



**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” adlı tez çalışması 06/12/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri 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 tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

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, 64 Sayfa

Bu çalışmada İğde (*elaegnus angustifolia* L.) bitkisi kullanılarak yeşil sentez yöntemiyle gümüş nanopartiküllerin (AgNP) sentezlenmesi, sentezlenen AgNP'lerin karakterizasyon analizlerinin yapılması ve sentezlenen AgNP'lerin antibakteriyal aktivite tayinlerinin yapılması amaçlanmaktadır. Ultraviyole (UV)-görünür Spektrofotometre analizi sonuçlarına göre, nanokristallerin karakteristik bir tepe noktası 441 nm'de belirlendi. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM) ve Atomik Güç Mikroskopisi (AFM) analizleri, biyosentezlenen AgNP'lerin morfolojik yapılarının küresel olduğunu gösterdi. XRD analizi sonuçlarına göre, AgNP'lerin kristal yapılarının merkez yüzlü kübik olduğu tespit edildi. Nanopartiküllerin boyutu, Debye-Scherrer denklemi kullanılarak 11.84 nm olarak hesaplandı. AgNP'lerin gıda patojenleri olan *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Escherichia coli* ATCC25922 ve *Candida albicans* üzerindeki inhibisyon etkileri Minimum İnhibitör Konsantrasyon (MİK) yöntemiyle belirlendi.

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

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: Associate Prof. Dr. Beşir DAĞ
2024, 64 Pages**

In this study, it is aimed to synthesize silver nanoparticles (AgNPs) using the green synthesis method using the oleaster (*elaeagnus angustifolia* L.) plant, to perform characterization analyzes of the synthesized AgNPs, and to determine the antibacterial activity of the synthesized AgNPs. According to the analysis results of Ultraviolet (UV)-visible Spectrophotometry, the nanocrystals exhibited a characteristic peak at 441 nm. Scanning Electron Microscope (SEM), Transmission Electron Microscopy (TEM), and Atomic Force Microscopy (AFM) revealed that the biosynthesized AgNPs possessed spherical morphologies. According to the XRD analysis results, the crystal structures of AgNPs were determined to be cubic with a central face. The size of the nanoparticles was calculated to be 11.84 nm using the Debye-Scherrer equation. The inhibitory effects of AgNPs on food pathogens including *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Escherichia coli* ATCC25922, and *Candida albicans* were determined using the Minimum Inhibitory Concentration (MIC) method.

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

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Nanoteknoloji	3
2.2. Nanopartiküller	4
2.2.1. Nanopartikül sınıfları	6
2.2.2. Nanopartiküllerin toksisitesi	8
2.2.3. Nanopartiküllerin uygulama alanları	9
2.2.4. Nanopartiküllerin üretim yöntemleri	10
2.3. Nanopartiküllerin Sentezi	11
2.4. Yeşil Sentez	12
2.4.1. Yeşil sentez karakterizasyonu	14
2.5. Gümüş ve Gümüş Nanopartiküller	16
2.5.1. Gümüş partiküllerin kullanım alanları	17
2.5.2. Gümüş partiküllerin biyosentezi ve kararlılığı	19
2.5.3. Gümüş nanopartiküllerin antimikrobiyal etkileri	20
2.5.4. Gümüş nanopartiküllerin yeşil sentezi	21
2.5.5. AgNP'lerin yeşil sentezinin mekanizması	22
2.5.6. AgNP'lerin bitkisel kaynaklar aracılığıyla elde edilmesi	22
2.6. AgNP'lerin Karakterizasyonu	24
2.6.1. UV-spektrofotometrik analizi	24
2.6.2. Minimum İnhibitör Konsantrasyon (MİK)/Minimum Bakterisidal Konsantrasyon (MBC)	24
2.6.3. Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM) ile morfolojik karakterizasyonu	25
2.6.4. XRD çalışmaları	25
2.6.5. Enerji Yayımlı X-Işınımı (EDX)	26
2.6.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	26
2.6.7. AgNP'lerin antimikrobiyal aktivitesi	26
2.7. İğde (Eleagence)	27
2.8. AgNP'lerin Yeşil Sentez Çalışmaları	29

3. MATERYAL VE METOT	36
3.1. EA Bitkisinin Toplanması	36
3.2. Çalışmada Kullanılan Kimyasallar ve Mikrobiyolojik Materyaller	36
3.3. İğde (<i>Elaeagnus Angustifolia</i>) Özütünün Elde Edilmesi	36
3.4. Metal Çözeltilisinin Hazırlanması	36
3.5. İğde (<i>Elaeagnus Angustifolia</i>) Özütü Aracılığıyla AgNP'lerin Sentezi	36
3.6. Kullanılan Materyaller	37
3.7. EA-AgNP'ler Yapısı ve Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Kullanılan Spektroskopik Cihazlar	38
4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR	40
4.1. <i>Elaeagnus Angustifolia</i> l. (EA) Bitki ekstraktında elde edilen EA-AgNP'lerin UV-Vis Analizi	40
4.2. XRD Verileri.....	41
4.3. EDX Verileri	41
4.4. Mikroskopi Verileri	42
4.5. AFM Analizi	43
4.6. EA-AgNP'lerin Antimikrobiyal Aktivite Çalışması.....	44
5. SONUÇLAR	46
KAYNAKLAR	48

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).	7
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. AgNP'lerin uygulama alanları	19
Şekil 2.10. Gümüş nanopartiküllerin yeşil sentezi	21
Şekil 2.11. Bitkiler aracılığıyla gümüş nanopartiküllerinin yeşil sentezi	22
Şekil 2.12. İğde (Elaeagnus)	28
Şekil 3.5. <i>E. Angustifolia</i> bitki özütü aracılığıyla AgNP'lerin oluşum mekanizması	37
Şekil 4.1. Elaeagnus Angustifolia bitki ekstraktında elde edilen AgNP'lerin UV-Vis analizi	40
Şekil 4.2. Elaeagnus Angustifolia bitki ekstraktından elde edilen EA-AgNP'lerin XRD analizi	41
Şekil 4.3. Elaeagnus Angustifolia L. bitki ekstraktında elde edilen AgNP'lerin EDX analizi	42
Şekil 4.4. Elaeagnus Angustifolia özütü tarafından sentezlenen AgNP'lerin morfolojik görünümünü gösteren TEM mikro grafisi	43
Şekil 4.5. <i>Elaeagnus Angustifolia</i> özütü tarafından sentezlenen AgNP'lerin morfolojik görünümünü gösteren SEM mikro grafisi	43
Şekil 4.6. EA-AgNP'lerin AFM görüntüsü	44

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 ₃	: Gümüş Nitrat
NP	: Nanopartikül
MNP	: Metal nanopartikül
AgNP	: Gümüş nanopartikül
XRD	: X Işınları 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 baktığınız 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).

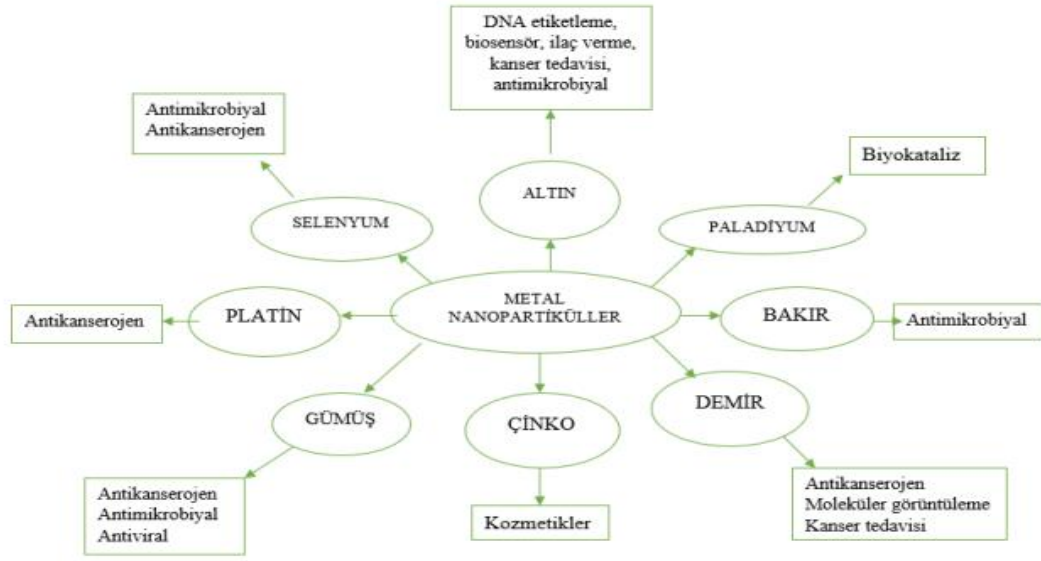
21. yüzyılın bilimleri arasında anahtar rol oynayan nanoteknoloji, nano ölçekte metal ve metal oksit maddelerin entegrasyonunda, yeniden inşa edilmesinde ve üretilmesi ile ön plana çıkmaktadır (Baran, 2019). Diğer bir taraftan, tarımda çok kullanılan ve küresel bir tehlike oluşturmaya başlayan pestisitlere 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 üç temel sınıfa ayrılır:

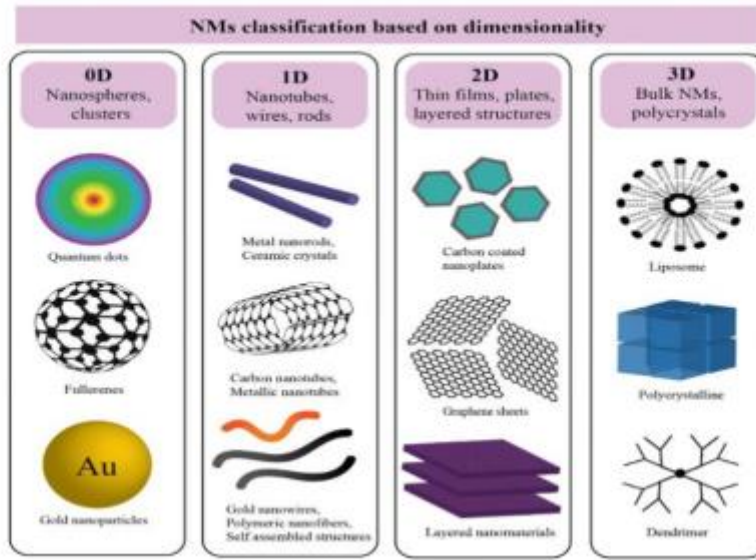
1. Tek boyutlu nanopartiküller
2. İki boyutlu nanopartiküller
3. Üç boyutlu nanopartiküller

Ultra küçük boyutlu nano yapılı 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 yapılı malzemeler, nanotüpler, nanoteller, nanolifler vb. başka özelliklere sahiptir. Nano yapılı 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 yapılı 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).

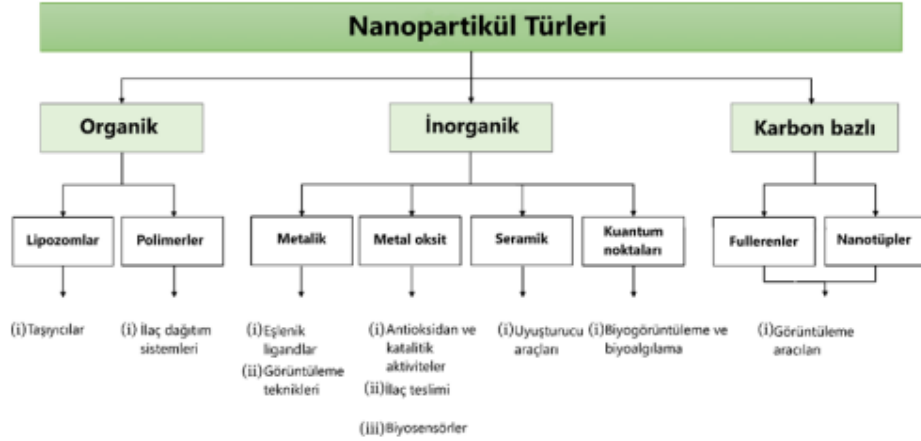
Üç boyutlu (3D) nano yapıları malzemeler, boyut olarak 100 nanometrenin altındadır. Bu malzemeler, nanokristal yapıya sahip ayrıca nano boyutlu özellikler de içerebilir. Fazla miktarda farklı nano boyutlu kristal düzenlerden oluşan nanokristal yapıya sahiptir. Nanopartikül dispersiyonları, multi nano plakalar ve nanotel demetleri gibi yapıları içeriyorsa nano ölçekte özelliklere sahiptir. Üç boyutlu nanoyapılı malzemeler atom boyutundaki boyutları, kimyasal içerikleri bakımından birbirinden apayrı 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 alınımının 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.

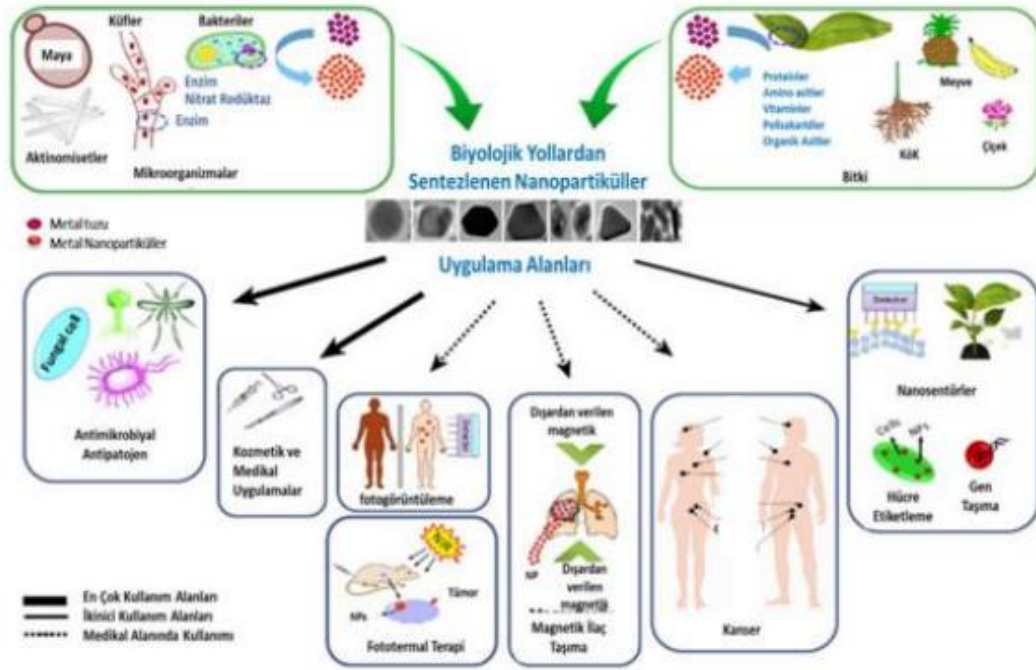
Türleşme; ayrı davranış, ayrı türler, toksisite ve etki gösterir (Örnek olarak; organik madde ya da oksidasyon durumu ile nanopartikül kompleksleri, C60'a karşı C70).

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 nanoparıküllerin uygulama alanları

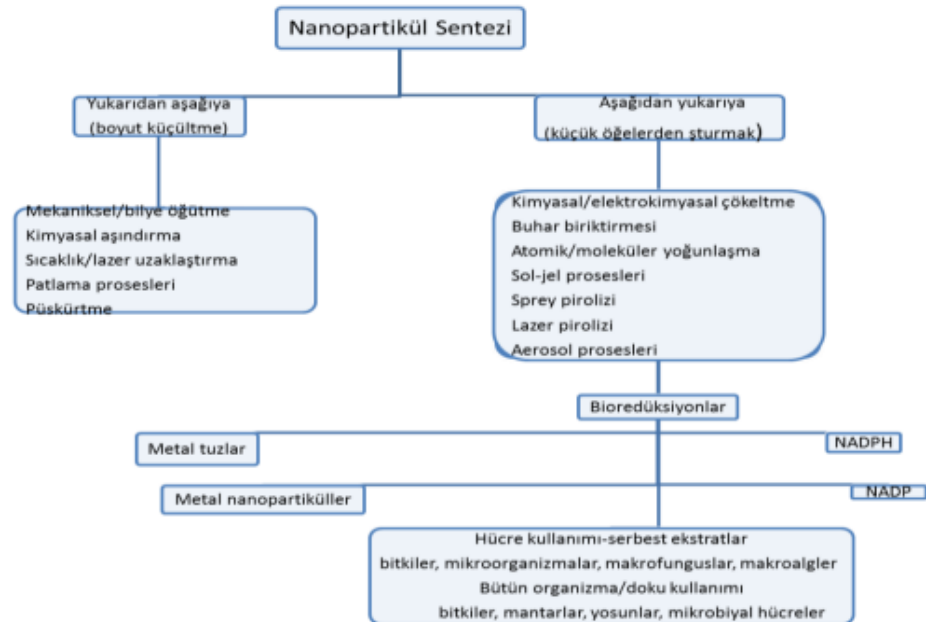
2.2.4. Nanopartiküllerin üretim yöntemleri

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).



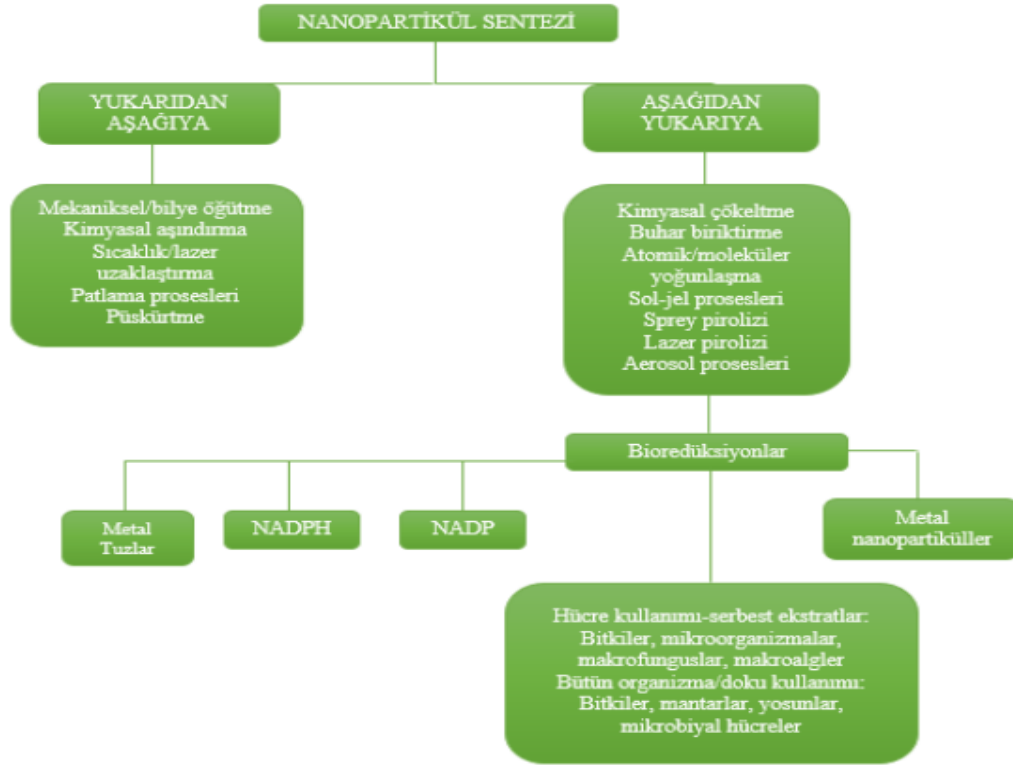
Şekil 2.6. Nanopartiküllerin oluşum aşamaları

- 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 biyouyumluluk, 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).

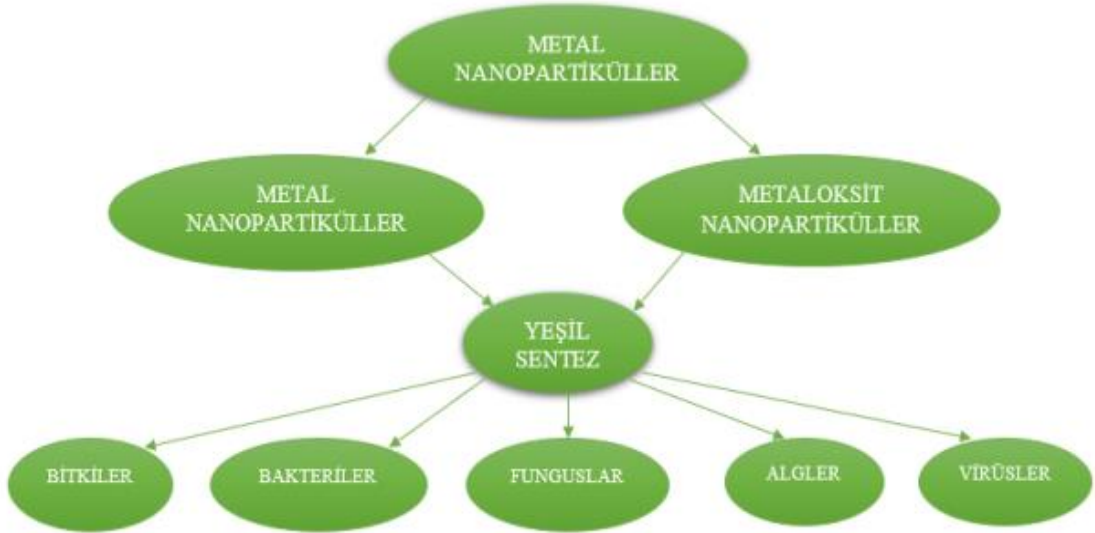
Fiziksel ve kimyasal yani geleneksel yöntemlere bir seçenek olarak, yeşil sentez (biyolojik sentez) yaklaşımında nanopartikül sentezinde; stabilize edici kimyasallara ve indirgeyicilere ihtiyaç duyulmadan sentez mümkün olmaktadır. Mikroalgler aracılığıyla metal nanopartiküllerin biyolojik sentezi; kimyasal kalıntı içermeyen, daha yüksek saflıkta, çevre ile biyouyumlu 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

Yeşil sentezle elde edilen nanomateriyallerin karakterizasyonu, bu materyallerin özelliklerini ve yapısını anlamak, kontrol etmek ve belirli uygulamalara uygunluğunu değerlendirmek için önemlidir. Karakterizasyon; nanomateriyallerin boyutu, şekli, kimyasal bileşimi, yüzey özellikleri ve diğer önemli özelliklerini belirlemek amacıyla çeşitli analitik tekniklerin kullanılmasını içerir. Yeşil sentezle üretilen nanopartiküller

genellikle çeşitli biyolojik kaynaklardan türetilmiş olduğu için özel karakterizasyon yöntemleri ve stratejiler gerekebilir.

Boyut ve Şekil Analizi: Nanopartiküllerin boyutu ve şekli, genellikle SEM ya da TEM gibi yüksek çözünürlüklü görüntüleme teknikleri kullanılarak belirlenir. Bu analizler, partikül morfolojisini ve uniformitesini değerlendirmemize olanak sağlar.

Kimyasal Analiz: Nanomateryallerin kimyasal bileşimi, genellikle X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS), enerji dağılımı spektroskopisi (EDS) ve nükleer manyetik rezonans (NMR) gibi teknikler aracılığıyla elde edilir. Bu analizler, nanopartiküllerin yüzey bileşimini ve kimyasal özelliklerini açığa çıkarır.

Kristal Yapı Analizi: Nanopartiküllerin kristal yapısı, genellikle X-ışını kırınımı (XRD) kullanılarak belirlenir. Bu analiz, kristal fazlarını, kristal boyutunu ve kristalin yapısını açığa çıkarır.

Yüzey Özellikleri: Nanopartiküllerin yüzey özellikleri, genellikle BET (Brunauer-Emmett-Teller) yüzey alanı analizi ve Zeta potansiyeli ölçümleri gibi teknikler kullanılarak değerlendirilir. Bu analizler, yüzey reaktivitesi, dispersiyon özellikleri ve stabilite hakkında bilgi sağlar.

Spektroskopik Analizler: Nanopartiküllerin spektroskopik özellikleri, özellikle biyolojik kaynaklardan türemiş olup Fourier transform infraruj (FT-IR) spektroskopisi veya Raman spektroskopisi gibi tekniklerle incelenebilir. Bu analizler, materyalin kimyasal bağlarını ve moleküler yapılarını belirlemede yardımcı olur.

Yeşil sentezle elde edilen nanomateryallerin karakterizasyonu, bu materyallerin özelliklerini anlamak ve uygulamalar için optimize etmek açısından kritik öneme sahiptir. Bu analizler, nanoteknoloji alanında ilerlemelerin ve yeşil sentezle üretilen nanomateryallerin çeşitli uygulamalarda kullanılmasının temelini oluşturur.

2.5. Gümüş ve Gümüş Nanopartiküller

Gümüş, antik çağlardan bu yana su ve süt içine atılarak gıdaların raf ömrünü uzatmak, gümüş kap ve aletler kullanarak gıda saklamada başarı elde etmek amacıyla kullanılmıştır. Örneğin, suyun ve sütün içine gümüş paralar atılmış ve oda sıcaklığında bakteriyel büyümenin önüne geçildiği görülmüştür. Ulusal Havacılık Ve Uzay İstasyonunda uzay mekiğinde ve Rusya'daki uzay istasyonu kullanılan sularda antimikrobiyal ajan olarak gümüş içerdiği rapor 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 AgNO₃ çözeltisi kullanılmaya başlanmıştır. 1968'de gümüş nitratin sülfonimid ile birleştirilmesiyle gümüş sülfadiazin kremi elde edilmiş, bu krem 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 arttırılabilir. 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

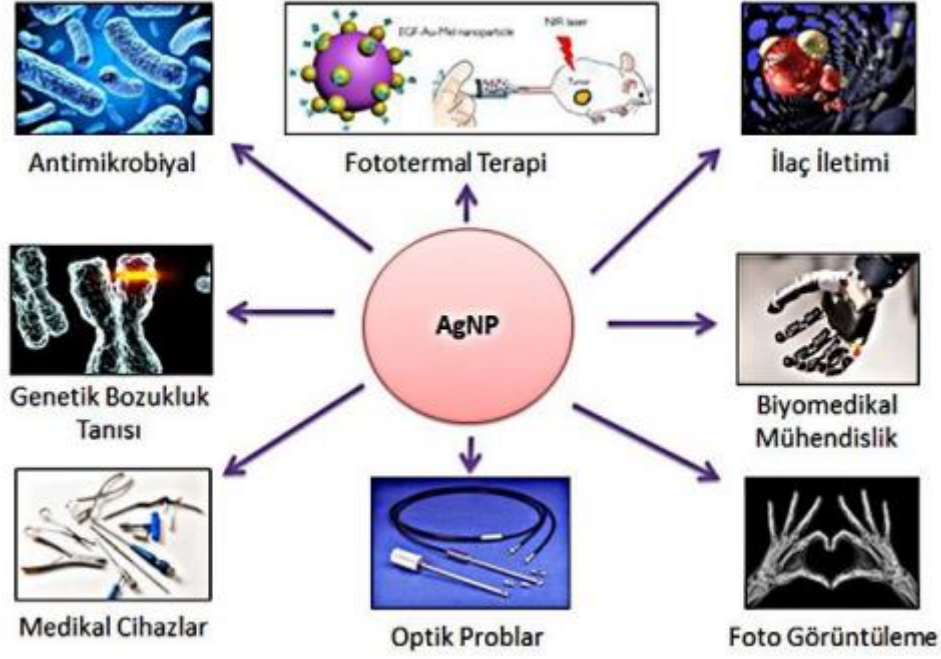
Eşsiz kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı gıdada, tıbbi alanda, sağlıkta, tüketici ve endüstriyel amaçlar da içinde olacak şekilde farklı alanlarda gümüş nanopartiküller kullanılmakta ve önemi artmaktadır. Bu özelliklere yüksek elektriksel iletkenlik ve biyolojik özellikler ve termal özellikler 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. AgNP'lerin uygulama alanları

2.5.2. Gümüş partiküllerin biyosentezi ve kararlılığı

Bitki materyali veya bitki doku kültürü ile gümüş nanopartiküllerin (AgNP'ler) biyosentezi; basit, hızlı, verimli ve çevre dostu bir teknik olarak öne çıkmaktadır. Bu teknik, bitki dokularının kullanımıyla gerçekleştirilen kallus üretimi ile başarılı bir şekilde uygulanabilir. Bitkinin yaprak, sürgün, kök veya çeşitli organlarından elde edilen hücre kültürleri, AgNP'lerin stabilizasyonu için önemli olan çeşitli polar grupları içeren kallus ekstraktları olarak kullanılabilir (Karahan & Çölgeçen, 2021; Yavuz, 2024).

Gümüş nanopartiküllerin yüzeyine tutunan biyomoleküller elektrostatik ve iyonların ve moleküllerin şeklini ve reaktivitesini etkileyen bağ oluşturmaya etkileşimler aracılığıyla gerçekleşir. Bu reaksiyonlar, pozitif gümüş iyonlarına bağlanan uygun bir stabilizatörün varlığında ortaya çıkar. DNA, RNA, antikor, aptamer ve peptit gibi biyomoleküller, gümüş nanopartikülün yüzeyine immobilize edilebilir. Immobilizasyon 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, hidrofobik etkileşimler ve elektrostatik etkileşimler gibi çeşitli mekanizmalar aracılığıyla gümüş nanopartiküllere bağlanabilir. Örneğin, sitrat kaplı AgNP'ler, tiol, antikor, amin, protein ve polimer gibi çeşitli moleküllerle kolayca etkileşime girer. Ayrıca polivinilpirolidon (PVP), AgNP'lerin yüzeyine güçlü bir şekilde bağlanabilir ve bu tanik asit veya sitrat kaplı AgNP'lere kıyasla daha yüksek stabilite gösterebilir. Biyomoleküllerin gümüş nanopartiküllerin yüzeyine bağlanması daha çok karboksil (COOH) gruplar ya da amin grupları ile 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 mikropartiküllerle kıyaslanan nanopartikül formundaki gümüş, daha fazla gümüş iyonu (Ag^+) ortaya çıkarmaktadır. Ag^+ iyonları ortama salınır ve gümüşün antibakteriyel etki oluşturmamasını 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 çıkarılır (Halıcı et al., 2021).

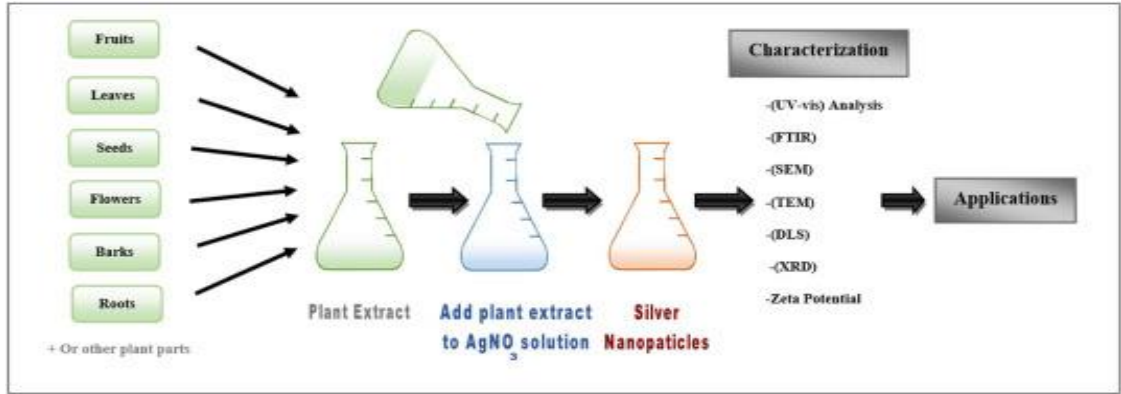
2.5.4. Gümüş nanopartiküllerin yeşil sentezi

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. AgNP'lerin 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. AgNP'lerin 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 anlaşılamamıştır. 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 ekstreleri 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. AgNP'lerin Karakterizasyonu

2.6.1. UV-spektrofotometrik analizi

Ultraviyole Görünür Bölge Spektrofotometresi (UV-vis spektrofotometresi), ultraviyole-görünür spektral bölgede yansıma ya da absorpsiyon spektroskopisi anlamına gelmektedir (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 karakterizasyonu için hassas, pratik, hassas hızlı ve seçicidir. UV-vis spektrofotometrisi analizinde, çözeltide bulunan bir bileşen tarafından emilen görünür radyasyon ya da ultraviyole miktarını tayin eder. Yüzey plazmon rezonans (SPR) bandı üreten birleşik salınımla gümüş nanopartiküllerin elektronları rezonans halindedir. 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. 200-800 nm arasında absorpsiyon bantları üreten nanopartiküllerin karakterizasyonunda Ultraviyole Görünür Bölge Spektrofotometresi analiz yöntemi kullanılabilir (Çelik, 2024; Rónavári et al., 2021).

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

Hedef alınan mikrobun 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 (Srikar 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 2θ 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 diğer bir ifade ile Enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi gümüş nanopartiküllerin elementel analizlerini ve kompozisyonunu elde etmek 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 şeklini, morfolojisi, agreasyonunu, partikül boyutu, dağılımını ve yapı gibi özelliklerini tanımlamak için kullanılan görüntüleme analiz yöntemine SEM denir. Tüm bunlar dikkate alındığında nanopartiküllerin karakterizasyonu SEM ile gerçekleştirilmektedir (Dağlıoğlu, 2018; Vijayaram et al., 2023). Numune yüzeyinin üç boyutlu görüntülerini elde etmek amacıyla SEM tekniği kullanılmaktadır. SEM yöntemiyle, gümüş nanopartikül numunesinin yüzeyinde taranan yüksek enerjili bir elektron ışını kullanılmaktadır. Daha sonra geri saçılan elektronların gözlemlenmesi yoluyla numunenin karakteristik özellikleri belirlenir (Rajeshkumar & Bharath, 2017).

2.6.7. AgNP'lerin antimikrobiyal aktivitesi

Nano ölçekli malzemeler yani gümüş nanopartiküller vb. yüksek yüzey hacim alanına sahiptir. Kendilerine özgü fiziksel ve kimyasal özellikleri sebebiyle yeni ajanlar olarak ön plana çıkmaktadırlar. Gümüş tuzlarına kıyasla gümüş nanopartiküller, antimikrobiyal aktivitelerini daha verimli bir şekilde aracılık ettirmektedir. Gümüş nanopartiküllerin farklı hedeflerde farklı etkiler göstermesi, antimikrobiyal direnç mekanizmalarına herhangi bir müdahale beklenmemesine sebep olmaktadır. Biyolojik olarak aktif olan Ag^+ iyonlarının sulu çözeltilerde iletilmesi sonucunda antimikrobiyal etkiyi artırdığı düşünülmektedir (Cavassin vd. 2015). Gümüş nanopartiküllerin boyutu, yoğunluğu, biyolojik etkisi ve morfolojilerine bağlı olarak değişmektedir. 20 nm'den küçük nanopartiküller, diğer partiküllere kıyasla büyük bir yüzey-boyut oranına sahiptir. Bu durum mikrobiyal hücrelere daha verimli bir şekilde bağlanmalarını sağlar. Plazma ve hücre duvarına daha kolay nüfuz eder. Biyolojik yöntem ile sentezlenen nanopartiküllerin morfolojiye bağlı aktivitesi hakkında henüz mevcut veri bulunmamakta

fakat biyolojik yöntem sırasında kullanılan kaplama ve indirgeyici maddelerinin aynı zamanda nanopartiküllerin biyolojik aktivitesini de etkileyebileceği düşünülmektedir (Rónavári et al., 2021).

Gümüş nanopartiküllerin (AgNP'lerin) biyolojik sentez yöntemiyle üretimi, antimikrobiyal etkileri ve uygulama alanları üzerine yapılan çalışmalar, nanoteknolojinin önemli bir yönünü oluşturmaktadır. Bu çalışmaların sonuçları, AgNP'lerin farklı boyutları, morfolojileri ve konsantrasyonlarına bağlı olarak değişen antimikrobiyal aktivitelerini anlamamıza yardımcı olmaktadır. Ayrıca, yeşil sentez yönteminin AgNP'lerin biyolojik etkilerini nasıl etkilediği ve bu etkilerin morfoloji gibi faktörlere nasıl bağlı olduğu da araştırma alanı olarak ilgi çekmektedir. AgNP'lerin biyolojik sentez yöntemiyle üretimi ve özellikleri, gelecekte antimikrobiyal ajanların geliştirilmesinde ve uygulanmasında önemli bir rol oynayabilir.

2.7. İğde (Eleagence)

'Elaeagnus Angustifolia, *Elaeagracea* ailesindendir'(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, α -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-inflamatuar 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

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

2.8. AgNP'lerin 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 tespit edilmiştir. *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 sahip olduğu tespit edilmiştir (Mortazavi-Derazkola et al., 2021).

Yeşil sentez yöntemiyle üretilen gümüş nanopartiküllerin *Rumex acetosella* L. bitkisi kullanılarak sentezlenmesiyle antimikrobiyal etkiler incelenmiştir. Elde edilen gümüş nanopartiküllerin analizi UV-vis, XRD, TEM, FT-IR, SEM-EDX, Zeta Sizer ve Zeta Potansiyeli gibi yöntemlerle gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucu gümüş nanopartiküllerin küresel, beşgen ve altıgen yapılara sahip olduğu tespit edilmiştir. Gümüş nanopartiküllerin 29.16 nm boyutta olduğu ve -9.88 mV zeta potansiyeline sahip olduğu analizler sonucu elde edilmiştir. Gümüş nanopartiküllerin antimikrobiyal etkileri, gram pozitif ve gram negatif bakteriler ile *Candida albicans* mantarı üzerinde Minimum İnhibisyon Konsantrasyonu (MİK) değerlerinin belirlendiği mikrodilüsyon yöntemiyle değerlendirilmiştir. Bu veriler ışığında, gümüş nanopartiküllerin düşük yoğunluklarda ticari antibiyotiklere kıyasla daha güçlü antimikrobiyal aktivite sergilemiştir (Bütüner, 2022).

Diospyros kaki L. bitkisinin yaprakları ile gümüş nanopartiküller kullanılarak elde edilen özüt çevre dostu bir yöntemle sentezlenmiştir. Sentez sonucunda elde edilen gümüş nanopartiküllerin özellikleri SEM, TEM, TGA-DTA, FTIR, FESEM, AFM, EDX, XRD, Zeta boyut ve zeta potansiyeli gibi çeşitli cihazlar kullanılarak karakterize edilmiştir. Gümüş nanopartiküllerin karakterizasyon verilerinde 453.34 nanometre dalga boyunda maksimum absorbans sahip olduğu tespit edilmiştir. Ortalama 27.12 nm boyut dağılımı, yüzey yükü -22.4 mV ve küresel bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir. Patojen suşlar üzerinde gümüş nanopartiküller 0.03-0.06 µg ml⁻¹ konsantrasyonlarının üreme üzerinde baskılayıcı etki göstermesi mikro dilüsyon tekniğiyle belirlenmiştir. Sentezlenen gümüş nanopartiküllerin kanser hücre hatları üzerinde sitotoksik etkileri MTT metodu kullanılarak 25-200 µg ml⁻¹ konsantrasyonlarında incelenmiştir. Kanser hücrelerinin çoğalmasını baskıladığı görülmüştür (Ölçekçi, 2022).

Pistacia Vera L. dış kabuklarının ve *Cotinus coggygia* Scop. yaprakları su ekstraktlarıyla gümüş nanopartiküllerin yeşil sentezle üretildiği çalışmada gümüş nanopartiküllerin özellikleri TEM ve FTIR analizleriyle belirlenmiştir. *Pistacia Vera* L. dış kabuklarının sulu ekstraktıyla sentezlenen gümüş nanopartiküllerin bakterilere karşı etkili olduğu tespit edilmiştir. *Cotinus coggygia* Scop. yapraklarının su ekstraktı ile sentezlenen gümüş nanopartiküllerin ise geniş bir bakteri yelpazesine karşı güçlü

antimikrobiyal aktivite gösterdiği görülmektedir. Antioksidan aktiviteleri DPPH ve Toplam İndirgeme gücü yöntemleriyle belirlenmiş ve *Cotinus coggygia* Scop. ve *Pistacia Vera* L. ekstralarında etanol kullanılmış standartlarla karşılaştırılmıştır. Bu veriler çerçevesinde bu bitki ekstralarının sağlık ürünlerinde ön planda olduğu, önemli serbest radikalleri nötralize edip etkisiz hale getiren maddeler olabileceğini açığa çıkarmıştır (Çiftçi, 2019).

Elma ekstraktı indirgeyici madde ve öncü olarak sulu gümüş nitrat çözeltisi kullanılıp sentezlenen gümüş nanopartiküllerin oluşumu, karışımın renksizden koyu kahverengiye doğru bir renk değişimi olarak gözlemlenmiştir. X ışını kırınımı sadece gümüş kristalitlerinin varlığını doğrulamıştır. UV-vis ve FTIR gümüş nanopartiküllerin oluşumu için kapatma maddesi ve indirgeyici madde olarak etilen gruplarını tanımlamıştır. DLS, AgNP'lerin ortalama boyutlarının $30,25 \pm 5,26$ nm olduğunu varsaymıştır. Süspansiyondaki gümüş nanopartiküller Gram-negatif ve Gram-pozitif bakterilere karşı, minimum bakterisit konsantrasyonları (MBC'ler) 125 µg/mL ila 1000 µg/mL aralığında olarak aktivite göstermiştir (Ali et al., 2016).

Yapılan bir çalışmada *Onosma mutabilis* bitkisinin kök özütü kullanılarak yapılan gümüş nanopartiküllerin biyolojik yaklaşımıyla gerçekleştirilmiş ve 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, yaklaşık 26-100 nm boyutlarında ve kübik yapıda nanopartiküllerin oluştuğu tespit edilmiştir. DPPH yöntemi kullanılarak, ekstraktların antioksidan aktivitesi incelenmiş ve en yüksek DPPH serbest radikali giderme aktivitesi %59.36 inhibisyon olarak bulunmuştur (Valiyeva, 2023).

Olae europaea L. yaprakları kullanılarak yeşil sentez yöntemi ile yapılan bir çalışmada elde edilen 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, antibiyofilm 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, antibiyofil aktivite ve hücre bileşenlerinin etkisi olduğu tespit edilmiştir (Ceylan, 2023).

Yeşil sentezle üretilen *kızılcık ve adaçayı* bitkilerinden elde edilen gümüş nanopartiküllerin özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca antimikrobiyal aktivitelerinin de araştırıldığı bir çalışmada, adaçayı ve kıızılcıktan saf su kullanılarak oda sıcaklığında ve 60°C olmak üzere iki farklı sıcaklıkta özüt hazırlanmıştır. Elde edilen bu özütler gümüş nitrat çözeltisi ile reaksiyona girerek gümüş nanopartiküller elde edilmiştir. Reaksiyon sonucu oluşan gümüş nanopartiküllerin antimikrobiyal aktivitesi belirlenmiştir. Adaçayından elde edilen gümüş nanopartiküllerin *Listeria monocytogenes* (*L. Monocytogenes*) ve *E. coli* O157:H7 üzerinde etkili olmadığı fakat *S. aureus* ve *Salmonella Typhi* (*S. Typhi*) üzerinde 25 mg/mL konsantrasyonunda AgNP'lerin 7 mm zon oluşturduğu görülmüştür. Kıızılcıktan elde edilen gümüş nanopartiküllerin 25 mg/mL konsantrasyonundaki AgNP'lerin *L. monocytogenes*, *S. aureus* ve *S. Typhi* üzerinde sırasıyla 9, 9, 7 mm zon oluşturduğu elde edilmiş ancak oda sıcaklığında elde edilen gümüş nanopartiküllerin *E. coli* O157:H7 üzerinde etkili olmadığı belirlenmiştir. 60°C'de kıızılcıktan elde edilen gümüş nanopartiküllerin *L. monocytogenes*, *S. Typhi* ve *E. coli* O157:H7 üzerinde etkili olmadığı fakat iki farklı konsantrasyonda elde edilen gümüş nanopartiküllerin *S. aureus* üzerinde 9 mm zon oluşturduğu gözlemlenmiştir (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 ile ortalama 32,75 nm 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 annuum* 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 gibi ağır metallere karşı değişen oranlarda katalitik aktivite ve antibakteriyel etki gösterdiği 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 (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, taramalı elektron mikroskobu, Ultraviyole Görünür Bölge Spektrofotometresi, 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. EA Bitkisinin Toplanması

Tez Çalışmasında kullanılan EA bitkisi ilkbaharda toplandı. Toplanan EA bitkisi çeşme suyu ve ardından saf su ile birkaç kez yıkandı. Daha sonra oda koşullarında kurutuldu.

3.2. Çalışmada Kullanılan Kimyasallar ve Mikrobiyolojik Materyaller

Gümüş nanopartikül oluşumu için analitik saflıkta AgNO_3 tuzu kullanıldı. Antimikrobiyal aktivite için vancomisin, colistin ve frukanozol antibiyotikleri ticari olarak temin edildi.

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

İğde (*Elaeagnus Angustifolia*) bitkisinin yeşil yaprakları ilkbahar ayında toplandı. Bitkinin taze yeşil yaprakları çeşme suyu ile yıkanmış, sonrasında arıtılmış suyla durulanarak oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Kurumuş yapraklar daha sonra küçük parçalara kesilmiş ve 250 mL distile su içinde 5 dakika kaynatılmıştır. Kaynatma işlemi sonrasında karışım oda sıcaklığına soğutulmuş ve daha sonra süzme işlemi için Whatman No.1 süzgeç kağıdı kullanılarak hazır hale getirilmiştir. Bu işlemin, sentez için uygun hale getirilmesini sağlamıştır. Daha sonra gümüş nanopartikülleri sentezlemek için kullanıldı.

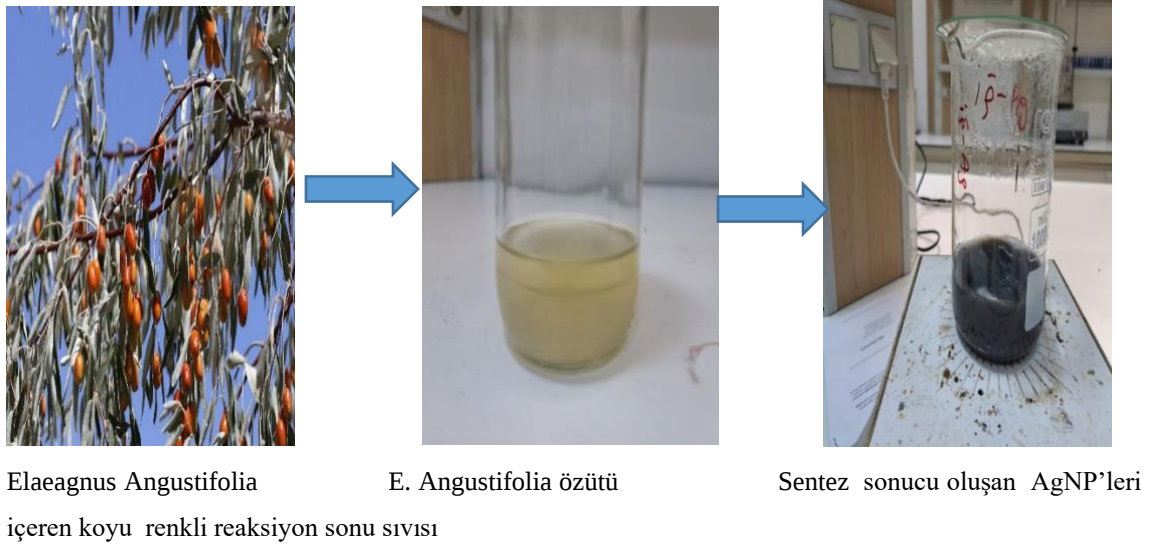
3.4. Metal Çözeltisinin Hazırlanması

Sigma aldrich gümüş nitrat (AgNO_3) katı bileşik formundan 5.00 mM (milimolar) konsantrasyona sahip çözelti sentez öncesinde hazırlandı.

3.5. İğde (*Elaeagnus Angustifolia*) Özütü Aracılığıyla AgNP'lerin Sentezi

Hazırlanan *Elaeagnus Angustifolia* özütü ve 5.00 mM konsantrasyonda hazırlanan AgNO_3 çözeltisi karıştırıldı. Manyetik karıştırıcı üzerinde 45 °C'de beş dakika karıştırıldı. Renk değişiminin izlenmesi bakımından zamana karşı gözlem

yapıldı. Sentez ortamından zamanla değişen renk şiddeti ile numuneler alarak UV-vis ölçümler yapıldı. Maksimum dalga boylarında elde edilen absorbanlar değerlendirildi. Reaksiyon toplamda 30 dakika sürdü. Şekil 3.5.'te AgNP'lerin özüt aracılığıyla sentez mekanizması verildi. Özüt içeriğinde bulunan fitokimyasalların aktif bileşenleri sulu bir ortamda iyonize olan Ag^+ formunu Ag^0 durumuna indirgeyerek AgNP'lerin oluşumunu sağladı.



Şekil 3.5. *E. Angustifolia* bitki özütü aracılığıyla AgNP'lerin oluşum mekanizması

3.6. Kullanılan Materyaller

- Gümüş Nitrat tuzu ($AgNO_3$)
- Ticari Antibiyotikler
- Falcon tüp
- Pipet ucu

- Pastör pipet
- E. Angustifolia bitkisi
- Beher
- Balon
- Bakteri suşları (Gram pozitif, gram negatif, mantar suşu)

3.7. EA-AgNP'ler Yapısı ve Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Kullanılan Spektroskopik Cihazlar

- **XRD:** EA-AgNP'lerin kristal deseni ve yapılarının değerlendirilmesi için XRD cihazı aracılığıyla 2θ 'da alınan ölçüm verileri kullanıldı. XRD analizinde 10-80 arasında ölçülen spektrumlarda 111° , 200° , 220° ve 311° 'ye karşılık gelen pikler değerlendirildi.
- **SEM:** EA-AgNP'lerin morfolojik yapıları ve nanopartiküllerin görünümünün değerlendirilmesi için çeşitli SEM mikroskopi görüntüleri değerlendirildi.
- **EDX:** EA-AgNP'lerin yapısında var olan element kompozisyonları değerlendirildi.
- **UV-VİS:** Çalışmada 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).
- **Antimikrobiyal Etki Çalışmaları**
Elaeagnus Angustifolia AgNP'lerin patojen suşların üremelerinin baskılamasının değerlendirilmesi için antimikrobiyal aktivite çalışmaları mikro dilüsyon yöntemi ile yapıldı. Sentezlenen EA-AgNP'lerin gram pozitif, gram negatif ve mantar suşlar üzerinde değerlendirilmeleri yapıldı. EA gümüş nanopartiküllerin Minimum İnhibitör Konsantrasyonu

(MİK) yöntemiyle, Gram pozitif *S. aureus* ATCC 29213 ve Gram negatif *E. coli* ATCC 25922 bakterilere karşı, ve mantar için *C. albicans* suşlarına karşı 24 saat inkübasyona bırakılarak belirlendi. Antimikrobiyal aktivite belirlenmesinde minimum inhibe edici konsantrasyon (MİK) yöntemi kullanıldı (Patil ve ark., 2018).

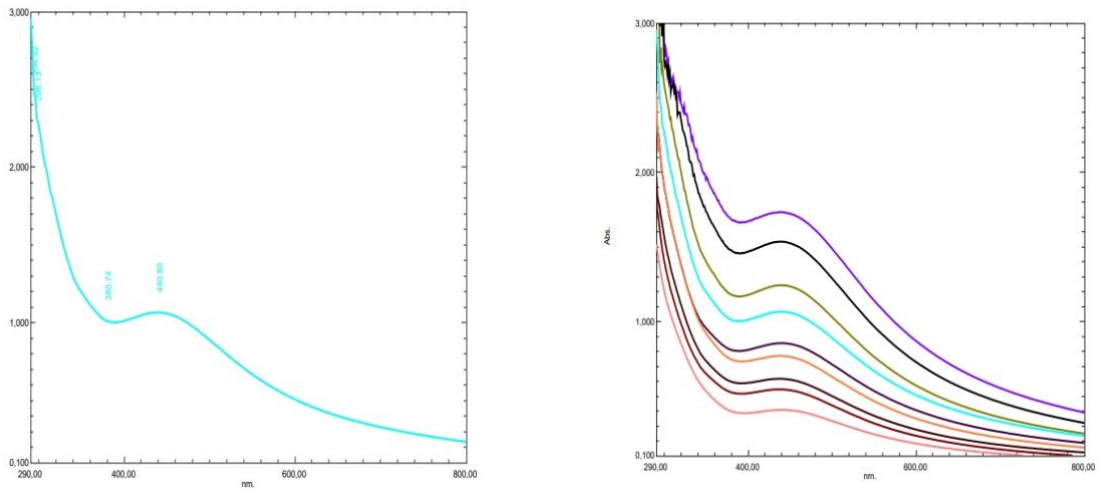
Mikrodilüsyon yöntemiyle gerçekleştirilen uygulamalarda, 96'lı mikrolaka kuyucuklarına önceden hazırlanan besiler eklendi. Belirli yoğunluklarda bir dizi dilüsyon yapıldıktan sonra gümüş nanopartiküller suda çözündükten sonra ilave edildi. Sonrasında 0.5 McFarland'a göre ayarlanmış mikroorganizma çözeltilerinden belirli miktarda eklendi. 37°C'de 24 saat boyunca inkübasyona bırakıldı. İnkübasyon sonrasında üreme gözlenmeyen en düşük konsantrasyon Minimum İnhibitör Konsantrasyonu değeri olarak belirlendi (Çelik, 2024).

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

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

UV-vis spektroskopisi analizinde farklı zamanlarda 15, 30 ve 60 dakikalarda alınan örneklerde gümüş nanoparçacıklarının oluşumu gözlemlenmiştir. Şekil 4.1.'de görüldüğü üzere oda sıcaklığında 1 saat karıştırılarak elde edilen renk değişimi gözlemlendi. Numuneler UV-vis aracılığıyla 290-800 nm dalga boyu aralığında taramalar yapıldı.

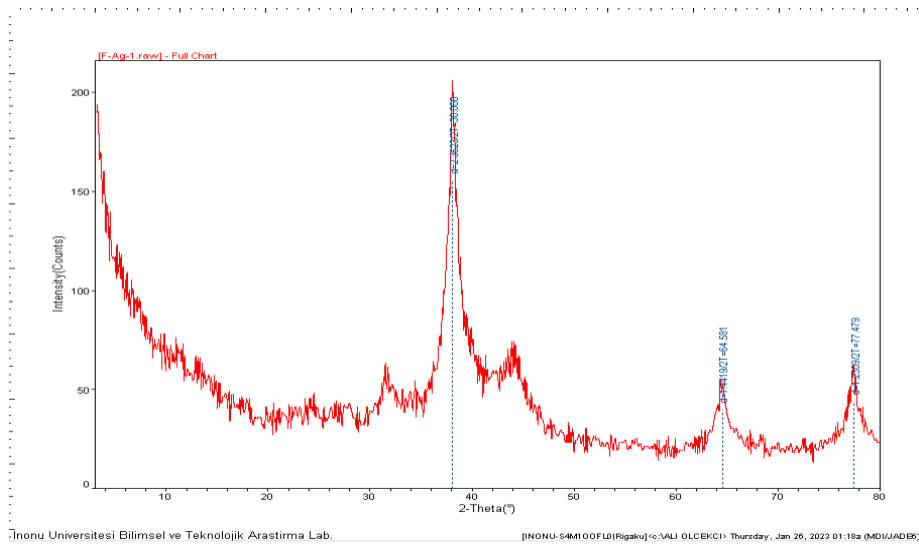
Renk değişimine bağlı plazma yüzeyindeki titreşimlerin (SPR) varlığı UV-vis aracılığıyla ölçülen gümüşe ait karakteristik maksimum dalga boylarında alınan absorbanlarla doğrulandı. (Bharathi et al., 2023). Renk değişiminin absorbans değeri 441 nm'de belirgin plazmon rezonansı belirlenmiştir. Bu AgNP'lerin oluşumunu gösteren verilerdir.



Şekil 4.1. *Elaeagnus Angustifolia* bitki ekstraktında elde edilen AgNP'lerin UV-Vis analizi

4.2. XRD Verileri

Elaeagnus Angustifolia özütü tarafından sentezlenen partiküllerin XRD aracılığıyla düzleme yansıyan kristal desenleri Şekil 4.2.'de verildi. AgNP'lerin kristal yapılarına ait, 10-80 aralığında 2θ da alınan datalar gösteriyor ki (111), (200), (220) ve (311) piklerine ait Bragg açılarına ait genişlemeler gümüşe ait karaktistik noktalar. 2θ değerlerine karşılık gelen (38.06° , 64.58° , ve 77.48°) değerleriyle hesaplanmıştır. Yüzey merkezli kübik (fcc) kristal desen sahip olduğu görülen AgNP'lerin Debye-sherer eşitliği kullanılarak ($D = K\lambda/(\beta \cos \theta)$) ve 111 alınan FWHM değeri kullanılarak ile kristal nano boyutları hesaplandı. Hesaplama sonucunda AgNP'lerin 11.84 nm kristal nano boyuta sahip oldukları belirlendi.

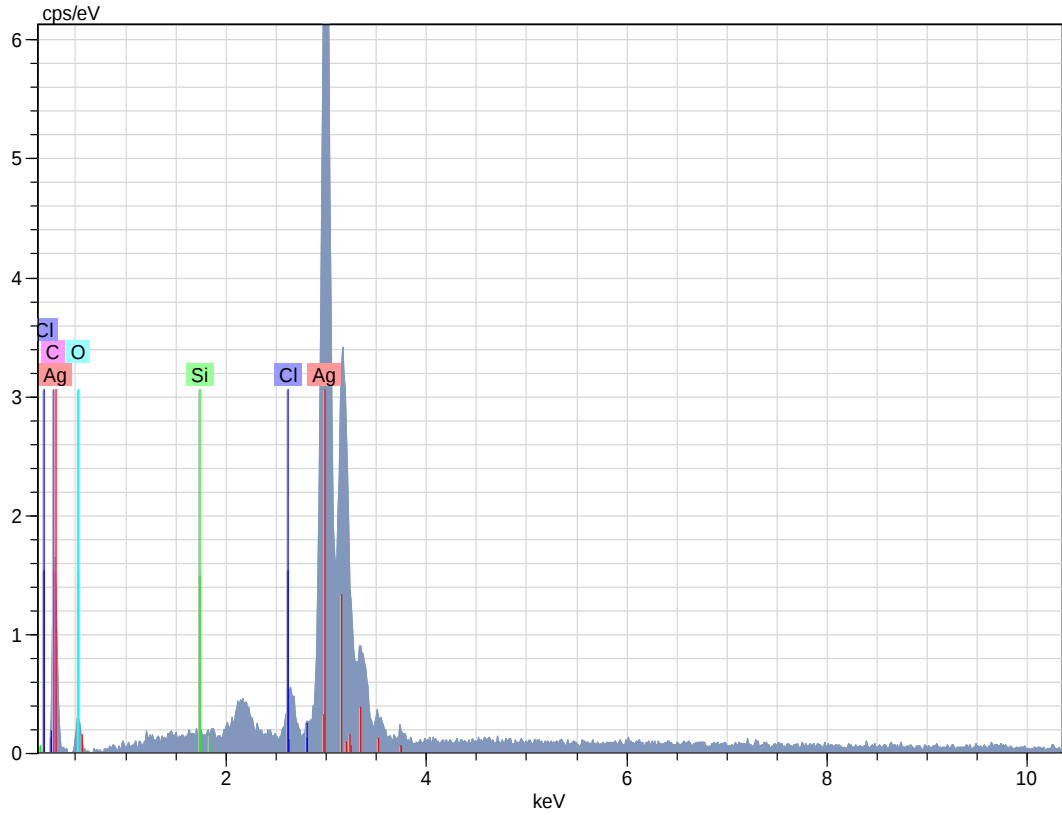


Şekil 4.2. Elaeagnus Angustifolia bitki ekstraktından elde edilen EA-AgNP'lerin XRD analizi

4.3. EDX Verileri

Elaeagnus Angustifolia L. özütü tarafından sentezlenen partiküllerin element kompozisyonları Şekil 4.3.'te verilen EDX grafisi aracılığıyla değerlendirme yapılarak belirlendi. Grafide güçlü gümüş piklerinin varlığı sentezlenen partiküllerin AgNP'ler olduğunu gösterdi. Sentez sonucu % 68,19 Ag karakterizasyonu ve biyosentezinde EDX spektrumu kullanarak gümüş metal nanoparçacıkların varlığı belirtilmiştir. Grafide yer

alan karbon, oksijen, klor, silisyum gibi diğer zayıf pikler bitki özütünde yer alan fitokimyasalların biyoaktif gruplarına aittir.

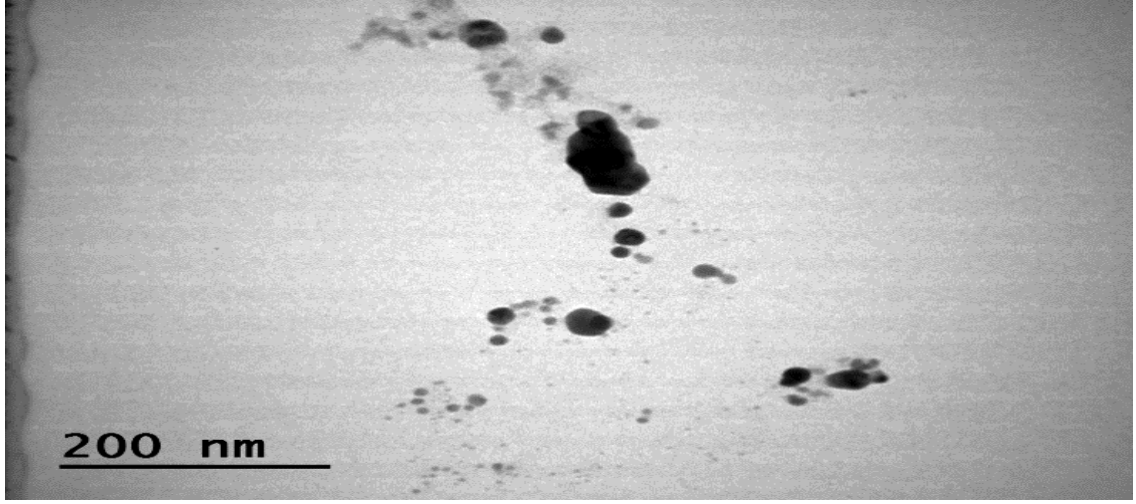


Şekil 4.3. Elaeagnus Angustifolia L. bitki ekstraktında elde edilen AgNP'lerin EDX analizi

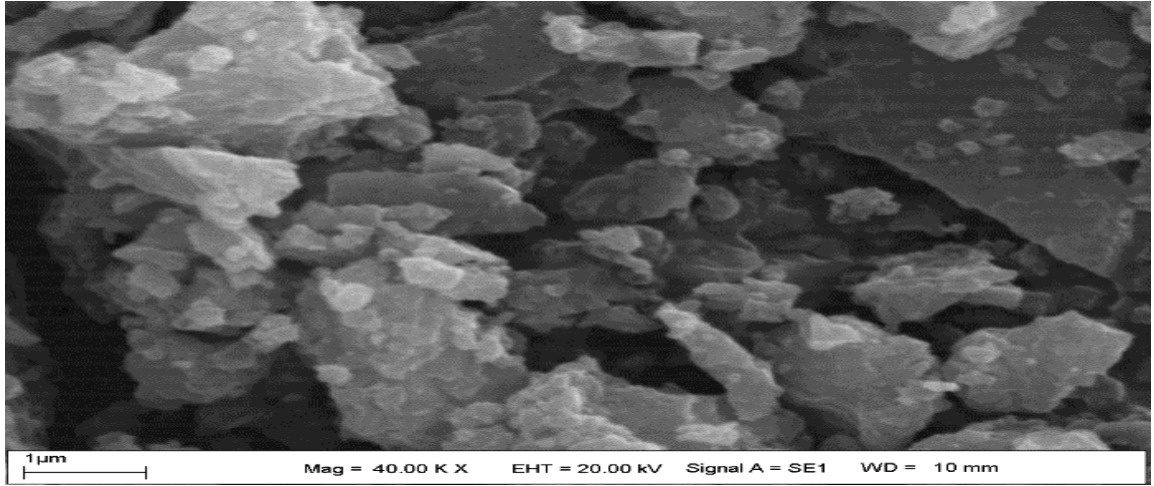
4.4. Mikroskopi Verileri

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 görünüme sahip oldukları SEM analiz metodu ile ortaya konulmuştur (Rehman et al., 2023).



Şekil 4.4. *Elaeagnus Angustifolia* özütü tarafından sentezlenen AgNP'lerin morfolojik görünümünü gösteren TEM mikro grafisi

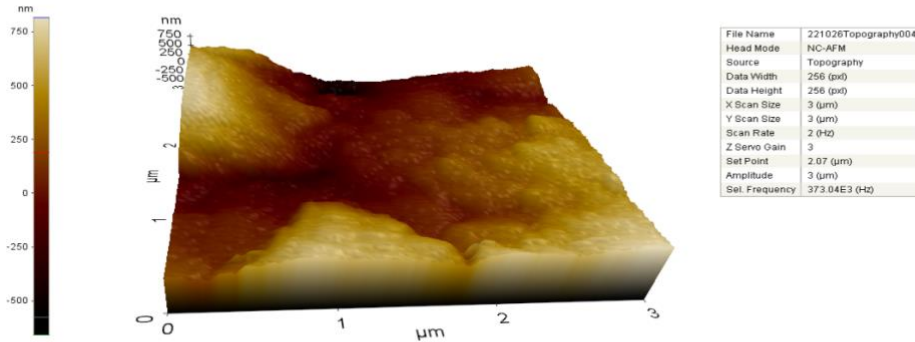


Şekil 4.5. *Elaeagnus Angustifolia* özütü tarafından sentezlenen AgNP'lerin morfolojik görünümünü gösteren SEM mikro grafisi

4.5. AFM Analizi

AgNP'lerin üç boyutlu topografik görüntüleri 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 özütü tarafından elde edilen AgNP'lerin *P. aeruginosa* ATCC 27833, *S. aureus* ATCC 29213, *C. albicans* ATCC 10231, *E. Coli* ATCC 25922 mikroorganizmalarının üremelerinin baskılanması üzerinde etkinlikleri mikro dilüsyon yöntemi kullanılarak incelendi. Çalışmada sentezlenen gümüş nanopartiküllerin sırasıyla *E. Coli*, *Bacillus Subtilis* ve *Candida Albicans* suşları üzerindeki etki değeri 0.556, 1.12 ve 1.12 olarak belirlenmiştir. Antibiyotiklere karşı kıyaslandığında gram negatif (*E. Coli*) bakteri suşunun ve *Candida albicans* suşunun etkili olduğu Tablo 1 'de verilmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada ise *Elaeagnus Angustifolia* ekstraktının *Candida albicans* maya türünü ve gram negatif olan *E. Coli* bakterisinin gelişimini engellediği bulunmuştur.

Bakterilerin membran yapısında ve fonksiyonlarında bazı bozuklukların oluşmasına sebep olan durum gümüş nanopartiküllerin mikroorganizmalarla etkileşimidir. ROS'ta bir artış meydana gelir ve bu durum daha çok membran yapısında yer alan enerji metabolizması üzerindeki bazı zararlı etkilerinin bir sonucu olarak ortaya çıkar. Yüksek bazı önemli enzimlerin yapıları ve aktiviteleri; ROS artışı olduğunda RNA, DNA ve protein gibi önemli biyomoleküller buna bağlı olarak olumsuz etkilenir. Bu türlerde afinitede olumsuz etkilenir. Tüm bunlar göz önüne alındığında

mikroorganizmalar temel fonksiyonlarını yerine getiremez duruma gelir. Tüm etkiler sonucunda mikroorganizmalar yaşamsal faaliyetlerini yerine getiremez ve mikroorganizma ölümü gerçekleşir (Emmanuel et al., 2015; Huq et al., 2022; Shao et al., 2018).

Elde edilen sonuçlar, bitki ekstraktlarının çoğunun mikroorganizmalara karşı etkili antimikrobiyal maddeler içerebileceğini göstermektedir. Ancak, bitkilerin fitokimyasal özelliklerinin türden türe farklılık gösterdiği unutulmamalıdır. Bu nedenle, bazı bitki ekstraktlarının antimikrobiyal aktivite göstermemesi doğaldır. Ülkemizde doğal olarak yetişen bu tür bitkilerin belirlenmesi ve tıp ile endüstride kullanılabilme potansiyellerinin araştırılması önemlidir.

Tablo 1: *Elaeagnus Angustifolia* özütü tarafından sentezlenen AgNP'lerin patojen suşlar üzerinde inhibisyon etkileri

	AgNO ₃ 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

Yeşil yöntemlerle yapılan sentez çalışmaları sonucu elde edilen MNP'ler tıbbi uygulamalar başta olmak üzere birçok çalışma alanında kullanılan değerli ürünlerdir. MNP'ler arasında yer alan AgNP'ler güçlü bir antimikrobiyal ajan olma özelliği göstermektedirler. Bu bakımdan yeşil sentez yöntemleri kullanılarak elde edilen AgNP'ler biyoyumlu yapılarıyla her geçen gün üzerindeki ilgiyi artırmaktadır. Bu tez çalışmasında *Elaeagnus Angustifolia* bitkisinden elde edilen özüt kullanılarak AgNP'lerin sentezi başarılı bir şekilde yapıldı. Sentezi yapılan AgNP'lerin özellikleri UV-vis, DLS, XRD, TEM, SEM, AFM ve EDX cihazların verileri ile karakterize edildi.

AgNP'lerin oluşumlarını değerlendirmek için UV-vis aracılığıyla ölçülen veriler kullanıldı. Reaksiyonun morfolojik gözleminde, özüt ve AgNO₃ çözeltisi karıştıktan beş dakika sonra hızlı bir renk değişimi gözlemlendi. 30 dakika süren kahverengine dönük bu renk değişimi AgNP'lerin oluşumuna bağlıydı. Renk değişimine bağlı plazma yüzeyindeki titreşimlerin (SPR) varlığı UV-vis aracılığıyla ölçülen gümüşe ait karakteristik maksimum dalga boylarında alınan absorbanlarla doğrulandı. Sentez sonucu elde edilen AgNP'lerin oluşumlarını belirlemek için sentez ortamından değişen periyotlarda numuneler alındı. Numuneler UV-vis aracılığıyla 290-800 nm dalga boyu aralığında taramalar yapıldı. Şekil 4.1.'de 441 nm'de ölçülen maksimum absorbanlar AgNP'lerin varlığını gösterdi.

AgNP'lerin kristal yapıları, XRD tarafından ölçülen veriler kullanılarak belirlendi. *Elaeagnus Angustifolia* özütü tarafından sentezlenen partiküllerin XRD aracılığıyla düzleme yansıyan kristal desenleri şekil 4.2.'de verildi. AgNP'lerin kristal yapılarına ait, 10-80 aralığında 2θ da alınan datalar gösteriyor ki (111), (200), (220) ve (311) piklerine ait Bragg açılarına ait genişlemeler gümüşe ait karakteristik noktalardı. Merkez yüzlü kubik (fcc) kristal desene sahip olduğu görülen AgNP'lerin Debye-scherer eşitliği kullanılarak, (111) alınan FWHM değeri alınarak kristal nano boyutları hesaplandı. Hesaplama sonucunda AgNP'lerin 11.84 nm kristal nano boyuta sahip oldukları belirlendi.

AgNP'lerin fiziksel olarak görünüşleri çeşitli elektron mikroskopilerinden elde edilen mikro grafipler kullanılarak incelendi. Özüt tarafından sentezlenen AgNP'lerin morfolojik görünüşlerini belirlemek için SEM, TEM yöntemleriyle elde edilen mikro

grafiler değerlendirildi (şekil 4.4.1-4.4.2). Mikro grafi görüntülerinde sentezlenen AgNP'ler küresel morfoloji görünümündeydiler.

Sentezlenen AgNP'lerin yapısında bulunan elementler EDX profilinden elde edilen grafi kullanılarak incelendi. *Elaeagnus Angustifolia* özütü tarafından sentezlenen partiküllerin element kompozisyonları şekil 4.3.'te verilen grafide güçlü gümüş pikler ve profile yansıyan diğer zayıf sinyaller görüldü. Grafide güçlü gümüş piklerinin varlığı sentezlenen partiküllerin AgNP'ler olduğunu gösterdi. Grafide yer alan karbon, oksijen gibi diğer zayıf pikler bitki özütünde yer alan fitokimyasalların biyoaktif gruplarına aitti.

AgNP'ler mikroorganizmalar üzerinde etkili bir inhibisyon ajanıdır. *E. Angustifolia* özütü tarafından elde edilen AgNP'lerin *P. aeruginosa* ATCC 27833, *S. aureus* ATCC 29213, *E.Coli* ATCC 25922, *C. albicans* ATCC 10231 mikroorganizmalarının üremelerinin baskılanması üzerinde etkinlikleri mikro dilüsyon yöntemi kullanılarak incelendi. Antibiyotiklere karşı kıyaslandığında gram negatif (*E.Coli*) bakteri suşunun ve *Candida albicans* suşunun etkili olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada ise *Elaeagnus Angustifolia* ekstraktının *Candida albicans* maya türünü ve gram negatif olan *E. Coli* bakterisinin gelişimini engellediği bulunmuştur. Elde edilen bu bulgular sentezlenen AgNP'lerin antimikrobiyal ajan olması bakımında etkili ürünler olabileceğini ve çeşitli uygulamalarda kullanımlarının etkili olabileceği düşünülmektedir.

AgNP'lerin antimikrobiyal özellikleri, yara iyileşmesi gibi alanlarda kullanımlarını desteklemektedir. Ayrıca, AgNP'lerin diğer nanopartiküllerle birleştirilmesi veya yüzey modifikasyonu gibi yöntemlerle özelliklerinin iyileştirilmesi ve çeşitli uygulamalarda daha etkin bir şekilde kullanılması da mümkündür. Bu tür yeşil sentez yöntemleri, çevreye zararlı atık maddelerin kullanımını azaltarak sürdürülebilir bir geleceğe katkı sağlayabilir. Ancak, sentezlenen nanopartiküllerin toksisite ve biyolojik etkilerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Bu nedenle, nanopartiküllerin üretimi ve uygulamalarıyla ilgili olarak titiz bir risk değerlendirmesi yapılması önemlidir.

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-Awthan, 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. (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 *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย* (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 Coggygia 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., Birtekocak, 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-Núñez, 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
- 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
- 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 yönetimde 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., Tunalı, 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>
- Srikanth, 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/ejbcs.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. (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>