

## **Abelmoschus esculentus** yaprağı kullanılarak gümüş nanopartiküllerin yeşil sentezi ve bazı gıda patojenleri üzerindeki antimikrobiyal etkileri

### **Green synthesis of silver nanoparticles using *Abelmoschus esculentus* leaf and antimicrobial effects on some food pathogens**

**Abdulkerim HATİPOĞLU** 

Mardin Artuklu Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Mardin

#### **Eser Bilgisi / Article Info**

Araştırma makalesi / Research article

**DOI: 10.17474/artvinofd.971246**

Sorumlu yazar / Corresponding author

Abdulkerim HATİPOĞLU

e-mail:

abdulkerimhatipoglu@artuklu.edu.tr

Geliş tarihi / Received

14.07.2021

Düzeltilme tarihi / Received in revised form

05.09.2021

Kabul Tarihi / Accepted

07.09.2021

Elektronik erişim / Online available

18.11.2021

#### **Anahtar kelimeler:**

AgNP'ler

TEM

EDX

XRD

Gıda patojenleri

#### **Keywords:**

AgNPs

TEM

EDX

XRD

Food pathogens

#### **Özet**

Bu çalışmada, *Abelmoschus esculentus* (AE) yaprağı özütü kullanılarak düşük maliyetli, çevre dostu ve kolay bir şekilde gümüş nanopartiküller (AgNP'ler) sentezlendi. Ultraviyole-görünür (UV-vis.) Spektrofotometre analiz verilerine göre, nanokristaller 431 nm'de karakteristik bir tepe noktası gösterdi. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM) ve enerji dağılımlı X-ışını Spektroskopisi (EDX) analizleri, biyolojik yolla sentezlenen AgNP'lerin morfolojik yapılarının küresel olduğunu ortaya koydu. XRD analizi sonuçlarına göre AgNP'lerin kristal yapılarının kübik olduğu görüldü. Nanopartiküllerin boyutu, Debye-Scherrer denklemi ile 19.05 nm olarak hesaplandı. Sentezlenen nanomalzemenin zeta potansiyeli -9.83 mV ve zeta boyutu da 142.2 nm olarak ölçüldü. AgNP'lerin, gıda patojenlerinden *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Escherichia coli* ATCC25922, *Bacillus subtilis* ATCC11774, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC27833 ve *Candida albicans* üzerindeki Minimum İnhibitör Konsantrasyonu (MİK) değerlerinin (mg/mL) sırasıyla 0.125, 0.50, 0.0312, 0.125 ve 0.125 düzeyinde olduğu tespit edildi.

#### **Abstract**

In this study, silver nanoparticles (AgNPs) were synthesized using *Abelmoschus esculentus* (AE) leaf extract in a low cost, environmentally friendly and easy way. According to the ultraviolet-visible (UV-vis.) spectrophotometer analysis data, the nanocrystals showed a characteristic peak at 431 nm. Scanning Electron Microscopy (SEM), Transmission Electron Microscopy (TEM), and energy dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX) analyzes revealed that the morphological structures of the biosynthesized AgNPs were spherical. According to the results of XRD analysis, it was seen that the crystal structures of AgNPs were cubic. The size of the nanoparticles was calculated as 19.05 nm by the Debye-Scherrer equation. The zeta potential of the synthesized nanomaterial was -9.83 mV and the zeta size was 142.2 nm. The Minimum Inhibitory Concentration (MIC) values (mg/mL) of AgNPs on the food pathogens *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Escherichia coli* ATCC25922, *Bacillus subtilis* ATCC11774, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC27833 and *Candida albicans* were 0.125, 0.50, 0.0312, 0.125 and 0.125 respectively.

## **GİRİŞ**

Nanoteknolojinin gelişmesiyle birlikte, son yıllarda metal nanopartiküllerin sentezi ve karakterizasyonu çalışmalarına olan ilgi giderek artmıştır. Nanopartiküller kimyasal indirgeme, fizikokimyasal indirgeme, fotokimyasal indirgeme, elektrokimyasal indirgeme, radyoliz ve ısı buharlaştırma gibi birçok yöntemle üretilebilmektedir (Iravani ve ark. 2014, Yadi ve ark. 2018). Bugünlerde geleneksel yöntemler yerine çevreyi kirletmeyen, toksik çözücüler kullanılmayan, düşük maliyetli “yeşil sentez” prosedürleri ile nanopartiküllerin üretilmesi daha çok tercih edilmektedir (Hussain ve ark. 2016, Bandeira ve ark. 2020). Bu bağlamda, söz konusu nanomalzemelerin bitkiler (Hamelian ve ark. 2018),

bakteriler (Javaid ve ark. 2017), mantarlar (Molnár ve ark. 2018), algler (González-Ballesteros ve ark. 2017) ve virüsler (Mohmed ve ark. 2017) gibi doğal kaynaklardan sentezlenmesine yönelik bilimsel çalışmalar yoğunlaşmıştır.

Nanopartikül çalışmalarında gümüş (Zhang ve Jiang 2020), nikel (Pandian ve ark. 2015), altın (Kumar ve ark. 2019), demir (Devatha ve ark. 2016), çinko (Thema ve ark. 2015), platin (Thirimurugan ve ark. 2016), selenyum (Cittrarasu ve ark. 2021) ve palladyum (Gioria ve ark. 2020) sıklıkla kullanılan metallerdir. Özellikle gümüşün (Ag) bakterilerin çoğalmalarını baskılayan önemli bir faktör olduğu bilinmektedir. “Ag” iyonu hücre bölünmesini ve DNA replikasyonunu önleyebilmektedir

(Ramya ve Subapriya, 2012). AgNP'ler, küçük boyutları nedeniyle hücre zarı proteinlerine bağlanıp bakteri hücrelerinde reaktif oksijen türlerinin oluşumunu katalize etmektedirler. Böylece oksidatif stres nedeniyle hücre ölümüne neden olmaktadır (Hoseinnejad ve ark. 2017, Alkhalaf ve ark. 2020).

Çevre dostu bir yöntem kullanılan bu çalışmada, AgNO<sub>3</sub> sulu çözeltisi AE yaprağının özütü ile indirgenmiştir. Böylece AgNP'lerin sulu sentezi ve stabilizasyonu sağlanmıştır.

Malvaceae familyasına ait bir sebze olan AE, bamya, bendi ve kadın parmağı olarak isimlendirilmektedir. En eski kültür bitkilerinden biri olan AE'nin asıl anavatanı kuzeydoğu Afrika ülkeleri olan Etiyopya ve Sudan'dır. AE şu anda Afrika'dan Asya'ya, Güney Avrupa'dan Amerika'ya kadar birçok ülkede yetiştirilmektedir (Jain ve ark. 2012, Kumar ve ark. 2013).

Bu çalışmada, AE yaprağından elde edilen AgNP'ler karakterize edilmiş ve bazı gıda kaynaklı patojenlere karşı antibakteriyel ve antikandidal aktiviteleri MİK yöntemiyle ortaya konulmuştur.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### Materyal

Çalışmada Diyarbakır'ın Pınar Köyü'nde yetiştirilen AE yaprakları kullanıldı. AgNO<sub>3</sub> (%99.8 saflık), vankomisin, flukonazol ve kolistin Sigma Aldrich'ten satın alındı. AgNP'lerin antimikrobiyal aktiviteleri için *Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC27853, *Bacillus subtilis* ATCC 11774 ve *Candida albicans* kullanıldı.

### Bitki yaprak özütünün ede edilmesi

AE' nin yeşil yaprakları distile su ile iyice yıkandı ve oda koşullarında kurutuldu. 25 g kurutulmuş yaprak ile 250 ml distile su karıştırılarak kaynatıldı. Özüt oda sıcaklığına kadar soğutuldu. Daha sonra Whatman No. 1 filtre kağıdı ile süzüldü ve AgNP'lerin sentezi için +4 °C 'de buzdolabında muhafaza edildi.

### Gümüş nanopartiküllerin sentezi

AgNP'lerin sentezi için katı AgNO<sub>3</sub> ile 1 mM AgNO<sub>3</sub> sulu çözeltisi hazırlandı. Özüt ve AgNO<sub>3</sub> bir cam kap içerisinde 7:2 oranında oda sıcaklığında reaksiyona bırakıldı. AgNP'lerin oluşumu, renk değişimine bağlı olarak farklı

zaman aralıklarında (5, 10, 15, 30, 30, 60 ve 120 dakika) UV-vis spektroskopi dalga boyu taraması ile belirlendi. (Pugazhendhi ve ark. 2018). Reaksiyondan sonra koyu renkli çözelti santrifüjlendi (6000 rpm, 20 dakika). Santrifüjleme sonunda elde edilen katı fraksiyon, birkaç kez damıtılmış su ile yıkandı ve nihai tortu (AgNP'ler), 48 saat boyunca 80 °C'de bir fırında kurutuldu. Daha sonra kuru kısım bir havan ve tokmak kullanılarak toz haline getirildi.

### Sentezlenen nanopartiküllerin karakterizasyonu

Sentezlenen AgNP'lerin UV-vis spektrumları, 300-800 nm dalga boyu aralığında bir spektrofotometrede (Agilent CARY 60) tanımlandı. AgNP'lerin boyut, morfoloji, kristal yapı, yüzey dağılım ve zeta potansiyeli değerleri SEM (EVO 40 LEQ), TEM (Quanta), XRD (Rad B-DMAX II), EDX (Quanta FEG 240) ve Zetasizer (Malvern Ins.Ltd.) ile ortaya konuldu. AgNP'lerin kristal boyutu Debye-Scherrer denkleminde ( $D = K\lambda/(\beta \cos\theta)$ ) (Anand ve ark. 2020) göre hesaplandı. Ayrıca, bitki özütünde bulunan fonksiyonel gruplar ile reaksiyon sonundaki azalmadan sorumlu fonksiyonel gruplar belirlemek için FT-IR (Agilent Cary 630) kullanıldı.

### Gümüş nanopartiküllerin antimikrobiyal aktiviteleri

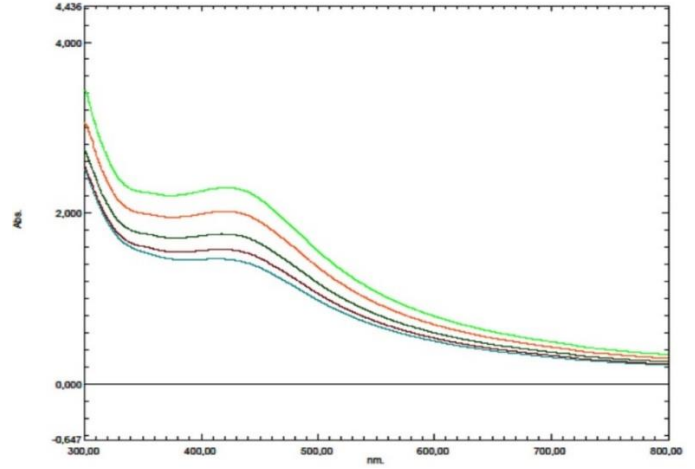
AgNP'lerin gram negatif (*Pseudomonas aeruginosa* ATCC27833, *Escherichia coli* ATCC 25922) ve gram pozitif (*Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Bacillus subtilis* ATCC 11774) bakteriler ile *Candida albicans* üzerindeki MIC değerleri, bir 96 kuyucuklu mikrotitre plakası kullanılarak mikrodilüsyon yöntemiyle belirlendi. Kuyucuklara bakteri için Mueller Hinton Broth ve maya için RPMI (Hücre Kültüründe Kullanılan Büyüme Ortamı) eklendi. Besiyeri ve mikroorganizmaları içeren mikrolakalara AgNP'lerin solüsyonu eklendi. Bu kuyucuklardan her seferinde 100 µL alınarak bir sonraki kuyucuğa aktarıldı. Daha sonra 0.5 McFarland'a göre hazırlanan ve ayarlanan mikroorganizma solüsyonlarından belirli bir miktar mikrolakalara ilave edildi. 37 °C'de 24 saat inkübe edildi. İnkübasyondan sonra üreme olmayan en düşük konsantrasyon MİK değeri olarak belirlendi (Elhisk ve ark. 2016). Ayrıca, AgNP'lerin *S. aureus*, *B. subtilis*, *P. Aeruginosa*, *E. coli* ve *C. albicans* üzerindeki antimikrobiyal etkilerini karşılaştırmak için ticari antibiyotiklerden vankomisin, kolistin ve flukonazol ile 1 mM AgNO<sub>3</sub> çözeltisi kullanıldı.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

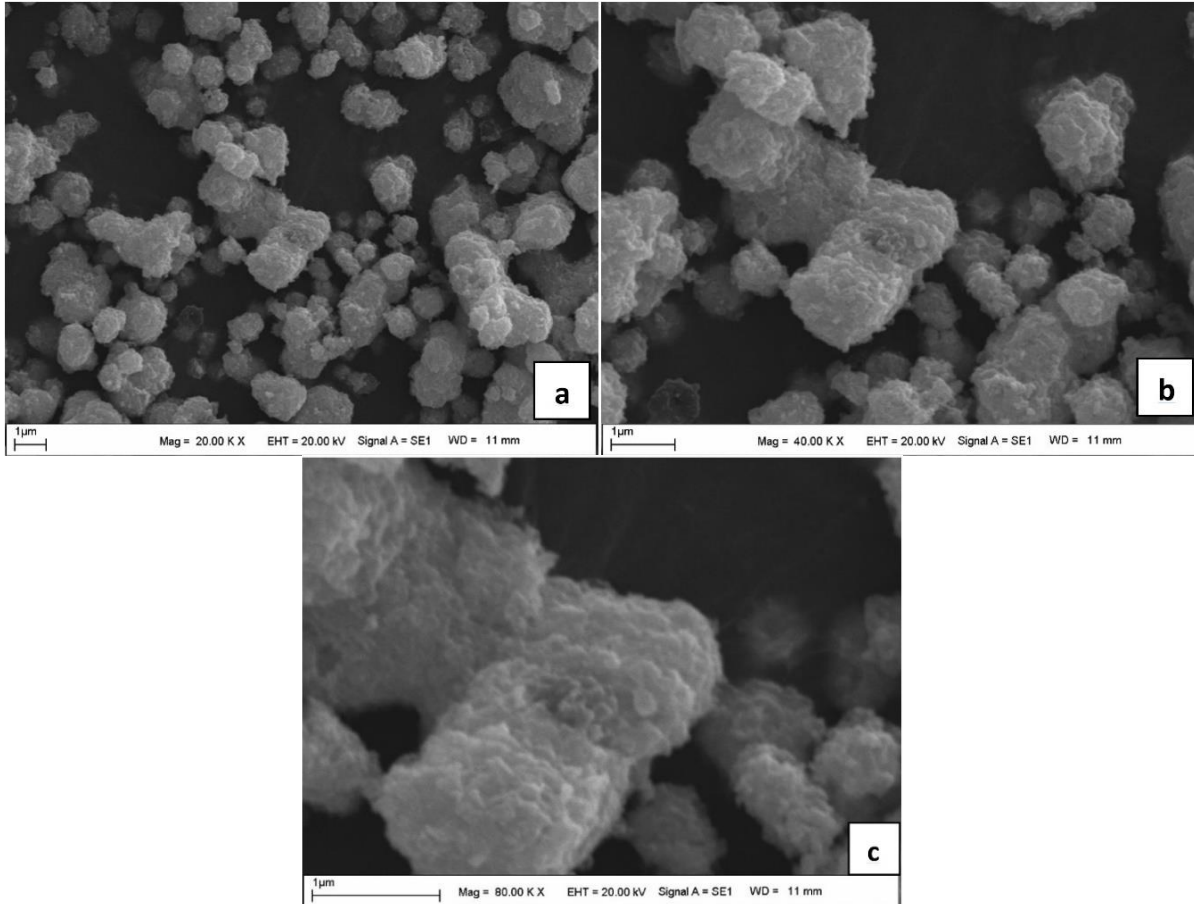
UV-vis spektroskopisi AgNP'lerin sulu çözeltideki oluşumu ve stabilitesini renk değişimi ile ortaya koyan önemli bir yöntemdir. AgNO<sub>3</sub> çözeltisi ile AE özütü bir kap içerisinde reaksiyona bırakıldıktan sonra renk değişimi gözlemlendi. Bu renk değişimleri ile birlikte UV spektroskopisinde 300-800 nm dalga boyu taramaları yapıldı. AgNP'lerin UV-vis spektrumunun açık yeşilden mora doğru değiştiği görülmektedir (Şekil 1). UV-vis spektroskopi analizi, AgNP'lerin yüzey plazmon rezonansı nedeniyle yaklaşık 431 nm'lik spesifik absorpsiyon değerinde zirveye ulaştığını ortaya koydu. Benzer şekilde, bazı araştırmacılar AgNP'lerin absorpsiyon spektrumunun 425-461 nm arasında olduğunu bildirmişlerdir (Udayasoorian ve ark. 2011, Swamy ve ark. 2015, Eren ve Baran 2019, Baran 2021).

SEM ve TEM analiz sonuçlarına göre, biyosentezi yapılan AgNP'lerin çoğunlukla küresel bir morfolojide olduğunu görülmektedir (Şekil 2 ve 3). AgNP'lerin küresel

morfolojide olduğu birçok farklı araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Ramkumar ve ark. 2017, Lopes ve Courrol 2018, Pallela ve ark. 2018, Hatipoğlu 2021



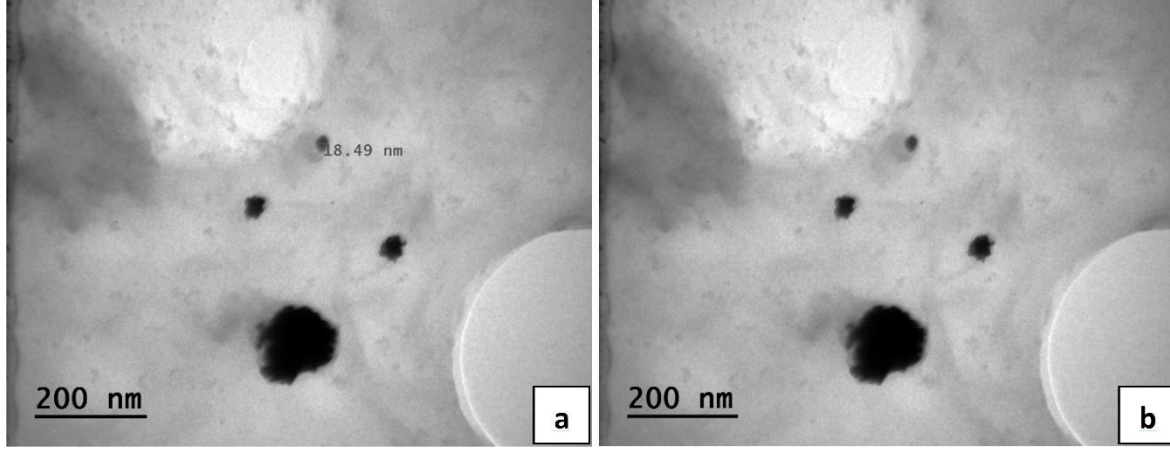
Şekil 1. AE-AgNP'lerin UV-vis absorpsiyon spektrumları



Şekil 2. AgNP'lerin SEM görüntüleri (a-c)

Sentezlenen AgNP'lerin TEM görüntüsü, parçacıkların nano ölçekli ve homojen olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla AgNP'lerin daha güçlü bir antimikrobiyal aktiviteye sahip olması beklenmektedir. TEM

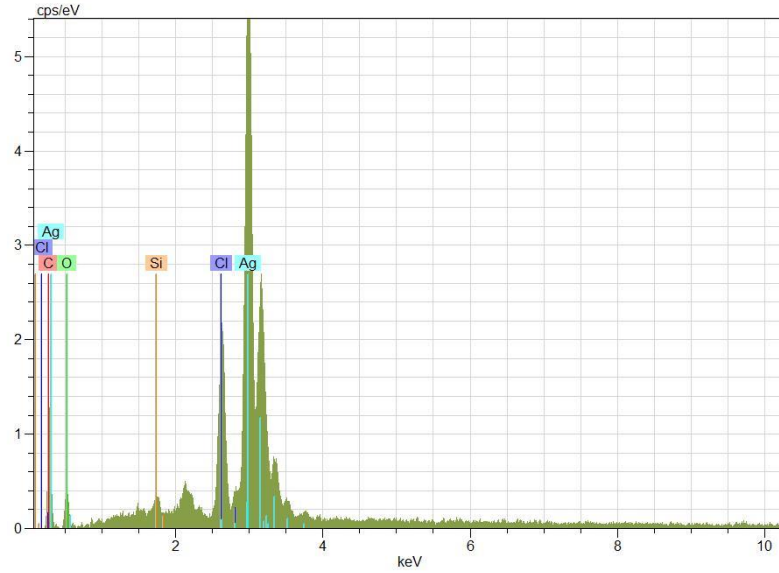
görüntülerinden anlaşıldığı üzere, sentezlenen AgNP'lerin birçoğunun 20 nm civarında bir boyuta sahip olduğu görülmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. AgNP'lerin TEM görüntüleri (a, b)

Saf gümüşün varlığı EDX deseninde de gösterildi (Şekil 4). Bu durum, gümüşün yüksek elemental bileşime sahip olduğunu göstermektedir. Yüzey plazmon rezonansı nedeniyle, AgNP'ler yaklaşık 3 KeV'de tipik bir optik absorpsiyon zirvesi sergilemektedirler. Kambale ve ark.

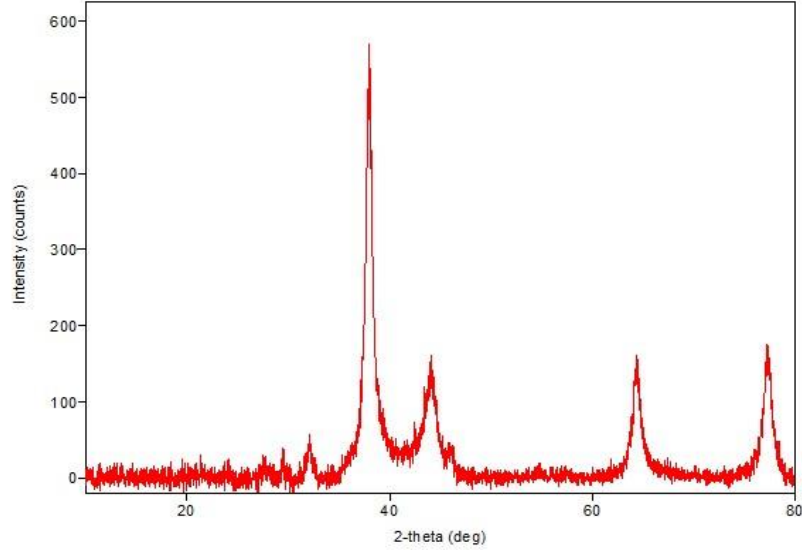
(2020) ile Aktepe (2021) de yaklaşık 3 KeV'lik EDX gümüş piklerini rapor etmişlerdir. EDX profilinde görülen oksijen ve karbon gibi zayıf sinyaller, muhtemelen nanoparçacıkların yüzeyinde bulunan biyomoleküllerden kaynaklanmıştır.



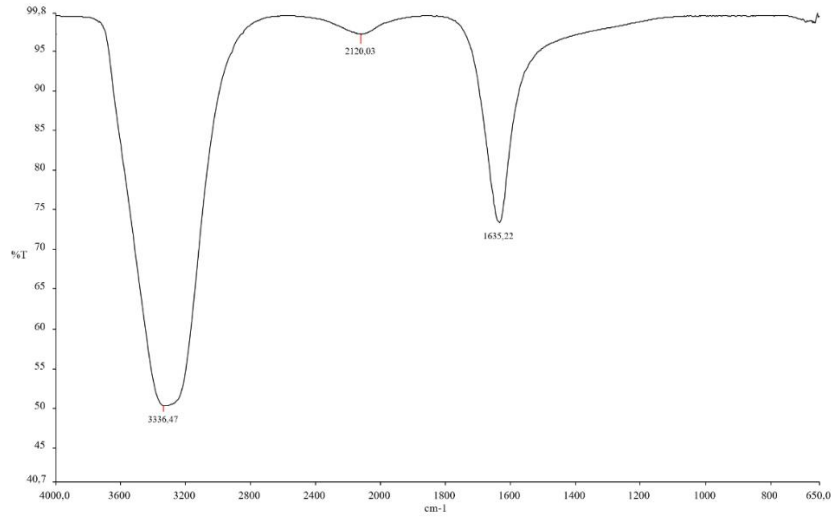
Şekil 4. EDX analizi ile AgNP'lerin elemental bileşimi

XRD analiz sonuçlarında 2θ'de sırasıyla 38.95, 44.38, 64.34 ve 77.096 ile çakışan 111°, 200°, 220° ve 311° pikleri gümüşün küresel kristal yapısını temsil eden keskin piklerdir (Şekil 5). Bu pikler AgNP'lerin kübik olduğunu göstermektedir (Aktepe 2021). Agarwal ve ark. (2018), Raj ve ark. (2018) ve Rajoka ve ark. (2020) sırasıyla

*Cymbopogon citratus*, *Enicostemma axillar* ve *Lactobacillus brevis*'ten AgNP'ler sentezlemişler ve bahse konu piklerin gümüşe ait olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmadan elde edilen AgNP'lerin kristal boyutu Debye-Scherrer denklemi ile 19.05 nm olarak hesaplandı.



Şekil 5. Biyosentezi yapılmış AgNP'lerin XRD desenleri

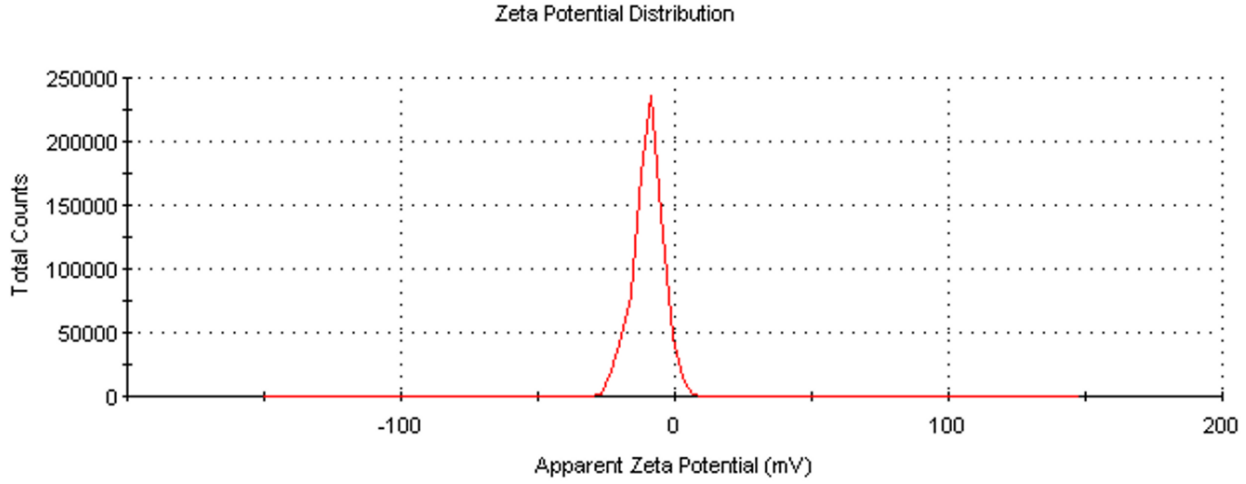


Şekil 6. AE-AgNP'lerin FT-IR spektrumları

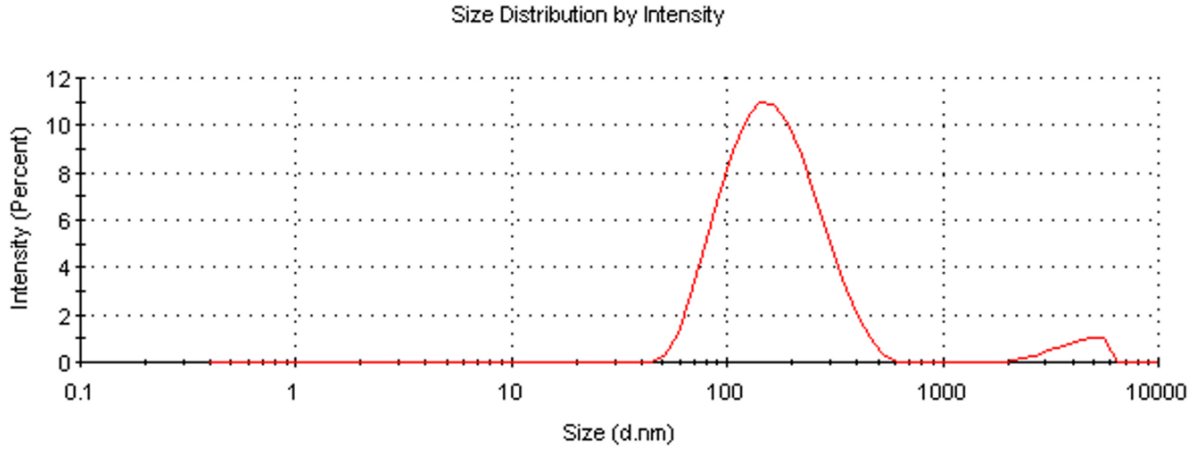
Bitkisel kaynaklı indirgemede rol alan fonksiyonel gruplar FT-IR spektroskopisi kullanılarak belirlenmektedir (Şekil 6). İndirgemeye katılan bariz piklerin -OH, C=O ve -C-C bağlarına ait olduğu gözlemlenmiştir (Smith ve Meissl 2007, Muthusamy ve ark. 2017). Şekildeki 3336.47, 2120.03 ve 1635.22 cm<sup>-1</sup>'deki kaymalar, sırasıyla -OH, -CN ve C = O gruplarının indirgemede rol oynadığını göstermektedir.

Zeta potansiyeli, çevresi kaplanan malzemenin yüzeyindeki elektrik yüküdür. Yüksek zeta potansiyeline sahip maddeler birbirlerine yapışmaya veya kümelenmeye meyilli değildirler. Öte yandan, önemli

ölçüde daha düşük negatif yüke sahip olan nanopartiküller hücreye daha kolay girebilmektedirler (Tavakol ve ark. 2016, Maddinedi ve ark. 2017). Bu çalışmada AgNP'lerin zeta potansiyeli -9.83 mV olarak ölçülmüştür (Şekil 7). Bu değer, AgNP'lerin kararlı ve düzgün dağılmış olduğunu göstermektedir. Çeşitli materyallerden sentezlenen AgNP'lerin farklı zeta potansiyel değerleri bildirilmiştir (Maillard ve ark. 2018, Patil ve ark. 2018, Jebri ve ark. 2020, Thirumagal ve Jeyakumari 2020). Zetasizer ile yapılan ölçümlerde AgNP'lerin zeta boyutlarının ortalama 142.2 nm olduğu görülmüştür (Şekil 8).



Şekil 7. AgNP'lerin zeta potansiyeli



Şekil 8. AgNP'lerin yoğunluğa göre boyut dağılımı

Bilindiği gibi mikroorganizmalar antibiyotiklere karşı direnç geliştirmektedirler. Dolayısıyla, son yıllarda tüm dünyada antibiyotik kullanımını azaltmaya yönelik çabalar artmıştır. Bu bağlamda, antibiyotiklerin yerine kullanılabilir potansiyeline sahip olan AgNP'lerin antimikrobiyal özellikleri dikkat çekmektedir. Çalışmanın sonuçlarına göre, AE-AgNP'lerin gıda patojenlerine karşı güçlü inhibisyon etkileri olduğu görülmektedir (Çizelge 1). AgNO<sub>3</sub> ve antibiyotiklerle karşılaştırıldığında, AgNP'ler

daha düşük konsantrasyonlarda bile oldukça etkili olmuştur. Sentezlenen nanomalzemenin özellikle *Bacillus subtilis* (0.312 mg/mL) üzerinde AgNO<sub>3</sub> ve antibiyotikten çok daha etkili olduğu görüldü. Çalışmadan elde edilen verilerin, farklı bitkilerle AgNP'lerin biyosentezini yapan diğer araştırmacıların bildirdiği verilerle uyumlu olduğu görülmüştür (Moodley ve ark. 2018, Manosalva ve ark. 2019, Rautela ve ark. 2019, Garibo ve ark. 2020).

Çizelge 1. AgNP'ler, AgNO<sub>3</sub> ve antibiyotiklerin MİK değerleri (mg/mL)

Mikroorganizmalar	AgNP'ler	AgNO <sub>3</sub>	Antibiyotikler
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 29213	0.125	2.65	2
<i>Bacillus subtilis</i> ATCC11774	0.0312	1.32	1
<i>Escherichia coli</i> ATCC25922	0.50	0.66	2
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC27833	0.125	1.32	4
<i>Candida albicans</i>	0.125	0.66	2



## SONUÇ

Bu çalışmada, indirgeyici ajan olarak AE yaprak ekstresi kullanılarak çevre dostu, düşük maliyetli, basit ve hızlı bir şekilde AgNP'lerin sentezi gerçekleştirildi. Biyosentez çalışmalarında hiçbir toksik veya tehlikeli madde kullanılmadı. AgNP'lerin sentezi UV-vis absorpsiyon, EDX ve XRD analizleri ile doğrulandı. SEM ve TEM görüntüleri, AgNP'lerin küresel morfolojide olduğunu gösterdi. TEM ve XRD sonuçlarına göre sentezlenen nanopartiküllerin boyutlarının yaklaşık 20 nm civarında olduğu tespit edildi. AgNP'lerin çok düşük konsantrasyonlarda bile, gıda patojenleri olan *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Escherichia coli* ATCC25922, *Bacillus subtilis* ATCC11774, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC27833 ve *Candida albicans* üzerinde güçlü inhibitör etkilerinin olduğu görüldü.

## KAYNAKLAR

- Agarwal H, Kumar SV, Rajeshkumar S (2018) Antidiabetic Effect Of Silver Nanoparticles Synthesized Using Lemongrass (*Cymbopogon citratus*) Through Conventional Heating And Microwave Irradiation Approach. *J Microbiol Biotechnol Food Sci* 7(4): 371-376
- Aktepe N (2021) Gümüş nano materyallerin sentezi, karakterizasyonu ve antimikrobiyal aktiviteleri. *DÜMF Mühendislik Dergisi* 12(2): 347-354
- Alkhalaf MI, Hussein RH, Hamza A (2020) Green synthesis of silver nanoparticles by *Nigella sativa* extract alleviates diabetic neuropathy through anti-inflammatory and antioxidant effects. *Saudi J Biol Sci* 27(9): 2410-2419
- Anand GT, Nithiyavathi R, Ramesh R, Sundaram J, Kaviyarasu K (2020) Structural and optical properties of nickel oxide nanoparticles: Investigation of antimicrobial applications. *Surf Interfaces* 18: 100460
- Bandeira M, Giovanela M, Roesch-Ely M, Devine DM, Da Silva Crespo J (2020) Green synthesis of zinc oxide nanoparticles: A review of the synthesis methodology and mechanism of formation. *Sustain Chem Pharm* 15:100223
- Baran A (2021) Gümüş nano malzemelerin çevre dostu, hızlı sentezi ve biyomedikal uygulamaları. *DÜMF Mühendislik Dergisi* 12(2): 329-336
- Citrarasu V, Kaliannan D, Dharman K, Maluventhen V, Easwaran M, Liu WC, Balasubramanian B, Arumugam M (2021) Green synthesis of selenium nanoparticles mediated from *Ceropegia bulbosa* Roxb extract and its cytotoxicity, antimicrobial, mosquitocidal and photocatalytic activities. *Sci Rep* 11: 1032
- Devatha CP, Thalla AK, Katte SY (2016) Green synthesis of iron nanoparticles using different leaf extracts for treatment of domestic waste water. *J Clean Prod* 139: 1425-1435
- Elshikh M, Ahmed S, Funston S, Dunlop P, MCGAW M, Marchant R, Banat IM (2016) Resazurin-based 96-well plate microdilution method for the determination of minimum inhibitory concentration of biosurfactants. *Biotechnol Lett* 38(6): 1015-1019
- Eren A, Baran MF (2019) Green Synthesis, Characterization and Antimicrobial Activity of Silver Nanoparticles (AgNPs) From Maize (*Zea Mays* L.). *Appl Ecol Environ Res* 17(2): 4097-4105
- Garibo D, Borbón-Nuñez HA, De León JND (2020) Green synthesis of silver nanoparticles using *Lysiloma acapulcensis* exhibit high-antimicrobial activity. *Scientific Reports* 10: 12805
- Gioria E, Signorini C, Wisniewski F, Gutierrez L (2020) Green synthesis of time-stable palladium nanoparticles using microfluidic devices. *J Environ Chem Eng* 8(5): 104096
- González-Ballesteros N, Prado-López S, Rodríguez-González JB, Lastra M, Rodríguez-Argüelles MC (2017) Green synthesis of gold nanoparticles using brown algae *Cystoseira baccata*: Its activity in colon cancer cells. *Colloids Surf B Biointerfaces* 153: 190-198
- Hamelian H, Hemmati S, Varmira K, Veisi H (2018) Green synthesis, antibacterial, antioxidant and cytotoxic effect of gold nanoparticles using Pistacia Atlantica extract. *J Taiwan Inst Chem Eng* 93: 21-30
- Hatipoğlu A (2021) Rapid green synthesis of gold nanoparticles: synthesis, characterization and antimicrobial activities. *Progr Nutr* 23(3): e2021242
- Hoseinejad M, Jafari SM, Katouzian I (2017) Inorganic and metal nanoparticles and their antimicrobial activity in food packaging applications. *Crit Rev Microbiol* 44(2): 161-181
- Hussain I, Singh NB, Singh A, Singh H, Singh SC (2016) Green synthesis of nanoparticles and its potential application. *Biotechnol Lett* 38: 545-560
- Iravani S, Korbekandi H, Mirmohammadi SV, Zolfaghari B (2014) Synthesis of silver nanoparticles: chemical, physical and biological methods. *Res Pharm Sci* 9(6): 385-406
- Jain N, Jain R, Jain V, Jain S (2012) A Review On: *Abelmoschus esculentus*. *Pharmacia* 1(3): 84-89
- Javadi A, Oloketuyi SF, Khan MM, Khan F (2017) Diversity of Bacterial Synthesis of Silver Nanoparticles. *BioNanoScience* 8(1): 43-59
- Jebril S, Jenana RKB, Dridi C (2020) Green synthesis of silver nanoparticles using Melia azedarach leaf extract and their antifungal activities: In vitro and in vivo. *Mater Chem Phys* 248:122898
- Kambale EK, Nkanga CI, Mutonkole B-PI, Bapolisi AM, Tassa DO, Liesse J-MI, Krause RWM, Memvanga PB (2020) Green synthesis of antimicrobial silver nanoparticles using aqueous leaf extracts from three Congolese plant species (*Brillantaisia patula*, *Crossopteryx febrifuga* and *Senna siamea*). *Heliyon* 6(8): e04493
- Kumar DS, Tony DE, Kumar AP, Kumar KA, Rao DBS, Nadendla R (2013) A Review On: *Abelmoschus esculentus* (Okra) *Int Res J Pharm Appl Sci* 3(4): 129-132
- Kumar PV, Kala SMJ, Prakash KS (2019) Green synthesis of gold nanoparticles using *Croton Caudatus Geisel* leaf extract and their biological studies. *Mater Lett* 236: 19-22
- Lopes CRB, Courrol LC (2018) Green synthesis of silver nanoparticles with extract of Mimosaops coriacea and light. *Journal of Luminescence* 199: 183-187
- Maddinedi SB, Mandal BK, Maddili SK (2017) Biofabrication of size controllable silver nanoparticles - A green approach. *J Photochem Photobiol B* 167: 236-241

- Maillard APVF, Dalmasso PR, De Mishima BAL, Hollmann A (2018) Interaction of green silver nanoparticles with model membranes: possible role in the antibacterial activity. *Colloids Surf B Biointerfaces* 171: 320-326
- Manosalva N, Tortella G, Cristina Diez M, Schalchli H, Seabra AB, Durán N, Rubilar O (2019) Green synthesis of silver nanoparticles: effect of synthesis reaction parameters on antimicrobial activity. *World J Microbiol Biotechnol* 35: 88
- Mohmed AA, Saad E, Fouda A, Elgamel MS, Salem SS (2017) Extracellular biosynthesis of silver nanoparticles using *Aspergillus* sp. and evaluation of their antibacterial and cytotoxicity. *Journal of Applied Life Sciences International* 11(2):1-12
- Molnár Z, Bódai V, Szakacs G, Erdélyi B, Fogarassy Z, Sáfrán G, Varga T, Kónya Z, Tóth-Szeles E, Szűcs R, Lagzi I (2018) Green synthesis of gold nanoparticles by thermophilic filamentous fungi. *Scientific Reports* 8: 3943
- Moodley JS, Krishna SBN, Pillay K, Govender S, Govender P (2018) Green synthesis of silver nanoparticles from *Moringa oleifera* leaf extracts and its antimicrobial potential. *Adv Nat Sci: Nanosci Nanotechnol* 9(1): 015011
- Muthusamy G, Thangasamy S, Raja M, Chinnappan S, Kandasamy S (2017) Biosynthesis of silver nanoparticles from *Spirulina* microalgae and its antibacterial activity. *Environ Sci Pollut Res* 24: 19459-19464
- Pallela PNVK, Ummey S, Ruddaraju LK, Pammi SVN, Yoon SG (2018) Ultra Small, mono dispersed green synthesized silver nanoparticles using aqueous extract of *Sida cordifolia* plant and investigation of antibacterial activity. *Microb Pathog* 124: 63-69
- Pandian CJ, Palanivel R, Dhananasekaran S (2015) Green synthesis of nickel nanoparticles using *Ocimum sanctum* and their application in dye and pollutant adsorption. *Chin J Chem Eng* 23(8): 1308-1315
- Patil MP, Singh RD, Koli PB, Patil KT, Jagdale PS, Tipare AR, Kim G-D (2018) Antibacterial potential of silver nanoparticles synthesized using *Madhuca longifolia* flower extract as a green resource. *Microb Pathog* 121: 184-189
- Pugazhendhi S, Palanisamy PK, Jayavel R (2018) Synthesis of highly stable silver nanoparticles through a novel green method using *Mirabilis jalapa* for antibacterial, nonlinear optical applications. *Opt Mater* 79: 457-63
- Raj S, Chand Mali S, Trivedi R (2018) Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using *Enicostemma axillare* (Lam.) leaf extract. *Biochem Biophys Res Commun* 503: 2814-2819
- Rajoka MSR, Mehwish HM, Zhang H, Ashraf M, Fang H, Zeng X, Wu Y, Khurshid M, Zhao L, He Z (2020) Antibacterial and antioxidant activity of exopolysaccharide mediated silver nanoparticle synthesized by *Lactobacillus brevis* isolated from Chinese koumiss. *Colloids Surf B Biointerfaces* 186: 110734
- Ramkumar VS, Pugazhendhi A, Gopalakrishnan K, Sivagurunathan P, Saratale GD, Dung T, Kannapiran E (2017) Biofabrication and characterization of silver nanoparticles using aqueous extract of seaweed *Enteromorpha compressa* and its biomedical properties. *Biotechnology reports* 14: 1-7
- Ramya M, Subapriya MS (2012) Green Synthesis of Silver Nanoparticles. *Int J Pharm Med Biol Sci* 1(1): 54-61
- Rautela A, Rani J, Debnath (Das) M (2019) Green synthesis of silver nanoparticles from *Tectona grandis* seeds extract: characterization and mechanism of antimicrobial action on different microorganisms. *J Anal Sci Technol* 10:5
- Smith E, Meissl K (2007) The applicability of Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy in waste management. *Waste Manag* 27(2): 268-276
- Swamy MK, Akhtar MS, Mohanty SK, Sinniah UR (2015) Synthesis and characterization of silver nanoparticles using fruit extract of *Momordica cymbalaria* and assessment of their in vitro antimicrobial, antioxidant and cytotoxicity activities. *Spectrochim Acta - Part A Mol Biomol Spectrosc* 151: 939-944
- Tavakol S, Hoveizi E, Kharrazi S, Tavakol B, Karimi S, Sorkhabadi SMR (2016) Organelles and chromatin fragmentation of human umbilical vein endothelial cell influence by the effects of zeta potential and size of silver nanoparticles in different manners. *Artif Cells Nanomed Biotechnol* 45(4): 817-823
- Thema FT, Manikandan E, Dhlamini MS, Maaza M (2015) Green synthesis of ZnO nanoparticles via *Agathosma betulina* natural extract. *Mater Lett* 161: 124-127
- Thirumagal N, Jeyakumari AP (2020) Structural, Optical and Antibacterial Properties of Green Synthesized Silver Nanoparticles (AgNPs) Using *Justicia adhatoda* L. Leaf Extract. *J Clust Sci* 31: 487-497
- Thirumurugan A, Aswitha P, Kiruthika C, Nagarajan S, Christy AN (2016) Green synthesis of platinum nanoparticles using *Azadirachta indica* - An eco-friendly approach. *Mater Lett* 170: 175-178
- Udayasoorian C, Kumar KV, Jayabalakrishnan RM (2011) Extracellular synthesis of silver nanoparticles using leaf extract of *Cassia auriculata*. *Dig J Nanomater Biostruct* 6: 279-283
- Yadi M, Mostafavi E, Saleh B, Davaran S, Aliyeva I, Khalilov R, Nikzamir M, Nikzamir N, Akbarzadeh A, Panahi Y, Milani M (2018) Current developments in green synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts: a review. *Artif Cells Nanomed Biotechnol* 46: 336-343
- Zhang W, Jiang W (2020) Antioxidant and antibacterial chitosan film with tea polyphenols-mediated green synthesis silver nanoparticle via a novel one-pot method. *Int J Biol Macromol* 155: 1252-1261