

Mevcut sayıya ait içindekiler listesine [DergiPark](#) üzerinden ulaşılabilir

Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi

Dergi web sayfası: dergipark.org.tr/tr/pub/sufefd

Derleme Makale

Nanopartiküllerin tarımsal bilimlerdeki önemi ve kullanım alanları

F. Şeyma Gökdemir^{a,b,1*}, Merve Gündoğdu^{b,2}, Sümeyye Muftareviç^{b,3}, Ayşenur Sunar^{b,4}, Füsün Eyidoğan^{b,c,5}^a Michigan State Üniversitesi, Plant, Soil and Microbial Science, East Lansing, MI, USA, ror.org/05hs6h993^b Başkent Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Bağlıca, Ankara, Türkiye, ror.org/02v9bqx10^c Başkent Üniversitesi, Gıda, Tarım ve Hayvancılığı Koruma Enstitüsü, Bağlıca, Ankara, Türkiye, ror.org/02v9bqx10

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi

Geliş 3 Ocak 2023
Revizyon 4 Mart 2023
Kabul 31 Mart 2023

Anahtar Kelimeler

Nanopartiküller
Yeşil Nanobiyoteknoloji
Agronomik Bilimler

ÖZ

Nanoteknoloji, kullanım alanı her geçen gün artan bir fenomen haline gelmiştir. Nanopartiküllerin kullanımı gittikçe yaygınlaşmakta ve önem kazanmaktadır. Nanopartiküller, özellikle tarımsal bilimlerde, yüksek kullanım potansiyeline sahiptir. Bitkilerin böcek ilaçlarına, herbisitlere ve patojenlerine karşı korunmasında önemli rol oynarlar. Ayrıca, bitki sinyalizasyonunda önemli görevler üstlenebilir veya nanosensör olarak kullanılabilirler. geleceğin teknolojisi olarak değerlendirilen, yeşil nanobiyoteknoloji çevre dostu ve sürdürülebilir olması açısından çok sık tercih edilmektedir. Biz bu çalışmada nanopartiküllerin tarımsal bilimlerdeki kullanım alanlarına odaklanıyor ve nanopartiküllerin önemini vurgulamayı amaçlıyoruz.

Review Article

Importance of nanoparticles in agricultural science and their use areas

ARTICLE INFO

Article History

Received 3 January 2023
Revised 4 March 2023
Accepted 31 March 2023

Keywords

Nanoparticles
Green Nanobiotechnology
Agronomic Sciences

ABSTRACT

Nanotechnology has become a phenomenon that is increasing every day. The use of nanoparticles is becoming more and more important. Nanoparticles, especially in agricultural sciences, have high potential for use. They play an important role in protecting plants against pesticides, herbicides and pathogens. They can also perform important tasks in plant signalling or be used as nanosensors. Moreover, green nanobiotechnology, which is considered the technology of the future, is often preferred in terms of being environmentally friendly and sustainable. In this study, the importance and the use of nanoparticles in agricultural sciences are explained.

* Sorumlu Yazar

E-posta adresleri: fsgokdemir@baskent.edu.tr (F. Ş. Gökdemir), merve.nur.98@hotmail.com (M. Gündoğdu), smuftarevic@gmail.com (S. Muftareviç), aysenur.9819@gmail.com (A. Sunar), fusunie@baskent.edu.tr (F. Eyidoğan)¹ ORCID: 0000-0003-2951-848X² ORCID: 0000-0002-6617-8843³ ORCID: 0000-0002-7392-9860⁴ ORCID: 0000-0002-5282-885X⁵ ORCID: 0000-0001-9595-1789Doi: [10.35238/sufefd.1218183](https://doi.org/10.35238/sufefd.1218183)

E-ISSN: 2458-9411

Atıf / Cite as

Gökdemir, F. Şeyma; Gündoğdu, Merve; Muftareviç, Sümeyye; Sunar, Ayşenur; Eyidoğan, Füsün. "Nanopartiküllerin tarımsal bilimlerdeki önemi ve kullanım alanları". *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi* 49 (1) 2023, 11-17. 10.35238/sufefd.1218183

Makale Bilgisi Article Information

Makale Türü Article Type

Derleme Review

Geliş Tarihi Date Received

3 Ocak 2023 3 January 2023

Revizyon Tarihi Date Revised

4 Mart 2023 4 March 2023

Kabul Tarihi Date Accepted

31 Mart 2023 31 March 2023

Yayın Tarihi Date Published

10 Nisan 2023 10 April 2023

Değerlendirme Review Process

İki Dış Hakem, Çift Taraflı Körleme Two External Reviewers, Double-Blind Peer Review

Etik Beyan Ethical Statement

Bu çalışmanın hazırlanma sürecinde bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan olunur (F. Şeyma Gökdemir). It is declared that scientific and ethical principles have been followed while carrying out and writing this study and that all the sources used have been properly cited (F. Şeyma Gökdemir).

İntihal Kontrolü Plagiarism Check

Bu makale, iTenticate yazılımı ile taranmış ve intihal tespit edilmemiştir. This article has been scanned with iTenticate Software and no plagiarism detected.

Çıkar Çatışması Conflict of Interest

Yazarlar, bu makalede bildirilen çalışmayı etkiliyor gibi görünebilecek bilinen hiçbir rakip mali çıkarları veya kişisel ilişkileri olmadığını beyan ederler. The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Finansman Funding

Bu araştırmayı desteklemek için dış fon kullanılmamıştır. No external funding has been used to support this research.

Telif Hakkı & Lisans Copyright and License

Yazarlar dergide yayınlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmaları CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır. Authors own the copyright of their work published in the journal and their work is published under the CC BY-NC 4.0 license.

1. Giriş

1.1. Nanoteknolojinin tarihçesi

Nanoteknoloji, nanoboyuttaki parçacıkların tıp, sağlık, biyomedikal, biyoteknoloji ve mühendislik gibi birçok alandan kullanılmasıyla geniş bir yelpazeye ulaşan inter disiplinler bir çalışma alanıdır. Nano boyutlu parçacıkların tarihi Mezopotamya zamanındaki çömleklerin üzerindeki altın ve gümüş kaplamalara kadar dayanmaktadır. Ancak nanopartiküllerin bilimsel açıklaması ilk defa Michael Faraday tarafından "The Bakerian Lecture. Experimental relations of gold (and other metals) to light." isimli ünlü makalede gerçekleştirilmiştir (Faraday, 1857; Singh ve ark., 2011). Günümüzdeki Nanoteknoloji kavramı ile ilgili ilk fikirler, Fizikçi Richard Feynman tarafından Amerikan Fizik Derneği'nin yıllık toplantısında ortaya atılmıştır. Feynman; "Hücrelerin çoğu küçüktür, ancak çok aktiftir, maddeler üretirler, hareket ederler, bükülürler ve hepsi küçük ölçekli harika şeyler yapabilirler. Ayrıca bilgi depolarlar. Bizimde o kadar küçük bir nesneyi üretebileceğimizi düşünelim ki, ne istersek yapabiliriz, o seviyede manevra yapan bir nesneyi üretebiliriz." (Feynman, 1960; Asiyambola ve Soboyejo, 2008) şeklinde bir açıklama yaparak nanopartiküller hakkında önemli kanıtlar sunmuştur ve 1965 yılında Nobel Fizik Ödülü'nü kazanmıştır. Nanoteknoloji kelimesinin ilk defa 1974'te Norio Taniguchi tarafından kullanılmıştır. Ancak ilk defa 1986 yılında Eric Drexler tarafından yazılan "Yaratılış Makineleri" adlı kitapta insanlık tarihinde benzeri görülmemiş bir teknoloji gelişimi olarak açıklanmıştır. 1993'te Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde, yarı iletken koloidal kuantum noktaları elde eden nanokristallerin bir sentezini geliştirilmiştir; bu nanoteknolojiyi, biyolojik bilimlerle bütünleştirilen ilk nanoteknolojilerden biridir (Harris ve Bawendi, 2012; Valizadeh ve ark., 2012). 1998'den beri kimya mühendisi Thomas Webster çeşitli tıbbi uygulamalar için nanomalzemelerin tasarımı, sentezi ve değerlendirilmesi üzerinde çalışmaktadır. Tıbbi uygulamalar arasında bakteri büyümesinin inhibisyonu, iltihaplanmanın kontrol edilmesi ve doku büyümesinin teşvik edilmesi gibi çalışmalar bulunmaktadır (Taylor ve Webster, 2011; Seil ve Webster, 2012) Yeni yüzyılda, aralarında kanser tedavisi için kullanılan altın nanokapsüller de dâhil olmak üzere çok sayıda katkı üretilmiştir. 2009 yılında DNA'ya benzer nano ölçekli cihazlar oluşturulmuştur (Heiligtag ve Niederberger, 2013).

1.2. Agronanoteknoloji

Nano boyuttaki parçacıkların yaşam bilimleri veya teknoloji gibi farklı alanlarda kullanılmalarının sebebi çok yönlü fiziko kimyasal özelliklere sahip olmasından kaynaklanmaktadır (Jeevanandam ve ark., 2018). Nanoparçacıkların küçük boyutlarına rağmen yüksek bir yüzey hacim oranına sahip olması nedeniyle farklı birçok alanda da kullanılmaktadır (Roduner, 2006).

Son zamanlarda bitki bilimleri ile nanoteknoloji üzerine çok çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Tohum çimlenmesi, büyümesi, bitkilerin biyotik ve abiyotik streslere karşı korunması ve onların bu streslerle mücadele edebilmesi için verimli alternatif çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Wang ve ark., 2016).

Bitki bilimi ile nanoteknolojinin ortak çalışma alanı fitonanoteknoloji ve tarımsal bilimler ile çalışma alanı da agronanoteknoloji olarak isimlendirilmektedir. Son

zamanlardaki agronanoteknoloji uygulamaları tarımın sürdürülebilirliği için akıllı uygulama sistemlerinin başarılı şekilde kullanımına yardımcı olmaktadır. Nano boyutlu parçacıklar, bitkiler üzerinde; hedefe özgü programlama ve çok fonksiyonlu işlemlere neden olabilir (Nair ve ark., 2010). Bu sayede; bitkiler; gübre, böcek ilaçları ve herbisitler gibi zararlı tarım ilaçlarının etkilerini en aza indirebilir. Bakteriyel, fungal ve viral patojenlere karşı da koruma sağlayabilir. Örneğin gümüş nanopartiküller (AgNP'ler), antimikrobiyal özelliklerinden dolayı çok sayıda tıbbi ve endüstriyel uygulamada tercih edilmektedir. (Mahna ve ark., 2013; Mishra ve Singh, 2015). Bu durum çevresel koşulların bitkiler üzerindeki olumsuz etkilerini azaltabilir.

1.3. Nanopartiküllerin taşınması

Nanopartiküller bitkiye girdikten sonra iki farklı şekilde taşınabilirler. Bunlar apoplastik ve simplastik yollardır. Apoplastik taşıma; plazma zarının dışında hücre duvarı ve hücre dışındaki boşluklarda meydana gelir. Simplastik taşıma ise plasmodesmata ve floem parankimasının porları arasında; hücre sitoplazmasındaki su ve çözünen maddelerle beraber gerçekleşir (Etcheberria ve ark., 2016; Lv ve ark., 2019). Bitki hücre duvarı, nanopartiküllere maruz kalan ilk bölgedir. Nanopartiküller veya nanopartiküllerden çözülmüş metal iyonları, pektinin -COOH gruplarıyla bir kompleks oluşturan kök dokularının hücre duvarına girerler (Yang ve ark., 2008). Bu bağlanma, hücre duvarı ve zarı boyunca simplastik veya apoplastik çözünen taşınım modunu değiştirebilir ve bu da kök uzamasının inhibisyonuna yol açar (Horst ve ark., 2010).

Bitkilerin dışarıdan uygulanan nanopartikülleri alabilmesi için, hem kökte hem de yaprakta farklı ve karmaşık süreçler meydana gelmektedir. Bu süreçler bitkinin anatomik ve fizyolojik farklılıklarına göre değişiklik gösterebilir. Yaprak yüzeyine uygulanan nanopartiküller; stoma, hidatod, stigma, kabuk gibi mikro ölçekli dış yüzeylerden doğrudan alınabilirler. Ancak sürgün yüzeyleri, biyopolimerlerden oluşan bir kütikül tabakası ile kaplanır. Bu tabaka bitki için lipofilik bir bariyer görevi görür ve nanopartikül geçişini engeller. Ancak, nano-TiO₂'nin kütikülde delikler oluşturabildiği gösterilmiştir (Larue ve ark., 2014; Schwab ve ark., 2016). Kök seviyesinde, rhizodermis tabakasının lateral kök birleşme yerleri ve özellikle kök ucunun yakınından nanopartiküllerin emilimi gerçekleşirken kökün üst kısımları suberin varlığından dolayı nanopartiküllerin geçişini engeller (Chichiricò ve Poma, 2015). Topraktaki simbiyotik bakterilerin ve mantarların varlığının da nanopartikül emilimi üzerine tartışmalı roller oynadığı kanıtlanmıştır. Örneğin topraktaki bakteri ve mantarların varlığı, gerçek otlarda farklı tipte ağır metal nanopartiküllerinin birikimini arttırırlar, ancak baklagillerde nano-Ag ve nano-FeO emilimini azaltırlar (Whiteside ve ark., 2009; Feng ve ark., 2013; Guo ve Chi, 2014).

1.4. Nanopartiküllerin bitkiler üzerindeki etkileri

Bazı çalışmalar bitkiler üzerine uygulanan nanopartiküllerin bitki büyüme ve gelişmesini teşvik ettiğini göstermiştir. Örneğin, bir çalışmada; Cu₂O (0-160 ppm) ve TiO₂ (0.05-0.2 g L⁻¹) gibi nanopartiküllerin çimlenmeyi, kök / sürgün uzamasını ve transpirasyonu artırarak domatesin büyümesini teşvik ettiği gösterilmiştir (Ananda ve ark., 2019). Nanopartiküllerin bitkilerin fotosentezi de dahil

olmak üzere birçok fizyolojik aktivite üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu kategoride TiO_2 , CeO_2 ve ZnO 'nun nanopartikülleri önemlidir. Örnek olarak, TiO_2 nanopartikülleri ıspanak büyümesini; (i) ışık emilimini iyileştirerek, (ii) RUBISCO enziminin üretimini artırarak ve (iii) kloroplastta UV radyasyonunun aracılık ettiği oksidatif stresi azaltarak önemli ölçüde iyileştirmiştir (Yang ve ark., 2007; Umeyama ve ark., 2015).

Ayrıca, nükleotidlerin, proteinlerin ve diğer fitoaktif moleküllerin nanopartikül aracı hedeflenmiş dağılımı, bitki metabolizmasının genetik modifikasyonu ve düzenlenmesi için potansiyele sahiptir (Scheringer, 2008). Tarım kimyasallarının kontrolü ve salınımı için, nanoteknolojinin kullanımı; bitki koruma ürünlerinin zararlarını azaltabilir, gübrelerdeki besin kayıplarını azaltabilir ve optimize edilmiş besin yönetimi yoluyla ürün verimini arttırabilir.

Tarımsal kimyasalları kontrollü bir şekilde serbest bırakmak için, çeşitli nanomateryaller tasarlanmaktadır. Örneğin zirai kimyasalların neden olduğu hasardan bitkiyi korumak için meso-gözenekli silika nanopartiküller kullanılmaktadır. Bunlar çekirdeğe avermektin gibi pestisitleri yüklemektedir. Bu işlem pestisiti fotodegradasyondan korurken, aynı zamanda salınımına izin verir. Benzer şekilde, bitkileri böceklerle karşı korumak amacıyla, böceklerin kütiküler lipitlerine fitoabsorbsiyon yoluyla girerek ölümlere neden olabilir (Li ve ark., 2007; Barik ve ark., 2008). Nanopartikül bazlı herbisitler, düşük dozlarda parazitik yabancı otları kontrol etmek için de kullanılmaktadır (Goldwasser ve ark., 2003). Ayrıca nanopartikül içerikli gübrelerin kullanılması, bitkilerin besin kullanım verimliliğini de arttırmaktadır. Örneğin bitkide düşük fosfat (PO_4^{3-}) salınımını sağlayan gübrelerin kullanımı, sulardaki ötrofikasyon riskini azaltarak çevrenin korunmasına ve tarım alanlarının verimliliğine katkı sağlar (Liu ve Lal, 2014).

1.5. Nanopartiküllerin fitotoksitesisi

Nanopartiküllerin, bitkiler üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi için çok çeşitli çalışmalar mevcuttur. Tüm bu çalışmalar doğrultusunda, nanopartiküllerin yüksek konsantrasyondaki birikimlerinin bitki üzerinde toksik etkiye sebep olduğu bilinmektedir. Nanopartiküllerin toksik etkileri, bitkinin fizyolojik parametrelerini, çimlenme yüzdesini ve verimini, kök ve gövde uzamasını, biyo kütleli ve yaprak sayısını etkileyebilir hatta bitki ölümüne bile neden olabilir.

Çok çeşitli bitkilerde, nanopartiküllerin etkileri ile ilgili çalışmalar mevcut olsa da, konu hala güncelliğini korumaktadır. Ancak yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğu; domates, buğday, soğan ve kabak gibi bitkilerde metal bazlı nanopartiküllerin fazlalığının elektron taşıma zincirine müdahale ettiğini ve reaktif oksijen türlerini (ROS) bozarak oksidatif strese neden olduğunu göstermiştir (Dimkpa ve ark., 2013; Pagano ve ark., 2016). Bitkilerde nanopartikül kaynaklı hücre içi oksidatif stres, antioksidan aktivitenin artmasına neden olur ve bunların ölçümü, toksisitenin biyo-göstergesi olarak işlev görür (Sardoiwala ve ark., 2018). Bu sistem, peroksidazlar (glutasyon peroksidaz, askorbat peroksidaz ve guaiacol peroksidaz), süperoksit dismutaz ve katalaz gibi antioksidan enzimleri içermektedir. Ayrıca fenolik bileşikler, çeşitli karotenoidler, askorbat, glutasyon, α -tokoferoller ve prolin gibi düşük moleküler ağırlıklı bileşikler de nanopartikül stresi altında reaktif oksijen türlerinin zararlı etkisine yanıt olarak bitki sistemi tarafından daha yüksek miktarlarda üretilir (Das ve

Roychoudhury, 2014; Zelalem ve ark., 2015; Ozyigit ve ark., 2016).

Nanopartiküller, bitkilerde doğrudan veya dolaylı olarak genotoksik etkilere neden olabilir DNA ve nanopartiküller arasındaki fiziksel etkileşimler, (i) fosforilasyon, (ii) DNA bazları arasında DNA yığınları, (iii) gen regülasyonu / ekspresyonu ve (iv) eklenti oluşumunu değiştiren veya modifiye eden genotoksik etkiye neden olur. Sonuncusu, DNA onarım mekanizmalarının inhibisyonu nedeniyle değişen gen ekspresyonundan kaynaklanabilir (Mehrian ve De Lima, 2016; Ghosh ve ark., 2019). Nanopartiküllerin genotoksik etkisini değerlendirirken; mitoz veya mayoz sırasında anormal kromozomların ortaya çıkması, ploidi seviyelerinde değişiklik, kardeş kromatidler arasındaki değişim, DNA lezyonları ve genetik mutasyonlar göz önünde bulundurulmaktadır (Pakrashi ve ark., 2014; Ghosh ve ark., 2019).

Bitki hücrelerindeki nanopartikül birikimi bitki sekonder metabolizmasını ve hormonal dengeyi de etkilemektedir. Bu nedenle bitki büyümesi de olumsuz yönde etkilenmektedir (Faisal ve ark., 2013; Pakrashi ve ark., 2014). Nanopartikülün bitki hücreleriyle etkileşiminin başka bir sitotoksik sonucuda apoptoz yani programlanmış hücre ölümüdür. Bununla birlikte, nanopartiküllerin apoptozu indüklediğine dair çok az çalışma vardır. Bir çalışmada, domates köklerinde apoptoz analizinde, kökler 2 mg NiO nanopartikülüne maruz bırakıldığında apoptotik (%21,8) ve nekrotik (% 24) hücre popülasyonunda negatif kontrole kıyasla önemli bir artış gözlemlenmiştir (Faisal ve ark., 2013).

Transkriptom analizleri ve omik tabanlı farklı çalışmalar nanopartikül (NP) türlerine (örneğin, çinko oksit, fullerenler veya titanyum dioksit) maruz kalmanın bitki de fosfat yoksunluğuna sebep olduğunu, patojenlere ve çeşitli streslere yanıt oluşturabilecek yollardaki önemli sayıda geni baskıladığını ortaya çıkarmıştır (Ruotolo ve ark., 2018; Sanzari ve ark., 2019). Nanopartiküllerin çeşitli mahsullerin gen ekspresyonunu, proteomunu, miRNA ekspresyonunu ve metabolomunu değiştirdiği bildirilmiştir (Ahmed ve ark., 2021).

1.6. Nanobiyosensörler

Nanopartiküllerin en dikkat çekici kullanımlarından birisi de gıda biyoteknolojisi, tarım ve gıda endüstrisi alanlarında biyosensörler yani "algılama malzemeleri" olarak kullanılmasıdır (Duhan ve ark., 2017; Chaudhry ve ark., 2018). Plazmonik nanosensörler, floresan rezonans enerji transferi (FRET) tabanlı nanosensörler, karbon bazlı elektrokimyasal nanosensörler, nanotel nano sensörleri ve antikor nanosensörler dahil olmak üzere bitkilerde farklı nano sensör türleri kategorileri test edilmiştir. Bitkilerde nanosensörlerin kullanımı ilk aşamada olmasına rağmen varolan çalışmalar; bitki metabolik akışının, gıda ürünlerindeki ve bakterilerdeki pestisit kalıntılarının, bitkilerdeki viral ve fungal patojenlerin nanomateryaller sayesinde algılandığını göstermiştir (Rai ve ark., 2012; Duhan ve ark., 2017; Sanzari ve ark., 2019).

Nanobiyosensörlerin tarımsal alanlardaki kullanım alanları gün geçtikçe genişlemektedir. Özellikle, algılama ve izleme açısından oldukça etkilidir. Moleküler düzeyde, strese maruz kalan bitkilerin biyokimyasal ve morfolojik olarak tepkilerinin belirlenebilmektedir. Hem kuraklık ve kirlenmeye maruz kalma gibi abiyotik etmenler hem de, böcek istilası, fungal hastalık tespiti gibi biyotik etmenlerin belirlenebilmesi için nanobiyosensörlerin kullanımı artmaktadır (Afsharnejad ve ark., 2015). Ayrıca, bitki büyüme dönemleri boyunca nanosensörlere GPS

teknolojileri eklenerek, bitki yaşamı boyunca iklimsel değişiklikler, sulama sistemlerinin kontrolü, toprak ve su gerilimi ile ilgili bilgilere erişilebilir. Böylelikle, kontrollü tarım sistemleri kullanılarak ürün veriminin ve kalitesinin artırılması amaçlanmaktadır (Humbal ve Pathak, 2023).

1.7. Yeşil nanoteknoloji

Nanopartiküller, fiziksel, kimyasal, biyolojik ve hibrit teknikleri içeren çeşitli yöntemler kullanılarak sentezlenebilir (Mohanpuria ve ark., 2008; Tiwari ve ark., 2008; Luechinger ve ark., 2010). Nanopartiküllerin geleneksel fiziksel ve kimyasal yöntemlerle üretilmesi, çevresel tehlikeler olan toksik yan ürünlerle sonuçlanır. Ek olarak, bu partiküller sağlıkla ilgili sorunlar nedeniyle tıpta, özellikle klinik alanlarda kullanılamaz (Parashar ve ark., 2009). Daha kısa sürede tanımlanmış boyut ve şekillere sahip büyük miktarlarda nanopartiküller üretmek için geleneksel yöntemler kullanılabilir; ancak bu teknikler karmaşık, maliyetli, verimsiz ve modası geçmiştir. Son yıllarda, üretim sürecinde toksik atık ürünler üretmeyen çevre dostu nanopartiküllerin sentezine ilgi artmaktadır (Daniel ve Astruc, 2004; Li ve ark., 2011; Chauhan ve ark., 2012). Geleneksel fiziksel ve kimyasal yöntemlere alternatif olarak nanomateryal üretimi için güvenli ve ekolojik olarak sağlam kabul edilen biyoteknolojik araçlar kullanılarak nanopartikül sentezi gerçekleştirilebilir. Nanoteknolojinin en dikkat çekici kullanımı; doğal kaynakların kullanılarak nanopartikül (NP) sentezi yapılabilmesidir (Ahmed ve ark., 2021). Nanopartikül sentezi yapılırken çoğunlukla yeşil bitkiler kullanıldığından dolayı (yeşil sentez) bu yeni bilim alanı da; “yeşil nanobiyoteknoloji” (Green Nanobiotechnology) olarak adlandırılmaktadır (Narayanan ve Sakthivel, 2011). Yeşil sentez, bitkiler veya bitkilerin özütleri kullanılarak, daha çevre dostu olan, boyut ve şekil açısından daha kontrollü bir sentez sağlayan metalik nanopartiküllerin biyolojik sentezini sağlar (Kumar ve Yadav, 2009).

Genel olarak, yeşil nanobiyoteknoloji, çeşitli biyoteknolojik araçların yardımıyla mikroorganizmaları, bitkileri ve virüsleri veya bunların proteinler ve lipitler gibi yan ürünlerini içeren biyolojik yollar kullanarak nanopartikülleri veya nanomalzemeleri sentezlemek anlamına gelir. Yeşil teknoloji ile üretilen nanopartiküller, çeşitli yönlerden fiziksel ve kimyasal yöntemlerle üretilenlerden çok daha üstündür. Örneğin, yeşil teknikler pahalı kimyasalların kullanımını ortadan kaldırır, daha az enerji tüketir ve çevreye zarar vermeyen ürünler ve yan ürünler üretir (Humbal ve Pathak, 2023).

Biyolojik bir sistem kullanılarak nanopartiküllerin sentezi için üç ana adım izlenir: kullanılan solvent ortamının seçimi, çevre dostu ve çevreye zarar vermeyen bir indirgeme ajanı seçimi ve sentezlenen nanopartikülleri stabilize etmek için bir kapak ajanı olarak toksik olmayan bir materyalin seçimidir (Almutairi ve Alharbi, 2015; Ambrosone ve ark., 2016).

Yeşil Nanoteknoloji, bitki hastalıklarının yönetimi için yeni bir yaklaşımdır. Yeşil metal nanopartiküllerin sentezi için çeşitli mikroorganizma ve bitki özleri kullanılmaktadır. Böylelikle nanopartiküllerin yeşil sentezi en uygun, basit ve çevre dostu yöntem olup, toksik kimyasalların kullanımından ve zararlı / tehlikeli yan ürünlerin oluşmasından kaçınarak kimyasal ve fiziksel süreçlerin yan etkilerini en aza indirir. Yeşil sentezle elde edilen antimikrobiyal, antioksidan ve toksik olmayan nanopartiküllerin fiziksel ve in vitro etkileri giderek daha önemli hale gelmektedir. Metal nanopartiküller hem

antifungal hem de antibakteriyel aktiviteye sahiptir, bu nedenle bunlar bitki hastalıklarıyla savaşmak için gelecekteki silahlar olarak kullanılabilir (Ege ve ark., 2020; Nargund ve ark., 2021).

2. Sonuç

Nanopartiküllerin bitkiler üzerindeki çalışma alanı gittikçe genişlemektedir. Elde edilen veriler zaman zaman çeşitli çelişkiler oluşturduğundan dolayı fitonanoteknoloji üzerinde daha fazla çalışılmalıdır. Özellikle gelecekte tarımın ve ekosistemin sürdürülebilirliği için bitkiler üzerindeki biyofonksiyonel tüm mekanizmalarının aydınlatılması gerekmektedir. En umut verici çalışmalar tarımsal alanları tehdit eden biyotik stres etmenleriyle mücadele etmek için nanopartiküllerin kullanılabilme potansiyelidir. Hastalık stresleriyle mücadele etmek için özellikle yeşil sentezle üretilmiş nanopartikül içerikli ürünlerin kullanılmasına olan ilgi artacaktır. Gelecekteki çalışmalar muhtemelen maksimum seviyede antimikrobiyal etkiye ve minimum seviyede toksisiteye sahip nanopartiküller elde etmeye odaklanacaktır. Bu nedenle birçok uygulama alanında kullanılan metalik nanopartiküllerin özellikle toksik olmayan yeşil sentez yöntemleri ile sentezlenmesi önemli bir noktadır.

Yazar Katkı Beyanı

Fatma Şeyma Gökdemir: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Yazılım, Veri iyileştirme, Yazma-Özgün taslak hazırlama, Görselleştirme, Denetleme, Kaynaklar, Yazma-İnceleme ve Düzenleme.

Merve Gündoğdu: Yazılım ve Yazma-Özgün taslak hazırlama

Sümeyye Muftareviç: Yazılım ve Yazma-Özgün taslak hazırlama

Ayşenur Sunar: Yazılım ve Yazma-Özgün taslak hazırlama

Fusun Eyidoğan: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Veri iyileştirme, İnceleme, Denetleme, Doğrulama, Yazma-İnceleme ve Düzenleme

Kaynaklar

- Afsharinejad, A., Davy, A., Jennings, B. ve Brennan, C., 2015, Performance analysis of plant monitoring nanosensor networks at THz frequencies, *IEEE Internet of Things Journal*, 3 (1), 59-69.
- Ahmed, B., Rizvi, A., Ali, K., Lee, J., Zaidi, A., Khan, M. S. ve Musarrat, J., 2021, Nanoparticles in the soil-plant system: a review, *Environmental Chemistry Letters*, 19, 1545-1609.
- Almutairi, Z. M. ve Alharbi, A., 2015, Effect of silver nanoparticles on seed germination of crop plants, *International Journal of Nuclear and Quantum Engineering*, 9 (6), 689-693.
- Ambrosone, A., Marchesano, V., Carregal-Romero, S., Intartaglia, D., Parak, W. J. ve Tortiglione, C., 2016, Control of Wnt/ β -catenin signaling pathway in vivo via light responsive capsules, *ACS nano*, 10 (4), 4828-4834.
- Ananda, S., Shobha, G., Shashidhara, K. ve Mahadimane, V., 2019, Nano-cuprous oxide enhances seed germination and seedling growth in *Lycopersicon esculentum* plants, *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 9 (2), 296-302.
- Asiyanbola, B. ve Soboyejo, W., 2008, For the surgeon: an introduction to nanotechnology, *Journal of surgical education*, 65 (2), 155-161.
- Barik, T., Sahu, B. ve Swain, V., 2008, Nanosilica—from medicine to pest control, *Parasitology research*, 103, 253-258.
- Chaudhry, N., Dwivedi, S., Chaudhry, V., Singh, A., Saquib, Q., Azam, A. ve Musarrat, J., 2018, Bio-inspired nanomaterials in agriculture and food: Current status, foreseen applications and challenges, *Microbial pathogenesis*, 123, 196-200.
- Chauhan, R. P., Gupta, C. ve Prakash, D., 2012, Methodological advancements in green nanotechnology and their applications in biological synthesis of herbal nanoparticles, *International Journal of Bioassays (IJB)*.
- Chichiricò, G. ve Poma, A., 2015, Penetration and toxicity of nanomaterials in higher plants, *Nanomaterials*, 5 (2), 851-873.
- Daniel, M.-C. ve Astruc, D., 2004, Gold nanoparticles: assembly, supramolecular chemistry, quantum-size-related properties, and applications toward biology, catalysis, and nanotechnology, *Chemical reviews*, 104 (1), 293-346.
- Das, K. ve Roychoudhury, A., 2014, Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants, *Frontiers in environmental science*, 2, 53.
- Dimkpa, C. O., McLean, J. E., Martineau, N., Britt, D. W., Haverkamp, R. ve Anderson, A. J., 2013, Silver nanoparticles disrupt wheat (*Triticum aestivum* L.) growth in a sand matrix, *Environmental science & technology*, 47 (2), 1082-1090.
- Duhan, J. S., Kumar, R., Kumar, N., Kaur, P., Nehra, K. ve Duhan, S., 2017, Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture, *Biotechnology Reports*, 15, 11-23.
- Ege, E., Kurtay, G., Karaca, B., Büyük, İ., Gökdemir, F. Ş. ve Sumer, A., 2020, Green synthesis of silver nanoparticles from *Phaseolus vulgaris* L. extracts and investigation of their antifungal activities, *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*, 49 (1), 11-23.
- Etxeberría, E., Gonzalez, P., Bhattacharya, P., Sharma, P. ve Ke, P. C., 2016, Determining the size exclusion for nanoparticles in citrus leaves, *HortScience*, 51 (6), 732-737.
- Faisal, M., Saquib, Q., Alatar, A. A., Al-Khedhairi, A. A., Hegazy, A. K. ve Musarrat, J., 2013, Phytotoxic hazards of NiO-nanoparticles in tomato: a study on mechanism of cell death, *Journal of hazardous materials*, 250, 318-332.
- Faraday, M., 1857, X. The Bakerian Lecture.—Experimental relations of gold (and other metals) to light, *Philosophical transactions of the Royal Society of London* (147), 145-181.
- Feng, Y., Cui, X., He, S., Dong, G., Chen, M., Wang, J. ve Lin, X., 2013, The role of metal nanoparticles in influencing arbuscular mycorrhizal fungi effects on plant growth, *Environmental science & technology*, 47 (16), 9496-9504.
- Feynman, R. P., 1960, An invitation to enter a new field of physics, *Int. J. Eng. Sci*, 23 (8).
- Ghosh, M., Ghosh, I., Godderis, L., Hoet, P. ve Mukherjee, A., 2019, Genotoxicity of engineered nanoparticles in higher plants, *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 842, 132-145.
- Goldwasser, Y., Eizenberg, H., Golan, S. ve Kleifeld, Y., 2003, Control of *Orobanche crenata* and *Orobanche aegyptiaca* in parsley, *Crop Protection*, 22 (2), 295-305.
- Guo, J. ve Chi, J., 2014, Effect of Cd-tolerant plant growth-promoting rhizobium on plant growth and Cd uptake by *Lolium multiflorum* Lam. and *Glycine max* (L.) Merr. in Cd-contaminated soil, *Plant and soil*, 375, 205-214.
- Harris, D. K. ve Bawendi, M. G., 2012, Improved precursor chemistry for the synthesis of III-V quantum dots, *Journal of the American Chemical Society*, 134 (50), 20211-20213.
- Heiligtag, F. J. ve Niederberger, M., 2013, The fascinating world of nanoparticle research, *Materials today*, 16 (7-8), 262-271.
- Horst, W. J., Wang, Y. ve Eticha, D., 2010, The role of the root apoplast in aluminium-induced inhibition of root elongation and in aluminium resistance of plants: a review, *Annals of botany*, 106 (1), 185-197.
- Humbal, A. ve Pathak, B., 2023, Application of Nanotechnology in Plant Growth and Diseases Management: Tool for Sustainable Agriculture, In: *Agricultural and Environmental Nanotechnology: Novel Technologies and their Ecological Impact*, Eds: Springer, p. 145-168.
- Jeevanandam, J., Barhoum, A., Chan, Y. S., Dufresne, A. ve Danquah, M. K., 2018, Review on nanoparticles and nanostructured materials: history, sources, toxicity and regulations, *Beilstein journal of nanotechnology*, 9 (1), 1050-1074.
- Kumar, V. ve Yadav, S. K., 2009, Plant-mediated synthesis of silver and gold nanoparticles and their applications, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 84 (2), 151-157.
- Larue, C., Castillo-Michel, H., Sobanska, S., Cécillon, L., Bureau, S., Barthès, V., Ouerdane, L., Carrière, M. ve Sarret, G., 2014, Foliar exposure of the crop *Lactuca sativa* to silver nanoparticles: evidence for internalization and changes in Ag speciation, *Journal of hazardous materials*, 264, 98-106.
- Li, X., Xu, H., Chen, Z.-S. ve Chen, G., 2011, Biosynthesis of nanoparticles by microorganisms and their applications, *Journal of nanomaterials*, 2011, 1-16.
- Li, Z. Z., Chen, J. F., Liu, F., Liu, A. Q., Wang, Q., Sun, H. Y. ve Wen, L. X., 2007, Study of UV-shielding properties of novel porous hollow silica nanoparticle carriers for avermectin, *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 63 (3), 241-246.

- Liu, R. ve Lal, R., 2014, Synthetic apatite nanoparticles as a phosphorus fertilizer for soybean (*Glycine max*), *Scientific reports*, 4 (1), 5686.
- Luechinger, N. A., Grass, R. N., Athanassiou, E. K. ve Stark, W. J., 2010, Bottom-up fabrication of metal/metal nanocomposites from nanoparticles of immiscible metals, *Chemistry of Materials*, 22 (1), 155-160.
- Lv, J., Christie, P. ve Zhang, S., 2019, Uptake, translocation, and transformation of metal-based nanoparticles in plants: recent advances and methodological challenges, *Environmental Science: Nano*, 6 (1), 41-59.
- Mahna, N., Vahed, S. Z. ve Khani, S., 2013, Plant in vitro culture goes nano: nanosilver-mediated decontamination of ex vitro explants, *J Nanomed Nanotechol*, 4 (161), 1.
- Mehrian, S. K. ve De Lima, R., 2016, Nanoparticles cyto and genotoxicity in plants: Mechanisms and abnormalities, *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 6, 184-193.
- Mishra, S. ve Singh, H., 2015, Biosynthesized silver nanoparticles as a nanoweapon against phytopathogens: exploring their scope and potential in agriculture, *Applied microbiology and biotechnology*, 99, 1097-1107.
- Mohanpuria, P., Rana, N. K. ve Yadav, S. K., 2008, Biosynthesis of nanoparticles: technological concepts and future applications, *Journal of nanoparticle research*, 10, 507-517.
- Nair, R., Varghese, S. H., Nair, B. G., Maekawa, T., Yoshida, Y. ve Kumar, D. S., 2010, Nanoparticulate material delivery to plants, *Plant science*, 179 (3), 154-163.
- Narayanan, K. B. ve Sakthivel, N., 2011, Green synthesis of biogenic metal nanoparticles by terrestrial and aquatic phototrophic and heterotrophic eukaryotes and biocompatible agents, *Advances in colloid and interface science*, 169 (2), 59-79.
- Nargund, V., Vinay, J., Basavesha, K., Chikkanna, S., Jahagirdar, S. ve Patil, R., 2021, Green Nanotechnology and Its Application in Plant Disease Management, *Emerging Trends in Plant Pathology*, 591-609.
- Ozyigit, I. I., Filiz, E., Vatansever, R., Kurtoglu, K. Y., Koc, I., Öztürk, M. X. ve Anjum, N. A., 2016, Identification and comparative analysis of H₂O₂-scavenging enzymes (ascorbate peroxidase and glutathione peroxidase) in selected plants employing bioinformatics approaches, *Frontiers in Plant Science*, 7, 301.
- Pagano, L., Servin, A. D., De La Torre-Roche, R., Mukherjee, A., Majumdar, S., Hawthorne, J., Marmiroli, M., Maestri, E., Marra, R. E. ve Isch, S. M., 2016, Molecular response of crop plants to engineered nanomaterials, *Environmental science & technology*, 50 (13), 7198-7207.
- Pakrashi, S., Jain, N., Dalai, S., Jayakumar, J., Chandrasekaran, P. T., Raichur, A. M., Chandrasekaran, N. ve Mukherjee, A., 2014, In vivo genotoxicity assessment of titanium dioxide nanoparticles by *Allium cepa* root tip assay at high exposure concentrations, *PloS one*, 9 (2), e87789.
- Parashar, V., Parashar, R., Sharma, B. ve Pandey, A. C., 2009, Parthenium leaf extract mediated synthesis of silver nanoparticles: a novel approach towards weed utilization, *Digest Journal of Nanomaterials & Biostructures (DJNB)*, 4 (1).
- Rai, V., Acharya, S. ve Dey, N., 2012, Implications of nanobiosensors in agriculture. *J Biomater Nanobiotechnol* 3: 315-324.
- Roduner, E., 2006, Size matters: why nanomaterials are different, *Chemical society reviews*, 35 (7), 583-592.
- Ruotolo, R., Maestri, E., Pagano, L., Marmiroli, M., White, J. C. ve Marmiroli, N., 2018, Plant response to metal-containing engineered nanomaterials: an omics-based perspective, *Environmental science & technology*, 52 (5), 2451-2467.
- Sanzari, I., Leone, A. ve Ambrosone, A., 2019, Nanotechnology in plant science: to make a long story short, *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 7, 120.
- Sardoiwala, M. N., Kaundal, B. ve Choudhury, S. R., 2018, Toxic impact of nanomaterials on microbes, plants and animals, *Environmental Chemistry Letters*, 16, 147-160.
- Scheringer, M., 2008, Environmental risks of nanomaterials, *Nature Nanotechnology*, 3 (6), 322-323.
- Schwab, F., Zhai, G., Kern, M., Turner, A., Schnoor, J. L. ve Wiesner, M. R., 2016, Barriers, pathways and processes for uptake, translocation and accumulation of nanomaterials in plants-Critical review, *Nanotoxicology*, 10 (3), 257-278.
- Seil, J. T. ve Webster, T. J., 2012, Antimicrobial applications of nanotechnology: methods and literature, *International journal of nanomedicine*, 2767-2781.
- Singh, M., Manikandan, S. ve Kumaraguru, A., 2011, Nanoparticles: a new technology with wide applications, *Research Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 1 (1), 1-11.
- Taylor, E. ve Webster, T. J., 2011, Reducing infections through nanotechnology and nanoparticles, *International journal of nanomedicine*, 1463-1473.
- Tiwari, D. K., Behari, J. ve Sen, P., 2008, Time and dose-dependent antimicrobial potential of Ag nanoparticles synthesized by top-down approach, *Current Science*, 647-655.
- Umeyama, T., Matano, D., Baek, J., Gupta, S., Ito, S., Subramanian, V. ve Imahori, H., 2015, Boosting of the performance of perovskite solar cells through systematic introduction of reduced graphene oxide in TiO₂ layers, *Chemistry Letters*, 44 (10), 1410-1412.
- Valizadeh, A., Mikaeili, H., Samiei, M., Farkhani, S. M., Zarghami, N., Kouhi, M., Akbarzadeh, A. ve Davaran, S., 2012, Quantum dots: synthesis, bioapplications, and toxicity, *Nanoscale research letters*, 7, 1-14.
- Wang, P., Lombi, E., Zhao, F.-J. ve Kopittke, P. M., 2016, Nanotechnology: a new opportunity in plant sciences, *Trends in plant science*, 21 (8), 699-712.
- Whiteside, M. D., Treseder, K. K. ve Atsatt, P. R., 2009, The brighter side of soils: quantum dots track organic nitrogen through fungi and plants, *Ecology*, 90 (1), 100-108.
- Yang, F., Liu, C., Gao, F., Su, M., Wu, X., Zheng, L., Hong, F. ve Yang, P., 2007, The improvement of spinach growth by nano-anatase TiO₂ treatment is related to nitrogen photoreduction, *Biological trace element research*, 119, 77-88.
- Yang, J. L., Li, Y. Y., Zhang, Y. J., Zhang, S. S., Wu, Y. R., Wu, P. ve Zheng, S. J., 2008, Cell wall polysaccharides are specifically involved in the exclusion of aluminum from the rice root apex, *Plant Physiology*, 146 (2), 602.
- Zelalem, G., Azamal, H., Masresha, F. ve Gietahun, Y., 2015, Growth, water status, physiological, biochemical and yield response of Stay Green sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) varieties-a field trial under drought-prone area in Amhara Regional State, Ethiopia, *Journal of Agronomy*, 14 (4), 188-202.