



**T.C.  
BATMAN ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
KİMYA ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İĞDE (ELAEAGNUS ANGUSTİFOLIA L.) BİTKİSİNİN GÜMÜŞ  
NANOPARTİKÜLLERİNİN SENTEZİ VE ANTİMİKROBİYAL  
UYGULAMALARI**

**Elif ASLAN**

**Danışman**

**Doç. Dr. Beşir DAĞ**

**Ocak-2025  
BATMAN**

T.C.  
BATMAN ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
KİMYA ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İĞDE (ELAEAGNUS ANGUSTİFOLİA L.) BİTKİSİNİN GÜMÜŞ  
NANOPARTİKÜLLERİNİN SENTEZİ VE ANTİMİKROBİYAL  
UYGULAMALARI

Elif ASLAN

Danışman

Doç. Dr. Beşir DAĞ

Ocak-2025  
BATMAN

## TEZ KABUL VE ONAYI

Elif ASLAN tarafından hazırlanan “İğde (*Elaeagnus angustifolia* L.) Bitkisinin Gümüş Nanopartiküllerinin Sentezi ve Antimikrobiyal Uygulamaları” başlıklı bu tez çalışması, 06/12/2024 tarihinde aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliğiyle Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Prof. Dr. Abdulkadir LEVENT

.....

#### Danışman

Doç. Dr. Beşir DAĞ

.....

#### Üye

Doç. Dr. Funda AYDIN

.....

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Murat ÖTER  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdür V.

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezde yer alan tüm bilgilerin etik ilkelere ve akademik kurallara uygun şekilde elde edildiğini; tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu çalışmada, bana ait olmayan tüm ifade ve bilgilerin kaynaklarına eksiksiz biçimde atıf yapıldığını beyan ederim.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information presented in this thesis has been obtained in accordance with ethical principles and academic regulations. This study has been prepared in compliance with the thesis writing guidelines, and proper citation has been provided for all statements and information that do not belong to me.

İmza

ELİF ASLAN  
28.01.2025

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elif ASLAN

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Kimya Anabilim Dalı

### İğde (*Elaeagnus Angustifolia* L.) Bitkisinin Gümüş Nanopartiküllerinin Sentezi Ve Antimikrobiyal Uygulamaları

Danışman: Doç. Dr. Beşir DAĞ  
2024, 52 Sayfa

Bu çalışmada, *Elaeagnus angustifolia* L. bitkisinin (Türkçe adıyla iğde) yapraklarından hazırlanan bitki özütü kullanılarak ekolojik açıdan sürdürülebilir yeşil sentez protokolü uygulanmış ve bu sayede gümüş esaslı nanopartiküller (AgNP) başarıyla üretilmiştir. Sentezlenen nanopartiküllerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla çeşitli ileri düzey karakterizasyon teknikleri kullanılmıştır. Ultraviyole-görünür bölge (UV-Vis) spektroskopik ölçümlerinde, gümüş nanopartiküllerin yüzey plazmon rezonansı özelliğine bağlı karakteristik emilim bandı yaklaşık 441 nanometrede belirlenmiş, bu durum nanopartiküllerin oluşumunu doğrulamıştır. Yüzey morfolojisi ve parçacık boyut dağılımı hakkında ayrıntılı bilgi sağlamak amacıyla Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM) analizleri yapılmış, bunun yanı sıra Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ile topografik yapı değerlendirilmiştir. Elde edilen görüntüler, nanopartiküllerin homojen bir dağılıma sahip, genel olarak küresel şekilli ve düzgün yüzey özelliklerinde olduğunu göstermiştir. Kristal yapı özellikleri X-ışını difraksiyon (XRD) tekniği ile incelenmiş, elde edilen difraktogramlardan nanopartiküllerin merkez yüzü kübik (face-centered cubic, FCC) kristal sisteminde düzenlendiği anlaşılmıştır. Debye-Scherrer denklemi kullanılarak ortalama kristalit boyutu yaklaşık 11,84 nanometre olarak hesaplanmıştır; bu değer, nanometrik ölçekte başarılı bir sentezin göstergesi olarak yorumlanabilir. Ayrıca, biyosentezlenen bu AgNP'lerin antimikrobiyal etkilerinin belirlenmesi amacıyla çeşitli gıda kaynaklı ve insan sağlığı açısından önemli patojen mikroorganizmalar üzerinde testler gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Escherichia coli* ATCC 25922 ve *Candida albicans* türlerine karşı Minimum İnhibitör Konsantrasyon (MİK) yöntemiyle duyarlılık testleri yapılmış, AgNP'lerin güçlü inhibitör etkiler sergilediği gözlemlenmiştir. Bulgular, yeşil sentez yoluyla elde edilen gümüş nanopartiküllerin biyouyumlu ve çevre dostu antimikrobiyal ajanlar geliştirilmesi konusunda umut vaat ettiğini ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** AgNP'ler, *Elaeagnus Angustifolia*, antimikrobiyal, nanopartikülle

## ABSTRACT

### MS THESIS

Elif ASLAN

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
BATMAN UNIVERSITY

### Silver Nanoparticle Synthesis and Antimicrobial Applications of Oleaster Plant (*Elaeagnus Angustifolia*)

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Beşir DAĞ  
2024, 52 Pages

In this study, an ecologically sustainable green synthesis protocol was applied using a plant extract prepared from the leaves of *Elaeagnus angustifolia* L. (commonly known as oleaster), and silver-based nanoparticles (AgNPs) were successfully synthesized. Various advanced characterization techniques were employed to determine the physical and chemical properties of the synthesized nanoparticles. Ultraviolet-visible (UV-Vis) spectroscopic measurements revealed a characteristic absorption band at approximately 441 nanometers, attributed to the surface plasmon resonance property of silver nanoparticles, thereby confirming their formation. To obtain detailed information about surface morphology and particle size distribution, Scanning Electron Microscopy (SEM) and Transmission Electron Microscopy (TEM) analyses were conducted, along with Atomic Force Microscopy (AFM) for topographic evaluation. The obtained images showed that the nanoparticles were generally spherical in shape, had a uniform distribution, and smooth surface characteristics. The crystalline structure was examined using X-ray Diffraction (XRD) analysis, and the resulting diffractograms indicated that the nanoparticles were arranged in a face-centered cubic (FCC) crystal system. The average crystallite size was calculated to be approximately 11.84 nanometers using the Debye-Scherrer equation, which can be interpreted as an indication of successful nanoscale synthesis. In addition, to evaluate the antimicrobial activity of the biosynthesized AgNPs, susceptibility tests were performed against several foodborne and clinically important pathogenic microorganisms using the Minimum Inhibitory Concentration (MIC) method. These microorganisms included *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Escherichia coli* ATCC 25922, and *Candida albicans*. The AgNPs exhibited strong inhibitory effects against these pathogens. The findings demonstrate that silver nanoparticles obtained through green synthesis show great promise as biocompatible and environmentally friendly antimicrobial agents.

**Keywords:** AgNP's, *Elaeagnus Angustifolia*, antimicrobial, nanoparticles,

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	ix
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	3
2.1. Nanoteknoloji.....	3
2.2. Nanopartiküller .....	4
2.2.2. Nanopartiküllerin toksisitesi .....	9
2.2.3. Nanopartiküllerin uygulama alanları .....	10
2.2.4. Nanopartiküllerin üretim yöntemleri .....	10
2.3. Nanopartiküllerin Sentezi .....	12
2.4. Yeşil Sentez .....	13
2.4.1. Yeşil sentez karakterizasyonu.....	15
2.5. Gümüş ve Gümüş Nanopartiküller .....	15
2.5.1. Gümüş partiküllerin kullanım alanları .....	17
2.5.2. Gümüş partiküllerin biyosentezi ve kararlılığı .....	18
2.5.3. Gümüş nanopartiküllerin antimikrobiyal etkileri .....	19
2.5.4. Gümüş nanopartiküllerin yeşil sentezi.....	20
2.5.5. Gümüş nanopartiküllerin yeşil sentezinin mekanizması .....	21
2.5.6. Gümüş nanopartiküllerin bitkisel kaynaklar aracılığıyla elde edilmesi.....	21
2.6. Gümüş Nanopartiküllerin Karakterizasyonu .....	22
2.6.1. UV-spektrofotometrik analizi .....	22
2.6.2. Minimum İnhibitör Konsantrasyon (MİK)/Minimum Bakterisidal Konsantrasyon (MBC).....	23
2.6.3. Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM) ile morfolojik karakterizasyonu .....	23
2.6.4. XRD çalışmaları .....	24
2.6.5. Enerji Yayılımlı X-Işınımı (EDX).....	24
2.6.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	24
2.6.7. Gümüş nanopartiküllerin antimikrobiyal aktivitesi .....	25
2.7. İğde (Eleagance) .....	25
2.8. Gümüş Nanopartiküllerin Yeşil Sentez Çalışmaları .....	28
<b>3. MATERYAL VE METOT</b> .....	34
3.1. İğde (Elaeagnus Angustifolia) Bitkisinin Toplanması.....	34
3.2. Sentez Sırasında Kullanılan Kimyasallar .....	34

3.3. İğde ( <i>Elaeagnus Angustifolia</i> ) Özütünün Elde Edilmesi.....	34
3.4. Metal Çözeltilisinin Hazırlanması .....	35
3.5. İğde ( <i>Elaeagnus Angustifolia</i> ) Özütü Aracılığıyla Gümüş Nanopartiküllerin Sentezi.....	35
3.6. Laboratuvarında Kullanılan Malzemeler .....	36
3.7. EA-AgNP'ler Yapısının Belirlenmesinde Kullanılan Cihazlar .....	36
3.8. Antimikrobiyal Etki Çalışmaları.....	37
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR .....</b>	<b>38</b>
4.1. <i>Elaeagnus Angustifolia l.</i> (EA) Bitki ekstraktında elde edilen EA-AgNP'lerin UV-Vis Analizi .....	38
4.2. XRD Verileri.....	38
4.3. EDX Verileri.....	39
4.4. Mikroskopi Verileri .....	40
4.5. AFM Analizi .....	42
4.6. EA-AgNP'lerin Antimikrobiyal Aktivite Çalışması.....	42
<b>5. SONUÇLAR.....</b>	<b>44</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>46</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Nanotip-Nanoteknoloji .....	3
Şekil 2.2. Çeşitli metal nanopartiküller ve bu nanopartiküllerin faaliyet alanları .....	6
Şekil 2.3. NM'lerin şematik diyagramı (Idris ve Roy, 2023). .....	8
Şekil 2.4. Nanopartikül sınıflarının ve biyomedikal uygulamalarının genelleştirilmiş bir diyagramı .....	8
Şekil 2.5. Biyolojik yollarla sentezlenen nanopartiküllerin uygulama alanları .....	10
Şekil 2.6. Nanopartiküllerin oluşum aşamaları .....	11
Şekil 2.7. Nanopartikül sentez yöntemleri .....	12
Şekil 2.8. Nanopartiküllerin yeşil sentezi için kullanılan biyolojik sistemler .....	14
Şekil 2.9. Gümüş nanopartiküllerin uygulama alanları .....	18
Şekil 2.10. Gümüş nanopartiküllerin yeşil sentezi .....	20
Şekil 2.11. Bitkiler aracılığıyla gümüş nanopartiküllerinin yeşil sentezi .....	21
Şekil 2.12. İğde (Elaeagnaceae) .....	27
Şekil 3.5. <i>E. Angustifolia</i> bitki özütü aracılığıyla gümüş nanopartiküllerin oluşum mekanizması .....	35
Şekil 4.1. EA-AgNP'lerin UV-Vis analizi .....	38
Şekil 4.2. EA-AgNP'lerin XRD analizi .....	39
Şekil 4.3. EA-AgNP'lerin EDX analizi .....	40
Şekil 4.4. EA-AgNP'lerin TEM analizi .....	41
Şekil 4.5. EA- AgNP'lerin SEM analizi .....	41
Şekil 4.6. EA-AgNP'lerin AFM görüntüsü .....	42

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

L	: Litre
Ag	: Gümüş°C
°C:	:Santigrad Derece
µg	: Mikrogram
mL	: Mililitre
mg/ mL	: Miligram/ mililitre
mg/ L	: Miligram/ Litre
mV	: Milivolt
%	: Yüzde

### Kısaltmalar

AgNO <sub>3</sub>	: Gümüş Nitrat
NP	: Nanopartikül
MNP	: Metal nanopartikül
AgNP	: Gümüş nanopartikül
XRD	: X Işımları Kırınımı
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
UV- vis	: Ultraviyole Görünür Bölge Spektrofotometresi
TEM	: Geçirimli Elektron Mikroskopu
EDX	: Enerji Yayılımlı X-Işınımı
DLS	: Dinamik Işık Saçılımı
AFM	: Atomik Kuvvet Mikroskopisi
EA	: Elaeagnus Angustifolia

## 1. GİRİŞ

Nanoteknoloji, geniş bir uygulama yelpazesine sahip olması sebebiyle son derece gelişen bir alandır. Nanopartiküllerin sentezi için geniş uygulama alanlarına sahip olmasından dolayı farklı tipte yöntemler kullanılmıştır. Geleneksel kimyasal yöntemlerin, sentez prosedürleri sırasında kimyasal kontaminasyonlar veya sonraki uygulamalarda ve daha yüksek enerji kullanımı şeklinde belirli sınırlamaları vardır. Son yıllarda yapılan araştırmalar, nanopartiküllerin sentezi için basit, toksik olmayan, temiz, uygun maliyetli ve çevre dostu sözleşmeler geliştirmeye odaklanmıştır. Bu amaca ulaşmak için, bu boşluğu doldurmak hedefiyle biyosentez metotları geliştirilmiştir. Nanopartiküllerin biyosentezi basit, tek adımlı, yeşil ve çevre dostu bir yaklaşımdır. (Ahmed, Annu, et al., 2016).

Nanoteknoloji ifadesi tam olarak makro boyuttaki molekül ve atomların büyüklüğünü küçülterek yani mikro boyuta indirgeyerek malzemenin özel niteliklerini kapsayan teknolojidir. Diğer bir ifadeyle yapı 1-100 nanometre arasında faaliyet göstermektedir (Tüylek, 2021).

Nanoteknoloji ve nanobiyoteknolojinin sinerjik etkileşimine vurgu olarak, nanopartiküllerin biyosentez ve nanomalzemelerin sentezinde çevreye duyarlı teknolojiler geliştirmesi gerekmektedir. Bitkiler, mikroorganizmalar ve mantarlar biyolojik olarak parçalanabilir ajan malzemesi olarak bu saha çalışmasında kullanılabilir. Böylelikle, nanopartiküllerin sentezi için, yeşil, basit ve hızlı bir yöntem geliştirmek mümkün kılınmıştır (Nadaroğlu et al., 2017).

Nanoteknolojinin varlığı, otel havuzunun temizlenme şeklinden sürtünmeyi azaltmak için uçağın yüzeyini kaplayan nanopartiküllerde dahil değişik farklı alanlarda hissedilmektedir. Evlerimizde nanoteknolojinin modern yaşamın ayrılmaz bir parçası haline geldiği de görülmektedir. Kısaca baktığımız her yerde nanoteknolojiden faydalanan birçok teknoloji sayesinde bu teknolojinin etkileri görülmektedir. Yalnız bu durum genellikle bizler tarafından fark edilememektedir (Tüylek, 2021). Atom boyutundaki ölçeklerde çalışmak, atomlara vakıf olmak ve fikir yürütme sonucunda nanoteknoloji, birçok uygulamada gelişen mühendislik ve bilim alanı olarak tanımlanmaktadır. Malzemenin kendine has özelliklerinde ona yeni özellikler veya değişiklikler eklenmesi nanoteknoloji çalışmalarında dahil edilmektedir (Tarhan et al., 2010)

Ayrıca belirli bir hedefte kullanılacak tüm malzemelerin yapımında, kullanımında ve düzenlenmesinde gerekli tasarım ve üretimde çalışmayı mümkün kılmaktadır. Gündelik olarak kullandığımız ekipmanların her durumda ve olayda yararlı olması nanoteknolojinin önemli getirileridir (Tarhan et al., 2010).

Metalik nanopartiküller, katalizörlerden ve algılamadan optik, antibakteriyel aktivite ve veri depolamaya dahil birçok uygulamada dikkat çekici olan boyut ve şekle bağlı özellikler sergilemektedirler. Örneğin, nanopartiküllerin antibakteriyel aktivitesi gümüş kolloidler gibi farklı metal boyutlarıyla yakından ilişkilidir; diğer bir ifade ile, antibakteriyel aktivite ne kadar yüksekse gümüş çekirdekleri o kadar küçüktür. Dahası, bu nanopartiküllerin katalitik aktivitesi de boyutlarına, şekillerine, yapılarına, kimyasal-fiziksel ortamlarına ve boyut dağılımlarına bağlıdır. Bu sebeple, boyut ve boyut dağılımı üzerinde kontrol önemlidir. Genel bir ifade ile, şekil, boyut ve boyut dağılımının spesifik kontrolü sıklıkla sentez yöntemlerini, stabilizatörleri ve indirgeyici maddeleri değiştirerek elde edilir (Ahmed, Annu, et al., 2016).

Canlı hayatının birçok alanına tesir eden bu yeni teknoloji yani nanoteknoloji ile özel nitelikli ürünlere rastlanmakta ve yapılmaktadır. Nano ölçekli malzemeler ve ürünler nanoteknoloji kullanılarak üretilir; yaşadığımız dönemde sektörlerin tümünde üretim ve tüketimde entegre kullanılan yeni bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır (Özkaleli; Merve, n.d.).

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Nanoteknoloji

İfade olarak nano, ölçü birimi olarak kullanıldığında metrenin milyarda birini ifade etmektedir. Çok küçük yapılarından dolayı gözle görülemeyecek boyutlarda yapılan teknolojik analiz ve çalışmaları içermektedir. Küçük boyuttaki malzemelerin işlenmesi anlamına da nanoteknoloji denmektedir (Bekem et al.,2023).

'1-100 nm arasında değişen boyutlara sahip malzemelere nanopartikül denir '(Eren et al., 2019).

Fizikçi Richard Feynman tarafından nanoteknoloji, teorik kavram olarak tanımlanmıştır. Norio Taniguchi ise ilk kez nanoteknoloji kavramını kullanmıştır (1974). Nanoteknoloji teriminin yaygınlaşması ise uzun yıllar almıştır. Malzemeler nanoboyutta oldukları zaman büyük ölçekli dünyadan farklı davranırlar. Bu da nanoteknolojiyi farklı kılar. Sonuç olarak malzemelerin nanoboyutta değişik özellikler göstermesi kuantum yapılarından kaynaklanmaktadır. Örneğin, nanoboyuttaki altın başka malzemelerle reaksiyon verirken külçe şeklindeki altın başka maddelerle reaksiyon vermez. Yani tam tersi bir durum sergiler(Bekem et al.,2023).



Şekil 2.1. Nanotip-Nanoteknoloji

Nanoteknolojinin kullanım alanlarını başlıca sıralamak gerekirse buna örnek olarak sağlık, ilaç, sanayi, otomotiv, tekstil, gıda, boya gibi farklı alanlar gösterilebilir(Bekem et al.,2023). Nanoteknoloji hızla gelişen bir alan olduğundan insan hayatının her alanında karşımıza çıkmaktadır. Birçok araştırmacının bu alanda çalışmaya teşvik etmeye neden olan faktör özellikle son zamanlarda malzemeler, nanoboyutta sentezlendiğinde birçok alanda uygulamaya sahip olduğu görülmüştür. Bunlar nanomalzemenin karakterizasyonu, optik özellikleri, kirlilik giderici, mikroorganizmaları öldüren ve büyümesini engelleyen bir aktivite ve biyomedikal alanlarda uygulamalarda kullanıma sahip olduğu görülür. Tüm bunlar göz önüne alındığında yapılan araştırmalara yönelik metal maddelerin nano boyutlu sentezi için birçok yöntem tatbik etmişlerdir. Bu yöntemleri sıralamak gerekirse fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler olarak karşımıza çıkar (Umaz et al.,2019). Yeşil sentez diğer adıyla biyolojik sentez diğer yöntemlere göre daha ucuz, güvenli ve çevre dostu bir yöntemdir. Yeşil sentezin bu avantajları sayesinde diğer yöntemlere göre daha fazla tercih edilmektedir (Baran, 2019). Daha ucuz olmaları ve toksik kimyasallar içermemesi göz önüne alındığında biyolojik kaynaklarla sentez yani yeşil sentez diğer yöntemlere kıyasla daha çok ilgi görmektedir (Baran et al., 2018).

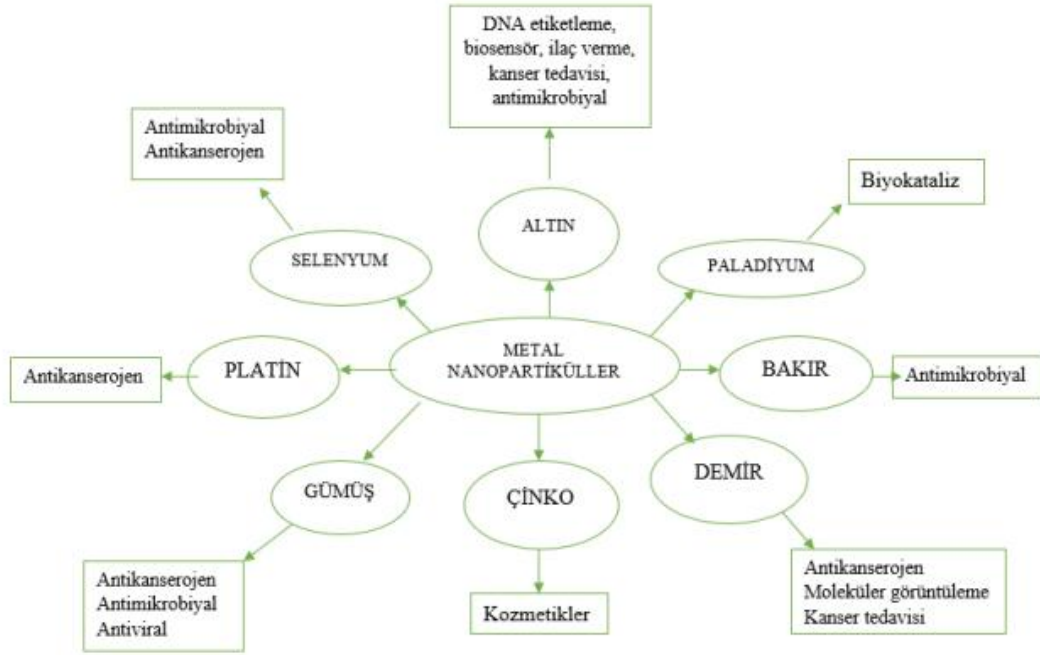
21. yüzyılın bilimleri arasında anahtar rol oynayan nanoteknoloji, nano ölçekte metal ve metal oksit maddelerin entegrasyonunda, yeniden inşa edilmesinde ve üretilmesi ile ön plana çıkmaktadır (Baran, 2019). Diğer bir taraftan, tarımda çok kullanılan ve küresel bir tehlike oluşturmaya başlayan pestisitlere ve herbisitlere alternatif çözümler araştırılmaktadır (Eren et al., 2019).

## **2.2. Nanopartiküller**

Yunanca 'nano' kelimesinden türetilen nanopartikül terimi, 'cüce veya küçük' anlamına gelir ve teknik olarak kullanıldığında boyutu belirtir (Jamkhande et al., 2019). Nanopartikülleri diğer maddelerden farklı ve üstün yapan özellikleri; yüzey hacim oranı azaldıkça gösterdikleri reaksiyonlardır (Gürmen & Ebin, 2008). Hem çözünen hem de ayrı parçacık faz özelliklerine sahiptir nanopartiküller (Jamkhande et al., 2019). Üstün özellikleri sayesinde nano yapıli partiküller biyomedikal, elektrik-elektronik, kimya ve otomotiv sektörleri gibi birçok endüstriyel alanda kullanımları mevcuttur. Fizikokimyasal, yapı ve biçim bakımından özelliklerini başlangıç olarak kullanılan materyalin karakteristik özelliklerinden etkilenen nanopartiküller için farklı üretim

yöntemleri geliştirilmiştir. Diğer ticari malzemelerle kıyaslandığında bu partiküller genelde apayrı ve üstün kabul edilen özellikler sergilemektedirler. Özellikle üstüne basılan özelliğini sıralamak gerekirse kuantum boyut etkileri, atomların yüzeyinin eşsiz karakterde olması ve yüksek yüzey/hacim oranı olarak karşımıza çıkmaktadır (Gürmen & Ebin, 2008). Büyük parçacık veya atomla karşılaştırıldığında, nanopartikülün yüzey hacim oranı, %35-45 kat daha yüksek olduğu görülmektedir. Nanopartikülün kendine has yüzey alanının bu benzersiz dışsal özelliği, yüksek değerine katkıda bulunan bir faktördür ve içsel özellik olarakta ölçüye bağlı olan yüzeyde güçlü karakteristik bir ayıraç görevi görmesi vs. değişik yönlerini beraberinde etkiler. Daha genel ele alınırsa nanopartiküller bu özel özellikleri yani işlevli nitelikleri aracılığıyla, enerji, beslenme ve ilaçlar vb. çeşitli alanlardaki uygulamalarına ilgiyi arttırmaktadır (Jamkhande et al., 2019).

Farklı yöntemlerle nanopartiküller sentezlenmektedir (Baran,2019). Nanoteknoloji alanında son yıllarda, sayısız yöntemler geliştirilmesine neden olan özel gereksinimlerine bağlı olarak farklı boyutta ve şekilde nanoparçacıklar sentezlenmiştir (Mehmet et al., 2018). Üç farklı sentez yöntemi nanopartiküller için geliştirilmiştir; bunlar fiziksel, kimyasal ve yeşil sentez olarak karşımıza çıkar. Nanopartikül sentezinde fiziksel yöntemler ile ekipmanların pahalı olması ayrıca yüksek sıcaklık ve yüksek basınçta gerekir. Nanopartikül sentezinde kimyasal yöntemler de ise canlılara ve çevreye ciddi zararlar verebilecek toksik kimyasallar kullanılmaktadır. Dezavantajlara sahip bu yöntemler olan fiziksel ve kimyasal sentezin yerine sürdürülebilir çevreye olanak tanınması ayrıca canlı yaşamına olumlu etkisi ve daha ucuz bir yöntem olan biyolojik sentez geleneksel sentezlerin yerini almaktadır. Yeşil sentez için nanopartiküllerde bakteriler, bitkiler, algler, mantarlar vb. çeşitli biyolojik kaynaklar kullanılır. Biyolojik sistemlerde nanopartiküllerin hangi amaçla ve nasıl kullanılması gerektiği ile ilgili literatürde kesin bir bilgi bulunmamaktadır. Nanopartiküller sentezlendikten sonra birçok alanda kullanılır ve nanopartiküller ile ilgili birçok aktivite çalışmaları yapılmıştır (Erdoğan et al., 2019).



Şekil 2.2. Çeşitli metal nanopartiküller ve bu nanopartiküllerin faaliyet alanları

### 2.2.1. Nanopartikül Sınıfları

Nanopartiküller, boyutsal özelliklerine ve yapısal formlarına göre üç ana sınıfa ayrılır. Bu sınıflandırma, parçacıkların bir, iki veya üç boyutta nano ölçekli özellik göstermesine dayanır:

#### *Tek Boyutlu Nanopartiküller:*

Bu sınıftaki nanopartiküller yalnızca bir boyutta nano ölçeklidir. Genellikle ince filmler veya kaplamalar şeklinde karşımıza çıkarlar. Kalınlıkları nanometre düzeyindeyken, uzunluk ve genişlikleri mikrometre veya daha büyük olabilir. Elektronik, optoelektronik ve yüzey modifikasyonu gibi alanlarda yaygın olarak kullanılırlar.

#### *İki Boyutlu Nanopartiküller:*

İki boyutta (genişlik ve uzunluk) nano ölçekli olup, kalınlık yönünde daha büyük boyutlara sahip parçacıklardır. Nanoteller, nanolifler ve nanokablolar bu gruba girer. Bu yapılar, yüksek yüzey alanı ve mekanik dayanıklılıkları sayesinde özellikle sensör teknolojileri, enerji depolama sistemleri ve biyomedikal uygulamalarda önemlidir.

#### *Üç Boyutlu Nanopartiküller:*

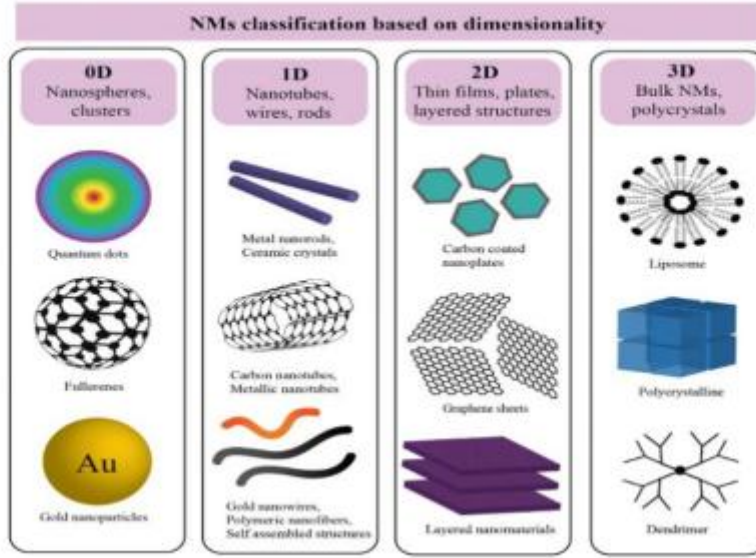
Bu nanopartiküller tüm boyutlarda (uzunluk, genişlik ve yükseklik) nano ölçekli boyutlara sahiptir. Küresel, kübik, çok yüzlü veya düzensiz geometrilere sahip olabilirler. Metal nanoparçacıklar, kuantum noktaları ve tam küresel nano tanecikler bu sınıfa örnek verilebilir. Tıbbi tanı sistemlerinden ilaç taşıyıcı sistemlere kadar çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler.

Ultra küçük boyutlu nano yapıları malzemeler olan 0D biyoalgılamada büyük potansiyel taşır. Farklı tipleri bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak karbon kuantum noktaları, grafen ve manyetik nanopartiküller verilir. Önemli özellikleri ise hacimsel olarak küçük olması, yüzey-hacim oranlarının yüksek olması ve kenar etkileri bu özellikleri etkiler. Birçok alanda uygulamaları bulunmakta biyomoleküler tanıma, patojen ve hastalık teşhisi tespiti gibi örnekleri mevcuttur (Wang et al., 2020).

Geniş bir uygulama potansiyeline sahip olan tek boyutlu nano yapıları malzemeler, nanotüpler, nanoteller, nanolifler vb. başka özelliklere sahiptir. Nano yapıları malzemeler kullanım alanlarından dolayı farklı alanlarda faaliyet göstermelerine olanak tanır. Malzemeler üzerinde yapılan dikkatli çalışmalar, malzemelerin sentezi, elektronik, manyetik, optik ve kataliz gibi özellikleridir. Tek boyutlu nano yapıları malzemelerin yol kat etmesi, yaygın kullanılmasına teşvik ederken büyük ölçekli üretim tekniklerinin geliştirmesine de olanak sağlar (Zhao et al., 2013).

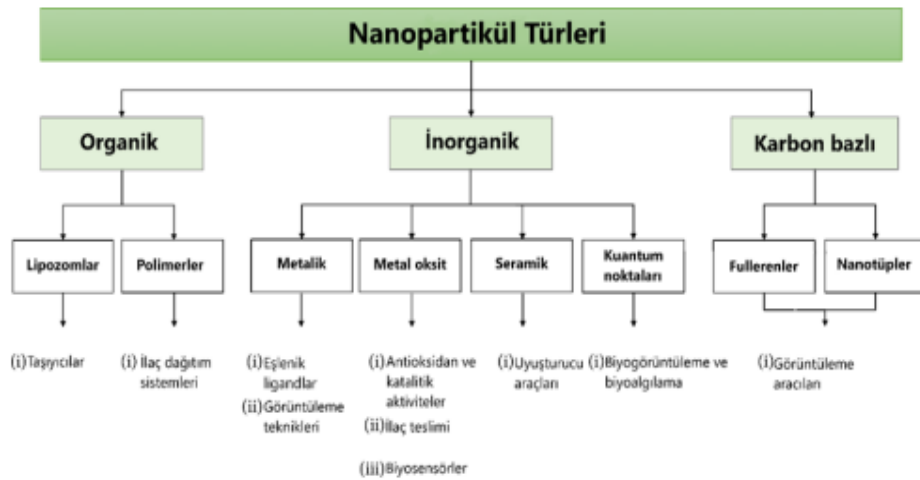
İki boyutlu (2D) nano yapıları malzemeler, nano akışkan yapı taşları olarak kullanılan kanalların oluşturulmasına hizmet eder. İki boyutlu bu yapılar, kataliz, elektrokimyasal enerji dönüşümü ve biyosensörler gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Örnek verecek olunursa, ekstra ince filmler, diskler, trombositler, süper kafesler, kuantum kuyuları gösterilir (Goh et al., 2020).

Üç boyutlu (3D) nano yapıları malzemeler, boyut olarak 100 nanometrenin altındadır. Bu malzemeler, nanokristal yapıya sahip ayrıca nano boyutlu özellikler de içerebilir. Fazla miktarda farklı nano boyutlu kristal düzenlerden oluşan nanokristal yapıya sahiptir. Nanopartikül dispersiyonları, multi nano plakalar ve nanotel demetleri gibi yapıları içeriyorsa nano ölçekte özelliklere sahiptir. Üç boyutlu nanoyapılı malzemeler atom boyutundaki boyutları, kimyasal içerikleri bakımından birbirinden ayrı davranışlara sahiptir. Maddelerin heterojen yapısı birbirine bağlı yapı taşı ve yapı taşı kısmı arasındaki bölgeden oluşur. Heterojen yapı, maddenin özellikleri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Madkour, 2019).



Şekil 2.3. NM'lerin şematik diyagramı (Idris ve Roy, 2023).

Nanopartiküller boyut olarak iki ya da üç boyutlu ya da metrenin milyarda birini ifade etmektedir. Birbirinden apayrı özelliklerine bağlı olarak birbirinden farklı sınıflandırmalar yapılmıştır. Bunları ifade etmek gerekirse: metal bazlı nanopartiküller, örnek verilecek olursa da nanoçubuklar gösterilebilir. Bir diğer nanopartikül, karbon bazlı nanopartiküller, bu nanopartiküle örnek olarak fullerenes gösterilebilir. Diğer bir nanopartikül ise yarı iletken bazlı nanopartiküllerdir. Kuantum noktaları örneği gösterilir (Berk et al., 2012).



Şekil 2.4. Nanopartikül sınıflarının ve biyomedikal uygulamalarının genelleştirilmiş bir diyagramı

## 2.2.2. Nanopartiküllerin toksisitesi

Agregasyon/toplanma durumu; nanopartiküllerin agregasyon eğilimi göstermesi işlevselliğini korur fakat boyutlarında artış olması durumunda hücreler tarafından alımının azalmasına sebep olur.

Nanopartikül şekli; değişik partikül şekilleri (örnek olarak; küresel, boru şekilli vs.) apayrı yakınlıklara ya da erişilebilirliklere sahip olduğu görülmektedir. Örnek verecek olursak nanopartiküllerin membranlardan hücrelere taşınım ve bu nanopartiküllerin apayrı bakteriyellere karşı davranış sergilemesine neden olur.

Elemental kompozisyon; farklı davranış/(toksik), değişik partikül bileşimi gibi etkilere yol açar.

Partikül sayısı konsantrasyonu; nanopartiküller düşük kütle yoğunlaşmalarına sahip fakat nanopartikül sayılarının toplam yüzdesi yüksek gözlemlenmektedir.

Boyut ve boyut dağılımı; nanopartiküller kapsam ve ölçülerine göre sınıflandırılır, tanımlanır zira nanopartiküllerin boyutu ve taşınma davranışlarını tanımaya yardımcı olur.

Kütle konsantrasyonu; normal şartlar altında kontaminant yoğunluğunun artışı toksisite/etki de artışa sebep olmaktadır, bundan dolayı kütle yoğunluğu her zaman nanopartiküller için geçerli bir sebep değildir.

Yapı; nanopartiküllerin davranışlarını ve kararlılığını etkiler. Porozite ve yüzey alanının artışı aktif olma durumunu ve emme davranışını artırmıştır.

Çözünürlük; nanopartiküllerin iyonik formlarının çözünürlüğü zararlı ya da zehirli olabilir.

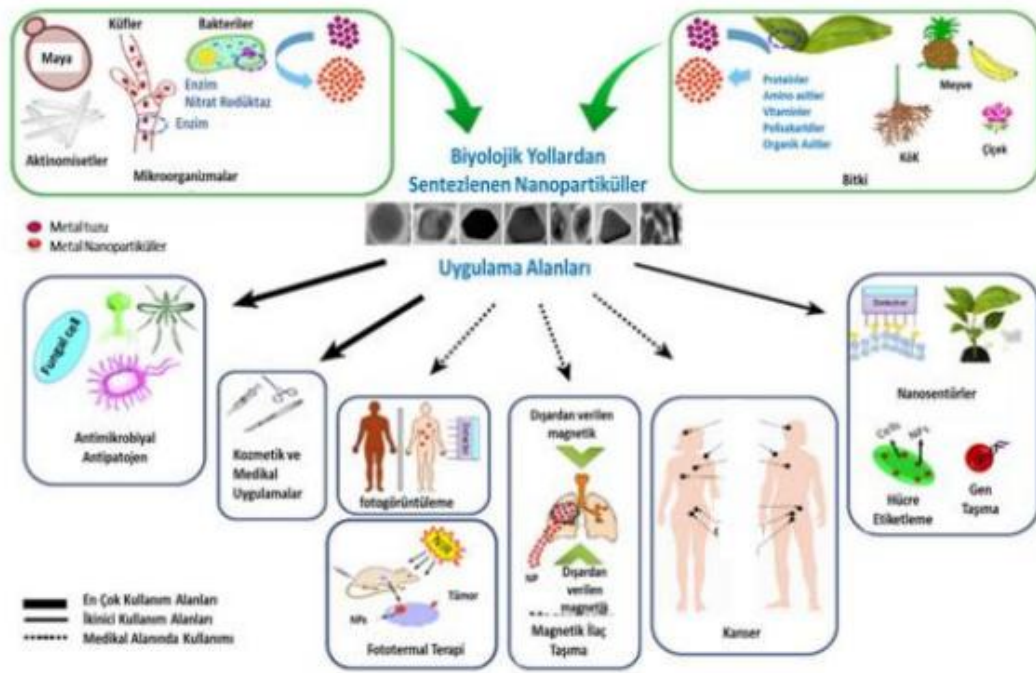
Türleşme; ayrı davranış, ayrı türler, toksisite ve etki gösterir (Örnek olarak; organik madde ya da oksidasyon durumu ile nanopartikül kompleksleri, C60'a karşı C70).

Yüzey yükü; nanopartikül stabilitesi üzerine özellikle yüzey yükünün dispersiyonlarında etkisi olduğu görülmektedir.

Yüzey kimyası; ayrı kimyasal bileşimlerden kaplamalar oluşabilir ve bu durum nanopartikül toksisitesini ya da davranışını etkilemektedir (Marmara Fen Bilimleri Dergisi & 2018, n.d.).

### 2.2.3. Nanopartiküllerin uygulama alanları

Son on yılda nanopartiküller daha çok anti-bakteriyel bir ajan olarak ortaya çıkmaktadır. Spesifik hedefleme ve minimum toksisite gibi etkiler gösterdiği için nanopartiküller kişiselleştirilmiş bir ilaç olarak kullanılabilir. Daha çok antibiyotiğe direnci olan bakteriler üzerinde inhibe etmede yararlı oldukları tespit edilmiştir. Bakterisidal ya da bakteriyostatik etkilerini nanopartiküller, hücre zarlarını bozarak ya da besin kaynaklarını bloke ederek gösterirler. Hacim oranına göre büyük yüzey alanı sayesinde nanopartiküller patojenik mikropların daha iyi hedeflenmesi için birçok ligand barındırır (Happy Agarwal et al., 2018).



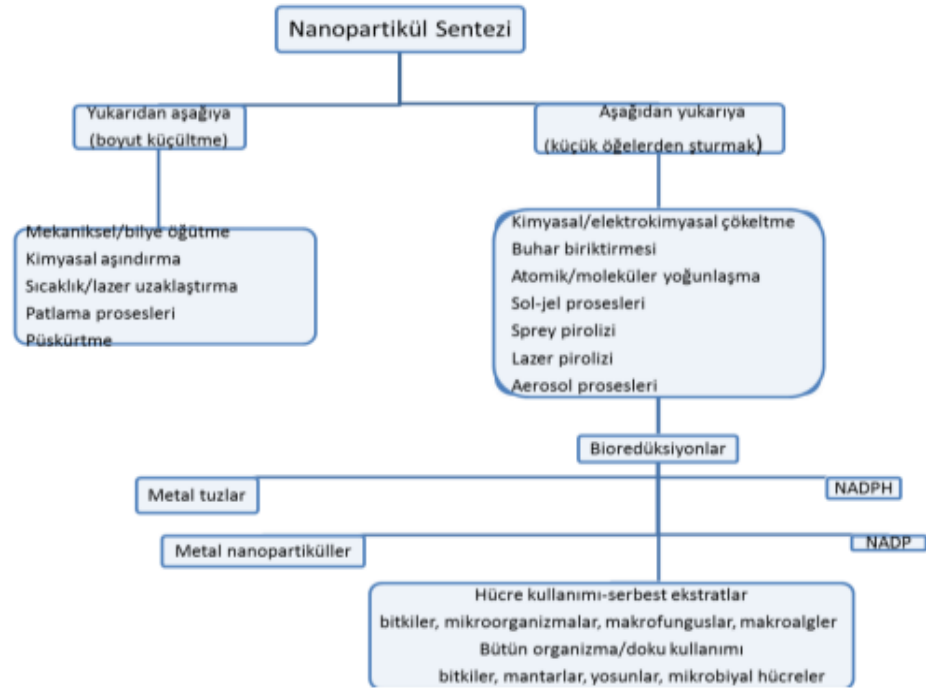
Şekil 2.5. Biyolojik yollarla sentezlenen nanopartiküllerin uygulama alanları

### 2.2.4. Nanopartiküllerin üretim yöntemleri

Üretim yöntemi olarak nanopartiküllerde iki tür üretim mevcuttur: bu üretim yöntemleri aşağıdan yukarı “bottom up” yaklaşım ve yukarıdan aşağı “top down” yaklaşım olmak üzere üretim yöntemi yaklaşımına sahip (Ravichandran, 2010) olup bu iki yaklaşım şu şekilde açıklanmaktadır (M. Beykaya & Çağlar, 2016).

**Yukarıdan aşağıya (top down) yaklaşımı:** Top down yaklaşımında olan sentezlerde hacimsel malzemeye dışarıdan kimyasal veya/ve mekaniksel işlemlerle enerji verilerek malzemenin kendisinin nano boyuta inecek şekilde küçük parçalara ayrılması olarak tanımlanır. Top down yani yukarıdan aşağıya yaklaşımla yapılan sentezlere daha kapsamlı örnek verilecek olunursa; makinede işleme ve dövme işlemi sıvı faz teknikleri gösterilebilir (M. Beykaya & Çağlar, 2016).

**Aşağıdan yukarıya (bottom-up) yaklaşımı:** Bottom-up yaklaşımda olan sentezlerdeyse; kimyasal reaksiyonlar ile atom boyutunda ya da moleküler boyutta olan yapılar büyütülerek nanopartikül sentezlenmiş olur. Aşağıdan yukarıya yaklaşımla çalışılan gaz yoğunlaştırma tekniği ilk sentez yöntemi olup nanokristalin metal ve alaşımlarının üretiminde kullanılmıştır. Bottom up sentez yöntemine; sol jel, kimyasal buhar kaplama ve yoğunlaştırma, ve sprej piroliz sentez yöntemleri örnek gösterilebilir (Gürmen & Ebin, 2008).



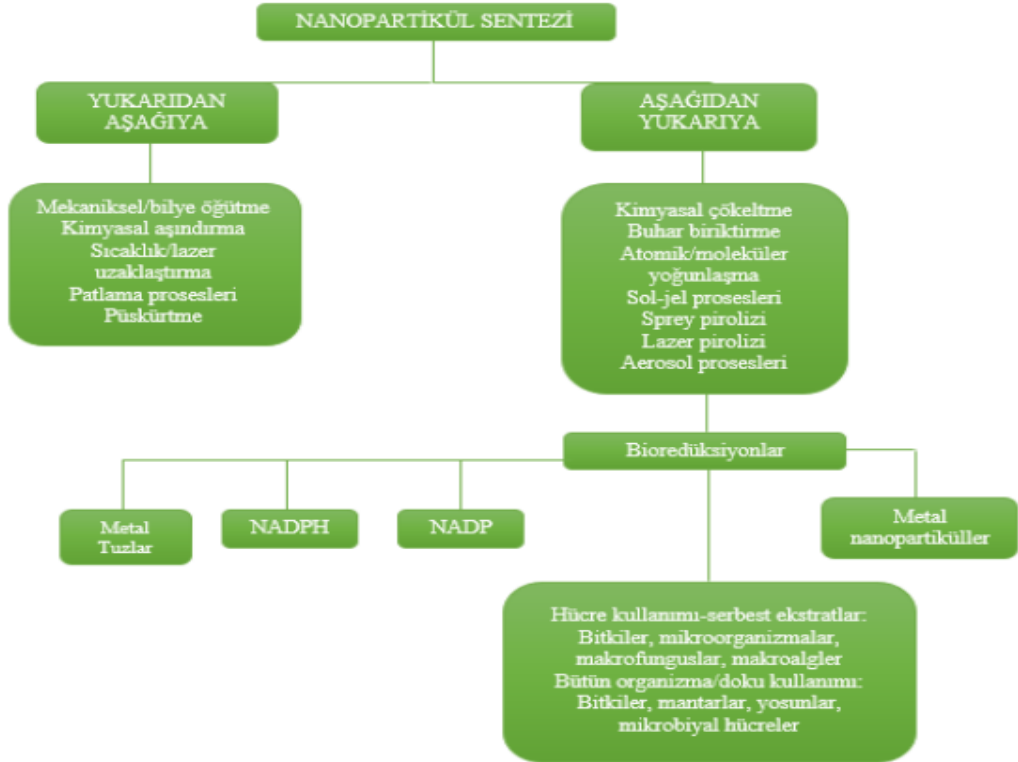
**Şekil 2.6.** Nanopartiküllerin oluşum aşamaları

- a) Aşağıdan yukarıya yaklaşım,
- b) Yukarıdan aşağıya yaklaşım

### 2.3. Nanopartiküllerin Sentezi

Nanopartiküller alanında son yıllarda yeni bir terminoloji olarak metal nanopartiküller ya da metalik nanopartiküller ifadesi ortaya çıkmıştır. Altın, gümüş ve platin gibi. sağlık üzerinde yararlı etkileri olan asil metaller nanopartiküllerin yönteminde kullanılır ve metalik nanopartiküller olarak isimlendirilir. Araştırmacılar günümüzde metal nanopartiküllerin, hastalık teşhisi ve tedavisi, kompozit benzeri polimer preparatları, sensör teknolojisi, kataliz ve optoelektronik kayıtlı medyanın etiketlenmesi için yararlı olan dikkat çekici özellikleri sebebiyle, nanomalzeme ve nano yapılar yöntemlerine odaklanmaktadır (Jamkhande et al., 2019).

MNP'ler ya da manyetik nanopartiküller, daha çok son teşhis ve tedavi metodolojilerinin geliştirilmesinde geniş araştırma alanlarında önemli nanopartiküller arasındaki nanomalzemelerdir. Bu süperparamagnetik yapının benzersiz özellikleri şu şekilde sıralanabilir; iyi bir terapötik etkinlik, çok daha iyi bir biyoyoumluluk, bölgeye özgü hedefleme, biyoseparasyon, daha düşük toksisite, vb. (Chavan et al., 2022).



Şekil 2.7. Nanopartikül sentez yöntemleri

## 2.4. Yeşil Sentez

Biyonano teknolojide yenilikçi ve umut verici bir araç olarak karşımıza canlı hücreler kullanılarak nanopartiküllerin (NP'ler) yeşil sentezi ifadesi çıkar. Nanopartikülleri sentezlemek için kimyasal ve fiziksel yöntemler kullanılır fakat yüksek saflık ve verimlilik için çevre dostu, güvenli, temiz, uygun maliyetli, kolay ve etkili kaynaklar olması sebebiyle yeşil senteze başvurulmaktadır. Biyolojik sentez yönteminde yüksek basınç ya da sıcaklık gerekmez ayrıca tehlikeli maddelerin ve toksik maddelerin kullanımını, dengeleyici veya kapatıcı maddelerin ve harici indirgeyici maddelerin eklenmesinin önüne geçilir. Nanopartiküllerin hücre dışı ya da hücre içi biyosentezinde çok sayıda biyolojik varlık yani bakteri, alg, maya, bitki özleri, aktinomisetler ve mantar tarafından gerçekleştirilmektedir (Salem & Fouda, 2021).

Biyolojik yöntem diğer ifade ile yeşil sentez; toksik olmayan öncüller kullanma, hafif reaksiyonlar ve daha az atık üretme ile hem sürdürülebilir bir çevre sağlanır hem de çevre dostu ve güvenilir bir yol izlenmiş olur. Sonuç olarak biyolojik yöntemde yani yeşil yöntemde yeniden kullanılabilir, güvenli ve biyolojik olarak parçalanabilir yeni yapılacak ürünlerin sentezi ve tasarımı gerçekleşir (Venkatachalam et al., 2021).

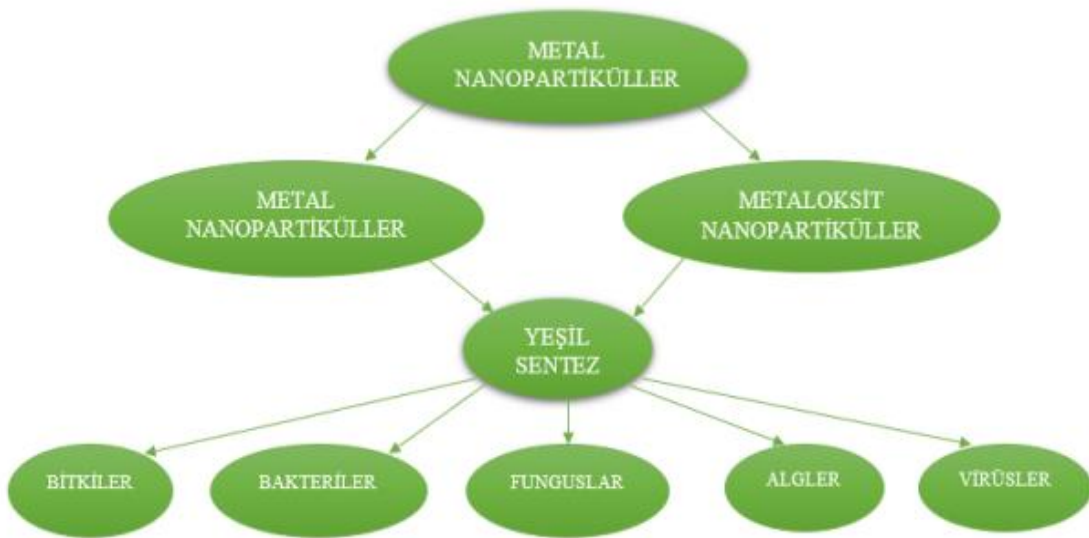
Sürdürülebilir bir çevreye sahip olmak için nanomalzemelerin sentezlenmesinde yeşil kimyaya (senteze) ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda yeşil sentez yönteminin önemi giderek artmakla beraber, diğer nanomalzemelerin sentez yöntemlerine göre güvenli, toksik olmayan, sürdürülebilir, çevre dostu, tekrar edilebilirliği yüksek ve diğer yöntemlere göre daha hızlı, büyük ölçekli üretim ve sık olarak daha kararlı malzemelerle sonuçlandığından ön plana çıkmaktadır (Şensoy Gün et al., 2024).

Fiziksel ve kimyasal yani geleneksel yöntemlere bir seçenek olarak, yeşil sentez (biyolojik sentez) yaklaşımında nanopartikül sentezinde; stabilize edici kimyasallara ve indirgeyicilere ihtiyaç duyulmadan sentez mümkün olmaktadır. Mikroalgler aracılığıyla metal nanopartiküllerin biyolojik sentezi; kimyasal kalıntı içermeyen, daha yüksek saflıkta, çevre ile biyoyumlu ve insan sağlığı için daha iyi sürdürülebilir nanomalzemeler üretilebilir (Mutaf et al., 2023).

Bakteriler, funguslar, bitkiler gibi biyolojik organizmaların saflaştırılmış enzim, hücre içinde ekstraktlarını ham bir şekilde içeren ya da polisakkarit gibi biyolojik molekülleri, indirgeyici ve durdurucu ajan vasıtasıyla nanopartiküllerin yeşil sentezinde kullanılmaktadır (Mutaf et al., 2023).

Biyolojik yöntemde çevre dostu ve doğal malzemeler (örneğin, biyolojik organizmalar) kullanılmaktadır. Uç kapatma maddesi ve dağıtıcı olarak kullanılan biyolojik malzemeler (yeşil malzemeler) zararlı ve toksik maddelerin kullanımından kaçındırır. Bununla beraber enerji tüketiminde azalmasına olanak sağlar. Biyolojik sentezde günümüzde ana kullanılan malzemeler; bakteri, mantar ve algler (mikroorganizmalar) ya da çeşitli bitkilerin özleri yani tohum, meyve, kök, çiçek, kabuk ve yaprağın özü kullanılır. Uygun koşullar altında (konsantrasyon, sıcaklık ortam havası vs.) yeşil malzemelerin varlığında metal nanopartiküller sentezlenebilir. Yeşil sentezlenmiş metal nanopartiküllerin kalitesi belirli koşullar altında kimyasal olarak sentezlenenleri dahi geride bırakır. Örnek verecek olursak; biyolojik sentez yöntemiyle elde edilen demir oksit ( $Fe_3O_4$ ) nanopartiküllerinin parçacık boyutu 2–80 nanometre olarak bulunmuştur. Islak kimyasal yöntemle sentezlenen parçacıklardan (87–400 nanometre) daha küçüktür (Ying et al., 2022).

Metal iyonlarında kullanılan indirgeyici ve dengeleyici maddeler olan mikroorganizmaların (maya, bakteri, mantar ve bitkiler) ve bitki özlerinin kullanımını ayrıca metal oksit nanopartikülleri üretmeyi gerektirdiğinden son yıllarda biyolojik yöntem (yeşil sentez) önemli ölçüde önem kazanmıştır. Biyolojik sentez yönteminde, yan ürünlerin kullanılması ve toksik olmayan reaktiflerin ayrıca daha sürdürülebilir olması nedeniyle çevre dostu, ekonomik ve oldukça avantajlı olmasından dolayı tercih edilmektedir (Indhira et al., 2022).



**Şekil 2.8.** Nanopartiküllerin yeşil sentezi için kullanılan biyolojik sistemler

### 2.4.1. Yeşil sentez karakterizasyonu

Biyolojik yöntemlerle elde edilen analiz sonuçları, nanomalzemelerin karakterizasyonu hakkında önemli bilgiler sunar. Bu karakterizasyon süreci, nanomalzemelerin yapısal özelliklerini daha iyi anlamamıza ve potansiyel uygulama alanlarını belirlememize olanak tanır. Karakterizasyon, özellikle nanomalzemelerin boyutları, morfolojileri (şekil ve yapı), kimyasal bileşimleri, yüzey özellikleri ve diğer fizikokimyasal parametrelerinin belirlenmesi amacıyla uygulanır. Bu süreçte; spektroskopik, mikroskopik, kromatografik ve yüzey analiz teknikleri gibi çeşitli analitik yöntemler kullanılır. Elde edilen veriler, nanomalzemelerin biyouyumluluğu, reaktivitesi, stabilitesi ve fonksiyonel özelliklerinin değerlendirilmesinde kritik bir rol oynar. Böylece, ilgili nanomalzemenin hangi endüstriyel, tıbbi veya çevresel uygulamalara uygun olduğu bilimsel temellerle ortaya konabilir.

**Boyut ve Şekil Analizi:** SEM ya da TEM analiz yöntemiyle veriler elde edilir.

**Kimyasal Analiz** XPS, EDS ve NMR gibi teknikler aracılığıyla elde edilir.

**Kristal Yapı Analizi:** X-ışını kırınımı (XRD) tekniği kullanılarak belirlenir.

**Spektroskopik Analizler:** FT-IR spektroskopisi veya Raman spektroskopisi yöntemleriyle belirlenir. Spektroskopik yöntemle maddenin kimyasal bağlarını ve moleküler yapılarını belirlememize olanak sağlar.

### 2.5. Gümüş ve Gümüş Nanopartiküller

Gümüş; antik çağlardan itibaren kullanılmakla beraber Ulusal Havacılık Ve Uzay İstasyonunda uzay mekiğinde ve Rusya'daki uzay istasyonu kullanılan sularda antimikrobiyal ajan olarak gümüş içerdiğini rapor etmiştir. Birçok gıdada kullanılarak raf ömrünü uzattığı tespit edilmiştir (Yavuz, 2024).

Kronik ülserle tedavisinde suyun patojen mikroorganizmalardan arındırılmasında, yanıkların tedavisinde gümüş kullanımının MÖ'lere dayandığı bilinmektedir. Kaynaklarda 1800'lerde göz damlası olarak kullanılmış fakat penisilinin bulunmasıyla kullanımı azalmıştır. 1960'larda yanık tedavisinde AgNO<sub>3</sub> çözeltisi kullanılmaya başlanmıştır. Sülfonomidin gümüş nitratinla birleştirilmesiyle 1968 yılında gümüş sülfadiazin kremi elde edilmiştir. Gümüş sülfadiazin kremi yanık tedavisinde mikroorganizmalara karşı etkili olmasından dolayı tekrar kullanılmaya başlanmıştır (Yavuz, 2024).

Genel olarak 20 ila 15.000 gümüş atomundan oluşan gümüş nanopartiküller, 100 nm'nin altında çaplara sahiptir (Fahim et al., 2024). Nanoskala boyutlarda gümüş bileşikleri; yüzey kimyası, boyut ve biçiminin (morfolojinin) kontrolüyle ayarlanabilen ya da geliştirilebilen birçok özelliğe sahiptir. AgNP'ler (Gümüş nanoparçacıklar) özelliklerinin iyi anlaşılması, gümüş nanopartikül malzemelerini kullanan çok sayıda uygulamanın keşfedilmesinin yolunu açmıştır (Medina-Ramirez et al., 2009). Gümüş nanopartiküllerin sitotoksitesinin belirlenmesinde önemli olan faktörler şunlardır; yüzey kimyası, biyolojik aktivitesi, şekil, çözünme hızı, boyutu ve boyut dağılımı, parçacık morfolojisi, iyon salınımının verimliliği, parçacık bileşimi, AgNP'lerin sentezi için kullanılan indirgeyici ajanların türü gibi faktörler, çözeltideki parçacık reaktivitesi, ve hücre tipi gibi özelliklere bağlıdır (Zhang et al., 2016). Antimikrobiyal ve inflamatuvar potansiyeli ile iyi bilinen gümüş bu özelliklere bağlı olarak yaraların daha hızlı iyileşmesini artırmak için seçici olarak kullanılır. Gümüş nanoparçacıklar yara pansumanında ve tıbbi implant kaplamalarında ticari olarak benimsenmektedir (Jamkhande et al., 2019). Yıllardır güçlü kimyasal ve biyokimyasal reaksiyon aktivitesini azaltan ayrıca güçlü bakterisidal etkileri ile bilinen gümüş ürünleri geniş bir antimikrobiyal aktiviteye sahiptir. Gümüş nanopartiküller yüzyıllardır birçok hastalığı ve enfeksiyonu tedavi etmede ve önlemede kullanılmıştır (Medina-Ramirez et al., 2009).

Bitkisel atık malzemeleri de indirgeyici olarak kullanılabilir. Çimen atıklarını (örneğin saman) kullanarak AgNP'leri başarıyla sentezlediler (Khatami et al., 2018).

Hindistan cevizi (*Cocos nucifera*) lifi özütü kullanan Roopan vd., gümüş nanopartikülleri sentezlediler fakat Hindistan cevizi özütünün reaksiyonunun 60 °C'lik bir yağ banyosunda olması ve 4 °C'de saklanması gerekiyordu (Roopan et al., 2013).

Gümüş nanopartiküller belirli kimyasal gruplar ve proteinleri kapsayacak şekilde moleküler kapatma ajanlarını da kullanılarak işlevselliği artırılabilir. Uygulamalar için çok yönlülüğünü artırır. Gümüş nanopartiküllerin antimikrobiyal aktivitesi dikkate değer bir yapıya sahip olup bu özellikleri sayesinde antibakteriyel kaplamalarda, yara pansumanlarında, su arıtma sistemlerinde kullanılmasının önünü açmıştır (Fahim et al., 2024).

Birçok biyolojik engeli aşma ve reaktif oksijen türleri üretme kapasitesinde gümüş nanopartiküller bulunmaktadır. Antibakteriyel etkinliği gümüş nanopartiküllerin, tutulma süresi ve konsantrasyonuna göre farklılık göstermektedir (Gürlük, 2022).

Bakteri hücrelerine gümüş nanopartiküller girdiği zaman, merkezinde düşük moleküler ağırlıklı bir bölge oluşturur. Daha çok hücre bölünmesine ve solunum sistemine saldırarak hücre ölümüne yol açar. Bakteri hücreleri içinde nanopartiküller bakterisidal aktivitelerini artıran gümüş iyonları salgılar (Gürlük, 2022).

Gümüş nanopartiküllerin mekanizması, gümüş nanopartiküller tarafından serbest radikallerin oluşturulması bakteri hücrelerinin ölümüne neden olan bir diğer olay olarak karşımıza çıkmaktadır. Bakterilerle temas ettiğinde gümüş nanopartiküller, serbest bir radikal oluşturur ve bu serbest radikaller hücre zarına girerek zarar verir. Bunun sonucunda hücrenin ölümüne yol açabilen gözenekli bir yapı oluşturur. Bu durumun tespiti için elektron spin rezonans spektroskopisi çalışmaları yapılmaktadır (Gürlük, 2022).

### **2.5.1. Gümüş partiküllerin kullanım alanları**

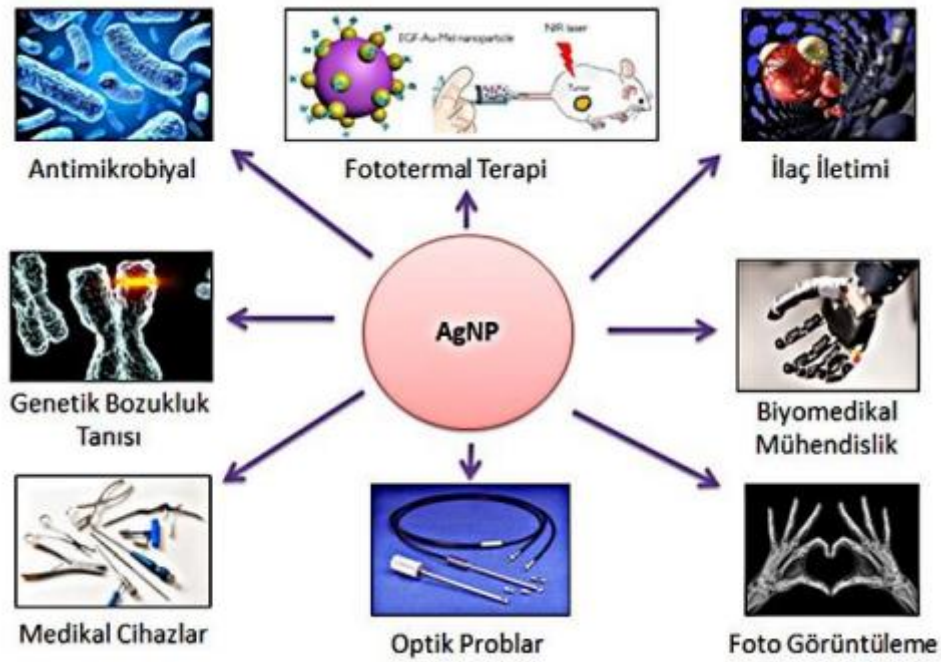
Eşsiz kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı gıdada, tıbbi alanda, sağlıkta, tüketici ve endüstriyel amaçlar da içinde olacak şekilde farklı alanlarda gümüş nanopartiküller kullanılmakta ve önemi artmaktadır. Bu özelliklere yüksek elektriksel iletkenlik ve biyolojik özellikler ve termal özellikler de dahildir. Özel özellikleri sayesinde birçok alanda kullanılmaktadır: Bunlar antibakteriyel madde olarak, tıbbi cihaz kaplamalarında ev ve sağlık ile ilgili ürünlerde, endüstriyel, tüketici ürünlerinde, kozmetiklerde, optik sensörlerde ve ilaç endüstrisinde, gıda endüstrisinde, kanser önleyici maddeler de içinde olmak üzere birçok uygulamada kullanılmıştır. Bunun sonucu olarak kanser önleyici ilaçların tümör öldürücü etkilerini artırmışlardır. Gümüş nanopartiküller son yıllarda yara pansumanında ve biyomedikal cihazda sıklıkla kullanılmıştır (Erenler & Dag, 2022; Zhang et al., 2016).

Genel olarak, nanopartiküllerin sentezinde üç tür sentez yöntemi mevcuttur. Bu sentez yöntemleri; fiziksel yöntemler, kimyasal yöntemler ve biyolojik yöntemler olarak karşımıza çıkmaktadır (Xu et al., 2023; Zhang et al., 2016).

Gümüş nanopartiküller birçok nanopartikül türü arasında, optoelektronik, optik, tıbbi ve farmasötik bilimler gibi farklı bilim alanlarında kullanılır. Kronik hastalık teşhisinde, terapötik ajanlarda, biyosensörlerde, ilaç dağıtımında, gen terapisinde, vb. potansiyel uygulamaları sebebiyle yaygın olarak kullanılır (Dag, 2022; Fahim et al., 2024).

Maliyet açısından gümüş nanopartiküller etkilidir. Minimum sitotoksikite ve bağışıklığa yanıt vermiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, çeşitli biyomedikal

uygulamalar için; tıbbi görüntüleme, ilaç dağıtımı ve moleküler teşhis de içinde olmak üzere büyük bir umut taşımaktadır. Başka uygulama alanları da mevcuttur. Yara pansumanları, cerrahi ağ ve yara iyileşmesi gibi terapötik alanlarda da kullanılmaktadır. Birçok sentetik reaktiflerle çekirdeklenmelerini ve büyümelerini kontrol etme yeteneği sebebi ile kimyasal gruplar ve proteinler gibi moleküler kapatma ajanları kullanılır. Bu da hedeflenen uygulamalar için işlevselleştirme potansiyeline sahip olduğundan gümüş nanopartiküle olan ilgi son yıllarda artmıştır (Fahim et al., 2024).



Şekil 2.9. Gümüş nanopartiküllerin uygulama alanları

### 2.5.2. Gümüş partiküllerin biyosentezi ve kararlılığı

Gümüş nanopartiküllerin bitki maddesi ya da doku kültürünü kullanarak yapılan biyosentezin kolay, hızlı ve çevre dostu olması gibi özellikleriyle ön plana çıkmaktadır. Gümüş nanopartiküllerin istenen pozisyon ya da hareketi koruyabilmesi kallus ekstraktı olarak kullanılmasını sağlayan hücre kültürü bitkinin organlarından elde edilmektedir (Karahan & Çölgeçen, 2021; Yavuz, 2024).

Gümüş nanopartiküllerin yüzeyine tutunan biyomoleküller elektrostatik ve iyonların ve moleküllerin şeklini ve reaktivitesini etkileyen bağ oluşturmeyen yapılar

sayesinde ortaya çıkar. DNA, RNA, antikor, aptamer ve peptit gibi biyomoleküller, gümüş nanopartikülün yüzeyine immobilize edilebilir. İmmobilizasyon için gümüş nanopartiküllerde tiol grupları da kullanılabilir. Gümüş nanopartiküllerin immobilizasyonunu sağlamak amacıyla agregasyonunun en aza indirilmesi gerekir. Optimum koşullarda gümüş nanopartiküllerin üretilmesi gerekmektedir (Karahan & Çölgeçen, 2021; Yavuz, 2024).

Proteinler, gümüş nanopartiküllere hidrofobik ve elektrostatik etkileşimle tutunabilir. Biyomoleküllerin gümüş nanopartiküllerin yüzeyine bağlanması daha çok karboksil ya da amin grupları aracılığıyla olur (Karahan & Çölgeçen, 2021; Yavuz, 2024).

### **2.5.3. Gümüş nanopartiküllerin antimikrobiyal etkileri**

Çok sayıda mikroorganizmanın tekli antibiyotik direncini ya da çoklu antibiyotik direncini yıllardır geliştirmeleri ve birçok araştırmacı için yeni ve etkili yöntem arayışına girilmiştir. Mikropları öldürücü ya da engelleyici ajanlara karşı dayanıklılık geliştiremeyecek sürdürülebilir sağlık koşullarına ekonomik olarak destek sağlaması için yeni bir teknoloji arayışına girilmiştir. Yüzyıllardır gümüş pek çok alanda güvenle kullanılmaktadır. Bu alanlar antifungal, antibakteriyel özellikleri ile geniş yelpazede bir antimikrobiyal madde olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer metal iyonlarının da (çinko, bakır, titanyum, demir, altın gibi) antimikrobiyal özelliklere sahip olduğu yapılan çalışmalar neticesinde bilinmektedir. Veriler ele alındığında sonuç olarak virüslere, bakterilere ve diğer ökaryot hücrelere sahip mikroorganizmalara (bitkiler, mantarlar vs) karşı en iyi etkiyi gümüş nanopartiküller sergilemektedir (M. Ç. A. Beykaya, 2016).

Gümüş; 4 ayrı formda bulunmaktadır ve kullanılmaktadır. Bu formlar; gümüşün iyonları olan  $Ag^0$ ,  $Ag^+$ ,  $Ag^{+2}$  ve  $Ag^{+3}$  formlarıdır.  $Ag^+$  iyonları serbest halde bulunan formlarken  $Ag^{+2}$ ,  $Ag^{+3}$  sulu ortamda kararlı olmayan bir formda bulunmaktadır. 10 nm'den küçük partikül büyüklüğünün olması, antifungal etkileşimin artması yüzey alanının daha da genişlemesine bağlı olarak sonuçlanmaktadır (M. Ç. A. Beykaya, 2016). Örnek verilecek olunursa; aynı ağırlıktaki mikro partiküllerle kıyaslanan nanopartikül formundaki gümüş, daha fazla gümüş iyonu ( $Ag^+$ ) ortaya çıkarmaktadır.  $Ag^+$  iyonları ortama salınır ve gümüşün antibakteriyel etki oluşturmasını sağlar. Gümüş nanopartikülleri başta sağlık olmak üzere, gıda, tekstil, kozmetik ve elektronik gibi birçok alanda yüksek antimikrobiyal etkinlik gösterdiklerinden dolayı kullanılmaktadır. Mikrobiyal membranlarla gümüş nanopartiküller reaksiyona girerek, membran yapılarına

zarar verir ve bakteri aktivitelerini engelleyerek reaktif oksijen türleri (ROT) üretirler. Bu reaktif türlerin düzeyi antioksidan kapasiteyi aşması durumunda hücrelerin; protein, enzim, lipid ve DNA gibi yapılarla etkileşimleri sonucunda toksik etkiler ortaya çıkarırlar (Halıcı et al., 2021).

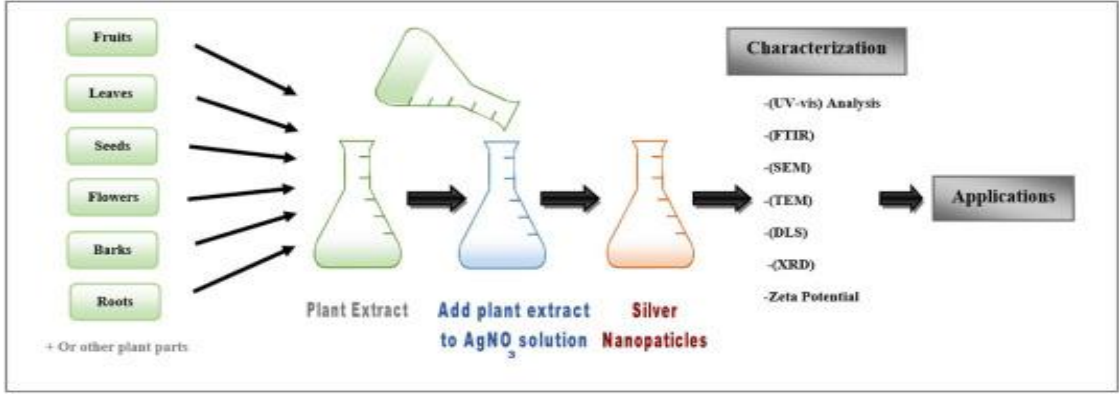
#### 2.5.4. Gümüş nanopartiküllerin yeşil sentezi

Çeşitli fiziksel ve kimyasal metotlar gümüş nanopartikül sentezinde kullanılmıştır. Bu metotların genelinde sentez süreci boyunca büyük miktarda enerji ya da toksik bileşiklerin kullanımını gerektirmektedir. Tüm bunlar göz önüne alındığında gümüş nanopartiküllerin kullanılması gerekli önlem alınarak ve çevre dostu sentezin ilerlemesi ve geliştirilmesiyle elde edilir. Çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz bir etki yaratmadan büyük ölçekli bir AgNP üretimi için bitkiler, bakteri, algler ve mantarlara dayalı birçok yöntemin son derece umut verici olduğu kanıtlanmıştır (Jorge de Souza et al., 2019).

Yeşil sentez yönteminde (biyolojik yöntemde), bitkinin elemanları mekanik işleminden geçirilerek ilk olarak çok ince bir toz haline getirilir. Daha sonra toz haline getirilen bitkiden elde edilen malzemeye etanol ya da su gibi çözücüler kullanılır ve çıkarma işlemi yapılır. Yapılan işlem sonucunda, nanopartikül sentezi için kullanılan dengeleyici maddeler ve indirgeyici maddeler olarak görev yapan biyoaktif bileşikler mevcuttur. Biyoaktif bileşik içeren berrak bir çözelti elde edilir. Elde edilen özüte bir miktar gümüş nitrat çözeltisi ilave edilir. Yüksek sıcaklığa ve karıştırmaya tabi tutulur. Gümüş nanopartiküllerin başarılı bir şekilde oluştuğunun nitel bir göstergesi olarak gözle görülen bir renk değişimi gözlemlenir (Fahim et al., 2024).



Şekil 2.10. Gümüş nanopartiküllerin yeşil sentezi



Şekil 2.11. Bitkiler aracılığıyla gümüş nanopartiküllerinin yeşil sentezi

### 2.5.5. Gümüş nanopartiküllerin yeşil sentezinin mekanizması

Gümüş nanopartiküllerin bitkilerle biyosentezi, bitki özütü içerisinde bulunan biyomolekül bileşenleri ile gümüş nitratin etkileşimini içerir. Nanopartiküller üç fazda meydana gelir: ilk olarak iyon indirgeme reaksiyonu küme oluşumuna sebep olur. Sonrasında nanopartiküllerin büyümesini başlatır. Bundan sonraki her aşamada nanopartiküller; gümüş nitrata, indirgeyici maddeye, konsantrasyona ve pH'a bağlı olarak birçok eşsiz özelliğe sahip olur. Proteinler, alkaloidler, amino asitler, polifenoller, flavonoidler, enzimler, tanenler, saponinler ve karbonhidratlar gibi bitkinin kendi yapısında bulunan hidroksil gruplarının (OH) varlığı, gümüş iyonlarının  $Ag^+$  (bir değerlikli gümüş iyonu),  $Ag^0$ 'a (metalik gümüşe) indirgenmesi ile ilişkilidir (Bawazeer et al., 2021).

Gümüş çekirdeklerinin oluşumunun sağlanması için gümüş formlarının  $Ag^+$ 'ya daha fazla indirgenmesi ile sonuçlanır. Bu da AgNP'lerin üretimiyle sonuçlanır (Alharbi et al., 2022).

### 2.5.6. Gümüş nanopartiküllerin bitkisel kaynaklar aracılığıyla elde edilmesi

Nanopartiküllerin yaygın olması ve ulaşılabilir olmasından dolayı bitkilerin sentezlenmesi ile hazırlanan nanopartiküller karalı, hızlı ve ekonomik olarak öne çıkmaktadır. 20. yüzyılın başından beri bitki ekstraktlarının metal iyonlarını indirgeyebilmeleri bilinen bir özelliktir. İndirgeme ajanlarının doğal mekanizmaları tümü ile anlaşılammıştır. Gümüş nanopartikül üretiminde kullanılan *Camelia sinensis*, *Acalypha indica*, *Boswellia ovalifoliolata*, *Allium sativum*, *Calotropis procera* tıbbi bitkilerden birkaçıdır. Fitokimyasallar açısından güçlü içeriğe sahip (kinonlar ve protein

gibi) bitkilerin sentezinden elde edilen gümüş nanopartiküllerin daha kararlı yapıda oldukları görülmüştür (Yavuz et al., 2021).

*Salvia limbata* (İran'da bulunan bir endemik tür) özütünden gümüş nanopartikül sentezlenerek elde edilen nanopartiküller toksisiteyi otadan kaldırmıştır. Ayrıca çevreyi koruyan özelliklere sahiptir. Gümüş nanopartikül ekstraktlarından, toz halinden elde edilenlerinden biyolojik sentez yöntemlerinde hızlı bir şekilde yararlanılması hem pratik hem de verimi sağlarken çevreci olmasını da gözler önüne serer. *Salvia limbata* ile elde edilen gümüş nanopartiküller biyomedikal çalışmalarda bambaşka şekillerde kullanılır. Tıbbi çalışmalara yatkınlığı, maliyet bakımından avantajlı olmaları ve medikal çalışmalardaki yetisi haricinde pazarlama ürünü olma potansiyeline sahiptir. Bununla alakalı yapılan çalışmada şu sonuçlar elde edilmiştir: *Argyria nervosa* tohum ekstraktları ile üretilmiş olan nanopartiküllerin, bakteriler, funguslar için kuvvetli bir engelleyici etkiye sahip olduğu bilinmektedir (Yavuz et al., 2021).

Bitkinin çeşitli kısımları yapraklar, çiçekler, kökler, rizomlar vb. gümüş nanopartiküllerin sentezi kullanılmıştır. Birçok kaynaktan bitkinin değişik kısımları toplanır. Normal su ile iyice yıkandıktan sonra içerisindeki istenmeyen maddelerden uzaklaşmak amacıyla arıtılmış su ile yıkanır. Yıkanan kısımlar kurutulur ve mekanik öğütmeden geçirilerek toz haline getirilir ya da özüt elde etmek için taze olarak kullanılır. Özütü hazırlamak için, bitkinin öğütülmüş tozu ya da bitkinin doğranmış kısımları saf su ya da alkol içine konur. 60 °C'nin altında birkaç saat süresince ısıtılır. Bu aşamalar özütü hazırlamak için yapılmaktadır. Yüksek sıcaklıkta uzun süre ısıtma, bitki bünyesindeki fitokimyasalların ayrışmasına yol açabilir. Bitki özütünün farklı pH değerlerinde olması, değişik konsantrasyonlarda gümüş tuzu içeren metal öncüsü çözeltilere eklenir. Sonrasında farklı sıcaklıkta gümüş nanopartiküllerin ısıtılması sentezlenmesine yol açmaktadır. Özütte bulunan biyomalzemelerin sentez süresi boyunca gümüş nanopartiküllerin sentezinde kimyasal dengeleyici malzeme kullanımından kaçınılmasını hem dengeleyici madde hem de indirgeyici madde olarak hareket etmesi sayesinde elde edilir (Vanlalveni et al., 2021).

## **2.6. Gümüş Nanopartiküllerin Karakterizasyonu**

### **2.6.1. UV-spektrofotometrik analizi**

UV-vis spektrofotometresi aynı zamanda absorpsiyon spektroskopisini de ifade etmektedir(Bergal et al., 2022). Gümüş nanopartiküllerin sentezinde ve stabilitesinde sıklıkla kullanılan bir teknik olarak karşımıza UV-vis spektrofotometri çıkar. Bu analiz yöntemi, sentezle elde edilen nanopartiküllerin analiz yöntemi hassas, pratik, hassas hızlı ve seçicidir. UV-vis spektrofotometresi analizinde, çözeltilerde bulunan bir bileşen tarafından emilen görünür radyasyon ya da ultraviyole miktarını tayin eder Gümüş nanopartiküllerin morfolojisine, absorpsiyon spektrumları, şekline, kimyasal çevresine ve boyutuna bağlıdır. Ultraviyole Görünür Bölge Spektrofotometresi analizi kullanılarak araştırmacılar gümüş nanopartiküllerin sentezini etkileyen faktörleri inceleyebilir. Bu özellikler göz önüne alarak ilişki kurabilirler. (Çelik, 2024; Rónavári et al., 2021).

### **2.6.2. Minimum İnhibitör Konsantrasyon (MİK)/Minimum Bakterisidal Konsantrasyon (MBC)**

Hedef alınan mikrobu 24 saat sonra %100 görünür büyümesini engelleyen analitin minimum konsantrasyonuna MİK denir. Minimum İnhibitör Konsantrasyonu aynı miktarda bakteri kültürü ile aşılanmıştır. Fakat büyüme ortamındaki gümüş nanopartikül yoğunluğu kültür tüplerinde artan bakteri büyümesinin incelenmesiyle elde edilir. Minimum inhibitör konsantrasyonu, minimum düzeyde gümüş nanopartikül konsantrasyonunun bakteri büyümesini kontrol etmesine verilen addır (Srikan et al., 2016).

### **2.6.3. Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM) ile morfolojik karakterizasyonu**

Nanopartiküllerin genel boyut dağılımı son derece önemli çünkü nanopartiküller boyutlarına ve şekillerine bağlı olarak değişik kimyasal ve fiziksel özellikler gösterir. Bu özelliklerinden dolayı, şekilli nanopartiküller ve tekdüze boyutlu nanopartiküller üreten sentez yöntemleri tercih edilmektedir. Transmisyon elektron mikroskobu (TEM), nanopartiküllerin şeklini ve boyutunu inceler. Nanopartiküllerin dağılımlarını sağlamak için en gelişmiş tekniklerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bitkiden elde edilen yeşil yaklaşımda gümüş nanopartikül sentezinde bitkiden elde edilen özütlerin çoğunda TEM çalışmaları yapılmaktadır (Rauwel et al., 2015).

Farklı örtü tabakası molekülleri ve farklı morfolojiler sunan gümüş nanopartiküllerin üretilmesinde bu yapının farklı yüzey topografyası sunması etkili olmuştur. Ayrıca değişik örtü tabakalarına sahip olmasından dolayı birçok farklı bitki özütü kullanılmıştır. Nanopartikülün büyümesi sırasında şekillenmesinin nedeni bitkisel kaynaklı gümüş nanopartiküllerin varlık göstermesidir. Bir başka nedeni ise bitki özütünün örtü tabakası görevi görmesidir. Başka bir etkisi ise bu nanopartiküllerin boyut dağılımı üzerindeki etkisidir. Gümüş nanopartikül sentezinde kullanılan tıbbi bitkilerin yalnızca boyut ve şekil kontrolü için kullanılmadığı, bitkinin kendisinde bulunan antimikrobiyal özelliklerle beraber gümüş nanopartiküllere yeni özellikler kazanmasında da kullanılır. (Rauwel et al., 2015).

#### **2.6.4. XRD çalışmaları**

X ışını kırınımı yoluyla, gümüş nanopartiküllerin kristalinin doğasını doğrulamak için analiz gerçekleştirilir. Gümüşün yüzey merkezli kübik yapısına dayanarak XRD deseni indekslenebilecek sayıda Bragg yansıması gösterilir. Standartla karşılaştırılan XRD spektrumunun deneylerde oluşan gümüş nanoparçacıklarının nanokristaller biçiminde olduğu doğrulandı; bu pikler sırasıyla (111), (200), (220) ve (311) Bragg yansımalarına karşılık gelen  $38,28^\circ$ ,  $44,04^\circ$ ,  $64,34^\circ$  ve  $77,28^\circ$ lik  $2\theta$  değerlerindeki tepe noktalarıyla kanıtlanmıştır. Gümüşün yüzey merkezli kübik yapısına dayanarak bu yansımalar indekslenebilir. Keçiboynuzu yaprağı özütü tarafından  $Ag^+$  iyonlarının indirgenmesiyle oluşan gümüş nanopartiküllerinin doğası gereği X ışını kırınımı sonuçları göz önüne alındığında kristalin olduğunu açıkça göstermektedir (Awwad et al., 2013).

#### **2.6.5. Enerji Yayımlı X-Işınımı (EDX)**

EDX, gümüş nanopartiküllerin elementel analizlerini ve kompozisyonunu sağlamak amacıyla sıklıkla kullanılan bir teknik olarak karşımıza çıkar (Jebril et al., 2020). Aynı zamanda gümüş atomlarına yönelik sinyalleri tanımlamak ve gümüş nanopartiküllerin elementel bileşimini doğrulamak için EDX analizi uygulanmaktadır (Khalil, 2022).

#### **2.6.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)**

Nanopartiküllerin şekli, morfolojisi, aglomerasyon durumu, partikül boyutu, boyut dağılımı ve yapısal özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan temel görüntüleme tekniklerinden biri Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)'dur. Bu bağlamda, SEM tekniği nanopartikül karakterizasyon çalışmalarında yaygın olarak tercih edilmektedir (Dağlıoğlu, 2018; Vijayaram et al., 2023). SEM, numune yüzeyinin yüksek çözünürlüklü ve üç boyutlu görsel temsilini elde etmeye olanak tanır. Bu yöntemle yapılan analizlerde, örneğe yüksek enerjili bir elektron ışını yönlendirilir; yüzeyden geri saçılan elektronlar detektörler aracılığıyla toplanarak, numunenin topografik ve morfolojik özellikleri detaylı bir şekilde ortaya konur. Örneğin, gümüş nanopartiküller üzerinde yapılan SEM analizleri sayesinde, yüzey pürüzlülüğü, parçacık yoğunluğu ve aglomerasyon yapıları hakkında nitel ve nicel bilgi edinmek mümkündür (Rajeshkumar & Bharath, 2017).

### **2.6.7.Gümüş nanopartiküllerin antimikrobiyal aktivitesi**

Nano ölçekli malzemeler, özellikle gümüş nanopartiküller, yüksek yüzey hacim oranına sahiptir. Kendine özgü fiziksel ve kimyasal özellikleri sayesinde yeni nesil antimikrobiyal ajanlar olarak öne çıkarlar. Gümüş nanopartiküller, antimikrobiyal aktivitelerini daha etkili şekilde gerçekleştirebilmektedir. Farklı hedeflerde farklı etkiler göstermeleri, antimikrobiyal direnç mekanizmalarına müdahale edilmemesine olanak tanır. Biyolojik olarak aktif Ag<sup>+</sup> iyonlarının sulu çözeltilerde salınımı, antimikrobiyal etkinin artmasına katkıda bulunduğu düşünülmektedir (Cavassin vd., 2015).

Gümüş nanopartiküllerin boyutu, yoğunluğu, biyolojik etkisi ve morfolojisi bu özellikleri belirleyen önemli faktörlerdir. Özellikle 20 nanometreden küçük nanopartiküller, diğer partiküllere kıyasla daha yüksek yüzey-hacim oranına sahiptir; bu da mikrobiyal hücrelere daha etkili bağlanmalarını sağlar. Bu nanopartiküller, plazma membran ve hücre duvarına daha kolay nüfuz edebilir. Biyolojik yöntemle üretilen nanopartiküllerin kaplama ve indirgeme maddelerinin, nanopartiküllerin biyolojik aktivitesini etkileyebileceği de öne sürülmektedir (Rónavári et al., 2021).

### **2.7. İğde (Eleagence)**

'Elaeagnus Angustifolia, *Elaeagnaceae* ailesindedir'(Sarfi et al., 2024). *Elaeagnus Angustifolia* (EA), birçok isimle bilinmektedir. Bunlar Rus zeytini, oleaster,

gümüş meyvesi olarak da isimlendirilmektedir. Araliaceae ailesine ait bir ağaç olan *Elaeagnaceae* familyasına aittir. Meyvelerin boyutu küçük olup kırmızımsı kahverengi rengi ile bilinmektedir. Avrupa, Asya da ve Kuzey Amerika'nın bazı bölgelerinde yaygın olarak farklı *Elaeagnus Angustifolia* türleri yetişmektedir (Zarban et al., 2023). İğde, Türkiye'de özellikle Orta ve Doğu Anadolu'da hemen hemen her bölgesinde yetişmektedir(Duman et al., 2021).

Çeşitli çevresel koşullara sahip olan iğde bitkisi özellikle tuzlu topraklara ya da alkali topraklara diğer ağaç türlerine göre daha iyi uyum sağlamaktadır. Ekstrem sıcaklıklara yani kuraklık ve dona karşı dayanıklılık göstermektedir (Duman et al., 2021).

Azot sabitleyici dikenli bir çalı olan *Elaeagnus Angustifolia* birçok fitokimyasal bileşen içerir: mineraller, flavonoidler, şekerler, alkaloidler, p-hidroksibenzoik, kaempferol, kafeik, protokatekuik asit, izoramnetin, kuersetin türevlerini ve vitaminler (tokoferol, B1 vitamini, C vitamini,  $\alpha$ -karoten) içermektedir. Ağrıyı hafifletmek için *Elaeagnus Angustifolia* bitkisi kullanılır. Birçok hastalıkta sarılık, osteoartrit, romatoid artrit, gastrointestinal sorunlar, astım ve ishal tedavisinde kullanılmaktadır. Geleneksel kullanımlara göre, birçok *Elaeagnus angustifolia* özleri önemli özelliklere sahip olup bu özellikler antioksidan, antimikrobiyal, yara iyileştirici, antiülser ve antiinflamatuvar de potansiyeller göstermiştir(Iqbal et al., 2021). *Elaeagnus Angustifolia* da bulunan flavonoidler ve tanenler anti-inflamatuvar özelliklere sahip olmakla beraber ve anjiyogenez aktivitelerini artırdığı görülmektedir. *Elaeagnus Angustifolia* doğal östrojenler olan fitoöstrojenler içermektedir. Östrojenler kemik oluşumunu teşvik edebileceğinden *Elaeagnus Angustifolia*'nın kemik güçlendirici etkisi vardır(Sarfi et al., 2024).

Tıbbi bir bitki olarak kullanılan *Elaeagnus Angustifolia* meyvesi, bağışıklık sistemi ve oksidatif stres dengesi gibi çok sayıda bozuklukta potansiyel bir terapötik ajan olarak etki ettiğinden bu amaçla da kullanılmıştır(Zarban et al., 2023).



Şekil 2.12. İğde (Elaeagne)

Çizelge 2.7. İğde bitkisinin biyolojik sınıflandırması

<b>Âlem</b>	: <i>Plantae</i>
<b>Bölüm</b>	: <i>Magnoliophyta</i>
<b>Sınıf</b>	: <i>Magnoliopsida</i>
<b>Takım</b>	: <i>Rosales</i>
<b>Familya</b>	: <i>Elaeagnaceae</i>
<b>Cins</b>	: <i>Elaeagnus</i>
<b>Tür</b>	: <i>Elaeagnus Angustifolia L.</i>

## 2.8. Gümüş Nanopartiküllerin Yeşil Sentez Çalışmaları

Yeşil yaklaşımla sentezlenen gümüş nanopartiküller ile *Elaeagnus angustifolia* (*E. angustifolia*) kabuk özütü kullanılır ve gümüş nanopartiküllü bitki özütü kullanılarak antibakteriyel özellikleri araştırılmıştır. Sentezlenen gümüş nanopartiküllerin biyosenteziyle karakterizasyonunda Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), X-ışını kırınımı (XRD), alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FESEM) ve enerji dağılımlı X-ışını analizi (EDS) yöntemleri kullanılmıştır. Numunenin renginin koyu kahverengiye dönmesiyle gümüş nanopartiküllerin oluşumu gözlemlenmiştir. Maksimum adsorpsiyonun 424 nm'de olduğu belirlenmiştir. Alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FESEM) sonuçlarına göre sentezlenen nanopartiküllerin homojen ve küresel morfolojiye sahip olduğu belirlenmiştir. 65-90 nm boyutunda olduğu belirlenmiştir. *K. Pneumoniae*, *E. coli*, ve *S. aureus* için minimum inhibitör konsantrasyon (MİK) değerleri sırasıyla 20, 1,5, ve 2,5 µg/ml olarak bulunmuştur. Ayrıca minimum bakterisidal konsantrasyon (MBC) değerleri *E. coli*, *S. aureus* ve *K. pneumoniae* için sırasıyla 2,5, 5 ve 20 µg/ml olarak bulundu. Tüm bunlar göz önüne alındığında; *Elaeagnus angustifolia* kabuğu özütü ile indirgenen nanopartiküller incelendiğinde Gram-pozitif ve Gram-negatif bakteri suşları üzerinde antibakteriyel özelliklere sahiptir (Mortazavi-Derazkola et al., 2021).

Yeşil sentez yöntemi ile *Rumex acetosella* L. bitkisi kullanılarak gümüş nanopartiküller sentezlenmiş ve bu nanopartiküllerin antimikrobiyal etkileri incelenmiştir. Sentezlenen gümüş nanopartiküller, UV-Vis spektroskopisi, X-ışını kırınımı (XRD), Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM), Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR), Taramalı Elektron Mikroskobu-Enerji Dağılımı Spektroskopisi (SEM-EDX), Zeta Sizer ve Zeta Potansiyeli analiz yöntemleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Analizler sonucunda, nanopartiküllerin küresel, beşgen ve altıgen morfolojilere sahip olduğu belirlenmiştir (Bütüner, 2022).

*Olea europaea* L. yaprakları kullanılarak yeşil sentez yöntemiyle elde edilen gümüş nanopartiküller, çeşitli analitik teknikler kullanılarak karakterize edilmiştir. Bu kapsamda; Ultraviyole-Görünür Bölge Spektrofotometresi (UV-Vis), Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi (EDS), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM) analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, gümüş nanopartiküllerin küresel formda olduğu ve yaklaşık 50–90 nm boyut aralığında

bulunduğu belirlenmiştir. Ayrıca, sentezlenen nanopartiküllerin antioksidan ve antimikrobiyal aktiviteleri değerlendirilmiş, bunun yanında hücre bileşenlerinin salınımı testi uygulanmıştır. Gümüş nanopartiküllerin *Staphylococcus aureus* bakterisinin çoğalması üzerindeki etkisi incelenmiş ve bu nanopartiküllerin bakteriyel inhibisyonda etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu bulgular, yeşil sentezle elde edilen gümüş nanopartiküllerin biyomedikal uygulamalarda potansiyel taşıdığını göstermektedir.

*Pistacia vera* L. dış kabukları ile *Cotinus coggygia* Scop. Yapraklarının su ekstraktları kullanılarak sentezlenen gümüş nanopartiküllerin özellikleri, Transmisyon Elektron Mikroskopu (TEM) ve Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) analizleri ile belirlenmiştir. *Pistacia vera* L. dış kabuğunun su ekstraktı ile sentezlenen gümüş nanopartiküllerin bakterilere karşı etkili olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan, *Cotinus coggygia* Scop. Yapraklarının su ekstraktı ile sentezlenen nanopartiküllerin geniş bir bakteri yelpazesine karşı güçlü antimikrobiyal aktivite gösterdiği gözlemlenmiştir. Her iki bitki ekstraktı, etanol kullanılarak hazırlanan standartlarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler, bu bitki ekstraktlarının sağlık ürünlerinde önemli bir yere sahip olabileceğini ve serbest radikalleri nötrale ederek etkisiz hale getiren bileşikler içerdini ortaya koymuştur (Çiftçi, 2019).

Elma ekstresi indirgeyici madde ve sulu gümüş nitrat çözeltisi kullanılarak sentezlenen gümüş nanopartiküllerde, renksizden koyu kahverengiye doğru bir renk değişimi gözlemlenmiştir. UV-Vis ve FTIR analizleri, nanopartiküllerin oluşumunda kaplama ve indirgeyici madde olarak etilen gruplarının rol oynadığını ortaya koymuştur. Dinamik Işık Saçılımı (DLS) yöntemiyle AgNP'lerin ortalama boyutunun  $30,25 \pm 5,26$  nm olduğu tespit edilmiştir (Ali et al., 2016).

Yapılan bir çalışmada *Onosma mutabilis* bitkisinin kökünden elde edilen özüt kullanılarak karakterizasyonu yapılmıştır. Gümüş nanopartiküllerin karakterizasyonu, UV-Vis, X ışını kırınımı, Malvern Mastersizer, FT-IR, EDX ve SEM yöntemleriyle belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre gümüş nanopartiküllü özütün dalga boyunun 410 nanometre olduğu yapılan çalışmalar aracılığıyla bulunmuştur (Valiyeva, 2023).

*Olae europaea* L. yaprakları kullanılarak yeşil sentez yöntemi ile yapılan bir çalışmada sentezlenen gümüş nanopartiküllerin özellikleri Ultraviyole Görünür Bölge Spektrofotometresi (UV-vis) EDS, SEM ve TEM verileri aracılığıyla karakterize edilmiştir. Nanopartiküllerin küresel formda ve 50-90 nm boyutta olduğu tespit edilmiştir.

Gümüş nanopartiküllerin antioksidan, antimikrobiyal aktiviteleri ile beraber hücre bileşenlerinin salınımı testi yapılmış ve *Staphylococcus aureus* bakterilerinin üremesi üzerindeki tesirine bakılmıştır. Gümüş nanopartiküllerin sentezi sonucunda *Acinetobacter baumannii* ve *Proteus vulgaris* bakterilerine; antimikrobiyal, antibiyofilm aktivite ve hücre bileşenlerinin etkisi olduğu tespit edilmiştir (Ceylan, 2023).

Yeşil sentez yöntemi kullanılarak kıvılcık ve adaçayı bitkilerinden elde edilen gümüş nanopartiküllerin özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca, antimikrobiyal aktivitelerinin incelendiği bir çalışmada, adaçayı ve kıvılcık özütleri 60°C ve oda sıcaklığında olmak üzere iki farklı sıcaklıkta saf su kullanılarak hazırlanmıştır. Elde edilen özütler, gümüş nitrat çözeltisi ile reaksiyona sokularak gümüş nanopartiküller sentezlenmiştir. Reaksiyon sonucu oluşan nanopartiküllerin antimikrobiyal etkinliği tespit edilmiştir (Özeşer, 2023).

Metanolik ekstrakt kullanılarak, *Naringi crenulata'nın* gümüş nanopartiküllerinin yeşil sentezinde çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar için UV-vis, X ışını kırınımı, AFM FTIR, PSA, SEM ve EDX analiz yöntemleri kullanılmıştır. Karakterizasyonu için TEM analizi kullanılmıştır. Ultraviyole görünür bölge spektrofotometre analizinde 420 nm'de gümüş, keskin bir pik göstermiştir. FTIR ve X ışını kırınımı analizleriyle de elde edilen gümüş nanopartiküllerin fonksiyonel grupları belirlenmiş ve yüzey merkezli kübik kristal yapıda olduğu doğrulanmıştır. Sentezlenen gümüş nanopartiküllerin SEM ve TEM analizleri aracılığıyla 32,75 nanometre çapında küresel bir morfolojiye sahip olduğu belirlenmiştir. Sentezlenen gümüş nanopartiküllerin *Klebsiella pneumoniae*, *Vibrio cholerae*, *Streptococcus pyogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* ve gibi çoklu ilaca dirençli olduğu bununla beraber antibakteriyel aktiviteye sahip olduğu bilgisine ulaşılmıştır (Chinnathambi et al., 2023).

Gümüş nanopartiküllerinden sentezlenen gümüş iyonları *Capsicum annum* L. özütü ile reaksiyon girerek süreç başlatıldı. X-ışını kırınımı, Ultraviyole-görünür spektroskopisi, X-ışını fotoemiyon spektroskopisi(XPS), TEM, Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi ve diferansiyel spektrum tekniği kullanıldı. Nanopartiküllerin kristal fazı ve morfolojisi, seçili alan elektron kırınımı (SAED) spektrumları sonuçları proteinlerin amin grupları içeren, çözeltilerdeki gümüş nanopartiküllerin oluşumu sırasında indirgeyici ve kontrol edici bir rol oynadığı ve ikincil yapının proteinlerle tepkimesi sonrasında değiştiği görülmüştür. Gümüş iyonları nanopartiküllerinin kristal

fazı polikristalin fazından tek kristalin fazına geçti. Reaksiyon süresiyle beraber boyutu arttı. Gümüş nanopartiküllerin *Capsicum annuum* L. özütünde oluşum mekanizmasını daha iyi belirleyebilmek adına sınırlı nükleasyon ve büyüme modeli önerilmiştir (Li et al., 2007).

Oda sıcaklığında *A. Indica* bitkisinin yaprak özütü kullanılarak gümüş nanopartiküllerin yeşil sentezi gerçekleştirilmiştir. Sentezde indirgeyici ajanlar kullanılmadan sentezlenen nanopartiküllerin kararlı olduğu ve reaksiyon süresi açısından verimli olduğu tespit edilmiştir. Bu sentezin çevre dostu ve güvenilir olduğu görülmüştür. Yeşil yaklaşımın tüm özelliklerini karşılamaktadır. Sentez sonucu elde edilen gümüş nanopartiküllerin *E. Coli* bakterisine ve *S. Aureus* bakterisine karşı etkili antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu görülmüştür. Yeşil yaklaşım yöntemiyle sentezlenen bitki özütlerinin kullanımı uygun maliyetli olması sürdürülebilir bir çevreye katkı sağlaması, enerji tasarrufunda bulunması insan sağlığına faydaları da göz önüne alındığında etkilerinin göz ardı edilemeyeceğini ortaya koymuştur. Gümüş nanopartikülün sentezinde kullanılan yeşil sentez geleneksel fiziksel/kimyasal yöntemlere alternatif bir yöntem olarak karşımıza çıkar. Tüm bunlar göz önüne alındığında biyomedikal uygulamalarda kullanıma potansiyeline sahip olduğu, gelecekte önemli bir role sahip olacağı bilinmektedir (Ahmed, Saifullah, et al., 2016).

Gümüş nanopartiküllerin yeşil sentezi yöntemi kullanılarak üretiminin yapıldığı çalışmada saponinler, flavonoidler, steroid bileşiklerine sahip bitki özütü, stabilize edici ve indirgeyici maddeler olarak kullanılmıştır. Gümüş nanopartiküllerin reaksiyonu sonucunda Ultraviyole Görünür Bölge Spektrofotometresi ile tespit edilmiştir. Zetasizer tarafından gümüş nanopartiküllerin boyutunun 40-98 nanometre olduğu belirlenmiştir. XRD ve FESEM gümüş nanopartiküllerin şeklinin küresel ve kristal yapıda olduğu belirlenmiştir. Gümüş nanopartiküllerin yeşil sentezinde, *V. cholera* ve *E. coli* bakteri türlerine, Kadmiyum ve Paladyum 'da katalitik aktivite ve antibakteriyel etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Gümüş nanopartiküllerin biyolojik yaklaşımında *E. coli*'ye karşı güçlü bir inhibitör etkiye sahip olduğu ve kadmiyumun giderim etkinliğinin paladyumdan daha yüksek olduğu bulunmuştur (Ghoshal, 2017).

Uygun maliyetli ve çevre dostu bir teknik olan gümüş nanopartiküllerin yeşil sentezi yapılmıştır. Doğu Hindistan'da sandal ağacı olarak bilinen *Santalum album* (*Santalaceae* familyası) meyvelerinin etanol özütü kullanılarak gümüş

nanopartikülleri sentezlenmiştir. *S.album* meyveleri toplanmış sonrasında ezilmiştir. Ezilen meyvelere etanol eklendikten sonra karışım birkaç dakika mikrodalgaya maruz bırakılmıştır. Elde edilen özüt Buchi rotavaporatörü ile konsantre edilmiş ve gümüş nitrat çözeltisi eklenmiştir. 24 saatlik inkübasyondan sonra gümüş nitrat çözeltisindeki  $Ag^+$  iyonları özüt aracılığıyla gümüş atomlarına indirgenmiştir. Toz haline getirilen gümüş nanopartikül numunesine X-ışını kırınımı analizi yapılmıştır. Bu kırınım grafiği JCPDS gümüş dosyasının standart toz kırınım kartı ile karşılaştırılmıştır. X ışını kırınımı analizi ile elde edilen gümüş nanoparçacıkların yüzey merkezli kübik yapısına sahip olduğu tespit edilmiştir. Tüm bunlara bakıldığında iyi tanımlanmış boyutlara sahip gümüş nanopartiküller, *S.album* meyve özütü ile birlikte metal iyonlarının indirgenmesinde sentezlenebileceğini ortaya koymuştur (Mehta, BK; Chhajlani & Shrivastava, 2017).

Gümüş nanopartiküllerin, *L. acapulcensis*'in sulu özütü ile yeşil sentezinde, elde edilen gümüş nanopartiküllü bitki özütünün sentezi hızlı ve etkili bir şekilde olmaktadır. *L. acapulcensis* özütünde bulunan alkil halojenürlerin ve indirgeyici ajanların varlığı,  $Ag^+$  iyonlarının gümüş nanopartiküllere indirgenmesine olanak sağlar. Yeşil sentezle üretilen gümüş nanopartiküller *E. coli*, *C. albicans*, *P. aeruginosa* ve *S. Aureus*'a antimikrobiyal etki göstermiştir. Ayrıca gümüş nanopartiküllerin mikrobisidal aktivitesi, kimyasal olarak sentezlenen gümüş nanopartiküllerden daha düşük konsantrasyonlarda kalmıştır. Değerlendirmeye alınan zaman ve yoğunlukta gümüş nanopartiküllerin insanda bulunan periferik kan lenfositlerinde hücre canlılığında bir azalmaya neden olmadığı görülmüştür. Bulaşıcı hastalıklara karşı etkinliğinin belirlenmesi için çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Garibo et al., 2020).

Kararlı gümüş nanopartiküllerin ananas suyu ile yeşil sentezinde ortalama 12 nm boyutunda gümüş partiküllerinin olduğu tespit edildi. Onu biyosentetik bir yol olarak daha verimli hale getiren sebep gümüş nanopartiküllerin sentezi için hızlı zaman ölçeklerinin elde edilmesidir. Fakat kimyasal sentez yöntemlerine uygulanabilir bir alternatif haline getirmek için indirgeme zaman periyotlarını daha da azaltmak gerekir. Ananastaki fenolikler mükemmel antioksidan aktivite gösterir ve bu fenoller serbest radikallerle reaksiyona girerek fenoksil radikalleri oluşturabilir. Doğal antioksidanların kullanımı, iyi huylu yapısından dolayı gümüş nanopartiküllerin sentezi için iyi bir alternatif gibi görünmektedir. Nanopartiküllerin stabilizasyonundan ve indirgenmesinden sorumlu bitki materyali, ekstrakt içinde bulunan bileşiklerin çıkarılması ve

tanımlanmasını kapsayacak şekilde daha çok çalışmaya ihtiyaç duymaktadır (Ahmad & Sharma, 2012).

Değişik gümüş nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ) konsantrasyonlarında kararlı gümüş nanopartiküller oluşmuştur ve 5 ila 40 nm çapında genellikle küresel partiküller elde edildi. Gümüş nanopartiküllerin sentezi için keçiboynuzu yaprağı özütü kullanılarak hızlı ve kullanışlı bir yöntem olduğu görülmüştür. Ayrıca herhangi bir zorlu koşul kullanılmadan gümüş iyonlarını gümüş nanopartiküllere indirgenmesi 2 dakikalık reaksiyon süresi içinde gerçekleşmiştir. Gümüş nanopartiküllerin biyolojik sentezi, TEM, UV-vis, atomik absorpsiyon spektroskopisi, XRD ve FTIR ile karakterizasyonu yapıldı. UV-vis spektrumları, sentezlenen gümüş nanopartiküller için 420 nanometrede yüzey plazmon rezonansı verdi. X ışını kırınımı yöntemi ile gümüş nanopartiküllerin doğası gereği kristalin olduğu tespit edildi. Yüzey merkezli kübik geometriye sahip olduğunu gösterdi (Awwad et al., 2013).

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. İğde (*Elaeagnus Angustifolia*) Bitkisinin Toplanması

Çalışmada kullanılacak olan *Elaeagnus Angustifolia* bitkisi ilkbaharda toplandı. Toplanan EA bitkisi çeşme ile suyu yıkandı. Daha sonra saf su ile yıkama işlemi yapıldı. Yıkama işlemi bittikten sonra 25°C'de etüvde kurumaya bırakıldı.

#### 3.2. Sentez Sırasında Kullanılan Kimyasallar

Nanopartikül sentezinde, yüksek saflık derecesine sahip analitik saflıktaki gümüş nitrat ( $AgNO_3$ ) tuzu öncül madde olarak kullanılmıştır. Sentezlenen gümüş nanopartiküllerin antimikrobiyal aktivitesinin değerlendirilmesi amacıyla, referans antibiyotikler olarak vankomisin, kolistin ve flukonazol temin edilmiştir. Bu antibiyotikler, bakteriyel ve fungal suşlara karşı karşılaştırmalı etki analizlerinde kontrol grubu olarak kullanılmıştır.

#### 3.3. İğde (*Elaeagnus Angustifolia*) Özütünün Elde Edilmesi

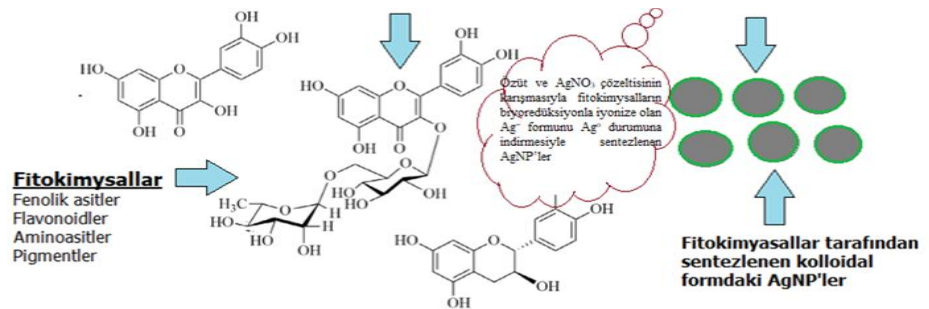
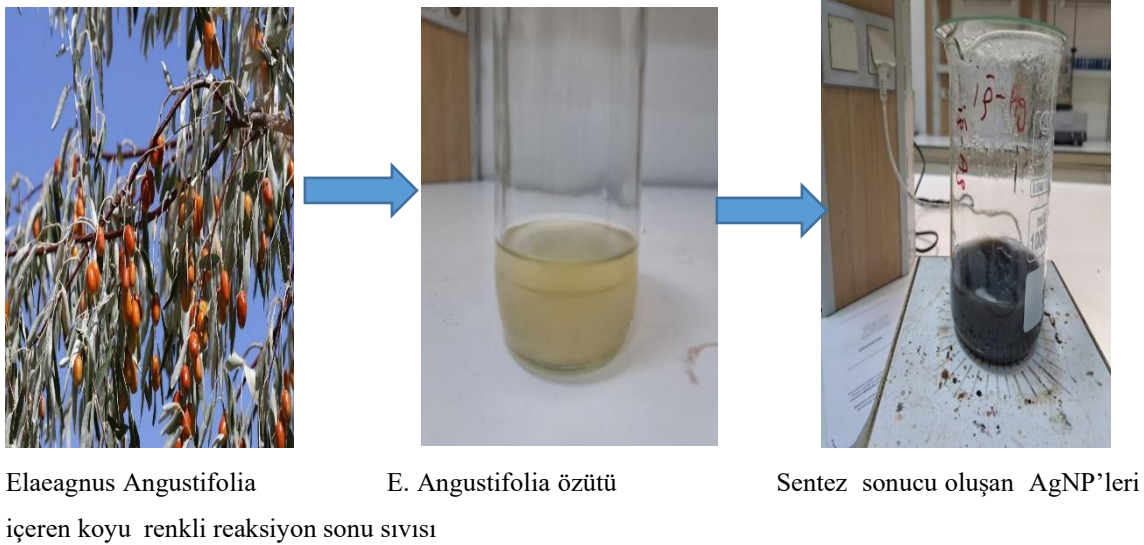
İğde (*Elaeagnus Angustifolia*) bitkisinin yeşil yaprakları ilkbahar ayında toplandı. İğde bitkisinin yaprakları şebeke suyu ile yıkanıp, sonrasında arıtılmış suyla durularak oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Kurutulmuş yapraklar parçalara ayrıldı. 5 dakika boyunca saf su içerisinde kaynatıldı. Kaynama işlemi bittikten sonra oda sıcaklığında soğutuldu. Whatman No.1 süzgeç kâğıdı ile süzme işlemi yapılarak karışım kullanıma hazır hale getirildi. Tüm bu süreç gümüş nanopartiküllerin kullanımını sentez için uygun hale getirmiştir.

### 3.4. Metal Çözeltisinin Hazırlanması

5.00 mM (milimolar) konsantrasyona sahip katı formdaki sigma aldrich gümüş nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ) kullanılarak çözelti hazırlandı.

### 3.5. İğde (*Elaeagnus Angustifolia*) Özütü Aracılığıyla Gümüş Nanopartiküllerin Sentezi

Hazırlanan *Elaeagnus angustifolia* özütü ile 5.00 mM konsantrasyonda hazırlanan  $\text{AgNO}_3$  çözeltisi karıştırılmıştır. Karışım, manyetik karıştırıcı üzerinde 45 °C’de beş dakika süreyle karıştırılmıştır. Renk değişimi zamana bağlı olarak izlenmiş ve bu değişime bağlı olarak özütten numuneler alınarak UV-Vis spektroskopisi ile analiz edilmiştir. Maksimum dalga boyundaki absorban değerleri tespit edilmiştir. Reaksiyon süresi toplam 30 dakika olarak belirlenmiştir. Şekil 3.5’te gümüş nanopartiküllerin sentez aşamaları sunulmaktadır.



Şekil 3.5. *E. Angustifolia* bitki özütü aracılığıyla gümüş nanopartiküllerin oluşum mekanizması

### 3.6. Laboratuvarında Kullanılan Malzemeler

- Gümüş Nitrat tuzu ( $\text{AgNO}_3$ )
- Ticari Antibiyotikler
- Falkon tüp
- Pipet ucu
- Pastör pipet
- E. Angustifolia bitkisi
- Beher
- Balon
- Bakteri suşları (Gram pozitif, gram negatif, mantar suşu)

### 3.7. EA-AgNP'ler Yapısının Belirlenmesinde Kullanılan Cihazlar

- **XRD:** *Elaeagnus angustifolia* kaynaklı gümüş nanopartiküllerin kristal yapısı, X-ışını kırınımı (XRD) yöntemiyle karakteristik desenler elde edilerek analiz edilmiştir. EA-AgNP'lerin XRD cihazı kullanılarak  $2\theta$  açısında alınan ölçüm verileri değerlendirilmiştir.
- **SEM:** EA-AgNP'lerin numune yüzeyini tarayarak morfolojik yapılarının tespiti ve nanopartiküllerin topografisi hakkında bilgi veren SEM yöntemi kullanıldı.
- **EDX:** *Elaeagnus Angustifolia* gümüş nanopartiküllerin yapısında var olan element kompozisyonları EDX aracılığıyla tespit edildi.
- **UV-VİS:** UV-VİS yöntemiyle 290-800 nm dalga boyu aralığında belli sürelerde maksimum absorbans tespit edildi.
- **TEM:** Çalışmada numunenin yüzey ve ince yapılarının ayrıntılı olarak görüntülenmesi yapı-fonksiyon ilişkilerinin yorumlanması bu cihazla tespit edildi.
- **AFM:** Atomik boyutlara kadar sivriltilmiş bir iğne ucu yardımıyla, yüzeyin yüksek çözünürlükte, üç boyutlu görüntülenmesine olanak sağlar. Görüntüleme, iğne ucunun yüzey ile etkileşiminin incelenmesi sonucunda gerçekleştirildi (Yavuz, 2024).

### 3.8. Antimikrobiyal Etki alışmaları

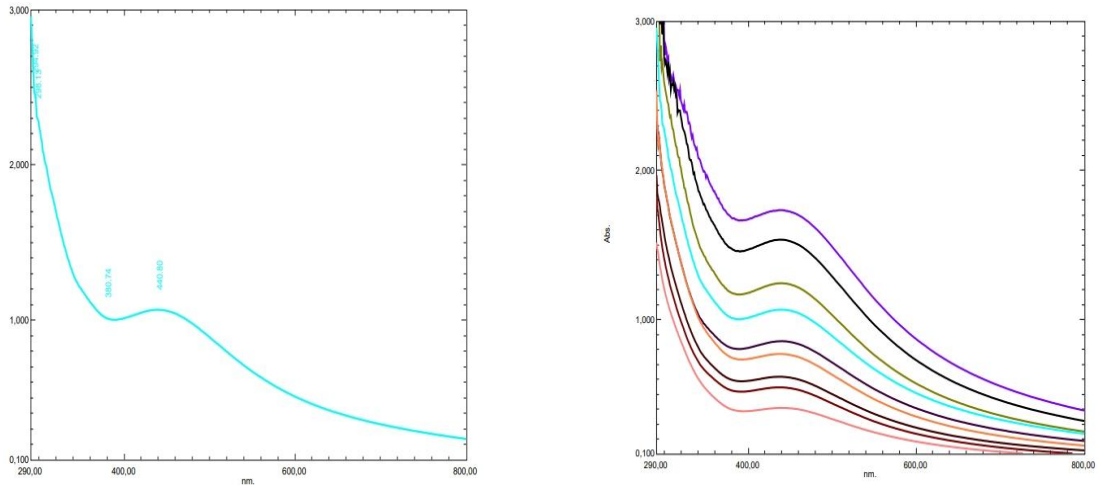
*Elaeagnus angustifolia* kaynaklı gümüş nanopartiküllerin patojen suşların üremesini engelleme etkisi, mikro dilüsyon yöntemi ile gerçekleştirilen antimikrobiyal aktivite çalışmalarıyla değerlendirilmiştir. Sentezlenen EA-AgNP'ler, gram pozitif ve gram negatif bakteriler ile mantar suşları üzerinde test edilmiştir (Patil ve ark., 2018).

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

### 4.1. *Elaeagnus Angustifolia l.* (EA) Bitki ekstraktında elde edilen EA-AgNP'lerin UV-Vis Analizi

UV-Vis spektroskopisi analizinde, gümüş nanopartiküllerinin oluşumu, 15, 30 ve 60 dakikalık farklı zaman aralıklarında alınan örneklerde izlenmiştir. Şekil 4.1'de görüldüğü üzere, oda sıcaklığında 1 saat süresince gerçekleştirilen karıştırma işlemi sonucunda belirgin bir renk değişimi gözlemlenmiştir. 290–800 nm dalga boyu aralığında yapılan ölçümlerle elde edilen veriler değerlendirilmiştir.

Renk değişimine bağlı olarak, yüzey plazmon rezonansı (Surface Plasmon Resonance, SPR) varlığı, UV-Vis spektroskopisi ile ölçülen karakteristik maksimum absorbans dalga boyunda doğrulanmıştır (Bharathi et al., 2023). Absorbans maksimumu, renk değişimi ile paralel şekilde 441 nm dalga boyunda tespit edilmiştir. Bu değer, gümüş nanopartiküllerin oluşumuna dair önemli bir kanıt teşkil etmektedir.



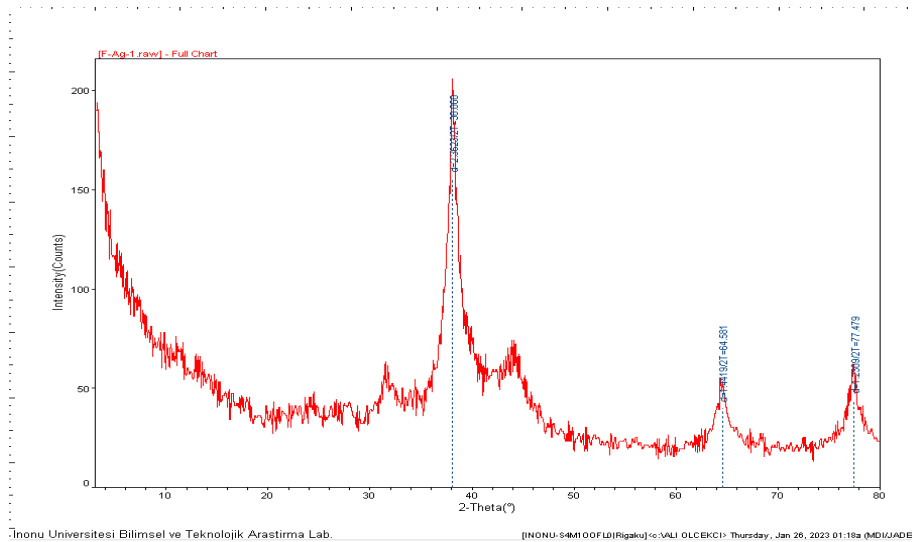
Şekil 4.1. EA-AgNP'lerin UV-Vis analizi

### 4.2. XRD Verileri

*Elaeagnus angustifolia* özütü ile sentezlenen nanopartiküllerin XRD analizi sonucu elde edilen kristal desenler Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Gümüş nanopartiküllere ait 10°-80° aralığında ölçülen 2θ değerleri, (111), (200), (220) ve (311) düzlemlerine

karşılık gelen Bragg piklerini içermektedir. Bu pikler, sırasıyla 38.06°, 64.58° ve 77.48° açılarında gözlenmiş olup, gümüşe özgü karakteristik özelliklerdir. Analizler, nanopartiküllerin yüzey merkezli kübik (FCC) kristal yapıya sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Kristal boyutları, Debye-Scherrer eşitliği ( $D = K\lambda / (\beta \cos \theta)$ ) kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar nanopartiküllerin ortalama kristal boyutunun 11.84 nm olduğunu göstermiştir.

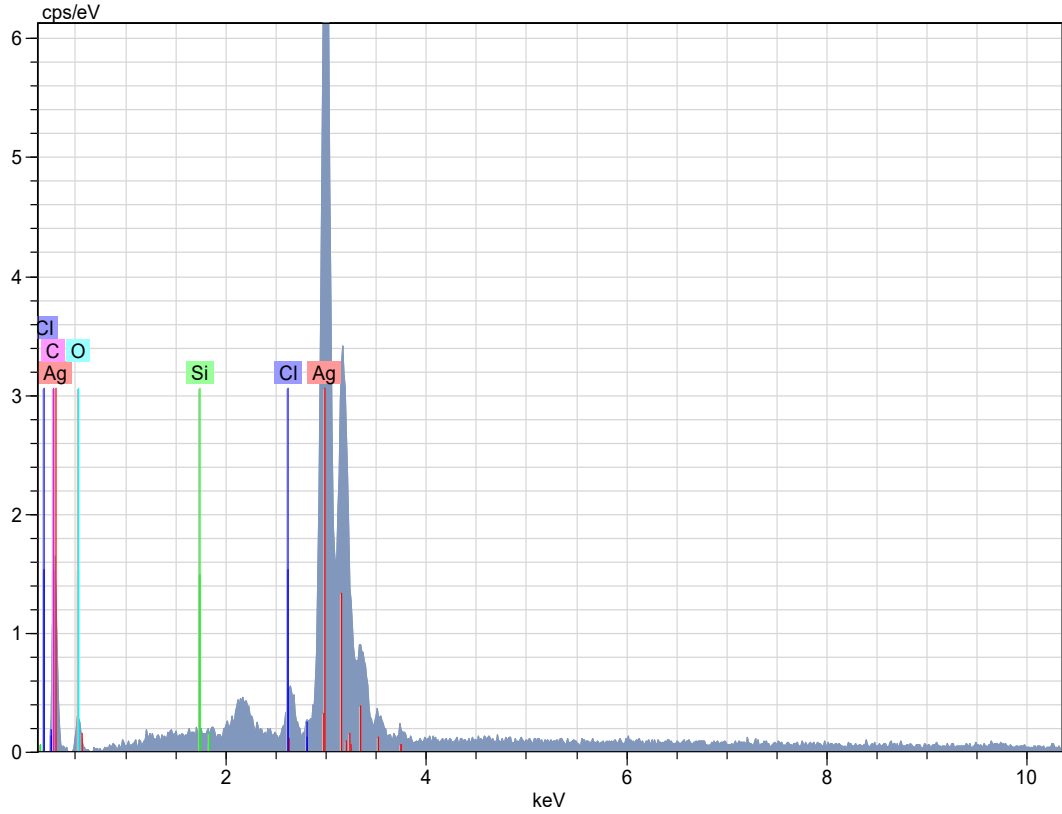


Şekil 4.2. EA-AgNP'lerin XRD analizi

### 4.3. EDX Verileri

EDX analizi ile elde edilen elementel bileşim sonuçları, Şekil 4.3'te sunulan spektrum aracılığıyla değerlendirilmiştir. Bu analizde, gümüşe ait karakteristik sinyallerin oldukça belirgin bir şekilde gözlemlenmesi, elde edilen nanopartiküllerin başarılı bir şekilde gümüş nanoparçacıklar (AgNP'ler) olarak sentezlendiğini doğrulamaktadır. EDX spektrumunda yer alan bu baskın gümüş pikleri, sentezin temel bileşeni olan AgNP'lerin varlığını açıkça ortaya koymuştur. Yapılan ölçümlerde, örneklerin yaklaşık %68,19 oranında gümüş içerdiği belirlenmiş olup, bu da elde edilen parçacıkların metalik gümüş karakteri taşıdığını göstermektedir. Ayrıca spektrumda

düşük şiddette gözlenen karbon (C), oksijen (O), klor (Cl) ve silisyum (Si) elementlerine ait sinyallerin, bitki özütünde doğal olarak bulunan çeşitli fitokimyasallar ve biyoaktif bileşenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu elementlerin varlığı, biyoindirgeme sürecinde rol alan organik moleküllerin nanoparçacık yüzeyinde bulunduğu işaret etmektedir.

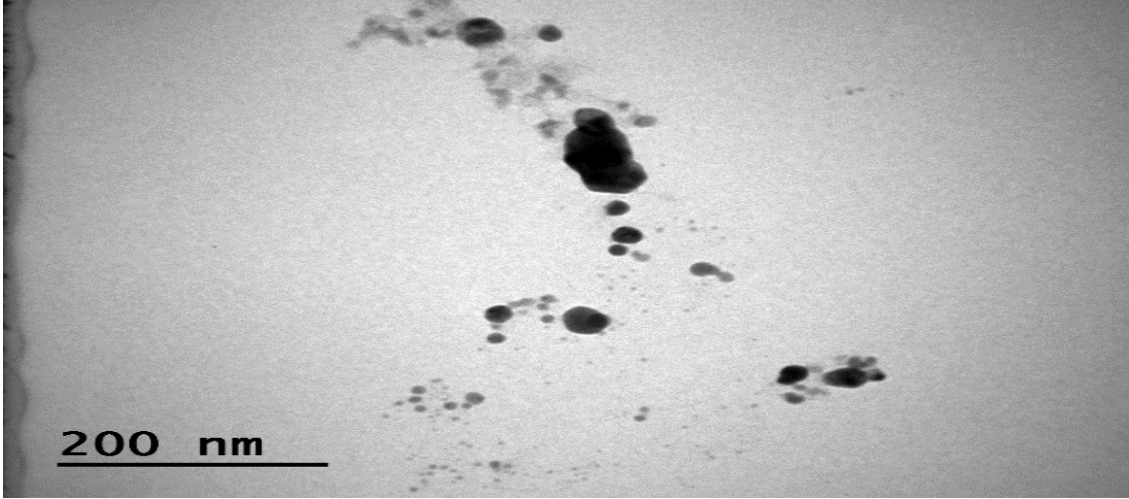


Şekil 4.3. EA-AgNP'lerin EDX analizi

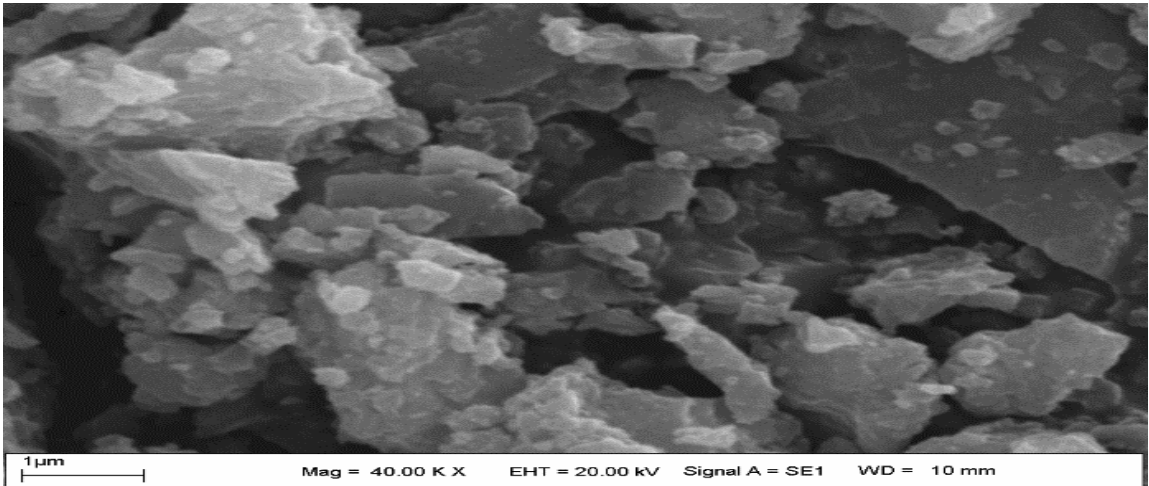
#### 4.4. Mikroskopi Verileri

Morfolojik görünümleri belirlemede özüt tarafından gümüş nanopartiküller sentezlenir. Sentezlenen bu özüt TEM ve SEM metodu kullanılarak elde edilen mikro grafi değerlendirilmeye alındı (şekil 4.4.1-4.4.2). TEM ve SEM mikro grafi görüntülerinde sentezlenen gümüş nanopartiküllerin küresel morfolojiye sahip olduğu tespit edildi. Bir yeşil sentez çalışmasında yapılan *Justicia glauca* özüt ile elde edilen gümüş nanopartiküllerin küresel görünümde oldukları TEM mikro grafisi görüntüleriyle elde edilmiştir(Emmanuel et al., 2015).

Bir diğer sentez çalışmasında yapılan *Sarcococca saligna* yaprak özütü ile elde edilen gümüş nanopartiküllerin küresel görünümüne sahip oldukları SEM analiz metodu ile ortaya konulmuştur (Rehman et al., 2023).



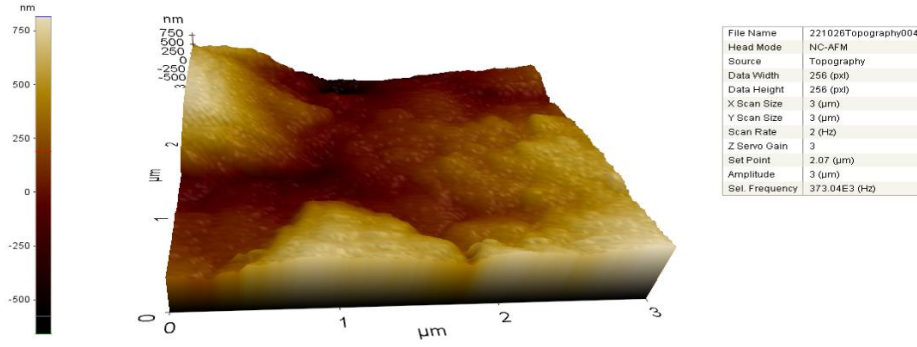
şekil 4.4. EA-AgNP'lerin TEM analizi



şekil 4.5. EA- AgNP'lerin SEM analizi

#### 4.5. AFM Analizi

Gümüş nanopartiküllerin üç boyutlu topografik görüntülerini atomik kuvvet mikroskopisi yardımıyla tespit edildi. Nanomalzemelerin yapı dağılımı ayrıca şekil ve boyut dağılımı yarı temas modunda hat analizi ölçümü ile gözlemlendi.(Şekil 4.6.). Partiküllerin çoğunun 256 nanometre ebatlarında ve küresel şekillerde olduğu elde edilmiştir.



Şekil 4.6. EA-AgNP' lerin AFM görüntüsü

#### 4.6. EA-AgNP'lerin Antimikrobiyal Aktivite Çalışması

*Elaeagnus angustifolia* kaynaklı gümüş nanopartiküllerin *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27833, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Candida albicans* ATCC 10231 ve *Escherichia coli* ATCC 25922 mikroorganizmalarının üremeleri üzerindeki etkileri mikro dilüsyon yöntemi ile belirlenmiştir. Elde edilen gümüş nanopartiküllerin minimum inhibitör konsantrasyon (MİK) değerleri *E. coli*, *Bacillus subtilis* ve *Candida albicans* suşları için sırasıyla 0.556, 1.12 ve 1.12 mg/mL olarak tespit edilmiştir. Antibiyotiklerle karşılaştırıldığında, gram negatif *E. coli* ve *Candida albicans* suşlarının nanopartiküllere karşı duyarlı olduğu Tablo 1'de sunulmuştur. Ayrıca, *Elaeagnus angustifolia* özütünün *Candida albicans* maya türü ve gram negatif *E. coli* bakterisinin gelişimini engellediği belirlenmiştir.

Nanopartiküllerin etkisi sonucunda mikroorganizmalarda reaktif oksijen türleri (ROS) artışı gözlemlenmiştir. ROS seviyesindeki artış, önemli enzimlerin yapısını ve aktivitelerini olumsuz etkileyerek RNA, DNA ve protein gibi temel biyomoleküllerde hasara neden olur. Bu durum, mikroorganizmaların afinitesi ve temel fonksiyonlarını yerine getirmesini engeller. Sonuç olarak, mikroorganizmalar yaşamsal faaliyetlerini sürdürmez ve ölüm gerçekleşir (Emmanuel et al., 2015; Huq et al., 2022; Shao et al., 2018).

Fitokimyasal bileşenler bitki türüne göre farklılık gösterir. Bu farklılıklar, bazı bitki özütlerinde antimikrobiyal aktivitenin gözlenmemesine neden olabilir.

**Tablo 4.1:** *Elaeagnus Angustifolia* özütü tarafından sentezlenen AgNP'lerin patojen suşlar üzerinde inhibisyon etkileri

	AgNO <sub>3</sub> çözeltisi mg/ml	Antibiyotik mg/ml	AgNP'ler mg/ml
<i>S. aureus</i> ATCC 29213	2.5	2	2.25
<i>Bacillus subtilis</i>	2.5	1	1.12
<i>E. Coli</i> ATCC 25922	1.0	2	0.556
<i>P. aeruginosa</i> ATCC 27833	5.0	4	4.5
<i>C. albicans</i> ATCC 10231	0.25	2	1.12

## 5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, *Elaeagnus angustifolia* bitkisinden yeşil sentez yöntemi ile başarıyla gümüş nanopartiküller üretilmiştir. Sentezlenen nanopartiküllerin fizikokimyasal özellikleri, UV-Vis spektroskopisi, Dinamik Işık Saçılımı (DLS), X-Işını Kırınımı (XRD), Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ve Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi (EDX) teknikleri kullanılarak detaylı biçimde karakterize edilmiştir.

Nanopartiküllerin oluşum sürecini izlemek amacıyla, sentez ortamından farklı zamanlarda numuneler alınmış ve 290–800 nm dalga boyu aralığında UV-Vis spektroskopisi taramaları yapılmıştır. Şekil 4.1’de gösterildiği gibi, 441 nm’de tespit edilen maksimum absorban, gümüş nanopartiküllerin varlığını net biçimde doğrulamaktadır.

XRD analizleri ile *Elaeagnus angustifolia* özütü kullanılarak sentezlenen nanopartiküllerin kristal yapısı incelenmiştir (Şekil 4.2).  $10^{\circ}$ – $80^{\circ}$  aralığındaki  $2\theta$  değerlerinde gözlemlenen (111), (200), (220) ve (311) pikler, gümüşe özgü karakteristik Bragg açılara karşılık gelmektedir. Debye–Scherrer denklemi kullanılarak yapılan hesaplamalar nanopartiküllerin ortalama kristal boyutunun yaklaşık 11.84 nm olduğunu göstermiştir.

Nanopartiküllerin elementel kompozisyonu, EDX analizi ile değerlendirilmiştir. Şekil 4.3’te sunulan spektrumda, güçlü gümüş sinyallerinin yanı sıra karbon ve oksijen gibi elementlerin de zayıf pikleri gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, sentezlenen parçacıkların esas olarak gümüş nanopartiküller olduğunu doğrularken; diğer elementler bitki özütündeki fitokimyasal bileşenlere işaret etmektedir.

Antimikrobiyal etkinlik çalışmaları, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27833, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Escherichia coli* ATCC 25922 ve *Candida albicans* ATCC 10231 suşları üzerinde mikro dilüsyon yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, gram-negatif *E. coli* ve *Candida albicans* suşlarının, referans antibiyotiklerle karşılaştırıldığında daha yüksek duyarlılığa sahip olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca,

*Elaeagnus angustifolia* özütünün özellikle *Candida albicans* maya türü ve gram-negatif *E. coli* bakterisinin büyümesini önemli ölçüde engellediği belirlenmiştir.

Son yıllarda, gümüş nanopartiküller (AgNP'ler), özellikle geniş spektrumlu antimikrobiyal etkileri sayesinde biyotıp, gıda ambalajlama ve su arıtma gibi çeşitli alanlarda dikkat çekici bir şekilde öne çıkmaktadır. Gümüş iyonlarının (Ag<sup>+</sup>) hücre zarları üzerindeki etkisi, protein yapılarındaki tiol gruplarıyla (-SH) etkileşime girerek enzim inaktivasyonuna ve hücresel metabolizmanın bozulmasına yol açar. Bu mekanizmalar, mikroorganizmaların çoğalmasını etkili biçimde inhibe eder.

Yeşil sentez (biyosentetik) yöntemleri, geleneksel kimyasal indirgeme tekniklerine kıyasla çevre dostu alternatifler sunar; çünkü toksik indirgeme ajanları yerine bitki özleri, mikroorganizmalar veya biyopolimerler gibi biyoaktif maddeler kullanılarak nanopartikül sentezi gerçekleştirilir. Bu biyomoleküller, aynı zamanda indirgeme ajanı ve stabilizatör (kaplama maddesi) olarak görev yapar. Böylece hem partikül oluşumu sağlanır hem de aglomerasyonun (birleşme) önüne geçilir.

Ancak, AgNP'lerin fizikokimyasal özellikleri (boyut, morfoloji, yüzey yükü, yüzey kaplama kimyası vb.), biyolojik sistemlerdeki sitotoksosite, genotoksosite ve oksidatif stres oluşturma potansiyelini doğrudan etkiler. Bu nedenle, nanopartikül sentezinde kullanılan yöntemlerin, reaksiyon parametrelerinin (pH, sıcaklık, reaksiyon süresi, konsantrasyon vb.) ve stabilite koşullarının dikkatle kontrol edilmesi gerekmektedir.

Ayrıca, uygulama öncesi karakterizasyon teknikleri (UV-Vis spektroskopisi, FTIR, TEM, SEM, DLS, XRD gibi) ile nanopartiküllerin yapısal ve yüzey özelliklerinin ayrıntılı olarak analiz edilmesi, biyoyumluluk ve toksikolojik etkilerin öngörülebilmesi açısından kritiktir. Bu bağlamda, AgNP'lerin üretimi ve kullanım alanlarına yönelik çalışmaların hem kimyasal süreçlerin hem de biyolojik etkilerin bütüncül olarak değerlendirildiği çok disiplinli bir yaklaşımla yürütülmesi gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- Agaricus bisporus Ekstraktı Kullanılarak ZnO Nanopartiküllerinin Yeşil Sentezi, A., Karakterizasyonu ve Biyolojik Aktivitelerinin İncelenmesi Ravza BEKEM, Y., Durmus, S., Dalmaz, A., DULGER Kimya Bölümü, G., Eğitim Enstitüsü, L., Üniversitesi, D., Kimya Bölümü, T., Edebiyat Fakültesi, F., Doğal, T., Ürünler, B., Ürünler Anabilim Dalı, K., Tıbbi Biyoloji Bölümü, T., & Fakültesi, T. (n.d.). Agaricus bisporus ekstraktı kullanılarak Zno nanopartiküllerinin yeşil sentezi: yapısal karakterizasyonu ve biyolojik aktivitelerinin incelenmesi. *Dergipark.Org.Tr.* <https://doi.org/10.29130/dubited.1082788>
- Ahmad, N., & Sharma, S. (2012). Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Extracts of *Ananas comosus*. *Green and Sustainable Chemistry*, 2012(04), 141–147. <https://doi.org/10.4236/GSC.2012.24020>
- Ahmed, S., Annu, Ikram, S., & Yudha, S. (2016). Biosynthesis of gold nanoparticles: A green approach. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 161, 141–153. <https://doi.org/10.1016/J.JPHOTOBIO.2016.04.034>
- Ahmed, S., Saifullah, Ahmad, M., Swami, B. L., & Ikram, S. (2016). 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.2015.06.006>
- Alharbi, N. S., Alsubhi, N. S., & Felimban, A. I. (2022). Green synthesis of silver nanoparticles using medicinal plants: Characterization and application. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 15(3), 109–124. <https://doi.org/10.1016/J.JRRAS.2022.06.012>
- Ali, Z. A., Yahya, R., Sekaran, S. D., & Puteh, R. (2016). Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Apple Extract and Its Antibacterial Properties. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016, 6.
- Awwad, A. M., Salem, N. M., & Abdeen, A. O. (2013). Green synthesis of silver nanoparticles using carob leaf extract and its antibacterial activity. *International Journal of Industrial Chemistry 2013 4:1*, 4(1), 1–6. <https://doi.org/10.1186/2228-5547-4-29>
- Baran, MF; Koç, Adil; Uzan, S. (2018). KENGER (GUNDELİA TOURNEFORTİİ) YAPRAĞI İLE GÜMÜŞ NANOPARTİKÜL (AGNP) SENTEZİ, KARAKTERİZASYONU VE ANTİMİKROBİYAL UYGULAMALARI. *Ejons.Org*, 2. <https://ejons.org/index.php/ejons/article/view/38>
- Baran, mehmet firat. (2019). Prunus avium kiraz yaprağı özütü ile gümüş nanopartikül (AgNP) sentezi ve antimikrobiyal etkisinin incelenmesi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(1), 221–227. <https://doi.org/10.24012/DUMF.487255>
- Bawazeer, S., Rauf, A., Shah, S. U. A., Shawky, A. M., Al-Awthman, Y. S., Bahattab, O. S., Uddin, G., Sabir, J., & El-Esawi, M. A. (2021). Green synthesis of silver nanoparticles using *Tropaeolum majus*: Phytochemical screening and antibacterial studies. *Green Processing and Synthesis*, 10(1), 85–94. <https://doi.org/10.1515/GPS-2021-0003/MACHINEREADABLECITATION/RIS>
- Bergal, A., Matar, G. H., & Andaç, M. (2022). Olive and green tea leaf extracts mediated green synthesis of silver nanoparticles (AgNPs): comparison investigation on characterizations and antibacterial activity. *BioNanoScience*, 12(2), 307–321. <https://doi.org/10.1007/S12668-022-00958-2>
- Berk, S., Toraks, İ. A.-T., & 2012, U. (2012). Nanopartikül: Geleceğin korkulu rüyası.

- Pdfs.Semanticscholar.Org.*  
<https://pdfs.semanticscholar.org/4d1a/7f31e06d09c254989021abbce9dbc594c7ac.pdf>
- Beykaya, M. Ç. A. (2016). *Bitkisel Özütler Kullanılarak Gümüş-Nanopartikül (AgNP) Sentezlenmesi ve Antimikrobiyal Etkinlikleri Üzerine Bir Araştırma.*  
<https://dergipark.org.tr/en/pub/akufemubid/issue/43551/532448>
- Beykaya, M., & Çağlar, A. (2016). Bitkisel özütler kullanılarak gümüş-nanopartikül (AgNP) sentezlenmesi ve antimikrobiyal etkinlikleri üzerine bir araştırma. *Dergipark.Org.Tr.* <https://dergipark.org.tr/en/pub/akufemubid/issue/43551/532448>
- Bharathi, D., Ganesh, J., Nandagopal, T., Lee, J., & Ranjithkumar, R. (2023). *Facile Synthesis and Characterization of Chitosan Functionalized Silver Nanoparticles for Antibacterial and Anti-Lung Cancer Applications.*
- Bütüner, H. (2022). *Rumex Acetosella L. (Kuzukulağı) Bitkisinden Gümüş Nanopartiküllerin Sentezi, Karakterizasyonu ve Antimikrobiyal Aktivitelerinin Değerlendirilmesi.*
- Çelik, Y., & Dağ, B. (2024, July 26). Van Yöresine Ait Sirmo (*Allium Schoenoprasum L.*) Sentezinden Gümüş Nanopartiküllerinin Sentezi, Karakterizasyonu Ve Antimikrobiyal Ve Antioksidan Etkilerinin Değerlendirilmesi. Batman Üniversitesi. <https://earsiv.batman.edu.tr/server/api/core/bitstreams/17297652-4dc4-45e1-9ca3-0ba1d005e7a3/content>
- Ceylan, Ö. (2023). Yeşil Sentez Metoduyla Zeytin (*Olea europaea L.*) Yapraklarından Gümüş Nanopartikül Sentezi, Karakterizasyonu Ve Bazı Biyolojik Aktivitelerinin Değerlendirilmesi. In *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย* (Vol. 4, Issue 1).
- Chavan, N., Dharmaraj, D., Sarap, S., & Surve, C. (2022). Magnetic nanoparticles – A new era in nanotechnology. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 77, 103899. <https://doi.org/10.1016/J.JDDST.2022.103899>
- Chinnathambi, A., Alharbi, S. A., Joshi, D., V. S., Jhanani, G. K., On-uma, R., Jutamas, K., & Anupong, W. (2023). Synthesis of AgNPs from leaf extract of *Naringi crenulata* and evaluation of its antibacterial activity against multidrug resistant bacteria. *Environmental Research*, 216(P1), 114455. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114455>
- Çiftçi, F. (2019). *Cotinus Coggygria Scop. ve Pistacia Vera L. Bitkileri Kullanarak Gümüş Nanopartiküllerin Yeşil Sentezi, Karakterizasyonu ve Antimikrobiyal Özelliklerinin İncelenmesi.*
- Dag, B. (2022). Green synthesis, characterization, and antioxidant activity of silver nanoparticles using *Stachys annua L. subsp. annua var. annua*. *Particulate Science and Technology*, 40(4), 512–520. <https://doi.org/10.1080/02726351.2021.1966689>
- Dağlıoğlu, Y. (2018). Nanopartikül Karakterizasyon Yöntemleri ve Ekotoksikite Deneylerindeki Önemi. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 30(1), 1–17. <https://doi.org/10.7240/marufbd.346547>
- Duman, K., PEHLUVAN, M., ASLANTAŞ, R., & GÜLSOY, E. (2021). Iğdır’da Doğal Olarak Yetişen İğdelerin (*Elaeagnus angustifolia L.*) Seleksiyonu. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 7(3), 353–359. <https://doi.org/10.24180/IJAWS.956402>
- Emmanuel, R., Palanisamy, S., Chen, S., Chelladurai, K., Padmavathy, S., Saravanan, M., Prakash, P., Ali, M. A., & Al-hemaid, Fahad, M. A. (2015). Antimicrobial efficacy of green synthesized drug blended silver nanoparticles against dental caries and periodontal disease causing microorganisms. *Materials Science & Engineering C*, 56, 374–379. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.06.033>
- Erdoğan, Ö., Birtokocak, F., Oryaşın, E., & Abbak, M. (2019). Enginar yaprağı sulu

- ekstraktı kullanılarak çinko oksit nanopartiküllerinin yeşil sentezi, karakterizasyonu, anti-bakteriyel ve sitotoksik etkileri. *Dergipark.Org.Tr*. <https://dergipark.org.tr/en/pub/dtfd/issue/44911/482351>
- Eren, A., Fırat BARAN, M., Üniversitesi, A., Meslek Yüksekokulu, K., Tarım Bölümü, O., Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, S., Hizmetler Bölümü, T., & Geliş Tarihi, T. (2019). Fıstık (*Pistacia vera* L.) yaprağından gümüş nanopartikül (AgNP)'lerin sentezi, karakterizasyonu ve antimikrobiyal aktivitesinin incelenmesi. *Dergipark.Org.Tr*, 6(2), 165–173. <https://doi.org/10.19159/tutad.493006>
- Erenler, R., & Dag, B. (2022). Biosynthesis of silver nanoparticles using *Origanum majorana* L. and evaluation of their antioxidant activity. *Inorganic and Nano-Metal Chemistry*, 52(4), 485–492. <https://doi.org/10.1080/24701556.2021.1952263>
- Fahim, M., Shahzaib, A., Nishat, N., Jahan, A., Bhat, T. A., & Inam, A. (2024). Green synthesis of silver nanoparticles: A comprehensive review of methods, influencing factors, and applications. *JCIS Open*, 16, 100125. <https://doi.org/10.1016/J.JCISO.2024.100125>
- Garibo, D., Borbón-Nuñez, H. A., de León, J. N. D., García Mendoza, E., Estrada, I., Toledano-Magaña, Y., Tiznado, H., Ovalle-Marroquin, M., Soto-Ramos, A. G., Blanco, A., Rodríguez, J. A., Romo, O. A., Chávez-Almazán, L. A., & Susarrey-Arce, A. (2020). Green synthesis of silver nanoparticles using *Lysiloma acapulcensis* exhibit high-antimicrobial activity. *Scientific Reports 2020 10:1*, 10(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69606-7>
- Ghoshal, G. G. (2017). Rapid Green Synthesis of Silver Nanoparticles ( AgNPs ) Using ( *Prunus persica* ) Nanomedicine & Nanotechnology Rapid Green Synthesis of Silver Nanoparticles ( AgNPs ) Using ( *Prunus persica* ) Plants extract : Exploring its Antimicrobial and Catalytic Acti. *J Nanomed Nanotechnol, an Open Access Journal ISSN:.*, 8:4(October 2019), 8. <https://doi.org/10.4172/2157-7439.1000452>
- Goh, P. S., Wong, K. C., & Ismail, A. F. (2020). Nanocomposite Membranes for Liquid and Gas Separations from the Perspective of Nanostructure Dimensions. *Membranes 2020, Vol. 10, Page 297, 10(10)*, 297. <https://doi.org/10.3390/MEMBRANES10100297>
- Gürlük, N. K. A. K. T. (2022). *Gıda İşletmelerinde Biyofilm Sorunu ve Gümüş Nanopartikül Uygulamaları*. 13. <https://dergipark.org.tr/en/pub/aydingas/issue/68106/900686>
- Gürmen, S., & Ebin, B. (2008). Nanopartiküller ve üretim yöntemleri-1. *Metalurji.Org.Tr*. [https://metalurji.org.tr/dergi/dergi150/d150\\_3138.pdf](https://metalurji.org.tr/dergi/dergi150/d150_3138.pdf)
- Halıcı, A., Seyrek, A., Aykan, K., Ünal, F., & Yüzbaşıoğlu, D. (2021). Nanopartiküllerin Genotoksik Etkileri. *Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi*, 2(2), 19–38. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.5734749>
- Happy Agarwal, Menon, S., Venkat Kumar, S., & Rajeshkumar, S. (2018). Mechanistic study on antibacterial action of zinc oxide nanoparticles synthesized using green route. *Chemico-Biological Interactions*, 286, 60–70. <https://doi.org/10.1016/J.CBI.2018.03.008>
- Huq, M. A., Ashrafudoulla, M., Rahman, M. M., Balusamy, S. R., & Akter, S. (2022). Green Synthesis and Potential Antibacterial Applications of Bioactive Silver Nanoparticles: A Review. *Polymers*, 14(4), 1–22. <https://doi.org/10.3390/polym14040742>
- Indhira, D., Krishnamoorthy, M., Ameen, F., Bhat, S. A., Arumugam, K., Ramalingam, S., Priyan, S. R., & Kumar, G. S. (2022). Biomimetic facile synthesis of zinc oxide and copper oxide nanoparticles from *Elaeagnus indica* for enhanced photocatalytic activity. *Environmental Research*, 212, 113323.

- <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2022.113323>
- Iqbal, J., Abbasi, B., Yaseen, T., Zahra, S., Reports, A. S.-S., & 2021, U. (2021). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Elaeagnus angustifolia* L. leaf extracts and their multiple in vitro biological applications. *Nature.Com*.  
<https://www.nature.com/articles/s41598-021-99839-z>
- Jamkhande, P. G., Ghule, N. W., Bamer, A. H., & Kalaskar, M. G. (2019). Metal nanoparticles synthesis: An overview on methods of preparation, advantages and disadvantages, and applications. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 53, 101174. <https://doi.org/10.1016/J.JDDST.2019.101174>
- Jebril, S., Khanfir, R., & Jenana, B. (2020). Green synthesis of silver nanoparticles using *Melia azedarach* leaf extract and their antifungal activities : In vitro and in vivo. *Materials Chemistry and Physics* 248, 248(February), 122898 Contents.  
<https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.122898>
- Jorge de Souza, T. A., Rosa Souza, L. R., & Franchi, L. P. (2019). Silver nanoparticles: An integrated view of green synthesis methods, transformation in the environment, and toxicity. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 171, 691–700.  
<https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2018.12.095>
- Karahan, H., & Çölgeçen, H. (2021). The Biosynthesis of Silver Nanoparticles and their Use as a Biosensor Material Gümüş Nanopartiküllerinin Biyosentezi ve Biyosensör Materyali Olarak Kullanımı. *Commagene Journal of Biology Karahan & Çölgeçen*, 5(2), 214–221. <https://doi.org/10.31594/commagene.941022>
- Khalil, M. F. M. (2022). *Antimicrobial Activity And Characterization Of Silver Nanoparticles Synthesized By Endophytic Actinobacterium Micromonospora*.
- Khatami, M., Sharifi, I., Nobre, M. A. L., Zafarnia, N., & Aflatoonian, M. R. (2018). Waste-grass-mediated green synthesis of silver nanoparticles and evaluation of their anticancer, antifungal and antibacterial activity. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 11(2), 125–134. <https://doi.org/10.1080/17518253.2018.1444797>
- Li, S., Shen, Y., Xie, A., Yu, X., Qiu, L., Zhang, L., & Zhang, Q. (2007). Green synthesis of silver nanoparticles using *Capsicum annuum* L. extract. *Green Chemistry*, 9(8), 852–858. <https://doi.org/10.1039/B615357G>
- Madkour, L. H. (2019). Classification of Nanostructured Materials. *Advanced Structured Materials*, 116, 269–307. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-21621-4\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-21621-4_9)
- Marmara Fen Bilimleri Dergisi, & 2018. (n.d.). Nanopartikül karakterizasyon yöntemleri ve ekotoksikite deneylerindeki önemi. *Dergipark.Org.Tr*. Retrieved November 10, 2024, from <https://dergipark.org.tr/en/pub/marufbd/article/346547>
- Medina-Ramirez, I., Bashir, S., Luo, Z., & Liu, J. L. (2009). Green synthesis and characterization of polymer-stabilized silver nanoparticles. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 73(2), 185–191.  
<https://doi.org/10.1016/J.COLSURFB.2009.05.015>
- Mehmet, F. B., KOÇ İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, A., & Mühendisliği, K. (2018). Altın nanomalzeme sentezi ve karakterizasyonu. *Dergipark.Org.Tr*, 2. <https://dergipark.org.tr/tr/doi/10.24012/dumf.551865>
- Mehta, BK; Chhajlani, M., & Shrivastava, B. (2017). Green synthesis of silver nanoparticles and their characterization by XRD. *J. Phys*, 836, 12050.  
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/836/1/012050>
- Mortazavi-Derazkola, S., Yousefinia, A., Naghizadeh, A., Lashkari, S., & Hosseinzadeh, M. (2021). Green Synthesis and Characterization of Silver Nanoparticles Using *Elaeagnus angustifolia* Bark Extract and Study of Its Antibacterial Effect. *Journal of Polymers and the Environment*, 29(11), 3539–3547. <https://doi.org/10.1007/S10924-021-02122-5/METRICS>

- Mutaf, T., Çalışkan, G., Suphi, Öncel, Ş., & Murat Elibol. (2023). Metal nanopartiküllerin mikroalgler aracılığı ile yeşil sentezi Green synthesis of metal nanoparticles by microalgae. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40(1), 81–89. <https://doi.org/10.12714/egejfas.40.1.12>
- Nadaroğlu, H., Alaylı Güngör, A., & İnce, S. (2017). Synthesis of Nanoparticles by Green Synthesis Method. *International Journal of Innovative Research and Reviews*, 1(1), 6–9. <http://www.injirr.com/article/view/4>
- Ölçekçi, A. (2022). *Cennet Hurması (Diospyros Kaki) Meyvesinin Yeşil Yapraklarından Sentezlenen Gümüş Nanopartiküllerin Sentezi, Karakterizasyonu, Antimikrobiyal ve Sitotoksik Aktivitelerinin İncelenmesi*.
- Özeşer, T. (2023). *Adaçayı (Salvia officinalis) ve Kızılcık (Cornus mas) Bitkilerinin Yeşil Sentezle Gümüş Nanopartikül Üretiminde Kullanılması, Özellikleri ve Antimikrobiyal Etkilerinin Belirlenmesi*. 104.
- Özkaleli; Merve, E. A. (n.d.). *Nanoatıklar ve çevre: Atık yönetiminde yeni bir yaklaşım*. 22(3), 183–188. <https://doi.org/10.5505/pajes.2015.52207>
- Rajeshkumar, S., & Bharath, L. V. (2017). Gümüş Nanoparçacıkların Bitki Aracılı Sentezinin Mekanizması - İlgili Biyomoleküller, Karakterizasyon ve Antibakteriyel Aktivite Üzerine Bir İnceleme. *Chemico-Biological Interactions*, 27. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2017.06.019>
- Rauwel, P., Küünal, S., Ferdov, S., & Rauwel, E. (2015). A Review on the Green Synthesis of Silver Nanoparticles and Their Morphologies Studied via TEM. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2015(1), 682749. <https://doi.org/10.1155/2015/682749>
- Rehman, S. U., Arshad, L., Ali, S., Massey, S., Khan, S., Samad, A., & Rehman, F.-U.-. (2023). Unlocking the Medicinal Potential of Sarcococca saligna: Green Synthesis of Silver and Gold Nanoparticles for Enhanced Antibacterial and Antifungal Applications. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 36(4). <https://doi.org/10.17582/journal.pjar/2023/36.4.327.334>
- Rónavári, A., Igaz, N., Adamecz, D. I., Szerencsés, B., Molnar, C., Kónya, Z., Pfeiffer, I., & Kiricsi, M. (2021). *Green Silver and Gold Nanoparticles: Biological Synthesis Approaches and Potentials for Biomedical Applications*. <https://doi.org/10.3390/molecules26040844>
- Roopan, S. M., Rohit, Madhumitha, G., Rahuman, A. A., Kamaraj, C., Bharathi, A., & Surendra, T. V. (2013). Low-cost and eco-friendly phyto-synthesis of silver nanoparticles using Cocos nucifera coir extract and its larvicidal activity. *Industrial Crops and Products*, 43(1), 631–635. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2012.08.013>
- Salem, S. S., & Fouda, A. (2021). Green Synthesis of Metallic Nanoparticles and Their Prospective Biotechnological Applications: an Overview. *Biological Trace Element Research*, 199(1), 344–370. <https://doi.org/10.1007/S12011-020-02138-3/METRICS>
- Sarfi, S., Azaryan, E., Hanafi-Bojd, M. Y., Emadian Razavi, F., & Naseri, M. (2024). Green synthesis of nanohydroxyapatite with Elaeagnus angustifolia L. extract as a metronidazole nanocarrier for in vitro pulpitis model treatment. *Scientific Reports* 2024 14:1, 14(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-65582-4>
- Şensoy Gün, B., Tunali, B., & Gurbanov, R. (2024). Yeşil Sentez Yöntemi İle Althaea officinalis Bitkisi Kullanılarak Elde Edilen Nanokompozitlerin Karakterizasyonu ve Hemolitik Aktivitelerinin Değerlendirilmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15(1), 22–32. <https://doi.org/10.29048/MAKUFEBED.1402681>

- Shao, Y., Wu, C., Wu, T., Yuan, C., Chen, S., Ding, T., Ye, X., & Hu, Y. (2018). Green synthesis of sodium alginate-silver nanoparticles and their antibacterial activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, *111*, 1281–1292. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.012>
- Srikar, S. K., Giri, D. D., Pal, D. B., Mishra, P. K., & Upadhyay, S. N. (2016). Green Synthesis of Silver Nanoparticles: A Review. *Green and Sustainable Chemistry*, *06*(01), 34–56. <https://doi.org/10.4236/GSC.2016.61004>
- Tarhan, Ö., Gökmen, V., Harsa, Ş., Yüksek, İ., Enstütüsü, T., Bölümü, G. M., Üniversitesi, H., & Geliş, A. (2010). Nanoteknolojinin Gıda Bilim Ve Teknolojisi Alanındaki Uygulamaları. *Derleme / Review GIDA*, *3*, 219–225.
- Tüylek, Z. (2021). Eurasian Journal of Biological and Chemical Sciences Reflections to our Lives in Nanotechnology Applications. *REVIEW ARTICLE Eurasian J Bio Chem Sci*, *4*(2), 69–79. <https://doi.org/10.46239/ejbc.909023>
- Umaz, A., Koç, A., Baran, M., ... C. K.-J. of the I. of, & 2019, undefined. (n.d.). Hypericum Triquetrifolium Turra bitkisinden gümüş nanopartiküllerin sentezi, karakterizasyonu ve antimikrobial etkinliğinin incelenmesi. *Dergipark.Org.Tr*. Retrieved July 28, 2024, from <https://dergipark.org.tr/en/pub/jist/article/533115>
- Valiyeva, F. (2023). *Onosma Mutabilis (O. Mutabilis) Bitki Özütünden Sentezlenen Gümüş Nanopartiküllerin Antioksidan Ve Antidiyabetik Aktivitelerinin Araştırılması*.
- Vanlalveni, C., Lallianrawna, S., Biswas, A., Selvaraj, M., Changmai, B., & Rokhum, S. L. (2021). Green synthesis of silver nanoparticles using plant extracts and their antimicrobial activities: a review of recent literature. *RSC Advances*, *11*(5), 2804–2837. <https://doi.org/10.1039/D0RA09941D>
- Venkatachalam, C. D., Sengottian, M., & Ravichandran, S. R. (2021). Green synthesis of nanoparticles—metals and their oxides. *Nanomaterials: Application in Biofuels and Bioenergy Production Systems*, 79–96. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822401-4.00012-X>
- Vijayaram, S., Razafindralambo, H., Sun, Y. Z., Vasantharaj, S., Ghafarifarsani, H., Hoseinifar, S. H., & Raeeszadeh, M. (2023). Applications of Green Synthesized Metal Nanoparticles — a Review. *Biological Trace Element Research*, *0123456789*. <https://doi.org/10.1007/s12011-023-03645-9>
- Wang, Z., Hu, T., Liang, R., & Wei, M. (2020). Application of Zero-Dimensional Nanomaterials in Biosensing. *Frontiers in Chemistry*, *8*, 538454. <https://doi.org/10.3389/FCHEM.2020.00320/BIBTEX>
- Xu, J., Yıldıztekin, M., Han, D., Keskin, C., Baran, A., Baran, M. F., Eftekhari, A., Ava, C. A., Kandemir, S. İ., Cebe, D. B., Dağ, B., Beilerli, A., & Khalilov, R. (2023). Biosynthesis, characterization, and investigation of antimicrobial and cytotoxic activities of silver nanoparticles using Solanum tuberosum peel aqueous extract. *Heliyon*, *9*(8), e19061. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19061>
- Yavuz, & Dağ, B. (2024). Zuzubak Bitkisinin (Allium turcicum) Gümüş Nanopartikül Sentezi Ve Antimikrobiyal Uygulamaları [Batman Üniversitesi]. <https://earsiv.batman.edu.tr/server/api/core/bitstreams/7a5fe783-4340-499b-b04e-8279f04e6636/content>
- Yavuz, İ., Fen, G. Ü., Dergisi, F., & Şebnem Yılmaz, E. (2021). *Biyolojik Sistemli Nanopartiküller. 1*, 93–108. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4843592>
- Ying, S., Guan, Z., Ofoegbu, P. C., Clubb, P., Rico, C., He, F., & Hong, J. (2022). Green synthesis of nanoparticles: Current developments and limitations. *Environmental Technology & Innovation*, *26*, 102336. <https://doi.org/10.1016/J.ETI.2022.102336>

- Zarban, A., Azaryan, E., Binabaj, M. M., Karbasi, S., & Naseri, M. (2023). Green synthesis of nanohydroxyapatite through *Elaeagnus angustifolia* L. extract and evaluating its anti-tumor properties in MCF7 breast cancer cell line. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 23(1), 1–12.  
<https://doi.org/10.1186/S12906-023-04116-3/FIGURES/8>
- Zhang, X., Liu, Z., Shen, W., Of, S. G.-I. journal, & 2016, U. (2016). Silver nanoparticles: synthesis, characterization, properties, applications, and therapeutic approaches. *Mdpi.Com*. <https://www.mdpi.com/1422-0067/17/9/1534>
- Zhao, Y., Hong, H., Gong, Q., & Ji, L. (2013). 1D Nanomaterials: Synthesis, Properties, and Applications. *Journal of Nanomaterials*, 2013.  
<https://doi.org/10.1155/2013/101836>