

BÖLÜM 3

NANOPARTİKÜLLERİN *ALLIUM* TÜRLERİNDE KULLANIM ALANLARI

Arş. Gör. Berna ERGUN ÇETİN^{1*}

Doç. Dr. Faika YARALI KARAKAN¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8284924>

¹ Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Kilis, Türkiye.
bernae.cetin@kilis.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-6399-0916;
faikayarali@kilis.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-2176-8663

* Sorumlu yazar

GİRİŞ

Nanoteknoloji, nanopartikül (NP) ya da nanomateryal (NM) olarak bilinen, bilim ve teknoloji alanında farklı uygulamaları olan yeni bir araştırma alanıdır (Baranowska-Wójcik ve ark., 2020; Yin ve ark., 2020). Bu teknoloji sayesinde sıradan kimyasallar ve malzemeler nano boyutta tasarlanarak yeni ve benzersiz özellikler kazanmaktadır (Halıcı ve ark., 2021). Nanopartiküller, özellikle son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte endüstri, biyomedikal, sağlık ve tarım alanında önemli bir materyal haline gelmiştir (Saha ve Dutta, 2017; Singh ve ark., 2018; Yaqoob ve ark., 2020; Pandey, 2022). Nanopartiküllerin yüzey alanı, termal, elektronik, optik, iletkenlik gibi fizikokimyasal özellikleri makro ve mikro boyutlarına göre değişkenlik göstermektedir. ‘Nano’ kelimesi milyarda bir ya da 10^{-9} anlamına gelmekte (Akdemir, 2019) ve boyutu 1-100 nm arasında değişen partiküller veya atomik agregalar olarak tanımlanmaktadır (Kohl ve ark., 2020). Nanopartiküllerin boyutunun en fazla virüsler kadar olduğu, bakteri, kırmızı kan hücreleri, polen ve kum tanelerinin boyutlarından küçük olduğu bilinmektedir (Ismail ve ark., 2016). Bu özelliklerinden dolayı NP'ler hücre duvarından kolayca geçebilmektedir (Kashyap ve ark., 2015; Siddiqui ve ark., 2015). Nanopartiküller (NP'ler), sıradan formlarla karşılaştırıldıklarında sahip oldukları bu ultra ince boyutun yanı sıra, yüksek antimikrobiyal reaktivite, yüksek fotokatalitik aktivite, daha düşük erime noktası gibi benzersiz fizikokimyasal özellikler ile de ön plana çıkmaktadır (Sabir ve ark., 2014; Okan, 2020; Halıcı ve ark., 2021).

Hem pozitif hem de negatif morfolojik ve fizyolojik değişikliklere neden olan nanopartiküllerin bitkiler üzerinde oluşturduğu etki; nanopartikülün cinsine, boyutuna, yüzey kaplamasına, konsantrasyonuna, uygulanma şekline ve süresine, bitki genotipine, yaşına ve gelişme evresine bağlı olarak değişmektedir (Barrena ve ark., 2009; Siddiqui ve ark., 2015).

Artan nüfusun besin ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla tarımsal üretimde verimin arttırılması, buna bağlı olarak gıda güvenliğinin sağlanması ve bahçe bitkileri üretiminde yenilikçi teknolojilerin kullanılması kaçınılmaz hale gelmiştir (Nechitailo ve ark., 2018; Kızılırmak, 2022). Nitekim 2000' li yılların başında, pek çok ülkenin nanoteknolojiyi araştırma programlarına almasıyla birlikte nano dönem başlamıştır (Roco, 2003). Nanomalzeme temelli teknoloji, sınırlı gıda ve su kaynakları ile artan küresel zorlukları çözmek için her geçen gün daha da büyümektedir (Sabir ve ark., 2014; Wang ve ark., 2016).

Günümüzde nanoteknoloji, tarımsal ürün verimliliğini önemli ölçüde arttırmada potansiyel bir çözüm olarak görülmektedir. Bu doğrultuda nano-enkapsülasyon gübreler ve nanopartiküllerin uygulanması ile gübreler kontrollü şekilde salınabilmektedir. Yapılan araştırmalarda, nano-enkapsülasyon gübrelerin fide büyümesi, gelişimi, biyokütle ve tohum verimi üzerinde oldukça olumlu etkilerinin olduğu bildirilmiştir. Nanopartiküllerin tarımsal üretimde verimi arttırmada ve çevre sorunlarının çözümünde potansiyel kullanım alanı bulmaları, yüzeylerindeki reaktif alanların yoğunluğunun yüksek olmasından kaynaklanmaktadır (Işıldak, 2022). Nanopartiküller antifungal ve

antiviral özellik göstermekte ve bu özellikleri sayesinde tarımda gübre, pestisit ve bitki büyümesini düzenleyici olarak da kullanılmaktadır (Ghidan ve ark., 2017; Sarı, 2019). Yapılan araştırmalarda, toplam nano ürün üretiminin yaklaşık %9' unun nanopestisit, nanoherbisit ve nanogübre olarak tarımda kullanılabileceği bildirilmiştir (White ve Gardea-Torresdey, 2018; Wang ve ark., 2020). Nanogübreler makro besinler ve/veya tuzlar gibi mikro elementler içeren geleneksel mineral gübrelerden daha etkili olmalarının yanı sıra çevresel olarak da daha güvenlidir. Nanogübreler yüksek besin biyoyararlılığına sahip, yavaş ve uzun süreli etki eden, çevreye kontrollü salınan gübrelerdir (DeRosa ve ark., 2010; Singh, 2017). Au, Cu, Fe, Si, SiO₂ ve ZnO gibi NP' ler, tohumun çimlenme kapasitesi ve hızında; bitkinin kök ve sürgün gelişiminde, verim, solunum, terleme, fotosentez, klorofil içeriği gibi fizyolojik süreçlerde olumlu veya olumsuz değişikliklere neden olmaktadır (Lin ve Xing, 2007; Yin ve ark., 2012; Sanzari ve ark., 2019).

Bitki biyoteknolojisinde kullanılan nanopartiküller, üretici hücre kültürlerinde biyolojik olarak aktif maddelerin sentezini düzenlemede (Kopach ve ark., 2013; Javed ve ark., 2017); biyobelirteç olarak bakteri, virüs ve mantarların saptanmasında (Wang ve ark., 2017); DNA' nın hücrelere taşınmasında (Zarei ve ark., 2019), nanosensör olarak pestisitlerin tespitinde (Yan ve ark., 2018), bitki bünyesinde besin maddelerinin ve pestisitlerin taşınmasında kullanılmalarının yanı sıra, bitki büyüme ve gelişimini teşvik etmek, abiyotik ve biyotik strese karşı bitki direncini arttırmak amacıyla biyosensör olarak da

kullanılmaktadır (León-Silva ve ark., 2018; Zhao ve ark., 2020). Nitekim yapılan araştırmalarda Ag NP uygulamalarının soğan ve sarımsakta baş gelişimine olumlu etkisinin olduğu bu nedenle nanogübre olarak kullanılabileceği ve beyaz çürüklük hastalığına karşı da nanofungisit olarak değerlendirilebileceği tespit edilmiştir (Jasim ve Abd-Ali, 2020).

1. *ALLIUM* TÜRLERİNDE KULLANILAN BAZI NANOPARTİKÜLLER

Dünyada sebze üretiminde oldukça önemli bir yer tutan *Allium* türleri, ülkemiz için de ticari önem taşımaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre ülkemizde toplam 31.748.214 ton sebze üretimi yapılmakta olup, *Allium* türlerinin toplam sebze üretimi içindeki payı 3.018.448 ton ile %9.5' dir. Bu türler arasında soğan (*Allium cepa* L.) 769.669 da alan ve toplam 2.626.185 ton üretim ile ilk sırada yer alırken, sarımsak (*Allium sativum* L.) 179.071 ton ile ikinci sırada, pırasa (*Allium porrum* L.) ise 213.192 ton' luk üretim değeriyle üçüncü sırada yer almaktadır (TÜİK, 2022).

Farklı kullanım alanı bulunan nanomateriyaller karbon bazlı, metal bazlı, dendrimerler ve kompozitler olmak üzere dört gruba ayrılmaktadır (Yu-Nam ve Lead, 2008). Dünya çapında en çok üretilen ve kullanım alanı bulan nanopartiküller arasında çinko, altın, gümüş ve bakır nanopartikülleri yer almaktadır (Khot ve ark., 2012).

1.1. Çinko Oksit Nanopartikülleri (ZnO NP)

Beyaz, toz halinde görünen inorganik bir bileşiktir ve hem kimyasal yöntemlerle (çökeltme, buhar taşıma ve hidrotermal) hem de farklı bitki özleri kullanılarak biyolojik yöntemlerle sentezlenebilmektedir (Sabir ve ark., 2014; Ali ve ark., 2018). Metalik çinko, çok çeşitli enzimatik ve fizyolojik süreçlerde yer alan bitki büyüme ve gelişmesinde rol alan temel bir mikro besindir (Misra ve ark., 2005). Çinko; karbonhidrat metabolizmasında, protein ve nükleik asit sentezinde (Hänsch ve Mendel, 2009), hücre bölünmesinde (Li ve ark., 2017), oksin ve giberellin biyosentezinde görev almasının yanı sıra; abiyotik ve biyotik stres faktörlerine karşı da aktif rol oynamaktadır (Cakmak, 2000; Sedghi ve ark., 2013; Eisvand ve ark., 2018). Bitki büyüme ve gelişmesini uyaran ZnO NP' lerinin etkileri nanopartikül boyutuna, uygulama dozuna ve genotipe bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Siddiqui ve ark., 2015). Düşük konsantrasyonlarda uygulanan ZnO NP' leri hücre bölünmesini, tohum çimlenmesini ve fide büyümesini artırırken; daha yüksek konsantrasyonlarda mitotik indekste ve tohum çimlenme oranında azalma ile kromozomal anomalilerinin artmasına neden olmaktadır (Raskar ve Laware, 2014; Hou ve ark., 2018).

Yapılan araştırmalarda, ZnO NP' lerin antifungal ve antibakteriyel etki gösterdiği, bu nedenle çeşitli bitki patojenlerinin yayılımını ve neden oldukları enfeksiyonları kontrol etmek amacıyla da kullanılabilecekleri bildirilmiştir (Helaly ve ark., 2014; Santhoshkumar ve ark., 2017; Singh ve ark., 2018). Nitekim Jasim ve Abd-Ali (2020),

kırmızı soğan özütü ve ZnO NP' lerinin *Cryptococcus neoformans* ve *Bacillus subtilis* bakterilerine karşı antimikrobiyal aktivite gösterdiklerini tespit etmişlerdir.

1.2. Gümüş Nanopartikülleri (Ag NP)

Gümüş nanopartikülleri yaygın olarak kullanılan ticarileştirilmiş nanoparçacıklardır (Ahmed ve ark., 2018). Yüksek antimikrobiyal ve antikanser özellik gösteren gümüş nanopartikülleri, bu özellikleri nedeniyle sağlık, kozmetik, tekstil gibi birçok alanda kullanım olanağı bulmaktadır (Beykaya ve Çağlar, 2016). Tarımda Ag NP' leri antibakteriyel, antiviral, antifungal, büyüme destekleyicileri olarak ve meyve olgunlaşma ajanlarının üretiminde kullanılmaktadır (Vinković ve ark., 2017; Khan ve ark., 2019). Ancak, bitki hastalıklarına ve toprak patojenlerine karşı yüksek etki gösteren Ag NP' lerinin yoğun kullanımı mikroorganizmalarda direnç gelişimine de yol açabilmektedir (Barros ve ark., 2018).

Ag NP' ler, mikrobiyal membranlarla reaksiyona girerek bu yapılara zarar veren ve bakterileri etkisiz hale getiren reaktif oksijen türlerini (ROT) üretir. ROT konsantrasyonu antioksidan kapasiteyi aştığında hücrelerin lipid, protein, DNA ve enzim yapıları ile etkileşime girerek toksik etki göstermektedir (Eraslan, 2020). Yapılan araştırmalarda nanogübre olarak kullanılan Ag NP' lerin, soğan ve sarımsakta bitki büyümesi ve verimi olumlu yönde etkilediği, ayrıca beyaz çürüklük hastalığına karşı nanofungisit olarak da kullanılabileceği bildirilmiştir (Darwesh ve Elshahawy, 2021). Bunlara ilave olarak, özellikle stres koşulları altındaki bitkilere uygulanan Ag

NP' lerin pestisitlerin ve yüksek konsantrasyonlu mineral gübrelerin kullanımını azaltabileceği de ifade edilmiştir (Jaskulski ve ark., 2022).

1.3. Bakır Nanopartikülleri (Cu NP)

Bakır nanopartikülleri optik, katalitik, mekanik ve elektriksel özelliklerinden dolayı büyük ilgi görmektedir. Bakır, altın ve gümüş gibi soy metallere göre oldukça iletken ve ekonomik olduğu için iyi bir alternatif malzemedir (Moya ve ark., 2006). Bakır birçok protein ve enzimde bulunan temel bir mineraldir ve bitki beslenmesinin yanında antifungal özellik göstermesi nedeniyle, bitki koruma formülasyonlarında da yaygın olarak kullanılmaktadır (Rawat ve ark., 2018). Güçlü bir antibakteriyel aktiviteye sahip olan Cu NP' leri mikroorganizma varlığını %99.9 oranında azaltabilme özelliklerinden dolayı bakterisit ajan olarak kullanılabilir (Subhankari ve Nayak, 2013). Bu nedenle, bitkiler için temel mikro besin olmasının yanı sıra önemli fizyolojik ve biyolojik işlevler için de gereklidir (Javed ve ark., 2017; Vishveshvar ve ark., 2018).

Yapılan araştırmalarda Cu NP uygulamalarının soğan verimini %31 oranında arttırdığı bildirilmiştir (Fouda, 2016). Üç farklı Cu formu uygulamasının (CuO, CuO NP' ler ve CuSO₄) karşılaştırıldığı farklı bir araştırmada da CuO NP uygulamasının *Allium fistulosum*' un allisin içeriğini ve besin değerlerini arttırdığı (Wang ve ark., 2020), düşük dozda (10 ppm) kullanılan CuO NP' lerinin ise yüksek dozda kullanılan CuSO₄ ve şelata (20 ppm) göre bitki boyu, yaprak sayısı, taze ve kuru ağırlık, verim ve baş kalitesi gibi büyüme parametrelerinin yanı sıra, makro ve mikro besin elementi içeriği, fitokimyasal bileşikler,

vitaminler ve amino asitler gibi kimyasal bileşenleri önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir (Mottaleb ve ark., 2021).

1.4. Altın Nanopartikülleri (Au NP)

Altın nanopartikülleri hemen hemen tüm moleküller veya biyomoleküller ile kolaylıkla işlevselleşebilme özellikleri sayesinde nanoelektronik, biyomedikal, nanocihazlar ve bitki biyosentezi gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır (Siddiqi ve Husen, 2017; Vijayaraghavan ve Ashokkumar, 2017). Yapılan araştırmalarda Au NP'lerin bitki büyümesi ve gelişimini olumlu yönde etkilediği ve antimikrobiyal özelliği olduğu belirtilmiştir (Sreelakshmi ve ark., 2011; Kumar ve ark., 2012; Ahmed ve ark., 2014). Ayrıca meyve ve sebzelerin kalite ve verimini artırmak için bitkilere Au NP'lerin uygulanabileceği, buna karşın yüksek altın konsantrasyonlarının (100 mg mL⁻¹) fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler düzeyde değişiklik meydana getirebileceği bildirilmiştir (Jain ve ark., 2014). Nitekim Acharya ve ark. (2019), Au NP uygulamasının soğan tohumlarında çimlenmeyi kontrole kıyasla %63.2, soğan verimini ise %23.9 oranında arttırdığını tespit etmişlerdir.

2. NANOPARTİKÜL UYGULAMA YÖNTEMLERİ

2.1. Yapraktan Uygulama

Nanopartiküllerin en önemli avantajlarından biri sentetik gübrelerden kaynaklanan toprak kirliliği ve beraberinde meydana gelebilecek diğer çevresel sorunların azaltılabilmesine olanak sağlamasıdır (Kah ve ark., 2018). Yapraktan veya toprağa uygulanan şelatlı yada sülfatlı gübrelerin bitki bünyesine alımı istenilen düzeyde

olmamaktadır (Fageria ve ark., 2002). Buna karşın, nanometre ölçeğinde küçültülmüş boyutları sayesinde nano gübrelerin etkileri artmakta böylelikle bitki bünyesine alımı da kolaylaşmaktadır (Singh, 2017). Yapraktan nano gübre uygulaması bitkilerin gerek duyduğu besinlerin kademeli ve kontrollü şekilde verilmesine olanak sağladığı için daha etkili olmaktadır (Kah ve ark., 2018). Ayrıca bu yöntem hem topraktan yapılan uygulamalara hem de geleneksel uygulamalara göre daha az gübre kullanımına neden olmaktadır (Davarpanah ve ark., 2016; Rossi ve ark., 2019) Yaprak yüzeyine uygulanan nanopartiküller stomalardan veya trikom tabancaları aracılığı ile çeşitli dokulara translokasyon yoluyla nüfuz ettirilmektedir (Corredor ve ark., 2009). Yapılan araştırmalar nanoparçacıkların canlı bitkilerin hücrelerine girebildiğini ve vasküler sistem aracılığıyla bitki bünyesinde hareket edebildiğini ortaya koymuştur. Örneğin, yaprak sapına enjekte edilen nanopartiküllerin bitki dokusunda nasıl ilerlediğini tespit etmek amacıyla 24, 48 ve 168 saat sonra yapılan ölçümlerde, uygulamadan 24 saat sonra nanopartiküllerin gövdenin epidermisine, 48 saat sonra gövde parankiminin iç kısmına ve ksilemi çevreleyen dokulara ulaştığı tespit edilmiş, ancak 168 saat sonra yaprak ve gövdede nanoparçacık kalıntısına rastlanmadığı bildirilmiştir (Corredor ve ark., 2009). Benzer çalışmalarda da, yapraktan uygulanan nanopartiküllerin farklı meyve ve sebze türlerinde meyve verimi ve kalitesini arttırdığı (Davarpanah ve ark., 2016; Mottaleb ve ark., 2021; Kızılırmak, 2022); ZnO NP' lerin çinko sülfata göre daha fazla yaprak penetrasyonu nedeniyle bitkilerin büyüme ve diğer fizyolojik faaliyetlerinde daha etkili olduğu bildirilmiştir (Lopez-Vargas ve ark., 2018).

2.2. Topraktan Uygulama

Nanopartiküller, bitkilere toprak üstü aksamlarından ya da köklerinden bitki hücre duvarlarının gözenek boyutuna bağlı olarak girmektedir (Dietz ve Herth, 2011). Küçük nanopartiküller bu tabakadan geçebilmekte ve daha büyük nanopartiküllere göre daha kolay plazma zarına ulaşabilmektedir (Rastogi ve ark., 2017). Nanoparçacıkların bitki bünyesinde dağılımını ve yer değiştirmesini sağlayan en önemli araçların floem ve ksilem olduğu bildirilmiştir (Cifuentes ve ark., 2010). Nanoparçacıklar kök epidermisinin hücre duvarına ve hücre zarına nüfuz edererek, bitki iletim demetine girmekte ve yapraklara taşınmak üzere semplastik olarak hareket etmektedir (Tripathi ve ark., 2017). Bununla birlikte, NP' ler bozulmamış hücre zarını geçmek için, hücre zarı üzerindeki gözenekler yoluyla hareket ettiklerinden, nanomateryal alımı nanopartikülün boyutuna bağlı olarak değişmektedir. Buna karşın, hücre duvarından geçemeyecek kadar büyük boyuttaki nanopartiküller aquaporinler, endositozlar, membran taşıma sistemleri, ortamdaki organik kimyasallar veya taşıyıcı proteinler aracılığıyla bitki kök hücrelerine girebilmektedirler (Gojon ve ark., 2009; Ma ve ark., 2010; Miwa ve ark., 2010; Rico ve ark., 2011; Tripathi ve ark., 2017). Jahangir ve Javed (2020), toprağa 5 mg mL⁻¹ dozunda uygulanan Ag NP' lerinin tuz stresi altındaki soğanda toplam klorofil, karotenoid, protein, şeker ve prolin içeriğini artırdığını, buna karşın yapraklarda flavonoid miktarını azalttığını bildirmişlerdir. Moghaddasi ve ark. (2017), topraktan ZnO NP uygulaması yapılmadan önce toprağı çiftlik gübresi ile işlemenin Zn yararlılığını artırdığını,

dolayısıyla ZnO' in topraktaki dağılımının Zn kaynağı ve toprak organik madde içeriğine bağlı olarak değiştiğini tespit etmişlerdir.

2.3. Fertigasyon Yöntemi ile Uygulama

Bu yöntemde nanopartiküller belli bir oranda saf su ile karıştırılarak bitkiye verilmektedir. Soğanda yapılan çalışmalarda, 25 ve 50 $\mu\text{g mL}^{-1}$ Ag NP uygulamalarının bitki boyu, gövde çapı ve yaprak genişliği üzerine olumlu etki gösterdiği tespit edilmiştir (Akhoundnejad ve Karakaş, 2021). Wang ve ark. (2020), 75-300 mg kg^{-1} CuO NP uygulamalarının yeşil soğanda (*Allium fistulosum*) allisin ve esansiyel element (Ca, Fe, Mg, Mn ve Ni) içeriğini artırdığını, bu nedenle CuO NP' lerinin soğan üretimi için nanogübre olarak kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

2.4. Priming Uygulamaları

Tohumlarda çimlenmeyi uyarabilmek amacıyla yapılan priming uygulamalarının fizyolojik temeli, tohumlara su veya osmotik bir solüsyon ile muamele ederek tohumda biyokimyasal aktivasyonu başlatmaktır (Okan, 2020). Bu amaçla büyümeyi düzenleyici madde, biyo, organik ve termo priming uygulamaları yapılmaktadır. Priming uygulamaları ile çimlenme ve çıkış oranını artırmak, çıkış süresini kısaltmak, çimlenme sırasında tohumdaki besin maddelerinin verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamak, güçlü fide elde etmek, sıcaklık, tuzluluk ve kuraklık gibi çeşitli stres koşullarına dayanımı arttırmak amaçlanmaktadır.

Tohumlara yapılan priming uygulamalarında tohumlar nanopartikül ve su karışımının içerisinde bekletilerek tohum çimlenmesi ve fide gelişimi arttırılmaktadır. Raskar ve Laware (2014), ZnO NP' lerinin 10 ve 20 $\mu\text{g mL}^{-1}$ dozlarının soğanda tohum çimlenmesi, sürgün uzunluğu, kök uzunluğu ve çıkış üzerine olumlu etkilerinin olduğunu, buna karşın 40 $\mu\text{g mL}^{-1}$ uygulamasının ise olumsuz etki gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Soğan, nanopartiküllerin genetik toksikolojisini incelemek için kullanılabilecek en iyi model bitkilerden biridir (Kumari ve ark., 2011). Soğan köklerine uygulanan NP' lerin, soğan kök morfolojisi üzerine etkisi uygulanan doza ve süreye bağlı olarak değişmektedir (Sun ve ark., 2019).

Nitekim soğan başlarına farklı dozlarda uygulanan (0, 20, 200 ve 2000 $\mu\text{g mL}^{-1}$) CuO, Al₂O₃ ve TiO₂ NP' lerinin genetik ve sitogenetik etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, bu çözeltilerde 12 saat bekletilen soğan başlarının kök hücreleri ve meristemlerinde oksidatif bozulmaya neden olan reaktif oksijen türlerinin (ROT) üretiminin arttığı bildirilmiştir (Ahmed ve ark., 2018). Benzer şekilde 24 saat boyunca 50 mg L^{-1} ZnO NP' lerine maruz kalan sarımsak bitkilerinde de kök büyümesinin tamamen durduğu (Shaymurat ve ark., 2012), 48 saat süreyle ZnO NP' lerine maruz kalan soğan köklerindeki meristematik hücrelerin kromozomlarında hücre hasarlarının meydana geldiği ve köklerin biyolojik işlevlerinin olumsuz etkilendiği tespit edilmiştir (Sampaio ve ark., 2020). 12, 24 ve 36 saat süreyle uygulanan farklı dozlardaki (5 ve 50 $\mu\text{g mL}^{-1}$) ZnO NP' lerinin soğanın kök

meristemlerinde sitotoksisite, genotoksisite, hücre zarı bütünlüğü, metabolik aktivite, reaktif oksijen birikimi ve DNA hasarı üzerine etkilerini inceleyen

Sun ve ark. (2019) ise, 5 ve 50 $\mu\text{g mL}^{-1}$ uygulamalarının ZnO NP'lerinin kök büyümesini azalttığını, 36 saat 50 $\mu\text{g mL}^{-1}$ doza maruz kalan köklerde sitotoksik ve genotoksik etkilerin en fazla olduğunu bildirirken, kök uçlarında şişkinlik, yumuşak ve kırılgan yapı gözlemlendiğini tespit etmişlerdir.

Farklı sürelerde (2, 4 ve 6 saat) uygulanan 0, 5, 10, 20, 40 ve 80 mg L^{-1} Ag NP'lerinin soğan kök uçlarında hücre ölümüne neden olduğu ve meydana gelen hasarın uygulama dozu ve süresinin artmasıyla arttığı (Heikal ve ark., 2020), 75 ppm uygulamasının kromozomal kırılmalara, 100 ppm uygulamasının ise hücrelerin çoğunda hücre duvarlarının tamamen parçalanmasına neden olduğu (Kumari ve ark., 2009), 72 saat süreyle farklı dozlarda (25, 50, 75 ve 100 $\mu\text{g L}^{-1}$) hazırlanan Ag NP'lerinin sulu çözeltileri içerisinde bekletilen soğan başlarında kök büyümesinin azaldığı ve oksidatif hasarın başladığı, meydana gelen toksisitenin uygulama dozunun artmasıyla arttığı (Cvjetko ve ark., 2017), farklı konsantrasyonlarda (1.0, 1.5 ve 2.0 ppm) uygulanan Cu NP'lerinin soğanda sitotoksisite ve genotoksisiteyi arttırdığı, buna karşın nanopartikül dozunun artmasıyla mitotik indeksin önemli ölçüde azaldığı ve anormallik oranının arttığı bildirilmiştir (Paredes ve ark., 2020).

2.5. *In Vitro* Uygulamalar

In vitro NP uygulamaları özellikle NP' lerin tohum çimlenmesi ve fide gelişimi üzerine etkilerini araştırmaya yoğunlaşmıştır. Örneğin, MS ortamına farklı konsantrasyonlarda (50, 100, 200, 400, 800, 1600 ve 3200 mg L⁻¹) ilave edilen ZnO NP' lerinin soğan tohumlarında çimlenme oranını arttırdığı ve en iyi çimlenmenin 800 mg L⁻¹ ZnO NP dozundan elde edildiği bildirilmiştir (Tymoszuk ve Wojnarowicz, 2020). *In vitro* çalışmalarda sorun olan bakteriyel kontaminasyonların önüne geçebilmek için çoğunlukla antibiyotikler kullanılmaktadır. Ancak bu antibiyotikler fitotoksik etki göstererek eksplant/bitki gelişimini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu sorunun çözümüne yönelik olarak çeşitli mikroorganizmaları yok etmede metal ve metal oksit nanopartiküllerin yararlı etkileri olduğu bildirilmiştir (Wang ve ark., 2017).

3. DİĞER ÇALIŞMALAR

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, son yıllarda çevre dostu, düşük toksisite gösteren canlı hücrelerden nanopartikül üretimini esas alan “Yeşil Nanoteknoloji” kavramı dikkat çekmektedir. Bu kavram ile, çevresel atıkların oluşturduğu sorunların çözülmesine yardımcı olan, insan, hayvan ve çevre sağlığı açısından risk teşkil etmeyen teknikler ifade edilmektedir. Yeşil nanoteknoloji kapsamında özellikle yeşil bitki ekstraktları ve mikroorganizmalar kullanılmaktadır (Beykaya ve Çağlar, 2016; Yavuz ve Yılmaz, 2021). Bitki ve mikroorganizmalarda bulunan proteinler, enzimler, fenolik bileşikler, aminler, alkaloidler gibi moleküller indirgenerek, NP üretimi gerçekleştirilmektedir (Shah

ve ark., 2015; Parveen ve ark., 2016). Nanopartiküllerin sentezlenmesinde farklı bitkiler kullanılmaktadır. Örneğin, Ag NP sentezlenmesinde soğan, çöl çiçeği, çay, pervane çiçeği, portakal, yaban mersini, karabiber, tespih ağacı, hint lotusu, orman gülleri gibi bitkiler kullanılabilir (Kumar ve ark., 2013). Yeşil sentez yolu ile NP elde etmek için bitkinin, gövde, yaprak, çiçek, meyve, kök, lateks, tohum ve tohum kabuğu gibi farklı bitki parçaları kullanılmaktadır. Bu bitki kısımlarının kullanılmasının avantajı, tüm bitkilerin kullanılmasından daha kolay ve daha az maliyetli olmalarıdır (Beattie ve Haverkamp, 2011; Çiftçi ve ark., 2021). Ag NP sentezinde karabiber (*Piper nigrum*) bitkisinin yaprak, kök ve gövde özlerini kullanan Paulkumar ve ark., (2014), yaprak ekstraktlarında 2, gövde ekstraktlarında 4 saatte nanopartikül sentezinin tamamlandığını ve yapraktan sentezlenen Ag NP boyununun 4-50 nm, kökten sentezlenenlerin ise 9-30 nm arasında olduğunu bildirmişlerdir. Nadaroglu ve ark. (2023), yeşil sentez yolu ile sentezlenen soğan yapraklarından NP elde edildiğini ve bu NP'lerin yüksek derecede antioksidant aktivite sergilediklerini tespit etmişlerdir. Yapılan araştırmalarda soğan yaprakları kullanılarak gümüş nitratin ($AgNO_3$) indirgenebileceği ve gümüş nanoparçacıkların sentezi için kullanılabileceği ve *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*' a karşı antimikrobiyal olarak kullanılabileceği bildirilmiştir (Saxena ve ark., 2010).

KAYNAKLAR

- Acharya, P., Jayaprakasha, G.K., Crosby, K.M., Jifon, J.L., & Patil, B.S. (2019). Green-synthesized nanoparticles enhanced seedling growth, yield, and quality of onion (*Allium cepa* L.). ACS Sustainable Chemistry and Engineering, 7(17): 14580-14590.
- Ahmed, K.B.A., Subramanian, S., Sivasubramanian, A., Veerappan, G., & Veerappan, A. (2014). Preparation of gold nanoparticles using *Salicornia brachiata* plant extract and evaluation of catalytic and antibacterial activity. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 130: 54-58.
- Ahmed, B., Shahid, M., Khan, M.S., & Musarrat, J. (2018). Chromosomal aberrations, cell suppression and oxidative stress generation induced by metal oxide nanoparticles in onion (*Allium cepa*) bulb. Metallomics, 10(9): 1315-1327.
- Akdemir, Ö.F. (2019). Bazı nanopartiküllerin *in vitro* ortamda yetiştirilen *Hypericum perforatum* L. ve *Hypericum retusum aucher*' in hiperisin bileşiklerinin miktarı üzerine etkileri. Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Akhoundnejad, Y., & Karakaş, Ö. (2021). Responses of *Allium cepa* L. exposed to silver nanoparticles. International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences, 5(4): 599-605.
- Ali, A., Phull, A.R., & Zia, M. (2018). Elemental zinc to zinc nanoparticles: Is ZnO NPs crucial for life? Synthesis, toxicological, and environmental concerns. Nanotechnology Reviews, 7(5): 413-441.
- Baranowska-Wójcik, E., Szwajgier, D., Oleszczuk, P., & Winiarska-Mieczan, A. (2020). Effects of titanium dioxide nanoparticles exposure on human health-a review. Biological Trace Element Research, 193(1): 118-129.
- Barrena, R., Casals, E., Colón, J., Font, X., Sánchez, A., & Puentes, V. (2009). Evaluation of the ecotoxicity of model nanoparticles. Chemosphere, 75(7): 850-857.

- Barros, C.H., Fulaz, S., Stanisic, D., & Tasic, L. (2018). Biogenic nanosilver against multidrug-resistant bacteria (MDRB). *Antibiotics*, 7(3): 69.
- Beattie I.R., & Haverkamp R.G. (2011). Silver and gold nanoparticles in plants: sites for the reduction to metal. *Metallomics*, 3(6): 628-632.
- Beykaya, M., & Çağlar, A. (2016). Bitkisel özütler kullanılarak gümüş nanopartikül (Ag NP) sentezlenmesi ve antimikrobiyal etkinlikleri üzerine bir araştırma. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(3): 631-641.
- Cakmak, I. (2000). Role of zinc in protecting plant cells from reactive oxygen species. *New Phytologist*, 146: 185-205.
- Cifuentes, Z., Custardoy, L., de la Fuente, J.M., Marquina, C., Ibarra, M.R., Rubiales, D., & Pérez-de-Luque, A. (2010). Absorption and translocation to the aerial part of magnetic carbon-coated nanoparticles through the root of different crop plants. *Journal of Nanobiotechnology*, 8(1): 1-8.
- Corredor, E., Testillano, P.S., Coronado, M.J., González-Melendi, P., Fernández-Pacheco, R., Marquina, C., & Risueño, M.C. (2009). Nanoparticle penetration and transport in living pumpkin plants: in situsubcellular identification. *BMC Plant Biology*, 9(1): 1-11.
- Cvijetko, P., Milošić, A., Domijan, A.M., Vrček, I., Tolić, S., Štefanić, P.P., & Balen, B. (2017). Toxicity of silver ions and differently coated silver nanoparticles in *Allium cepa* roots. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 137: 18-28.
- Çiftçi, H., Çalışkan, Ç.E., Öztürk, K., & Yazıcı, B. (2021). Yeşil yöntemle sentezlenen biyoaktif nanopartiküller. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 4(1): 29-42.
- Darwesh, O.M., & Elshahawy, I.E. (2021). Silver nanoparticles inactivate sclerotial formation in controlling white rot disease in onion and garlic caused by the soil borne fungus *Stromatinia cepivora*. *European Journal of Plant Pathology*, 160(4): 917-934.
- Davarpanah, S., Tehranifar, A., Davarynejad, G., Abadía, J., & Khorasani, R. (2016). Effects of foliar applications of zinc and boron nano-fertilizers on pomegranate

- (*Punica granatum* cv. Ardestani) fruit yield and quality. *Scientia Horticulturae*, 210: 57-64.
- DeRosa, M.C., Monreal, C., Schnitzer, M., Walsh, R., & Sultan, Y. (2010). Nanotechnology in fertilizers. *Nature Nanotechnology*, 5(2): 91.
- Dietz, K.J., & Herth, S. (2011). Plant nanotoxicology. *Trends in Plant Science*, 16(11): 582-589.
- Eisvand, H.R., Kamaei, H., & Nazarian, F. (2018). Chlorophyll fluorescence, yield and yield components of bread wheat affected by phosphate bio-fertilizer, zinc and boron under late-season heat stress. *Photosynthetica*, 56(4): 1287-1296.
- Eraslan, T. (2020). *Daphne oleoides*'den sentezlenen gümüş nanopartiküllerin antioksidan aktivitesinin değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Fageria, N.K., Baligar, V.C., & Clark, R.B. (2002). Micronutrients in crop production. *Advances in Agronomy*, 77: 185-268.
- Fouda, K.F. (2016). Response of onion yield and Its chemical content to NPK fertilization and foliar application of some micronutrients. *Egyptian Journal of Soil Science*, 56(3): 549-561.
- Ghidan, A.Y., Al-Antary, T.M., Awwad, A.M., & Akash, M.W. (2017). Aphidicidal potential of green synthesized magnesium hydroxide nanoparticles using *Olea europaea* leaves extract. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*, 12(10): 293-301.
- Gojon, A., Nacry, P., & Davidian, J.C. (2009). Root uptake regulation: a central process for NPS homeostasis in plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 12(3): 328-338.
- Halıcı, A., Seyrek, A., Aykan, K., Ünal, F., & Yüzbaşıoğlu, D. (2021). Nanopartiküllerin genotoksik etkileri. *Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi*, 2(2).19-38.
- 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.

- Heikal, Y.M., Şuţan, N.A., Rizwan, M., & Elsayed, A. (2020). Green synthesized silver nanoparticles induced cytogenotoxic and genotoxic changes in *Allium cepa* L. varies with nanoparticles doses and duration of exposure. *Chemosphere*, 243.
- Helaly, M.N., El-Metwally, M.A., El-Hoseiny, H., Omar, S.A., & El-Sheery, N.I. (2014). Effect of nanoparticles on biological contamination of *in vitro* cultures and organogenic regeneration of banana. *Australian Journal of Crop Science*, 8(4): 612-624.
- Hou, J., Wu, Y., Li, X., Wei, B., Li, S., & Wang, X. (2018). Toxic effects of different types of zinc oxide nanoparticles on algae, plants, invertebrates, vertebrates and microorganisms. *Chemosphere*, 193: 852-860.
- Ismail, M., Gul, S., Khan, M.A. & Khan, M. (2016). Plant mediated green synthesis of anti-microbial silver nanoparticles a review on recent trends. *Reviews in Nanoscience and Nanotechnology*, 5(2): 119-135.
- Işıldak, Y. (2022). Farklı büyüklükteki bakır oksit nanopartiküllerinin *Cucumis sativus* ve toprak enzimleri üzerine etkilerinin değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Jahangir, S., & Javed, K. (2020). Nanoparticles and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) modulate the physiology of onion plant under salt stress. *Pakistan Journal of Botany*, 52(4): 1473-1480.
- Jain, A., Sinilal, B., Starnes, D. L., Sanagala, R., Krishnamurthy, S., & Sahi, S.V. (2014). Role of Fe-responsive genes in bioreduction and transport of ionic gold to roots of *Arabidopsis thaliana* during synthesis of gold nanoparticles. *Plant Physiology and Biochemistry*, 84: 189-196.
- Jasim, N.O., & Abd-Ali, N.K. (2020). Biosynthesis of ZnO nanoparticle in presence of red onion extract. *Plant Archives*, 20 (2): 7854-7856.
- Jaskulski, D., Jaskulska, I., Majewska, J., Radziemska, M., Bilgin, A., & Brtnicky, M. (2022). Silver nanoparticles (AgNPs) in urea solution in laboratory tests and field experiments with crops and vegetables. *Materials*, 15(3): 870.
- Javed, R., Usman, M., Yücesan, B., Zia, M., & Gürel, E. (2017). Effect of zinc oxide (ZnO) nanoparticles on physiology and steviol glycosides production in

- micropropagated shoots of *Stevia rebaudiana* Bertoni. Plant Physiology and Biochemistry, 110: 94-99.
- Kah, M., Kookana, R.S., Gogos, A., & Bucheli, T.D. (2018). A critical evaluation of nanopesticides and nanofertilizers against their conventional analogues. Nature Nanotechnology, 13(8): 677-684.
- Kashyap, P.L., Xiang, X., & Heiden, P. (2015). Chitosan nanoparticle based delivery systems for sustainable agriculture. International Journal of Biological Macromolecules, 77: 36-51.
- Khan, P.S.S.V., Vijayalakshmi, G., Raja, M.M., Naik, M.L., Germanà, M.A., & Terry, R.G. (2019). Doubled haploid production in onion (*Allium cepa* L.): from gynogenesis to chromosome doubling. Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC), 142(1): 1-22.
- Khot, L.R., Sankaran, S., Maja, J.M., Ehsani, R., & Schuster, E.W. (2012). Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: a review. Crop Protection, 35: 64-70.
- Kızılırmak, M.B. (2022) Çinko oksit (ZnO) nanopartiküllerinin yaprak uygulamalarının hıyar (*Cucumis sativus* L.)’ da enzim aktivitesi, bitki gelişmesi ve verim üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Kohl, Y., Rundén-Pran, E., Mariussen, E., Hesler, M., El Yamani, N., Longhin, E.M., & Dusinska, M. (2020). Genotoxicity of nanomaterials: advanced *in vitro* models and high throughput methods for human hazard assessment. Nanomaterials, 10: 1-25.
- Kopach, O.V., Kuzovkova, A.A., Azizbekyan, S.G., & Reshetnikov, V.N. (2013). Use of micronutrient nanoparticles in biotechnology of medicinal plants: exposure of copper nanoparticles to cell cultures *Silybum marianum* L. Tr. BGU, 8(2): 20-23.
- Kumar, K.M., Mandal, B.K., Sinha, M., & Krishnakumar, V. (2012). *Terminalia chebula* mediated green and rapid synthesis of gold nanoparticles. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 86: 490-494.

- Kumar, A., Chisti, Y., & Banerjee, U. (2013). Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts. *Biotechnology Advances*, 31(2): 346–356.
- Kumari, M., Mukherjee, A., & Chandrasekaran, N. (2009). Genotoxicity of silver nanoparticles in *Allium cepa*. *Science of the Total Environment*, 407(19): 5243-5246.
- Kumari, M., Khan, S.S., Pakrashi, S., Mukherjee, A., & Chandrasekaran, N. (2011). Cytogenetic and genotoxic effects of zinc oxide nanoparticles on root cells of *Allium cepa*. *Journal of Hazardous Materials*, 190(1-3): 613-621.
- León-Silva, S., Arrieta-Cortes, R., Fernández-Luqueño, F., & López-Valdez, F. (2018). Design and production of nanofertilizers. In *Agricultural Nanobiotechnology*, 17-31.
- Li, J., Hu, J., Xiao, L., Gan, Q., & Wang, Y. (2017). Physiological effects and fluorescence labeling of magnetic iron oxide nanoparticles on citrus (*Citrus reticulata*) seedlings. *Water, Air, and Soil Pollution*, 228(1): 1-9.
- Lin, D., & Xing, B. (2007). Phytotoxicity of nanoparticles: inhibition of seed germination and root growth. *Environmental Pollution*, 150(2): 243-250.
- Lopez-Vargas, E.R., Ortega-Ortíz, H., Cadenas-Pliego, G., de Alba Romenus, K., Cabrera de la Fuente, M., Benavides-Mendoza, A., & Juárez-Maldonado, A. (2018). Foliar application of copper nanoparticles increases the fruit quality and the content of bioactive compounds in tomatoes. *Applied Sciences*, 8(7): 1020.
- Ma, X., Geiser-Lee, J., Deng, Y., & Kolmakov, A. (2010). Interactions between engineered nanoparticles (ENPs) and plants: phytotoxicity, uptake and accumulation. *Science of The Total Environment*, 408(16): 3053-3061.
- Misra, A., Srivastava, A.K., Srivastava, N.K., & Khan, A. (2005). Zn-acquisition and its role in growth, photosynthesis, photosynthetic pigments and biochemical changes in essential monoterpene oil (s) of *Pelargonium graveolens*. *Photosynthetica*, 43(1): 153-155.
- Miwa, K., Tanaka, M., Kamiya, T., & Fujiwara, T. (2010). Molecular Mechanisms of Boron Transport in Plants: Involvement of Arabidopsis NIP5;1 and NIP6;1. In: Jahn, T.P., Bienert, G.P. (eds) *MIPs and Their Role in the Exchange of*

- Metalloids. Advances in Experimental Medicine and Biology, vol 679. Springer, New York, NY.
- Moghaddasi, S., Fotovat, A., Khoshgoftarmanesh, A.H., Karimzadeh, F., Khazaei, H.R., & Khorassani, R. (2017). Bioavailability of coated and uncoated ZnO nanoparticles to cucumber in soil with or without organic matter. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 144: 543-551.
- Mottaleb, S.A., Hassan, A.Z., El-Bahbohy, R., & Mahmoud, A.W.M. (2021). Are copper nanoparticles toxic to all plants? A case study on onion (*Allium cepa* L.). *Agronomy*, 11(5): 1006.
- Moya J.S., Pecharroman C., Cubillo A., & Montero I. (2006) Monodisperse and corrosion resistant metallic nanoparticles embedded into sepiolite particles for optical and magnetic applications. *Journal of American Ceramic Society*, 89 (10): 3043-3049.
- Nadaroglu, H., Kaymak, H.C., Alayli, A., & Kapakin, K.A.T. (2023). Investigation of potential antioxidative effects of CaO nanoparticles on bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.). *Gesunde Pflanzen*, 75: 289-301.
- Nechitailo, G.S., Bogoslovskaya, O.A., Ol'khovskaya, I.P., & Glushchenko, N.N. (2018). Influence of iron, zinc, and copper nanoparticles on some growth indices of pepper plants. *Nanotechnologies in Russia*, 13(3): 161-167.
- Okan, N.O. (2020). TiO₂ nanopartiküllerin nohut (*Cicer arietinum* L.) bitkisininin *in vitro* çimlenmesi, büyümesi ve rejenerasyonuna etkileri. Doktora Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Pandey, P. (2022). Role of nanotechnology in electronics: A review of recent developments and patents. *Recent Patents on Nanotechnology*, 16(1): 45-66.
- Paredes, C.R.E., Soto, J.C.R., Quiñones, M.C., Villalaz, C.A., Peña, A.C., Alcántara, E.L., & Alva, M.V. (2020). Citotoxicidad y genotoxicidad de nanopartículas de cobre sobre *Allium cepa* L. (Amaryllidaceae). *Arnaldoa*, 27(1): 108-112.
- Parveen, K., Banse, V., & Ledwani, L., (2016). Green synthesis of nanoparticles: their advantages and disadvantages. 2nd International Conference on Emerging Technologies, 1724(1): 23-47.

- Paulkumar, K., Gnanajobitha, G., Vanaja, M., Rajeshkumar, S., Malarkodi, C., Pandian, K., & Annadurai, G. (2014). *Piper nigrum* leaf and stem assisted green synthesis of silver nanoparticles and evaluation of its antibacterial activity against agricultural plant pathogens. *The Scientific World Journal*, 2014(7): 1-9.
- Raskar, S.V., & Laware, S.L. (2014). Effect of zinc oxide nanoparticles on cytology and seed germination in onion. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(2): 467-473.
- Rastogi, A., Zivcak, M., Sytar, O., Kalaji, H.M., He, X., Mbarki, S., & Bristic, M. (2017). Impact of metal and metal oxide nanoparticles on plant: a critical review. *Frontiers in Chemistry*, 5(78):1-15.
- Rawat, S., Pullagurala, V.L., Hernandez-Molina, M., Sun, Y., Niu, G., Hernandez-Viezcas, J.A., & Gardea-Torresdey, J.L. (2018). Impacts of copper oxide nanoparticles on bell pepper (*Capsicum annuum* L.) plants: a full life cycle study. *Environmental Science: Nano*, 5(1): 83-95.
- Rico, C.M., Majumdar, S., Duarte-Gardea, M., Peralta-Videa, J.R., & Gardea-Torresdey, J.L. (2011). Interaction of nanoparticles with edible plants and their possible implications in the food chain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(8): 3485-3498.
- Roco, M.C. (2003). Nanotechnology: convergence with modern biology and medicine. *Current Opinion Biotechnology*, 14: 337-346.
- Rossi, L., Fedenia, L.N., Sharifan, H., Ma, X., & Lombardini, L. (2019). Effects of foliar application of zinc sulfate and zinc nanoparticles in coffee (*Coffea arabica* L.) plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 135: 160-166.
- Sabir, S., Arshad, M., & Chaudhari, S.K. (2014). Zinc oxide nanoparticles for revolutionizing agriculture: Synthesis and applications. *The Scientific World Journal*, 2014(8): 1-8.
- Saha, N., & Dutta, S.D. (2017). Low-dose toxicity of biogenic silver nanoparticles fabricated by *Swertia chirata* on root tips and flower buds of *Allium cepa*. *Journal of Hazardous Materials*, 330: 18-28.

- Sampaio, L.L.G., Boga, É.P.C., Neves, E.L., de Mo Mendes, L., Araújo, É.F.L., Baia, M.O., & De-Menezes, I.P.P. (2020). Zinc oxide nanoparticles at environmentally relevant concentrations cause cytotoxic and chromosomal damage to *Allium cepa* root cells. *Genetics and Molecular Research*, 20(1): 63-90.
- Santhoshkumar, J., Kumar, S.V., & Rajeshkumar, S. (2017) Synthesis of zinc oxide nanoparticles using plant leaf extract against urinary tract infection pathogen. *Resour Efficient Technologies*, 3(4): 459-465.
- Sanzari, I., Leone, A., & Ambrosone, A. (2019). Nanotechnology in plant science: to make a long story short. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 7(120): 1-12.
- Sarı, Ş.T. (2019). Gümüş nanopartiküllerin kültür mantarlarında hastalığa sebep olan bazı fungal patojenlerin gelişimi üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- Saxena, A., Tripathi, R.M., & Singh, R.P. (2010). Biological synthesis of silver nanoparticles by using onion (*Allium cepa*) extract and their antibacterial activity. *Digest Journal of Nanomaterials Biostructures*, 5(2): 427-432.
- Sedghi, M., Hadi, M., & Toluie, S.G. (2013). Effect of nano zinc oxide on the germination parameters of soybean seeds under drought stress. *Annales of West University of Timisoara. Series of Biology*, 16(2): 73- 78.
- Shah, M., Fawcett, D., Sharma, S., Tripathy, S.K., & Poinern, G.E.J. (2015). Green synthesis of metallic nanoparticles via biological entities. *Materials (Basel)*, 8(11): 7278-7308.
- Shaymurat, T., Gu, J., Xu, C., Yang, Z., Zhao, Q., Liu, Y., & Liu, Y. (2012). Phytotoxic and genotoxic effects of ZnO nanoparticles on garlic (*Allium sativum* L.): a morphological study. *Nanotoxicology*, 6(3): 241-248.
- Siddiqui, M.H., Al-Whaibi, M.H., Firoz, M., & Al-Khaishany, M.Y. (2015). Role of nanoparticles in plants. *Nanotechnology and Plant Sciences*, 6(67): 19-35.
- Siddiqi, K.S., & Husen, A. (2017). Recent advances in plant-mediated engineered gold nanoparticles & their application in biological system. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 40: 10-23.

- Singh, M.D. (2017). Nano-fertilizers is a new way to increase nutrients use efficiency in crop production. International Journal of Agriculture Sciences, ISSN, 0975-3710.
- Singh, A., Singh, N.Á., Afzal, S., Singh, T., & Hussain, I. (2018). Zinc oxide nanoparticles: a review of their biological synthesis, antimicrobial activity, uptake, translocation and biotransformation in plants. Journal of Materials Science, 53(1): 185-201.
- Sreelakshmi, C.H., Datta, K.K.R., Yadav, J.S., & Reddy, B. V. (2011). Honey derivatized Au and Ag nanoparticles & evaluation of its antimicrobial activity. Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 11(8): 6995-7000.
- Subhankari I., & Nayak P.L. (2013) Synthesis of copper nanoparticles using *Syzygium aromaticum* (cloves) aqueous extract by using green chemistry. World Journal of Nano Science and Technology, 2(1): 14-17.
- Sun, Z., Xiong, T., Zhang, T., Wang, N., Chen, D., & Li, S. (2019). Influences of zinc oxide nanoparticles on *Allium cepa* root cells and the primary cause of phytotoxicity. Ecotoxicology, 28(2): 175-188.
- Tripathi, D.K., Singh, S., Singh, S., Pandey, R., Singh, V.P., Sharma, N.C., & Chauhan, D.K. (2017). An overview on manufactured nanoparticles in plants: uptake, translocation, accumulation and phytotoxicity. Plant Physiology and Biochemistry, 110: 2-12.
- TÜİK. (2022). Sebze üretim alanları ve miktarı. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1>. Erişim tarihi: 16.11.2022.
- Tymoszuk, A., & Wojnarowicz, J. (2020). Zinc oxide and zinc oxide nanoparticles impact on in vitro germination and seedling growth in *Allium cepa* L. Materials, 13(12): 2784.
- Vijayaraghavan, K., & Ashokkumar, T. (2017). Plant-mediated biosynthesis of metallic nanoparticles: a review of literature, factors affecting synthesis, characterization techniques and applications. Journal of Environmental Chemical Engineering, 5(5): 4866-4883.

- Vinković, T., Novák, O., Strnad, M., Goessler, W., Jurašin, D.D., Parađiković, N., & Vrček, I.V. (2017). Cytokinin response in pepper plants (*Capsicum annuum* L.) exposed to silver nanoparticles. *Environmental Research*, 156: 10-18.
- Vishveshvar, K., Krishnan, A., Haribabu, K., & Vishnuprasad, S. (2018). Green synthesis of copper oxide nanoparticles using *Ixiro coccinea* plant leaves and its characterization. *BioNanoScience*, 8(2): 554-558.
- Wang, P., Lombi, E., Zhao, F.J., & Kopittke, P.M. (2016). Nanotechnology: a new opportunity in plant sciences. *Trends in Plant Science*, 21(8): 699-712.
- Wang, L., Liu, Z., Xia, X., Yang, C., Huang, J., & Wan, S. (2017). Colorimetric detection of cucumber green mottle mosaic virus using unmodified gold nanoparticles as colorimetric probes. *Journal of Virological Methods*, 243: 113-119.
- Wang, Y., Deng, C., Cota-Ruiz, K., Peralta-Videa, J.R., Sun, Y., Rawat, S., & Gardea-Torresdey, J.L. (2020). Improvement of nutrient elements & allicin content in green onion (*Allium fistulosum*) plants exposed to CuO nanoparticles. *Science of The Total Environment*, 725, 138387.
- White, J.C., & Gardea-Torresdey, J. (2018). Achieving food security through the very small. *Nature Nanotechnology*, 13(8): 627-629.
- Yan, X., Song, Y., Zhu, C., Li, H., Du, D., Su, X., & Lin, Y. (2018). MnO₂ nanosheet-carbon dots sensing platform for sensitive detection of organophosphorus pesticides. *Analytical Chemistry*, 90(4): 2618-2624.
- Yaqoob, A.A., Mohamad Ibrahim, M.N., Rafatullah, M., Chua, Y.S., Ahmad, A., & Umar, K. (2020). Recent advances in anodes for microbial fuel cells: An overview. *Materials*, 13(9): 2078.
- Yavuz, İ., & Yılmaz, E.Ş. (2021). Biyolojik sistemli nanopartiküller. *Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi*, 2(1): 93-108.
- Yin, L., Colman, B.P., McGill, B.M., Wright, J.P., & Bernhardt, E.S. (2012). Effects of silver nanoparticle exposure on germination and early growth of eleven wetland plants. *Plos One*, 7(10): 47674. doi:10.1371/journal.pone.0047674.

- Yin, I.X., Zhang, J., Zhao, I.S., Mei, M.L., Li, Q., & Chu, C.H. (2020). The antibacterial mechanism of silver nanoparticles and its application in dentistry. *International Journal of Nanomedicine*, 15: 2555-2562.
- Yu-Nam, Y., & Lead, R. (2008). Manufactured nanoparticles: an overview of their chemistry, interactions and potential environmental implications. *Science of The Total Environment*, 400(1-3): 396-414.
- Zarei, H., Kazemi Oskuee, R., Hanafi-Bojd, M.Y., Gholami, L., Ansari, L., & Malaekheh-Nikouei, B. (2019). Enhanced gene delivery by polyethyleneimine coated mesoporous silica nanoparticles. *Pharmaceutical Development and Technology*, 24(1): 127-132.
- Zhao, L., Lu, L., Wang, A., Zhang, H., Huang, M., Wu, H., & Ji, R. (2020). Nanobiotechnology in agriculture: use of nanomaterials to promote plant growth and stress tolerance. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(7): 1935-1947.

