

Gümüş Nanopartiküllerinin Antioksidan Etkisi 8

Muhammed Yusuf Akgeyik¹

Halit Demir²

Özet

Nanoteknolojinin son yıllarda hızlı bir şekilde ilerlemesiyle birlikte metal iyonları organik birçok bileşiğe bağlanarak bunların biyokimyasal özellikleri incelenmeye başlanmıştır. Bu bağlamda kullanılan yaygın metallerden biri de gümüştür. Gümüş Atomları çeşitli tuzları kullanılarak antioksidan, antidiyabetik ve antimikrobiyal etkileri bulunan organik moleküllere bağlandırılarak oluşturulan nanopartiküllerin yukarda bahsedilen özelliklerin artırılıp artırılmadığı veya daha iyi sonuçlar verip vermediği kontrol edilmektedir. Antioksidanlar vücudumuzda oksidatif stres adı verilen faaliyetlerin zararlı sonuçlarını engellemek adına kullanılan enzim veya moleküllerdir. Oksidatif stres reaktif oksijen türlerinin vücudumuzdaki biyomoleküllerle reaksiyona girmesi sonucunda bunların yapısını bozmasıyla gerçekleşen olaylardır. Vücudumuzda bunları engellemek amacıyla kullanılan enzim veya moleküllerin oluşturduğu sistemli yapı antioksidan savunma sistemi olarak adlandırılır.

1. Giriş

Günümüzde çevresel kirlilik, stres, radyasyon gibi birçok dış etken vücutta reaktif oksijen türleri (ROS) üretimini artırmakta, bu da hücre bileşenlerine zarar vererek oksidatif stres oluşturmaktadır (Demir, 2023). Oksidatif stres; kanser, diyabet, Alzheimer, kardiyovasküler hastalıklar gibi birçok kronik hastalığın oluşumunda rol oynamaktadır (Yıldız, 2025). Bu nedenle antioksidan ajanlara olan ihtiyaç giderek artmaktadır.

- 1 Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Kimya Bölümü, Biyokimya Anabilim dalı, Van, Türkiye akgeyikyusuf@gmail.com Dr. Orcid; 0000-0002-3320-2018
- 2 Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Kimya Bölümü, Biyokimya Anabilim dalı, Van, Türkiye halitdemir@yyu.edu.tr. Prof. Dr. Orcid; 0000-0001-5598-2601

Nanoteknoloji, bu alanda yeni çözümler sunmakta ve özellikle gümüş nanopartiküller (AgNP'ler) gibi metal nanopartiküller; antimikrobiyal, sitotoksik ve antioksidan özellikleri ile dikkat çekmektedir (Akter, 2018).

2. Antioksidanlar ve Biyolojik Önemi

Serbest radikaller orbitallerinde ortaklanmamış elektron bulunduran atom veya moleküllerdir. Bu sebeple oldukça reaktif olan serbest radikaller karşılaştıkları atom veya moleküllerle kolay bir şekilde bağ kurabilir veya elektron alışverişi yapabilir. Canlı metabolizmasında da serbest radikaller doku ve hücrelerde bulunan protein, yağ gibi organik moleküllerle tepkimeye girebilir. Serbest radikallerin canlı metabolizmasında bulunan antioksidan savunma sistemini stres, aşırı kimyasala maruz kalma gibi çeşitli nedenlerle kırmaları sonucunda doku ve hücrelere zarar vermesi oksidatif stres olarak adlandırılır (Ghosh, 2023).

Antioksidanlar, hücreleri serbest radikal hasarından koruyan bileşiklerdir. Enzimatik antioksidanlar (SOD, CAT, GPx gibi) ve non-enzimatik antioksidanlar (C vitamini, E vitamini, flavonoidler) olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Bu moleküller, serbest radikalleri nötralize ederek hücre yapılarının bozulmasını engeller (Aydın, 2022). Yetersiz antioksidan savunma sistemi ise hücresel yaşlanmayı ve hastalıkları tetikler.

3. Gümüş Nanopartiküllerinin Sentez Yöntemleri

3.1 Kimyasal Sentez

Kimyasal sentez yönteminde nanoparçacıklar çözelti içerisinde kimyasal reaksiyonlar gerçekleşerek oluşur. Bunun için metal tuzları, indirgeyici moleküller ve aktif yüzey ajanları kullanılır.

Kimyasal indirgeme, sol-gel yöntemi, solvotermal/hidrotermal sentez, mikrodalga destekli sentez, kimyasal buhar fazı biriktirme (CVD- Chemical Vapor Deposition) kimyasal nanopartikül sentez yöntemleridir.

Kimyasal nanopartikül sentezlerinin olumsuz tarafları içinde kimyasal atık üretmesi, uzun süreç gerektirmesi, kontrolün zor olması malzeme boyutunun büyük olması, yüksek sıcaklık gerektirmesi sayılabilir (Egorova, 2016).

3.2 Fiziksel Sentez

Fiziksel enerji kullanılarak parçacıklar nano boyuta indirilir. Bu yöntemde yüksek basınç ve sıcaklık kullanılır.

Buhar yoğunlaşma, lazer ablasyon, metal öğütme fiziksel nano partikül üretme yöntemlerindendir.

Fiziksel sentez ile nanopartikül üretmenin dezavantajları yüksek enerji tüketimi, düşük verim, yüksek maliyet ve kontaminasyon riskidir (Ghorbani, 2025).

3.3 Yeşil Sentez

Yeşil sentezde toksik kimyasallar kullanılmadan biyo indirgenler kullanılarak yapılan, mikroorganizma metabolitleri, proteinler ve enzimler kullanılarak nanopartikül üretimi gerçekleştirilir (Ghosh, 2023).

Yeşil sentez kimyasal ve fiziksel sentezdeki dezavantajların çounu elimine ettiği için günümüzde yaygın olarak nanopartikül sentezinde kullanılmaktadır.

Bitki özütlerinin indirgeme ve stabilize edici özellikleri sayesinde çevre dostu ve toksik olmayan AgNP'ler üretilebilmektedir (Kumar, 2022). Örneğin:

- *Psidium guajava* ile sentezlenen AgNP'ler, deney hayvanlarında CAT, SOD ve GST aktivitelerini anlamlı düzeyde artırmıştır (Akter, 2018).
- *Allium schoenoprasum* L. (sirmo) bitkisinden elde edilen AgNP'ler yüksek antioksidan etki göstermiştir (Aydın, 2022).
- *Mandragora autumnalis*, *Tradescantia pallida*, *Salacia oblonga* ve *Argyrea nervosa* gibi türlerle yapılan sentez çalışmalarında yüksek antioksidan ve antimikrobiyal etkiler rapor edilmiştir (Demir, 2023, Altın, 2023, Kumar, 2022, Jaiswal, 2022).

4. Antioksidan Etki Mekanizmaları

4.1 Serbest Radikal Temizleme

AgNP'ler, DPPH, ABTS gibi serbest radikallerle reaksiyona girerek onları nötralize eder (Ali, 2023).

4.2 Enzimatik Aktivasyon

AgNP uygulamaları, in vivo modellerde **SOD**, **CAT**, **GST** gibi enzimlerin aktivitesini artırarak hücreleri oksidatif hasara karşı korur (Akter, 2018, Aydın, 2022).

4.3 Lipid Peroksidasyonunu Önleme

MDA (malondialdehit) düzeylerinin düşmesi ile lipid zar hasarının azaldığı gösterilmiştir (Egorova, 2016).

5. AgNP'lerin Antioksidan Etkileri

Nanopartiküllerin antioksidan kapasitesi DPPH ve ABTS testi kullanılarak yaygın şekilde ölçülmektedir. Bu testler bitkilerin, bitki tabanlı ve diğer nanopartiküllerin serbest radikal giderme potansiyellerini ölçmek için kullanılır(Kocabay, 2025). Yapılan bir çalışmada seryum-gümüş nanopartiküllerinin DPPH radikallerini güçlü bir şekilde süpürdüğü tespit edilmiştir. ABTS testi ile denendiğinde yine ABTS radikallerini %48 oranında inhibe ederek başarılı bir sonuç göstermiştir(Zhang, 2014).

Çeşitli bitki türleri kullanılarak elde edilen AgNP'lerin antioksidan kapasiteleri farklılık gösterebilir:

- *Tradescantia pallida* ile yapılan çalışmalarda hem antioksidan hem antimikrobiyal etki rapor edilmiştir (Altın, 2023).
- *Echinacea purpurea* ile sentezlenen **selen-gümüş bimetalik nanopartiküller**, tek metalli yapılara göre daha yüksek antioksidan etki göstermiştir (Li, 2021).
- *Argyrea nervosa* ve *Salacia oblonga* ile yapılan çalışmalarda hem DPPH temizleme aktivitesi hem de anti-diyabetik özellikler rapor edilmiştir (Jaiswal, 2022, Kumar, 2022) .

6. Sitotoksosite ve Biyouyumluluk

Antioksidan kapasite kadar, nanopartiküllerin biyolojik sistemlerdeki güvenliği de önemlidir. Kontrollü sentez ve yüzey modifikasyonu toksisiteyi azaltabilir. Gümüş nanopartiküllerinin sitotoksitesi önemli düzeyde nanoparçacığın boyutu, yüzeyin yükü, kaplama tipi ve AGNP miktarı yani dozla ilgilidir. Gümüş nanopartikülleri hücre içi reaktif oksijen türlerinin üretimin artırarak mitokondri bozunması, DNA hasarı ve hücre ölümüne(apoptoz) sebep olabilir(Mutrukrishnan, 2025).

Gümüş nanopartiküllerinin hem AGNP hem de çözünmüş haldeki gümüş iyonları formu hücre membranının yapısını ve bütünlüğünü bozarak ROS türleri açığa çıkardığı ve oksidatif stres oluşturduğu belirtilmiştir (Saeed, 2025). Gümüş nanopartiküllerinin yüzey yükü sitotoksosite üzerinde büyük bir role sahiptir. Negatif yüklü gümüş nanopartiküllerinin insan endotel hücrelerinde belirgin bir toksisite gösterir (Egorova, 2016).

Bunun dışında bitki özleriyle gerçekleştirilen yeşil sentez ile yapılmış gümüş nanopartiküllerinin yüzey kaplamaları sayesinde serbest radikal üretimini sınırlayarak biyouyumluluğunda artırıldığı söylenmiştir.

- *Hypericum perforatum* (kantaron) içeren karboksimetil selüloz mikro boncuklar üzerine immobilize edilen AgNP'ler, sitotoksisiteyi azaltırken antioksidan aktiviteyi korumuştur (Kılıç, 2023).

7. Sonuç

Bitki bazlı yeşil sentez yöntemleriyle üretilen gümüş nanopartiküller (AgNP), hem güçlü antioksidan aktiviteleri sergilemekte hem de hücresel savunma mekanizmalarını destekleyerek oksidatif stres kaynaklı hücre hasarını azaltmaktadır. Bu özellikler, AgNP'lerin yalnızca klasik antimikrobiyal uygulamalarla sınırlı kalmayıp, farmasötik ajan geliştirme, biyotıp ve doku mühendisliği uygulamaları, gıda takviyeleri ve nutrasötik ürünler gibi geniş bir kullanım potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, bitki özleriyle sentezlenmiş bu nanopartiküller, geleneksel kimyasal yöntemlerle üretilen AgNP'lere kıyasla daha biyouyumlu ve çevre dostu bir profil sergilemektedir.

Buna karşın, mevcut çalışmaların çoğu in vitro veya hayvan modelleri ile sınırlı olup, insan sağlığı üzerindeki etkiler, uygun dozaj aralıkları, uzun dönem güvenlik ve toksisite profili hakkında yeterli veri bulunmamaktadır. Bu nedenle, AgNP'lerin klinik uygulamaya geçebilmesi için kapsamlı faz I ve faz II klinik çalışmaları, farmakokinetik ve farmakodinamik analizler ile uzun süreli güvenlik değerlendirmeleri büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, nanopartikül boyutu, şekli, yüzey kaplaması ve bitki kaynağı gibi parametrelerin biyouyumluluk ve antioksidan etkinlik üzerine etkilerinin sistematik olarak incelenmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, bitki bazlı yeşil sentezli AgNP'ler, gelecekte biyomedikal ve farmasötik uygulamalarda umut verici bir nanoteknoloji platformu sunmaktadır; ancak klinik ve düzenleyici düzeyde güvenli ve etkili kullanım için çok boyutlu ve disiplinler arası araştırmalara ihtiyaç vardır. Bu çalışmalar, hem nanopartiküllerin terapötik potansiyelini maksimize edecek hem de potansiyel toksik etkilerini minimize edecektir.

Kaynakça

- Akter, M. et al. (2018). *A systematic review on silver nanoparticles-induced citotoxicity*. journal of advanced research. 9, 1-16.
- Ali, S., et al. (2023). *In-vivo Antioxidant Potential of Biogenic Silver Nanoparticles Synthesized from Psidium guajava L.* Nano Biomedicine and Engineering.
- Altın, A. (2023). *Antioxidant, Cytotoxic, and Antimicrobial Potential of Silver Nanoparticles Synthesized using Tradescantia pallida Extract*. Yüksek Lisans Tezi, Türkiye.
- Aydın, S. (2022). *Van yöresine ait sirmo (Allium schoenoprasum L.) bitkisinden gümüş nanopartiküllerinin sentezi, karakterizasyonu, antimikrobiyal ve antioksidan etkilerinin değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Türkiye.
- Demir, B. (2023). *Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Mandragora autumnalis; Its Characterization, Antioxidant and Antimicrobial Activities*. Yüksek Lisans Tezi, Türkiye.
- Yıldız, H. E. (2025). Investigation of photon interaction parameters of some premedication drugs. *Journal of Scientific Reports-A*, (061), 88-99.
- Egorova, E. M. et al. (2016). *Assessment of the citotoxicity of silver nanoparticles with different surface charge*. Journal Of Biomedical Materials Research. 104A, 26-47.
- Ghorbani, M. et al. (2025). *Antioxidant effects of silver-ceria nanoparticles on the reduction of melanin amelanotic melanoma cell biology*. Scientific reports. DOI:10. 1038/s41598-025-96366-z
- Ghosh, S., et al. (2023). *Green synthesis of silver nanoparticles using dietary antioxidant rutin and its biological contour*. Journal of Molecular Liquids.
- Jaiswal, A., et al. (2022). *Green synthesis and evaluation of antimicrobial, antioxidant, anti-inflammatory, and anti-diabetic activities of silver nanoparticles from Argyreia nervosa leaf extract*. BMC Chemistry.
- Kılıç, A. (2023). *Keratin kantaron bazlı karboksimetil selüloz mikro boncukları üzerine immobilize edilmiş gümüş nanopartiküllerin sentezi, karakterizasyonu, sitotoksitesi ve antioksidan özelliklerinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Türkiye.
- Kocabay, E. (2025). *Metal etkisi uygulanarak yetiştirilen roka (eruca sativa) bitkisinin antioksidan aktivitesinin belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Türkiye.
- Kumar, R., et al. (2022). *Environmentally benign silver bio-nanomaterials as potent antioxidant, antibacterial, and antidiabetic agents: Green synthesis using Salacia oblonga root extract*. Materials Today Sustainability.
- Li, L., et al. (2021). *Phytofabrication of Selenium-Silver Bimetallic Nanoparticles Using Echinacea purpurea Extract: Characterization and Antioxidant Activity*. Bioinorganic Chemistry and Applications.

- Mutrukrishnan, S. Ve ARK. (2025). *Metal nanoparticles synthesis: An overview of different synthesis method, mode of action and their biomedical application*. Discover Applied Sciences. 7, 1079. DOI:10.1007/s42452-025-07210-y
- Saeed, M. Ve ARK.(2025). *Advanced in nanoparticle synthesis assisted by microfluids*. Lab On a Chip. 25(13). DOI: 10.1039/ D5LC00194C
- Zhang, T. et al. (2014). *Citotoxic potential of silver nanoparticles*. Toxicology Letters. 224, 240-249.