

## Gümüş Nanopartiküllerin Yeşil Sentezi ve Bazı Gıda Patojenleri Üzerindeki Antimikrobiyal Etkileri

Abdulkerim HATİPOĞLU\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Mardin Artuklu Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, 47000, Mardin, Türkiye

(Alınış / Received: 13.07.2021, Kabul / Accepted: 22.12.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 20.04.2022)

### Anahtar Kelimeler

AgNP'ler,  
FE-SEM,  
TEM,  
XRD,  
Antimikrobiyal etki

**Özet:** Bu çalışmada, gümüş nanopartiküller (AgNP'ler) biyolojik yöntemle kolay, düşük maliyetli ve çevre dostu bir şekilde elde edilmiştir. Sentezi yapılan AgNP'lerin karakterizasyonu UV-visible Spektrofotometre (UV-Vis.), Alan Emisyon Taramalı Elektron Mikroskobu (FE-SEM), Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM), Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi (EDX), X- Işını Kırınımı Difraktrometresi (XRD), Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) ve Zeta boyut ve potansiyel cihazı kullanılarak yapılmıştır. AgNP'lerin 440-450 nm absorbansta maksimum pik vermiştir. TEM ve FE-SEM sonuçlarına göre nanopartiküllerin morfolojik yapılarının küresel ve ortalama 38 nm; XRD sonuçlarına göre nanopartiküllerin toz kristal yapılarının kübik ve 21.94 nm boyutunda; zeta boyutunun ise ortalama 158.2 nm, zeta potansiyelinin -23.4 mV olduğu görülmüştür. Sentezlenen AgNP'lerin *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Bacillus subtilis* ATCC 11774 *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 ve *Candida albicans* üzerinde Minimum İnhibisyon Konsantrasyonları (MİK) (mg/mL) sırasıyla 1.25, 0.625, 2.50, 1.25 ve 0.312 olarak tespit edilmiştir. Söz konusu mikroorganizmaların AgNO<sub>3</sub> ve antibiyotik MİK değerleri (mg/mL) sırasıyla 2.65;2, 1.32;1, 0.66;2, 1.32;4, 0.66;2 olarak tespit edilmiştir.

## Green Synthesis of Silver Nanoparticles and Their Antimicrobial Effects on Some Food Pathogens

### Keywords

AgNP's,  
FE-SEM,  
TEM,  
XRD,  
Antimicrobial effect

**Abstract:** In this study, silver nanoparticles (AgNPs) were obtained by biological method in a simple, low-cost and environmentally friendly way. The characterization of the synthesized AgNPs was fulfilled using UV-visible Spectrophotometer, Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM), Transmission Electron Microscopy (TEM), Energy-Dispersive X-Ray Spectroscopy, X-Ray Diffraction Difractrometer (XRD), Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Zeta sizer and potential devices. It was determined that AgNPs gave a maximum peak at 440-450 nm absorbance. According to the TEM and FE-SEM results, the morphological structures of the nanoparticles were spherical and their average size was 38 nm. According to the XRD pattern, it was observed that the powder crystal structures of the nanoparticles were cubic and 21.94 nm in size. The zeta size of the nanoparticles was 158.2 nm on average and zeta potential of nanoparticles was -23.4 mV. Minimum Inhibition Concentrations (MIC) (mg/mL) of the synthesized AgNPs on *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Bacillus subtilis* ATCC 11774, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 and *Candida albicans* were determined as 1.25, 0.625, 2.5, 1.25 and 0.312, respectively. AgNO<sub>3</sub> and antibiotic MIC values (mg/mL) of the mentioned microorganisms were determined as 2.65;2, 1.32;1, 0.66;2, 1.32;4, 0.66;2, respectively.

### 1. Giriş

Nanoteknoloji kavramını ilk defa 1959'da Richard Feynman ortaya koymuştur [1]. Nanoteknoloji, 1-100 nm uzunluğundaki malzemelerin veya cihazların

sentezi, tasarımı ve manipülasyonu ile ilgilenmektedir [2]. Nanoteknoloji ürünü olan nanopartiküller, özellikle gıda ambalaj malzemelerinde çok yönlü yararlar sağlayabilmektedirler. Örneğin, gaz bariyeri oluşturabilmekte, mikroorganizmaların çoğalmasını

\*İlgili yazar: abdulkerimhatipoglu@artuklu.edu.tr

baskılabilmekte, ambalajın sıcaklık ve nem direncini iyileştirebilmektedirler [3, 4]. Böylelikle gıda güvenliği ve raf ömrü artırılabilir.

Nanopartiküller birçok yöntemle sentezlenebilmektedirler [5-7]. Bu yöntemler arasında “yeşil sentez” olarak da ifade edilen, nanopartiküllerin biyosentezi için geliştirilen prosedürler, daha verimli ve geleneksel malzemelere göre daha ekonomiktirler. Ayrıca, yüksek basınç, sıcaklık ve enerji gerektirmemelerinin yanında, zehirli kimyasallar kullanılmadığından çevre dostudurlar [8-10].

Söz konusu nanopartiküller içerisinde güçlü antimikrobiyal etkileri nedeniyle AgNP'ler dikkat çekmektedir [11-13]. Yapılan bir çalışmada, AgNP'ler ve selüloz pedlerle kaplanan sığır etinde, mikroorganizma yükünün önemli derecede düştüğü bildirilmiştir [14]. Diğer bir çalışmada, AgNP'lerin çok katmanlı doğrusal düşük yoğunluklu polietilene eklenmesiyle *Aspergillus niger* yükünün %70'e düştüğü rapor edilmiştir [15]. Öte yandan AgNP'lerin *E. coli* O157: H7 ve *Listeria monocytogenes* üzerinde de inhibe edici etkisi olduğu bildirilmiştir [16].

Son yıllarda dut yaprağı, pelin otu (*Artemisia absinthium*), ashoka ağacı (*Saraca asoca*) yaprağı, karpuz (*Citrullus lanatus*) meyve kabuğu gibi bitki ve meyve özleri kullanılarak AgNP'lerin sentezlendiği birçok çalışma yapılmıştır [17-20]. Bitki ve meyve özü kullanmanın avantajı, moleküler agregasyon olmadan uzun süre depolanabilen kararlı nanoparçacıkların oluşmasıdır [21].

Çalışmamızda Alliaceae familyasına dahil olan *Allium ampeloprasum* (AA, pırasa) yaprağı kullanarak AgNP'leri sentezledik. Pırasa, yemeklerde ve geleneksel tıpta kullanılmaktadır. Bu nedenle, herhangi bir kapatma maddesi veya harici yüzey aktif madde ilavesi olmadan pırasa yaprağı özü kullanarak AgNP'lerin sentezini gerçekleştirdik. Bu çalışma ile sıvı halde altı aydan fazla stabil olan AgNP'lerin çevre dostu, basit ve ekonomik açıdan uygun olan yeşil sentezini ortaya koyduk.

## 2. Materyal ve Metod

AgNP'lerin sentezi için gerekli olan pırasa piyasadan satın alınmıştır. Gümüş nitrat ( $\text{AgNO}_3$ , %99.98 saflık), vankomisin, flukonazol ve kolistin Sigma Aldrich'ten satın alınmıştır. AgNP'lerin antimikrobiyal aktiviteleri için çalışmada *Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Bacillus subtilis* ATCC 11774 ve *Candida albicans* kullanılmıştır.

### 2.1. Bitki özütünün elde edilmesi

AA'nın yeşil yaprakları distile su ile iyice yıkanmış ve oda koşullarında kurutulmuştur. 25 g kuru yaprak

alınarak 250 ml distile su ile karıştırılarak kaynatılmıştır. Ekstrakt oda sıcaklığına soğutulmuştur. Ardından 1 numaralı Whatman filtre kağıdı ile filtre edilmiş ve AgNP'lerin sentezi için +4 °C'de muhafaza edilmiştir.

### 2.2. Gümüş nanopartiküllerin sentezi

$\text{AgNO}_3$  katisından 1 mM  $\text{AgNO}_3$  sulu çözelti hazırlanmış ve 1000 ml'lik erlen mayere 200 ml gümüş nitrat çözeltisi ile 200 mL bitki özütü konularak oda sıcaklığında reaksiyona bırakılmıştır. Reaksiyon oda koşullarında beşinci saatte renk değişimine başlamıştır. AgNP'lerin oluşumu öncelikle renk değişimine bağlı olarak farklı zaman aralıklarında UV-vis spektroskopisi ile dalga boyu taraması yapılarak tespit edilmiştir [22]. Reaksiyon sonucunda koyu renkli çözelti santrifüj işlemine (14 000 rpm, 25 dak) tabii tutulmuştur. Santrifüj sonunda elde edilen katı kısım birkaç kez saf su ile yıkanmış ve 80 °C'lik etüvde 2 gün kurumaya bırakılmıştır. Kurumuş olan materyal cam baget ile öğütüldükten sonra AgNP'lerin karakterizasyonu ve antimikrobiyal aktivitelerinin tespit edilmesi için muhafaza edilmiştir.

### 2.3. Gümüş nanopartiküllerin karakterizasyon teknikleri

Biyosentezi yapılan AgNP'lerin UV-vis. spektrumları, spektrofotometre (Agilent CARY 60 UV-visible spektrofotometre) üzerinde 300-800 nm dalga boyu aralığında belirlenmiştir. AgNP'lerin kristal yapısının morfolojisi, XRD ile (RIGAKU ULTIMA IV XRD) ile  $3^\circ \leq 2\theta \leq 79^\circ$  aralığında analiz edilmiştir. Debye-Scherrer eşitliğinden ( $D = K\lambda/\beta \cos\theta$ ) yararlanılarak AgNP'lerin kristal boyutu hesaplanmıştır [23]. Saf haldeki gümüş veya gümüş oksit nanoparçacıklarının oluşumunu doğrulamak için FE-SEM, Quanta FEG250, TEM (Quanta) ve EDX (Quanta FEG 250) kullanılmıştır. Bitki özütünde bulunan fonksiyonel grupları ve reaksiyon sonunda 4000-400  $\text{cm}^{-1}$  aralığında indirgemede rol oynayan fonksiyonel grupları belirlemek için FT-IR (Perkin Elmer Spektrum 100 FT-IR) spektroskopisi analizi yapılmıştır. Ayrıca Zetasizer cihazı (Malvern Instruments Ltd.) ile yoğunluğa göre boyut analizi gerçekleştirilmiştir.

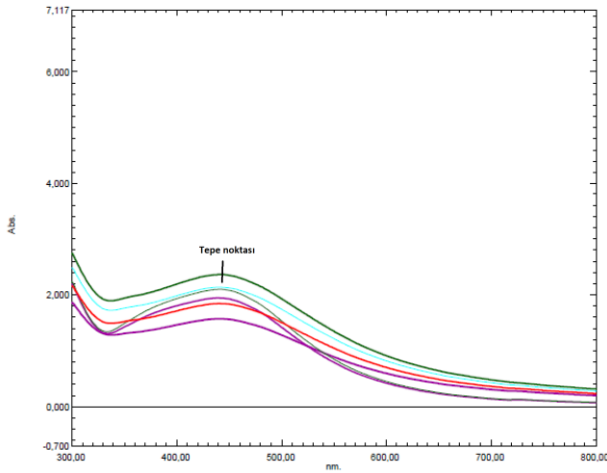
### 2.4. AgNP'lerin antimikrobiyal aktiviteleri

Sentezlenen AgNP'lerin *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Bacillus subtilis* ATCC 11774 ve *Candida albicans* üzerindeki MİK'leri 96' lı mikroparka kuyucukları kullanılarak dilüsyonla belirlendi. Kuyulara bakteri için Mueller Hinton Broth ve maya için RPMI (Hücre Kültüründe Kullanılan Büyüme Ortamı) eklendi. 2.5 mg/mL konsantrasyonlarda hazırlanan AgNP çözeltileri mikro plakalara eklendi ve dilüsyon yapıldı. Ardından her bir patojen için McFarland 0.5 bulanıklık standart ile hazırlanan mikroorganizma çözeltilerinden

mikroplakalara ilave edildi ve 37 °C de bir gece boyunca inkübasyona bırakıldı. Daha sonra mikrobiyal çoğalmanın olmadığı en düşük konsantrasyon değeri, MİK değeri olarak kabul edildi [24]. Ayrıca AgNP'lerin *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis* ve *Candida albicans* üzerindeki antimikrobiyal etkileri karşılaştırmak için vankomisin, kolistin ve flukonazol ticari antibiyotikleri ile 1 mM AgNO<sub>3</sub> çözeltisi kullanıldı.

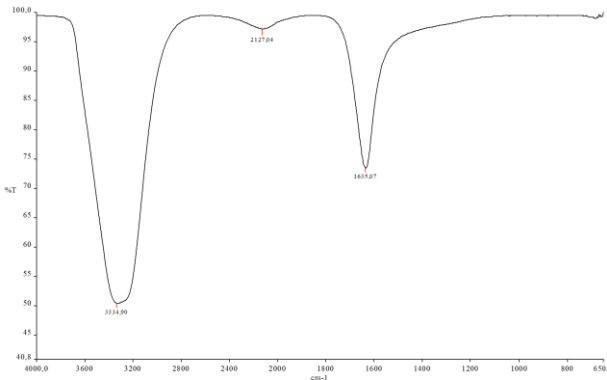
### 3. Bulgular

Gümüş nanopartiküllerin oluşumu, plazma yüzeyinde titreşimler meydana getirdiği için çözeltinin rengi sarıdan kahverengiye doğru değişmektedir [25]. Bu bağlamda AA Özütlü ve AgNO<sub>3</sub> çözeltisi bir kap içerisinde reaksiyona bırakıldıktan sonra 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 ve 60. dakikadaki renk değişimi gözlenmiştir (Şekil 1). Renk değişimiyle beraber UV spektroskopisinde 300-800 nm [26] dalga boyu taramaları yapılmıştır.

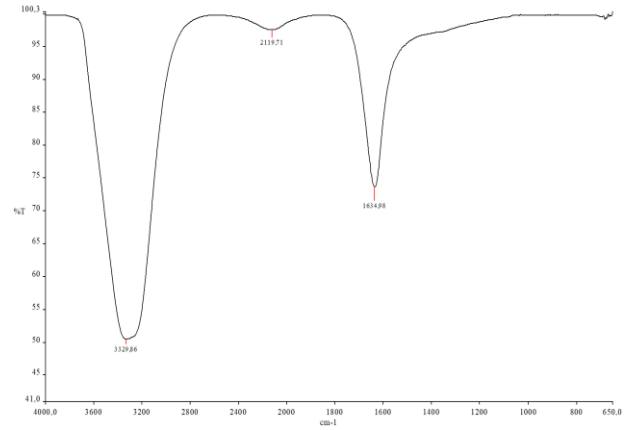


Şekil 1. AA-AgNP'lerin UV-vis. absorpsiyon spektrumları

İndirgemenen sorumlu olan fitokimyasallar/fonksiyonel gruplar FT-IR spektroskopisi ile tespit edilmiştir. İndirgemedede kullanılan AA özütlü ile reaksiyon sonundaki karışımın ayrı ayrı infrared spektroskopisi alınmıştır (Şekil 2 ve 3).

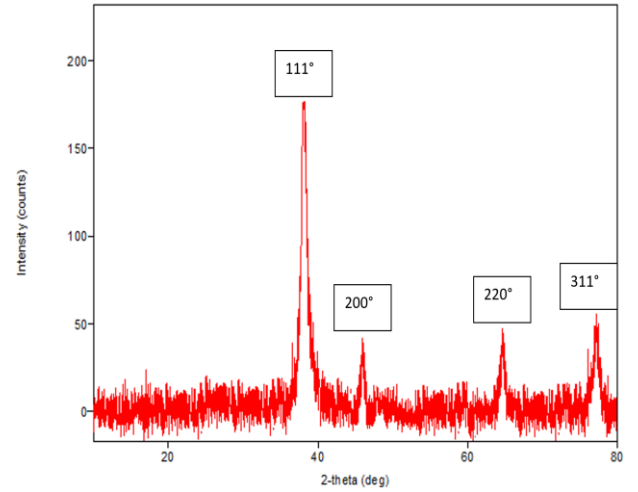


Şekil 2. AA yaprak özütlünün FT-IR spektrumu



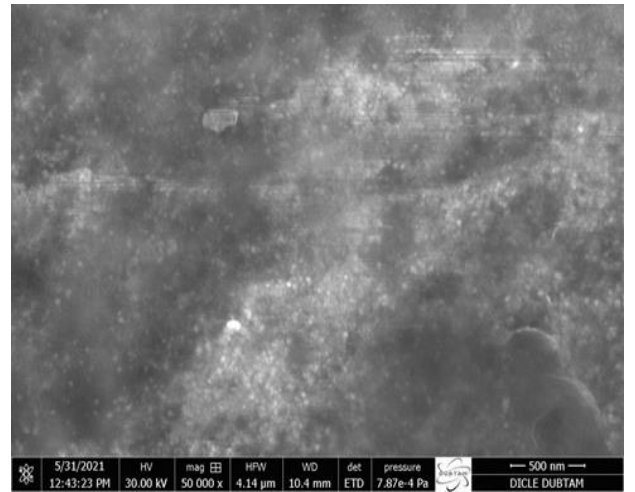
Şekil 3. Sentezlenmiş AA-AgNP'lerin FT-IR spektrumu

XRD analiz sonuçlarında 2θ'daki 111°, 200°, 220° ve 311°'ye denk gelen sırasıyla 38.24, 46.17, 64.12 ve 77.73 pikleri, gümüşün küresel kristal yapısını temsil eden keskin piklerdir (Şekil 4).

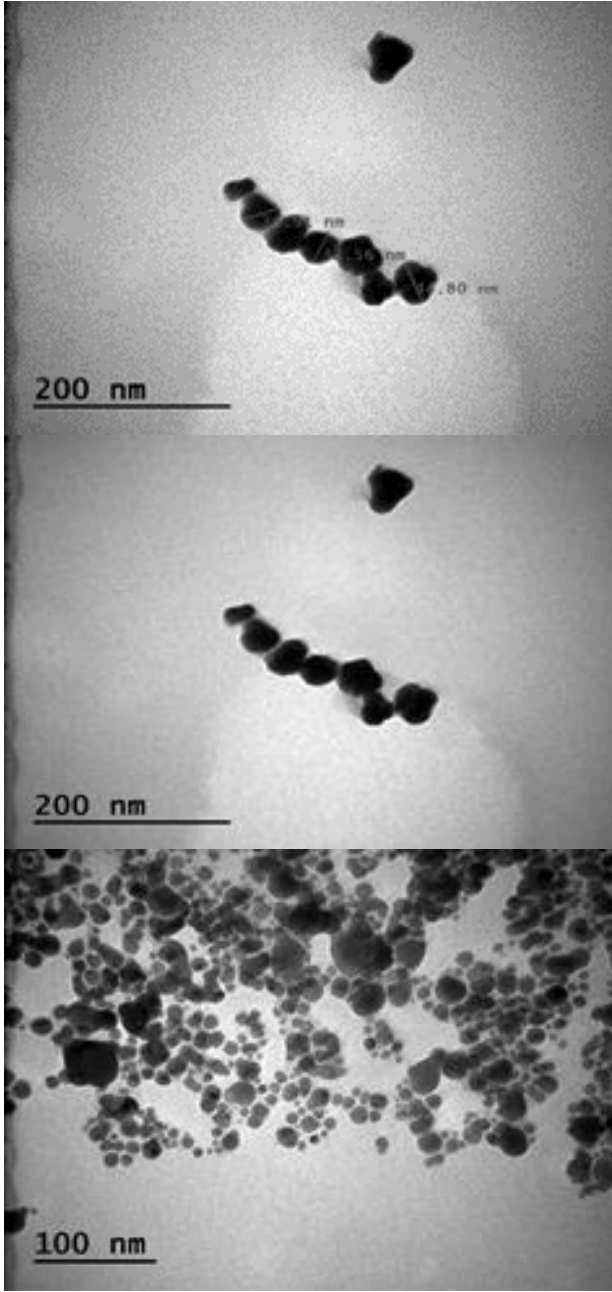


Şekil 4. AA yaprak özütlü kullanılarak sentezlenen AgNP'lerin XRD deseni

FE-SEM ve TEM analiz sonuçlarına göre biyosentezi yapılan AgNP'lerin çoğunlukla küresel bir morfolojide olduğu görülmektedir (Şekil 5 ve 6).

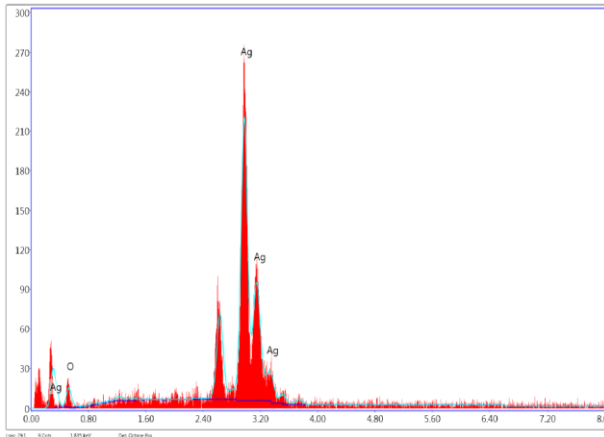


Şekil 5. AgNP'lerin FE-SEM görüntüsü

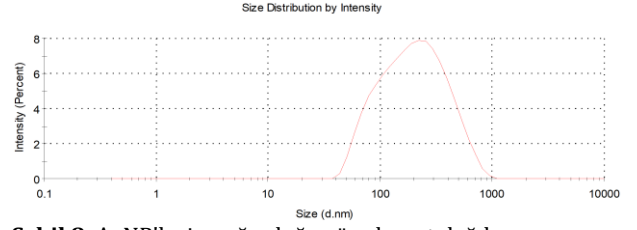


Şekil 6. AgNP'lerin TEM görüntüleri

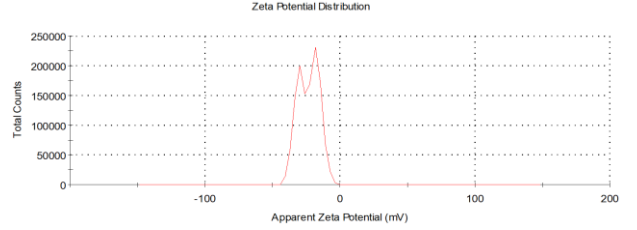
Saf gümüşün varlığı, AA-AgNP'lere ait EDX deseninde de görülmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. EDX analizi ile AgNP'lerin elemental bileşimi



Şekil 8. AgNP'lerin yoğunluğa göre boyut dağılımı



Şekil 9. AgNP'lerin zeta potansiyeli

Tablo 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	1.25	2.65	2
<i>Bacillus subtilis</i> ATCC 11774	0.625	1.32	1
<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	2.50	0.66	2
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853	1.25	1.32	4
<i>Candida albicans</i>	0.312	0.66	2

## 4. Tartışma ve Sonuç

### 4.1. UV-vis spektroskopisi

Gümüş nanoparçacıkların serbest elektronları, bir yüzey plazmon rezonans absorpsiyon bandına yol açmaktadır [27]. AgNP'lerin yüzey plazmon rezonansı nedeniyle yaklaşık 440-450 nm absorbansta maksimum pik verdiği UV-vis spektrumlarında görülmektedir (Şekil 1). Bahse konu pikin gümüşe ait olduğu, *Artemisia absinthium* bitki yaprak özütünde 449 nm [19], *Berberis vulgaris* bitki ve köklerine ait özüt ile *Momordica cymbalaria* meyve özütünde 450 nm [26,28] düzeyindeki absorpsiyon spektrumlarında da bildirilmiştir.

### 4.2. FT-IR

Yapılan karşılaştırmada indirgemeye katılan belirgin piklerin -OH, C=O ve -C-C bağlarına ait olduğu görülmektedir [29, 30]. Ayrıca AgNP'lerin sentezinde, 3329.86, 2119.71 ve 1634.98 cm<sup>-1</sup> spektrumlarında oluşan frekans kaymaları ile OH, -CN ve C=O gruplarının indirgemede rol aldığı tespit edilmiştir. Baran [19], Paosen ve ark. [32] ve Roy ve ark. [33] 3200-3426 cm<sup>-1</sup> spektrumlarının OH gruplarını karakterize ettiğini bildirmişlerdir. Aynı araştırmacılar 2127 cm<sup>-1</sup> pikinin -CN, 1562, 1631 ve 1635 cm<sup>-1</sup> piklerinin ise C=O ve C=C gerilmelerine ait olduğunu bildirmişlerdir. 1634.98 cm<sup>-1</sup>'deki absorpsiyon zirvesi amid I olarak tanımlanabilir [34].

### 4.3. XRD

Pikler toz kristal haldeki AgNP'lerin üç boyutlu yapılarının kübik olduğunu göstermektedir [35]. Söz konusu piklerin gümüşe ait olduğu bitki (*Dunaliella salina*), bakteri (*Lactobacillus brevis*) ve nanokompozit çalışmalarında da bildirilmiştir [36-38]. En yüksek pik olan 38.24 tepe açısı olarak alınmıştır. Daha sonra aşağıdaki Debye-Scherrer denklemi [39] yardımıyla nanomalzemelerin boyutu 21.94 nm olarak hesaplanmıştır.

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

D= Nanopartikül boyutunu,

K= Sabit değeri (0.90),

$\lambda$  = X-ray dalga boyu değerini (1.5418 Å),

$\beta$  = En yüksek tepe noktası değerinin yarısını,

$\theta$  = En yüksek tepe noktasının Bragg açısını ifade etmektedir.

Aynı formülün kullanıldığı *Solanum nigrum* [40], *Artemisia absinthium* [19] ve *Nigella sativa L.* [35] ile sentezlenmiş AgNP'lerin kristal boyutları (nm) sırasıyla 8.2, 14.58 ve 17.68 olarak rapor edilmiştir.

### 4.4. FE-SEM ve TEM

Bilindiği gibi FE-SEM sonuçlarının daha iyi değerlendirilebilmesi için TEM sonuçlarına bakılmaktadır. Sentezlenen AgNP'lerin TEM görüntüsü, hangi parçacıkların nano ölçekli ve homojen olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlara göre, nanomalzemenin çoğunlukla küresel şekilli ve çok küçük boyutlarda olduğu görülmektedir. Bilindiği gibi, 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 [41-42]. Dolayısıyla sentezlenmiş olan nanopartiküllerin daha güçlü bir antimikrobiyal aktiviteye sahip olması beklenmektedir. Ramkumar ve ark. [43], Lopes ve Courrol [44], Pallela ve ark. [45] ve Baran ve ark. [46]'nın bitkiler ve algler üzerine yaptıkları çalışmalarda biyosentezi yapılan AgNP'lerin büyük oranda küresel morfolojiye sahip olduğu bildirilmiştir.

TEM analizinde yapılan tanecik ölçümünde AgNP'lerin boyutlarının yaklaşık olarak 32-45 nm arasında ve ortalama boyutunun ise yaklaşık 38 nm olduğu görülmüştür (Şekil 6). *Berberis vulgaris* [26], algler ve mikro kabuklular [47], *Selaginella myosurus* [48] ve 2-hidroksipropil- $\beta$ -siklodekstrin/aljinat nanokompozit [49] AgNP'lerin 2-95 nm arasında boyutlara sahip olduğu rapor edilmiştir [26, 47-49]

### 4.5. EDX ve Zeta verileri

EDX analizi gümüşün elemental bileşiminin yüksek olduğunu göstermektedir (Şekil 7). AgNP'ler, yüzey plazmon rezonansı nedeniyle yaklaşık 2.8 KeV'de tipik

optik absorpsiyon zirvesi göstermiştir. Khamhaengpol ve Siri [50] karınca larvaları doku özütüyle, Dada ve ark. [51] ise şifalı bir bitki olan *Acalypha wilkesiana* özütü ile söz konusu nanopartikülleri sentezlemişler ve çalışmalarında EDX gümüş piklerini ortaya koymuşlardır. AgNP'lerin zeta boyutunun ortalama 158.2 nm (Şekil 8) ve zeta potansiyelinin ise -23.4 mV olduğu görülmüştür (Şekil 9).

Zeta potansiyeli, etrafı kaplanmış olan malzemenin yüzeyindeki elektrik yüküdür. AgNP kolloidinin stabilitesini ve kararlılığını gösteren zeta potansiyelinin yüksek negatif değeri, partiküllerin birbirine yapışmasını veya kümelenmesini önlemektedir. Ayrıca, negatif yük değeri artan nanopartiküller hücreye daha kolay girebilmektedirler [52-54]. *Madhuca longifolia*, *Justicia adhatoda L.* ve *Prunus cerasifera pissardii nigra* bitkilerinden sentezlenen AgNP'lere ait zeta potansiyel değerlerinin (-4.68) - (-27) mV arasında olduğu bildirilmiştir [55-57].

### 4.7. Antimikrobiyal aktivite

Patojen mikroorganizmalar kullanılan antibiyotiklere direnç geliştirdikçe, AgNP'lerin antimikrobiyal etkileri çok daha önemli olmaktadır. Çalışma sonuçlarına göre, AA-AgNP'lerin mikroorganizmalara karşı etkili olduğu görülmektedir (Tablo 1). AgNP'ler, AgNO<sub>3</sub> ve antibiyotiklere kıyasla mikroorganizmalar üzerinde daha düşük konsantrasyonlarda anlamlı antimikrobiyal etki göstermiştir. AgNP'lerin (0.312 mg/mL) özellikle *Candida albicans* üzerinde AgNO<sub>3</sub> ve antibiyotikten çok daha etkili olduğu görülmüştür. Çalışmada kullanılan mikroorganizmaların antibiyotiklere oranla AgNP'lere olan duyarlılıkları *Candida albicans* (6.41) > *Pseudomonas aeruginosa* (3.2) > *Stapylococcus aureus* (1.6) = *Bacillus subtilis* (1.6) > *Escherichia coli* (0.8) şeklinde sıralanabilir. AgNP'lerin *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Stapylococcus aureus* ve *Bacillus subtilis* MİK değerleri (mg/mL) sırasıyla 2.50, 1.25, 1.25 ve 0.625 olarak tespit edilmiştir (Tablo 1). Bu durum, sentezlenen AgNP'lerin sadece daha düşük konsantrasyonlarda değil, aynı zamanda daha geniş bakteri spektrum aralığında etkili olduğunu ortaya koymuştur.

AgNP'lerin gram-negatif bakterilerin (*Escherichia coli* ve *Pseudomonas aeruginosa*), gram pozitif olanlara (*Stapylococcus aureus* ve *Bacillus subtilis*) kıyasla daha güçlü inhibisyon etkilerinin olduğu *Abelmoscus esculentus*, *Moringa oleifera* ve *Lysiloma acapulcensis* bitki özleleriyle yapılan çalışmalarda da rapor edilmiştir [58-60]. Gram-pozitif bakterilerin hücre duvarı, gram-negatif bakterilerde bulunmayan sert bir polisakarit tabakasına sahip olduğundan gram pozitif bakteri duvarına geçişler daha zor gerçekleşmektedir. Bu nedenle AgNP'ler gram pozitif olanlara göre gram negatif bakteriler üzerinde daha etkilidir [61].

Diğer taraftan, AgNP'lerin *Enterococcus faecalis*, *Vibrio cholera*, *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas oleovorans*, *Pseudomonas fluorescens*, *Proteus mirabilis*, *Bacillus cereus*, *Bacillus anthracis*, *Candida albicans*, *Salmonella enterica typhmuri*, *Shigella flexneri*, *E. coli*, *Listeria monocytogenes*, *Micrococcus luteus* ve *Klebsiella pneumonia* üzerinde de etkili olduğu birçok farklı araştırmada ortaya konulmuştur [62-66].

Gıda ambalajlarında geleneksel malzemeler yerine, antimikrobiyal, çevre dostu, ucuz ve kolay sentezlenebilen malzemelere olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmada, AgNP'ler *Allium ampeloprasum* bitkisinden kolay, düşük maliyetli ve çevre dostu bir yöntemle sentezlenmiştir. UV-vis absorpsiyonu, XRD ve EDX analizleri AgNP'lerin sentezini doğrulamıştır. FE-SEM ve TEM analizleri, AgNP'lerin şekil olarak küresel olduğunu ve ortalama boyutlarının yaklaşık 38 nm olduğunu göstermiştir. Partiküllerin 440-450 nm dalga boyunda maksimum absorbanıya sahip olduğu, zeta boyutunun ortalama 158.2 nm, zeta potansiyelinin -23.4 mV ve toz kristal yapılarının kübik olduğu belirlenmiştir.

AgNP'lerin gıda kaynaklı patojen mikroorganizmalar üzerinde güçlü antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu ve antibiyotiklere göre daha düşük konsantrasyonlarda bile etkili olduğu görülmüştür. AgNP'lerin gıda ambalajlarında yaygın bir şekilde kullanılmasıyla hem gıda güvenliğinin artırılması hem de gıda israfının azaltılmasının mümkün olabileceği düşünülmektedir. Ancak gümüş iyonlarının gıdaya göçü ile ilgili detaylı araştırmalar yapılmalı ve tüketici sağlığı açısından göç limitleri belirlenmelidir.

### Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

### Kaynakça

[1] Sharma, C., Dhiman, R., Rokana, N., Panwar, H. 2017. Nanotechnology: An Untapped Resource for Food Packaging. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1735.

[2] Sarfraz, J., Gulin-Sarfraz, T., Nilsen-Nygaard, J., Pettersen, M.K. 2021. Nanocomposites for Food Packaging Applications: An Overview. *Nanomaterials*, 11(1), 10.

[3] Fernández, A., Picouet, P., Lloret, E. 2010. Reduction of the spoilage-related microflora in absorbent pads by silver nanotechnology during modified atmosphere packaging of beef meat. *Journal of Food Protection*, 73(12), 2263-2269.

[4] Adeyeye, S. A. O. 2019. Food packaging and nanotechnology: safeguarding consumer health and safety. *Nutrition & Food Science*, 49(6), 1164-1179.

[5] Beykara, M., Çağlar, A. 2016. Bitkisel Özütler Kullanılarak Gümüş-Nanopartikül (AgNP) Sentezlenmesi ve Antimikrobiyal Etkinlikleri Üzerine Bir Araştırma. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(3), 631-641.

[6] Baran, A., Keskin, C., Baran, M. F. 2020. Metalik Nanopartiküllerin Çevre Dostu Sentezi ve Karakterizasyonu. ss 47-70. Keskin, C., Baran, M. F., ed. 2004. *Nanomalzeme Sentezi ve Güncel Kullanım Alanları*, İksad Yayınevi, Türkiye, 110s.

[7] Wahab, A., Abdul Rahim, A., Hassan, S., Egbuna, C., Manzoor, M. F., Okere, K. J., Walag, A. M. P. 2021. Application of nanotechnology in the packaging of edible materials. ss 215-225. Egbuna, C., Mishra, A. P. Goyal, M. R., ed. 2021. *Preparation of Phytopharmaceuticals for the Management of Disorders*, Academic Press, USA, 574s.

[8] Bar, H., Bhui, D. K., Sahoo, G. P., Sarkar, P., De, S. P., Misra, A. 2009. Green synthesis of silver nanoparticles using latex of *Jatropha curcas*. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 339(1-3), 134-139.

[9] Nartop, P. 2019. Yeşil Sentez Yolu İle Gümüş Nanopartiküllerin Elde Edilmesinde Bitkisel Ekstrelerin İndirgeyici Ajan Olarak Kullanılması. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi C-Yaşam Bilimleri ve Biyoteknoloji*, 8(1), 50-60.

[10] Baran, M. F., Saydut, A. 2019. Altın nanomalzeme sentezi ve karakterizasyonu. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(3), 1033-1040.

[11] Sharma, V. K., Yngard, R. A., Lin, Y. 2009. Silver nanoparticles: Green synthesis and their antimicrobial activities, *Advances in Colloid and Interface Science*, 145(1-2), 83-96.

[12] Chook, S. W., Chia, C. H., Zakaria, S., Ayob, M. K., Chee, K. L., Huang, N. M., Neoh, H. M., Lim, H. N., Jamal, R., Rahman, R. 2012. Antibacterial performance of Ag nanoparticles and AgGO nanocomposites prepared via rapid microwave-assisted synthesis method. *Nanoscale Research Letters*, 7, 541.

[13] Baran, A. 2021. Gümüş nano malzemelerin çevre dostu, hızlı sentezi ve biyomedikal uygulamaları. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 12(2), 329-336.

[14] Smolkova, B., El Yamani, N., Collins, A. R., Gutleb, A. C., Dusinska, M. 2015. Nanoparticles in food. Epigenetic changes induced by nanomaterials and possible impact on health. *Food and Chemical Toxicology*, 77, 64-73.

- [15] Sánchez-Valdes, S., Ortega-Ortiz, H., Ramos-de Valle, L. F., Medellín-Rodríguez, F. J., Guedea-Miranda, R. 2008. Mechanical and antimicrobial properties of multilayer films with a polyethylene / silver nanocomposite layer. *Journal of Applied Polymer Science*, 111(2), 953-962.
- [16] Rhim, J. W., Park, H. M., Ha, C. S. 2013. Bio-nanocomposites for food packaging applications. *Progress in Polymer Science*, 38(10-11), 1629-1652.
- [17] Awwad, A. M., Salem, N. M. 2012. Green Synthesis of Silver Nanoparticles by Mulberry Leaves Extract. *Nanoscience and Nanotechnology*, 2(4), 125-128.
- [18] Ndikau, M., Noah, N. M., Andala, D. M., Masika, E. 2017. Green Synthesis and Characterization of Silver Nanoparticles Using *Citrullus lanatus* Fruit Rind Extract. *International Journal of Analytical Chemistry*, 2017, 8108504.
- [19] Baran, M. F. 2019. Synthesis and Antimicrobial Applications of Silver Nanoparticles From *Artemisia absinthium* plant. *Biological and Chemical Research*, 6, 96-103.
- [20] Fatema, S., Shirsat, M., Farooqui, M. Arif, P. M. 2019. Biosynthesis of Silver nanoparticle using aqueous extract of *Saraca asoca* leaves, its characterization and antimicrobial activity. *International Journal of Nano Dimension*, 10(2), 163-168.
- [21] Jayaprakash, N., Vijaya, J. J., Kaviyarasu, K., Kombaiyah, K., Kennedy, L. J., Ramalingam, R. J., Munusamy, M. A., Al-Lohedan, H. A. 2017. Green synthesis of Ag nanoparticles using Tamarind fruit extract for the antibacterial studies. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 169, 178-185.
- [22] Pugazhendhi, S., Palanisamy, P. K., Jayavel, R. 2018. Synthesis of highly stable silver nanoparticles through a novel green method using *Mirabilis jalapa* for antibacterial, nonlinear optical applications. *Optical Materials*, 79, 457-463.
- [23] Ambika, S., Sundrarajan, M. 2015. Antibacterial behaviour of *Vitex negundo* extract assisted ZnO nanoparticles against pathogenic bacteria. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 146, 52-57.
- [24] Elshikh, M., Ahmed, S., Funston, S., Dunlop, P., McGaw, M., Marchant, R., Banat, I. M. 2016. Resazurin-based 96-well plate microdilution method for the determination of minimum inhibitory concentration of biosurfactants. *Biotechnology Letters*, 38(6), 1015-1019.
- [25] Baran, M. F. 2019. *Prunus avium* kiraz yaprağı özütü ile gümüş nanopartikül (AgNP) sentezi ve antimikrobiyal etkisinin incelenmesi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(1), 221-227.
- [26] Behravan, M., Panahi, A. H., Naghizadeh, A., Ziaee, M., Mahdavi, R., Mirzapour, A. 2018. Facile green synthesis of silver nanoparticles using *Berberis vulgaris* leaf and root aqueous extract and its antibacterial activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 124, 148-154.
- [27] Lokina, S., Stephen, A., Kaviyarasu, V., Arulvasu, C., Narayanan, V. 2014. Cytotoxicity and antimicrobial activities of green synthesized silver nanoparticles. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 76, 256-263.
- [28] Swamy, M. K., Akhtar, M. S., Mohanty, S. K., Sinniah, U. R. 2015. Synthesis and characterization of silver nanoparticles using fruit extract of *Momordica cymbalaria* and assessment of their in vitro antimicrobial, antioxidant and cytotoxicity activities. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 151, 939-944.
- [29] Smith, E., Meissl, K. 2007. The applicability of Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy in waste management. *Waste Management*, 27(2), 268-276.
- [30] Muthusamy, G., Thangasamy, S., Raja, M., Chinnappan, S., Kandasamy, S. 2017. Biosynthesis of silver nanoparticles from *Spirulina* microalgae and its antibacterial activity. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 19459-19464.
- [31] Kumar, J. K., Prasad, A. G. D. 2011. Identification and Comparison of Biomolecules in Medicinal Plants of *Tephrosia tinctoria* and *Atylosia albicans* By Using FTIR. *Romanian Journal of Biophysics*, 21(1), 63-71.
- [32] Paosen, S., Saising, J., Wira Septama, A., Piyawan Voravuthikunchai, S. 2017. Green synthesis of silver nanoparticles using plants from Myrtaceae family and characterization of their antibacterial activity. *Materials Letters*, 209, 201-206.
- [33] Roy, S., Shankar, S., Rhim, J.-W. 2019. Melanin-mediated synthesis of silver nanoparticle and its use for the preparation of carrageenan-based antibacterial films. *Food Hydrocolloids*, 88, 237-246.
- [34] Aromal, S. A., Vidhu, V. K., Philip, D. 2012. Green synthesis of well-dispersed gold nanoparticles using *Macrotyloma uniflorum*. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 85(1), 99-104.
- [35] Aktepe, N. 2021. Gümüş nano materyallerin sentezi, karakterizasyonu ve antimikrobiyal aktiviteleri. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 12(2), 347-354.
- [36] Singh, A. K., Tiwari, R., Kumar, V., Singh, P., Riyazat Khadim, S. K., Tiwari, A., Srivastava, V., Hasan, S. H., Asthana, R. K. 2017. Photo-induced biosynthesis of silver nanoparticles from aqueous extract of *Dunaliella salina* and their anticancer

- potential. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 166, 202-211.
- [37] Huang, X., Wang, R., Jiao, T., Zou, G., Zhan, F., Yin, J., Zhang, L., Zhou, J., Peng, Q. 2019. Facile Preparation of Hierarchical AgNP-Loaded MXene/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/ Polymer Nanocomposites by Electrospinning with Enhanced Catalytic Performance for Wastewater Treatment. *ACS Omega*, 4, 1897-1906.
- [38] Rajoka, M. S. R., Mehwish, H. M., 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 and Surfaces B: Biointerfaces*, 186, 110734.
- [39] Baran, M. F., Keskin, C., Atalar, M. N., Baran, A. 2021. Environmentally Friendly Rapid Synthesis of Gold Nanoparticles from *Artemisia absinthium* Plant Extract and Application of Antimicrobial Activities. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(1), 365-375.
- [40] Jenifer, A. A., Malaikozhundan, B., Vijayakumar, S., Anjugam, M., Iswarya, A., Vaseeharan, B. 2019. Green Synthesis and Characterization of Silver Nanoparticles (AgNPs) Using Leaf Extract of *Solanum nigrum* and Assessment of Toxicity in Vertebrate and Invertebrate Aquatic Animals. *Journal of Cluster Science*, 31, 989-1002.
- [41] Alkhalaf, M. I., Hussein, R. H., Hamza, A. 2020. Green synthesis of silver nanoparticles by *Nigella sativa* extract alleviates diabetic neuropathy through anti-inflammatory and antioxidant effects. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(9), 2410-2419.
- [42] Hoseinnejad, M., Jafari, S. M., Katouzian, I. 2017. Inorganic and metal nanoparticles and their antimicrobial activity in food packaging applications. *Critical Reviews in Microbiology*, 44(2), 161-181.
- [43] Ramkumar, V. S., Pugazhendhi, A., Gopalakrishnan, K., Sivagurunathan, P., Saratale, G. D., 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.
- [44] Lopes, C. R. B., Courrol, L. C. 2018. Green synthesis of silver nanoparticles with extract of *Mimusops coriacea* and light. *Journal of Luminescence*, 199, 183-187.
- [45] Pallela, P. N. V. K., Ummey, S., Ruddaraju, L. K., Pammi, S. V. N., Yoon, S. G. 2018. Ultra Small, mono dispersed green synthesized silver nanoparticles using aqueous extract of *Sida cordifolia* plant and investigation of antibacterial activity. *Microbial Pathogenesis*, 124, 63-69.
- [46] Baran, M. F., Koç, A., Uzan, S. 2018. Kenger (*Gundelia tournefortii*) Yaprağı İle Gümüş Nanopartikül (AgNP) Sentezi, Karakterizasyonu ve Antimikrobiyal Uygulamaları. *International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences*, 5, 44-52.
- [47] Becaro, A. A., Jonsson, C.M., Puti, F. C., Siqueira, M. C., Mattoso, L. H. C., Correa, D. S., Ferreira, M. D. 2015. Toxicity of PVA-stabilized silver nanoparticles to algae and microcrustaceans. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 3, 22-29.
- [48] Kedi, P., Meva, F. E., Kotsedi, L., Nguemfo, E. L., Zangueu, C. B., Ntumba, A. A., Mohamed, H., Dongmo, A. B., Maaza, M. 2018. Eco-friendly synthesis, characterization, in vitro and in vivo anti-inflammatory activity of silver nanoparticle-mediated *Selaginella myosurus* aqueous extract. *International Journal of Nanomedicine*, 13, 8537-8548.
- [49] Nguyen, T.-D., Dang, C.-H., Mai, D.-T. 2018. Biosynthesized AgNP capped on novel nanocomposite 2-hydroxypropyl-β-cyclodextrin/alginate as a catalyst for degradation of pollutants. *Carbohydrate Polymers*, 197, 29-37.
- [50] Khamhaengpol, A., Siri, S. 2017. Green synthesis of silver nanoparticles using tissue extract of weaver ant larvae. *Materials Letters*, 192, 72-75.
- [51] Dada, A. O., Adekola, F. A., Dada, F. E., Adelani-Akande, A. T., Bello, M. O., Okonkwo, C. R., Inyinbor, A. A., Oluyori, A. P., Olayanju, A., Ajanaku, K. O., Adetunji, C. O. 2019. Silver nanoparticle synthesis by *Acalypha wilkesiana* extract: phytochemical screening, characterization, influence of operational parameters, and preliminary antibacterial testing. *Heliyon*, 5, 10, e02517.
- [52] Tavakol, S., Hoveizi, E., Kharrazi, S., Tavakol, B., Karimi, S., Sorkhabadi, S. M. R. 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. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, 45(4), 817-823.
- [53] Maddinedi, S. B., Mandal, B. K., Maddili, S. K. 2017. Biofabrication of size controllable silver nanoparticles - A green approach. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 167, 236-241.
- [54] Mapala, K., Pattabi, M. 2017. *Mimosa pudica* Flower Extract Mediated Green Synthesis of Gold Nanoparticles. *NanoWorld Journal*, 3(2), 44-50.
- [55] Patil, M. P., Singh, R. D., Koli, P. B., Patil, K. T., Jagdale P. S., Tipare A. R., Kim G.-D. 2018. Antibacterial potential of silver nanoparticles



- synthesized using *Madhuca longifolia* flower extract as a green resource. *Microbial Pathogenesis*, 121, 184-189.
- [56] Thirumagal, N., Jeyakumari, A. P. 2020. Structural, Optical and Antibacterial Properties of Green Synthesized Silver Nanoparticles (AgNPs) Using *Justicia adhatoda* L. Leaf Extract. *Journal of Cluster Science*, 31, 487-497.
- [57] Hatipoğlu, A. 2021. Green synthesis of gold nanoparticles from *Prunus cerasifera pissardii nigra* leaf and their antimicrobial activities on some food pathogens. *Progress in Nutrition*, 23(3), e2021241.
- [58] Hatipoğlu, A. 2021. *Abelmoschus esculentus* yaprağı kullanılarak gümüş nanopartiküllerin yeşil sentezi ve bazı gıda patojenleri üzerindeki antimikrobiyal etkileri. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 22(2), 239-246.
- [59] Moodley, J. S., Krishna, S. B. N., Pillay, K., Govender, S., Govender, P. 2018. Green synthesis of silver nanoparticles from *Moringa oleifera* leaf extracts and its antimicrobial potential. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 9(1), 015011.
- [60] Garibo, D., Borbón-Nuñez, H. A., de León, J. N. D. 2020. Green synthesis of silver nanoparticles using *Lysiloma acapulcensis* exhibit high-antimicrobial activity. *Scientific Reports*, 10, 12805.
- [61] Tamboli, D. P., Lee, D. S. 2013. Mechanistic antimicrobial approach of extracellularly synthesized silver nanoparticles against gram positive and gram negative bacteria. *Journal of Hazardous Materials*, 260, 878-84.
- [62] Duncan, T. V. 2011. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of Colloid and Interface Science*, 363(1), 1-24.
- [63] Gaillet, S., Rouanet, J. M. 2015. Silver nanoparticles: Their potential toxic effects after oral exposure and underlying mechanisms – A review. *Food and Chemical Toxicology*, 77, 58-63.
- [64] Hannon, J. C., Cummins, E., Kerry, J., Cruz-Romero, M., Morris, M. 2015. Advances and challenges for the use of engineered nanoparticles in food contact materials. *Trends in Food Science & Technology*, 43(1), 43-62.
- [65] Baran, A., Keskin, C. 2020. Nanopartiküllerin Yeşil Sentezi ve Anti-Mikrobiyal Uygulamaları. ss 1-18. Akgül, H., ed. 2020. *Fen Bilimleri ve Matematik Alanında Akademik Çalışmalar II*, Gece Kitaplığı, Türkiye, 96s.
- [66] Baran, M. F., Saydut, A., Umaz, A. 2019. Gümüş nanomalzeme sentezi ve antimikrobiyal uygulamaları. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(2), 689-695.