

Doğa ile Teknoloji Arasındaki Mükemmel Uyum: Biyosentez Yolu ile Nanopartikül Üretimi

Şükran YILDIZ¹, Ayşegül YAVUZ², Dilek TEKDAL^{3*}

¹Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji ABD, Mersin

²Bahçeşehir Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, İstanbul

³Mersin Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoteknoloji Bölümü, Mersin

¹<https://orcid.org/0000-0001-7896-4748>

²<https://orcid.org/0009-0001-7295-8897>

³<https://orcid.org/0000-0002-4545-9005>

*Sorumlu yazar: dilektekdal@mersin.edu.tr

Derleme

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 08.02.2024

Kabul tarihi: 16.05.2024

Online Yayınlanma: 10.06.2024

Anahtar Kelimeler:

Biyosentez

Bitki

Biyolojik atıklar

Nanopartikül

Mikroorganizma

ÖZ

Nanopartiküller çevresel uygulamalarda, biyomedikal ve tıp alanında sıkça kullanılan 1-100 nanometre boyutunda bulunan materyallerdir. Bu nanomalzemeler çeşitli büyüklük ve şekillerde fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak sentezlenebilmektedirler. Fiziksel ve kimyasal olarak sentezlenen nanopartiküller, doğaya ve canlı organizmalara karşı oldukça zararlıdır ve toksik etki göstermektedirler. Toksik kimyasalların kullanımını azaltmak amacıyla biyolojik sentez yoluyla bitki ve mikroorganizma tabanlı nanopartiküllerin sentezindeki araştırmalar oldukça önemlidir. Biyosentez aşamasında kullanılan biyolojik materyalden elde edilen nanopartiküllerin özellikleri ve stabilitesi, kullanılan organizma veya koşullara bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Biyolojik materyaller kullanılarak yeşil sentez yoluyla nanopartiküllerin sentezi sentetik olarak elde edilen nanopartiküllerin sentezinden genel olarak daha güvenlidir. Ayrıca, bitki atıklarının kullanılarak sentez yapılması ticari olarak büyük avantaj sağlamaktadır. Sunulan bu derleme çalışmasında yeşil sentezin prensibi, uygulama alanları, yapılan çalışmalar, avantaj ve dezavantajları detaylandırılmaktadır.

Perfect Harmony Between Nature and Technology: Nanoparticle Production via Biosynthesis

Reviews

Article History:

Received: 08.02.2024

Accepted: 16.05.2024

Available online: 10.06.2024

Keywords:

Biosynthesis

Plant

Biowaste

Nanoparticle

Microorganism

ABSTRACT

Nanoparticles, ranging from 1 to 100 nanometers, are materials frequently utilized in environmental applications, biomedicine, and medicine. These particles can be synthesized in various sizes and shapes through physical, chemical, and biological means. However, nanoparticle synthesis through physical and chemical methods tends to be highly harmful and toxic to nature and living organisms. Research into plant and microorganism-based nanoparticle synthesis via biological routes has gained significant importance in reducing the usage of toxic chemicals. The properties and stability of nanoparticles obtained from biological materials during biosynthesis can vary depending on the organism or conditions employed. The synthesis of nanoparticles through biological materials, known as green synthesis, is generally safer than synthetically produced nanoparticles. Moreover, utilizing plant waste for synthesis provides significant commercial advantages. This review presents the principles of

To Cite: Yıldız Ş, Yavuz A, Tekdal D., 2024. Doğa ile teknoloji arasındaki mükemmel uyum: Biyosentez yolu ile nanopartikül üretimi. Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi, 4(2): 521-540.

Giriş

21. yüzyılda bilimsel yenilik olarak gelişen nanoteknoloji, maddeyi atomik veya moleküler ölçekte manipüle etme bilim dalını ele almaktadır. Boyutu 100 nm'den küçük olan malzemelerin buluşunu, işlenmesini ve kullanımını içeren disiplinler arası bir alandır. Maddeyi moleküler düzeyde yönetmekle ilgilenmektedir ve geniş bir uygulama alanına hitap etmektedir (Mansoori, 2005). Nanoteknoloji, optik, elektronik, biyomedikal bilim, mekanik, ilaç-gen taşınması, kimya endüstrisi, optoelektronik cihazlar, uzay endüstrileri, enerji bilimi ve foto elektrokimyasal uygulamalar alanlarında nano ölçekli yapılar (nanopartiküller) aracılığıyla birçok önemli teknolojide kritik bir rol oynamaktadır (Singh ve ark., 2019a). Ayrıca nanopartiküller, geniş yüzey/hacim oranları ve son derece küçük boyutları (nm cinsinden) nedeniyle oldukça ilgi çeken maddelerdir (Ray, 2010; Bakand ve ark., 2012).

Nanopartiküller fiziksel, kimyasal ve biyolojik yollardan üretilen parçacıklardır. Fiziksel yöntemler ile nanopartiküllerin sentezinde sık kullanılan yöntemler şöyledir: lazer ablasyon (Mafuné ve ark., 2001), inert gaz yoğunlaşması (Benelmekki ve ark., 2015), elektrik ark deşarjı (Tseng ve ark., 2016) ve radyofrekans (RF) plazma yöntemidir (Hiragino ve ark., 2016). Bu fiziksel yöntemler, termal kararlılığa ulaşabilmesi için çok zaman gerektirmektedir. Ayrıca kaynak, malzemenin etrafındaki ortam sıcaklığını yükseltirken çok fazla enerji tüketir ve tüp fırınlarda geniş alanlar kaplamaktadır (Kawasaki ve Nishimura, 2006). Bu nedenle fiziksel yöntemler ile sentez yolu nanopartiküllerin üretimi için uygun değildir. Nanopartiküllerin kimyasal yöntemler ile sentezinin en büyük dezavantajı ise, sodyum borohidrit, sodyum sitrat gibi sert indirgeyici ajanların ve organik çözücülerin kullanılmasıdır (Tarasenko ve ark., 2006). Bu kimyasal reaktifler çevresel sorunlara ve toksisiteye sebep olmaktadır (Pal ve ark., 2007). Fiziksel ve kimyasal yollarla sentezleme sırasında karşılaşılan olumsuzluklar nedeniyle bu yöntemlerin yerine biyolojik sentez yolları tercih edilmektedir.

Nanoteknoloji ve yeşil kimya alanlarının ortak çalışmaları ile bitkiler veya mikroorganizmalar kullanılarak biyolojik yollarla doğa dostu nanopartiküller üretilmektedir (Lateef ve ark., 2016). Yeşil/biyolojik sentez yöntemi ile nanopartiküllerin daha çevre dostu, basit ve uygun maliyetler ile üretilmesi sağlanmaktadır. Ölçülebilirlik, biyo-uyumluluk ve

nanopartiküllerin indirgeyici ajan olarak evrensel çözügen (su) aracılığıyla sentezi, biyolojik materyaller ile nanopartikül sentezinin avantajlarından. Yeşil sentez, partiküllerin sentezi için bitkileri ve mikroorganizmaları kullanmaktadır. Bitki destekli yeşil sentez için bitkinin kök, meyve, gövde, tohum ve yaprak gibi farklı dokuları kullanılarak nanopartiküller sentezlenmektedir. Bitki kullanılarak nanopartiküllerin sentezinin kesin mekanizması henüz açıklığa kavuşturulmamıştır. Fakat farklı tipte nanopartiküllerin sentezinden organik asit, protein, vitaminler, alkaloidler, flavonoidler, terpenoidler, polisakkaritler ve heterosiklik bileşikler gibi ikincil metabolitlerin sorumlu olduğu gösterilmiştir. Yeşil sentezde kullanılan diğer organizma grubu olan mikroorganizmalar, çevre dostu, toksik ve sert kimyasallardan uzak, düşük maliyet için etkin bir araç ve geniş potansiyele sahip nano fabrikalar olarak kabul edilmektedir. Son yıllarda nanopartiküllerin sentezi için maya, bakteri ve mantar gibi çeşitli mikroorganizmalar kullanılmaktadır. Mikroorganizmalardan nanopartiküllerin sentezinde proteinler, indirgeyici kofaktörler, metal dirençli genler, enzim ve organik materyaller önemli rol oynamaktadır (Ijaz ve ark., 2020).

Biyosentez

Hızlı sanayileşme, kentleşme ve nüfus artışı, dünya atmosferinin bozulmasına ve çok miktarda tehlikeli ve istenmeyen maddelerin açığa çıkmasına sebep olmaktadır. Bu süreçte nanopartiküllerin sentez süreçlerinde ilerlemelere yol açan, doğada var olan doğal ürünleri keşfetmenin ve kullanmanın tam zamanıdır. Ayrıca, nanopartiküller insanlarla temas eden alanlarda yaygın olarak kullanıldığından toksik kimyasallar kullanılmadan elde edilen nanopartiküllerin geliştirilmesine yönelik artan bir ihtiyaç vardır. Bundan dolayı, nanopartiküllerin yeşil/biyolojik sentez yolu ile elde edilmesi, fiziksel ve kimyasal yöntemlere olası bir alternatiftir (Hussain ve ark., 2016).

Fiziksel ve kimyasal yaklaşımlar ile nanopartiküllerin sentezi, toksik metabolitleri nedeniyle çevre üzerinde çeşitli streslere neden olmaktadır. Nanopartiküller yeşil sentez yolu ile zahmetsizce sentezlenebilir. Ayrıca, mali açıdan bu tekniğin kullanılması daha akıllıcadır. Bitki bazlı sentezde bitki ekstraktı ile metal tuz sentezlenir ve oda sıcaklığında dakikalar veya birkaç gün içinde sentez işlemi tamamlanmış olur. Bu sentez son on yılda özellikle diğer metalik nanopartiküller ile karşılaştırıldığında daha güvenli olan gümüş (Ag) ve altın (Au) nanopartiküller için daha fazla ilgi görmüştür. Metalik nanopartiküllerin kullanılması insan sağlığına ve çevreye zarar vermekte olup partikül reaktivitesini ve toksisitesini artırabilir ve böylece sağlık üzerinde istenmeyen olumsuz etkilere neden olabilmektedir (Hussain ve ark., 2016). Yeşil sentez tekniği, sentetik nanopartiküllerden

dolayı oluşabilecek toksisiteyi azaltma potansiyeline sahip olduğundan dolayı önemli ölçüde ilgi çekici konumdadır (Baruwati ve ark., 2009).

Doğal veya sentetik yollarla nano ölçekte benzersiz özellikler sergileyebilen nanopartiküllerin sentezinde, farklı hazırlama yöntemleri içeren ve eski zamanlardan beri bilinen iki temel yaklaşım kullanılmaktadır. İlk yaklaşım, katı maddelerin dış kuvvet uygulanarak küçük parçalara ayrılmasını gerektiren ‘yukarıdan aşağıya (top-down approach)’ yöntemidir. Bu yaklaşımda nanopartikülün meydana gelmesi için gerekli enerjiyi sağlamak amacıyla birçok fiziksel, kimyasal ve termal teknik kullanılmaktadır (Nadaroglu ve ark., 2017). Bir diğer yaklaşım ise ‘‘aşağıdan yukarıya (bottom up approach)’ yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda atomların veya moleküllerin bir nanoyapı oluşturmak için temel yapı birimleri olarak kullanıldığı eklemeli bir yöntemdir. Bu yaklaşımı içeren tekniklerden bazıları şöyledir; sol-jel tekniği, kimyasal buhar biriktirme, plazma püskürtme, mikro emülsiyon tekniği ve lazer ablasyon tekniği. Ayrıca, kimyasal sentez yöntemi de bu yaklaşımı içermektedir (Ashik ve ark., 2018; Satyanarayana, 2018).

Atıklardan Nanopartikül Sentezleme

Sürdürülebilir nanoteknoloji alanında çalışma yapan araştırmacılar, doğada çözünebilen atıklardan nanomateryal üretimini olanaklı hale getirmişlerdir (Aswathi ve ark., 2022). Yeşil sentez diğer bir adıyla biyosentez, biyoçözünür atıklardan yararlanmanın kolay ulaşılabilir, ucuz ve sürdürülebilir bir yoldur. Ayrıca, farklı kimyasal kombinasyonlarla istenilen nanopartikül elde edilebilmektedir (Siwal ve ark., 2021). Sentezlenen bu yeşil nanopartiküllerden birçok alanda faydalanılmaktadır. Örneğin; sağlık, biyo-görüntüleme, su arıtımı, enerji transformasyonu ve depolama, çevre kirliliği denetimi, akıllı paketleme teknolojisi, hassas tarım ve gıda bileşenlerinin kontrollü dağıtımı, membran teknolojisi, ilaç dağıtımı ve teşhis, kemik ve doku mühendisliği gibi alanlar nanopartikül teknolojisinde gelişmelerin görüldüğü alanlardır (Devatha ve ark., 2016; Khatami ve ark., 2018; Chen ve ark., 2021).

Çevresel biyolojik atıklar ile nanopartikül sentezlenmesi ile ilgili araştırmalar son yıllarda oldukça artmaktadır. Örneğin, kurumuş çim atıkları kullanılarak yapılan bir çalışmada gümüş nanopartikülleri elde edilmiştir. Çim atıklarından elde edilen gümüş nanopartiküllerinin ortalama boyutunun 15 nm olduğu gözlemlenmiştir ve bu partiküllerin antikanser, antifungal ve antibakteriyel özelliklere sahip olduğu yapılan laboratuvar çalışmalarında gözlemlenmiştir (Khatami ve ark., 2018). Bir başka çalışmada, üstün floresans özelliğe sahip olan karbon nanodotlar, endüstriyel atık sularda bulunan Reactive

Red 2 (RR2)'den elde edilmiştir. Boyutları ortalama 2,43 nm olan karbon nanodotlar, hücre kültürü ve model organizma olan zebra balığını görüntülemeye başarılı olmuştur ve biyo-görüntülemedeki işlevselliği bu şekilde kanıtlamıştır (Chen ve ark., 2021). *Mangifera indica* L., *Murraya Koenigii* (L.) Spreng, *Azadiracta indica* A. Juss ve *Magnolia champaca* (L.) Baill. Ex. Pierre yaprak ekstratları kullanılarak yapılan araştırmada, sentezlenen demir nanopartiküller evsel atık sularının arıtımında kullanılmıştır. Demir nanopartiküllerinin; eşzamanlı olarak toplam fosfat, amonyak azotu ve kimyasal oksijen ihtiyacını indirgelediği gözlenmiştir. Biyolojik atıkların geri dönüştürülmesi, çevre dostu ve toksik özellik göstermeyen nanopartiküllerin elde edilebilmesi için bu alanda yapılan araştırmalar gün geçtikçe artmaktadır. Ayrıca nanopartiküllerin kullanım alanlarının geniş olması ve istenilen amaç doğrultusunda modifiye edilebilmeleri bu parçacıkları popüler hale getirmektedir. Atıklardan elde edilen nanopartiküllerin insanlığa birçok katkı sunmasıyla birlikte, sürdürülebilir bir çevrenin de önünü açmaktadır.

Biyosentezin Avantajları

Biyosentezin kimyasal ve fiziksel yöntemlere kıyasla birçok avantajı bulunmaktadır. Biyosentez yolu ile sentezlenen nanopartiküller toksik değildir (Devi ve ark., 2019), kirlilik içermezler (Alsammarraie ve ark., 2018), çevre dostudurlar ve ekonomiktirler (Kataria ve Garg, 2018) ve ayrıca daha sürdürülebilirlerdir (Nasrollahzadeh ve Sajadi, 2016). Yeşil sentezin başarısı, kullanılan çözügen ortamının, çevre dostu indirgeyici maddenin ve toksik olmayan stabilizasyon malzemesinin seçimine bağlıdır. Sentetik yöntemlerin (fiziksel ve kimyasal) çoğunluğu, kapatma maddelerinin hidrofobikliği nedeniyle büyük ölçüde organik çözücülere bağlıdır (Raveendran ve ark., 2003). Bununla birlikte, yeşil sentezde indirgeyici ve stabilizasyon ajanları genellikle biyo-ekstreler içerisinde mevcuttur (Inbakandan ve ark., 2010).

Nanopartiküllerin sentezi için bakteri, mantar ve maya gibi çeşitli mikroorganizmalar nanofabrika olarak kullanılmış olsa da nanopartiküllerin üretimi için bitki ekstraktlarının kullanımı hızlı, ekonomik ve çevre dostu prosedür nedeniyle dikkat çekmektedir. Bu süreç biyosentez için tek adımlı bir yöntem sağlar ve indirgeme sürecine yardımcı olabilecek geniş bir metabolit yelpazesine sahiptir (Lengke ve ark., 2007; Nanda ve Saravanan, 2009). Şu anda pek çok bitkinin biyosentez yolu ile nanopartikül sentezi için uygunluğu araştırılmaktadır. *Brassica juncea* (L.) Czern. (Hint hardalı), *Medicago sativa* L. (yonca) ve *Heliantus annuus* L. (ayçiçeği) gibi bitkiler, altın (2-20 nm), gümüş, nikel, kobalt, çinko ve bakır nanopartiküllerinin sentezi için kullanılmıştır (Lengke ve ark., 2007). *Brassica*

juncea gibi bazı bitkiler, daha yüksek derişimlerde metal biriktirebildikleri ve daha sonra onları nanopartiküller olarak özümseyebildikleri için hiperakümülatör görevi görmektedir (Cunningham, 1993). Çeşitli organizmalardan biyosentez yolu ile sentezlenen benzersiz yapıdaki nanoparçacıklar farklı alanlarda kullanımları denenmektedir. Örneğin, yeşil sentez yolu ile sentezlenen NiO nanoparçacıkları, antibakteriyel, antioksidan, antikanser ve antiinflamatuvar özellikler göstererek onları biyomedikal uygulamalar için umut verici malzemeler haline getirmiştir (Abbasi ve ark., 2019; Iqbal ve ark., 2019; Ramalingam ve ark., 2019). Ayrıca, NiO nanopartiküllerinin birçok mantar türüne karşı fungisidal aktivite gösterdiği bulunmuştur (Iqbal ve ark., 2019). Yapılan birkaç çalışmada ve HT-29, MCF-7, HepG2, A549 ve Hela kanser hücre dizilerine yönelik sitotoksikite çalışmaları da dahil olmak üzere yeşil sentezlenmiş NiO nanopartiküllerinin anti-kanser aktivitelerinin olduğu gözlenmiştir (Ezhilarasi ve ark., 2016; Karthik ve ark., 2018; Lingaraju ve ark., 2020).

Biyosentezin Dezavantajları

Elde edilen yeni teknolojilerin ortaya çıkışı, tarımsal alanda nanomateryallerin sentezi ve kullanımının önemli ölçüde ilerlemesine yol açmıştır. Nanopartikül kullanımının bitki hücrelerinde uygulama, emilim ve içselleştirme şekliyle ilgili belirsizlikler ve hedef organizmalardaki penetrasyon mekanizmaları ve ilişkili risklerin gözlenmesi gibi dezavantajları mevcuttur. Nanopartiküllerin birikmesi genellikle terlemeyi ve fotosentez hızını azaltarak, hücresel bütünlüğü ve hücre altı organelleri bozarak ve bitkinin büyümesini etkileyerek bitkinin fizyolojik sürecini değiştirir. Çoğu durumda kuantum verimi, fotosistemi ve terleme oranını azaltmıştır. Çeşitli çalışmalar, nanopartiküllerin çimlenme, kök ve sürgün oranını azaltarak mahsuller üzerindeki etkisini göstermiştir (Mitra ve ark., 2023). Fakat tarımda nanopartikül uygulamaları doza bağlı olarak değişmektedir. Tarlaya uygulama yapılmadan önce mahsul üzerinde pilot ölçekli çalışmalar yapılmalı ve nanopartiküllerin uygulanacağı en iyi derişim miktarı belirlenmelidir. Yüksek derişimde nanopartikül uygulamaları bitkiler için toksik olabilmektedir.

Nanoteknoloji, yaşam standartlarımızı yükseltmiştir; fakat bununla beraber su ve hava kirliliğine de sebep olabilmektedir. Örneğin, Vicario-Pares ve ark. (2014), zebra balığı embriyosuna karşı CuO (bakır oksit nanopartikülleri), ZnO ve TiO₂ nanopartiküllerinin toksisite çalışmasını gerçekleştirmişlerdir (Vicario-Parés ve ark., 2014). ZnO NP'lerin, en yüksek toksisiteye sahip olan çinkonun iyonik formundan daha az toksik olduğu bulunmuştur (Vicario-Parés ve ark., 2014). Zhu ve ark. (2008), ZnO NP toksisitesinin doza bağlı olduğunu belirlemişlerdir (Zhu ve ark., 2008). Doksan gün boyunca yapılan bir başka

toksosite çalışmasında, farklı yüzey yüklerine (negatif yüklü, ZnOAE100 [-] ve pozitif yüklü ZnOAE100 [-]) sahip 100 nm boyutundaki ZnO NP'ler, toksik seviyeyi belirlemek ve birikimi olan hedef organları tanımlamak için Sprague Dawley sıçanlarına uygulanmıştır. 125 mg kg⁻¹'dan daha yüksek bir derişimde her iki cinsiyette de önemli toksik etkiler gözlenmiştir. Ayrıca, her iki cinsiyet için de yaklaşık 31,25 mg kg⁻¹'lık bir derişimde olumsuz etki düzeyinde bir eksiklik olmadığı belirtilmiştir (Kim ve ark., 2014).

Nanoteknolojinin sosyo-ekonomik dezavantajları da bulunmaktadır. Nanoteknolojinin ilerlemesi, geleneksel tarım ve imalat sanayinde olası iş kayıplarına neden olabilir. Ayrıca, nanoteknoloji, bugünlerde erişimi kolaylaşmış olan atomik bombaların daha güçlü ve yıkıcı olmalarına sebebiyet verebilir (Parveen ve ark., 2016). Çeşitli araştırmalar, fiziksel ve kimyasal yöntemlerle sentezlenen nanopartiküllerin, biyosentez yöntemiyle üretilenlere kıyasla bir dizi dezavantaj içerdiğini belirlemiştir. Dolayısıyla, çevre dostu özellikleri nedeniyle biyolojik sentez yöntemi tercih edilmelidir (Vithiya ve Sen, 2011).

Biyosentez Yolu ile Sentezlenen Nanopartiküllerin Uygulama Alanları

Biyosentez yolu ile biyomoleküllerden, bitkilerden ve mikroorganizmalardan elde edilen nanopartiküller, uygun maliyetli, biyolojik olarak parçalanabilir, biyoyumlu, çevre dostu, sürekli olarak bulunabilen, yenilenebilir ve daha az toksik olması nedeniyle nanopartiküllerin fiziksel ve kimyasal sentezinden daha fazla tercih edilmektedir. Bu benzersiz özelliklerden dolayı yeşil sentez, yeni nano formülasyonların hazırlanması ve işlenmesinde kullanılabilir. Bitki fitokimyasalları kaplama ajanları olarak görev yapar ve birçok uygulama için sinerjik etkilere yol açan nanopartiküllerin etrafını sarar. Gümüş, altın, çinko, bakır, demir gibi nanopartiküllerin biyotıp, elektronik, kozmetik, tarım ve tekstil gibi çeşitli alanlarda uygulamaları olması nedeniyle, son yıllardan itibaren yeşil sentezin parlak bir gelecek için büyük bir umut vaat ettiği düşünülmektedir (Di Guglielmo ve ark., 2010) (Tablo 1).

Tablo 1. 2019-2023 yılları arasında biyosentez yöntemiyle elde edilen nanopartiküller

Bitki	Nanopartikül	Boyut	Referans
<i>Laurus nobilis</i> L.	Çinko oksit-NP	21,49 nm (çinko asetat) 25,26 nm (çinko nitrat)	(Fakhari ve ark., 2019)
<i>Millettia pinnata</i>	Bakır-NP	23 ± 1.10 nm	(Thiruvengadam ve ark., 2019)
<i>Galega officinalis</i>	Gümüş-NP	21.1±6,4 nm	(Manosalva ve ark., 2019)
<i>Nigella sativa</i> L.	Küresel Platin-NP	1–6 nm	(Aygün ve ark., 2020)
<i>Ononidis radix</i>	Küresel ve Hegzagonal Platin-NP	4 nm	(Dobruca ve ark., 2019)
<i>Terminalia belerica</i>	Çinko, Demir, Bakır oksit-NP	9–11 nm, 15–23 nm, 9-14 nm	(Akhter ve ark., 2019)
<i>Lawsonia inermis</i>	Demir oksit-NP	150–200 nm	(Chauhan ve Upadhyay, 2019)
<i>Solanum trilobatum</i>	Küresel Magnezyum oksit NP	30 nm (St-MgO) 42 nm (Che-MgO)	(Narendhran ve ark., 2019)
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Magnezyum oksit-NP	8,8 nm	(Abdallah ve ark., 2019)
<i>Rhizophora lamarckii</i>	Hegzagonal ve küresel Magnezyum oksit-NP	20-50 nm	(Prasanth ve ark., 2019)
<i>Matricaria chamomilla</i> L.	Disk şekilli Magnezyum oksit-NP	18,2 nm (MgO) 16,5 nm (MnO ₂)	(Ogunyemi ve ark., 2019)
<i>Rhododendron arboreum</i>	Magnezyum oksit	<100 nm	(Singh ve ark., 2019b)
Zencefil ve sarımsak	Nikel oksit-NP	16–52 nm (Zencefil) 11–59 nm (Sarımsak)	(Haider ve ark., 2020)
<i>Lysiloma acapulcensis</i>	Gümüş-NP	1,2- 62 nm 5 nm (ortalama)	(Garibo ve ark., 2020)
Yeşil çay	Küresel Platin-NP	2 nm	(Depciuch ve ark., 2020)
<i>Deverra tortuosa</i>	Çinko oksit-NP	15,22 nm	(Selim ve ark., 2020)
<i>Carica papaya</i>	Demir oksit-NP	21,59 nm	(Bhuiyan ve ark., 2017)
<i>Scallion</i>	Azot-Kükürt Karbon noktaları	3.5 ± 0.7 nm	(Zhang ve ark., 2020)
<i>Bambu</i>	Azot-Kükürt Karbon noktaları	<10 nm	(Yang ve ark., 2020)
<i>Celery</i>	Karbon noktaları	0,75 nm-3,75 nm 2,08 nm (ortalama)	(Qu ve ark., 2020)
<i>Phyllanthus emblica</i>	Gümüş-NP	60-80 nm	(Dhar ve ark., 2021)
<i>Zingiber officinale</i>	Gümüş-NP	7-23 nm	(Lotfy ve ark., 2021)
<i>Coccinia indica</i>	Gümüş-NP	8-48 nm	(Chinni ve ark., 2021)
<i>Scabiosa atropurpurea</i> subsp. <i>maritima</i>	Gümüş-NP	40–50 nm	(Essghaier ve ark., 2022)
<i>Moringa oleifera</i>	Gümüş-NP	15,22-29,45 nm	(Mohammed ve ark., 2022)
<i>Piper retrofractum</i>	Gümüş-NP	1–5 nm	(Amaliyah ve ark., 2022)
<i>Cymbopogon citratus</i>	Gümüş-NP	47 nm	(Rakib-Uz-Zaman ve ark., 2022)
<i>Cuphea carthagenensis</i>	Gümüş-NP	10.65 ± 0.1 nm	(Rather ve ark., 2022)
<i>Spondias pinnata</i>	Hematite-NP	37,69 nm	(Prabhu ve ark., 2022)
<i>Thymbra spicata</i> L.	Çinko oksit-NP	6,5-7,5 nm	(Gur ve ark., 2022)
Patates	Gümüş-NP	9-30 ± 2 nm	(Wasilewska ve ark., 2023)
Beyaz soğan			

☐	Sarımsak			
☐	Kırmızı turp			
☐	Kırmızı biber			
☐	Portakal			
☐	Elma			
<i>Mangifera indica</i>	Magnezyum oksit- NP	10,25–27,08 nm	(Rotti ve ark., 2023)	
<i>Azadirachta indica</i>				
<i>Carica papaya</i>				
<i>Morinda tinctoria</i>	Gümüş/Seryum(IV) Oksit-NP	15–20 nm	(Ahmad ve ark., 2023)	
<i>Muntingia calabura</i>	Kobalt oksit-NP	27,59 nm	(Vinayagam ve ark., 2023)	

Modern tarım, çevre ve sağlık üzerinde olumsuz etkileri olan kimyasal maddeler kullanılmadan sürdürülebilir ve yüksek verim elde etmeyi talep etmektedir. Zararlı kimyasal gübreler toprağın altına sızarak kaynak suları kirletmekte ve zararlı suların yeryüzüne çıkmasına yol açmaktadır. Ancak, kimyasal gübrelerin oluşturduğu istenmeyen zararlı risklerin azaltılması için önleyici tedbirlerin alınması gerekmektedir (Kah, 2015). Nanoteknolojiye dayalı tarımsal yaklaşım, mahsullerden elde edilecek verimin artırılması için başarılı bir yöntemdir (Liu ve Lal, 2015). Geleneksel tarım sistemlerinde nanopartiküllerin kullanımı, toprağın kalitesinin iyileştirilmesi, akıllı izleme, gelişmiş enzimatik aktivite, artan besin alımı gibi sayısız faydalarından dolayı büyük önem kazanmaktadır ve bu yaklaşım nanotarım olarak bilinmektedir (Aslam ve ark., 2022).

Yeşil sentez yolu ile tarımsal alanda Logeswari ve ark. (2013) tarafından yapılan araştırmada *Solanum tricobatum* Linn., *Syzygium cumini* (L.) Skeels, *Centella asiatica* (L.) Urban ve *Citrus sinensis* (L.) Osbeck bitkilerinin ekstraktları kullanılarak çevre dostu gümüş nanopartiküller elde edilmiştir. Yang ve ark. (2014) ise tarımsal atıklar olan mango kabuğu ekstraktı kullanılarak altın nanoparçacıklar (AuNP'ler)'inin biyosentezini gerçekleştirmişlerdir (Logeswari ve ark., 2013; Yang ve ark., 2014). Verma ve Mehata. (2016) *Azadirachta indica* A. Juss yaprakları ve Bagherzade ve ark. (2017) ise *Crocus sativus* L. özlerini kullanılarak yeşil sentez yoluyla elde edilen metal NP'nin antimikrobiyal aktivitesini göstermişlerdir.

Patojenik bakteriler arasında antibiyotik direncinin artması, nanopartiküllerin antibakteriyel özelliklerini ve yeni tıbbi araçlar olarak kullanılabilme yeteneklerini ön plana çıkarmıştır. Örneğin, Gümüşün antimikrobiyal aktivitesi yaygın olarak bilinmektedir ve patojenlere karşı birçok tıbbi preparatlarda kullanılmaktadır (Sondi ve Salopek-Sondi, 2004; Kumar ve Yadav, 2009; Sotiriou ve Pratsinis, 2011). Ag nanopartiküllerinin anti-bakteriyel özellikleri, bunların gıda depolama, sağlık endüstrisi, tekstil kaplamaları ve çeşitli çevresel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır. *Tridax procumbens* L. (tridax papatya) bitkisinden elde edilen ekstrakt kullanılarak sentezlenen gümüş

nanopartikülleri, *Escherichia coli*, *Shigelladysenteriae* ve *Vibrio cholera*'ya karşı güçlü antibakteriyel aktiviteye sahip olduğu belirlenmiştir (Dhanalakshmi ve ark., 2019). *Pinusthun thunbergii* Parl. (Japon karaçamı) kozalağının özleri kullanılarak elde edilen gümüş nanopartiküller, çeşitli Gram-negatif ve Gram-pozitif tarımsal patojenlere karşı antibakteriyel aktivite sergilemektedir (Velmurugan ve ark., 2012) ve Ag nanopartiküllerinin antifungal etkisi yapılan çalışmalar ile doğrulanmıştır (Vivek ve ark., 2011).

Güçlü antioksidan davranışlara sahip patojenler olan *Aeromona shidrofila*, *Escherichia coli*, *Proteus mirabilis*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus aureus* mikroorganizmalarına karşı antimikrobiyal aktiviteyi ölçmek amacıyla *Psidium guajava* L. ekstraktından TiO₂ nanopartiküller sentezlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, sentezlenen TiO₂ nanopartiküllerinin bu patojenlere karşı etkili bir antimikrobiyal aktivite olduğu tespit edilmiştir (Heinlaan ve ark., 2008; Santhoshkumar ve ark., 2014). Ayrıca, TiO₂ oksit nanopartiküllerinin biyomedikal endüstrisinde, atık su dezenfeksiyonunda ve güzellik ürünlerinde uygulamaları olduğu bilinmektedir. Bir diğer nanoteknolojik materyal olan ZnO nanopartikülleri de atık su arıtmalarında ve gıda ambalajlamasında kullanılan antibakteriyel aktiviteye sahip popüler parçacıklardır (Espitia ve ark., 2012). Aynı zamanda, biyojenik ZnO nanopartikülleri doksorubisin (doxorubicin) için ilaç dağıtım aracı olarak kullanılabilir (Vimala ve ark., 2014).

Sonuç

Günümüzde nanoteknolojik ürünler neredeyse bütün alanlarda kullanılmaktadır ve giderek daha popüler hale gelmektedir. Kullanımlarının artmasıyla birlikte doğada oluşabilecek kirliliği ve toksisiteyi düşündüğümüzde biyolojik yollar ile doğa dostu materyallerin üretilmesi zorunlu hale gelmektedir. Aynı zamanda var olan kaynakların giderek tükenmesi geri dönüşümün önemini de arttırmaktadır. Bu nedenle gıda atıklarından veya biyolojik kaynaklardan direkt olarak nanopartiküllerin sentezlenmesi enerji tasarrufu ve düşük maliyet sağlamaktadır. Ayrıca, doğanın bize sunduğu kaynaklardan biyolojik nanoboyutta parçalar üretmek ve bu parçaları sağlık sektöründe, tarımda, tekstilde, savunma sanayisinde vb. birçok alandan kullanmak muazzam fırsatlar yaratmaktadır.

Biyosentez yolu ile nanoparçacıkların sentezlenmesi özellikle sağlık ve tarım sektöründe büyük avantajlar sağlamaktadır. Tarım sektöründen toksik kimyasalların kullanılması yerine biyolojik olarak sentezlenen daha geniş yüzey alanına sahip nanoparçacıkların kullanılması daha az tarım alanı kullanılarak yüksek verimde mahsuller yetiştirilmesine olanak sağlamaktadır. Sağlık sektöründe ise bu yeşil nanopartiküllerin

kullanılması toksisitesinin daha az olmasından dolayı umut vaat etmektedir. Nanoteknolojinin hitap ettiği alanlar düşünüldüğünde biyonanopartiküller, gelecekte birçok sorunun çözülmesinde önemli rol oynayacaktır.

Sunulan bu derleme çalışmasında, biyosentezin önemine, elde edilen nanopartiküllerin kullanım alanlarına ve potansiyel risk ve avantajlarına değinerek bu konuda çevreyi korumanın ve kimyasal maddelerin kullanımını en aza indirmenin önemi ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Kaynaklar

Abbasi BA, Iqbal J, Mahmood T, Ahmad R, Kanwal S, Afridi S., 2019. Plant-mediated synthesis of nickel oxide nanoparticles (NiO) via *Geranium wallichianum*: characterization and different biological applications. *Materials Research Express*, 6(8): 0850a7.

Abdallah Y, Ogunyemi S, Abdelazez A, Zhang M, Hong X, Ibrahim E, Hossain A., 2019. The green synthesis of MgO nano-flowers using *Rosmarinus officinalis* L. (Rosemary) and the antibacterial activities against *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*. *FouadBioMed Research International*, 5620989.

Ahmad A, Javed MS, Khan S, Almutairi TM, Mohammed AA, Luque R., 2023. Green synthesized Ag decorated CeO₂ nanoparticles: Efficient photocatalysts and potential antibacterial agents. *Chemosphere*, 310: 136841.

Akhter SMH, Mohammad F, Ahmad S., 2019. Terminalia belerica mediated green synthesis of nanoparticles of copper, iron and zinc metal oxides as the alternate antibacterial agents against some common pathogens. *BioNanoScience*, 9(2): 365-372.

Alsammaraie FK, Wang W, Zhou P, Mustapha A, Lin M., 2018. Green synthesis of silver nanoparticles using turmeric extracts and investigation of their antibacterial activities. *Colloids Surf B Biointerfaces*, 1(171): 398-405.

Amaliyah S, Sabarudin A, Masruri M, Sumitro SB., 2022. Characterization and antibacterial application of biosynthesized silver nanoparticles using *Piper retrofractum* Vahl fruit extract as bioreductor. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 12(3): 103-114.

Ashik UPM, Kudo S, Hayashi JL., 2018. An overview of metal oxide nanostructures. içinde synthesis of inorganic nanomaterials: Advances and Key Technologies, 19-57. Elsevier.

Aslam AA, Aslam AA, Aslam MS, Quazi S., 2022. An overview on green synthesis of nanomaterials and their advanced applications in sustainable agriculture. International Journal of Applied Chemical and Biological Sciences, 3(2): 70-99.

Aswathi VP, Meera S, Maria CGA, Nidhin M., 2022. Green synthesis of nanoparticles from biodegradable waste extracts and their applications: a critical review. Nanotechnology for Environmental Engineering, 8(2): 377-397.

Aygun A, Gülbagca F, Ozer LY, Ustaoglu B, Altunoglu YC, Baloglu MC, Sen F., 2020. Biogenic platinum nanoparticles using black cumin seed and their potential usage as antimicrobial and anticancer agent. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 179: 112961.

Bagherzade G, Tavakoli MM, Namaei MH., 2017. Green synthesis of silver nanoparticles using aqueous extract of saffron (*Crocus sativus* L.) wastages and its antibacterial activity against six bacteria. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 7(3): 227-233.

Bakand S, Hayes A, Dechsakulthorn F., 2012. Nanoparticles: A review of particle toxicology following inhalation exposure. Inhalation Toxicology, 24(2): 125-135.

Baruwati B, Polshettiwar V, Varma RS., 2009. Glutathione promoted expeditious green synthesis of silver nanoparticles in water using microwaves. Green Chemistry, 11(7): 926-930.

Benelmekki M, Vernieres J, Kim JH, Diaz RE, Grammatikopoulos P, Sowwan M., 2015. On the formation of ternary metallic-dielectric multicore-shell nanoparticles by inert-gas condensation method. Materials Chemistry and Physics, 151: 275-281.

Chauhan S, Upadhyay LSB., 2019. Biosynthesis of iron oxide nanoparticles using plant derivatives of *Lawsonia inermis* (Henna) and its surface modification for biomedical application. Nanotechnology for Environmental Engineering, 4(1): 1-10.

Chen W, Shen J, Wang Z, Liu X, Xu Y., 2021. Turning waste into wealth: facile and green synthesis of carbon nanodots from pollutants and applications to bioimaging. Chem. Sci., 12: 11722-11729.

Chinni SV, Gopinath SCB, Anbu P, Fuloria NK, Fuloria S, Mariappan P, Samuggam S., 2021. Characterization and antibacterial response of silver nanoparticles biosynthesized using an ethanolic extract of *Coccinia indica* leaves. Crystals, 11(2): 1-12.

Cunningham DP, Lundie Jr LL., 1993. Precipitation of cadmium by *Clostridium thermoaceticum*. Applied and Environmental Microbiology, 9: 7-14.

Depciuch J, Stec M, Maximenko A, Drzymała E, Pawlyta M, Baran J, Parlinska-Wojtan M., 2020. Synthesis method-dependent photothermal effects of colloidal solutions of platinum nanoparticles used in photothermal anticancer therapy. Applied Organometallic Chemistry, 34(3): e5401.

Devatha CP, Thalla AK, Katte SY., 2016. Green synthesis of iron nanoparticles using different leaf extracts for treatment of domestic wastewater. Journal of Cleaner Production, 139: 1425-1435.

Devi HS, Boda MA, Shah MA, Parveen S, Wani AH., 2019. Green synthesis of iron oxide nanoparticles using *Platanus orientalis* leaf extract for antifungal activity. Green Processing and Synthesis, 8(1): 38-45.

Dhanalakshmi A, Surendran U, Vijayakumari KK, Marimuthu S., 2019. Green synthesis of silver nanoparticles using *Macrotyloma uniflorum* seed sprout and their Characterization. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 8(2S): 648-653.

Dhar S, Chowdhury R, Das S., 2021. Plant-mediated green synthesis and characterization of silver nanoparticles using *Phyllanthus emblica* fruit extract. Materials Today: Proceedings, 42(5): 1867-1871.

Di Guglielmo C, López DR, De Lapuente J, Mallafre JML, Suárez MB., 2010. Embryotoxicity of cobalt ferrite and gold nanoparticles: A first in vitro approach. Reproductive Toxicology, 30(2): 271-276.

Dobrucka R, Romaniuk-Drapała A, Kaczmarek M., 2019. Evaluation of biologically synthesized platinum nanoparticles using *Ononidis radix* extract on the cell lung carcinoma A549. Biomedical Microdevices, 21(3): 1-10.

Espitia PJP, Soares NDFF, Coimbra JSJR, de Andrade NJ, Cruz RS, Medeiros EAA., 2012. Zinc oxide nanoparticles: Synthesis, antimicrobial activity and food packaging applications. Food and Bioprocess Technology, 5(5): 1447-1464.

Essghaier B, Toukabr N, Dridi R, Hannachi H, Limam I, Mottola F, Abdelkarim M., 2022. First report of the biosynthesis and characterization of silver nanoparticles using *scabiosa atropurpurea* subsp. *maritima* fruit extracts and their antioxidant, antimicrobial and cytotoxic properties. Nanomaterials, 12(9): 1585.

Ezhilarasi AA, Vijaya JJ, Kaviyarasu K, Maaza M, Ayeshamariam A, Kennedy LJ., 2016. Green synthesis of NiO nanoparticles using *Moringa oleifera* extract and their

biomedical applications: Cytotoxicity effect of nanoparticles against HT-29 cancer cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 164: 352-360.

Fakhari S, Jamzad M, Kabiri Fard H., 2019. Green synthesis of zinc oxide nanoparticles: a comparison. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 12(1): 19-24.

Garibo D, Borbón-Nuñez HA, de Leon JND, Garcia Mendoza E, Estrada I., 2020. Green synthesis of silver nanoparticles using *Lysiloma acapulcensis* exhibit high-antimicrobial activity. *Scientific Reports*, 10: 12805.

Gur T, Meydan I, Seckin H, Bekmezci M, Sen F., 2022. Green synthesis, characterization and bioactivity of biogenic zinc oxide nanoparticles. *Environmental Research*, 204: 111897.

Haider A, Ijaz M, Ali S, Haider J, Imran M, Majeed H, Ikram M., 2020. Green synthesized phytochemically (*zingiber officinale* and *allium sativum*) reduced nickel oxide nanoparticles confirmed bactericidal and catalytic potential. *Nanoscale Research Letters*, 15(1): 1-11.

Heinlaan M, Ivask A, Blinova I, Dubourguier HC, Kahru A., 2008. Toxicity of nanosized and bulk ZnO, CuO and TiO₂ to bacteria *Vibrio fischeri* and crustaceans *Daphnia magna* and *Thamnocephalus platyurus*. *Chemosphere*, 71(7): 1308-1316.

Hiragino Y, Tanaka T, Takeuchi H, Takeuchi A, Lin J, Yoshida T, Fujita Y., 2016. Synthesis of nitrogen-doped ZnO nanoparticles by RF thermal plasma. *Solid-State Electronics*, 118: 41-45.

Hussain I, Singh NB, Singh A, Singh H, Singh SC., 2016. Green synthesis of nanoparticles and its potential application. *Biotechnology Letters*, 38(4): 545-560.

Ijaz I, Gilani E, Nazir A, Bukhari A., 2020. Detail review on chemical, physical and green synthesis, classification, characterizations and applications of nanoparticles. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 13(3): 59-81.

Inbakandan D, Venkatesan R, Ajmal Khan S., 2010. Biosynthesis of gold nanoparticles utilizing marine sponge *Acanthella elongata* (Dendy, 1905). *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 81(2): 634-639.

Iqbal J, Abbasi BA, Mahmood T, Hameed S Munir A, Kanwal S., 2019. Green synthesis and characterizations of Nickel oxide nanoparticles using leaf extract of *Rhamnus virgata* and their potential biological applications. *Applied Organometallic Chemistry*, 33(8): e4950.

Kah M., 2015. Nanopesticides and nanofertilizers: Emerging contaminants or opportunities for risk mitigation?. *Frontiers in Chemistry*, 3: 64.

Karthik K, Shashank M, Revathi V, Tatarchuk T., 2018. Facile microwave-assisted green synthesis of NiO nanoparticles from *Andrographis paniculata* leaf extract and evaluation of their photocatalytic and anticancer activities. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 673(1): 70-80.

Kataria N, Garg VK., 2018. Green synthesis of Fe₃O₄ nanoparticles loaded sawdust carbon for cadmium (II) removal from water: Regeneration and mechanism. *Chemosphere*, 208: 818-828.

Kawasaki M, Nishimura N., 2006. 1064-nm laser fragmentation of thin Au and Ag flakes in acetone for highly productive pathway to stable metal nanoparticles. *Applied Surface Science*, 253(4): 2208-2216.

Khatami M, Sharifi I, Nobre MAL, Zafarnia N, Aflatoonian MR., 2018. Waste-grass-mediated green synthesis of silver nanoparticles and evaluation of their anticancer, antifungal and antibacterial activity. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 11(2): 125-134.

Kim YR, Park JI, Lee EJ, Park SH, Seong NW, Kim JH, Kim MK., 2014. Toxicity of 100 nm zinc oxide nanoparticles: A report of 90-day repeated oral administration in Sprague Dawley rats. *International Journal of Nanomedicine*, 9: 109-126.

Kumar V, Yadav SK., 2009. Plant-mediated synthesis of silver and gold nanoparticles and their applications. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 84(2): 151-157.

Lateef A, Ojo SA, Elegbede JA., 2016. The emerging roles of arthropods and their metabolites in the green synthesis of metallic nanoparticles. *Nanotechnology Reviews*, 5(6): 601-622.

Lengke MF, Fleet ME, Southam G., 2007. Biosynthesis of silver nanoparticles by filamentous cyanobacteria from a silver(I) nitrate complex. *Langmuir*, 23(5): 2694-2699.

Lingaraju K, Raja Naika H, Nagabhushana H, Jayanna K, Devaraja S, Nagaraju G., 2020. Biosynthesis of nickel oxide nanoparticles from *euphorbia heterophylla* (L.) and their biological application. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(3): 4712-4719.

Liu R, Lal R., 2015. Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of The Total Environment*, 514: 131-139.

Logeswari P, Silambarasan S, Abraham J., 2013. Ecofriendly synthesis of silver nanoparticles from commercially available plant powders and their antibacterial properties. *Scientia Iranica*, 20(3): 1049-1054.

Lotfy WA, Alkersh BM, Sabry SA, Ghozlan HA., 2021. Biosynthesis of silver nanoparticles by *aspergillus terreus*: characterization, optimization, and biological activities. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9: 633468.

Mafuné F, Kohno JY, Takeda Y, Kondow T, Sawabe H., 2001. Formation of gold nanoparticles by laser ablation in aqueous solution of surfactant. *Journal of Physical Chemistry B*, 105(22): 5114-5120.

Manosalva N, Tortella G, Cristina Diez M, Schalchli H, Seabra AB, Durán N, Rubilar O., 2019. Green synthesis of silver nanoparticles: effect of synthesis reaction parameters on antimicrobial activity. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 35(6): 1-9.

Mansoori GA., 2005. Principles of nanotechnology: molecular-based study of condensed matter in small systems. World Scientific, 1-341, Singapore.

Mitra D, Adhikari P, Djebaili R, Thathola P, Joshi K, Pellegrini M, Panneerselvam P., 2023. Biosynthesis and characterization of nanoparticles, its advantages, various aspects and risk assessment to maintain the sustainable agriculture: Emerging technology in modern era science. *Plant Physiology and Biochemistry*, 196: 103-120.

Mohammed ABA, Mohamed A, El-Naggar NEA, Mahrous H, Nasr GM, Abdella A, Ali AS., 2022. Antioxidant and antibacterial activities of silver nanoparticles biosynthesized by *moringa oleifera* through response surface methodology. *Journal of Nanomaterials*, 2022: 1-15.

Nadaroglu H, Alayli A, Nadaroglu H, Alayli Gungor A, Ince S., 2017. Synthesis of nanoparticles by green synthesis method. *International Journal of Innovative Research and Reviews*, 1(1): 6-9.

Nanda A, Saravanan M., 2009. Biosynthesis of silver nanoparticles from *Staphylococcus aureus* and its antimicrobial activity against MRSA and MRSE. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, 5(4): 452-456.

Narendhran S, Manikandan M, Baby Shakila P., 2019. Antibacterial, antioxidant properties of *Solanum trilobatum* and sodium hydroxide-mediated magnesium oxide nanoparticles: A green chemistry approach. *Bulletin of Materials Science*, 42(3): 1-8.

Nasrollahzadeh M, Mohammad Sajadi S., 2016. Pd nanoparticles synthesized in situ with the use of Euphorbia granulate leaf extract: Catalytic properties of the resulting particles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 462: 243-251.

Ogunyemi SO, Zhang F, Abdallah Y, Zhang M, Wang Y, Sun G, Li B., 2019. Biosynthesis and characterization of magnesium oxide and manganese dioxide nanoparticles using *Matricaria chamomilla* L. extract and its inhibitory effect on *Acidovorax oryzae* strain RS-2. *Artificial Cells, Nanomedicine and Biotechnology*, 47(1): 2230-2239.

Qu Y, Yu L, Zhu B, Chai F., 2020. Green synthesis of carbon dots by celery leaves for use as fluorescent paper sensors for the detection of nitrophenols. *New J. Chem.*, 44: 1500-1507.

Pal S, Tak YK, Song JM., 2007. Does the antibacterial activity of silver nanoparticles depend on the shape of the nanoparticle? A study of the Gram-negative bacterium *Escherichia coli*. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(6): 1712-1720.

Parveen K, Banse V, Ledwani L., 2016. Green synthesis of nanoparticles: Their advantages and disadvantages. *AIP Conference Proceedings*, 1724(1): 0200048.

Prabhu P, Rao M, Murugesan G., 2022. Synthesis, characterization and anticancer activity of the green-synthesized hematite nanoparticles. *Environmental Research*, 214(2): 113864.

Prasanth R, Dinesh Kumar S, Jayalakshmi A, Singaravelu G, Govindaraju K, Ganesh Kumar V., 2019. Green synthesis of magnesium oxide nanoparticles and their antibacterial activity. *Indian Journal of Geo Marine Sciences*, 48(8): 1210-1215.

Rakib-Uz-Zaman SM, Hoque Apu E, Muntasir MN, Mowna SA, Khanom MG, Jahan SS, Khan K., 2022. Biosynthesis of silver nanoparticles from *Cymbopogon citratus* leaf extract and evaluation of their antimicrobial properties. *Challenges*, 13(1): 18.

Ramalingam R, Fazil MHUT, Verma NK, Arunachalam KD., 2019. Green synthesis, characterization and antibacterial evaluation of electrospun nickel oxide nanofibers. *Materials Letters*, 256: 126616.

Rather MA, Deori PJ, Gupta K, Daimary N, Deka D, Qureshi A, Mandal M., 2022. Ecofriendly phytofabrication of silver nanoparticles using aqueous extract of *Cuphea carthagenensis* and their antioxidant potential and antibacterial activity against clinically important human pathogens. *Chemosphere*, 300: 134497.

Raveendran P, Fu J, Wallen SL., 2003. Completely “green” synthesis and stabilization of metal nanoparticles. *Journal of the American Chemical Society*, 125(46): 13940-13941.

Ray PC., 2010. Size and shape dependent second order nonlinear optical properties of nanomaterials and their application in biological and chemical sensing. *Chemical Reviews*, 110(9): 5332-5365.

Rotti RB, Sunitha DV, Manjunath R, Roy A, Mayegowda SB, Gnanaprakash AP, Khidir EB., 2023. Green synthesis of MgO nanoparticles and its antibacterial properties. *Frontiers in Chemistry*, 11: 1143614.

Santhoshkuma T, Rahuman A, Jayaseelan C, Rajakumar G, Marimuthu S, Kirthi AV, Kim SK., 2014. Green synthesis of titanium dioxide nanoparticles using *Psidium guajava*

extract and its antibacterial and antioxidant properties. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 7(12): 968-976.

Satyanarayana T., 2018. A review on chemical and physical synthesis methods of nanomaterials. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 6(1): 2885-2889.

Selim Y, Azb M, Ragab I., 2020. Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using aqueous extract of *deverra tortuosa* and their cytotoxic activities. *Nature*, 10: 3445.

Bhuiyan MSH, Miah MY, Paul SC, Aka TD, Saha O, Rahaman MM, Sharif MJI, Habiba O, Ashaduzzaman M., 2017. Green synthesis of iron oxide nanoparticle using *Carica papaya* leaf extract: application for photocatalytic degradation of remazol yellow RR dye and anti bacterial. *Heliyon*, 6: e04603.

Singh T, Singh A, Wang W, Yadav D, Kumar A, Singh PK., 2019a. Biosynthesized nanoparticles and its implications in agriculture. *Biological Synthesis of Nanoparticles and Their Applications*, 257-274.

Singh A, Joshi NC, Ramola M., 2019b. Magnesium oxide nanoparticles (MgONps): green synthesis, characterizations and antimicrobial activity. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 12(10): 4644-4646.

Siwal SS, Zhang Q, Devi N, Saini AK, Saini V, Pareek B, Thakur VK., 2021. Recovery processes of sustainable energy using different biomass and wastes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150: 111483.

Sondi I, Salopek-Sondi B., 2004. Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on *E. coli* as a model for Gram-negative bacteria. *Journal of Colloid and Interface Science*, 275(1): 177-182.

Sotiriou GA, Pratsinis SE., 2011. Engineering nanosilver as an antibacterial, biosensor and bioimaging material. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 1(1): 3-10.

Tarasenko NV, Butsen AV, Nevar EA, Savastenko NA., 2006. Synthesis of nanosized particles during laser ablation of gold in water. *Applied Surface Science*, 252(13): 4439.

Thiruvengadam M, Chung IM, Gomathi T, Ansari MA, Gopiesh Khanna V, Babu V, Rajakumar G., 2019. Synthesis, characterization and pharmacological potential of green synthesized copper nanoparticles. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 42(11): 1769-1777.

Tseng KH, Chou CJ, Liu TC, Haung YH, Chung MY., 2016. Preparation of Ag-Cu composite nanoparticles by the submerged arc discharge method in aqueous media. *Materials Transactions*, 57(3): 294-301.

Velmurugan P, Lee SM, Iydroose M, Lee KJ, Oh BT., 2012. Pine cone-mediated green synthesis of silver nanoparticles and their antibacterial activity against agricultural pathogens. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(1): 361-368.

Verma A, Mehata MS., 2016. Controllable synthesis of silver nanoparticles using Neem leaves and their antimicrobial activity. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 9(1): 109-115.

Vicario-Parés U, Castañaga L, Lacave JM, Oron M, Reip P, Berhanu D, Orbea A., 2014. Comparative toxicity of metal oxide nanoparticles (CuO, ZnO and TiO₂) to developing zebrafish embryos. *Journal of Nanoparticle Research*, 16(8): 1-16.

Vimala K, Sundarraaj S, Paulpandi M, Vengatesan S, Kannan S., 2014. Green synthesized doxorubicin loaded zinc oxide nanoparticles regulates the Bax and Bcl-2 expression in breast and colon carcinoma. *Process Biochemistry*, 49(1): 160-172.

Vinayagam R, Hebbar A, Kumar S, Rangasamy G, Varadavennkatesan T, Murugesan G, Srivastava S, Goveas LC, Kumar NM, Selveraj R., 2023. Green synthesized cobalt oxide nanoparticles with photocatalytic activity towards dye removal. *Environmental Research*, 216: 114766.

Vithiya K, Sen S., 2011. Biosynthesis of nanoparticles. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2(11): 2781-2785.

Vivek M, Kumar PS, Steffi S, Sudha S., 2011. Biogenic silver nanoparticles by *Gelidiella acerosa* extract and their antifungal effects. *Avicenna Journal of Medical Biotechnology*, 3(3): 143-148.

Wasilewska A, Klekotka U, Zambrzyckab M, Zambrowskib G, Święcickab I, Kalska-Szostkoa B., 2023. Physico-chemical properties and antimicrobial activity of silver nanoparticles fabricated by green synthesis. *Food Chemistry*, 400: 133960.

Yang N, Weihong L, Hao L., 2014. Biosynthesis of Au nanoparticles using agricultural waste mango peel extract and its in vitro cytotoxic effect on two normal cells. *Materials Letters*, 134: 67-70.

Yang X, Wang D, Luo N, Feng M, Peng X, Liao X., 2020. Green synthesis of fluorescent N, S-carbon dots from bamboo leaf and the interaction with nitrophenol compounds. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 239: 118462.

Zhang Z, Hu B, Zhuang Q, Wang Y, Luo X, Xie Y, Zhou D., 2020. Green synthesis of fluorescent nitrogen–sulfur co-doped carbon dots from scallion leaves for hemin sensing. *Analytical Letters*, 53(11): 1704-1718.

Zhu X, Zhu L, Duan Z, Qi R, Li Y, Lang Y., 2008. Comparative toxicity of several metal oxide nanoparticle aqueous suspensions to Zebrafish (*Danio rerio*) early developmental stage. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 43(3): 278-284.