Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 13(6): 1597-1604, 2025
DOI: https://doi.org/10.24925/turjaf.v13i6.1597-1604.7756

Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology

Available online, ISSN: 2148-127X | www.agrifoodscience.com | Turkish Science and Technology Publishing (TURSTEP)

Characterization and Antimicrobial Activity of Silver Nanoparticles Obtained by Green Synthesis from *Cuminum cyminum* (Cumin)

Kadriye Ozlem Saygı[1,a,*], Eftal Böke[2,b], Ramazan Erenler[1,c], Birgul Kacmaz[3,d], Aysun Ergene[2,e]

[1]*Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Edebiyet Fakültesi, Kimya Bölümü, Tokat Meslek Yüksekokulu, Tokat, Türkiye*
[2]*Kırıkkale Üniversitesi Anabilim Dalı, Fen Edebiyet Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Kırıkkale, Türkiye*
[3]*Kırıkkale Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Enfeksiyon Hastalıklar ve Klinik Mikrobiyoloji, Kırıkkale, Türkiye*
[*]*Corresponding author*

ARTICLE INFO

Research Article

Received : 12.04.2025
Accepted : 19.05.2025

Keywords:
Green synthesis
Cuminum cyminum
Silver Nanoparticles
Antibacterial activity
Spectrophotometer

ABSTRACT

The aim of this study was to synthesize silver nanoparticles (Ag@NPs) by green synthesis method using *Cuminum cyminum* (Cumin) plant extract. Green synthesis is preferred more than chemical and physical methods because it is a biological method in which nanoparticles are easily and rapidly obtained, as well as being environmentally friendly and cost-effective. The Ag@NPs obtained from the reaction were characterized by UV-visible spectrophotometer (UV-vis), Fourier-transformed infrared spectroscopy (FTIR), X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy and energy dispersive X-ray (SEM-EDX). Ag@NPs were found to have maximum absorbance in the range of 400-500 nm. Functional groups involved in the reduction of Ag@NPs were identified by FTIR analysis. The spherical appearance of Ag@NPs was determined by transmission electron microscopy. The antimicrobial effect of the synthesized AgNPs was tested on gram-positive and gram-negative bacteria using the minimum inhibitory concentration (MIC) method. The results show that Ag@NPs obtained from *Cuminum cyminum* (Cc) seeds have effective antimicrobial activity. The use of plant-derived materials is considered to be a promising strategy for the green synthesis of Ag@NPs and could be more widely used in the bio-medical field.

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 13(6): 1597-1604, 2025

Cuminum cyminum (Kimyon)' dan Yeşil Sentez ile Elde Edilen Gümüş Nanopartiküllerin Karakterizasyonu ve Antimikrobiyal Aktivitesinin incelenmesi

MAKALE BİLGİSİ

Araştırma Makalesi

Geliş : 12.04.2025
Kabul : 19.05.2025

Anahtar Kelimeler:
Yeşil sentez
Cuminum cyminum
Gümüş Nanopartiküller
Antibakteriyel aktivite
Spektrofotometre

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, Cuminum cyminum (Kimyon) bitki özütü kullanılarak yeşil sentez yöntemiyle gümüş nanopartiküller (Ag@NPs) sentezlemektir. Yeşil sentez, nanopartiküllerin kolay, hızlı elde edildiği biyolojik bir yöntem olmasının yanında çevre dostu ve maliyet açısından ucuz olması nedeniyle kimyasal ve fiziksel yöntemlere göre daha çok tercih edilmektedir. Reaksiyon sonucu elde edilen Ag@NP'ler UV görünür spektrofotometre (UV-vis), fourier-transformed infrared spektroskopisi (FTIR), X-ışını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskobu ve enerji dağılımlı X-ışını cihazı (SEM-EDX) ile karakterize edilmiştir. Ag@NP'lerin 400-500 nm aralığında maksimum absorbansa sahip olduğu bulunmuştur. Ag@NP'lerin indirgenmesinde rol oynayan fonksiyonel gruplar FTIR analizi ile tespit edilmiştir. Ag@NP'lerin küresel görünümü transmisyon elektron mikroskobu ile tespit edilmiştir. Sentezlenen AgNP'lerin antimikrobiyal etkisi gram-pozitif ve gram-negatif bakteriler üzerinde ve minimum inhibitör konsantrasyon (MIC) yöntemi ile test edilmiştir. Sonuçlar, *Cuminum cyminum* tohumlarından elde edilen Ag@NP'lerin etkili antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğunu göstermektedir. Bitki kaynaklı materyallerin kullanımının Ag@NP'lerin yeşil sentezinde umut verici bir strateji olduğu ve biyomedikal alanda daha yaygın şekilde kullanılabileceği düşünülmektedir.

[a] *kadriyeozlem.saygi@gop.edu.tr* *https://orcid.org/0000-0001-5945-4419*
[b] *eftal_boke@hotmail.com* *https://orcid.org/0000-0002-7052-2790*
[c] *rerenler@gmail.com* *https://orcid.org/0000-0002-0505-3190*
[d] *birgulkacmaz@kku.edu.tr* *https://orcid.org/0000-0002-5190-7249*
[e] *ergene@kku.edu.tr* *https://orcid.org/0000-0003-4104-5697*

This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

Giriş

Antimikrobiyal direnç (AMR), mikroorganizmaların doğal bir tepki olarak antibiyotik ilaçlara karşı direnç geliştirmesi olayını ifade eder. Bu durum, yaygın enfeksiyonlara neden olan bakterilerde yüksek direnç oranlarının yanı sıra antibakteriyel direncin (ABR) karmaşıklığı nedeniyle, özellikle bakterilerdeki antibiyotik direnci konusunda önemli bir sorundur. Bu durum, hem bakterilerin karşılaştığı antibiyotiklere karşı direnç geliştirme olasılığı hem de antibiyotiklerin etkinliğini kaybetmesi sonucu ortaya çıkan karmaşık sorunların aciliyetini vurgulamaktadır (A. Singh ve ark., 2020). Bu nedenle, mevcut antibiyotiklere karşı direnç geliştirmiş mikroplarla başa çıkabilmek amacıyla alternatif tedavi yöntemleri için, doğal bileşiklerden türetilen veya sentezlenen yeni ilaçlar ve etki mekanizmaları geliştirilmektedir. Son yıllarda gümüş nanopartiküllerin (Ag@NP'ler), bakteriler, virüsler ve mantarlar gibi çeşitli mikroorganizmalara karşı etkili olduğu kapsamlı bir şekilde araştırılmaktadır (Garibo ve ark., 2020; Karan ve ark., 2024; Korkmaz ve ark., 2020; Zhang ve ark., 2013). Farklı çalışma grupları tarafından yapılan çalışmalar, Ag@NP'lerin mikroorganizmaların büyüme ve çoğalma süreçlerini engelleyerek veya durdurarak antimikrobiyal aktiviteler sergilediğini göstermektedir (C. Singh ve ark., 2023). Bu durum, Ag@NP'lerin umut verici antimikrobiyal ajan olabileceğini ortaya koymaktadır. Ag@NP'lerin geniş yüzey/hacim oranları, büyük yüzey yükleri ve reaktif oksijen türleri (ROS) üretme kabiliyetleri gibi özellikleri, onları etkili antimikrobiyal ajanlar haline getirmektedir (Alzubaidi ve ark., 2023). Ag@NP'ler, antibiyotiğe dirençli mikroorganizmalar da dahil olmak üzere birçok farklı mikroba karşı etkili bir şekilde çalışabilen geniş spektruma sahiptir. Ayrıca, yapılan çalışmalar Ag@NP'lerin insan hücreleri üzerinde düşük toksisiteye sahip olduğunu göstermektedir. Yani, Ag@NP'ler mikroorganizmaları hedef alırken insan hücrelerine zarar verme olasılığı düşüktür. Bu özellikte, Ag@NP'leri etkili ve güvenli bir antimikrobiyal ajan yapmaktadır (Koduru ve ark., 2018; Sathiyaraj ve ark., 2020).AgNP'ler, sadece tıbbi uygulamalarda değil, aynı zamanda su arıtma, gıda paketleme ve çevresel iyileştirme gibi farklı alanlarda da kullanılmaktadır (Rajasekar ve ark., 2021; Saha ve ark., 2017; Suvith & Philip, 2014). AgNP'ler Su arıtma süreçlerinde ağır metalleri, boyar maddeleri ve mikropları etkisiz hale getirme kapasiteleri ile su temizliğinde kullanılmaktadır. Aynı zamanda, gıda paketleme sektöründe antimikrobiyal özellikleri nedeniyle gıda ürünlerinin raf ömrünü uzatmak amacıyla da kullanılmaktadır. Bu çok yönlü kullanımlar, Ag@NP'leri çeşitli endüstrilerde önemli bir malzeme haline getirmektedir. Ag@NP'ler sentezlenirken çeşitli karmaşık ve özel ekipman gerektiren fiziksel ve kimyasal yöntemlerle sentezlenmektedir (Zahoor ve ark., 2021). ayrıca, yeni bir yaklaşım olarak bitki ekstraktları kullanılarak Ag@NP'lerin biyolojik sentezlenmesi önerilmektedir (Mousavi ve ark., 2018; Srikar ve ark., 2016). Bitki ekstraktları, Ag@NP'lerin sentezinde hem indirgeyici ajanlar hem de stabilize edici ajanlar olarak işlev görebilen çeşitli bileşikleri içermektedir. Bu bileşenlere örnek olarak fenolikler, flavonoidler, terpenoidler ve alkaloidler gibi maddeler gösterilmektedir (Garibo ve ark., 2020; Singla ve ark., 2022). Bitki ekstraktları ile sentezlenen biyolojik sentez yöntemi, geleneksel fiziksel ve kimyasal yöntem süreçlerine kıyasla düşük maliyet, çevre dostu kullanım ve üretim kolaylığı gibi çeşitli avantajlar sağlamaktadır. Yaprak, gövde, kök ve çiçekler de dahil olmak üzere çeşitli bitki kaynaklarından elde edilen ekstraktların kullanılarak Ag@NP'lerin sentezlendiğini çok çalışma bildirilmiştir (Ozlem Saygi & Usta, 2021; Saygi ve ark., 2024; Saygi & Cacan, 2021).

Baharatlar, yiyeceklerin tadını ve lezzetini artırmak amacıyla çok eski çağlardan beri kullanılmaktadır. Cc bitkisi, Doğu Akdeniz'den Güney Asya'ya kadar uzanan bir coğrafyada yetişen, Apiaceae familyasına ait bir bitkidir (Dinparvar ve ark., 2020). Cc tohumları küçük tüylü, kahverengimsi renkli ve kayık biçimindedir. Baharatlı bir koku, tatlı bir aroma özelliği, hafif acı ve keskin bir tada sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle Cc tohumları, birçok farklı mutfak kültüründe kullanılarak çeşitli aromatik etkiler elde etmek için kullanılmaktadır. Özellikle Hindistan mutfağında, binlerce yıldır Cc tohumları birçok yemekte geleneksel bir bileşen olarak kullanılmaktadır. Yüksek miktarda yağ, protein ve diyet lifi içerir. Ayrıca, B ve E vitaminleri ile çeşitli mineraller, özellikle de demir içermektedir (Dinparvar ve ark., 2020; Siddiqui ve ark., 2020). Cc uçucu yağının ana bileşenleri arasında küminaldehit ve kimyonik alkol bulunmaktadır. Diğer önemli bileşenler arasında sübstitüe pirazinler (2-etoksi-3-izopropilpirazin, 2-metoksi-3-sek-butilpirazin ve 2-metoksi-3-metilpirazin), γ-terpinene, safranal, p-cymene ve β-pinen yer alır. Bu bileşenler, Cc lezzetini oluşturan temel unsurlardır (Dinparvar ve ark., 2020). Geleneksel tıpta çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanılan Cc yağının terapötik etkileri, özellikle kronik ishal, akut gastrit, diyabet ve kanser gibi durumlarda test edilmiştir. Cc yağının bu terapötik etkileri, içeriğinde bulunan biyoaktif bileşenlere dayanmaktadır. Terpenler, fenoller ve flavonoidler gibi bu bileşenler, kimyonun sağlık üzerinde olumlu etkilere sahip olmasına katkıda bulunmaktadır. Sindirim sistemi bozuklukları, akut gastrit, bronko-pulmoner bozukluklar ve öksürüktekullanılmaktadır. Ayrıca, analjezik özellikleri nedeniyle ağrıyı hafifletmeye de yardımcı olmaktadır.

Bu çalışmada, doğal bir kaynak olan Cc su ekstraktından yeşil sentez yöntemi ileAg@NP'ler sentezlenerek karakterizasyonu yapıldıktan sonra antimikrobiyal aktivitesi değerlendirilmiştir.

Materyal ve Yöntem

Bitki Materyalleri

Araştırmanın materyali olan Cc Türkiye'nin Kırıkkale ilinin Keskin ilçesinden (N:39°37′80″-E:33°45′ 20″ koordinatları) sabah saat: 10:00 da toplanmıştır.Cc tohumları öncelikle musluk suyu ile, ardından iki kez deiyonize su ile yıkanarak oda sıcaklığında kurutulmuştur. Kurutulan bitkiler mutfak değirmeninde öğütülmüş kuru ve serin bir yerde kâğıt torbada muhafaza edilmiştir.

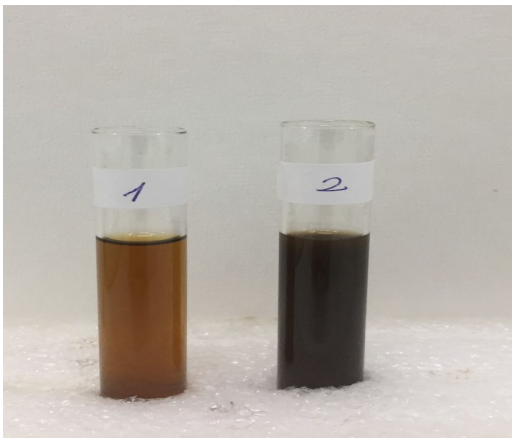
Bitki Ekstraktının Hazırlanması (AE)

Ekstraksiyon için maserasyon yöntemi tercih edilmiştir. Öğütülmüş bitkilerden 5 g alınmış ve 100 mL

deiyonize su ile karıştırılmıştır. Oluşan karışım, 500 mL'lik erlenmeyer şişelerine aktarılmış ve manyetik karıştırıcıda yaklaşık 70°C'de 30 dakika boyunca ısıtılmıştır. Elde edilen ekstrakt (AE), Whatman filtre (No. 1) kâğıdı kullanılarak süzülüp daha sonra kullanılmak üzere +4°C'de buzdolabında saklanmıştır.

Cc- Ag@NP'lerin Sentezi

Cc- Ag@NP'lerin sentezi için, 20 mL AE, 100 mL 1 mmol (0,170 g) $AgNO_3$ çözeltisine damla damla eklenmiştir. Reaksiyon, manyetik karıştırıcıda 50°C'de 2 saat boyunca sürdürülmüştür. Bitki özütünün sarı rengi, gümüş nitrat ($AgNO_3$) çözeltisinin eklenmesinden sonra birkaç dakika içinde kahverengiye dönüşmüştür. Oluşan kahverengi kolloidal çözelti, Cc-Ag@NP'leri çöktürmek için 10.000 rpm'de (15 dakika) santrifüjlenmiştir. Elde edilen Cc-Ag@NP'ler, deiyonize su ile birkaç kez yıkanmış ve ardından kurutulmuştur (Saygi ve ark., 2024; Saygi & Cacan, 2021). Cc AE ve Cc-Ag@NP'lerin sentez materyalinin görseli Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Cc AE ve kolloidal Cc- Ag@NP'ler.
Figure 1. Cc *water extract and colloidal Cc- Ag@NPs.*

Cc- Ag@NP'lerin karakterizasyonu

Cc- Ag@NP'lerin karakterizasyonu, kurutulmuş örnekler üzerinde çeşitli spektroskopik analitik yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. UV-vis spektrumları, Perkin Elmer Lamda 35 UV/VIS spektrometresi kullanılarak elde edilmiştir. FE-SEM analizi için Tescan Mira3XMU cihazı, XRD analizleri için Emprean Malvern Panalytical X'pert PRO difraktometresi (PXRD), ve FTIR spektrumları için Schimadzu FTIR 8400 spektrometre cihazları kullanılmıştır (EFTAL BOKE ve ark., 2024) (Gecer ve ark., 2021).

Antimikrobiyal Test

Cc-Ag@NP'lerin antimikrobiyal aktivitesi, standart mikrodilüsyon yöntemi kullanılarak değerlendirilmiş ve *Escherichia coli (E. coli)*(ATCC25922) ile *Staphylococcus aureus* (*S. Aureus)* (ATCC25923) suşları için minimum inhibitör konsantrasyon (MIC) ve minimum bakterisidal konsantrasyon (MBC) belirlenmiştir. MBC, bakteri popülasyonunun %99,9'unu öldüren düşük Cc-Ag@NP'lerin konsantrasyonunu ifade etmektedir (Saygi ve ark., 2021). Bu çalışmada, temsilci olarak seçilen bakteri suşları, sırasıyla gram-negatif *E. coli* (ATCC 25922) ve gram-pozitif *S. aureus* (ATCC 25923) olarak belirlenmiştir.

AE ve Cc- Ag@NP'ler, 100 mg olarak tartılarak, 1000 µl %10 dimetil sülfoksit içinde çözülmüş ve ardından Eppendorf tüplerine aktarılmıştır. *S. aureus* ve *E. coli* bakterileri, 37 °C'de 24 saat boyunca besleyici et suyunda (Merck Kat. No. 105443) yetiştirilmiş, daha sonra besleyici agar ortamına aktarılarak 24 saat daha inkübe edilmiştir. Sıvı mikrodilüsyon testinde, 96 kuyulu bir mikro plakaya 100 µl triptik soya suyu (Oxoid, Basingstoke ve Hampshire, İngiltere) eklenmiştir. Ardından, AE içeren kuyucuklara ve soldan sağa doğru iki kez seri olarak seyreltilen AE konsantrasyonları (5 mg/mL ila 0.0098 mg/mL aralığında) eklenmiştir. Tüm kuyucuklara 5 µl 5x10^5 cfu/mL bakteri süspansiyonu eklenmiştir. Negatif kontrol olarak sadece AE içeren bir kuyu, bitki özütünün etkilerini gözlemlemek için kullanılmıştır, pozitif kontrol olarak ise AE ve Cc-Ag@NP'leri içermeyen bir kuyu, bakteriyel büyümeyi izlemek için kullanılmıştır.

Bulgular

Karakterizasyon Bulguları

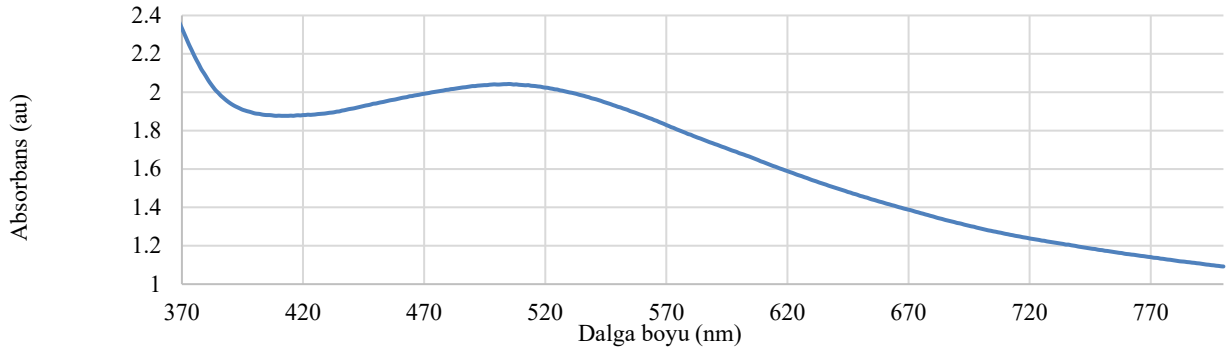
Bitki ekstraktından yeşil sentezle elde edilen Cc-Ag@NP'lerin karakterizasyonu öncelikle UV-Vis spektroskopisi ile 250-800 nm dalga boyu aralığında 1 nm'lik çözünürlükte 0-2 dakika arasında yapılmıştır. Cc bitkisinden sentezlenen Cc- Ag@NP'lerin Uv-Vis spektrumuna göre maksimum absorbsiyonu 510 nm olarak tespit edilmiştir (Şekil 2).

$AgNO_3$ çözeltisindeki Ag (I) katyonlarının nötral Ag (0) türüne indirgenmesine ve stabilize olmasına sebep olan fonksiyonel biyolojik molekülleri tanımlamak için Cc-Ag@NP'lerin FTIR analiz sonuçları şekil 3. te ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. 3274 cm^{-1} ve 2991 cm^{-1} de O-H gerilmesine ait absorpsiyonlar görülmüştür. 2027 cm^{-1} 'de C-H bükülme titreşimi ve 1537 cm^{-1} 'de C=C gerilmesi gözlenmiştir. 1391 cm^{-1} 'de tepe noktası ve 1241 cm^{-1} 'de O-H bükülmesine ve C-N bükülmesine bağlı olarak yer almıştır. Bu FTIR sonuçları ccc

Kristal yapılı maddeler XRD analizinde daha keskin pikler gösterirken amorf yapılılar daha geniş pik gösterirler. Buradan Cc-AgNP'lerin kristal yapılı olduğu söylenebilir. XRD analiz için CuKα radyasyon kullanılarak, 2Θ açısı 20º ve 100º aralığında ölçüm alınmıştır.Cc- Ag@NP'lerin XRD spektrumları yüzey merkezli küpün karakteristik Bragg kırınım planları (111), (200), (220) ,(222) ve (311*)* olduğu ve 2Θ değerleri 38.44º, 44.33º, 64.49º , 81.60º ve 77.45º civarında kırınım bantları olduğu gözlenmiştir (Şekil 4). Genel olarak kristal yapılı maddeler keskin pikler gösterirken amorf yapılı maddeler geniş pik göstermektedir. Bundan dolayı çalışmadan elde edilen nanopartiküllerin kristal yapıda olduğu söylenebilir. Ag@NP'lerin partikül boyutları Debye-Scherrer:

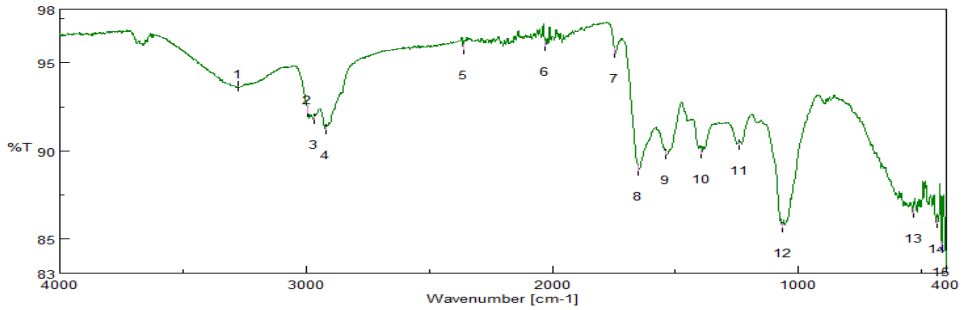
$$D = K\lambda/\beta\cos\theta$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Bu denklemde, D; Partikül boyutu (nm), K; Scherrer sabiti (Küresel kristalitler için K=0.94), λ; X-Ray dalgaboyu (0.139225 Å), β; Yarı maximumda tam genişlik (FWHM), θ; Bragg saçılma açısını ifade etmektedir. Cc- Ag@NP'lerin ortalama partikül boyutu bu denklemden 17.03 nm olarak hesaplanmıştır.



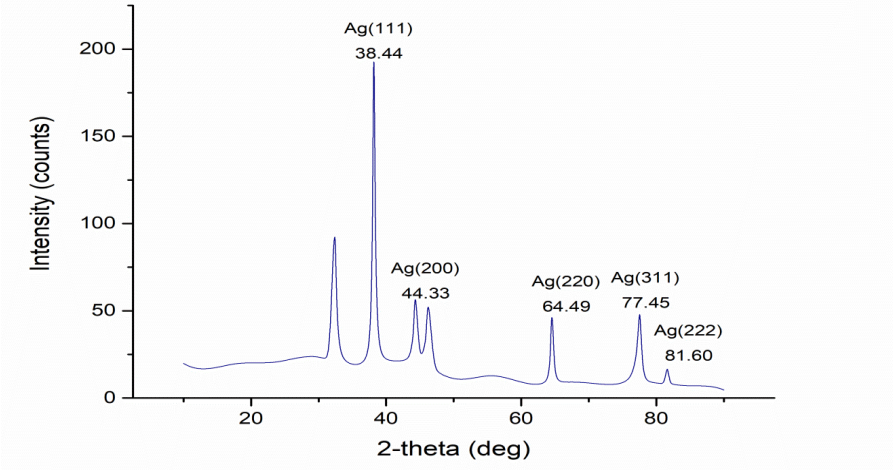
Şekil 2. Sentezlenen Cc-AgNP'lerin Uv-Vis spektrumu

Figure 2. UV-Vis spectrum of synthesized Cc-AgNPs



Şekil 3. Sentezlenen Cc-AgNP'lerin FTIR analiz sonuçları(1-3274, 2-2991, 3-2968, 4- 2919, 5-2360, 6-2027, 7-1745, 8-1650, 9-1537, 10-1393, 11-1241, 12-1065, 13-535, 14-439)

Figure 3. FTIR analysis results of synthesized Cc-AgNPs (1-3274, 2-2991, 3-2968, 4- 2919, 5-2360, 6-2027, 7-1745, 8-1650, 9-1537, 10-1393, 11-1241, 12-1065, 13-535, 14-439)



Şekil 4. Sentezlenen Cc- Ag@NP'lerin XRD analiz sonuçları

Figure 4. XRD analysis results of synthesized Cc- Ag@NPs

Cc- Ag@NP'lerin boyut, şekil ve morfolojii karakterizasyonu taramali elektron mikroskopu (STEM) ile yapılmıştır. Şekil 2' ye bakıldığında Cc- Ag@NP'lerin çapları 20 nm den küçük olarak ölçülmüştür (Şekil 5).

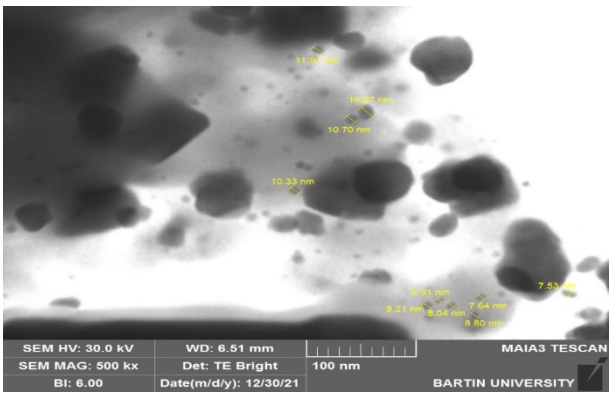
Element bileşiminin tespit edilmesi için EDX analizine göre gümüş bölgede (~3 KeV) %64,9 oranında güçlü sinyal verdiği belirlenmiştir (Şekil 6).

Mikrobiyal Aktivite Bulguları

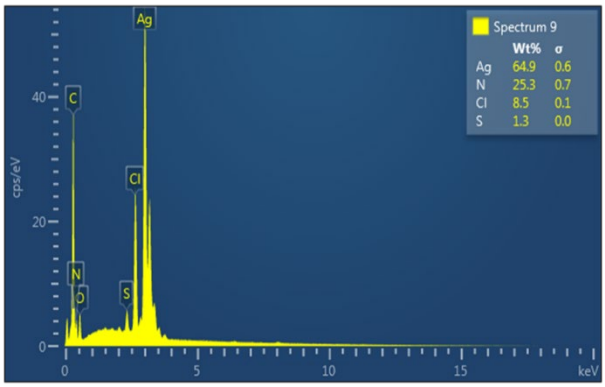
Cc- Ag@NP'lerin formunun *S. aureus* (ATCC 25923) ve *E. coli* (ATCC 25922) bakterilerine karşı antibakteriyel aktiviteleri, sıvı mikrodilüsyon testi ile araştırılmıştır (Azizi vd., 2017; Erci vd. 2018; Gholami vd., 2021). Cc ekstraktı ve Cc- Ag@NP formunun bakterilere karşı MIK ve MBK değerleri Çizelge 1'de sunulmuştur. Birçok çalışmada MIK değeri 0,01 µg/mL konsantrasyon değeri kullanılırken mevcut çalışma 10 kat daha düşük 0.001 µg/mL konsantrasyon değerinde başarılı sonuçlar ile rapor edilmiştir.

MIC değeri 0,001 µg/mL, literatürde ise X çalışmasında 0,01 µg/mL

Çizelge 1'e göre çalışmada kullanılan bitkinin AE ve Cc- Ag@NP formunun değişen konsantrasyonlarda bakteriler üzerine inhibe edici ve öldürücü etkisi olduğu saptanmıştır. Özellikle bakterilerin Cc- Ag@NPformuna daha duyarlı vedaha düşük konsantrasyonlarda antibakteriyel etki gösterdiği bulunmuştur.



Şekil 5. Sentezlenen Cc- Ag@NP'lerin STEM analiz sonuçları
Figure 5. STEM analysis results of synthesized Cc- Ag@NPs



Şekil 6. Sentezlenen Cc-AgNP'lerin EDX analiz sonuçları
Figure 6. EDX analysis results of synthesized Cc-AgNPs

Çizelge 1. Cc- Ag@NP'ler formunun bakterilere karşı MIK (µg·mL^{-1}) and MBK (µg·mL^{-1}) değerleri.
Table 1. MIC (µg-mL^{-1}) and MBK (µg-mL^{-1}) values of Cc- Ag@NPs form against bacteria.

Bakteri	AE[a]		Cc- Ag@NP'ler[a]	
	MIK	MBK	MIK	MBK
Staphylococcus aureus	0,0625	0,25	0.015	0.0625
Escherichia coli	0.125	0,5	0.001	0.003

Çizelge 2. Farklı bitkilerden sentezlenen AgNP'lerin antibakteriyel aktiviteleri.
Table 2. Antibacterial activity of AgNPs synthesized from different plants.

Bitki ismi	Nanopartiküllerin büyüklüğü	Antibakteriyel aktivite	Referanslar
Parkia speciosa	31 nm	*Escherichia coli, Staphylococcus aureus, Pseudomonas aeruginosa, Bacillus subtilis*	(Ravichandran ve ark., 2019)
Rhododendron ponticum	>50 nm	*Listeria monocytogenes, Enterococcus faecalis, Listeria innocua, Enterococcus durans, Enterococcus faecium, Enterobacter aerogenes, Pseudomonas aeruginosa, Salmonella infantis, Escherichia coli CFAI,Klebsiella pneumonia*	(Nesrin ve ark., 2020)
Astragalus tribuloides delile	34.2 nm	*Bacillus cereus, Staphylococcus aureus, Shigella flexneri, Escherichia coli*	(Sharifi-Rad ve ark., 2020)
Coriandrum sativum	24.52 nm	*Staphylococcus aureus Escherichia coli*	(Saygi ve ark., 2021)
Eriobotrya japonica	20 nm	*Staphylococcus aureus, Staphylococcus aureus*	(Ijaz ve ark., 2022)
Salvia officinalis	20 nm	*Salmonella typhimurium, Pseudomonas aeruginosa, Staphylococcus aureus, Escherichia coli*	(Takcı ve ark., 2023)
Nigella sativa	20.54 nm	*Staphylococcus aureous, Escherichia coli,*	(EFTAL BOKE ve ark., 2024)
Limonia acidissima L.	29.05 nm	*Escherichia coli, Salmonella typhimurium, Staphylococcus aureus*	(Daphedar ve ark., 2024)

Tartışma

Araştırmada, bitki ekstraktlarından yeşil sentez ile Cc-AgNP'ler elde edildikten sonra karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. UV-Vis spektrum analizi, Ag (I) katyonlarının nötral Ag (0) türüne indirgendiğini ve çözelti içindeki AgNP'lerin 400-500 nm aralığında belirgin bir bant gösterdiği ortaya koyulmuştur. Saygi ve arkadaşları (2021) tarafından yapılan çalışmada AgNP'lerin kahverengi renk tonu ve yaklaşık aynı dalga boyunda bir yüzey plazmon rezonans (SPR) bandında titreşim oluşturduğubelirtilmiştir (Saygi & Cacan, 2021). Reaksiyon sırasında açık sarıdan kahverengiye dönüşen kolloidal çözelti, Ag@NP'lerin kalitatif olarak tespit edilmesine imkân sağlamıştır ve renk değişiminin zamanla AgNP'lerin konsantrasyonundaki artıştan kaynaklandığı bildirilmiştir (Saygi ve ark., 2024). sunulan çalışmada, Cc'nin 510 nm'de maksimum absorbans gösterdiği tespit edilmiştir. Bu literatür bulguları ile karşılaştırıldığında, sentezin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğinin ilk göstergelerindendir.

FTIR analizleri, Cc- Ag@NP'lerin etrafının biyomoleküller tarafından çevrelenerek metal nanopartiküllerin bir araya gelip kümelenme oluşturma potansiyellerini azaltıp çözelti ortamındaki karalılıklarını artırmaktadır. Sekonder metabolitler bakımından zengin olan bitkilerden elde edilen ekstraktlarda Cc 3274,54 cm^{-1}'deki pikler -OH ve –NH (polifenoller ve amin)

gruplarının varlığına işaret ettiği bildirilmektedir (Dinparvar ve ark., 2020; Siddiqui ve ark., 2020). Aynı şekilde 2919,7 cm^{-1}'deki pikler -CH ve -CH2 alifatik grupları; 1537,95 cm^{-1}'deki pikler -C=C gruplarını; 1065,48 cm^{-1}'deki pikler -C-O gruplarını yani terpenoidler, flavonlar ve karbonhidrat yapılarının bulunduğunu göstermektedir. FTIR analiz sonucuna göre -OH ve –NH (polifenoller ve amin) gruplarının; –CH ve -CH2 alifatik grupları, -C=C grupları, -C-O ise terpenoidler, flavonlar ve karbonhidrat yapı piklerini göstermektedir.

XRD (X Işını Kırınımı), yeşil sentez yöntemiyle sentezlenen Cc- Ag@NP'lerin büyüklüğü, faz tanımlanması ve kristal yapısını analiz etmek için kullanıldığını ve boyutlarının 5-40 nm arasında değişebileceğini belirtmiştir (Korkmaz ve ark., 2020). Korkmaz ve arkadaşlarının (2020) yaptıkları çalışmada hazırlanan Ag@NP'lerin benzeri şekilde sunulan çalışma Cc- Ag@NP'lerinin XRD spektrumu, yüzey merkezli küpün karakteristik Bragg kırınım planları (111), (200), (220) ve (311) gösterdiği bildirilmiştir (Korkmaz ve ark., 2020). Araştırmada Cc- Ag@NP'lerin XRD spektrumları yüzey merkezli küpün karakteristik Bragg kırınım planları bakıldığında (111), (200), (220), (222) ve (311) olduğu ve 2Θ değerleri yaklaşık 38,44º, 44,33º, 64,49º, 81,60º ve 77,45º civarında kırınım bantlarında olduğu saptanmıştır. Literatürdeki bilgilerle birlikte değerlendirildiğinde, Cc-Ag@NP'lerin STEM görüntüleri partikülerin çaplarının 20 nm den küçük olduğunu fazla topaklanma olmadığını göstermiştir. Bu özellik Cc- Ag@NP'lerin aktivite çalışmaları için avantaj sağlamaktadır.

Genellikle katı haldeki numunede elementlerin içeriğinin belirlenmesinde EDX analizi kullanılmaktadır. EDX analizlerinde gümüş bölgesinde (~2.983 KeV) güçlü sinyallerin bulunması, AgNP'lerin oluşumunda önemli bir kanıt olarak değerlendirilmiştir (Erenler & Dag, 2021; Genc ve ark., 2021; Karan ve ark., 2024). Ayrıca, çeşitli çalışmalarda AgNP'lerin oluşumunda ~3 KeV optik absorpsiyon pikinin görülmesinin, gümüş nanopartikül ekstraktlarının yüzey plazmon rezonansından kaynaklandığı belirtilmiştir. Bu bulgular değerlendirildiğinde Cc- Ag@NP'lerin EDX analizlerine göre gümüş bölgede (~3 KeV) %64,9 oranında güçlü sinyal verdiği ve diğer zayıf element sinyallerin bitkilerin yapısında bulunan enzimler veya proteinlerden kaynaklandığını düşündürmüştür.

Bakteriler, terapötik olarak kullanılan ilaçları taşıma ve bu ilaçlara direnç kazanma yeteneğine sahiptir. Bu nedenle, dirençli bakteriler, yaygın olarak bilinen birçok enfeksiyonun tedavisinde zorluklar yaratır ve antimikrobiyal özelliklere sahip yeni maddelerin gerekliliğini ortaya çıkarır. Sonuç olarak, önemli antimikrobiyal aktivite gösteren bitki ekstraktlarına olan ilgi artmaktadır (Das ve ark., 2022; A. Singh ve ark., 2020).

S. aureus ve *E. coli* türlerinde ve diğer birçok bakteri türünde bakteriyel hastalıkların kontrolü için kimyon esansiyel yağının potansiyel kullanımının mümkün olduğunu belirtmiştir (Mnif & Aifa, 2015). Siddiqui ve ark. (2020) nanopartiküllerin protein moleküllerine afinitesi olduğu; *S. aureus* ve *E. coli* bakterilere karşı pozitif olarak sempatik olmayan antibakteriyel aktivite gösterdiğini bildirmiştir (Siddiqui ve ark., 2020). Devanesan ve AlSalhi tarafından (2021) kapasite belirleme çalışmalarında test edilen farklı Cc- Ag@NP'lerin konsantrasyonları arasında, 10 µg'lik dozların, canlılıkta değişiklik olmaksızın hücre proliferasyonu üzerinde çok az olumsuz etki gösterirken, 10 µg'lik dozların sitotoksisitenin artmasına neden olduğunu bildirmişlerdir. Bunun yanı sıra *Cuminum cyminum* özütlerinden elde edilen Cc- Ag@NP'lerin sulu çözeltilerine nazaran daha fazla antibakteriyel etki gösterdiği saptanmış ve hatta en sulu çözeltilerine nazaran en fazla etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir (Devanesan & Alsalhi, 2021).

Bu tespitler kapsamında antibakteriyel etkilerinin yüksekliği nedeniyle *Cuminum cyminum* özütlerinden elde edilen antimikrobiyal Cc- Ag@NP'lerin yeşil üretiminde yaygın olarak kullanılabileceği düşünülmektedir. Araştırmada antimikrobiyal etkileri değerlendirildiğinde Cc-AgNP'lerin *S. aureus* ve *E. coli* bakteri formlarında değişen konsantrasyonlarda inhibe edici ve öldürücü etkisi olduğu saptanmıştır. Antibakteriyel aktivite türler arası karşılaştırıldığında *E. coli*'nin özellikle Cc-AgNP'lerde *S. aureus*'a göre daha duyarlı olduğu görülmüştür.

Çizelge 2. De farklı bitkilerden yeşil sentezle elde edilen AgNP'lerin farklı bakteri türlerine karşı aktivite çalışmalarından bazıları yer almaktadır.

Sonuç

Araştırmada Cc- Ag@NP'lerin antimikrobiyal ve tedavi edici özellikleri dolayısıyla medikal alanda geniş çapta kullanılabileceğini ortaya koyulmuştur. Bunun yanı sıra Cc- Ag@NP'lerin antimikrobiyal etkisinin bitki özütlerinden daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Daha fazla bakteri türüne uygulama, hücre toksisitesi veya sitotoksik etki testleri yapılması önerilmektedir. Bitki kaynaklı materyallerin kullanımının Ag@NP'lerin yeşil sentezinde umut verici bir strateji olduğu ve medikal uygulamalarda daha yaygın şekilde kullanılabileceği düşünülmektedir.

Yazar Katkıları

Tüm yazarlar makalenin oluşmasında ortak katkı sağlamışlardır

Fon

Bu araştırma belirli bir hibe ya da fon tarafından desteklenmemiştir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar beyanında bulunmamışlardır.

Kaynaklar

Alzubaidi, A. K., Al-Kaabi, W. J., Ali, A. Al, Albukhaty, S., Al-Karagoly, H., Sulaiman, G. M., Asiri, M., & Khane, Y. (2023). Green Synthesis and Characterization of Silver Nanoparticles Using Flaxseed Extract and Evaluation of Their Antibacterial and Antioxidant Activities. *Applied Sciences 2023, Vol. 13, Page 2182*, *13*(4), 2182. https://doi.org/10.3390/APP13042182

Daphedar, A. B., Majani, S. S., Kaddipudi, P. J., Hujaratti, R. B., Kakkalmeli, S. B., Shati, A. A., Alfaifi, M. Y., Elbehairi, S. E. I., Shivamallu, C., Jinendra, U., & Kollur, S. P. (2024). Evaluation of antioxidant and antibacterial activities of silver nanoparticles derived from Limonia acidissima L. fruit extract. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, *8*, 100399. https://doi.org/10.1016/J.CRGSC.2024.100399

Das, P., Dutta, T., Manna, S., Loganathan, S., & Basak, P. (2022). Facile green synthesis of non-genotoxic, non-hemolytic organometallic silver nanoparticles using extract of crushed, wasted, and spent Humulus lupulus (hops): Characterization, anti-bacterial, and anti-cancer studies. *Environmental Research*, *204*, 111962. https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111962

Devanesan, S., & Alsalhi, M. S. (2021). *Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using the Flower Extract of Abelmoschus esculentus for Cytotoxicity and Antimicrobial Studies*. https://doi.org/10.2147/IJN.S307676

Dinparvar, S., Bagirova, M., Allahverdiyev, A. M., Abamor, E. S., Safarov, T., Aydogdu, M., & Aktas, D. (2020). A nanotechnology-based new approach in the treatment of breast cancer: Biosynthesized silver nanoparticles using Cuminum cyminum L. seed extract. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, *208*. https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2020.111902

EFTAL BOKE, Kadriye Saygi, RAMAZAN ERENLER, BIRGUL KACMAZ, & AYSUN ERGENE. (2024). Maksmf.mx alanından [PDF] Nigella sativa seed-mediated green biosynthesis of silver nanoparticles and antimicrobial activityaleyi göster. *Revista Mexicana de Física*, *70*, 1–7. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=tr&user=0LBwaJwAAAAJ&sortby=pubdate&citation_for_view=0LBwaJwAAAAJ:5nxA0vEk-isC

Erenler, R., & Dag, B. (2021). *Biosynthesis of silver nanoparticles using Origanum majorana L. and evaluation of their antioxidant activity*. https://doi.org/10.1080/24701556.2021.1952263

Garibo, D., Borbón-Nuñez, H. A., de León, J. N. D., García Mendoza, E., Estrada, I., Toledano-Magaña, Y., Tiznado, H., Ovalle-Marroquin, M., Soto-Ramos, A. G., Blanco, A., Rodríguez, J. A., Romo, O. A., Chávez-Almazán, L. A., & Susarrey-Arce, A. (2020). Green synthesis of silver nanoparticles using Lysiloma acapulcensis exhibit high-antimicrobial activity. *Scientific Reports*, *10*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-020-69606-7

Gecer, E. N., Erenler, R., Temiz, C., Genc, N., & Yildiz, I. (2021). *Particulate Science and Technology Green synthesis of silver nanoparticles from Echinacea purpurea (L.) Moench with antioxidant profile Green synthesis of silver nanoparticles from Echinacea purpurea (L.) Moench with antioxidant profile*. https://doi.org/10.1080/02726351.2021.1904309

Genc, N., Yildiz, I., Chaoui, R., Erenler, R., Temiz, C., & Elmastas, M. (2021). Biosynthesis, characterization and antioxidant activity of oleuropein-mediated silver nanoparticles. *Inorganic and Nano-Metal Chemistry*, *51*(3), 411–419. https://doi.org/10.1080/24701556.2020.1792495

Ijaz, I., Bukhari, A., Gilani, E., Nazir, A., Zain, H., Saeed, R., hussain, S., hussain, T., bukhari, A., naseer, yasra, & aftab, R. (2022). Green synthesis of silver nanoparticles using different plants parts and biological organisms, characterization and antibacterial activity. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, *18*, 100704. https://doi.org/10.1016/J.ENMM.2022.100704

Karan, T., Gonulalan, Z., Erenler, R., Kolemen, U., & Eminagaoglu, O. (2024). Green synthesis of silver nanoparticles using Sambucus ebulus leaves extract: Characterization, quantitative analysis of bioactive molecules, antioxidant and antibacterial activities. *Journal of Molecular Structure*, *1296*, 136836. https://doi.org/10.1016/J.MOLSTRUC.2023.136836

Koduru, J. R., Kailasa, S. K., Bhamore, J. R., Kim, K. H., Dutta, T., & Vellingiri, K. (2018). Phytochemical-assisted synthetic approaches for silver nanoparticles antimicrobial applications: A review. In *Advances in Colloid and Interface Science* (Vol. 256, pp. 326–339). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.cis.2018.03.001

Korkmaz, N., Ceylan, Y., Taslimi, P., Karadağ, A., Bülbül, A. S., & Şen, F. (2020). Biogenic nano silver: Synthesis, characterization, antibacterial, antibiofilms, and enzymatic activity. *Advanced Powder Technology*. https://doi.org/10.1016/j.apt.2020.05.020

Mnif, S., & Aifa, S. (2015). Cumin (Cuminum cyminum L.) from Traditional Uses to Potential Biomedical Applications. *Chemistry & Biodiversity*, *12*(5), 733–742. https://doi.org/10.1002/CBDV.201400305

Mousavi, S. M., Hashemi, S. A., Ghasemi, Y., Atapour, A., Amani, A. M., Savar Dashtaki, A., Babapoor, A., & Arjmand, O. (2018). Green synthesis of silver nanoparticles toward bio and medical applications: review study. *Artificial Cells, Nanomedicine and Biotechnology*, *46*(sup3), S855–S872. https://doi.org/10.1080/21691401.2018.1517769

Nesrin, K., Yusuf, C., Ahmet, K., Ali, S. B., Muhammad, N. A., Suna, S., & Fatih, Ş. (2020). Biogenic silver nanoparticles synthesized from Rhododendron ponticum and their antibacterial, antibiofilm and cytotoxic activities. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, *179*, 112993. https://doi.org/10.1016/J.JPBA.2019.112993

Ozlem Saygi, K., & Usta, C. (2021). Rosa canina waste seed extract-mediated synthesis of silver nanoparticles and the evaluation of its antimutagenic action in Salmonella typhimurium. *Materials Chemistry and Physics*, *266*. https://doi.org/10.1016/J.MATCHEMPHYS.2021.124537

Rajasekar, R., Samuel, M., Edison, T. N. J. I., & Raman, N. (2021). Sustainable synthesis of silver nanoparticles using Alstonia scholaris for enhanced catalytic degradation of methylene blue. *J Mol Struct*, *1246*, 131208. https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.131208

Ravichandran, V., Vasanthi, S., Shalini, S., Shah, S. A. A., Tripathy, M., & Paliwal, N. (2019). Green synthesis, characterization, antibacterial, antioxidant and photocatalytic activity of Parkia speciosa leaves extract mediated silver nanoparticles. *Results in Physics*, *15*. https://doi.org/10.1016/j.rinp.2019.102565

Saha, J., Begum, A., Mukherjee, A., & Kumar, S. (2017). A novel green synthesis of silver nanoparticles and their catalytic action in reduction of Methylene Blue dye. *Sustain Environ Res*, *27*(5), 245–250. https://doi.org/10.1016/j.serj.2017.04.003

Sathiyaraj, S., Suriyakala, G., Arumugam, ·, Gandhi, D., Saranya, S., Santhoshkumar, · Murali, Kavitha, P., & Ranganathan Babujanarthanam, ·. (2020). Green Biosynthesis of Silver Nanoparticles Using Vallarai Chooranam and Their Potential Biomedical Applications. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, *30*, 4709–4719. https://doi.org/10.1007/s10904-020-01683-7

Saygi, K. O., Bayram, H. M., & Bayram, E. (2024). Green synthesis of silver nanoparticles using artichoke flower petals and application in endodontic dentistry. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *14*(4), 5531–5539. https://doi.org/10.1007/S13399-022-02857-8/TABLES/1

Saygi, K. O., & Cacan, E. (2021). Antioxidant and cytotoxic activities of silver nanoparticles synthesized using Tilia cordata flowers extract. *Materials Today Communications*, *27*, 102316. https://doi.org/10.1016/J.MTCOMM.2021.102316

Saygi, K. O., Kacmaz, B., & Gul, S. (2021). Biosynthesized silver nanoparticles and essential oil from Coriandrum sativum seeds and their antimicrobial activities. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, *16*(4), 1527–1535.

Sharifi-Rad, M., Pohl, P., Epifano, F., & Álvarez-Suarez, J. M. (2020). Green synthesis of silver nanoparticles using astragalus tribuloides delile. Root extract: Characterization, antioxidant, antibacterial, and anti-inflammatory activities. *Nanomaterials*, *10*(12), 1–17. https://doi.org/10.3390/NANO10122383

Siddiqui, N., Pal, K., Karmakar, P., Maidul Islam, M., & Mukhopadhyay, S. (2020). A dual role of cumin-seed extract towards the silver nanoparticle synthesis and stabilisation and its potential for antibacterial and anticancer activities through oxidative damage. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, *11*(2). https://doi.org/10.1088/2043-6254/AB92FD

Singh, A., Gautam, P. K., Verma, A., Singh, V., Shivapriya, P. M., Shivalkar, S., Sahoo, A. K., & Samanta, S. K. (2020). Green synthesis of metallic nanoparticles as effective alternatives to treat antibiotics resistant bacterial infections: A review. *Biotechnology Reports*, *25*, e00427. https://doi.org/10.1016/J.BTRE.2020.E00427

Singh, C., Anand, S. K., Upadhyay, R., Pandey, N., Kumar, P., Singh, D., Tiwari, P., Saini, R., Tiwari, K. N., Mishra, S. K., & Tilak, R. (2023). Green synthesis of silver nanoparticles by root extract of Premna integrifolia L. and evaluation of its cytotoxic and antibacterial activity. *Materials Chemistry and Physics*, *297*. https://doi.org/10.1016/J.MATCHEMPHYS.2023.127413

Singla, S., Jana, A., Thakur, R., Kumari, C., Goyal, S., & Pradhan, J. (2022). Green synthesis of silver nanoparticles using Oxalis griffithii extract and assessing their antimicrobial activity. *OpenNano*, *7*. https://doi.org/10.1016/J.ONANO.2022.100047

Srikar, S. K., Giri, D. D., Pal, D. B., Mishra, P. K., & Upadhyay, S. N. (2016). Green Synthesis of Silver Nanoparticles: A Review. *Green and Sustainable Chemistry*, *06*(01), 34–56. https://doi.org/10.4236/gsc.2016.61004

Suvith, V. S., & Philip, D. (2014). Catalytic degradation of methylene blue using biosynthesized gold and silver nanoparticles. *Spectrochim Acta - A: Mol Biomol Spectrosc*, *118*, 526–532. https://doi.org/10.1016/j.saa.2013.09.016

Takcı, D. K., Ozdenefe, M. S., & Genc, S. (2023). Green synthesis of silver nanoparticles with an antibacterial activity using Salvia officinalis aqueous extract. *Journal of Crystal Growth*, *614*, 127239. https://doi.org/10.1016/J.JCRYSGRO.2023.127239

Zahoor, M., Nazir, N., Iftikhar, M., Naz, S., Zekker, I., Burlakovs, J., Uddin, F., Kamran, A. W., Kallistova, A., Pimenov, N., & Khan, F. A. (2021). *A Review on Silver Nanoparticles: Classification, Various Methods of Synthesis, and Their Potential Roles in Biomedical Applications and Water Treatment*. https://doi.org/10.3390/w13162216

Zhang, Y., Chen, Y., Zhang, H., Zhang, B., & Liu, J. (2013). Potent antibacterial activity of a novel silver nanoparticle-halloysite nanotube nanocomposite powder. *Journal of Inorganic Biochemistry*, *118*, 59–64. https://doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2012.07.025