların karşılaştırması LSD testi ile yapılmıştır (Düzgüneş et al., 1987; Gomez and Gomez, 1984).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Hümik Asit ve Farklı Dozlarda Fosfor Uygulamalarının Verim Üzerine Etkileri

Deneme bahçesindeki ağaçların homojen seçilebilmesi için 2 yıl ön verim değerleri alınmıştır. Ayrıca kovaryans analizine göre düzeltilmiş verim değerleri de tabloda verilmiştir. Hümik asit ve farklı dozlarda fosfor uygulamaların verim üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yürütülen çalışmada birinci ve ikinci yıl verim değerleri ile 2 yıla at ön verim değerleri ve düzeltilmiş verim değerleri Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Hümik Asit ve Farklı Dozlarda Fosfor Uygulamalarının 1. ve 2. Yıl Ağaç Baş Ortalama Verim Değerleri

Yıl	Uygulama	Ön Verim (kg/ağaç)	Deneme Verimi (kg/ağaç)	Düzeltilmiş Verim (kg/ağaç)
1 YIL	Kontrol	44	24	24
	Optimum NPK	55	20	16
	Hümik Asit	54	30	30
	HA+P1	57	39	43
	HA+P2	49	28	27
	HA+P3	58	33	31
	HA+P4	43	21	24
	LSD	öd.	öd.	öd.
2.YIL	Kontrol	62	87	87
	Optimum NPK	58	84	82
	Hümik Asit	52	82	81
	HA+P1	36	72	75
	HA+P2	56	88	87
	HA+P3	49	78	77
	HA+P4	48	87	91
	LSD	öd.	öd.	öd.

öd. anlamlı etki gözlenmedi

Çizelge 3. incelendiğinde uygulamanın yapıldığı birinci yıl en yüksek verim HA+P1 uygulamasında (39 kg/ağaç), en düşük verim ise optimum NPK uygulamasından (20 kg/ağaç) elde edilmiştir. Uygulamaların ikinci yılında ise en yüksek verim HA+P2 uygulamasında (88 kg/ağaç), en düşük verim ise HA+P1 (72 kg/ağaç) elde edilmiştir. Yapılan istatistiki değerlendirmede her iki yılda da uygulamaların verim üzerine etkisi istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur.

Hümkik asit ve farklı dozlarda fosfor uygulamalarının birinci yıl verim değerleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır, elde edilen sonuçlar Çizelge 4.'da verilmiştir.

Çizelge 4. Hümkik Asit ve Farklı Dozlarda Fosfor Uygulamalarında Ön Verim ve 1.Yıl Verim Değerlerinin İstatistiksel Analizi

		Kareler Toplamı	sd	Kareler Ortalaması	F	p
Ön Verim 1.yıl	Gruplar arası	1862.357	6	310.393	.678	.668
	Gruplar içi	22417,625	49	457,503		
	Toplam	24279,982	55			
Verim 1. yıl	Gruplar arası	2309,194	6	384.866	.971	.455
	Gruplar içi	19026,234	48	396.380		
	Toplam	21335.428	54			

Çizelge 4 incelendiğinde, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı belirlenmiştir ($F(6,49)=0,678$; $p=0,668$). Benzer şekilde, birinci yıl verim değerleri açısından da hümkik asit ve farklı dozlarda fosfor uygulamaları arasında anlamlı bir farklılık saptanmamıştır ($F(6,48)=0,971$; $p=0,455$). Elde edilen bulgular, hümkik asit ve farklı dozlarda fosfor uygulamalarının verim (1. yıl) üzerinde istatistiksel açıdan anlamlı bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir. Bu sonuç, uygulamanın ilk yıl itibarıyla ürün veriminde belirgin bir değişime yol açmadığını ortaya koymaktadır.

Hümik asit ve farklı dozlarda fosfor uygulamalarının ikinci yıl verim değerleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır sonuçlar Çizelge 5’de verilmiştir.

Çizelge 5. Hümik Asit ve Farklı Dozlarda Fosfor Uygulamalarında Ön Verim ve 1.Yıl Verim Değerlerinin İstatistiksel Analizi

		Kareler Toplamı	sd	Kareler Ortalaması	F	p
Ön Verim 2.yıl	Gruplar arası	3471,750	6	578,625	1,772	,125
	Gruplar içi	16002,750	49	326,587		
	Toplam	19474,500	55			
Verim 2. yıl	Gruplar arası	1797,958	6	299,660	,709	,644
	Gruplar içi	20698,758	49	422,424		
	Toplam	22496,716	55			

Çizelge 5 incelendiğinde, uygulamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($F(6,49)=1,772$; $p=0,125$). Benzer şekilde, verim (2. yıl) değerleri için yapılan tek yönlü varyans analizi de gruplar arasında anlamlı bir farklılık olmadığını ortaya koymuştur ($F(6,49)=0,709$; $p=0,644$). Dolayısıyla, hümik asit ve farklı dozlarda fosfor uygulamalarının verim (2. yıl) üzerinde istatistiksel açıdan anlamlı bir etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir. Bu sonuç, uygulamanın ikinci yıl itibarıyla da verim üzerinde kayda değer bir değişim oluşturmadığını göstermektedir.

3.2. Leonardit ve Farklı Dozlarda Fosfor Uygulamalarının Verim Üzerine Etkileri

Leonardit ve farklı dozlarda fosfor uygulamalarının verim üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yürütülen çalışmada birinci ve ikinci yıl verim değerleri ile 2 yıla at ön verim değerleri ve düzeltilmiş verim değerleri Çizelge 6’da verilmiştir.

Çizelge 6. incelendiğinde uygulamanın yapıldığı birinci yıl en yüksek verim leonardit uygulamasında (25 kg/ağaç), en düşük verim ise kontrol uygulamasından (14 kg/ağaç) elde

edilmiştir. Uygulamaların ikinci yılında ise en yüksek verim L+P1 uygulamasında (91 kg/ağaç), en düşük verim ise L+P3 (73 kg/ağaç) elde edilmiştir. Yapılan istatistiki değerlendirmede her iki yılda da uygulamaların verim üzerine etkisi istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 6. Leonardit ve Farklı Dozlarda Fosfor Uygulamalarının 1. ve 2. Yıl Ağaç Başı Ortalama Verim Değerleri

YIL	Uygulamalar	Ön Verim (kg/ağaç)	Deneme Verimi (kg/ağaç)	Düzeltilmiş Verim (kg/ağaç)
1.YIL	Kontrol	41	14	16
	Optimum N P K	43	22	22
	Leonardit	33	25	25
	L+P1	35	18	18
	L+P2	40	18	16
	L+P3	33	19	19
	L+ P4	42	18	18
	LSD	öd.	öd.	öd.
2.YIL	Kontrol	63	78	77
	Optimum N P K	57	86	86
	Leonardit	70	87	86
	L+P1	61	91	93
	L+P2	63	84	84
	L+P3	68	73	72
	L+ P4	55	75	77
	LSD	öd.	öd.	öd.

öd. anlamlı etki gözlenmedi

Leonardit ve farklı dozlarda fosfor uygulamalarında birinci yıl verim değerleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmış, elde edilen sonuçlar Çizelge 7’de verilmiştir.

Çizelge 7. Leonardit ve Farklı Dozlarda Fosfor Uygulamalarında Ön Verim ve 1. Yıl Verim Değerlerinin İstatistiksel Analizi

		Kareler Toplamı	sd	Kareler Ortalaması	F	p
Ön Verim 1.yıl	Gruplar arası	940,929	6	156,821	,567	,754
	Gruplar içi	13545,625	49	276,441		
	Toplam	14486,554	55			
Verim 1. yıl	Gruplar arası	489,521	6	81,587	,385	,885
	Gruplar içi	9952,554	47	211,756		
	Toplam	10442,075	53			

Aynı dönemde elde edilen verim değerleri için yapılan tek yönlü varyans analizi sonuçları da benzer bir eğilim sergilemiştir. Uygulamalar arasında verim açısından anlamlı bir fark gözlenmemiştir ($F(6, 47) = 0,385$, $p = 0,885$). Bu sonuçlar, leonardit ve farklı dozlarda fosfor uygulamalarının verim üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki yaratmadığını göstermektedir. Bulgular, uygulamaların kısa vadede meyve verimi üzerinde belirgin bir değişim oluşturmadığını ve uzun dönemli etkilerin değerlendirilmesinin önemini vurgulamaktadır.

Leonardit ve farklı dozlarda fosfor uygulamalarının ikinci yıl verim değerleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır elde edilen değerler Çizelge 8’de verilmiştir.

Çizelge 8. Leonardit ve Farklı Dozlarda Fosfor Uygulamalarının Ön Verim ve 2.Yıl Verim Değerlerinin İstatistiksel Analizi

		Kareler Toplamı	sd	Kareler Ortalaması	F	p
Ön Verim 2.yıl	Gruplar arası	1356,464	6	226,077	,619	,714
	Gruplar içi	17882,375	49	364,946		
	Toplam	19238,839	55			
Verim 2. yıl	Gruplar arası	1996,437	6	332,740	1,064	,397
	Gruplar içi	14695,580	47	312,672		
	Toplam	16692,017	53			

Verim değerleri için yapılan tek yönlü varyans analizine göre uygulamalar arasında verim açısından anlamlı bir fark gözlenmemiştir ($F(6,47) = 1,064$, $p = 0,397$). Sonuç olarak,

uygulamaların verim üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Bulgular, uygulamaların kısa vadede meyve üretimi üzerinde belirgin bir değişiklik yaratmadığını göstermektedir.

3.3. Hümik Asit ve Farklı Dozlarda Fosfor Uygulamalarının Zeytin Meyvesinin Makro ve Mikro Besin Element İçeriklerine Etkisi

Hümik asit ve farklı dozlarda fosfor uygulamalarının zeytin meyvesinin besin içeriği üzerindeki etkileri incelenmiş, meyve örneklerinin analizleri sonucunda belirlenen makro ve mikro besin element içerikleri Çizelge 9’da verilmiştir.

1.yıl meyve örneklerine ait analiz sonuçları incelendiğinde uygulamalara göre meyvenin toplam N, P, K, Ca ve Mg içerikleri sırasıyla %0,83-1,03; %0,24-0,28; %2,50-2,62; %0,10-0,52; 0,08-0,14 arasında değişmiştir. En yüksek N değeri K ve HA+P2, Ca ve Mg değerleri kontrol uygulamasından alınırken, en yüksek P ve K değerleri Opt. NPK uygulamasından elde edilmiştir. Uygulamalara göre meyvenin toplam Fe, Cu, Mn, Zn ve B içerikleri ise sırasıyla 35,34-65,28 mg/kg; 17,72-25,65 mg/kg; 9,56-10,79 mg/kg; 17,38-20,51 mg/kg ve 35,28-54,42 mg/kg arasında değişmiştir. En yüksek Fe değeri HA+P2 uygulamasından alınırken, en yüksek Cu ve Zn değerleri Opt. NPK uygulamasından, en yüksek Mn değeri hümik asit uygulamasından, en yüksek B değeri ise HA+P1 uygulamasından alınmıştır(Çizelge 9).

2.yıl meyve örneklerine ait analiz sonuçları incelendiğinde ise, uygulamalara göre meyvenin toplam N, P, K, Ca ve Mg içerikleri sırasıyla %0,53-0,68 %0,14-0,12; %1,64-1,40 %0,10-0,08; 0,05-0,04 arasında değişmiştir. En yüksek N değeri hümik asit uygulamasından, en yüksek P değeri hümik asit ve HA+P1 uygulamalarından, en yüksek K değeri HA+P2 uygulamasından, en yüksek Ca değeri kontrol, HA+P1 ve HA+P3

uygulamalarından, en yüksek Mg değeri ise HA+P1 uygulamasında saptanmıştır. Uygulamalara göre meyvenin toplam Fe, Cu, Mn, Zn ve B içerikleri ise sırasıyla 15,73-24,93 mg/kg; 6,06-8,43 mg/kg; 3,62-4,39 mg/kg; 5,08-8,00 mg/kg ve 33,69-37,09 mg/kg arasında değişmiştir. En yüksek Fe, Mn, Zn değerleri HA+P3 uygulamasından, en yüksek Cu ve B değerleri ise HA+P2 uygulamasından alınmıştır (Çizelge 9).

Çizelge 9. Hümk Asit ve Farklı Dozlarda Fosfor Uygulamalarının 1. ve 2.Yıl Meyve Örneklerinin Besin Elementleri İçerikleri.

YIL	Uygulama	Toplam (%)					Toplam (mg/kg)				
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	B
1.YIL	Kontrol	1,03	0,26	2,53	0,52	0,14	45,85	17,72	10,03	18,56	35,28
	Opt. NPK	0,83	0,28	2,62	0,10	0,09	42,04	25,65	9,97	20,51	45,00
	Hümk Asit	0,97	0,26	2,60	0,13	0,09	41,65	21,87	10,79	19,12	52,35
	HA+P1	0,96	0,24	2,52	0,11	0,09	35,34	19,43	9,59	17,65	54,42
	HA+P2	1,03	0,25	2,61	0,11	0,08	65,28	21,17	10,26	19,41	48,40
	HA+P3	1,00	0,26	2,50	0,11	0,08	56,38	20,65	9,79	18,46	50,16
	HA+P4	0,98	0,25	2,54	0,11	0,08	37,80	19,68	9,56	17,38	40,02
	LSD	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
2.YIL	Kontrol	0,59	0,13	1,48	0,10	0,04	17,31	7,37	3,99	5,77c	35,04
	Opt. NPK	0,59	0,13	1,40	0,09	0,04	17,32	6,06	3,62	5,08c	34,34
	Hümk Asit	0,68	0,14	1,47	0,08	0,04	15,73	6,70	4,02	6,38b	34,97
	HA+P1	0,53	0,14	1,62	0,10	0,05	23,26	7,06	4,34	6,49b	36,31
	HA+P2	0,58	0,12	1,64	0,09	0,04	20,94	8,43	4,24	7,19b	37,09
	HA+P3	0,59	0,12	1,44	0,10	0,04	24,93	7,49	4,39	8,00a	35,65
	HA+P4	0,62	0,13	1,48	0,08	0,04	18,70	6,08	3,90	5,42c	33,69
	LSD	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1,669*	ns

* p:0.05. ns: Anlamli bir fark yoktur.

1.yıl meyve örneklerine ait analiz sonuçları incelendiğinde uygulamalara göre meyvenin toplam N, P, K, Ca ve Mg içerikleri sırasıyla %0,83-1,03; %0,24-0,28; %2,50-2,62; %0,10-0,52; 0,08-0,14 arasında değişmiştir. En yüksek N değeri K ve HA+P2, Ca ve Mg değerleri kontrol uygulamasından alınırken, en yüksek P ve K değerleri Opt. NPK uygulamasından elde edilmiştir. Uygulamalara göre meyvenin toplam Fe, Cu, Mn, Zn ve B içerikleri ise sırasıyla 35,34-65,28 mg/kg; 17,72-25,65 mg/kg; 9,56-10,79 mg/kg; 17,38-20,51 mg/kg ve 35,28-54,42 mg/kg arasında değişmiştir. En yüksek Fe değeri HA+P2 uygulamasından alınırken, en yüksek Cu ve Zn değerleri Opt.

NPK uygulamasından, en yüksek Mn değeri hümik asit uygulamasından, en yüksek B değeri ise HA+P1 uygulamasından alınmıştır(Çizelge 9).

2.yıl meyve örneklerine ait analiz sonuçları incelendiğinde ise, uygulamalara göre meyvenin toplam N, P, K, Ca ve Mg içerikleri sırasıyla %0,53-0,68 %0,14-0,12; %1,64-1,40 %0,10-0,08; 0,05-0,04 arasında değişmiştir. En yüksek N değeri hümik asit uygulamasından, en yüksek P değeri hümik asit ve HA+P1 uygulamalarından, en yüksek K değeri HA+P2 uygulamasından, en yüksek Ca değeri kontrol, HA+P1 ve HA+P3 uygulamalarından, en yüksek Mg değeri ise HA+P1 uygulamasında saptanmıştır. Uygulamalara göre meyvenin toplam Fe, Cu, Mn, Zn ve B içerikleri ise sırasıyla 15,73-24,93 mg/kg; 6,06-8,43 mg/kg; 3,62-4,39 mg/kg; 5,08-8,00 mg/kg ve 33,69-37,09 mg/kg arasında değişmiştir. En yüksek Fe, Mn, Zn değerleri HA+P3 uygulamasından, en yüksek Cu ve B değerleri ise HA+P2 uygulamasından alınmıştır (Çizelge 9).

1.Yıl meyve analiz sonuçlarına göre; hümik asit ve farklı dozlarda fosfor uygulamalarının meyvelerdeki makro ve mikro besin elementleri içeriklerine istatistiksel olarak önemli etkileri gözlenmemiştir. Denemenin 2. yılında ise sadece meyve Zn içerikleri, uygulamalar arasında önemli farklılık göstermiştir (Çizelge. 9.). Meyve çinko (Zn) içeriğinde gruplar arasında anlamlı bir fark gözlemlenmiş, hümik asit ve farklı dozlarda fosfor uygulamalarının meyve çinko içeriğini istatistiksel olarak etkilediği belirlenmiştir. Bu bulgu, hümik asit ve farklı dozlarda fosfor uygulamalarının meyvede özellikle mikro elementlerden çinko üzerine belirgin bir etkisinin olduğunu ortaya koymaktadır. HA+P3 uygulaması tek başına diğer uygulamalardan farklı bir grupta yer alarak meyve çinko içeriğini en çok etkileyen uygulama olmuştur.

3.4. Leonardit ve Farklı Dozlarda Fosfor Uygulamalarının Zeytin Meyvesinin Makro ve Mikro Besin Element İçeriklerine Etkisi

Leonardit ve farklı dozlarda fosfor uygulamalarının zeytin meyvesinin besin içeriği üzerindeki etkileri incelenmiş, meyve örneklerinin analizleri sonucunda belirlenen makro ve mikro besin element içerikleri Çizelge 10’da verilmiştir.

Çizelge 10. Leonardit ve Farklı Dozlarda Fosfor Uygulamalarının 1. ve 2.Yıl Meyve Örneklerinin Besin Elementleri İçerikleri.

YIL	Uygulama	Toplam (%)					Toplam (mg/kg)				
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	B
1.YIL	Kontrol	1,03	0,19	1,84	0,25	0,06	28,01	12,88	6,01	11,56	25,24
	Opt. N P K	0,82	0,17	1,65	0,05	0,05	32,27	11,10	5,16	9,80	19,63
	Leonardit	1,12	0,17	1,66	0,05	0,05	18,51	12,34	5,38	10,25	21,21
	L+P1	0,86	0,17	1,63	0,04	0,04	23,17	11,15	5,74	10,35	21,79
	L+P2	1,00	0,17	1,73	0,05	0,05	27,06	12,86	6,17	11,33	21,45
	L+P3	1,03	0,17	1,62	0,05	0,04	29,37	11,33	5,30	9,85	21,34
	L+ P4	0,95	0,17	1,71	0,06	0,05	32,58	11,20	5,69	10,07	23,48
	LSD	ns..	ns..	ns..	ns..	ns..	ns..	ns..	ns..	ns..	ns..
2.YIL	Kontrol	0,54	0,21	1,60b	0,09	0,04	26,96	7,75	4,46	6,65	36,30
	Opt. N P K	0,59	0,20	1,54c	0,11	0,05	25,70	6,77	4,72	7,35	37,43
	Leonardit	0,50	0,22	1,79a	0,11	0,06	22,57	7,39	5,15	7,24	38,82
	L+P1	0,57	0,20	1,67b	0,11	0,05	29,66	7,42	4,73	6,94	36,28
	L+P2	0,54	0,19	1,44c	0,09	0,05	23,03	6,53	3,90	5,90	32,55
	L+P3	0,50	0,20	1,53c	0,12	0,04	19,10	7,39	4,36	5,63	35,50
	L+ P4	0,53	0,20	1,62ab	0,12	0,05	17,92	6,45	4,26	5,95	37,55
	LSD	ns..	ns..	0,207*	ns..	ns.	ns..	ns..	ns..	ns..	ns..

* p<0.05. ns: Anlamlı bir fark yoktur.

1.yıl meyve örneklerine ait analiz sonuçları incelendiğinde uygulamalara göre meyvenin toplam N, P, K, Ca ve Mg içerikleri sırasıyla %0,82-1,12; %0,17-0,19; %1,62-1,84; %0,04-0,25; 0,04-0,06 arasında değişmiştir. En yüksek N değeri leonardit uygulamasında elde edilirken, en yüksek P, K Ca ve Mg değerleri kontrol uygulamasında saptanmıştır. Uygulamalara göre meyvenin toplam Fe, Cu, Mn, Zn ve B içerikleri ise sırasıyla 18,51-32,58 mg/kg; 11,10-12,88 mg/kg; 5,16-6,17 mg/kg; 9,80-11,56 mg/kg ve 19,63-25,24 mg/kg arasında değişmiştir. En yüksek Fe değeri L+P4 uygulamasında, en yüksek Cu, Zn ve B

değerleri kontrol uygulamasında, en yüksek Mn değeri ise L+P2 uygulamasında belirlenmiştir (Çizelge 10).

2.yıl meyve örneklerine ait analiz sonuçları incelendiğinde uygulamalara göre meyvenin toplam N, P, K, Ca ve Mg içerikleri sırasıyla %0,50-0,59; %0,19-0,22; %1,44-1,79; %0,09-0,12; 0,04-0,06 arasında değişmiştir (Çizelge 10). En yüksek N değeri Opt. NPK uygulamasında, en yüksek P, K, Mg değerleri leonardit uygulamasında, ve en yüksek Ca değerleri L+P3 ve L+P4 uygulamalarında belirlenmiştir. Uygulamalara göre meyvenin toplam Fe, Cu, Mn, Zn ve B içerikleri ise sırasıyla 17,92-29,66 mg/kg; 6,45-7,75 mg/kg; 3,90-5,15 mg/kg; 5,63-7,35 mg/kg ve 32,55-38,82 mg/kg arasında değişmiştir. En yüksek Fe değeri L+P1 uygulamasında, en yüksek Cu değeri kontrol uygulamasında, en yüksek Zn değeri K+NPK uygulamasında saptanmıştır. En yüksek Mn ve B değerleri ise leonardit uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 10).

Çizelge 10 incelendiğinde, 1 yıl leonardit ve farklı dozlarda fosfor uygulamalarının zeytin meyvesinin mineral madde içeriği üzerine istatistiki olarak herhangi bir etkisinin olmadığı görülmektedir. İkinci yıl uygulamalarında meyvenin potasyum içeriği üzerine uygulamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ($F(6,20) = 2,713$; $p = 0,043$). Bu durum leonardit ve farklı dozlarda fosfor uygulamalarının meyvede potasyum birikimini etkileyebileceğini göstermektedir. Leonardit uygulaması tek başına diğer uygulamalardan farklı bir grupta yer alarak meyve potasyum içeriğini en çok etkileyen uygulama olmuştur.

Zeytin meyvelerinin besin elementleri içeriğine ilişkin literatür incelemeleri hem çeşit hem de yetiştirme bölgesine bağlı olarak önemli farklılıkların varlığını ortaya koymaktadır. Azot (N) açısından yapılan araştırmalar, meyve etinde değişken değerlerin kaydedildiğini göstermektedir. Örneğin, Soyergin

(1993), Gemlik çeşidinde azot içeriğinin taze ağırlık bazında %0,190–0,409 aralığında olduğunu bildirirken, Sarıfakıoğlu (1995) yerli çeşitlerde bu değerleri %0,220–0,493 olarak tespit etmiştir. Seferoğlu (1996) ise Ayvalık çeşidi zeytinlerde kuru ağırlık bazında ölçülen N içeriğini Ayvalık yöresinde %0,375–0,746, Edremit yöresinde ise %0,418–0,702 aralığında belirlemiştir. Benzer şekilde, Eryüce ve Püskülcü (1993), Ayvalık çeşidinde %0,271 oranında azot saptamıştır. Bu bulgular, zeytin meyvelerinde azot birikiminin hem genotip hem de çevresel koşullardan etkilendiğini göstermektedir.

Meyvelerdeki fosfor (P) içeriği üzerine yapılan çalışmalar da çeşit ve bölge farklılıklarını ortaya koymaktadır. Seferoğlu (1996), Ayvalık çeşidinde P miktarını %0,053–0,144 aralığında tespit ederken, Edremit yöresi örneklerinde %0,025–0,133 aralığında değişiklik gözlemlemiştir. Gemlik zeytini için taze ağırlık üzerinden ölçülen fosfor içeriği %0,032–0,129 olarak rapor edilmiştir (Soyergin, 1993). Ayrıca, Türkiye’de yerli çeşitler (Ayvalık, Uslu, Domat, Memecik, Gemlik, Kilis Yağlık) için fosfor konsantrasyonları %0,032–0,110 aralığında kaydedilmiş, uluslararası çalışmalarda ise bu aralık %0,08–0,31 olarak raporlanmıştır (Sarıfakıoğlu, 1995).

Potasyum (K) içerikleri de çeşit ve yetiştirme koşullarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Seferoğlu (1996), Ayvalık çeşidinde potasyumun kuru ağırlık bazında %1,820–1,866 aralığında olduğunu bildirirken, Edremit yöresi örneklerinde %1,266–1,748 aralığında bulunmuştur. Gemlik çeşidinde taze ağırlık üzerinden ölçümler, K içeriğinin %0,37–0,95 arasında değiştiğini göstermiştir (Soyergin, 1993). Yerli çeşitler için yapılan çalışmalar ise taze meyvedeki K konsantrasyonunu %0,29–1,20 aralığında rapor etmiş ve Ayvalık çeşidinde Eryüce ve Püskülcü (1993) %0,773 değerini belirlemişlerdir. Bu sonuçlar, zeytinlerde potasyum birikiminin hem genetik

farklılıklar hem de çevresel koşullardan etkilendiğini göstermektedir.

Zeytin meyvelerinde kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg) içerikleri de çeşit ve bölgesel farklılıklara tabidir. Seferoğlu (1996), Ayvalık çeşidinde Ca içeriğini %0,048–0,090, Edremit yöresinde ise %0,042–0,068 aralığında bulurken, Gemlik çeşidinde taze ağırlık bazında %0,024–0,038 olarak saptamıştır (Soyergin, 1993). Eryüce ve Püskülcü (1993), yerli çeşitlerde Ca değerini %0,042–0,084 aralığında ölçmüş ve 1995'te Ayvalık çeşidinde %0,063 olarak tespit etmiştir. Magnezyum içerikleri açısından da benzer farklılıklar gözlenmiş, Seferoğlu (1996) Ayvalık ve Edremit yöresi örneklerinde %0,057–0,100 ve %0,042–0,068 aralığında Mg düzeyleri bildirmiştir. Sarıfakıoğlu (1995) altı yerli çeşitte %0,017–0,035, Soyergin (1993) Gemlik çeşidinde %0,013–0,022, Eryüce ve Püskülcü (1993) ise %0,017–0,251 aralığını rapor etmişlerdir.

Çinko (Zn) ve bakır (Cu) içerikleri de literatürde önemli varyasyonlar göstermektedir. Ayvalık ve Edremit yörelerinde Zn, sırasıyla 5,97–15,69 mg kg⁻¹ ve 5,15–15,93 mg kg⁻¹ aralığında bulunmuş, Eryüce ve Püskülcü (1993) yerli çeşitlerde 4,65–7,39 mg kg⁻¹ Zn rapor etmişlerdir. Aynı araştırmacılar Ayvalık çeşidinde 6,13 mg kg⁻¹ değerini ölçmüşlerdir. Cu açısından, Seferoğlu (1996) Ayvalık ve Edremit yörelerinde 3,43–15,92 mg kg⁻¹ ve 3,95–10,53 mg kg⁻¹ değerlerini, Eryüce ve Püskülcü (1993) ise 5,50–6,98 mg kg⁻¹ aralığını rapor etmiş, Ayvalık çeşidinde ise 5,91 mg kg⁻¹ olarak belirlemişlerdir.

Mangan (Mn) içeriği, generatif gelişim ve çiçeklenmenin düzenlenmesi açısından kritik olup, meyve oluşumunun optimal zamanlamasına katkı sağlar (Hänsch & Mendel, 2009). Seferoğlu (1996) Ayvalık ve Edremit yöresi örneklerinde sırasıyla 2,00–14,35 mg kg⁻¹ ve 1,72–11,63 mg kg⁻¹ aralığını bildirirken, Eryüce

ve Püskülcü (1993) yerli çeşitlerde 1,48–2,54 mg kg⁻¹, Ayvalık çeşidinde ise 2,54 mg kg⁻¹ olarak ölçmüşlerdir.

Bor (B) içeriği de coğrafi köken ve çeşide göre değişkenlik göstermektedir. Seferoğlu (1996), Ayvalık yöresi zeytinlerinde kuru maddede 12,50–46,00 mg kg⁻¹, Edremit yöresinde ise 11,50–48,00 mg kg⁻¹ aralığında B saptamıştır. Eryüce ve Püskülcü (1993) beş yerli çeşitte 18–21 mg kg⁻¹, Ayvalık çeşidinde ise 18 mg kg⁻¹ B belirlemiştir.

Bu bulgular, zeytin meyvelerinde besin elementlerinin birikiminin, hem genotipik özellikler hem de çevresel ve coğrafi faktörler tarafından belirgin şekilde etkilendiğini göstermektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırmada, zeytin yetiştiriciliğinde geleneksel kimyasal gübre kullanımını minimize etmek, toprak kalitesini artırmak ve sürdürülebilir tarım ilkelerini desteklemek amacıyla azaltılmış fosfor dozları ile birlikte uygulanan hümik asit ve leonardit bileşenlerinin verim ile meyve mineral kompozisyonu üzerindeki etkileri iki yıl boyunca incelenmiştir.

Hümik asit ve farklı dozlarda fosfor uygulamalarının yapıldığı denemede, birinci yıl en yüksek verim HA+P1 (39 kg/ağaç), ikinci yıl ise HA+P2 (88 kg/ağaç) uygulamasından elde edilmiştir. Leonardit denemelerinde ise birinci yıl en yüksek verim tek başına leonardit (25 kg/ağaç), ikinci yıl ise L+P1 (91 kg/ağaç) uygulamasında kaydedilmiştir. Ancak her iki organik kaynak için de yapılan tek yönlü varyans analizleri (ANOVA), uygulamaların gerek birinci gerekse ikinci yıl meyve verimi üzerindeki etkilerinin istatistiksel olarak önemsiz (p>0.05) olduğunu ortaya koymuştur. Bu durum, organik toprak düzenleyicilerin ve azaltılmış gübre kombinasyonlarının ürün

verimi üzerindeki olumlu yansımalarının kısa vadede (ilk iki yıl) radikal bir artış şeklinde somutlaşmadığını göstermektedir.

Hümik asit ve farklı dozlarda fosfor uygulamalarının yer aldığı araştırmanın birinci deneme yılında hümik asit ve fosfor kombinasyonlarının zeytin meyvesinin makro ve mikro besin element içerikleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi saptanmamıştır. Ancak 2.yıl meyve örneklerinin çinko (Zn) içeriği üzerinde uygulamalar arası fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Yapılan LSD testi sonuçlarına göre, HA+P3 uygulaması hem kontrol grubuna hem de Optimum NPK uygulamasına kıyasla zeytin meyvesinde belirgin düzeyde daha yüksek çinko birikimi sağlamıştır. Bu bulgu, hümik asidin bitki hücre zarı geçirgenliğini artırarak ve şelat oluşturarak özellikle mikro elementlerin (Zn) alım etkinliğini doğrudan desteklediğini kanıtlamaktadır.

Leonardit ve farklı dozlarda fosfor uygulamalarının yer aldığı araştırmanın birinci yılında leonardit ve farklı dozlarda fosfor uygulamalarının zeytin meyvesinin mineral madde içerikleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir değişim yaratmadığı belirlenmiştir. Buna karşın, araştırmanın ikinci yılında meyvenin uygulamaların meyvenin potasyum (K) içeriği üzerine etkisi istatitiki olarak önemli bulunmuş, gruplar arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılık tespit edilmiştir. Yapılan istatistiki değerlendirmede, tek başına leonardit uygulamasının Optimum NPK, L+P2 ve L+P3 kombinasyonlarına kıyasla meyvede daha yüksek potasyum birikimi sağladığını göstermiştir. Bu durum, leonarditin toprağın fizikokimyasal yapısını iyileştirerek potasyumun yıkanmasını önlediği ve bitki tarafından alınabilirliğini optimize ettiği yönündeki literatür verileriyle tam bir uyum sergilemektedir.

Leonardit ve hümik asit gibi organik materyaller, hayvan gübreleri gibi hızlı parçalanmayıp toprakta uzun süre (3-5 yıldan

fazla) kalıcı etki gösteren kararlı bileşiklerdir. Bu çalışmada verim parametrelerinde ilk iki yılda istatistiksel bir farkın çıkmaması bu materyallerin yavaş salınımlı yapısından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, bu ve benzeri akademik çalışmaların net ve kalıcı etkilerini görebilmek adına denemelerin en az 4-5 yıllık uzun vadeli projeler şeklinde sürdürülmesi ve izlenmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Adani, F., Genevini, P., Zaccheo, P., & Zocchi, G. (1998). The effect of humic acid on tomato plant growth and mineral nutrition. *Journal of Plant Nutrition*, 21(3), 561–570.
- Adiloğlu, A., & Adiloğlu, S. (2017). Artan miktarlarda leonardit ve çiftlik gübresi uygulamalarının çavdar (*Secale cereale* L.) bitkisinin gelişimi ve bazı bitki besin elementi içerikleri üzerine etkisi.
- Akıncı, Ş. (2011). Hümik asitler, bitki büyümesi ve besleyici alımı. *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 23(1), 46–56.
- Andriessse, J. P. (1988). *Nature and management of tropical peat soils* (Vol. 59). Food and Agriculture Organization.
- Anonim. (2026). Türkiye İstatik Kurumu (TUIK) İstatistik veri portalı. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111> Erişim Tarihi 15 Haziran 2026
- Bates, R. L., & Jackson, J. A. (Eds.). (1980). *Glossary of geology* (2nd ed.). American Geological Institute.
- Berlyn, G. P., & Russo, R. O. (1990). The use of organic biostimulants in nitrogen fixing trees.
- Cacco, G., & Dell'Agnola, G. (1984). Plant growth regulator activity of soluble humic complexes. *Canadian Journal of Soil Science*, 64(2), 225–228.
- Chen, Y., & Aviad, T. (1990). Effects of humic substances on plant growth. In *Humic substances in soil and crop sciences: Selected readings* (pp. 161–186).
- Çakmakçı, R. (2005). Bitki gelişimini teşvik eden rizobakterilerin tarımda kullanımı. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 36(1), 97–107.

- Düzgüneş, O., Kesici, T., Kavuncu, O., Gürbüz, F. (1987). Araştırma ve Deneme Metotları (İstatistik Metotları II). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 1021, Ankara
- Eryüce, N. & Püskülcü, G. (1993). Mineral nutrition and some quality characteristics of the main olive cultivars of western Turkey. In International Symposium on Quality of Fruit and Vegetables: Influence of Pre-and Post-Harvest Factors and Technology 379 (p. 193-198).
- Eyüpoğlu, F., Kurucu, N., & Talaz, S. (1995). Türkiye topraklarının bitkiye yararlı mikro elementler bakımından genel durumu. *Toprak Gübre Araştırma Enstitüsü* [Proje 620/A-002 toplu sonuç raporu].
- Fayed, T. A. (2010). Optimizing yield, fruit quality and nutrition status of Roghiani olives grown in Libya using some organic extracts. *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants*, 2(2), 63–78.
- Flahault, R., 1886, “L’Olivier”, Ann. Ecole Nat. Agric. T. II. Montpellier.
- Gezgin, S., Dursun, N. (2009). Artan dozlarda uygulanan Tki-Hümas’ın cevizin sürgün uzunluğu ve besin elementleri içeriğine etkisi. Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürlüğü ve Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarımsal Araştırmalar No;4.
- Gezgin, S., Dursun, N., & Gökmen, F. (2010). Farklı lokasyonlarda artan dozlarda uygulanan Tki-Hümas’ın zeytinin sürgün uzunluğu ve besin elementleri içeriğine etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 5. Ulusal Bitki Besleme ve Gübre Kongresi Bildiriler Kitabı, 232–240.

- Gomez, K. A., & Gomez, A. A. (1984). *Statistical Procedures for Agricultural Research* (2nd ed.). John Wiley & Sons, New York
- Güneş, A., & Turan, M. (2007). Allüviyal materyaller üzerinde oluşan topraklarda yetiştirilen mısır bitkisinin (*Zea mays* L.) verim ve besin içeriği üzerine organik ve mineral gübre uygulamalarının etkisi. *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.
- Hänsch, R., & Mendel, R. R. (2009). Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current opinion in plant biology*, 12(3), 259-266. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111>
- İstanbuluoğlu, S. (2012). Leonardit nedir? <http://www.siamad.com.tr/leonard304t-ned304r.html>
- Laila, H., Shahin, M. F. M., Mustafa, N. S., Mahdy, H. A., & Hassan, H. S. A. (2015). Studies on the effect of vinasse, amino acids and humic acid substances as soil applications on fruit quality and quantity of Manzanillo olive trees. *Middle East Journal of Applied Sciences*, 5, 984-991.
- Lobartini, J. C., Orioli, G. A., & Tan, K. H. (1997). Characteristics of soil humic acid fractions separated by ultrafiltration. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 28(9-10), 787-796.
- Morettini, A. 1972, *Olivicoltura*. Ramo Editoriale Degli Agricoltori, Roma.
- Özyazıcı, G., Ozdemir, O., Ozyazıcı, M. A., & Ustun, G. Y. (2011). Bazı organik materyallerin ve toprak düzenleyicilerin organik fındık yetiştiriciliğinde verim ve toprak özellikleri üzerine etkileri.

- Phanuphong, R., & Partida, G. J. (2003). The effect of humic acid and phosphoric acid on grafted Hass avocado on Mexican seedlings rootstocks. *Proceedings V World Avocado Congress*, 395–400.
- Saber, M. S. M. (2001). Clean biotechnology for sustainable farming. *Engineering in Life Sciences*, 1(6), 217–223.
- Sağlam, M., Özel, E. Z., & Bellitürk, K. (2012). İki farklı tekstüre sahip toprakta leonardit organik materyalinin mısır bitkisinin azot alımına etkisi. *Saü Fen Edebiyat Dergisi*, 14(1), 383–391.
- Sarıfakıoğlu, C. (1995). Bazı zeytin çeşitlerinde yaprak ve meyvede mineral besin maddelerinin mevsimsel değişimi ve ürün ile kaldırılan besin maddelerinin belirlenmesi, *Ege Üniv. Fen Bilimleri Enst. Toprak Anabilim Dalı, Bornova, İzmir (Doktora Tezi)*.
- Schnitzer, M. (1982). Organic matter characterization. In H. L. Bohn (Ed.), *Agronomy Monographs* (2nd ed., Vol. 9, pp. 1–30). American Society of Agronomy. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c30>
- Seferoğlu, S. 1996. Ayvalık ve Edremit yöresinde yetiştirilen ayvalık zeytin çeşidinin beslenme statüsü ile kimi öğeleri arasındaki ilişkiler. E.Ü.Z.F. Doktora Tezi, Bornova-İzmir. s:80-88.
- Sinha, R. K., & Herat, S. (2009). The concept of sustainable agriculture: An issue of food safety and security for people, economic prosperity for the farmers, and ecological security for the nations. *American-Eurasian Journal of Agriculture & Environmental Sciences*, 5(S), 1–55.

- Soyergin, S. (1993). Bursa Yöresi Gemlik çeşidi zeytinlerinin bazı besin elementleri içeriği ve bu elementlerin mevsimsel değişimleri.
- Tattini, M., Chiarini, A., Tafani, R., & Castagneto, M. (1990). Effect of humic acids on growth and nitrogen uptake of container-grown olive. *Acta Horticulturae*, 286, 125–128.
- Therios, I. N., 2009, *Olives* (No. 18). CABI. p. 409
- Topçuoğlu, B., & Önal, M. K. (2006). Sera toprağına uygulanan leonarditin domates bitkisinde ürün, kalite ve mineral içerikleri üzerine etkisi. *Türkiye III. Organik Tarım Sempozyumu*, Yalova.
- TÜİK. (2025). İstatistik veri portalı.
- Vural, H., Eşiyok, D., & Duman, İ. (2000). *Kültür Sebzeleri; Sebze Yetiştirme*. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Bornova-İzmir, 440 s.
- Zohary, D. and Hopf, M., 2000. *Domestication of Plants in The Old World*. 3 rd Ed., Oxford University Pres, Oxford, 316p.

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ALANINDA
AKADEMİK TARTIŞMALAR

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com