



Open Access Journal
e-ISSN: 2619 – 8991

Araştırma Makalesi (Research Article)

Cilt 9 - Sayı 1: 218-225 / Ocak 2026
(Volume 9 - Issue 1: 218-225 / January 2026)

ASPIR (*Carthamus tinctorius* L.) İLE GÜMÜŞ NANOPARÇACIKLARIN YEŞİL SENTEZİ, KARAKTERİZASYONU VE ANTİMİKROBİYAL AKTİVİTESİ

Elif ÖZBEY^{1*}, Gülçin BEKER AKBULUT¹, Gülşah YIL², Ülkü YILMAZ³, Dilek ASMA⁴

¹Malatya Turgut Ozal University, Battalgazi Vocational School, Department of Park and Horticultural Crops, 44050, Malatya, Türkiye

²Malatya Turgut Ozal University, Battalgazi Vocational School, Department of Plant and Animal Production, 44050, Malatya, Türkiye

³Malatya Turgut Ozal University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Engineering Basic Science, 44050, Malatya, Türkiye

⁴Inonu University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Biology, 44000, Malatya, Türkiye

Özet: Bu çalışmanın amacı, aspir (*Carthamus tinctorius* L.) bitkisinin yaprak, çiçek ve tohum ekstraktları kullanılarak gümüş nanoparçacıkların (AgNP) sentezlenmesi ve bu nanoparçacıkların antimikrobiyal aktivitelerinin değerlendirilmesidir. Bu kapsamda bitki ekstraktları indirgeme ve kaplama ajanı olarak kullanılmış; sentezlenen AgNP'ler UV-Vis spektroskopisi, SEM-EDX ve FTIR analizleri ile karakterize edilmiştir. Ayrıca çiçek ekstraktının kimyasal bileşimi GC-MS ile belirlenmiştir. AgNP'lerin antimikrobiyal aktivitesi disk difüzyon yöntemi kullanılarak *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Saccharomyces cerevisiae* ve *Candida albicans* üzerinde test edilmiştir. Bulgular, en yüksek sentez veriminin ve en düzenli nanopartikül morfolojisinin çiçek ekstraktı ile elde edildiğini ve ortalama boyutu 40 nm olan AgNP'lerin oluştuğunu göstermiştir. Çiçek ekstraktıyla sentezlenen AgNP'lerin özellikle *B. subtilis*, *P. aeruginosa* ve *E. coli* suşlarında en geniş inhibisyon zonlarını oluşturduğu belirlenmiştir, mantar türlerinde ise inhibisyon gözlenmemiştir. Genel olarak, aspir çiçeği kaynaklı AgNP'lerin potansiyel antimikrobiyal ajanlar olarak değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Yeşil sentez, Gümüş nanoparçacıklar (AgNP'ler), *Carthamus tinctorius* L. (Aspir), Antimikrobiyal aktivite, Nanobiyoteknoloji

Green Synthesis, Characterization and Antimicrobial Activity of Silver Nanoparticles with Safflower (*Carthamus tinctorius* L.)

Abstract: The aim of this study was to synthesize silver nanoparticles (AgNPs) using the leaf, flower, and seed extracts of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and to evaluate their antimicrobial activities. For this purpose, plant extracts were used as reducing and stabilizing agents, and the synthesized AgNPs were characterized by UV-Vis spectroscopy, SEM-EDX, and FTIR analyses. In addition, the chemical composition of the flower extract was determined by GC-MS. The antimicrobial activity of the AgNPs was tested against *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Saccharomyces cerevisiae* and *Candida albicans* using the disk diffusion method. The results showed that the highest synthesis efficiency and the most regular nanoparticle morphology were demonstrated from the flower extract, producing AgNPs with an average size of approximately 40 nm. It has been determined that AgNPs synthesized with flower extract form the widest inhibition zones, particularly in *B. subtilis*, *P. aeruginosa*, and *E. coli* strains, while no inhibition was observed in fungal species. Overall, it has been concluded that AgNPs derived from cornflowers can be considered as potential antimicrobial agents.

Keywords: Green synthesis, Silver nanoparticles (AgNPs), *Carthamus tinctorius* L. (Safflower), Antimicrobial activity, Nanobiotechnology

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Malatya Turgut Ozal University, Battalgazi Vocational School, Department of Park and Horticultural Crops, 44050, Malatya, Türkiye

E mail: elif.ozbey@ozal.edu.tr (E. ÖZBEY)

Elif ÖZBEY <https://orcid.org/0000-0001-7215-1922>

Gülçin BEKER AKBULUT <https://orcid.org/0000-0003-3529-5999>

Gülşah YIL <https://orcid.org/0000-0001-5124-7239>

Ülkü YILMAZ <https://orcid.org/0000-0002-2806-4781>

Dilek ASMA <https://orcid.org/0000-0002-3866-3016>

Gönderi: 12 Eylül 2025

Kabul: 06 Aralık 2025

Yayınlanma: 15 Ocak 2026

Received: September 12, 2025

Accepted: December 06, 2025

Published: January 15, 2026

Cite as: Özbey, E., Beker Akbulut, G., Yıl, G., Yılmaz, Ü., & Asma, D. (2026). Green synthesis, characterization and antimicrobial activity of silver nanoparticles with Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Black Sea Journal of Engineering Science*, x(x), 218–225.

1. Giriş

Günümüzde metal nanoparçacıkları, geleneksel üretim yöntemleri olan fiziksel ve kimyasal metotlar kullanılarak başarıyla sentezlenebilmektedir. Fakat bu yöntemler yüksek maliyet, zehirli kimyasal içerik veya yüksek miktarda enerji ve kaynak tüketimine sebep olmak gibi

önemli dezavantajlarından en az bir tanesini içermektedir (Kumari vd., 2021). Son yıllarda, biyolojik materyaller kullanılarak nanoparçacıkların yeşil sentez ile eldesi geleneksel yöntemlerin yerine kullanılabilecek başarılı bir yöntem haline gelmiştir (Vasantharaj vd., 2019). Çünkü yeşil sentez metodunda kullanılan biyolojik



materyallerin içinde bulunan fenolikler, tanenler, saponinler, flavonoidler, terpenoidler, polipeptitler, nişasta vb. biyometabolitlerin metal nanoparçacık sentezlenmesinde rol oynadıkları keşfedilmiştir (Sharmila vd., 2017). Bu nanoparçacıkların yeşil sentezinde mikroorganizmalar (bakteriler, mayalar, mantarlar, algler) ve bitkiler kullanılmaktadır (Owaid vd., 2019). Yeşil sentez yönteminde daha düşük sıcaklık, pH ve basınç gibi uygun sentez koşullarında metal nanoparçacıkların sentezinin gerçekleştirilebilmesi yöntemin en önemli avantajlarını oluştururken, bu çevre dostu teknik, kimyasal senteze göre daha yüksek üretkenlik ve daha düşük maliyetler gibi ek avantajlar sağlamaktadır (Mittal vd., 2013).

Bitki özlerinin metal iyonlarını indirgeme yeteneği 1900'lerin başından beri bilinmesine rağmen, indirgeme ajanlarının doğası tam olarak anlaşılamamıştır. Fakat, basitliği göz önüne alındığında, metal tuzlarını nanoparçacıklara indirmek için bitki ve bitki özütlerinin kullanılması son yıllarda büyük ilgi görmektedir (Mittal vd., 2013). Bitkiler kullanılarak gerçekleştirilen yeşil sentezde, yaprak, kök, lateks, tohum, çiçek ve gövde gibi bitki parçaları, metalik nanoparçacıkların sentezinde başarı ile kullanılmaktadır (Shamaila vd., 2016). Bu biyolojik sentez süreçleri sırasında, çeşitli bitki yapılarına ait ikincil metabolitler, sentez sürecinin aktif bir bileşeni olarak değerlendirilmektedir (Sengani vd., 2017). Gümüş, nanoparçacık sentezinde en çok kullanılan metal iyonlarından biridir. Gümüşün, gram negatif ve gram pozitif bakteriler, mantarlar ve virüsler gibi farklı sınıfları içeren 650' den fazla mikroorganizmaya karşı etkili olduğu bilinmektedir (Shams vd., 2013). AgNP' ler, bakteri ile muamele edildiğinde nanoparçacık bakteri zarı içinde tiyol grubu (-SH) içeren proteinlerle etkileşime girerek onları etkisiz hale getirecek kararlı S-Ag bağları oluşturmaktadır. Böylelikle, zar geçirgenliği artmakta ve en sonunda bakteri hücresinin ölümü gerçekleşmektedir (Ahmed vd., 2016a). Günümüzde AgNP' ler, *Escherichia coli*, *Staphylococcus* ve *Streptococcus mutans* gibi çeşitli patojen mikroorganizmalara karşı gösterdikleri bu etki mekanizması sayesinde, bilim adamlarının ilgisini çekmeye devam etmektedir. Ayrıca AgNP' ler, bakteriyel hastalıkların yanında, diş malzemeleri, cilt yanıklarının tedavisi ve su arıtımı gibi çok çeşitli uygulamalarda da yaygın olarak kullanılmaktadır (Rajeshkumar ve Bharath, 2017).

Asteraceae familyasının bir üyesi olan Aspir (*Carthamus tinctorius* L.), tek yıllık bir yağ bitkisi olup, hem gıda hem de endüstriyel kullanıma uygun özelliklere sahip olan tohumları ve çiçekleri için kültürü yapılan bir bitkidir. Aspir yağı, oleik asit ve insanlar için esansiyel olan linoleik asidi % 75'e kadar içermesi nedeniyle insan beslenmesinde önemli bir yere sahiptir (Babaoğlu, 2007). Bunun dışında yan ürün olarak, % 40 civarında protein bulunduran küspesi hayvan yemi olarak da kullanılan bir bitkidir (Gilbert, 2008). Çiçeğinin taç yapraklarından

sarı- kırmızı renkli boyar madde içeren Carthamin ve Carthamidin (% 0,3- 0,6) elde edilmektedir. Diğer yandan Aspir tanesinin vitamin E, magnezyum, biotin, lizin, piridoksin, pantotenik asit ve kolin kaynağı olduğu bilinmektedir (Konar vd., 2010; Oğuz, 2006).

Dünyada *C. tinctorius* L. cinsine ait 25 kadar tür yayılış gösterirken, bu türler içerisinde sadece *C. tinctorius* türünün kültürü yapılmaktadır (Ashri vd., 1974; Baydar, 2016). Aspir; hemen hemen her alanda kullanımı, sıcak ve soğuk şartlara dayanıklı olmasından dolayı önemli yağlı tohumlu bitkilerden biri konumundadır (Er, 1981; Kaya vd., 2003; Esendal vd., 2008; Taşlıgil ve Şahin, 2016). *C. tinctorius* L tohumunda % 20-45 arasında yağ içeren, kökü 1.5- 2.0 metre derinliğinde olan turuncu çiçekleri ve dikenli yapısı ile genel olarak yazlık yetiştirilen bir bitkidir (Weiss, 2000; Baydar, 2016). Bunun yanında içinde bulunan antioksidan özelliği ve E vitamin içeriği bakımından yüksek değerlere sahip tokoferoller vardır.

Bu çalışmada; aspir (*C. tinctorius* L.) bitkisinin çiçek, yaprak ve tohum kısımlarından elde edilen özütler kullanılarak çevre dostu yöntemle gümüş nanoparçacıkların (AgNP'ler) sentezlenmesi, bu nanoparçacıkların fizikokimyasal özelliklerinin detaylı olarak karakterize edilmesi ve farklı mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal aktivitelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bitkinin farklı kısımlarının biyokimyasal profillerinin birbirinden önemli ölçüde farklılık göstermesi, bu çalışmanın temel hipotezini oluşturmaktadır. Aspir çiçeği, fenolik bileşikler, flavonoidler, organik asitler ve doymamış yağ asitleri bakımından yaprak ve tohum kısımlarına kıyasla çok daha zengin bir içeriğe sahiptir. Bu bileşiklerin metal iyonlarını indirgeme ve sentezlenen AgNP' lerin yüzeyine bağlanarak stabilizasyon sağlamada kritik rol oynadığı bilinmektedir. Bu nedenle, özellikle çiçek ekstraktının daha yüksek verim, daha küçük partikül boyutu ve daha güçlü antimikrobiyal aktivite göstermesi beklenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Bitki Özütlerinin Elde Edilmesi

Malatya ilinde Turgut Özal Üniversitesi kampüs alanı içinde aspir bitkisinin Dinçer çeşitlerinin kültürü yapılarak bitkinin yaprak tohum ve çiçek kısımları uygun zamanlarda toplanmış, gölgede kurutulularak toz haline getirilmiştir. Bitki kısımlarının 1'er gramına, 50'şer mL etil alkol eklenerek elde edilen karışım 25 °C' de 5 saat karıştırılmış ve süzgeç kağıdından süzülerek elde edilen tüm bitki ekstraktları gümüş nanoparçacıkların biyosentezi için kullanılmak üzere +4 °C' de muhafaza edilmiştir.

2.2. AgNP'lerin Sentez Çalışmaları

Aspir bitkisinin farklı kısımlarından (yaprak, çiçek, tohum) elde edilen ekstraktlar AgNP sentezi için hammadde olarak kullanılmış bunun için 200 ml 0.1M AgNO₃çözeltisi hazırlanmıştır. 5 ml aspir ekstraktına 10 mL 0.1M AgNO₃çözeltisi eklenerek 30 °C' de 300 rpm de 1 saat karıştırılmıştır. Renk değişimi gözlemlendikten sonra

1 gece karanlıkta bekletilerek alkol uçurulmuş ve sentezlenen gümüş AgNP'ler 2 kez deiyonize su ile yıkanarak karakterizasyon analizleri için +4 °C' de muhafaza edilmiştir.

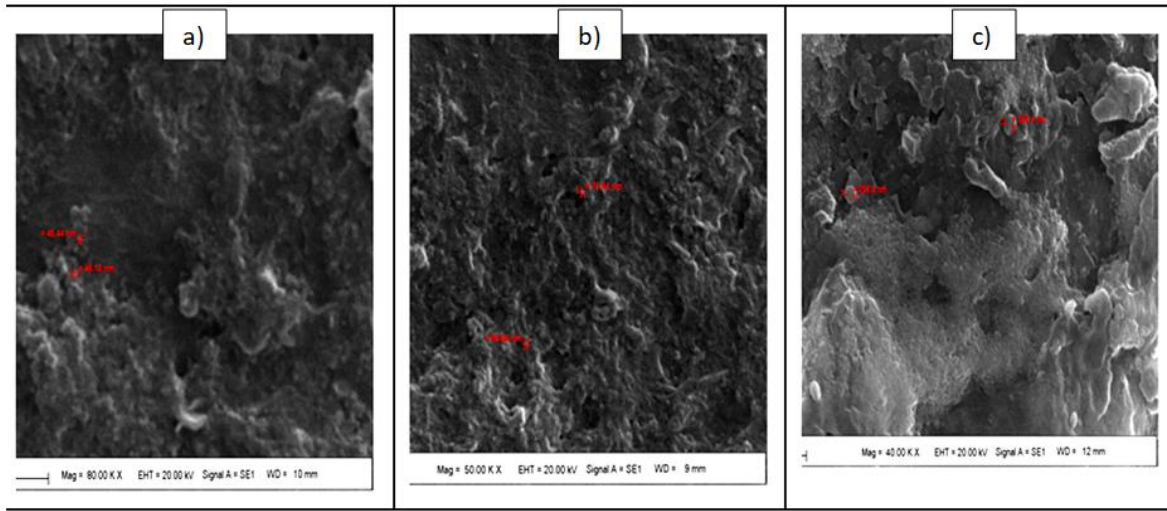
2.3. AgNP'lerin Karakterizasyon Çalışmaları
Sentezlenen gümüş nanoparçacıkların optik özellikleri UV-VIS spektroskopisi, morfolojik ve elementel yapıları SEM-EDX analizi, yüzeydeki fonksiyonel grupları ise FTIR spektroskopisi ile belirlenmiştir. Ayrıca en yüksek biyosentez veriminin aspir bitkisinin çiçek kısımlarından elde edilmesi nedeniyle, bu kısımların kimyasal bileşiminin aydınlatılması amacıyla GC-MS analizi gerçekleştirilmiştir.

2.4. AgNP'lerin Antimikrobiyal Aktivite Çalışmaları
Antimikrobiyal aktivitenin ölçümü için test mikroorganizmaları olarak, *S. aureus*, *E. coli* ve *B. subtilis*, *P. aeruginosa* gibi bakteri suşları ile *S. cerevisiae* ve *C. albicans* mantarları seçilmiştir. Mikroorganizma kültürlerinden 100 µl alınarak bakteriler için Nutrient

Agar (NA), mantarlar için Saboroud Dekstrose Agar (SDA) içeren besi yerlerine aktarılmış ve L bağıet ile yayılmıştır. Örneklerin DMSO (Dimetil sülfoksit) ile hazırlanan ekstraktları çapı 5 mm boyutundaki boş antibiyotik disklerine emdirilerek agar yüzeyine yerleştirilmiştir. Pozitif kontrol olarak da Cefadroxil antibiyotik diskleri kullanılarak antimikrobiyal aktivite disk difüzyon yöntemi ile tespit edilmiştir. İnkübasyon sonunda disklerin etrafındaki inhibisyon zon çapları cm cinsinden ölçülmüş, 3 tekrarlı elde edilen bulguların istatistiksel olarak ortalaması alınmış ve veriler $\pm$ SD şeklinde sunulmuştur.

3. Bulgular

Aspirin farklı kısımlarından (çiçek, yaprak ve tohum) elde edilen ekstraktlarla biyosentezlenen gümüş nanoparçacıkların morfolojik özellikleri SEM analizleri ile değerlendirilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Aspirin farklı kısımlarından (a) çiçek, b) yaprak, c) tohum) elde edilen ekstraktlarla sentezlenen gümüş nanoparçacıkların SEM görüntüleri.

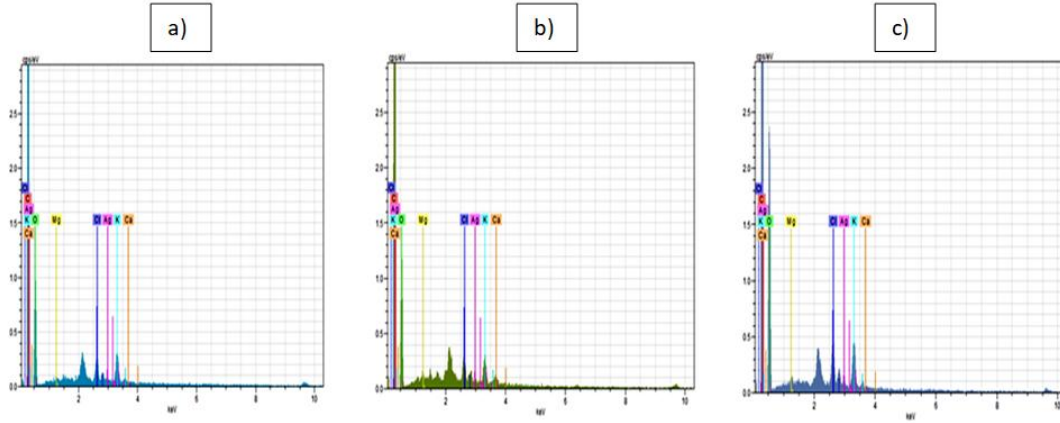
Görüntüler, bitki ekstraktlarının nanoparçacık sentezinde önemli rol oynadığını ve farklı kısımların nanoparçacık oluşumunu çeşitlendirdiğini ortaya koymaktadır. Çiçek ekstraktı ile elde edilen AgNP'lerin ortalama 40 nm boyutunda olduğu, yüzeyde yoğun şekilde birikim gösterdiği ve nispeten düzgün ve küresel yapıda olduğu gözlenmiştir. Yaprak ekstraktından sentezlenen nanoparçacıkların ise daha heterojen bir dağılım sergilediği (≈ 70 nm) ve bazı bölgelerde aglomerasyon eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Tohum ekstraktı ile elde edilen nanoparçacıklar daha büyük boyutlarda (≈ 200 nm) ve düzensiz morfolojide bulunmuş, bazı bölgelerde parçacıkların kümelenme eğilimi dikkat çekmiştir.

EDS analizleri, numunelerin yüzeyinde karakteristik Ag sinyalinin varlığını doğrulamış, bu da nanoparçacık oluşumunu kanıtlamıştır. Ayrıca düşük yoğunlukta C ve O pikleri, bitki özütündeki fenolik bileşiklerin nanoparçacık yüzeyinde kaplama maddesi olarak rol oynadığını

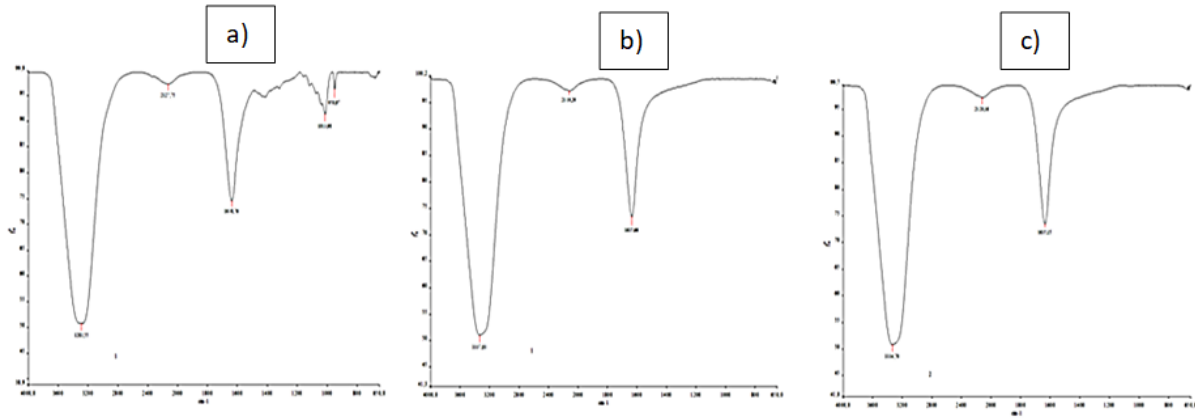
göstermektedir (Şekil 2).

FTIR spektrumları, $3200-3400\text{ cm}^{-1}$ aralığında O-H gerilme titreşimleri ve $1600-1700\text{ cm}^{-1}$ aralığında C=O titreşimleri ile karakterize edilmiştir. Bu bantlar, fenolik ve flavonoid bileşiklerin indirgeme ve kaplama ajanı olarak görev aldığını göstermektedir (Şekil 3).

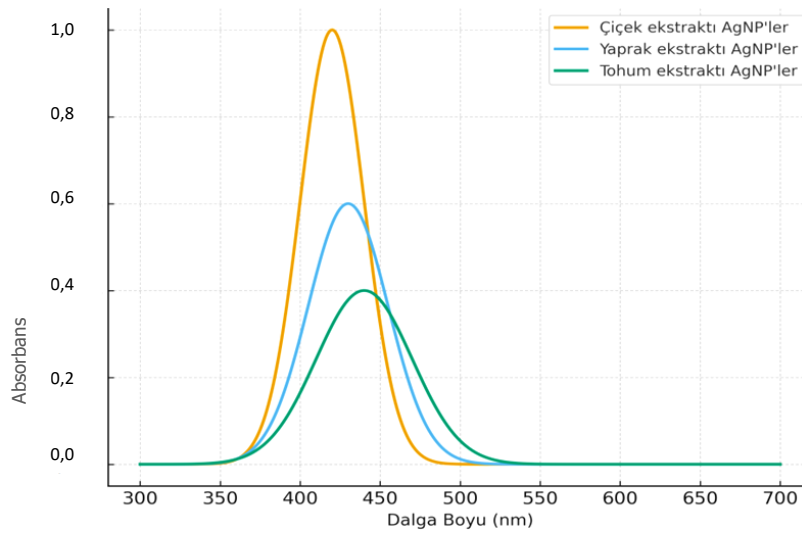
Gümüş nanoparçacıkların optik özellikleri UV-Vis spektroskopisi ile incelenmiştir. Çiçek ekstraktından elde edilen AgNP'lerde yaklaşık 420 nm civarında keskin ve yüksek yoğunluklu bir yüzey plazmon rezonansı bandı gözlenmiştir. Bu bant, AgNP'lerin başarılı bir şekilde sentezlendiğini ve partiküllerin küçük boyutlarda, daha homojen bir dağılım sergilediğini göstermektedir. Yaprak ekstraktından sentezlenen AgNP'lerde ~ 430 nm'de, tohum ekstraktında ise ~ 440 nm civarında daha düşük yoğunluklu ve geniş pikler elde edilmiştir (Şekil 4).



Şekil 2. a) Çiçek, b) yaprak, c) tohum ekstraktlarından sentezlenen gümüş nanoparçacıkların EDX spektrumu.



Şekil 3. a) Çiçek, b) yaprak, c) tohum ekstraktlarından sentezlenen gümüş nanoparçacıkların FTIR spektrumu.



Şekil 4. Aspirin farklı kısımlarından elde edilen ekstraktlarla sentezlenen gümüş nanoparçacıkların UV-Vis spektrumları.

Sentezlenen gümüş nanoparçacıkların antibakteriyel aktiviteleri dört farklı bakteri ve iki çeşit mantar üzerinde değerlendirilmiştir (Tablo 1). Elde edilen sonuçlara göre, tüm ekstraktlar belirli düzeylerde antibakteriyel etki göstermiş olmakla birlikte, çiçek ekstraktı ile sentezlenen AgNP'lerindaha geniş zon

çapları oluşturarak diğer ekstraktlara kıyasla daha güçlü bir inhibisyon sağladığı belirlenmiştir. Özellikle *B. Subtilis* (5,1 cm), *P. aeruginosa* (1,75 cm) ve *E. coli* (1,7 cm) üzerinde çiçek ekstraktından elde edilen AgNP'lerin etkisi daha belirgin olmuştur.

Tablo 1. Aspir bitkisinin farklı kısımlarından sentezlenen gümüş nanoparçacıkların seçili mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal aktiviteleri

Mikroorganizma	Zon Çapı (cm)			
	Çiçek	Yaprak	Tohum	Kontrol (Cefadroxil)
<i>E. coli</i>	1,7± 0,47	1± 0,042	0,6± 0,01	4,5± 0,01
<i>B. subtilis</i>	5,1± 0,10	2± 0,05	1,7± 0,002	10,5± 0,07
<i>S. aureus</i>	0,6±0,015	0,9±0,01	0,15± 0,15	5,2± 0,03
<i>P. aeruginosa</i>	1,75±0,35	1,1±0,05	0,55± 0,11	6,5± 0,07
<i>S. cerevisiae</i>	-	-	-	-
<i>C. albicans</i>	-	-	-	-

Yaprak ekstraktı ile sentezlenen nanoparçacıklar orta düzeyde bir aktivite sergilerken (*B. subtilis*: 2 cm, *P. aeruginosa*: 1,1 cm, *E. coli*: 1cm)tohum ekstraktı ile elde edilenlerin (*B. subtilis*: 1,7cm, *P. aeruginosa*: 0,55 cm, *E. coli*: 0,6cm) daha sınırlı bir etki oluşturduğu görülmüştür. *S. cerevisiae* ve *C. albicans* türleri üzerinde herhangi bir inhibisyon gözlenmemiştir.

Aspir çiçek ekstraktının GC-MS analizinde toplamda 20'den fazla bileşik tespit edilmiştir (Tablo 2). Önemli bileşikler arasında n-hexadecanoic acid (palmitik asit, % 0,85), oleic acid (% 6,54) ve octadecadienal (% 5,30) gibi yağ asitleri ve aldehit türevleri dikkat çekmektedir. Bunun dışında hepta- ve octaethylene glycol türevleri, oxa- ve cycloalkan türevleri de belirlenmiştir. Bu bileşikler, ekstraktın indirgeme kapasitesine ve nanoparçacık sentezindeki rolüne katkı sağlayabilecek fonksiyonel gruplardır.

4. Tartışma

Bitki özütleri ile gerçekleştirilen yeşil sentez yöntemleri, çevre dostu ve düşük maliyetli olmaları nedeniyle son yıllarda yaygınlaşmıştır. SEM verileri, nanoparçacıkların morfolojik özelliklerinin bitki özütünün içeriğine bağlı olarak değişebileceğini ortaya koymuştur. Literatürde, farklı bitki özütleri kullanılarak sentezlenen AgNP'lerin boyutlarının 10–200 nm arasında değiştiği ve partikül morfolojisinin ekstraktın fenolik/flavonoid içeriği ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Ahmed vd., 2016b).

EDS analizlerinde elde edilen güçlü Ag sinyalleri, nanoparçacık oluşumunu doğrularken, C ve O elementlerinin varlığı kaplayıcı organik moleküllerin nanoparçacık yüzeyine bağlandığını göstermektedir. Bu durum, nanoparçacıkların aglomerasyonunu engelleyerek koloidal stabiliteyi artırmaktadır (Iravani, 2011).

FTIR bulguları, fenolik hidroksil ve karbonil gruplarının indirgeme ve kaplama ajanı olarak önemli rol oynadığını göstermektedir. Benzer şekilde Singh vd. (2018), bitki özütlerindeki hidroksil gruplarının Ag⁺ iyonlarını indirgediğini ve nanoparçacık yüzeyinde güçlü etkileşimler kurarak stabilizasyon sağladığını rapor etmiştir (Singh vd., 2018).

UV-Vis analizinde gözlenen pikler, partikül boyut ve şekline ilişkin değerli bilgiler sağlamaktadır. Piklerin maviye kayması partikül boyutunun küçülmesiyle uyumlu olup literatürde raporlanan bulgularla paraleldir

(Kaviya vd., 2011; Khalil vd., 2014). Özellikle 415 nm'de dar bir SPR bandının gözlenmesi, küçük ve homojen nanoparçacık dağılımına işaret etmektedir.

GC-MS analizinde elde edilen sonuçlar, aspir çiçek ekstraktının zengin bir fitokimyasal profile sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle oleic acid ve octadecadienal gibi bileşikler yüksek yüzdelere ulaşmıştır. Oleik asit, literatürde antioksidan, antienflamatuvar ve antimikrobiyal özellikleri ile bilinmektedir (López vd., 2014). Ayrıca oleik asit ve diğer doymamış yağ asitleri, metal iyonlarının indirgenmesinde ve nanoparçacık yüzeyinde kaplama görevi üstlenerek koloidal stabilite sağlamada önemli rol oynamaktadır (Iravani, 2011). n-Hexadecanoic acid (palmitik asit) gibi doymuş yağ asitleri de biyolojik sistemlerde hem enerji kaynağı olarak hem de antimikrobiyal etki potansiyeliyle öne çıkmaktadır (Aparna vd., 2012). GC-MS verilerinde düşük yüzdelere bulunan ethylene glycol türevleri ve oxa-siklik bileşikler, polietiler yapıları nedeniyle nanoparçacıkların yüzeyine bağlanarak stabilize edici bir etki gösterebilirler. Öte yandan octadecadienal gibi aldehit türevleri, indirgeme ajanı olarak Ag⁺ iyonlarını Ag⁰a dönüştürme sürecinde rol oynayabilir (Kaviya vd., 2011). Bu özellik, FTIR analizinde gözlenen karbonil (C=O) gruplarının nanoparçacık sentezine katkısını destekler niteliktedir. Elde edilen GC-MS profili, çiçek ekstraktında oleic acid ve octadecadienal gibi indirgeme kapasitesi yüksek ve antimikrobiyal potansiyel taşıyan bileşiklerin önemli oranlarda bulunduğunu göstermiştir. Bu bileşikler, fenolik yapılarla birlikte sinerjik bir etki oluşturarak AgNP'lerin hem küçük boyutlarda sentezlenmesini hem de yüzeylerinin daha stabil olmasını sağlamıştır. Bu durum literatürde farklı bitki özütleri ile yapılan nanoparçacık sentez çalışmalarında da benzer şekilde rapor edilmiştir (Ahmed vd., 2016b; Singh vd., 2018).

Tablo 2. Aspir çiçek ekstraktlarının GC-MS analizi ile belirlenen kimyasal bileşenleri

Bileşen	RT	% Alan
Hexane	3,233	0,01
Trione	56,430	0,03
Dodecanoic acid	59,016	0,02
Dihydroxyisopropyl	60,475	0,03
Propanediol	63,702	0,06
Octaethylene glycol monododecyl	65,144	0,06
n-Hexadecanoic acid	67,239	0,85
Heptaethylene glycol	67,610	0,15
Octaethylene glycol	67,822	0,20
Heptaethylene glycol monododecyl	68,057	0,12
Looctadecane	68,217	0,26
Xaoxacyclooctadecane	69,207	0,30
Hexaoxacyclononadecane	70,168	0,15
Oleic Acid	71,026	6,54
Octadecadienal	71,902	5,30
Aoxacyclopentadecane	74,019	0,38
Heptaaoxacyclohen	74,568	0,31
Dihydroxyisopropylene	77,035	0,03
Ethyl Acetate	80,926	0,01
Octaethylene	83,941	0,15
Heptaotatritriacontanol	92,010	0,01

Sonuçlar, aspir bitkisinin farklı kısımlarının antimikrobiyal potansiyelinin değişken olduğunu göstermektedir. Çiçek ekstraktı, özellikle Gram pozitif bakteri *B. subtilis* üzerinde güçlü bir inhibisyon göstermiştir. Bu bulgu, aspir çiçeklerinin fenolik bileşikler, flavonoidler ve yağ asitleri bakımından zengin olmasıyla açıklanabilir (Yılmaz & Gökmen, 2020). Yaprak ve tohum ekstraktları ise daha düşük antimikrobiyal etki göstermiştir. Bu durum, fitokimyasal içerikteki farklılıklarla ilişkilendirilebilir. Literatürde, aspir tohumlarının daha çok yağ asidi içeriği ile öne çıktığı, ancak fenolik bileşik bakımından çiçeklere kıyasla daha düşük olduğu bildirilmiştir (Dajue & Mündel, 1996).

Gram-negatif bakterilerde gözlenen daha zayıf inhibisyonun lipopolisakkarit (LPS) tabakasının sağladığı dirençle ilişkili olduğu bilinmektedir. Ancak aspir çiçeği ekstraktı ile sentezlenen AgNP'lerin, LPS tabakasına rağmen diğer ekstraktlara kıyasla daha yüksek inhibisyon sağlaması, bu ekstraktın sahip olduğu fenolik bileşikler, doymamış yağ asitleri (özellikle oleic acid) ve aldehit türevlerinin bu bariyeri kısmen aşabildiğini göstermektedir. Bu bileşiklerin hem indirgeme gücü yüksek, hem de nanoparçacık yüzeyinde kaplama ajanı olarak stabilizasyonu artırıcı özellikleri, daha küçük boyutlu ve daha reaktif AgNP oluşumunu destekleyerek LPS tabakasının direnç mekanizmasını kısmen kırmış olabilir. Bu durum, çiçek ekstraktının Gram-negatif bakterilere karşı dahi daha üstün aktivite göstermesini açıklayan önemli bir bulgudur (Nikaido, 2003). *S. aureus* üzerinde etkinin sınırlı olması, kullanılan ekstraktlarda ki aktif bileşiklerin bu mikroorganizmaya düşük düzeyde etkililik göstermesiyle açıklanabilir. *S. cerevisiae* ve *C. albicans* üzerinde herhangi bir inhibisyon gözlenmemesi,

aspir ekstraktlarının antibakteriyel etkiye sahip olmasına karşı anti fungal etki bakımından yetersiz olduğunu ortaya koymaktadır. Çünkü fungal hücre duvarı glukan, kitin ve mannoprotein açısından oldukça zengin olup, bakteri hücresine kıyasla daha kalın ve geçirgenliği düşük bir yapıya sahiptir. Ayrıca fungal membrane ergosterol içeriği, AgNP'lerin hücre içine girişini daha da sınırlandırabilmektedir. Benzer şekilde, birçok bitki ekstraktı bakteriler üzerinde belirgin etki gösterirken mantarlara karşı daha sınırlı aktivite sergilemektedir (Cowan, 1999; Cushnie & Lamb, 2011). Bazı çalışmalar, güçlü antifungal aktivite için AgNP'lerin çok daha küçük boyutlarda (<10-20 nm) olması gerektiğini; daha büyük partiküllerde etkinliğin belirgin şekilde azaldığını bildirmektedir. Bizim çalışmamızda çiçek ekstraktı ile elde edilen ortalama 40 nm çapındaki AgNP'lerin fungal hücre duvarını aşmak için yeterli reaktif yüzey alanına sahip olmadığı düşünülmektedir (Kim vd., 2007).

4. Sonuç

Son zamanlarda antibiyotik direncine sahip suşlar nedeniyle ortaya çıkan ve giderek artış gösteren problemler araştırmacıları patojenlerle mücadelede, konak üzerinde yan etkisi olmayan ve normal florayı etkilemeyen, aynı zamanda çevre üzerinde de olumsuz bir etki göstermeyen yeni çözüm yolları araştırmaya itmiştir (Kourkoutas ve Chorianopoulos, 2018). Bu sebeple özellikle son zamanlarda yapılan çalışmaların çoğu, bitkilerden elde edilen antikanserijen, antihipertansiyon, antihiperglisemik, antidepresan, immun sistem düzenleyici, antioksidan, antienflamatuar, antimikrobiyal gibi çok çeşitli biyolojik aktiviteye sahip biyoaktif doğal bileşenlerin araştırılmasını konu

almaktadır. Bu biyoaktif doğal bileşenler bitki ekstraktları veya fraksiyonları şeklinde hazırlanarak çalışmalarda kullanılmaktadır (Milshteyn vd., 2018). Bu doğrultuda, bitki ekstraktları kullanılarak gerçekleştirilen yeşil sentez yöntemleri hem ekonomik hem de çevre dostu bir yaklaşım sunmakta, aynı zamanda nanoparçacıkların biyoyumluluğunu ve etkinliğini artırmaktadır. *C. tinctorius* L. bitkisinin çiçek, yaprak ve tohum kısımlarından elde edilen ekstraktlar kullanılarak sentezlenen gümüş nanoparçacıklar, içerdiği fenolik bileşikler ve flavonoidler sayesinde indirgeme ve stabilize edici rol üstlenmiş ve yüksek verimlilikte elde edilmiştir. Çalışmamızda bu yöntemle hazırlanan AgNP'lerin güçlü antimikrobiyal aktiviteler sergilediği görülmüş ve antibiyotik direncine sahip patojenlere karşı potansiyel bir alternatif oluşturabileceği ortaya konulmuştur. Aynı zamanda elde edilen bulgular, literatürde aspir ekstraktı kullanılarak sentezlenen gümüş nanopartiküller ile yapılan sınırlı sayıda çalışmadan belirgin farklılıklar göstermektedir. Özellikle aspir bitkisinin farklı kısımlarının ayrı ayrı değerlendirilmiş olması, nanopartikül boyutu, morfolojisi ve antimikrobiyal aktivite arasındaki ilişkinin ilk kez detaylı olarak ortaya konmasını sağlamıştır. Çiçek ekstraktı ile elde edilen daha küçük, daha homojen ve daha reaktif nanopartiküller, literatürde raporlanan birçok bitki kaynaklı AgNP'den daha yüksek antibakteriyel aktivite göstermiştir. Ayrıca bu çalışmada aspir çiçek ekstraktının GC-MS profili ayrıntılı şekilde analiz edilerek, fenolik bileşikler, yağ asitleri ve aldehit türevlerinin sentez mekanizmasına katkısı ilk kez kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir. Bu yönleriyle çalışma, aspir bitkisinin nanopartikül sentezindeki potansiyelini biyokimyasal düzeyde açıklayan önemli avantajlar sunmaktadır.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarların katkı yüzdeleri aşağıda verilmiştir. Yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	E.Ö.	G.B.A.	G.Y.	Ü.Y.	D.A.
K	50	20	10	10	10
T	50	20	10	10	10
Y	50	15	10	15	10
VTI	45	15	15	15	10
VAY	50	15	10	15	10
KT	45	15	15	15	10
YZ	50	20	10	10	10

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım.

Çalışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu çalışmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Bu çalışma Malatya Turgut Özal Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Proje Koordinasyon Birimi tarafından 2022/05 no' lu araştırma projesi ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Ahmed, S., Ahmad, M., Swami, B. L., & Ikram, S. (2016a). A review on plants extract mediated synthesis of silver nanoparticles for antimicrobial applications: A green expertise. *Journal of Advanced Research*, 7(1), 17–28. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2015.02.007>
- Ahmed, S., Saifullah, Ahmad, M., Swami, B. L., & Ikram, S. (2016b). Green synthesis of silver nanoparticles using *Azadirachta indica* aqueous leaf extract. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 9(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2015.02.007>
- Aparna, V., Dileep, K. V., Mandal, P. K., Karthe, P., Sadasivan, C., & Haridas, M. (2012). Anti-inflammatory property of n-hexadecanoic acid: Structural evidence and kinetic assessment. *Chemical Biology & Drug Design*, 80(3), 434–439. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0285.2012.01324.x>
- Ashri, A., Zimmer, E., Urie, L., & Ghaner, A. (1974). Evaluation of the world collection of safflower for yield components and their relationship. *Crop Science*, 14(6), 799–802. <https://doi.org/10.2135/cropsci1974.0011183X001400060006x>
- Babaoğlu, M. (2007). *Aspir bitkisi ve tarımı* (Bilgi broşürü). Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü.
- Baydar, H. (2016). *Tıbbi ve aromatik bitkiler bilimi ve teknolojisi* (Güncellenmiş baskı). SDÜ Yayınları.
- Cowan, M. M. (1999). Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(4), 564–582. <https://doi.org/10.1128/CMR.12.4.564>
- Cushnie, T. P. T., & Lamb, A. J. (2011). Recent advances in understanding the antibacterial properties of flavonoids. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 38(2), 99–107. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2011.02.014>
- Dajue, L., & Mündel, H. H. (1996). *Safflower (**Carthamus tinctorius* L.). International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI).
- Er, C. (1981). Endüstri bitkilerini nadas alanlarına sokabilme olanakları. İçinde *Kuru Tarım Bölgelerinde Nadas Alanlarından Yararlanma Sempozyumu* (ss. 55-58). TÜBİTAK-TOAG.
- Esendal, E., Arslan, B., & Paşa, C. (2008). Effect of winter and spring sowing on yield and plant traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). İçinde *International Conference Proceedings on Oil Crops* (ss. 68).
- Gilbert, J. (2008). International safflower production – An overview. İçinde *7th International Safflower Conference* (ss. 78).
- Iravani, S. (2011). Green synthesis of metal nanoparticles using plants. *Green Chemistry*, 13(10), 2638–2650. <https://doi.org/10.1039/C1GC15386B>
- Kaviya, S., Santhanalakshmi, J., & Viswanathan, B. (2011). Biosynthesis of silver nanoparticles using *Citrus sinensis* peel extract and its antibacterial activity. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 79(3–4), 594–598. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2011.03.040>

- Kaya, M. D., İpek, A., Uranbey, S., & Kolsarıcı, Ö. (2004). Aspir (*Carthamus tinctorius* L.)'e uygulanan ethephon'un verim ve verim öğelerine etkileri. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 10(2), 182–186.
- Khalil, M. M. H., Ismail, E. H., El-Baghdady, K. Z., & Mohamed, D. (2014). Green synthesis of silver nanoparticles using olive leaf extract and its antibacterial activity. *Arabian Journal of Chemistry*, 7(6), 1131–1139. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2010.11.011>
- Kim, K. J., Sung, W. S., Moon, S. K., Choi, J. S., Kim, J. G., & Lee, D. G. (2007). Antifungal effect of silver nanoparticles on dermatophytes. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 18(8), 1482–1484.
- Konar, V., Aşkın, Y., & Türkoğlu, İ. (2010). Yabani aspir (*Carthamus persicus* Willd.) bitkisinin yağ asidi bileşiminin incelenmesi. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 22(1), 29–36.
- Kourkoutas, Y., & Chorianopoulos, N. (Eds.). (2018). Special issue: Novel natural products for drug discovery. *BioMed Research International*, 2018, Article ID 9875123. <https://doi.org/10.1155/2018/9875123>
- Kumari, S. C., Dhand, V., & Padma, P. N. (2021). Green synthesis of metallic nanoparticles: A review. *Nanomaterials*, 11(2), 259. <https://doi.org/10.3390/nano11020259>
- López, S., Bermúdez, B., Montserrat-de la Paz, S., Cardelo, M. P., Osorio, P., & Muriana, F. J. (2014). Health effects of oleic acid and long chain omega-3 fatty acids (EPA and DHA) enriched oils. *Nutrients*, 6(11), 4769–4782. <https://doi.org/10.3390/nu6114769>
- Milshteyn, A., Colosimo, D. A., & Brady, S. F. (2018). Accessing bioactive natural products from the human microbiome. *Cell Host & Microbe*, 23(6), 725–736. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2018.05.013>
- Mittal, A. K., Chisti, Y., & Banerjee, U. C. (2013). Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts. *Biotechnology Advances*, 31(2), 346–356. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.01.003>
- Nikaido, H. (2003). Molecular basis of bacterial outer membrane permeability revisited. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 67(4), 593–656. <https://doi.org/10.1128/MMBR.67.4.593-656.2003>
- Oğuz, F., & Oğuz, M. N. (2006). Aspir ve hayvan beslemede kullanımı. *Yem Magazin*, 14(45), 29–33.
- Owaid, M. N. (2019). Green synthesis of silver nanoparticles by *Pleurotus* (oyster mushroom) and their bioactivity: Review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 12, 100256. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2019.100256>
- Rajeshkumar, S., & Bharath, L. V. (2017). Mechanism of plant-mediated synthesis of silver nanoparticles—A review on biomolecules involved, characterisation and antibacterial activity. *Chemico-Biological Interactions*, 273, 219–227. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2017.06.019>
- Sengani, M., Grumezescu, A. M., & Rajeswari, V. D. (2017). Recent trends and methodologies in gold nanoparticle synthesis—A prospective review on drug delivery. *OpenNano*, 2, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.onano.2017.07.001>
- Shamaila, S., Zafar, N., Riaz, S., Sharif, R., Nazir, J., & Naseem, S. (2016). Gold nanoparticles: An efficient antimicrobial agent against enteric bacterial human pathogen. *Nanomaterials*, 6(4), 71. <https://doi.org/10.3390/nano6040071>
- Shams, G., Ranjbar, M., & Amiri, A. (2013). Effect of silver nanoparticles on concentration of silver heavy element and growth indexes in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Journal of Nanoparticle Research*, 15(1), 1630. <https://doi.org/10.1007/s11051-013-1630-1>
- Sharmila, G., Fathima, M. F., Haries, S., Geetha, S., Kumar, N. M., & Muthukumaran, C. (2017). Green synthesis, characterization and antibacterial efficacy of palladium nanoparticles synthesized using *Filicium decipiens* leaf extract. *Journal of Molecular Structure*, 1138, 35–40. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2017.02.068>
- Singh, P., Kim, Y. J., Zhang, D., & Yang, D. C. (2018). Biological synthesis of nanoparticles from plants and microorganisms. *Trends in Biotechnology*, 34(7), 588–599. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2016.12.006>
- Taşlıgil, N., & Şahin, G. (2016). Stratejik önemi artan bir endüstri bitkisi: Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) ve Türkiye'deki coğrafi dağılımı. *Türk Coğrafya Dergisi*, 67, 91–100.
- Vasantharaj, S., Sathiyavimal, S., Senthilkumar, P., & Maruthupandy, M. (2019). Biosynthesis of iron oxide nanoparticles using leaf extract of *Ruellia tuberosa*: Antimicrobial properties and their applications in photocatalytic degradation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 192, 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2019.01.017>
- Weiss, E. A. (2000). *Oilseed crops*. Blackwell Science Ltd.
- Yılmaz, C., & Gökmen, V. (2020). Phenolic compounds in food: Chemistry and antioxidant properties. *Current Opinion in Food Science*, 32, 126–132. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.03.009>