

Fıstık (*Pistacia vera* L.) Yaprağından Gümüş Nanopartikül (AgNP)'lerin Sentezi, Karakterizasyonu ve Antimikrobiyal Aktivitesinin İncelenmesi

Abdullah EREN^{1*}, Mehmet Fırat BARAN²

¹Artuklu Üniversitesi, Kızıltepe Meslek Yüksekokulu, Organik Tarım Bölümü, Mardin, TÜRKİYE

²Artuklu Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler Bölümü, Mardin, TÜRKİYE

Geliş Tarihi/Received: 06.12.2018

Kabul Tarihi/Accepted: 30.05.2019

ORCID ID (Yazar sırasına göre / by author order)

orcid.org/0000-0003-1187-7978 orcid.org/0000-0001-8133-6670

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: abdullaheren@artuklu.edu.tr

Öz: Bu çalışmanın amacı, fıstık (*Pistacia vera* L.) bitki ekstrektü kullanılarak, yeşil sentez yöntemi ile gümüş nanopartikül (AgNP)'lerini sentezlemektir. Yeşil sentez; çevre dostu ve maliyet açısından ucuz olması, kimyasal ve fiziksel yöntemlerden daha çok tercih edilen nanopartiküllerin kolay bir şekilde elde edilmesi ile bilinen biyolojik bir yöntemdir. Reaksiyon sonucunda elde edilen AgNP'ler, UV görünür spektrofotometre (UV-vis), fourier-dönüştürülmüş kızılötesi spektroskopisi (FTIR), X-ışını kırınımı (XRD), termogravimetrik ve diferansiyel termal analizi (TGA-DTA), taramalı elektron mikroskobu ve enerji yayımlı X-ışını cihazı (SEM-EDX) kullanılarak karakterize edilmiştir. Gümüş nanopartiküllerin 460.67 nm'de maksimum absorbanza sahip olduğu görülmüştür. AgNP'lerin indirgenmesinde rol olan fitokimyasalları analiz etmek için FTIR analizi yapılmıştır. Debye-Scherrer's denkleminde yararlanarak sentezlenen nanoparçacıkların kristal boyutunun 16.7 nm olduğu hesaplanmıştır. AgNP'lerin küresel görünümde olduğu transmisyon elektron mikroskobu ile tespit edilmiştir. Sentezlenen AgNP'lerin antimikrobiyal etkisi gram pozitif ve gram negatif bakterileri ve fungus (maya) üzerinde minimum inhibitör konsantrasyonu (MIC) metodu ile test edilmiştir. Sonuç olarak, sentezlenen gümüş nanopartiküllerin antimikrobiyal etki gösterdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Antimikrobiyal aktivite, AgNP, yeşil sentez, *Pistacia vera* L.

Synthesis, Characterization and Investigation of Antimicrobial Activity of Silver Nanoparticles (AgNP) from Pistachio (*Pistacia vera* L.) Leaf

Abstract: The aim of this study is to synthesize silver nanoparticles (AgNPs) by green synthesis methods using pistachio (*Pistacia vera* L.) plant extract. Green synthesis is a biological method in which nanoparticles are easily obtained; as well as being environmentally friendly and inexpensive in terms of cost, and being more preferred than chemical and physical methods. AgNPs obtained by the reaction were characterized with UV visible spectrophotometer (UV-vis), fourier-transformed infrared spectroscopy (FTIR), X-ray diffraction (XRD), thermogravimetric and differential thermal analysis (TGA-DTA), scanning electron microscopy and energy dispersive X-ray device (SEM-EDX). Silver nanoparticles were found to have a maximum absorbance at 460.67 nm. FTIR analysis was performed to analyze the phytochemicals involved in the reduction of AgNPs. Using the Debye-Scherrer's equation, the crystal size of the synthesized nanoparticles was calculated as 16.7 nm. AgNPs spherical appearance were detected by transmission electron microscopy. The antimicrobial effect of synthesized AgNPs were tested on gram-positive and gram-negative bacteria, and by the minimum inhibitory concentration (MIC) method on fungi (yeast). As a result, it was determined that the synthesized silver nanoparticles had antimicrobial effect.

Keywords: Antimicrobial activity, AgNP, green synthesis, *Pistacia vera* L.

1. Giriş

Nanopartiküller 1-100 nm arasında değişen boyutlara sahip malzemelerdir (Ahmed ve ark., 2016). Nano parçacıklar; bio-medikal, kataliz, gıda, giyim, kozmetik endüstrisinde ve elektronik gibi bir çok alanda kullanılmaktadır (Gopinath ve ark., 2016; Saravanakumar ve ark., 2018; Selvakumar ve ark., 2018). Gümüş (Ag), bakterilere ve diğer mikroorganizmalara karşı gösterdiği aktivite nedeniyle uzun yıllardır bir çok alanda antibakteriyel uygulamalarda kullanılmakta (Yang ve ark., 2012); gümüş nanopartikül (AgNP)'lerin, güçlü bir antibakteriyel aktiviteye sahip olduğu bazı araştırmacılar tarafından bildirilmektedir (Xu ve ark., 2011; Kung ve ark., 2018);

Öte yandan, tarım alanlarında çok fazla kullanılan ve küresel bir tehlike oluşturmaya başlayan herbisit ve pestisitlere alternatif çözümler araştırılmaktadır. Bu ilaçlar yerine antimikrobiyal ajanlar olarak AgNP'lerin kullanımının daha ekonomik ve etkili olduğu yapılan araştırmalarda görülmektedir (Kim ve ark., 2012; Stevanović ve ark., 2012).

Gümüş nanopartiküllerin elde edilmesi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler içerisinde biyolojik yöntem, diğer (fiziksel ve kimyasal) yöntemlere göre çevre dostu ve ekonomik olmasından dolayı daha çok tercih edilmektedir (Chen ve ark., 2003; Francis ve ark., 2017). Gümüş nanopartiküllerin sentezinde, bitkisel kaynakların kullanımı, daha ekonomik ve uygulama prosesleri daha kolay olduğundan son zamanlarda daha fazla ilgi görmektedir (Song ve Kim, 2009; Pallela ve ark., 2018). Yeşil sentez ile elde edilen AgNP'lerin biouyumlu olması özelliği ile de canlı uygulamalar için önemli bir nitelik taşımaktadır (Rajan ve ark., 2015; Dadashpour ve ark., 2018).

Bu araştırmada, fıstık (*Pistacia vera* L.) bitkisi yapraklarından elde edilen bitki ekstraktı (özütü) ile sentezlenen AgNP'lerin karakterize edildikten sonra anti-mikrobiyal etkileri incelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Araştırmada, Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi Mardin ili sınırlarında toplanan yeşil fıstık (*Pistacia vera* L.) yaprakları çalışmanın ana materyalini (AgNP'lerin sentezi için özüt ham maddesini) oluşturmaktadır. Çalışmada kullanılan diğer materyaller, sentez aşamasında kullanılan MERC marka katı gümüş nitrat (AgNO_3 , saflık % 99.8) ile antimikrobiyal uygulamalarda kullanılmak üzere ticari olarak temin edilen

antibiyotikler (vankomisin, frukozanol ve colistin) oluşturmaktadır.

2.1. Bitki özütünün hazırlanması

Toplanan yeşil fıstık yaprakları önce çeşme suyu ile daha sonra saf suyla yıkanmış; oda koşullarında kurutulduktan sonra, öğütülmüştür. Öğütülen örneklerden 25 g alınıp 250 mL saf su ile 70-80 °C'de kaynamaya tabi tutulmuş, özüt oluşumu (renk) gözlemlendikten sonra oda sıcaklığına (25 °C) kadar soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra, Whatmann No: 1 filtre kâğıdı kullanılarak filtrasyon yapılmış ve elde edilen ekstrakt 4 °C'de muhafaza edilmiştir.

2.2. AgNP'lerin sentezi

AgNP'lerin oluşum ve varlığının incelenmesi zamana bağlı olarak UV-vis spektrofotometre ile yapılan ölçümlerle ortaya konmaktadır. AgNP'lerin sentezi için önceden hazırlanan 1 mM 500 ml AgNO_3 sulu çözeltisi ile 125 ml fıstık bitkisi yaprak özütü 1000 ml'lik bir erlen içerisinde oda sıcaklığında sabit koşullarda reaksiyona bırakılmıştır. Gümüş iyonlarının indirgenmesi ile şeffaf renkli çözeltinin koyu kahverengiye doğru renk değişimi 30 dakika içinde gözlenmiştir. Koyu kahverengiye doğru olan renk değişimi AgNP'lerin oluşumu esnasında plazma yüzeyindeki titreşimler meydana getirmesi ile gözlenmektedir (Gupta ve ark., 2017). Sentezlenen AgNP'ler UV-vis spektroskopisinde 30 dakika sonunda 460.67 nm dalga boyunda maksimum absorbans değeri olarak belirlenmiştir.

Oluşan koyu renkli solüsyon 10.000 rpm'de 5 dakika santrifüj edilerek üst sıvı faz uzaklaştırılmış ve kalan katı kısım birkaç kez saf su ile yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen katı kısım (AgNP) etüvde 65 °C'de 48 saat kurumaya bırakılmıştır. Karakterizasyon işlemlerinde kullanılmak üzere saklanmıştır.

2.3. AgNP'lerin karakterizasyon teknikleri

Sentezlenmiş AgNP'lerin UV-vis spektrumları, UV-1601 220V Shimadzu spektrofotometresinde 300-800 nm dalga boyu aralığında belirlenmiştir. Gümüş nanoparçacıklarının kristal yapıları RadB-DMAX II bilgisayar kontrollü X-ışını diffraktometresi ile $3^\circ \leq 2\theta \leq 80^\circ$ aralığında analiz edilmiştir. Gümüş nanopartiküllerin kristal boyutu, Debye-Scherrer's eşitliği (Eşitlik 1)'nden yararlanılarak hesaplanmıştır (Ambika ve Sundrarajan, 2015).

$$D = K\lambda/(\beta \cos\theta) \quad (1)$$

Eşitlikte D, parçacığın kristal çapı (nm); K, sabit sayıyı (0.90); λ , dalga boyu X-ray'ı (1.5406 Å); β ,

maksimum pikin yarı yükseklikteki genişliği (rad.); θ , Bragg açısı (derece)'ni ifade etmektedir.

Gümüş nanopartiküllerin boyut ve morfolojisi taramalı elektron mikroskobu (SEM) EVO 40 LEQ kullanılarak tespit edilmiştir. SEM-enerji dağılımlı X-ışını (SEM-EDX) spektroskopisi element kompozisyonunda AgNP'lerin saf gümüş veya gümüş oksit parçacıklarının oluşumunu doğrulamak için kullanılmıştır. Perkin Elmer Spektrum One markalı FTIR Cihazı ile 4000-400 cm^{-1} aralığında yapılan analizle bitki özütünün yapısındaki mevcut fonksiyonel grupların varlığını ve reaksiyon sonunda indirgemedeki rol alan fonksiyonel grupların değişimi incelenmiştir. Shimadzu TGA-50 cihazı ile termal gravimetrik analizler (DTA-TGA) sabit ısıtma hızında N_2 atmosferi altında 25 $^{\circ}\text{C}$ dak^{-1} (30-900 $^{\circ}\text{C}$) sentezlenen gümüş nanoparçacıkların bozunma sıcaklıkları belirlenmiştir.

2.4. AgNP'lerin antimikrobiyal aktivitesi

Gümüş nanopartiküllerin antimikrobiyal aktiviteleri, minimum inhibisyon konsantrasyonu (MIC) metodu ile belirlenmiştir (Wang ve ark., 2017). Bu amaçla sentezlenen AgNP'lerin antimikrobiyal aktiviteleri için gram pozitif (*Staphylococcus aureus* ATCC 29213) ve gram negatif (*Escherichia coli* ATCC 25922) bakteriler ile mantar (*Candida albicans*) suşları bir gece inkübasyona bırakılmıştır. Mikrodilüsyon yöntemi için 96'lı mikro plaka kuyucukları kullanılmıştır. Mikrodilüsyon yöntemi ile yürütülen uygulamalarda 96'lı mikro plaka kuyucuklarına bakteriler için muller hinton fungus için ise RPMI

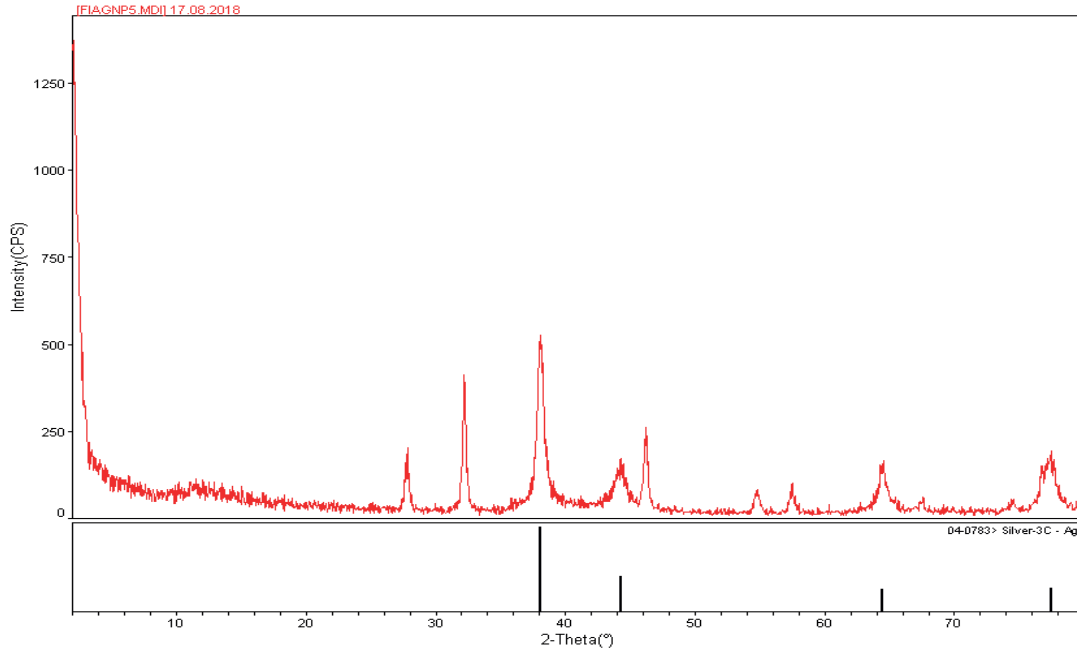
(hücre kültüründe kullanılan büyüme ortamı) besiyeri eklenmiştir. Gümüş nanopartikülleri ayarlanmış konsantrasyonlarından bir seri dilüsyon hazırlanmasının ardından AgNP çözeltileri mikro plakalara eklenmiş ve dilüsyon yapılmıştır. Daha sonra 0.5 McFarland'a göre hazırlanan ve ayarlanan mikroorganizma çözeltilerinden belirli miktarda mikroplakalara ilave edilerek 37 $^{\circ}\text{C}$ de bir gece inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonrasında üremenin olmadığı en düşük konsantrasyon MIC değeri olarak belirlenmiştir (Elshikh ve ark., 2016).

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. X-ray kırınımlı XRD analizi

Gümüş nanopartiküllerin küresel yapılarının çapları (111), (200), (220) ve (311) tabakalarındaki yansımaları sırası ile 38.10°, 44.05°, 64.52° ve 77.46° değerlerinin kübik kristal yapıda olduğu tespit edilmiştir (Şekil 1). Debye-Scherrer's denklemi (Eşitlik 1) ile 16.7 nm kristal çapa sahip olduğu hesaplanmıştır.

Calotropis procera çiçek ekstraktı kullanılarak yapılan sentez çalışmasında (111), (200), (220) ve (311) tabakalarında bulunan yansımalar ve sırası ile 38°, 44°, 64° ve 77°deki değerleri AgNP'lerin kübik kristal yapısına ait olduğu belirtilmiştir (Babu ve Prabu, 2011). *Tinospora cordifolia* bitki ekstraktı ile yapılan benzer bir çalışmada ise AgNP'lerin sentezinde (111), (200), (220), (311) yansımalarının ise 38.1°, 44.3°, 64.4° ve 74.3° değerleri AgNP'lerin kristal yapıya sahip olduğu bildirilmiştir (Selvam ve ark., 2017).

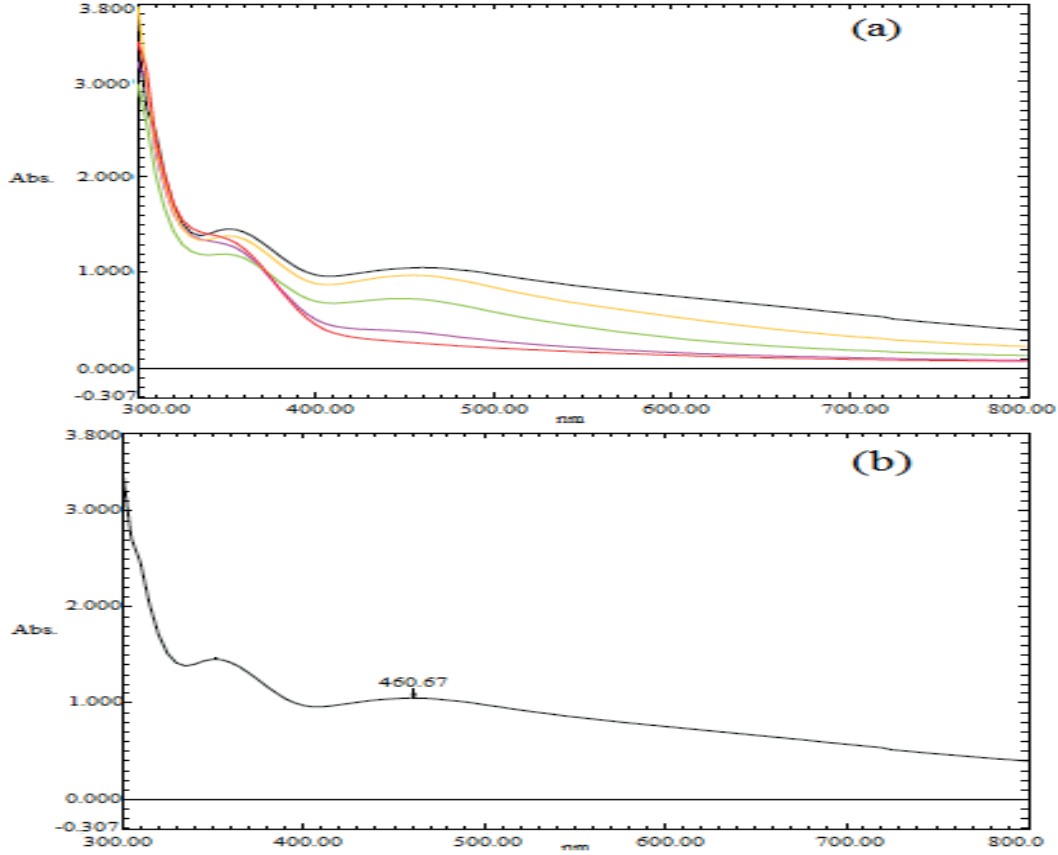


Şekil 1. Sentezlenmiş AgNP'lerin XRD sonuçları

3.2. UV-vis spektroskopisi analizi

UV-vis spektroskopisi analizinde farklı zamanlarda 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 dakikalarda alınan örneklerde gümüş nanoparçacıklarının oluşumu gözlemlenmiştir. Şekil 2'de görüldüğü üzere oda sıcaklığında 1 saat karıştırmadan belli zaman aralıkları ile alınan numunelerin absorpsiyon spektrum değerleri ölçülerek

maksimum 460.67 nm'de belirgin plazmon rezonansı belirlenmiştir. Alsammarraie ve ark. (2018), zerdeçal (*Curcuma longa*) bitki özütü kullanılarak UV-vis analiz sonucunda 435 nm maksimum değer bulduklarını belirtmişlerdir. Bir diğer çalışmada mısır yapraklarının bitki özütü ile AgNP'lerin sentezinde 461 nm maksimum absorpsiyon olarak belirlenmiştir (Eren ve Baran, 2019).



Şekil 2. a) UV görünür spektroskopisinde AgNP'lerin zamana bağlı olarak oluşumu, b) UV spektrofotometresinde sentezlen AgNP'in maksimum absorpsiyon değeri

3.3. FTIR spektroskopisi analizi

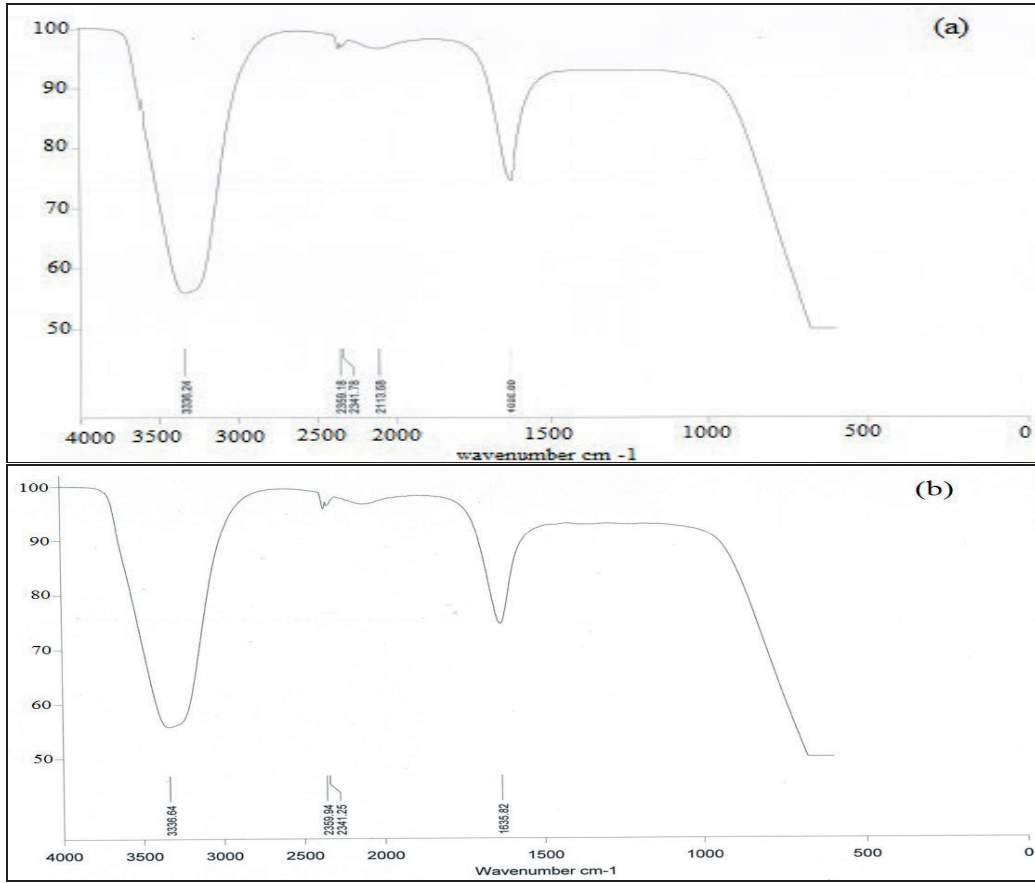
FTIR spektrumunun, fıstık yaprak özütü ve sentezlenen AgNP'ler karşılaştırılarak reaksiyonun hangi fonksiyonel gruplar üzerinde gerçekleştiği hakkında bilgi vermektedir (Şekil 3). Fıstık yaprak özütü yüzeyinde bulunan -OH fonksiyonel grubuna ait 3336.64-3334.57 cm^{-1} deki kuvvetli asimetrik esneme bandı, özüt ile Ag metali arasındaki etkileşim sonucu kayma göstermiştir. 3326.99 civarındaki piklerde yaklaşık 2 cm^{-1} arası bir frekans kayması meydana gelmiştir. Amid I bandına ait C-C ve C-N fonksiyonel gruplarına ait 1636.82-1636.48 cm^{-1} bandında fazla bir kaymanın olmadığı ve bağlanmanın bu iki fonksiyonel grup üzerinde gerçekleştiği düşünülmektedir. Lakshman Kumar ve ark. (2016), tarafından *Echinochloa colona* bitkisi ile AgNP'lerin yeşil sentezi ve

arakterizasyonunda sentezledikleri AgNP'lerin verileri araştırmamızı desteklemektedir.

3.4. AgNP'lerin TGA-DTA analizi

Yeşil sentezle hazırlanan nanopartiküllerin 30-900 $^{\circ}\text{C}$ arasında TGA ve DTA verileri 10 $^{\circ}\text{C}$ dak^{-1} ısıtma hızıyla N_2 (g) atmosferinde 20 mL dak^{-1} akış hızıyla analizi yapılmıştır. TGA eğrisi, termal bozunmalarından dolayı numune kütle kaybı gösterir ve DTA eğrisi ise bozunmanın her aşamasında maksimum ayrışma sıcaklığını belirtmektedir (Baran, 2017).

Elde edilen AgNP'lerin 30-200 $^{\circ}\text{C}$ 'de kütle kaybının nemden kaynaklandığı, 201-900 $^{\circ}\text{C}$ de selülozik materyallerden kaynaklanan kütle kaybı olduğu ve ayrıca çalışmada sentezlenen



Şekil 3. a) Bitki özütünün FTIR spektrumu, b) Sentezlenen AgNP'lerin FTIR spektrumu

AgNP'lerin 900 °C'de % 45'nin bozunduğu Şekil 4'te görülmektedir. Benzer bir çalışmada AgNP'lerin TGA grafiği, 925 °C'ye kadar ki sıcaklık aralığında maddenin % 55'nin bozunduğu Kumar ve ark. (2017) tarafından belirtilmiştir.

3.5. AgNP'lerin SEM ve EDX analizi

Fıstık yaprak özütünden elde edilen AgNP'lerin morfolojik özellikleri elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir. Gümüş nanopartiküllerin küresel yapıda olduğu belirlenmiştir (Şekil 5). Singh ve ark. (2015), bitki ekstraktları ile UV, XRD, SEM ve EDX analizleriyle AgNP'lerin karakterizasyonu ve biyosentezinde, EDX spektrumu kullanarak gümüş metal nano parçacıkların varlığını; küresel, altıgen, düzensiz şekillerde ve 10 ile 90 nm boyutlar arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Dehvari ve Ghahghaei (2018), *Pulicaria undulata* özütü kullanılarak sentez çalışmasında AgNP'lerin küresel görünümde olduklarını; Pallela ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada da, *Sida cordifolia* bitki özütünden elde edilen ve SEM-EDX sonuçlarına göre, AgNP'lerin küresel görünümde olduğunu, EDX sonuçlarında da büyük oranda element içeriğinin gümüşe ait olduğunu bildirmişlerdir.

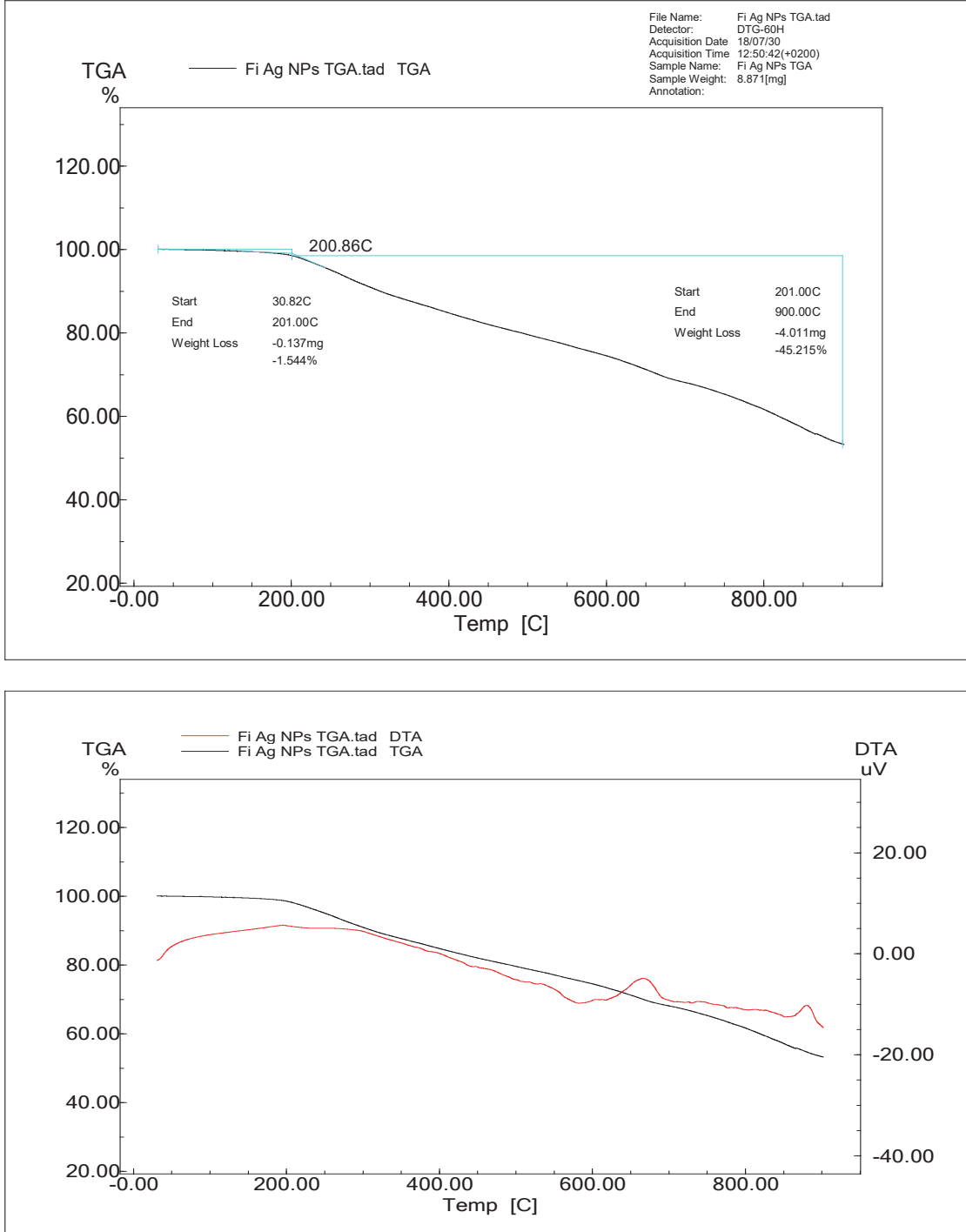
Elde edilen AgNP'lerin enerji dağılımlı spektrumları SEM-EDX analiz sonuçları gümüş parçacıklarının 100 nm'den küçük olduğu ve EDX analizinde de element kompozisyonunun büyük oranda gümüşe ait olduğu görülmektedir (Şekil 6).

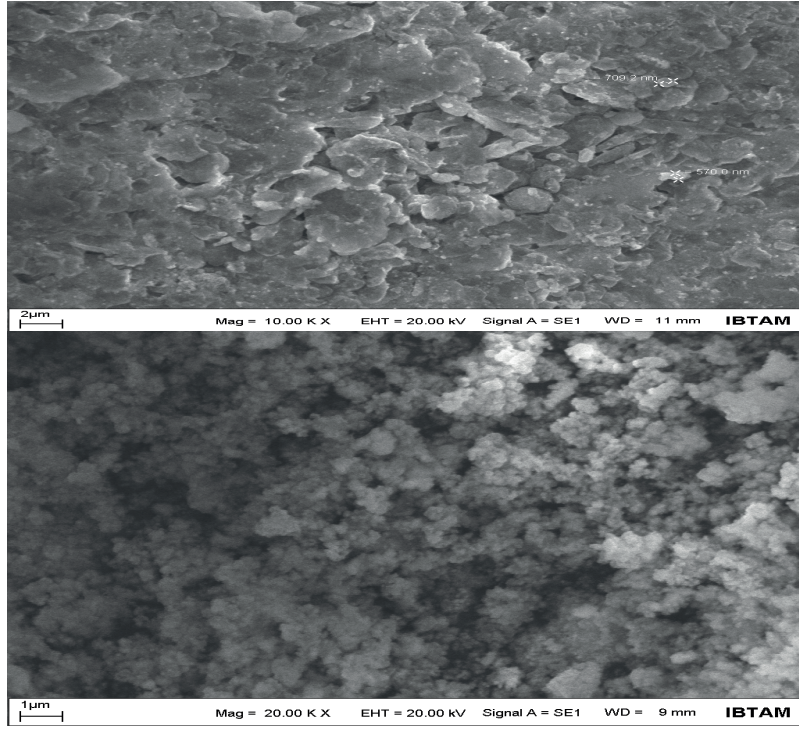
3.6. Sentezlenen AgNP'lerin antimikrobiyal uygulamaları

Gümüş nanopartiküller, 1 mM gümüş nitrat ve ticari antibiyotiklerin MIC (mikroorganizmanın üremesinin engellendiği en düşük konsantrasyon) değerlerine bakılmış ve karşılaştırılmıştır. AgNP'lerin *S. aureus* ATCC 29213, *E. coli* ATCC 25922 bakterileri ve *C. albicans* maya üzerinde sırasıyla 0.041, 0.662 ve 0.165 µg mL⁻¹ konsantrasyonlarda etkili olduğu değerlendirilmiştir (Şekil 7). Elde edilen sonuçlar AgNP'lerin 1 mM gümüş nitrattan hazırlanan solüsyon ile ticari antibiyotikler karşısında daha düşük konsantrasyonlarda belirgin bir antibakteriyel aktivite ortaya koyduğu belirlenmiştir. Bitki kaynaklı sentezlenen AgNP'lerin *S. aureus* ATCC 29213 ve *E. coli* ATCC 25922'ye karşı güçlü bir antibakteriyel aktivite sergilendiği Khan ve ark. (2018), ayrıca Bryaskova ve ark. (2011) polivinil piroidon (PVP) ile stabilize edilmiş AgNP'lerin

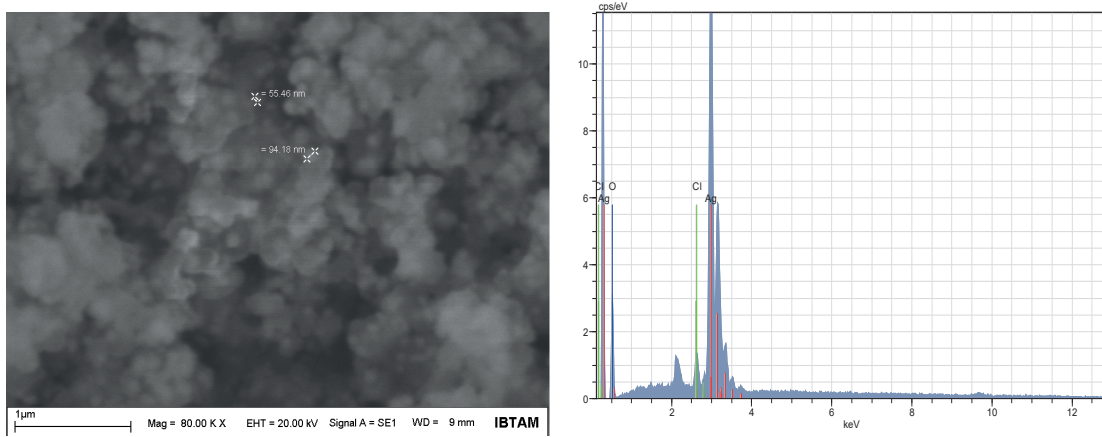
antimikrobiyal aktivitesi test edilen bakteriyel ve fungal suşlara karşı güçlü bir antimikrobiyal etki gösterdiğini bildirmişlerdir. *Carica papaya* yaprak özütü ile elde edilen AgNP'lerin $25 \mu\text{g mL}^{-1}$

konsantrasyonun gram pozitif ve gram negatif bakteriler için minimum inhibisyon konsantrasyonuna sahip olduğunu bildirilmiştir (Banala ve ark., 2015).

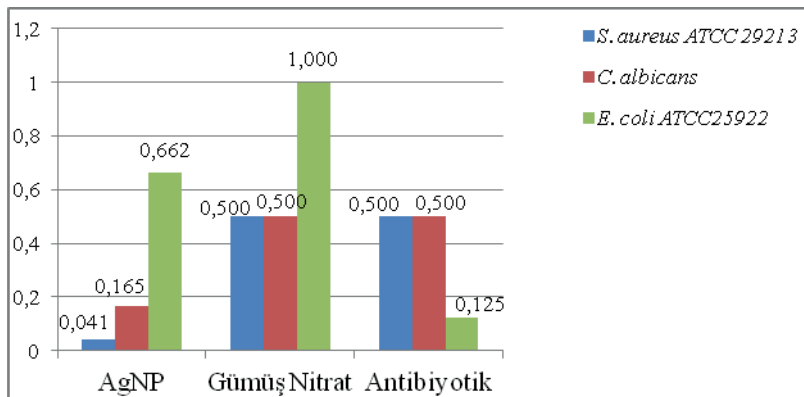




Şekil 5. Sentezlenen gümüş nanopartiküllerin SEM analizlerinin görüntüleri



Şekil 6. AgNP'lerin EDX spektrumu

Şekil 7. AgNP'lerin minimum inhibitör konsantrasyon (MIC) değerleri ($\mu\text{g mL}^{-1}$)

4. Sonuç ve Öneriler

Nanopartiküllerin elde edilmesinde kullanılan yeşil sentez yöntemine olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Yapılan çalışmada, fıstık bitki yapraklarından elde edilen özüt ile AgNP'leri sentezlenerek karakterize edildikten sonra 460.67 nm maksimum absorbanansa sahip küresel görünümde ve 16.7 nm kristal boyuta sahip oldukları belirlendi. Bu parçacıkların ticari antibiyotikler karşısında daha düşük konsantrasyonlarda etkili olduğu, yeşil yöntemle sentezlenen AgNP'lerin iyi bir antibakteriyel etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Nanoteknolojik araştırmaların artmasıyla beraber, sentezlenmiş AgNP'ler, farmasötik ürünlerin üretilmesinde, ilaç sanayinde, biyomedikal ve endüstriyel ürünlerin daha faydalı hale gelebilmesi adına yeni bir alan açacaktır.

Kaynaklar

- Ahmed, S., Ahmad, M., Swami, B.L., Ikram, S., 2016. A review on plants extract mediated synthesis of silver nanoparticles for antimicrobial applications: a green expertise. *Journal of Advanced Research*, 7(1): 17-28.
- Alsammarraie, F.K., Wang, W., Zhou, P., Mustapha, A., Lin, M., 2018. Green synthesis of silver nanoparticles using turmeric extracts and investigation of their antibacterial activities. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 171: 398-405.
- 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.
- Babu, S.A., Prabu, H.G., 2011. Synthesis of AgNPs using the extract of *Calotropis procera* flower at room temperature. *Materials Letters*, 65(11): 1675-1677.
- Banala, R.R., Nagati, V.B., Karnati, P.R., 2015. Green synthesis and characterization of *Carica papaya* leaf extract coated silver nanoparticles through X-ray diffraction, electron microscopy and evaluation of bactericidal properties. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(5): 637-644.
- Baran, M.F., 2017. Sularda bazı ağır metallerin biyosorbsiyonu, Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Bryaskova, R., Pencheva, D., Nikolov, S., Kantardjiev, T., 2011. Synthesis and comparative study on the antimicrobial activity of hybrid materials based on silver nanoparticles (AgNPs) stabilized by polyvinylpyrrolidone (PVP). *Journal of Chemical Biology*, 4(4): 185-191.
- Chen, J.C., Lin, Z.H., Ma, X.X., 2003. Evidence of the production of silver nanoparticles via pretreatment of *Phoma* sp. 3.2883 with silver nitrate. *Letters in Applied Microbiology*, 37(2): 105-108.
- Dadashpour, M., Firouzi-Amadi, A., Pourhassan-Moghaddam, M., Maleki, M.J., Soozangar, N., Jeddi, F., Nouri, M., Zarghami, N., Pilehvar-Soltanahmadi, Y., 2018. Biomimetic synthesis of silver nanoparticles using *Matricaria chamomilla* extract and their potential anticancer activity against human lung cancer cells. *Materials Science and Engineering: C*, 92: 902-912.
- Dehvari, M., Ghahghaei, A., 2018. The effect of green synthesis silver nanoparticles (AgNPs) from *Pulicaria undulata* on the amyloid formation in α -lactalbumin and the chaperon action of α -casein. *International Journal of Biological Macromolecules*, 108: 1128-1139.
- 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.
- Eren, A., Baran, M.F., 2019. Green synthesis, characterization and antimicrobial activity of silver nanoparticles (AgNPs) from maize (*Zea mays*). *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2): 4097-4105.
- Francis, S., Joseph, S., Koshy, E.P., Mathew, B., 2017. Green synthesis and characterization of gold and silver nanoparticles using *Mussaenda glabrata* leaf extract and their environmental applications to dye degradation. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(21): 17347-17357.
- Gopinath, K., Kumaraguru, S., Bhakayaraj, K., Mohan, S., Venkatesh, K. S., Esakkirajan, M., Kaleeswaran, P.R., Naiyf, S.A., Kadaikunnan, S., Govindarajan, M., Benelli, G., Arumugam, A., 2016. Green synthesis of silver, gold and silver/gold bimetallic nanoparticles using the *Gloriosa superba* leaf extract and their antibacterial and antibiofilm activities. *Microbial Pathogenesis*, 101: 1-11.
- Gupta, S., Kumar, V., Joshi, K.B., 2017. Solvent mediated photo-induced morphological transformation of AgNPs-peptide hybrids in water-EtOH binary solvent mixture. *Journal of Molecular Liquids*, 236: 266-277.
- Khan, Z.U.H., Khan, A., Chen, Y.M., Shah, N.S., Khan, A.U., Muhammad, N., Tahir, K., Shah, H.U., Khan, Z.U., Shakeel, M., Nadeem, M., Imran, M., Wan, P., 2018. Enhanced antimicrobial, anti-oxidant applications of green synthesized AgNPs-an acute chronic toxicity study of phenolic azo dyes & study of materials surface using X-ray photoelectron spectroscopy. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 180: 208-217.
- Kim, S.W., Jung, J.H., Lamsal, K., Kim, Y.S., Min, J.S., Lee, Y.S., 2012. Antifungal effects of silver nanoparticles (AgNPs) against various plant pathogenic fungi. *Mycobiology*, 40(1): 53-58.
- Kumar, B., Smita, K., Cumbal, L., Debut, A. 2017. Green synthesis of silver nanoparticles using Andean blackberry fruit extract. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24(1): 45-50.
- Kung, J.C., Chen, Y.J., Chiang, Y.C., Lee, C.L., Yang-

- Wang, Y.T., Hung, C.C., Shih, C.J., 2018. Antibacterial activity of silver nanoparticle (AgNP) confined mesoporous structured bioactive powder against *Enterococcus faecalis* infecting root canal systems. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 502(15): 62-70.
- Lakshman Kumar, D., Siva Sankar, S., Venkatesh, P., Hepcy Kalarani, D., 2016. Green synthesis of silver nanoparticles using aerial parts extract of *Echinochloa colona* and their characterization. *European Journal of Pharmaceutical Medical Research*, 3(4): 325-328.
- 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.
- Rajan, R., Chandran, K., Harper, S.L., Yun, S.I., Kalaichelvan, P.T., 2015. Plant extract synthesized silver nanoparticles: an ongoing source of novel biocompatible materials. *Industrial Crops and Products*, 70: 356-373.
- Saravanakumar, K., Chelliah, R., Shanmugam, S., Varukattu, N.B., Oh, D.H., Kathiresan, K., Wang, M.H., 2018. Green synthesis and characterization of biologically active nanosilver from seed extract of *Gardenia jasminoides* Ellis. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 185: 126-135.
- Selvakumar, P., Sithara, R., Viveka, K., Sivashanmugam, P., 2018. Green synthesis of silver nanoparticles using leaf extract of *Acalypha hispida* and its application in blood compatibility. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 182: 52-61.
- Selvam, K., Sudhakar, C., Govarthan, M., Thiagarajan, P., Sengottaiyan, A., Senthilkumar, B., Selvakumar, T., 2017. Eco-friendly biosynthesis and characterization of silver nanoparticles using *Tinospora cordifolia* (Thunb.) Miers and evaluate its antibacterial, antioxidant potential. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 10(1): 6-12.
- Singh, V., Shrivastava, A., Wahi, N., 2015. Biosynthesis of silver nanoparticles by plants crude extracts and their characterization using UV, XRD, TEM and EDX. *African Journal of Biotechnology*, 14(33): 2554-2567.
- Song, J.Y., Kim, B.S., 2009. Rapid biological synthesis of silver nanoparticles using plant leaf extracts. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 32(1): 79-84.
- Stevanović, M.M., Škapin, S.D., Bračko, I., Milenković, M., Petković, J., Filipič, M., Uskoković, D.P., 2012. Poly (lactide-co-glycolide)/silver nanoparticles: Synthesis, characterization, antimicrobial activity, cytotoxicity assessment and ROS-inducing potential. *Polymer*, 53(14): 2818-2828.
- Wang, M., Zhang, W., Zheng, X., Zhu, P., 2017. Antibacterial and catalytic activities of biosynthesized silver nanoparticles prepared by using an aqueous extract of green coffee bean as a reducing agent. *RSC Advances*, 7(20): 12144-12149.
- Xu, H., Shi, X., Ma, H., Lv, Y., Zhang, L., Mao, Z., 2011. The preparation and antibacterial effects of dopa-cotton/AgNPs. *Applied Surface Science*, 257(15): 6799-6803.
- Yang, G., Xie, J., Deng, Y., Bian, Y., Hong, F., 2012. Hydrothermal synthesis of bacterial cellulose/AgNPs composite: a "green" route for antibacterial application. *Carbohydrate Polymers*, 87(4): 2482-2487.