



**T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
NANOBİLİM VE NANOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS**

**YEŞİL SENTEZ YÖNTEMİYLE BİTKİ ÖZÜTÜ
KULLANARAK SENTEZLENEN ALTIN (Au)
NANOPARTİKÜLLERİNİN ANTİBAKTERİYEL
AKTİVİTESİNİN BELİRLENMESİ**

Seda YELTEKİN

BURDUR, 2020

**T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
NANOBİLİM VE NANOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS**

**YEŞİL SENTEZ YÖNTEMİYLE BİTKİ ÖZÜTÜ
KULLANARAK SENTEZLENEN ALTIN (Au)
NANOPARTİKÜLLERİNİN ANTİBAKTERİYEL
AKTİVİTESİNİN BELİRLENMESİ**

Seda YELTEKİN

Danışman: Prof. Dr. Yasin ARSLAN

BURDUR, 2020

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum **“Yeşil Sentez Yöntemiyle Bitki Özütü Kullanarak Sentezlenen Altın (Au) Nanopartiküllerinin Antibakteriyel Aktivitesinin Belirlenmesi”** başlıklı bu tezin;

- Kendi çalışmam olduğunu,
- Sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi,
- Bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi,
- Kullandığım verilerde değişiklik yapmadığımı,
- Tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı,
- Bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı,

bildirir, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

21/12/2020

(İmza)

Seda YELTEKİN

ÖNSÖZ ve/veya TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları aşmamda bilgi ve tecrübesi ile yardımcı olan değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Yasin ARSLAN'a teşekkürlerimi sunarım. Deneylerimi yapmam için laboratuvarlarını bana açan ve araştırmalarımnda hiçbir yardımı esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Erdal KENDÜZLER'e teşekkür ederim.

Spektroskopik ve elektrokimyasal analizler için Burdur MAKÜ Bilimsel ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi çalışanlarına teşekkür ederim.

Gerçekleştirilen antibakteriyel çalışmalarında yardım eden Prof. Dr. Gülden BAŞYİĞİT KILIÇ hocama teşekkür ederim.

Araştırmalarım sırasında yardımlarını gördüğüm değerli laboratuvar arkadaşlarım Diğdem TRAK, Burcu KABAK ve Miray KARAGÖZ'e teşekkür ederim.

562-YL-18 No`lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Eğitim hayatımın her aşamasında beni her anlamda destekleyen aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Aralık, 2020

Seda Yeltekin

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ ve/veya TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİL DİZİNİ.....	iii
ÇİZELGE DİZİNİ.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Nanoteknolojinin Tanımı ve Tarihçesi	3
2.2. Nanopartikül Tanımı ve Nanopartiküllerin Sınıflandırılması	4
2.3. Altın Nanopartiküller (AuNP) ve Uygulama Alanları.....	5
2.4. Nanopartiküllerin Sentezi	6
2.5. Yeşil Sentez.....	9
2.5.1. Mikroorganizmalar ile Yeşil Sentez.....	11
2.5.2. Bitkiler ile Yeşil Sentez.....	12
2.6. Nanopartiküllerin Karakterizasyonu.....	15
2.7. Literatür Özeti	16
2.8. Kiraz Sapı ve Özellikleri.....	20
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	22
3.1. Materyal ve Kimyasallar.....	22
3.2. Aletler ve Cihazlar.....	22
3.3. Kiraz Sapı ile AuNP'lerin Sentezlenmesi.....	23
3.3.1. Kiraz Sapı Özütünün Eldesi	23
3.3.2. AuNP'lerin Sentez Çalışmaları.....	24
3.4. AuNP'lerin Karakterizasyon Çalışmaları	24
3.5. AuNP'lerin Antibakteriyel Aktivite Çalışmaları.....	25
3.6. AuNP'lerin Katalitik Aktivite Çalışmaları	26
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	27
4.1. AuNP'lerin Sentez Çalışmaları	27
4.2. AuNP'lerin Karakterizasyon Çalışmaları	31
4.2.1. Spektrum Sonuçları	31
4.2.2. AuNP'lerin TEM Analizi Sonuçları.....	32
4.2.3. AuNP'lerin XRD Analiz Sonuçları.....	34
4.2.4. AuNP'nin ATR-FTIR Analiz Sonuçları.....	35
4.3. AuNP'lerin Antibakteriyel Aktivite Sonuçları.....	37
4.4. AuNP'lerin Katalitik Aktivite Sonuçları	38
SONUÇ	43
KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ.....	53

ŞEKİL DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Nanopartiküllerin sınıflandırılması	5
Şekil 2.2. Nanopartiküllerin sentezinde kullanılan yaklaşımlar	7
Şekil 2.3. AuNP'lerin sentezinde kullanılan yöntemler	8
Şekil 2.4. Yeşil kimyanın 12 prensibi	9
Şekil 2.5. Yeşil sentezin avantajları	10
Şekil 2.6. Nanopartiküllerin sentez mekanizması	10
Şekil 2.7. Bitkilerdeki önemli biyo-indirgeyici ajanlar	14
Şekil 3.1. Çalışmalarda kullanılan kurutulmuş kiraz sapları.....	23
Şekil 3.2. Kiraz sapı özütünün eldesi.....	24
Şekil 4.1. % 0,5 derişimindeki kiraz sapı özütü ve farklı derişimlerdeki Au çözeltisi ile elde edilen spektrumlar	27
Şekil 4.2. % 1,0 derişimindeki kiraz sapı özütü ve farklı derişimlerdeki Au çözeltisi ile elde edilen spektrumlar	28
Şekil 4.3. % 1,5 derişimindeki kiraz sapı özütü ve farklı derişimlerdeki Au çözeltisi ile elde edilen spektrumlar	28
Şekil 4.4. % 2,0 derişimindeki kiraz sapı özütü ve farklı derişimlerdeki Au çözeltisi ile elde edilen spektrumlar	29
Şekil 4.5. % 2,5 derişimindeki kiraz sapı özütü ve farklı derişimlerdeki Au çözeltisi ile elde edilen spektrumlar	29
Şekil 4.6. Farklı derişimlerdeki kiraz sapı özütü ve 10^{-2} M Au çözeltisi ile elde edilen spektrumlar.....	30
Şekil 4.7. % 1,5 kiraz sapı özütü ve 10^{-2} M Au çözeltisi ile farklı zamanlarda elde edilen spektrumlar.....	31
Şekil 4.8. Sentezlenen AuNP çözeltisi.....	32
Şekil 4.9. AuNP'lerin TEM görüntüleri	33
Şekil 4.10. %1,5 kiraz sapı özütü ve 10^{-2} M Au çözeltisi ile elde edilen AuNP'lerin X-ışını kırınım deseni	35
Şekil 4.11. %1,5 kiraz sapı özütü ve 10^{-2} M Au çözeltisi ile elde edilen AuNP'lerin FTIR spektrumu	36
Şekil 4.12. NaBH ₄ ilavesi ile MO boyasının renk gideriminin zamana bağlı değişimi	38
Şekil 4.13. NaBH ₄ ilavesi ile MM boyasının renk gideriminin zamana bağlı değişimi.....	39

Şekil 4.14. MM ve MO boyları ve bozunma ürünleri	40
Şekil 4.15. AuNP ilavesi ile MO boyasının zamana bağlı renk giderimi	40
Şekil 4.16. AuNP ilavesi ile MM boyasının renk gideriminin zamana bağlı değişimi	41



ÇİZELGE DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Metal nanopartiküllerinin karakterizasyonunda kullanılan teknikler	16
Tablo 3.1. Çalışmalarda kullanılan alet ve cihazlar	22



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AFM	: Atomik Kuvvet Mikroskopisi
AgNP	: Gümüş Nanopartikül
ATR	: Zayıflatılmış Toplam Yansıma
AuNP	: Altın Nanopartikül
BET	: Brunauer-Emmett-Teller
DLS	: Dinamik Işık Saçılımı
DSC	: Diferansiyel Tarama Kalorimetre
EDX	: Elektron Dağılımlı X Işını Spektroskopisi
FTIR	: Fourier Dönüştümlü Kızılötesi Spektroskopisi
g	: Gram
M	: Molar
MFm	: Manyetik Kuvvet Mikroskopisi
MIC	: Minimum İnhibitör Konsantrasyonunu
min	: Dakika
mL	: Mililitre
MM	: Metilen Mavisi
MO	: Metil Oranj
nm	: Nanometre
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SPR	: Yüzey Plazmon Rezonans
SQUID	: Süperiletken Kuantum Girişim Cihazı
STM	: Tarama Tüneli Mikroskopisi
TEM	: Geçirimli Elektron Mikroskobu
UV-Vis	: Ultraviyole ve Görünür Bölge Spektrofotometresi
VSM	: Titreşimli Numune Manyetometre
XAS	: X Işını Emilimi Spektroskopi
XPS	: X-Işını Foton Spektroskopisi
XRD	: X-Işını Kırınım Difraktometresi
XRF	: X-Işını Floresan

% : Yüzde
°C : Derece santigrat



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Yeşil Sentez Yöntemiyle Bitki Özütü Kullanarak Sentezlenen Altın (Au) Nanopartiküllerinin Antibakteriyel Aktivitesinin Belirlenmesi

Seda Yeltekin

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Nanobilim ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yasin Arslan

Aralık, 2020

Bu tez çalışması kapsamında, kurutulmuş kiraz sapı (*Cerasus avium* L.) özütü dışında başka hiçbir indirgeyici ve/veya kararlaştırıcı ajan kullanmadan yeşil sentez yöntemi ile altın nanopartiküllerinin (AuNP) sentez çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Belirlenen en uygun sentez şartlarında elde edilen AuNP'lerin karakterizasyon çalışmalarında UV-Vis spektrometresi, Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM), X-Işını Kırınım Difraktometresi (XRD) ve Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrofotometresi (FTIR) yöntemleri kullanılmıştır. AuNP'lerin en uygun sentez şartlarının belirlenmesinde ise özüt derişimi, eklenen metal çözeltisi derişimi ve sentez süresi parametrelerinin optimizasyonları gerçekleştirilmiş ve bu kapsamda optimum özüt derişimi %1,5, optimum Au çözeltisi derişimi 10^{-2} M ve sentez süresi ise 60 dakika olarak belirlenmiştir. Bu tez çalışmasının uygulama basamağında ise sentezlenen AuNP'lerin gram pozitif *Enterococcus faecalis* ATTC29212, *Listeria monocytogenes* ASKK472, *Bacillus cereus* ATTC 11778, *Staphylococcus aureus* ATTC 43300 ve gram negatif *Salmonella Typhimurium* ATTC 14028, *Enterobacter aerogenes* ATTC 13048, *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli* 0157:H7, *Salmonella Enterocolitica*, *Escherichia coli* 0157:H7 ATTC 43895, *Escherichia coli* ATTC 35150 bakterilerine karşı etkisi araştırılmıştır. Ayrıca, elde edilen AuNP'lerin katalitik etkinlikleri ise metil oranj (MO) ve metilen mavisi (MM) boyalarının renk giderim çalışmaları yürütülerek belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: yeşil sentez, altın nanopartikül, antibakteriyel aktivite, katalitik aktivite

Hazırlanan bu Yüksek Lisans tezi Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 562-YL-18 proje numarası ile desteklenmiştir.

SUMMARY

M. Sc. Thesis

Determination of Antibacterial Activity of Gold (Au) Nanoparticles Using Plant Extract with Green Synthesis Method

Seda Yeltekin

Burdur Mehmet Akif Ersoy University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Nanoscience and Nanotechnology

Supervisor: Prof. Dr. Yasin Arslan

December, 2020

In this thesis, the synthesis studies of gold nanoparticles (AuNP) were carried out with green synthesis method by using the extract of dried cherry stalk (*Cerasus avium* L.) without using any other reducing and/or stabilizing agents. The UV-Vis spectrometer, Transmission Electron Microscope (TEM), X-Ray Diffractometer (XRD) and Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) methods were used in the characterization studies of AuNPs obtained under the most appropriate synthesis conditions. The optimum synthesis conditions of AuNPs were optimized for the extract concentration, added metal solution concentration and synthesis time parameters, and in this context, the optimum extract concentration, the optimum Au solution concentration and the synthesis time were found to be 1.5%, 10^{-2} M and 60 minutes, respectively. In the application step of this thesis study, the antibacterial effects of the synthesized AuNPs were investigated for gram positive *Enterococcus faecalis* ATTC29212, *Listeria monocytogenes* ASKK472, *Bacillus cereus* ATTC 11778, *Staphylococcus aureus* ATTC 43300 and gram negative *Salmonella Typhimurium* ATTC 14028, *Enterobacter aerogenes* ATTC 13048, *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli* 0157:H7, *Salmonella Enterocolitica*, *Escherichia coli* 0157:H7 ATTC 43895, *Escherichia coli* ATTC 35150 bacteria. In addition, the catalytic activities of the obtained AuNPs were also determined by carrying out the color removal studies of methyl orange (MO) and methylene blue (MM) dyes.

Keywords: green synthesis, gold nanoparticle, antibacterial activity, catalytic activity

The present M.Sc. Thesis was supported by Burdur Mehmet Akif Ersoy University Scientific Research Projects Coordinator Under the Project number of 562-YL-18

1. GİRİŞ

Nanoteknoloji, 1-100 nm büyüklüğünde nano ölçekli parçacıkların üretimi, karakterizasyonu ve uygulamasıyla ilgilenen ayrıca maddeye atom ve molekül seviyesinde yeni fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler kazandırmayı hedefleyen yeni bir teknolojidir (Bayğu, 2020). Boyutları 1–100 nm arasında değişen, yüksek yüzey-hacim oranı, küçük boyutu, yüzey enerjileri ve azaltılmış kusurları nedeniyle, makro boyuttaki malzemeler ile kıyaslandığında gelişmiş fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklere sahip malzemeler ise nanopartikül olarak adlandırılmaktadır (Narayanan ve Sakthivel, 2011; Fahimirad vd., 2019). Nanopartiküllerin elde edilmesi için kimyasal indirgeme, fotokimyasal indirgeme, elektrokimyasal indirgeme ve ısı buharlaştırma gibi çeşitli fiziksel ve kimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Kullanılan bu geleneksel yöntemler ile başarılı bir şekilde metal nanopartiküller üretilebilmektedir ancak bu yöntemlerde, yüksek işlem maliyeti ve çeşitli toksik organik maddenin kullanımından dolayı çevreyi olumsuz etkilemesi gibi birçok önemli dezavantajlar mevcuttur. Bu nedenle nanopartiküllerin üretimi için çevre dostu bir süreç geliştirmeye ihtiyaç duyulmuş ve nanopartiküllerin üretimi için yeşil kimya yaklaşımına dayalı yeşil sentez yöntemi geliştirilmiştir (El-Borady vd., 2020). “Yeşil Sentez” yöntemi ile metal sentezi, geleneksel yöntemlere göre çok daha avantajlıdır. Çünkü bu yöntem sayesinde, güvenli olmayan kimyasallar kullanılmadan veya daha az kullanılarak, tehlikeli atıkların meydana gelmesini de minimize ederek, yenilenebilen, düşük maliyetli ve çevre dostu bir şekilde metal nanopartiküllerin sentezi sağlanmaktadır. Metal nanopartiküllerin yeşil sentezinde mantar, alg ve bitki gibi biyolojik metabolitler kullanılmaktadır. Çünkü bu metabolitler içerisinde bulunan vitamin, protein, polisakkarit ve alkaloidler gibi bileşenler nanopartiküllerin indirgenmesi işleminde indirgeyici ajan ve kümeleşmeyi engellemek için kararlaştırıcı ajan olarak görev yapıp biyobozunur ve toksik olmayan bir yöntemle nanopartiküllerin elde edilmesini sağlamaktadır (Gürsoy, 2020).

Bu tez kapsamında da yeşil sentez yöntemi ile AuNP’lerin sentez çalışmaları yürütülmüştür. AuNP’lerin indirgenmesi ve kararlaştırılmasında görev almak üzere kurutulmuş kiraz sapı bitkisi seçilmiş ve sentez çalışmalarında kiraz sapından elde edilen özütler kullanılmıştır. Ayrıca tez kapsamında AuNP’lerin elde edilmesinde rol oynayan en önemli parametreler olan bitki özütü derişimi, Au çözeltisi derişimi ve sentez süresi optimizasyonları yürütülmüştür. AuNP’lerin karakterizasyon çalışmalarında ise UV-Vis

spektrometresi, Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM), X-Işını Kırınım Difraktometresi (XRD), ve Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrofotometresi (FTIR) yöntemleri kullanılmıştır. Sentezlenen AuNP'lerin antibakteriyel aktivitesini belirlemek için gram pozitif *Enterococcus faecalis* ATTC29212, *Listeria monocytogenes* ASKK472, *Bacillus cereus* ATTC 11778, *Staphylococcus aureus* ATTC 43300 ve gram negatif *Salmonella Typhimurium* ATTC 14028, *Enterobacter aerogenes* ATTC 13048, *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli* 0157:H7, *Salmonella Enterocolitica*, *Escherichia coli* 0157:H7 ATTC 43895, *Escherichia coli* ATTC 35150 bakterileri kullanılmıştır. Ayrıca bu tez çalışmasında, metil oranj (MO) ve metilen mavisi (MM) boyları kullanılarak AuNP'lerin katalitik aktivitesinin belirlenmesi için çalışmalar da yürütölmüştür.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Nanoteknolojinin Tanımı ve Tarihçesi

Nanoteknoloji, boyutları 1-100 nm arasında değişen küçük parçacıkların veya nano ölçekli malzemelerin incelenmesiyle ilgilenen ve fizik, kimya, biyoloji, tıp ve malzeme bilimi gibi birçok akademik disiplini bünyesinde barındıran son teknolojik bir bilim dalıdır (Hulkoti ve Taranath, 2014; Chandra vd., 2020). 1-100 nm arasında benzersiz fizikokimyasal özelliklere sahip malzemeler ise nanopartikül olarak adlandırılmaktadır (Fahimirad vd., 2019). Nanoteknoloji kelimesindeki ön ek olan nano, Yunanca'da "cüce" anlamına gelen nanos kelimesinden türetilmiştir ve metrenin milyarda birini (10^{-9}) temsil etmektedir (Narayanan ve Sakthivel, 2010). Yani nanoboyuttaki yapılar çok küçüktür. Örneğin, 1 nm yaklaşık yan yana üç atom uzunluğunda olmasına karşılık, DNA molekülü 2,5 nm genişliğinde, bir protein yaklaşık 50 nm uzunluğunda, bir grip virüsü yaklaşık 100 nm ve bir insan saçı yaklaşık 10,000 nm kalınlığındadır (Hulkoti ve Taranath, 2014).

Nanoteknolojin başlangıcı, Richard Feynman'ın Amerikan Teknoloji Enstitüsü'nde "Aşağıda daha çok yer var" başlıklı ünlü konferansına dayanmaktadır. Nanoteknoloji terimi ise ilk defa Tokyo Bilim Üniversitesi'nden Prof. Norio Taniguchi tarafından kullanılmıştır (Chandra vd., 2020). 1980'li yıllarda ise nanoteknoloji kavramı hızla yayılmaya başlamış ve Eric Drexler 1981'de ilk nanoteknoloji makalesini, 1986 yılında ise 'Yaratma Motorları' adlı ilk nano teknoloji kitabını yayımlamıştır (Tabanlı, 2019). Nano boyuttaki çalışmalar ise, 1981 yılında Taramalı Tünel Mikroskobu'nun bulunması ile başlamış ve dört yıl sonra Atomik Kuvvet Mikroskobu'nun keşfedilmesi ile hız kazanmıştır (Turunç, 2019). 1990'lara gelindiğinde ise 60 karbon atomunun bir düzen içerisinde sıralanmasıyla oluşturulan çelikten daha güçlü, plastikten daha hafif ve ısı ve elektriği iletebilen bir malzeme olan Fulleren molekülü keşfedilmiştir. Daha sonrasında ise Fulleren'in uzun ve esnek hali olan Nanotüp yapıları oluşturulmuştur (Tabanlı, 2019).

Günümüzde nanoteknolojinin gelişmesi ile birlikte enerji, elektronik, boya, optik, bilgisayar ve bilişim, ilaç, kimya ve fizik gibi farklı alanda malzeme üretimi ve uygulamaları yapılmaya başlanmıştır. Bu nedenle, nano boyutlarda üretilen malzeme ve cihazların özelliklerinin bilinmesi, araştırılması, tasarımı ve üretimi için nanoteknoloji, birçok alanda çalışması gereken önemli bir konudur (Kara, 2018). Günümüzde, Ag, Au, Pt, Cd gibi çeşitli metal nanopartiküller ve ZnO, CeO₂, TiO₂, ZrO₂ gibi çeşitli metal oksit nanopartikülleri sentezlenmekte ve bu nanopartiküller kataliz, ilaç ve su arıtma gibi çeşitli alanlarındaki

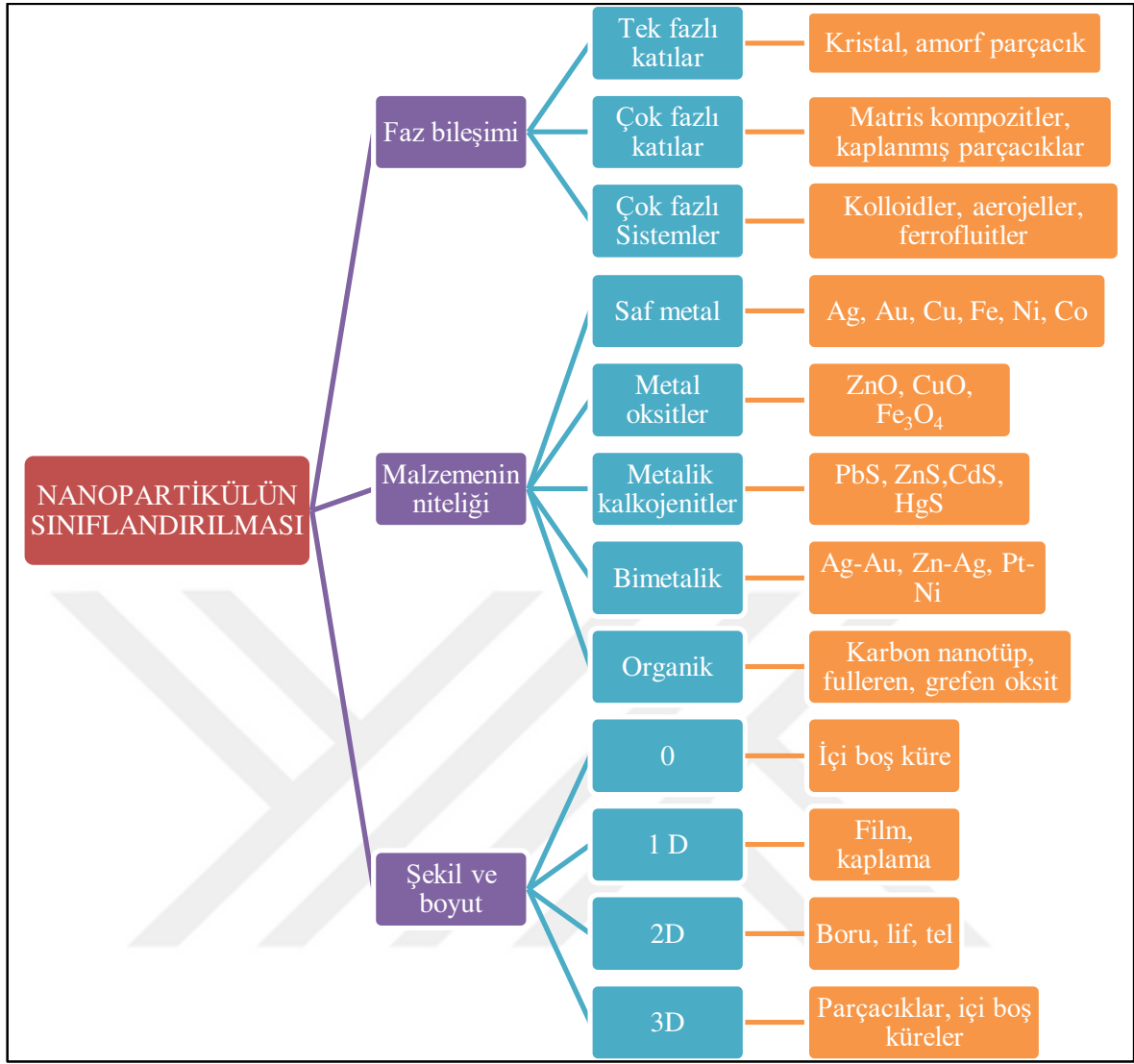
teknolojik ve çevresel zorluklara çözümler sunmaktadır (Sharma vd., 2009; Saratale vd., 2018).

2.2. Nanopartikül Tanımı ve Nanopartiküllerin Sınıflandırılması

Nanopartiküller, atomik seviyedeki (1–100 nm) partiküllerdir ve nanopartiküllerin en az bir boyutu 1 µm'den küçük olmalıdır (Król vd., 2017).

Metal nanopartiküller, yüksek yüzey-hacim oranları, küçük boyutları, yüzey enerjileri ve azaltılmış kusurları nedeniyle, makro boyuttaki malzemelerle kıyaslandığında gelişmiş fiziksel, kimyasal, elektronik, elektriksel, mekanik, manyetik, termal, dielektrik, optik ve biyolojik özelliklere sahiptir (Narayanan ve Sakthivel, 2011). Bu özelliklerinden dolayı elektronik, fotonik, kataliz, bilgi depolama, kimyasal algılama ve görüntüleme, çevresel iyileştirme, ilaç dağıtımı, biyolojik etiketleme, kozmetik, biyomedikal, mekanik, optik, kimya endüstrisi, uzay endüstrisi, enerji bilimi ve optik cihazlar gibi çok çeşitli uygulama alanında başarıyla kullanılmaktadır (Vijayaraghavan ve Ashokkumar, 2017).

Nanopartiküller sentezlendikleri malzemeye göre çeşitli tiplerde sınıflandırılabilir. Nanopartikül türleri, ana materyalin doğasından ve bazı diğer faktörlere bağlı olarak farklı özelliklere ve uygulamalara sahip olabilmektedir. Nanopartiküllerin boyut, şekil ve yüzey alanı gibi genel özellikleri, deneysel koşulların yanı sıra sentez stratejisine de bağlıdır. (Sajida ve Płotka-Wasyłka, 2020). Nanopartiküllerin farklı özelliklerine göre sınıflandırılması Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Nanopartiküllerin sınıflandırılması (Khanna vd., 2019).

2.3. Altın Nanopartiküller (AuNP) ve Uygulama Alanları

Altın ilk kez MÖ 5. yüzyılda Bulgaristan'da çıkarılmış ve uzun bir süre dekoratif uygulamalarda, yakut cam ve renkli seramik yapımında kullanılmıştır. Bu kapsamda Lycurgus Kupası bu uygulamaların en ünlü örneği olarak görülmektedir (Oliveira vd., 2015). 18. yüzyılda ise Mısırlılar altın içeren suları, zihinsel ve ruhsal arınma için kullanmışlardır (Kuppusamy vd., 2016). 1583'te ise, Fransa'da XIII. Louis'e doktor olarak hizmet eden simyacı David de Planis-Campy, sulu koloidal altın çözeltisini "uzun ömür iksiri" olarak nitelendirmiştir. Günümüze kadar ulaşan koloidal altın üzerine ilk kitap, filozof ve tıp doktoru Francisco Antonii tarafından 1618'de yayımlanmıştır ve kitapta koloidal altının nasıl elde edileceğine ve tıptaki uygulanmalarına ilişkin bilgiler bulunmaktadır (Dykman ve Khlebtsov, 2011). Michael Faraday ise, kloraurik asidin fosfor ile indirgenmesiyle koloidal

altın üretimini açıklayan 1857 tarihli makalesinde bilimsel terimlerle nanometre ölçekli metallerin optik özelliklerini açıklamıştır (De Souza vd., 2019).

Altın, değerli, inert ve toksik olmayan metallerden birisidir ve günümüzde çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanılmaktadır. AuNP'ler, biyomoleküler problemlarla uygun yüzey biyo-konjugasyonu ve dikkat çekici optik özellikleri nedeniyle, nanobiyoteknolojide önemli bir rol oynamaktadır (Rajeshkumar vd., 2013). Ayrıca AuNP'ler, elektrik, kataliz manyetik, plazmonik, fotonik, biyolojide ve farmasötik alanlardaki uygulamalar için de büyük ilgi görmektedir. Özellikle kanser teşhis ve tedavisinde, biyo-etiketlemede, fototermal terapide, ilaç dağıtımında ve patojenlerin immün kromatografik tanımlanmasında kullanılmaktadır (Manikandakrishnan vd., 2019).

Bunlara ek olarak, AuNP'ler, küçük boyutları ve yüksek yüzey alanları nedeniyle yüksek antibakteriyel aktivite sergilemektedirler. AuNP'ler, bakterilerin hücre duvarı sentezi için hayati önem taşıyan solunum zinciri enzimlerini baskılamakta, böylece bakterilerin ölümüne veya statik büyümesine yol açmaktadır (Uma Suganya vd., 2015).

Ayrıca, biyosentezlenmiş AuNP'lerin hamile kadınların idrar örneğinde hormon (HCG) tespiti için çok önemli bir araç olduğu kanıtlanmış ve AuNP'ler farklı biyosensör çalışmalarında da başarı ile kullanılmaktadır. Örneğin, kloroplastlarla hazırlanan Au-Ag alaşımı, oda sıcaklığında 2-butanon için yüksek elektrokatalitik aktivite sergilemiş ve böylece kanseri erken aşamalarda tespit edebilen biyosensörün geliştirilmesi için bir platform sağlamıştır (Sharma vd., 2019). AuNP'ler ayrıca iyi bir katalizördür ve AuNP'ler, sulu fazda NaBH₄ tarafından 4-nitrofenolün 4-aminofenole indirgenmesi, akrinin oranj, kongo kırmızısı, bromotimol mavisi, fenol kırmızısı ve metilen mavisi gibi boyaların bozunum reaksiyonlarında dikkate değer katalitik özellikler sergilemektedir (Kumar vd., 2019).

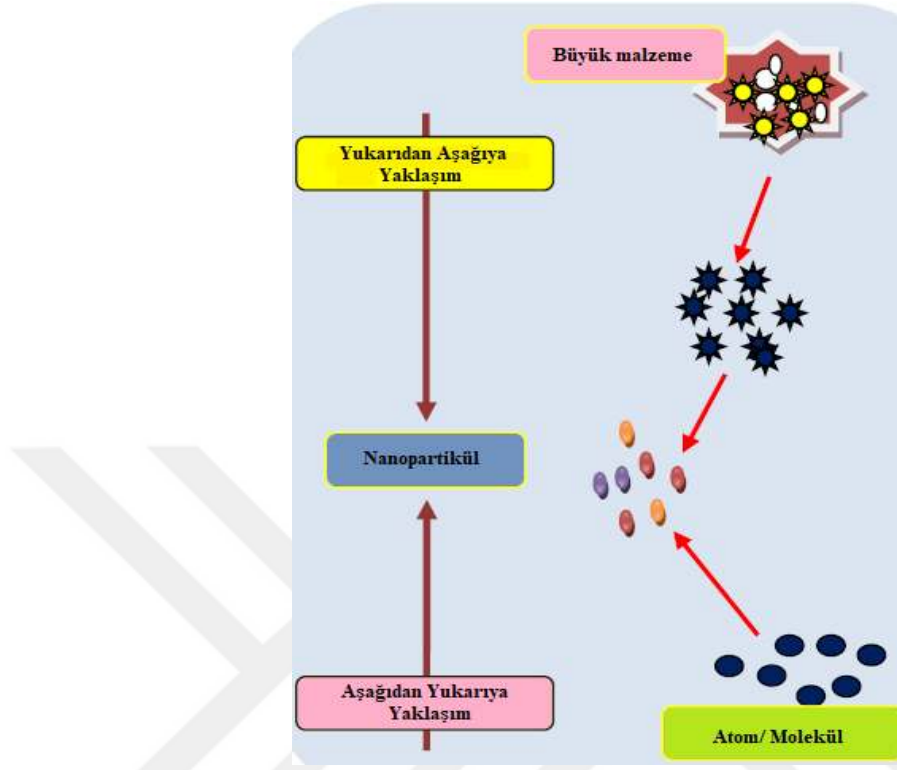
2.4. Nanopartiküllerin Sentezi

Metalik nanopartiküllerin sentezi için "Yukarıdan aşağıya" ve "Aşağıdan yukarıya" yaklaşım olmak üzere iki temel yaklaşım vardır (Şekil 2.2).

Yukarıdan aşağıya yaklaşımda, uygun bir başlangıç malzemesinin boyutu fiziksel (örneğin mekanik) veya kimyasal araçlar kullanılarak küçültülmektedir. Fakat bu yaklaşımda malzemenin yüzey yapılarında kusurlar oluşmaktadır.

Aşağıdan yukarıya yaklaşımda ise, atom-atom, molekül-molekül veya kümeler halinde bir yapının inşası gerçekleştirilmektedir. Bu yaklaşımda ise nispeten daha az kusur

ve daha homojen kimyasal bileşim ile metalik nanopartiküller elde edilebilmektedir (Thakkar vd., 2010).

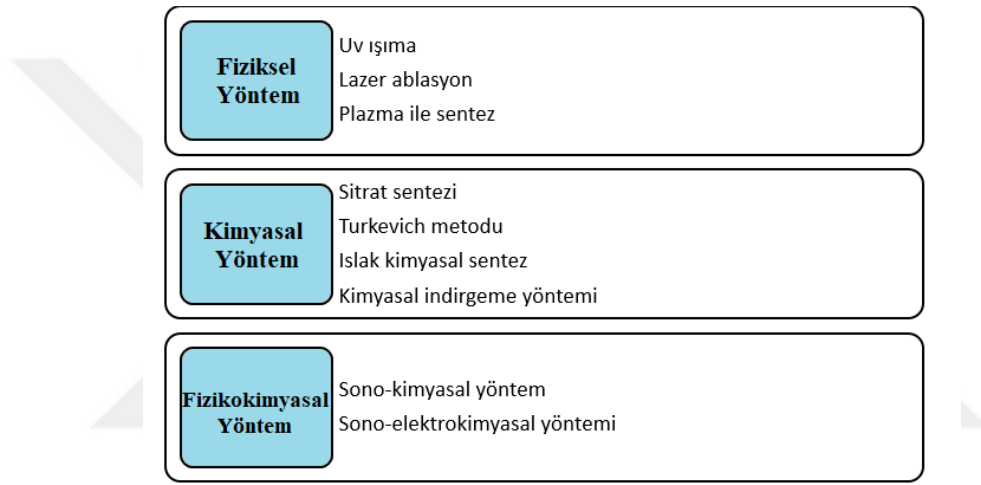


Şekil 2.2. Nanopartiküllerin sentezinde kullanılan yaklaşımlar (Jamkhande vd., 2019).

Au-NP'ler geleneksel olarak farklı fiziksel ve kimyasal yöntemlerle ile sentezlenebilmektedir. Örneğin fiziksel bir yöntem olan lazer ablasyon yöntemi ile çeşitli çözücüler içinde koloidal nanopartikül çözeltilerinin elde edilmesini sağlamaktadır. Nanopartiküller, sıvı bir solüsyona batırılmış bir dökme metal plakanın lazer ablasyonu ile üretilen bir plazma bulutunun yoğunlaşması sırasında oluşmaktadır. Bu teknik, nanopartikülleri elde etmek için kimyasal indirgeme yöntemine alternatif bir yeşil teknik olarak kabul edilmektedir (Nath ve Banerje, 2013). Kimyasal bir yöntem olan Turkevich yöntemi ise, monodispers AuNP'lerin oluşumu için en çok kullanılan kimyasal yöntemlerden birisidir ve auroklorik asidin (HAuCl_4) sitrat aracılığı ile indirgenmesi ilkesine dayanmaktadır. Bu yöntemde sodyum sitrat, indirgeyici ve kararlaştırıcı ajan olarak ikili bir rol oynamaktadır. Turkevich yönteminde, grimsi-mavi görünümün mor ve ardından şarap kırmızısına dönüşmesi ile, 5-15 nm boyutlarında küresel nanopartiküller elde edilmektedir (Malik ve Mukherjee, 2018). Diğer bir kimyasal yöntem olan sol-jel işlemi ise, nanomateriyal sentezinde son zamanlarda geliştirilen ıslak kimyasal bir tekniktir. Bu işlemde

inorganik nanoyapılar, koloidal süspansiyon (sol) oluşumu ve solun sürekli sıvı fazda (jel) entegre ağı jelleşmesi yoluyla sol-jel süreci ile oluşturulmaktadır (Nath ve Banerje, 2013).

Sonokimyasal yönteminde ise, yüksek enerjili sono-kimyasal tepkimeler gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda nanopartiküller, bir sıvı ortamında bulunan kimyasal bileşiklerin ultrasonik etki ile kimyasal bir birleşme olmadan topaklanma ile çökmesi, büyümesi ve şekil alması ile oluşmaktadır (Küyüköğlu, 2017). Ayrıca literatürde AuNP'lerin eldesinde bu yöntemlerin yanında farklı yöntemler kullanılarak da sentez çalışmaları yürütülmektedir ve bu kapsamda en çok kullanılan yöntemler Şekil 2.3'te gösterilmiştir (Khanna vd., 2019).



Şekil 2.3. AuNP'lerin sentezinde kullanılan yöntemler (Khanna vd., 2019).

AuNP'ler yukarıda da bahsedildiği gibi farklı fiziksel ve kimyasal yöntemler ile başarılı bir şekilde sentezlenmektedir. Fakat bununla birlikte kimyasal yöntemlerde toksik çözücü, ilave indirgeyici ve kararlaştırıcı ajanların kullanımından kaynaklanan dezavantajlar da bulunmaktadır. Özellikle, sitrik asit, sodyum borhidrür, polietilen glikol, hekzadesiltrimetilamonyum bromür, trioktil-fosfin ve oleil amin dahil olmak üzere nanopartiküllerin sentezi için kullanılan kimyasallar toksik, zararlı, tahriş edici, yanıcı veya çevre için tehlikeli olarak kabul edilmektedir (Kalimuthu vd., 2020). Ek olarak, fiziksel yöntemlerde ise yüksek basınç/sıcaklıkta gerçekleştirilen çalışmalar, pahalı ve özel ekipmanların gerekliliği, düşük ürün verimliliği ve toksik yan ürün oluşumu gibi önemli dezavantajlar bulunmaktadır. Bununla birlikte, bu işlemler ile büyük ölçekli sentezlerin gerçekleştirilmesi çevreyi olumsuz etkilemektedir. Bu kapsamda endüstriyel ürünlerin uygulanması (ör. katalizörler) ise enerji maliyetini yükselten karmaşık eliminasyon

prosesleri gerektirmekte ve bu teknikleri ekonomik ve çevresel olarak istenmeyen yöntemler haline getirmektedir. Sonuç olarak, yukarıda anlatılan fiziko kimyasal yöntemler; endüstriyel, katalitik sistemler ve özellikle tıbbi uygulamalar için uyumlu değildir. Bu nedenle, bahsedilen sınırlamalardan kaçınmak ve/veya en aza indirmek için çevre dostu bir metodolojinin geliştirilmesi arzu edilen bir çözümdür (Nasrollahzadeh vd., 2020). Bu kapsamda araştırmacılar yeşil sentez yöntemini geliştirmişlerdir.

2.5. Yeşil Sentez

Yeşil nanoteknoloji, yeşil kimya prensipleri çerçevesinde (Şekil 2.4), ortak ekonomik sosyal, sağlık ve çevresel fayda için yeni nanoteknolojiler tasarlama çalışmalarında önemli ölçüde katkı sağlamaktadır (Nath ve Banerje, 2013).



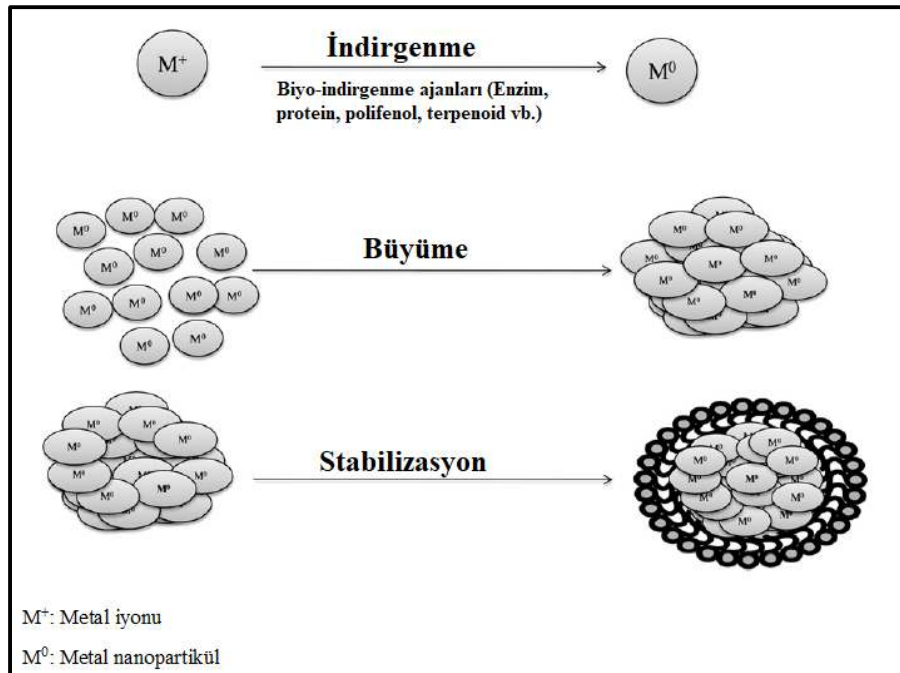
Şekil 2.4. Yeşil kimyanın 12 prensibi (Bandeira vd., 2020).

Yeşil sentez yönteminde daha düşük sıcaklık, pH ve basınç gibi uygun sentez koşullarında metal nanopartiküllerin sentezinin gerçekleştirilebilmesi yöntemin en önemli avantajlarını oluştururken, bu çevre dostu teknik, kimyasal senteze göre daha yüksek üretkenlik ve daha düşük maliyetler gibi ek avantajlar sağlamaktadır (Kalimuthu vd., 2020). Yeşil sentez yönteminin diğer önemli avantajları da Şekil 2.5'te özetlenmiştir.



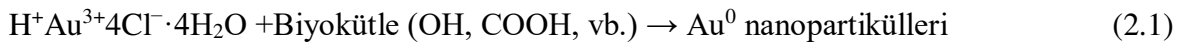
Şekil 2.5. Yeşil sentezin avantajları (Sajid ve Płotka-Wasyłka, 2020).

Metalik nanopartiküllerin yeşil sentezinde mikroorganizmalar (bakteriler, mayalar, mantarlar, algler) ve bitkiler kullanılmaktadır (Owaied vd., 2019). Nanopartiküllerin yeşil sentezinde gerçekleşen mekanizma henüz tam olarak bilinmemekte birlikte sentez sırasında gerçekleşen genel mekanizma Şekil 2.6’da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Nanopartiküllerin sentez mekanizması (Mittal vd., 2013).

Şekil 2.6’da gösterildiği gibi nanopartiküllerin yeşil sentezinde biyolojik materyaller içerisinde bulunan amino asitler, sitrik asit, fenolikler, şekerler, membran proteinleri ve tartarik asit gibi bileşenler nanopartiküllerin indirgenmesinde ve kararlaştırılmasında rol almaktadır (Wang vd., 2019). Bu negatif yüklü fonksiyonel gruplardan (örn. hidroksiller, aminolar, karboksiller vb.) oluşan organik bileşikler, bir metal tuzu çözeltisi ile birleştirildiğinde artı değerlikli metaller sıfır değerlikli formlarına indirgenmektedir (Kratošová vd., 2019). Örneğin Au için, kloroaurik asidin (HAuCl_4) Au nanopartiküllere indirgenmesi işleminde aşağıdaki reaksiyon gerçekleşmektedir (Vijayaraghavan ve Ashokkumar, 2017).



2.5.1. Mikroorganizmalar ile Yeşil Sentez

Bakteriler, mantarlar ve mikroalgler gibi deniz mikroorganizmaları deniz ortamında alkali, asidik ve hipersalin gibi farklı koşullarda yaşayan prokaryotik ve ökaryotik mikroorganizmalardır. Tek hücreli veya çok hücreli canlılar denizdeki biyokütlenin % 90'ından fazlasını oluşturmaktadır. Günümüzde, deniz mikroorganizmaları ile metalik nanopartiküllerin yeşil sentezi, basit, uygun maliyetli ve çevre dostu yöntem olması nedeniyle araştırmacılar tarafından geniş çapta incelenmektedir. Ayrıca sentezlenen nanomateryaller sağlık hizmetleri için de uygulanabilmektedir. Metalik nanopartiküllerin hücre içi veya hücre dışı yolla sentezinde bakteriler, maya, mantarlar ve yosunlar kullanılmaktadır (Patil ve Kim, 2018).

Bakteriler metal iyonlarını indirgeme yeteneğine sahiptir ve nanopartiküllerin hazırlanmasında kullanılabilecek önemli mikroorganizma adaylarından biridir. Nanopartiküllerin bakteriyel sentezi, bakterileri manipüle etmenin nispeten kolay olması nedeniyle kabul edilmiştir. Metal nanopartiküllerinin sentezlenmesinde çeşitli bakteri türleri başarı ile kullanılmıştır (Shankar vd., 2016). Örneğin, *Acetobacter xylinum* NCIM 2526 (Ahmed vd., 2014), *Delftia sp. strain* KCM-006 (Kumar vd., 2014), *Pseudomonas denitrificans* (Sharon vd., 2012), *Pseudomonas veronii* AS41G (Baker vd., 2015) nanopartiküllerin sentezinde kullanılan bazı bakteri örnekleridir. Bunların yanında, *Pseudomonas aeruginosa*, *Morganella sp.*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Rhodopseudomonas capsulate*, *Brevibacterium casei* and *Lactobacillus sp.* bakterileri

kullanılarak da metal nanopartiküllerin sentezleri literatürde gerçekleştirilmiştir. (Sowan vd., 2016).

Mayalar, basit ökaryotlardır ve proteinlerin ve enzimlerin verimli çalışması için yardımcı olan uygun translasyon sonrası yöntemlere sahiptir (Chandra vd., 2020). Literatürde *Magnusiomyces ingens* LH-F1 (Zhang vd., 2016), *Yarrowia lipolytica* NCIM 3589 (Pimprikar vd., 2009) mayaları kullanarak metal nanopartiküllerinin sentez çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca mayalar, sadece metal nanopartiküllerin eldesinde değil yarı iletkenlerin sentezinde de kullanılmaktadır. Örneğin, *Candida glabrata* ve *Schizosaccharomyces pombe* mayaları, CdS nanopartiküllerin sentezinde kullanılmıştır (Narayanan ve Sakthivel, 2010).

Mantarlar ile nanopartiküllerin yeşil sentezi (Mikonanoteknoloji), yüksek kararlılık ve boyut kontrolü ile başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Metal nanopartiküllerin mikosentezi, mantarların çeşitliliği, yüksek metal toleransı ve mantarların metal iyonlarını biriktirme yeteneği gibi önemli özelliklerinden dolayı büyük ilgi görmektedir (Gautam vd., 2019). *Fusarium solani* (Clarance vd., 2020), *Pleurotus florida* (Sen vd., 2013), *Fusarium oxysporum* (Naimi-Shamel vd., 2019) AuNP'lerin yeşil sentezinde kullanılmış bazı mantar türlerine örnektir.

Yosunlar; lipid, mineral, vitamin ve ayrıca polisakkarit, protein ve polifon gibi biyoaktif maddeler bakımından zengindir. Bu fitokimyasallar, yapısında hidroksil, karboksil ve amino fonksiyonel grupları içermekte ve bunlar metallerin indirgemesinde ve kararlaştırılmasında etkili bir rol oynamaktadırlar (Shankar vd., 2016). Literatürde yosunlar kullanarak gerçekleştirilmiş birçok yeşil sentez çalışması mevcuttur. *Egremia sp.* (Colin vd., 2018), kahverengi bir alg olan *Cystoseira baccata* (González-Ballesteros vd., 2017), mavi yeşil bir alg olan *Spirulina platensis* (Suganya vd., 2015), *Dunaliella salina* (Singh vd., 2019), *Caulerpa racemosa* (Manikandakrishnan vd., 2019) yosunları bu çalışmalara örnek olarak verilebilir.

2.5.2. Bitkiler ile Yeşil Sentez

Bitki özlerinin metal iyonlarını indirgeme yeteneği 1900'lerin başından beri bilinmesine rağmen, indirgeme ajanlarının doğası tam olarak anlaşılamamıştır. Fakat, basitliği göz önüne alındığında, metal tuzlarını nanopartiküllere indirgemek için bitki ve bitki özütlerinin kullanılması son yıllarda büyük ilgi görmektedir (Mittal vd., 2013).

Yeşil sentez için bitkilerin veya mikroorganizmaların hazırlanması işlemleri basit bir prosedürdür. Örneğin, bitki materyallerinden elde edilen özütler genellikle aşağıdaki şekilde hazırlanmaktadır:

- (i) bitkilerin toplanması,
- (ii) kiri ve safsızlıkları uzaklaştırmak için derinlemesine yıkama,
- (iii) yıkanmış bitki parçalarının kurutulması,
- (iv) keserek boyut küçültme,
- (v) bir çözücü içinde ısıtma,
- (vi) özütün süzülmesi (Wang vd., 2019).

Nanopartiküllerin yeşil sentez çalışmaları da özüt hazırlama işlemi gibi diğer sentez yöntemleri ile kıyaslandığında daha basit bir işlemdir. Sentez işleminde özüt yukarıda anlatıldığı gibi hazırlandıktan sonra, oda sıcaklığında bir metal tuz çözeltisi ile karıştırılır ve reaksiyon dakikalar içinde tamamlanır. Gümüş, altın ve diğer birçok metalden oluşan nanopartiküllerin sentezi genel olarak bu işlem kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Mittal vd., 2013).

Bitkiler kullanılarak gerçekleştirilen yeşil sentezde, yaprak, kök, lateks, tohum ve gövde gibi bitki parçaları, metalik nanopartiküllerin sentezinde başarı ile kullanılmaktadır (Shamaila vd., 2016). Bu biyolojik sentez süreçleri sırasında, çeşitli bitki yapılarına (yaprak, gövde, kök, sebze, meyve, tohum ve biyokütle dahil) ait ikincil metabolitler, sentez sürecinin aktif bir bileşeni olarak değerlendirilir (Sengani vd., 2017). Şekil 2.7’de bitki özütlerinde bulunan bazı önemli indirgeyici ajanlar gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Bitkilerdeki önemli biyo-indirgeyici ajanlar (Shamaila vd., 2016).

Günümüzde, bitkilerin farklı kısımları kullanılarak AuNP çalışmaları başarıyla yürütülmektedir. Bu kapsamda literatürde farklı çalışmalar mevcuttur. Örneğin bir çalışmada araştırmacılar, *Acacia nilotica* twig kabuklarının özütünü kullanarak AuNP'leri sentezlemişler ve nanopartikülleri nitrobenzen tespitinde kullanmışlardır (Emmanuel vd., 2014). Ghoreishi vd. ise *Rosa damascena* çiçeklerini kullanarak Ag ve AuNP'leri sentezlemişlerdir. Ayrıca bu nanopartikülleri ile bir camı karbon elektrotu modifiye etmişler ve elektrokimyasal uygulamalarda kullanmışlardır (Ghoreishi vd., 2011). Başka bir çalışmada Yu vd., *Citrus maxima* meyvelerinin özütünü kullanarak AuNP'leri sentezlemişler ve nanopartiküllerin katalitik özelliklerini 4-nitrofenolün 4-aminofenolün indirgenmesi çalışmalarında araştırmışlardır (Yu vd., 2016). Kumar vd., *Croton Caudatus Geisel* yaprak özütlerini kullanarak AuNP'leri elde etmişler ve nanopartiküllerin antibakteriyel/antifungal gibi biyolojik özelliklerini araştırmışlardır (Kumar vd., 2019). Leonard vd., kırmızı ginseng kökü (*Panax ginseng C.A. Meyer*) kullanarak AuNP'leri sentezlemişler ve nanopartiküllerin sitotoksik özelliklerini araştırmışlardır (Leonard vd., 2011). Jayaseelan vd., *Abelmoschus esculentus* tohumlarını kullanarak AuNP'leri sentezlemişler ve antifungal özelliklerini belirlemişlerdir (Jayaseelan vd., 2013).

Yukarıdaki örneklerden de görüleceği gibi literatürde nanopartiküllerin eldesinde farklı bitkiler ve bu bitkilerin de farklı kısımları kullanılarak birçok çalışma gerçekleştirilmiş ve günümüzde bu çalışmaların sayısı gittikçe artmaktadır. Çünkü nanopartiküllerin biyosentezi için diğer biyomateriyallerden ziyade bitki özütlerinin kullanımı daha güvenilir ve çevre dostu yöntem olarak kabul edilmiştir. Ayrıca bitkiler kullanılarak gerçekleştirilen yeşil sentezin daha birçok avantajı bulunmaktadır ve en önemli avantajlar şunlardır:

- Kolay kullanılabilirlik,
- Güvenli kullanım,
- Uygun maliyet,
- Tek adımlı basit süreç,
- Bitkilerin indirgenmeyi sağlayacak çeşitli metabolitler içermesi,
- Hücre kültürlerinin ayrıntılı bakımının ortadan kaldırılması,
- Hızlı sentez,
- Daha çevre dostu,
- Daha kararlı nanopartiküller,
- Nanopartiküllerin boyutu ve şekli üzerinde daha iyi kontrol,
- Büyük ölçekli sentezlere uygunluk (Vijayaraghavan ve Ashokkumar, 2017).

2.6. Nanopartiküllerin Karakterizasyonu

Nanopartiküllerin sentezinde, nanopartiküllerin oluşması ile reaksiyon çözeltisinde bir renk değişikliği gözlemlenmekte ve gerçekleşen bu renk değişimi nanopartiküllerin sentezlendiği gösteren ilk ipucu olarak kabul edilmektedir (Shah vd., 2015). Daha sonra, metalik nanopartiküllerin oluşumu, UV-Vis spektrofotometre kullanılarak gerçekleştirilen spektrum ölçümleri ile nanopartiküllerin yüzey plazmon bantları (SPR) izlenerek gözlemlenmektedir (Vijayaraghavan ve Ashokkumar, 2017). Çünkü SPR bandı, nanopartikülün şekline, büyüklüğüne, cinsine ve bileşimine bağlı olarak değişmektedir (Shah vd., 2015). SPR bantları, elektromanyetik bir dalganın, bir soy metal nanopartikülü ile etkileştiği zaman, nanopartikülün yüzeyindeki elektronların elektromanyetik alanın yönüne göre yüzeyin bir tarafında toplanması ile oluşmakta ve bu elektromanyetik dalganın frekansının maksimumu ise SPR bandı olarak adlandırılmaktadır (Chen vd., 2018). Örneğin Ag ve AuNP'ler için sırasıyla 400-450 nm ve 500-550 nm dalga boyu aralıklarında SPR bandı oluşmaktadır (Mittal vd., 2013). UV-Vis spektrofotometre analizi genellikle metalik

nanopartiküllerin karakterizasyonunda kullanılan ilk tekniktir. Nanopartiküllerin karakterizasyonunda kullanılan diğer teknikler ise Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Metal nanopartiküllerinin karakterizasyonunda kullanılan teknikler (Mutlu, 2020).

Analiz Edilecek Özellik	Analiz Sonucunda Elde Edilen Bilgiler	Kullanılacak Teknik
Nanoparçacık Oluşum	Nanopartikül sentezinin ve ürün stabilitesinin doğrulanması	UV-Visible Spektroskopisi
Boyut ve Morfoloji Analizi	Topoloji, boyut, morfoloji, kristalografik yapı ve bileşim, yüzey modifikasyonları ve kimyasal analiz	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Geçirilmiş Elektron Mikroskopisi (TEM) Atomik Kuvvet Mikroskopisi (AFM) Tarama Tüneli Mikroskopisi (STM) Dinamik Işık Saçılımı (DLS)
Yapı Analizi	Kristallik, yapı tipi, ve kristalit boyutu, kristalografi, kimyasal yüzey analizi, ciltleme, enerji ve homojenliği kompozisyon	X-Işını Kırınımı (XRD) X-Işını Foton Spektroskopisi (XPS)
Elementel Analiz	Kimyasal bileşim ve saflık elektronik yapı, herhangi bir malzemenin geometrisi ve element kompozisyonu, kimyasal bileşim, konsantrasyon ve kaplama kalınlığı	Enerji Dağıtıcı Röntgen (EDX) X Işını Emilimi Spektroskopisi (XAS) X-Işını Floresan (XRF)
Optik Karakterizasyonu	Absorbsiyon, iletim, boyut, şekil, bileşim ve konsantrasyon	UV-Vis Spektroskopisi (UV) Fourier İletim Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR)
Yüzey Analizi	Kolloidal kararlılık ve yüzey yükü, yüzey alanı ve gözenek boyutu dağılımı	Zeta Potansiyeli Brunauer-Emmett-Teller (BET)
Termal Analiz	Amorf içerik ve polimorfizm, kinetik, fiziksel ve kimyasal özellikleri	Diferansiyel Tarama Kalorimetre (DSC) Termal gravimetrik analiz
Magnetik Özellik Analizi	Manyetik özellikleri, analiz, manyetik davranış ve NP'lerin mıknatıslanması, yüzey manyetik özellikleri	Titreşimli Numune Manyetometre (VSM) Manyetik Kuvvet Mikroskopisi (MFM) Süperiletken Kuantum Girişim Cihazı (SQUID)

2.7. Literatür Özeti

Kumari ve Meena gerçekleştirdiği bir çalışmada *Lawsonia inermis*'in yaprak özütünü kullanarak AuNP’lerin sentez çalışmalarını yürütmüşler ve yaprak özütündeki fitokimyasallar ile 45 dakikada AuNP’lerin sentezini gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca

çalışmada tuz, pH, sıcaklık ve depolama gibi farklı parametrelerin AuNP'lerin stabilitesi üzerine etkilerini de incelemişlerdir. Ayrıca AuNP'lerin karakterizasyonunda farklı fizikokimyasal teknikler kullanmışlar ve küresel formdaki AuNP'lerin ortalama boyutunun 20 nm olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmanın uygulama basamağında ise AuNP'lerin katalitik özelliklerini araştırmışlar ve 4-nitrofenol gibi aromatik kirleticilerin ve bromofenol mavisi ve metil kırmızısı gibi boyaların bozunmasında mükemmel katalitik aktivite sergilediğini belirlemişlerdir. Ayrıca, AuNP'lerin normal insan epitel akciğer hücre hatlarında sitotoksik etki göstermediğini de belirlemişlerdir (Kumari ve Meena, 2020).

Diğer bir çalışmada Dheyab vd., Portabello mantarını (*Agaricus bisporus*) kullanarak yeşil sentez ile AuNP'leri elde etmişler ve AuNP'lerin kimyasal ve fiziksel özellikleri için UV-Vis, AFM, FESEM, XRD, Zeta Potansiyeli, DLS ve FT-IR analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmalar sonucunda koloidal AuNP'lerin oval, küresel, altıgen ve üçgen şekillerin bir karışımını içerdiğini ve ortalama çapının ise 53 nm olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca, MM boyasının bozunmasında AuNP'leri kullanmışlar ve % 97,98 renk giderimi ile AuNP'lerin MM boyasının indirgenmesinde nanokatalizör görevi gördüğünü belirlemişlerdir (Dheyab vd., 2020).

Oueslati vd., *Salvia officinalis* bitkisinden elde ettikleri polifenollerini kullanarak yüksek katalitik aktiviteye sahip AuNP'ler hazırlamak için çevre dostu bir yöntem bildirmişlerdir. Çalışmalarda hem alkali (pH~11) hem de asidik ortamda (pH~5) polifenol, Au (III) tuzunun indirgenmesine yol açmış ve alkali ortamda yüksek oranda homojen, küresel ve küçük (<6 nm), asidik ortamda ise daha büyük (27 nm) AuNP'leri elde etmişlerdir. Ek olarak, üretilen AuNP'lerin, p-nitrofenolün p-aminofenole ve MM'sinin ise lömetilen mavisine bozunumunda boyuta bağlı olarak etki gösterdiğini belirlemişlerdir (Oueslati vd., 2020).

Varadavenkatesan vd., gerçekleştirdikleri çalışmada AgNP'lerin sentezinde indirgeyici ajan olarak *Clitoria ternatea* tohumlarının özütleri kullanmışlardır. AgNP'lerin oluşumunu ise 418 nm'de elde ettikleri SPR bandı ile gözlemişler ve küresel şeklinde AgNP'lerin görüntüsünü SEM analizi ile belirlemişlerdir. Bunların yanında, AgNP'lerin karakterizasyon çalışmalarında EDS, XRD ve FTIR analizleri de gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca AgNP'lerin MM boyasının bozunması üzerinde katalitik etkisini incelemişler ve birinci dereceden kinetik sabitini 0,1448 dakika⁻¹ olarak hesaplamışlardır (Varadavenkatesan vd., 2020).

Diğer bir çalışmada Rajput vd., AgNP'lerin yeşil sentezini, çay yapraklarının (*Camellia sinensis*) atıklarını kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, AgNP'lerin

sentezi için optimum sentez koşullarını belirlemek için UV-Vis spektrometresi ile elde edilen spektrumları değerlendirmişler ve pH 6.0, 5mM AgNO₃ derişimi ve 25°C sıcaklığı optimum sentez şartları olarak seçmişlerdir. Daha sonra nanopartiküllerin antibakteriyel özelliklerin belirlenmesi için de çalışmalar yürütmüşler ve AgNP'lerin, *K. pneumonia*'ya karşı maksimum antibakteriyel aktivite, *E. coli* ve *C. diptheriae*'ye karşı minimum aktivite gösterdiğini belirlemişlerdir. Bunlara ek olarak, pamuklu kumaş üzerinde tutturulan AgNP'lerin, gram pozitif organizmalara karşı antibakteriyel aktivite gösterdiğini tespit etmişlerdir. Son olarak AgNP'lerin katalitik etkilerini fenol kırmızı ve mavi tekstil boyası üzerinde araştırmışlar ve AgNP'lerin boyaların bozunumunda etkili bir katalizör olduğunu belirlemişlerdir (Rajput vd., 2020).

Sooraj vd., başka bir çalışmada, *Sida retusa* yaprak özütünü kullanılarak AgNP'lerin yeşil sentezini gerçekleştirmişlerdir. Sentezledikleri AgNP'lerin karakterizasyonunda, UV-Vis, FT-IR, PXRD, EDX, SEM, TEM ve AFM tekniklerini kullanmışlardır. Ayrıca MM, p-nitroanilin ve p-nitrofenolün AgNP ile katalize edilmiş NaBH₄ indirgeme reaksiyonlarını incelemişler ve AgNP'lerin mükemmel katalitik aktivite gösterdiğini belirlemişlerdir. Ayrıca sentezledikleri AgNP'lerin antibakteriyel aktivitelerini hem gram-pozitif hem de gram-negatif bakterileri için test etmişler ve AgNP'lerin incelenen bakterilere karşı yüksek antibakteriyel aktivite gösterdiğini belirlemişlerdir (Sooraj vd., 2020).

Başka bir çalışmada Nouri vd., AgNP'leri, *Mentha aquatica* yaprağının özütünü kullanılarak sentezlemişlerdir. Biyosentezlenmiş AgNP'lerin karakterizasyonu için UV-Vis, EDX, TEM, XRD ve FTIR gibi çeşitli analitik teknikler kullanmışlardır. Ayrıca sentez üzerindeki etkili bazı parametreleri, küçük nanopartiküller elde etmek için optimize etmişlerdir. Sentez sırasında ultrasonik uygulama ile minimum inhibitör konsantrasyonunu (MIC) düşürerek yüksek antibakteriyel aktiviteye sahip daha küçük AgNP'ler (8 nm) elde edilebileceğini belirlemişler ve ultrasonik destekli sentezlenmiş AgNP'lerin, *P. aeruginosa*, *E. coli*, *B. cereus* ve *S. aureus*'a karşı MIC değerlerinin 22, 58, 20 ve 198 µg/mL olduğunu bulmuşlardır. Ek olarak, AgNP'leri, MM boyasının katalitik bozunması üzerinde kullanmışlar ve birinci dereceden kinetik hız sabitini 807.69 s⁻¹g⁻¹ olarak belirlemişlerdir (Nouri vd., 2020).

Diğer bir çalışmada Anuradha vd., *Aerva Lanata* yaprak özütünü kullanılarak Ag-Co bimetalik nanopartiküllerin yeşil sentezi için çevre dostu kolay bir yöntem bildirmişlerdir. Çalışmada karakterizasyon çalışmalarını ise UV-Vis, FTIR, SEM, XRD, EDX ve HRTEM tekniklerini kullanarak yürütmüşlerdir. Elde ettikleri nanopartikülleri ayrıca, optimum koşullarda ve güneş ışığı altında malakit yeşili boyasının bozunması için fotokatalizör olarak

kullanmışlar ve sonuçta 120 dakika ışık altında 20 mg katalizör dozu ile pH 8'de 10 ppm boya çözeltisi için maksimum % 88,6 fotodegradasyon elde edildiğini belirlemişlerdir (Anuradha vd., 2020).

Samuel vd., ise çalışmalarında kobalt oksit (CoO) nanopartiküllerini *Vitis rotundifolia* kullanılarak sentezlenmiştir. Sentezlenen CoO nanopartiküllerini de, UV-Vis, FTIR, XRD ve SEM teknikleri ile karakterize etmişlerdir. Ayrıca elde ettikleri CoO nanopartiküllerinin fotokatalitik aktivitesini ise, Acid Blue-74 (AB-74) boyası üzerinde test etmişler ve % 98'lik bozunumu, pH 10'da ve 60 mg/100 mL konsantrasyonda 150 dakikalık reaksiyon süresinde elde etmişlerdir (Samuel vd., 2020).

Ghosh vd. ise, *Polyalthia longifolia* yaprak özütlerini kullanarak monometalik Ag, Au ve alaşım tipinde Au-Ag bimetalik nanopartiküllerinin sentez çalışmalarını yürütmüşler ve nanopartiküllerin biyosentezi için gerekli şartları (reaktant oranı, sıcaklık, zaman ve pH) optimize etmişlerdir. Ayrıca nanopartikülleri, UV-Vis, DLS, Zeta potansiyeli, TEM ve EDX teknikleri ile karakterize ederken, biyosentezden sorumlu muhtemel biyomolekülleri ise FTIR ve GC-MS/MS analizleri ile belirlemişlerdir. Uygulama basamağında ise nanopartiküllerin NaBH₄ varlığında tekli ve üçlü karışımdaki boyaların (metil turuncu, metil mor, metilen mavisi) bozunması yoluyla kemo-katalitik performanslarını değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak bozulma yüzdelerinin 5 dakika içinde % 80,06-96,59 arasında olduğunu, bozunma kinetiğinin $k = 0.361-1.518$ dakika⁻¹ ve yarılanma ömrünün $T_{50} = 0,457-1,920$ dakika arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Ayrıca üçlü karışımında Au-Ag alaşımının en yüksek katalitik aktivite gösterdiğini gözlemlemişlerdir (Ghosh vd., 2020).

Başka bir çalışmada Bhuiyan vd., atmosferik koşullarda papaya (*Carica papaya*) yaprağı özütü ile heksahidrat demir klorürden (FeCl₃.6H₂O) nano ölçekli demir oksit parçacıklarını (α -Fe₂O₃) sentezlemişler ve FTIR, XRD, FESEM, EDX ve TGA tekniklerini kullanarak karakterize etmişlerdir. Ayrıca bir fotokatalizör olarak sentezlenen demir oksit nanopartikülleri ile remazol sarı boyasının bozunmasını katalizör miktarı, başlangıç boya derişimini ve pH parametrelerini optimize edilerek araştırmışlar ve demir oksit nanopartiküllerinin dozunun artırılması ile boyanın renk gideriminin arttığını belirlemişlerdir. Ayrıca 0,8 g/L'lik bir katalizör miktarında, 6 saat sonra pH 2'de % 76,6 oranında maksimum boya bozunumu elde etmişlerdir. Fotokatalizörün birim uzaklaştırma kapasitesinin ise 70 ppm'lik boya derişiminde ve 0,4 g/L'lik bir katalizör miktarında 340 mg/g olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca sentezledikleri nanopartiküllerinin *Klebsiella spp.*, *E.Coli*, *Pseudomonas spp.*, *S.aureus* bakteri suşlarına karşı orta düzeyde antibakteriyel aktivite gösterdiğini gözlemlemişlerdir (Bhuiyan vd., 2020).

Cyril vd., *Derris trifoliata* tohumlarının özütünü kullanarak AuNP ve AgNP'lerin sentezini gerçekleştirmişler ve nanopartiküllerin oluşumunda rol oynayan özüt derişimi, güneş ışığına maruz kalma süresi ve pH gibi çeşitli parametreleri optimize etmişlerdir. Çalışmada elde ettiklerin AgNP'ler, $1744 \text{ s}^{-1}\text{g}^{-1}$ olan aktivite parametresi ile 4-nitrofenolün indirgenmesinde yüksek katalitik aktivite göstermiştir. Buna ek olarak araştırmacılar AuNP ve AgNP'ler ile azo violent boyasının katalitik indirgenmesini de gerçekleştirmişlerdir (Cyril vd., 2020).

Singh vd., *Cassia filiformis* bitkisinin özütünü kullanarak AuNP'leri sentezlemişlerdir. Ayrıca elde ettikleri nanopartikülleri UV-Vis, HR-TEM ve XRD teknikleri ile karakterize etmişler ve AuNP'lerin boyutunun 8-20 nm aralığında ve ortalama 12 nm boyutunda olduğu tespit etmişlerdir. Çalışmanın uygulama basamağında, AuNP'lerin güneş ışığı altında fotokatalitik bozunma yoluyla MM boyasının bozunmasını, bozunma davranışını, pH ve farklı ışık kaynakları gibi parametrelere bağlı olarak incelemişler ve boya bozunmasında alkali pH ve güneş ışığının çok önemli olduğunu bulmuşlardır. Çalışmalar sonucunda maksimum boya yükleme kapasitesini 595.23 mg/g ve 20 dakika sonra boya bozunma verimliliği ise % 87 olarak belirlemişlerdir. Ayrıca AuNP'lerin antimikrobiyal çalışmalarını *Mycobacterium smegmatis* üzerinde araştırmışlar ve 20 mm'lik inhibisyon çapı elde etmişlerdir (Singh vd., 2020).

2.8. Kiraz Sapı ve Özellikleri

Tatlı kiraz (*Prunus avium* L.), dünyanın çeşitli yerlerinde özellikle ılıman iklime sahip bölgelerde yetişmektedir. Tıbbi ve tedavi amaçlı olarak meyvesi, gövdesi ve sapı olmak üzere kirazın tüm kısımları kullanılmaktadır. Kiraz meyvelerinin ayrıca in vitro ve hayvan deneylerinde nispeten yüksek antioksidan aktivite, düşük glisemik yanıt, COX 1 ve 2 enzim inhibisyonu ve anti-kanserojen etkiler sergilediği bilinmektedir (Ademović vd., 2017).

Kiraz meyvesinin yanında, kiraz sapsarı da (*Cerasus avium* L.) oldukça değerli bir bitki bileşenidir. Yaygın ve geleneksel olarak, idrar söktürücü ve iltihap önleyici olarak halk hekimliğinde kullanılmaktadır. (Peixoto vd., 2020). Literatürde, kiraz sapsının içerdiği fitokimyasal ajanların belirlenmesi için bazı çalışmalar yürütülmüştür. Örneğin, Bursal vd., gerçekleştirdiği deneysel çalışmalar ile kiraz sapı içerisinde kafeik asit, ferulik asit, siringik asit, ellagik asit, kuersetin, α -tokoferol, pirogallol, p-hidroksibenzoik asit, vanilin, p-kumarik asit, gallik asit ve askorbik asit gibi polifenol içeriklerinin miktarlarını belirlemişlerdir (Bursal vd., 2013). Başka bir çalışmada, Peixoto vd., farklı ticari

markalardan satın alınan kiraz saplarında sekiz farklı sınıfa (hidroksibenzoik asitler, hidroksisinnamik asitler, fenilpropanoik asitler, flavan-3-ol, flavonoller, flavanonlar, flavonlar ve izoflavonlar) ait 44 fenolik bileşik tespit etmişlerdir (Peixoto vd., 2020).

Literatür verilerine göre kiraz sapının yüksek fenolik bileşenlere sahip olması yanında antioksidan, antibakteriyel gibi önemli özellikleri de beraberinde getirmektedir (Zoral ve Turgay, 2014). Ayrıca kiraz sapı özütlerinin, kiraz özütlerinden daha yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğu gösterilmiş olmasına rağmen, kiraz sapları bilim camiası tarafından hala çok az çalışılmaktadır (Peixoto vd., 2020). Tüm bu sebeplerden ötürü bu tez çalışması kapsamında kiraz saplarının AuNP'lerin sentezinde kullanılmak üzere iyi bir biyometabolit olduğuna karar verilmiş ve çalışmalar kiraz sapı özütü kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal ve Kimyasallar

Bu tez çalışması kapsamında AuNP'lerin yeşil sentezinde kullanılan kurutulmuş kiraz sapı bitkisi (*Cerasus avium* L.), Burdur ilinde bulunan yerel bir aktardan alınmıştır. AuNP'lerin sentez çalışmalarında kullanılan altın tuzu ($\text{AuCl}_4\text{Na}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) Sigma-Aldrich firmasından satın alınmıştır. Sentezlenen nanopartiküllerin katalitik çalışmalarında kullanılan MM boyası Merck firmasından, MO boyası Aldrich firmasından ve NaBH_4 tuzu Fluka firmasından temin edilmiştir.

3.2. Aletler ve Cihazlar

Tez çalışması kapsamında kullanılan alet ve cihazlar Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Çalışmalarda kullanılan alet ve cihazlar

Alet/cihaz	Marka
Ultra saf su cihazı	PURIS, Expe-UP model
Hassas terazi	Kern, ACS 220-4 model
Isıticılı manyetik karıştırıcı	TOPO, MS300HS model
Santrifüj	Hettich, Universal 320 model
Etüv	Memmert, UN 110 model
Evaporator	Heidolph, Laborota 4000 model
0,5 McFarland cihazı	Biyosan, Den-1 model
Otoklav	ALP
İnkibatör	Nüve
UV-Vis spektrofotometre	PG Instruments, TG 60 model
TEM	JEOL, JEM-1220 model
XRD	Bruker, D8 Advance model
FTIR	Perkin Elmer, Fronter model

3.3. Kiraz Sapı ile AuNP'lerin Sentezlenmesi

3.3.1. Kiraz Sapı Özütünün Eldesi

Aktardan satın alınan kurutulmuş kiraz sapsarı (Şekil 3.1) ilk olarak bazı ön hazırlık işlemlerine tabii tutulmuştur. Bu kapsamda ilk olarak kiraz sapsarı musluk suyu ve ultra saf su ile yıkanmıştır. Daha sonra oda koşullarında kuruması için gölge bir yerde kurutulmuştur. Kuruyan kiraz sapsarı küçük parçalar haline getirildikten sonra sentez çalışmalarına kadar ağzı kapalı kaplarda saklanmıştır.



Şekil 3.1. Çalışmalarda kullanılan kurutulmuş kiraz sapsarı

Kiraz sapsarı özütünün hazırlanması işleminde de ilk olarak geri soğutucu altında, 500 mL'lik balonun içerisine 250 mL ultra saf su konulmuş ve ısıtıcı üzerinde kaynaması için beklenmiştir. Su kaynadıktan sonra belirli miktarda tartılmış kiraz sapsarı (% 0,5, % 1, % 1,5, % 2, % 2,5 ağırlık/hacim) kaynamış suya ilave edilip 5 dakika çalkalanmış ve süre tamamlanınca balon ısıtıcı üzerinden alınarak yine geri soğutucu altında oda sıcaklığına gelmesi için beklenmiştir. Son olarak soğuyan özüt mavi band süzgeç kağıdı kullanılarak süzölmüş ve amber ağzı kapalı kaplarda +4 °C'de muhafaza edilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Kiraz sapı özütünün eldesi

3.3.2. AuNP'lerin Sentez Çalışmaları

AuNP sentez çalışmalarında, Bölüm 3.3.1'de anlatıldığı şekilde hazırlanmış 5 farklı derişimde elde edilmiş özütler (% 0,5, % 1, % 1,5, % 2, % 2,5 ağırlık/hacim) ve 10^{-1} M, 10^{-2} M ve 10^{-3} M Au çözeltileri ile çalışılmıştır. Bu kapsamda, özüt ile Au çözeltisini 10:1 (hacim/hacim) oranında karışarak AuNP'lerin oluşumu sağlanmıştır. Deneysel çalışmalar ağzı kapalı kaplarda alüminyum folyo ile etrafı sarılarak karanlık ortamda gerçekleştirilmiştir. 24 saat sonra ise UV-Vis spektroskopisi kullanarak nanopartikül çözeltilerinin spektrumları alınmış ve AuNP'lerin sentezlenmesi için gerekli optimum özüt derişimi ve Au çözeltisi derişimleri belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen derişimler ile çalışıldığında AuNP'lerin oluşumu için gerekli sentez süresinin belirlenmesi için zaman optimizasyonu çalışması yürütülmüştür.

3.4. AuNP'lerin Karakterizasyon Çalışmaları

Bu tez çalışmasında AuNP'lerin eldesi için gerekli optimizasyonlar gerçekleştirildikten sonra optimum sentez şartlarında elde edilen AuNP'lerin karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak AuNP'lerin SPR bantlarını gözlemlemek için PG Instruments marka TG 60 model UV-Vis spektrometresi kullanılmış ve spektrum ölçümleri 400-800 nm arasında gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen AuNP'lerin boyut ve morfolojisinin belirlenmesi için ise TEM ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda AuNP çözeltisinin bir damlası karbon kaplı bakır grid üzerine damlatılmış ve gece boyunca oda şartlarında kurumaya bırakılmıştır. Daha sonra hazırlanan grid ile TEM ölçümleri, JEOL JEM-1220 model TEM kullanılarak Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir. Sentezlenen AuNP'lerin ortalama partikül çapının belirlenmesi için de TEM görüntüleri kullanılmış ve Image Proplus 6 yazılımı ile 100 adet partikülün çapı hesaplanmıştır.

AuNP'lerin kristal yapısının belirlenmesi için ise XRD ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bunun için ilk olarak AuNP çözeltisi bir gece 35°C'de etüvde bekletilmiş ve elde edilen katı AuNP'lerin XRD ölçümleri Bruker marka D8 Advance model XRD cihazı ile Burdur MAKÜ Bilimsel ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir.

Kiraz sapı özütü ile AuNP'lerin yeşil sentezinde indirgeyici ve kararlaştırıcı ajan olarak görev yapan fonksiyonel grupların belirlenmesi için ise ATR-FTIR analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda ilk olarak evaporatör kullanarak 25 °C'de özütün ve AuNP çözeltisinin suyu uzaklaştırılmış ve konsantre hale getirilmiş kiraz sapı özütü ve AuNP'lerin ATR-FTIR analizleri, Perkin Elmer marka Frontier model FTIR cihazı ile 4000 cm⁻¹ ila 1000 cm⁻¹ aralığında olacak şekilde Burdur MAKÜ Bilimsel ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir.

3.5. AuNP'lerin Antibakteriyel Aktivite Çalışmaları

Çalışmaların bu basamağında ilk olarak agar çözeltisi hazırlanmıştır. Bunun için 28 gram nutrient agar, 1 litre su ile seyreltilmiş ve sterilize edilmesi için otoklavda 120 °C'de 15 dakika tutulmuştur. Daha sonra sterilize edilmiş berrak ve sarımsı kahve renkteki agar, 15 mL steril petri kaplarına konulmuş ve kontaminasyon kontrolünün gerçekleştirilmesi için petriler bir gün oda sıcaklığında bekletilmiştir.

AuNP'lerin gram pozitif *Enterococcus faecalis* ATTC29212, *Listeria monocytogenes* ASKK472, *Bacillus cereus* ATTC 11778, *Staphylococcus aureus* ATTC 43300 ve gram negatif *Salmonella Typhimurium* ATTC 14028, *Enterobacter aerogenes* ATTC 13048, *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli* 0157:H7, *Salmonella Enterocolitica*, *Escherichia coli* 0157:H7 ATTC 43895, *Escherichia coli* ATTC 35150 bakterilerine karşı etkisi kuyu difüzyon yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Bu kapsamda türbiditesi 0,5 McFarlanda ayarlanmış her bir bakteri kültür dilüsyonunun 1 mL'si üzerine, 10 mL Nutrient agar kullanılarak önceden hazırlanan 20 mL'lik petri kaplarına dökme ekim

yöntemiyle inoküle edilmiş ve agar yüzeyinde steril bir mantar delici ile oluşturulan 9 mm çapındaki kuyuların içerisine 50 µL AuNP çözeltisi damlatılmıştır. Daha sonra petriler, 37 °C'lık inkübatörde 52 saat bekletilmiş ve inhibisyon zon çapları ölçülmüştür (Özkan, 2019).

3.6. AuNP'lerin Katalitik Aktivite Çalışmaları

Bu tez çalışması kapsamında kiraz sapı özütü ile sentezlenen AuNP'lerin katalitik özelliği MO ve MM boyaları kullanılarak araştırılmıştır.

Deneysel çalışmalar, 10 mL 1×10^{-4} M derişimde MO ve MB boyasına, 10 mL 0,2 M NaBH₄ ve 0,1 mL optimum şartlarda elde edilen AuNP çözeltisi eklenmesi ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonra UV-Vis spektrometresi ile farklı zamanlarda spektrum alınarak MO için 465 nm ve MM için ise 665 nm'de elde edilen maksimum absorbans değerlerindeki düşüşler takip edilmiştir. Ayrıca çalışmalarda, sadece boya ve NaBH₄ ile kontrol deneyleri de gerçekleştirilmiştir.

Zamana göre boyaların bozunma yüzdesinin hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmıştır (Paul vd., 2020).

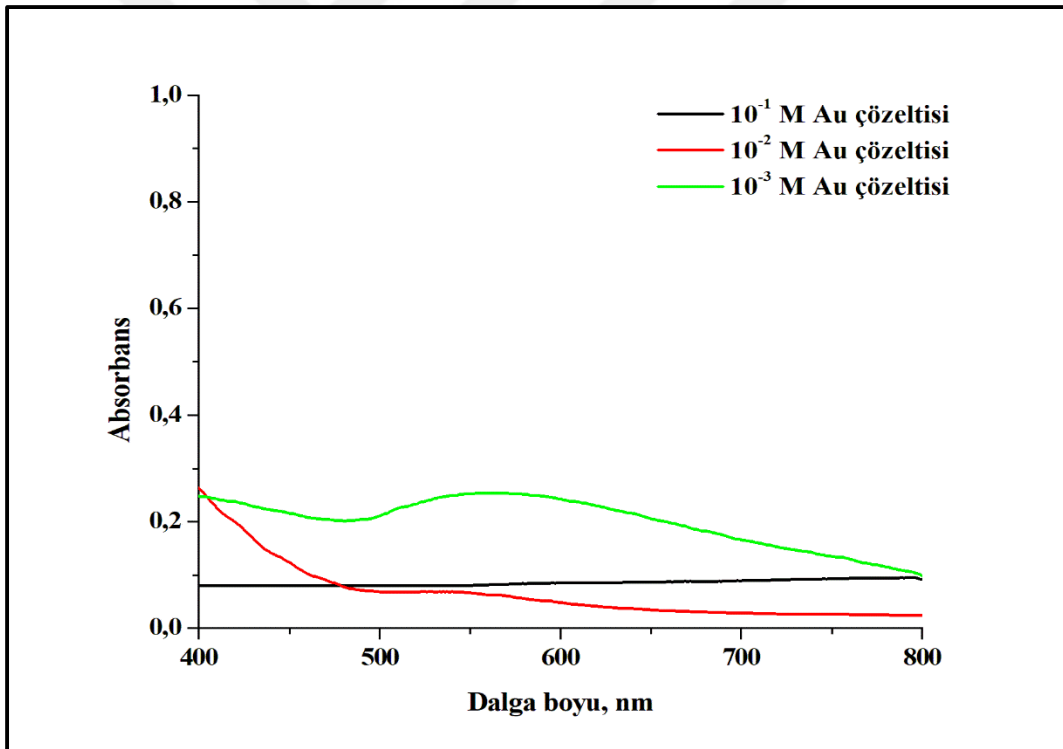
$$\% \text{ Renk giderimi} = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100, \quad (3.1)$$

Burada A_0 başlangıçtaki absorbans, A_t ise t zamanındaki absorbans değeridir.

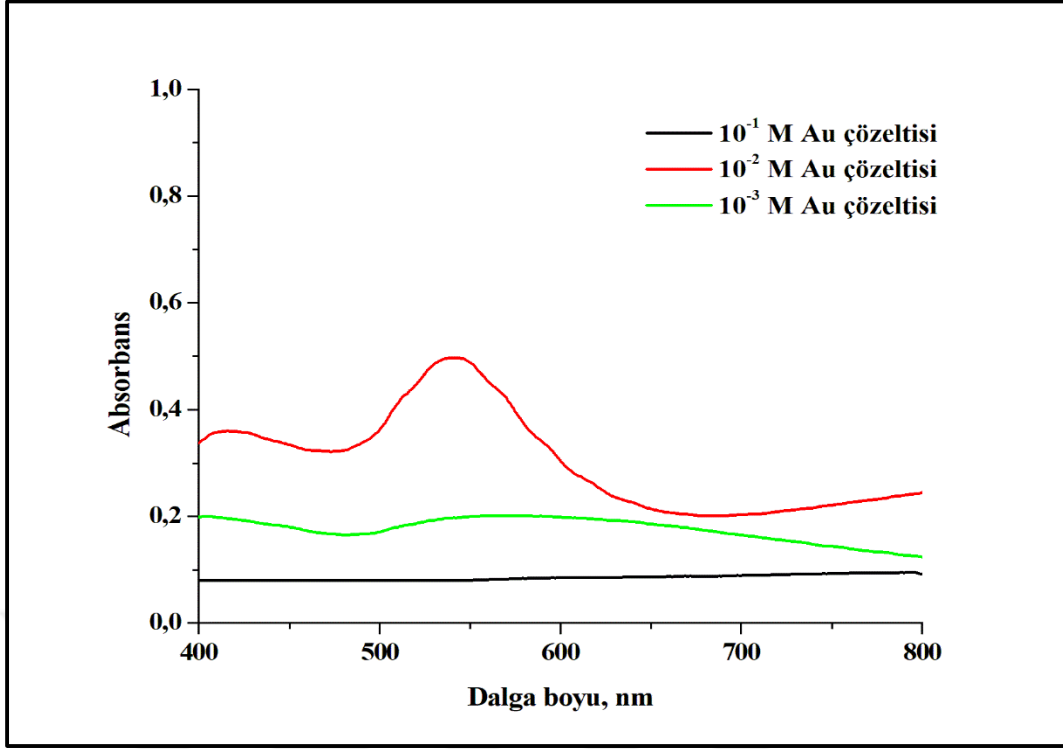
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. AuNP'lerin Sentez Çalışmaları

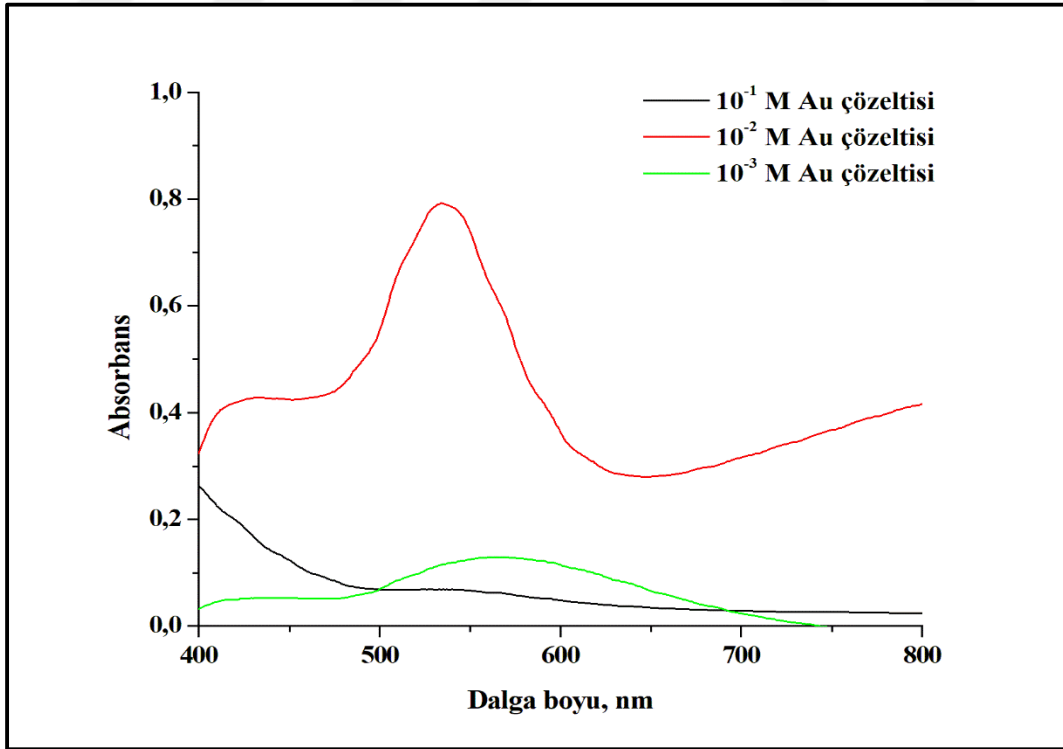
Bu tez kapsamında gerçekleştirilen AuNP'lerin sentez çalışmalarında, Bölüm 3.3.1'de anlatıldığı şekilde elde edilen beş farklı özüt derişimindeki (% 0,5, % 1,0, % 1,5, % 2,0 ve % 2,5 m/v) kurutulmuş kiraz sapı özütleri elde edilmiştir. Ayrıca sentez çalışmalarında 10^{-1} M, 10^{-2} M ve 10^{-3} M Au çözeltileri kullanılmış ve AuNP'lerin eldesi için, Au çözeltileri özütlerle ayrı ayrı 1:10 (v/v) oranında eklenmiştir. Daha sonra nanopartiküllerin oluşup oluşmadığını gözlemlemek için 1 saat sonra UV-Vis spektrometresi kullanılarak spektrum ölçümleri gerçekleştirilmiş ve gerçekleştirilen tüm ölçümlerde kör çözelti olarak hazırlanan özütler kullanılmıştır. Çalışmalar sonucunda elde edilen spektrumlar ise Şekil 4.1 ve Şekil 4.5 arasında gösterilmiştir.



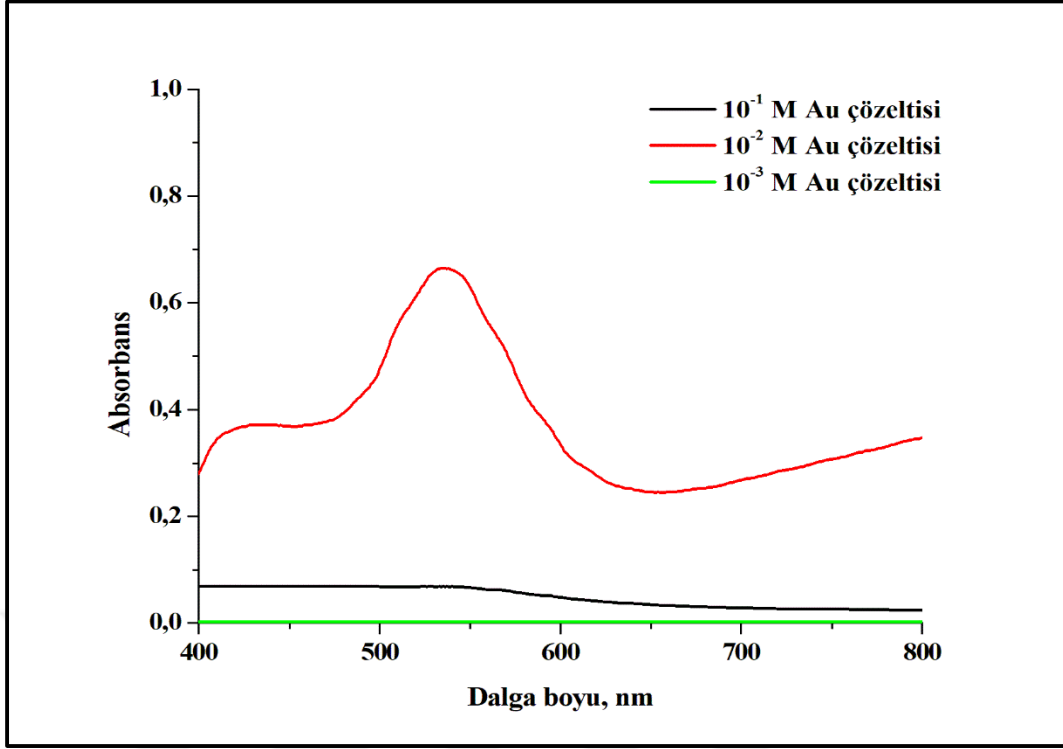
Şekil 4.1. % 0,5 derişimindeki kiraz sapı özütü ve farklı derişimlerdeki Au çözeltileri ile elde edilen spektrumlar, 10^{-2} M üç kat seyreltilmiştir.



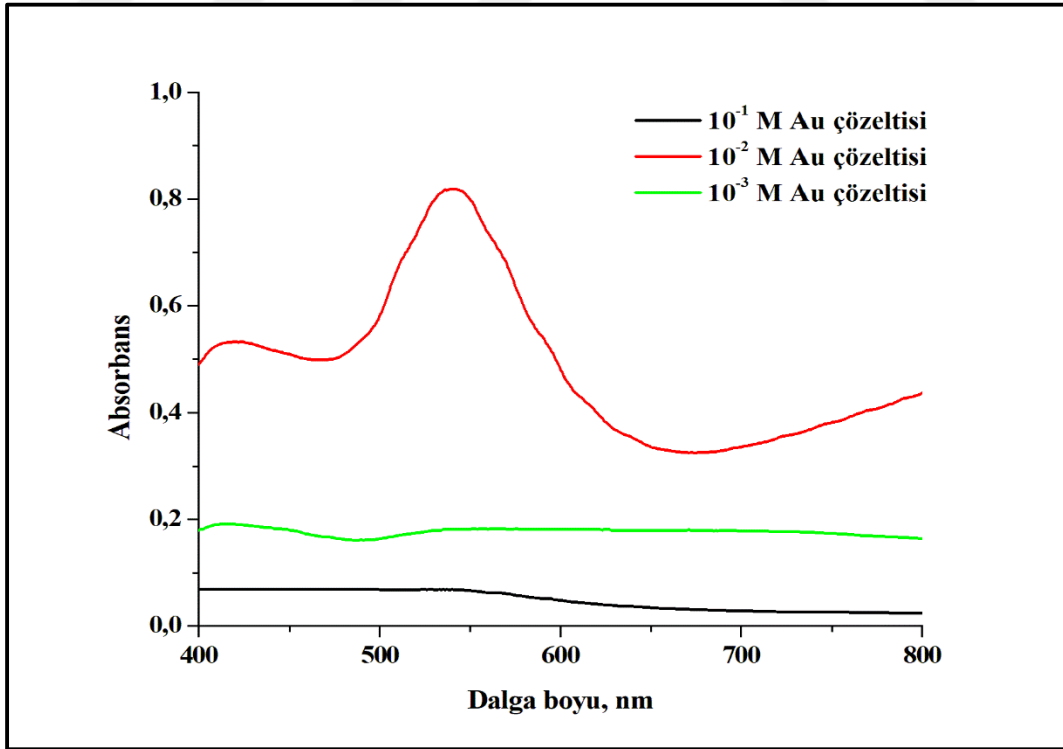
Şekil 4.2. % 1,0 derişimindeki kiraz sapı özütü ve farklı derişimlerdeki Au çözeltisi ile elde edilen spektrumlar, 10^{-2} M üç kat seyreltilmiştir.



Şekil 4.3. % 1,5 derişimindeki kiraz sapı özütü ve farklı derişimlerdeki Au çözeltisi ile elde edilen spektrumlar, 10^{-2} M üç kat seyreltilmiştir.

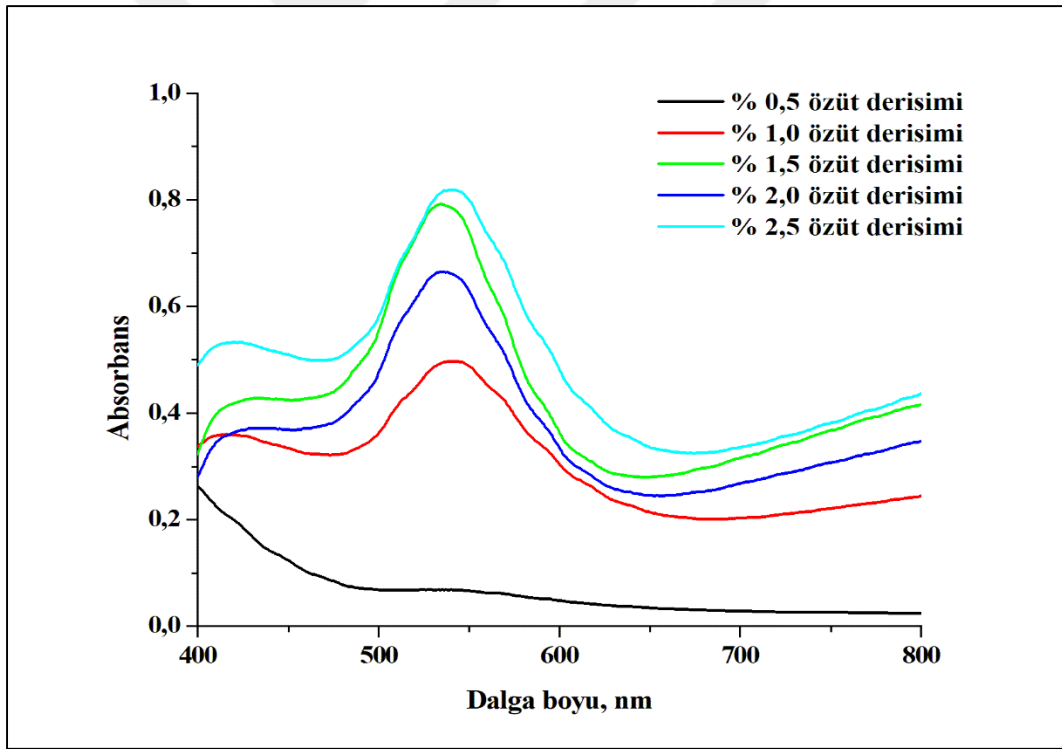


Şekil 4.4. % 2,0 derişimindeki kiraz sapı özütü ve farklı derişimlerdeki Au çözeltisi ile elde edilen spektrumlar, 10^{-2} M üç kat seyreltilmiştir.



Şekil 4.5. % 2,5 derişimindeki kiraz sapı özütü ve farklı derişimlerdeki Au çözeltisi ile elde edilen spektrumlar, 10^{-2} M üç kat seyreltilmiştir.

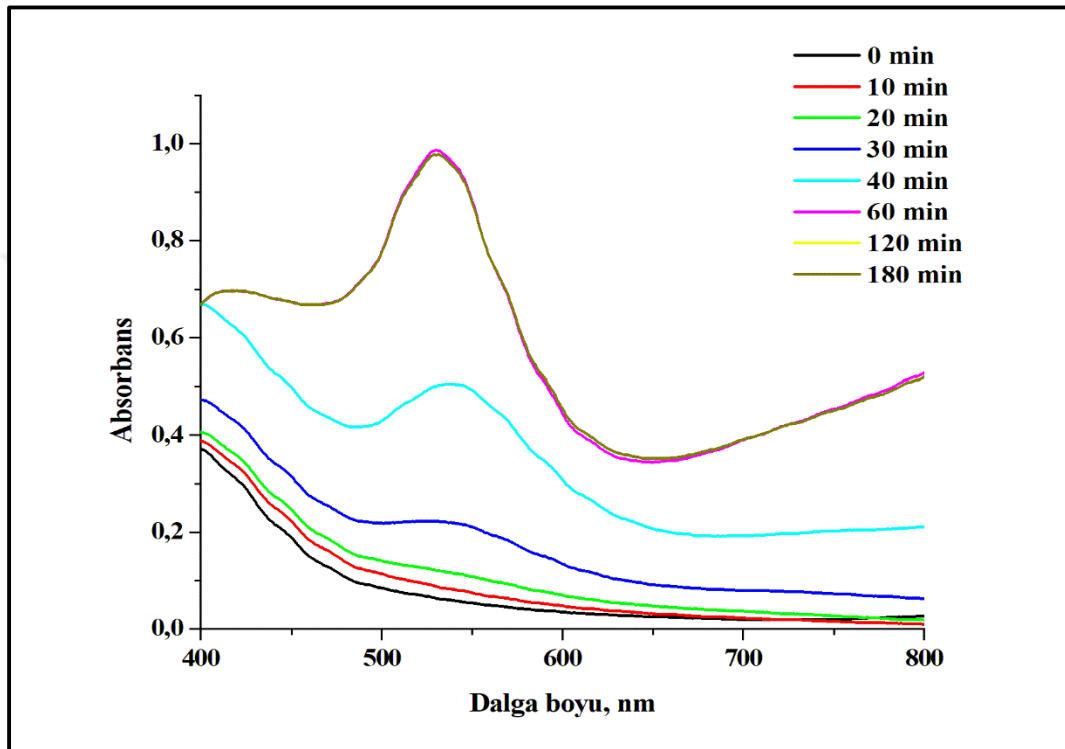
Şekil 4.1 ve Şekil 4.5 arasında elde edilen spektrumlarda elde edilen SPR bantları değerlendirildiğinde, AuNP'lerin oluşması için gerekli olan derişimin 10^{-2} M olduğu açıkça görülmektedir. Bu yüzden optimum Au çözeltisi derişimi olarak 10^{-2} M Au derişimi ile çalışılmaya karar verilmiştir. Ayrıca en uygun özüt derişimini belirlemek üzere, 10^{-2} M Au çözeltisi ile yürütülen sentez çalışmalarında elde edilen spektrumlar toplu bir halde tekrar değerlendirilmiş ve bu spektrumlar Şekil 4.6'da gösterilmiştir (10^{-2} M Au çözeltisi ile çalışıldığında tüm özütler için absorbens değeri 1'in üzerinde olduğu için nanopartikül çözeltileri 3 kat seyreltilmiştir). Literatürdeki bilgilere göre, SPR bandının maviye kayması (daha düşük dalga boyuna kayma), o koşullarda sentezlenen nanopartiküllerin boyutlarının daha küçük olduğunu gösteren bir ipucu olduğu için (Zha vd., 2017), en maviye kayan ve yüksek absorbens değerinin gözlemlendiği % 1,5 özüt derişimi optimum özüt derişimi olarak seçilmiştir.



Şekil 4.6. Farklı derişimlerdeki kiraz sapı özütü ve 10^{-2} M Au çözeltisi ile elde edilen spektrumlar, *Çözeltiler 3 kat seyreltilmiştir.

Daha sonra belirlenen optimum özüt (% 1,5) ve Au çözeltisi derişimleri (10^{-2} M) ile sentez süresi optimizasyonu gerçekleştirilmiş ve çözeltilerin birbiri ile karıştırılmasıyla

birlikte farklı zamanlarda spektrum ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen spektrumlar Şekil 4.7’de gösterilmiştir. 60, 120 ve 180 dakikada alınan ölçümlerde absorpsiyon değeri 1’in üzerinde olduğu için yine nanopartikül çözeltisine 3 kat seyreltme işlemi uygulanmış ve 60, 120 ve 180 dakikada elde edilen spektrumların absorpsiyon değerleri birbirine çok yakın olduğu için 60 dakika optimum sentez süresi olarak seçilmiştir.

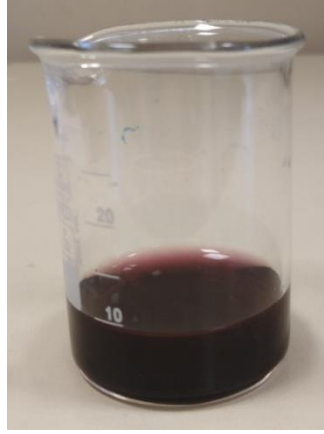


Şekil 4.7. % 1,5 kiraz sapı özütü ve 10^{-2} M Au çözeltisi ile farklı zamanlarda elde edilen spektrumlar

4.2. AuNP'lerin Karakterizasyon Çalışmaları

4.2.1. Spektrum Sonuçları

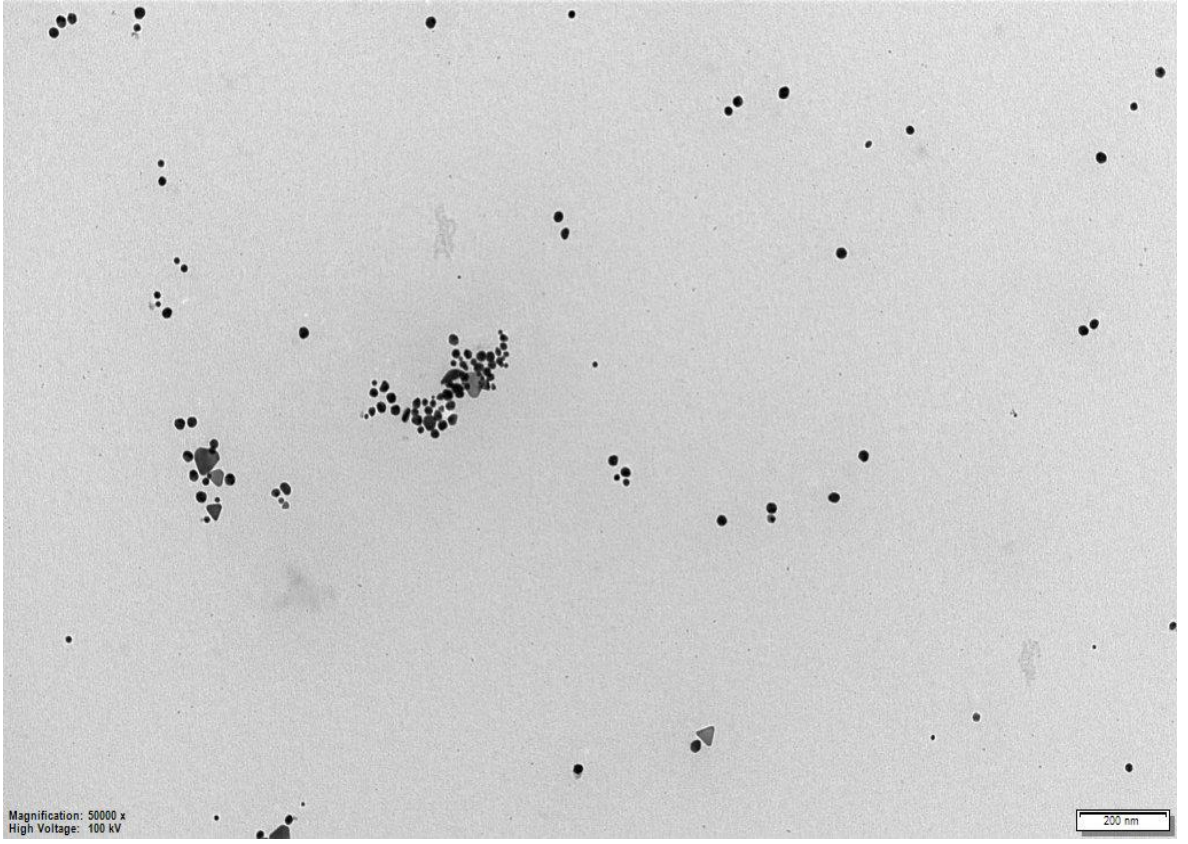
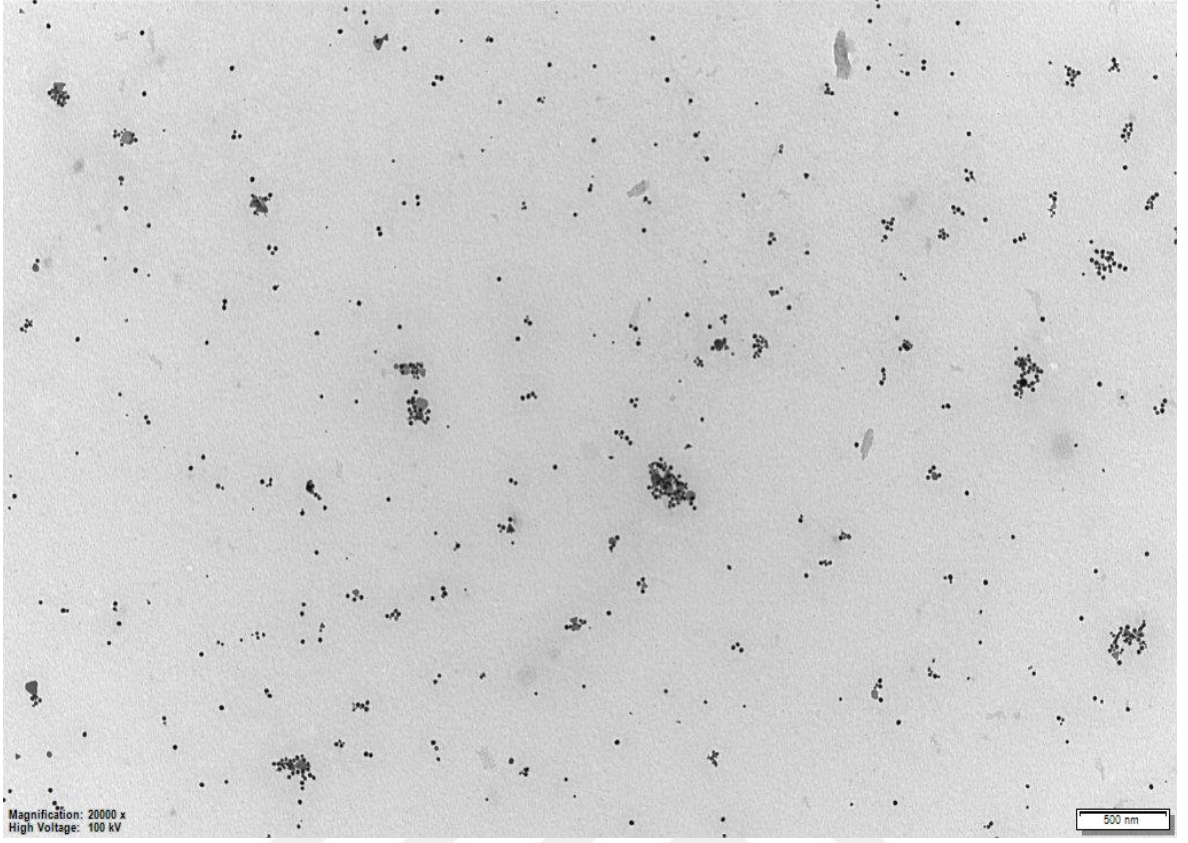
Sentez çalışmalarında nanopartiküllerin oluştuğu gösterir ilk ipucu nanopartikül çözeltilisinin renginde gözlenen değişiktir. AuNP'ler boyut, şekil, çözücü, yüzey ligandı, çekirdek yükü, sıcaklık gibi etkenlere bağlı olarak, kırmızıdan maviye kadar değişik renklerde görülebilmektedir (Kumari vd., 2019). Bu tez kapsamında optimum şartlarda elde edilen AuNP'lerin görüntüsü Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Optimum şartlarda elde edilen AuNP'lerin SPR bandı ise 536 nm'de elde edilmiştir.



Şekil 4.8. Sentezlenen AuNP çözeltisi

4.2.2. AuNP'lerin TEM Analizi Sonuçları

Kurutulmuş kiraz sapı özütü ile sentezlenen AuNP'lerin boyut ve morfolojisinin belirlenmesi için TEM ölçümleri gerçekleştirilmiş ve AuNP'lerin TEM görüntüsü Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Şekil 4.9'dan da görüleceği gibi sentezlenen AuNP'ler üçgen yapılarla birlikte genel olarak küresel şeklindedir. Ayrıca nanopartiküllerin ortalama çapı, Image proplus 6 programı kullanılarak 100 adet partikülün sayımı ile gerçekleştirilmiş olup AuNP'lerin ortalama çapının 16 nm olduğu ve nanopartikül boyutlarının 5,3 nm ile 32,5 nm arasında değiştiği belirlenmiştir.



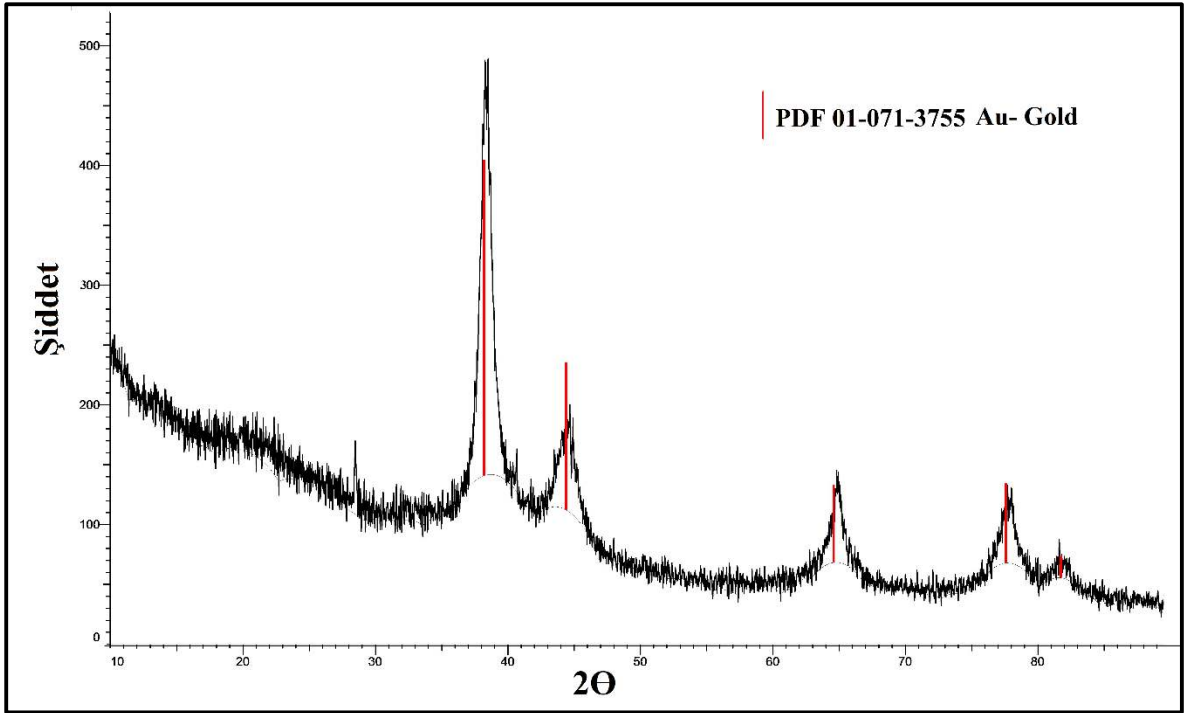
Şekil 4.9. AuNP'lerin TEM görüntüleri

Bu tez çalışması kapsamında elde edilen AuNP'lerin boyut ve morfolojisi literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Örneğin, Rabeea vd., *Flammulina velutipes* mantarını kullanarak AuNP sentez çalışmalarını yürütmüşler ve elde ettikleri nanopartiküllerin ortalama 74,32 nm boyutunda üçgen, küresel ve düzensiz şekillerin bir karışımını içerdiğini belirlemişlerdir (Rabeea vd., 2020). Narayanan ve Park, başka bir çalışmada turp yapraklarının (*Brassica rapa L.*) özütünü kullanarak sentezledikleri AuNP'lerin çaplarının 3 nm ile 58 nm arasında değiştiğini gerçekleştirdikleri TEM ölçümleri ile tespit etmişlerdir (Narayanan ve Park, 2015). Paul vd., *Momordica cochinchinensis* (Lour.) Spreng. yapraklarının özütünü kullanarak sentezledikleri küresel, oval ve üçgen şeklindeki AuNP'lerin boyutlarının 10-80 nm arasında olduğunu belirlemişlerdir (Paul vd., 2016). Verilen örneklerden de görüleceği gibi tez kapsamında elde edilen AuNP'lerin genel olarak küresel şekilde elde edilen morfolojisinin literatür ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ortalama 16 nm çapında sentezlenmiş AuNP'lerin bazı çalışmalara göre boyutlarının çok daha küçük olduğu ve 5,3 nm ile 32,5 nm arasında gözlenen çap dağılımında yine bazı çalışmalara göre daha dar bir aralık olduğu tespit edilmiştir. Son olarak TEM görüntülerinden AuNP'lerin homojen bir şekilde oluştuğu ve kısmen büyük kümeleşmelerin oluşmadığı gözlemlenmiştir. Bu da sentez çalışmalarında kullanılan kiraz sapının iyi bir biyometabolit olduğunu göstermektedir.

4.2.3. AuNP'lerin XRD Analiz Sonuçları

Bu tez kapsamında elde edilen AuNP'lerin, kristal yapısının belirlenmesi için XRD analizi gerçekleştirilmiştir. AuNP'lerin X-ışını kırınım deseni Şekil 4.10'da gösterilmiş olup 38,1°, 44,3°, 64,4°, 77,5°, 81,5° açı değerleri için (111), (200), (220), (311) ve (222) kristal yapılarına karşılık gelen pikler elde edilmiştir. AuNP'lerin kristal yapısı ise yüzey merkezli kübik olarak belirlenmiştir. Gerçekleştirilen kütüphane taraması ile elde edilen sonuçların PDF 00-034-0783 kart verileri ile uyumlu olduğu tespit edilmiş ve literatür taraması gerçekleştirilerek XRD sonuçları literatür ile kıyaslanmıştır. Bu kapsamda Aromal ve Philip, *Trigonella foenum-graecum* özütü kullanarak AuNP'lerini sentezlemişler ve gerçekleştirdikleri XRD analizine göre AuNP'lerin yüzey merkezli kübik yapısının sırasıyla (111), (200), (220), (311) ve (222) düzlemlerine indekslenebilen beş kırınım zirvesi gözlemlenmişlerdir (Aromal ve Philip, 2012). Başka bir çalışmada Paul vd., *Pogestemon benghalensis* (B) O. Ktz. yapraklarının özütünü kullanarak yeşil sentez yöntemiyle AuNP'leri sentezlemişler ve AuNP'lerin yüzey merkezli kübik yapısını (111), (200), (220), (311) ve (222) düzlemlerine karşılık gelen $2\theta=38.15^\circ$, 44.26° , 64.57° , 77.72° , 81.51° açı

değerlerindeki pikler ile belirlemişlerdir (Paul vd., 2015). Zha vd. ise *Ginkgo biloba* yaprağı özütü ile AuNP'leri sentezlemişler ve AuNP'lerin kristal yapısını XRD analizi ile belirlemişlerdir. AuNP'nin XRD modelinden, 38.12°, 44.26°, 64.68°, 77.42° ve 81.40°'de beş farklı kırınım piki (111), (200), (220), (311) ve (222) düzlemleri olarak endekslenmiş ve nanopartikülün kristal yapısının yüzey merkezli kübik olduğunu belirtmişlerdir (Zha vd., 2017). Bu örneklerden de anlaşılacağı gibi, tez kapsamında elde edilen AuNP'lerin XRD sonuçları literatür ile uyum göstermiş ve sonuç olarak sentezlenen AuNP'lerin kristal yapıda olduğu açıkça gösterilmiştir.

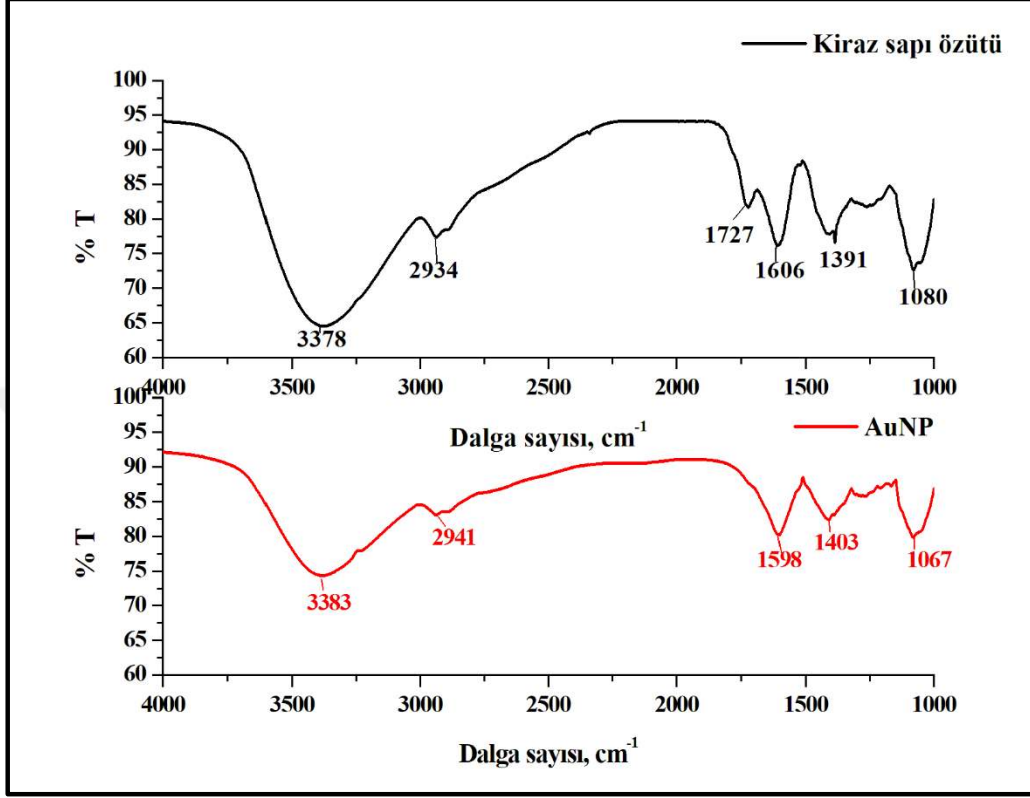


Şekil 4.10. %1,5 kiraz sapı özütü ve 10^{-2} M Au çözeltisi ile elde edilen AuNP'lerin X-ışını kırınım deseni

4.2.4. AuNP'nin ATR-FTIR Analiz Sonuçları

AuNP'lerin sentezlenmesinde kullanılan kurutulmuş kiraz sapı ve sentezlenen AuNP'lerin ayrı ayrı ATR-FTIR spektrumları alınmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Böylelikle AuNP'lerin kararlı olmasında rol oynayan başlıca fonksiyonel gruplar belirlenmiştir. Kiraz sapında 3378 cm^{-1} 'de gözlemlenen bant –OH gerilimine aittir. AuNP'de bu bant 3383 cm^{-1} 'e kaymıştır. –CH gerilimi kiraz sapında 2934 cm^{-1} 'de görülürken, AuNP'de aynı bant 2941 cm^{-1} 'de gözlemlenmiştir. C=O gerilme bandı kiraz sapı 1727 cm^{-1} 'de gözlemlenirken AuNP'de kaybolmuştur. Kiraz sapında 1606 cm^{-1} 'de

gözlemlenen C=C bandı, AuNP’de 1598 cm^{-1} ’e kaymıştır. Kiraz sapında 1391 cm^{-1} ’de gözlemlenen C-H bandı, AuNP’de 1403 cm^{-1} ’de ortaya çıkmıştır. C-O bandı kiraz sapında 1080 cm^{-1} ’de gözlemlenirken, AuNP’de 1067 cm^{-1} ’de görülmüştür.



Şekil 4.11. %1,5 kiraz sapı özütü ve 10^{-2} M Au çözeltisi ile elde edilen AuNP’lerin FTIR spektrumu

Elde edilen spektrum sonuçları, literatürdeki bazı çalışmalar ile kıyaslanmıştır. Örneğin Leonard vd., kırmızı ginseng kökü kullanarak AuNP’lerin sentezini gerçekleştirmişler ve karakterizasyon aşamasında hem özüt hem de AuNP’lerin FTIR analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Özütte 3353 cm^{-1} ve nanopartikülde 3318 cm^{-1} ’de gözlenen pikin O-H titreşiminden kaynaklandığını ve özütte 2931 cm^{-1} ve AuNP’de 2927 cm^{-1} gözlenen piklerin C-H titreşiminden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Ayrıca 1643 cm^{-1} ’de gözlenen pikin C=C titreşiminden kaynaklanabileceğini söylemişlerdir. Özütte 1220 cm^{-1} ’de görülen pikin C-O titreşiminden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Özütte 1143, 1074 ve 1024 cm^{-1} , nanopartikülde ise 1076 ve 1023 cm^{-1} ’deki piklerin ise sırasıyla C-C-O veya C-C-OH titreşiminden kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir (Leonard vd., 2011). Başka bir çalışmada Doan vd., *Litsea cubeba* meyvesini kullanarak AuNP’lerin sentezini gerçekleştirmiş ve gerçekleştirdikleri FTIR analizinde 3276 cm^{-1} ’de pikin O-H grubunun

titreşimi ve 2933 ve 2883 cm^{-1} 'deki piklerin ise C–H gerilme titreşimlerinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. 1716 ve 1627 cm^{-1} 'deki pikleri ise, C = C bağı ve 1412 cm^{-1} 'deki piki ise C = C bağlarının gerilmesi ile ilişkilendirmişlerdir. 1242 ve 1028 cm^{-1} 'deki piklerin C-O titreşimi ile alakalı olduğunu belirtmişlerdir (Doan vd., 2020). Verilen örneklerden de anlaşılağı gibi nanopartiküllerin sentezinde benzer fonksiyonel gruplar nanopartiküllerin indirgenmesinde ve kararlaştırılmasında görev almaktadır.

4.3. AuNP'lerin Antibakteriyel Aktivite Sonuçları

Antibakteriyel aktivite analizleri, bir ajanın belirli bir bakteri türüne karşı etkinliğini in-vitro olarak saptamak amacıyla yapılmaktadır ve bu tez çalışması kapsamında AuNP'lerin antibakteriyel aktivitesini test etmek amacıyla kuyu difüzyon yöntemi kullanılmıştır.

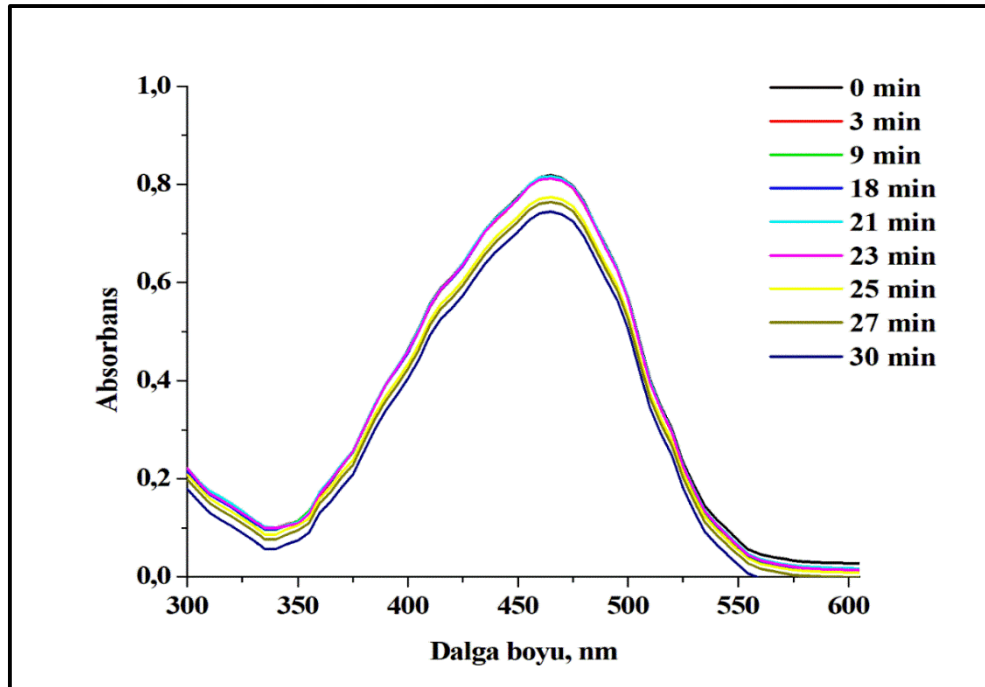
AuNP'lerin antibakteriyel aktivitesinin değerlendirilmesi için *Enterococcus faecalis* ATTC29212, *Listeria monocytogenes* ASKK472, *Bacillus cereus* ATTC 11778, *Staphylococcus aureus* ATTC 43300 gram pozitif bakteri ile çalışılmıştır. Bunlara ek olarak *Salmonella Typhimurium* ATTC 14028, *Enterobacter aerogenes* ATTC 13048, *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli* 0157:H7, *Salmonella Enterocolitica*, *Escherichia coli* 0157:H7 ATTC 43895, *Escherichia coli* ATTC 35150 gram negatif bakterileri ile de çalışmalar yürütülmüştür. Fakat gerçekleştirilen çalışmalar neticesinde sentezlenen AuNP'lerin çalışılan 11 çeşit bakteriye karşı antibakteriyel aktivite göstermediğı tespit edilmiştir. Bu sonucun, elde edilen AuNP'lerin boyutları nedeniyle bakteri içine difüz olamaması ve/veya partikül derişiminin düşük kalması sebebiyle elde edilmiş olabileceğı düşünölmektedir.

Çalışmalar kapsamında elde edilen sonuçlar literatür ile kıyaslanmış ve benzer sonuçların elde edildiğı çalışmalara rastlanmıştır. Örneğın Mariychuk vd., gerçekleştirdiğı çalışmada yeşil sentez yöntemiyle kara mürver meyvesinden (*Sambucus nigra* L.) izole ettikleri polifenollerini kullanarak AuNP ve AgNP'leri elde etmişler ve nanopartiküllerin *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli* bakterilerine karşı antibakteriyel aktivitesini araştırmışlardır. 5 dakika inkübasyondan sonra 6,25 mg/L derişimindeki AgNP'ler önemli antibakteriyel özellikler gösterirken, AuNP'lerde antibakteriyel etki gözlemleyememişlerdir (Mariychuk vd., 2020). Literatür incelendiğinde AuNP'lerin antibakteriyel aktivite gösterdiğı çalışmalara da rastlanmıştır. Örneğın, El-Borady vd., maydanoz yapraklarını (*Petroselinum crispum*) 4 farklı hacimde (2,5 mL, 5 mL, 10 mL ve 20 mL) kullanarak AuNP'lerin sentezini gerçekleştirmişler ve iki gram pozitif bakteri (*Bacillus subtilis* ve *Enterococci faecalis*) ve iki gram negatif bakterilerine (*Escherichia coli* and *Enterobacter*

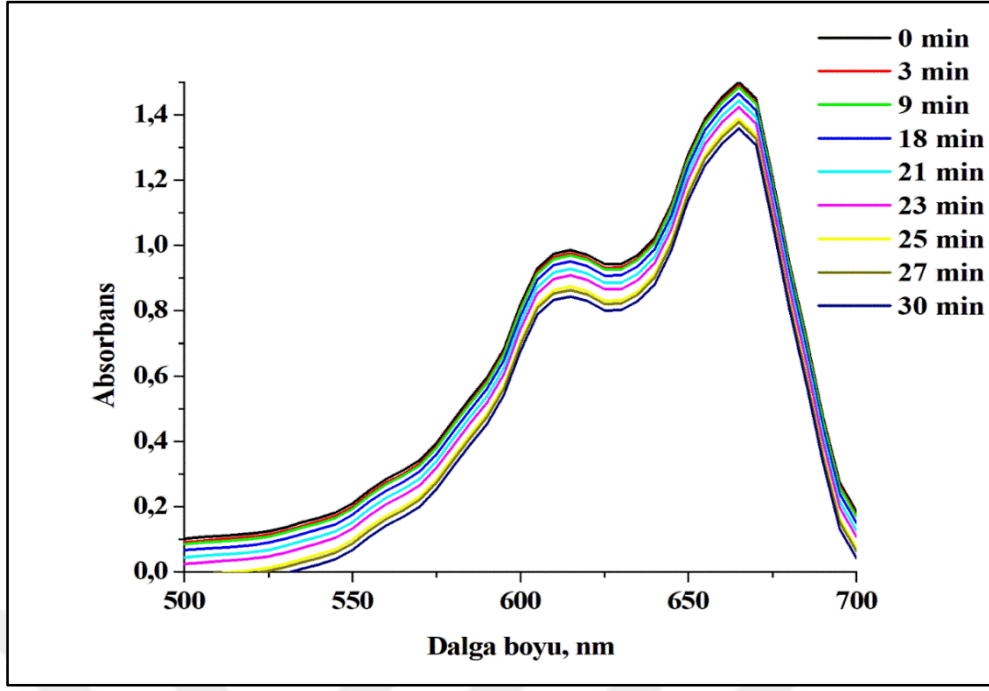
ludwigii) karşı AuNP'lerin antibakteriyel aktivitesini araştırmışlardır. AuNP'ler gram negatif bakterilerine karşı etki gösterirken, gram pozitif bakterilerine karşı aktivite göstermediğini tespit etmişlerdir. Bu sonucun gram negatif bakterilerin, gram-pozitif bakterilere kıyasla daha ince bir hücre duvarına sahip olmasından kaynaklanabileceğini de belirtmişlerdir (El-Borady vd., 2020). Vinosha vd., başka bir çalışmada *Halymenia dilatata* algini kullanarak AuNP'lerin sentezini gerçekleştirmişler ve yaptıkları antibakteriyel testte, *Aeromonas hydrophila* bakterisine karşı en yüksek inhibisyon bölgesini (21 mm) 100 µg/mL AuNP'de elde etmişlerdir (Vinosha vd., 2019). Verilen örneklerden de anlaşılabacağı gibi metal nanopartiküllerin antibakteriyel aktivitesi, metal nanopartikülün cinsine ve bununla birlikte boyut ve morfolojik özelliklerine ve ayrıca nanopartikülün derişimine bağlı olarak değişiklik gösterdiği söylenebilir.

4.4. AuNP'lerin Katalitik Aktivite Sonuçları

Bu tez çalışması kapsamında sentezlenen AuNP'lerin katalitik aktiviteleri, MO ve MM boyaalarının renk giderim çalışmaları gerçekleştirilerek araştırılmıştır. Şekil 4.12 ve 4.13'de görüldüğü gibi, bu iki boyanın renk giderimleri, sadece NaBH₄ çözeltisi ile gerçekleştirildiğinde çok yavaş ilerlemektedir.

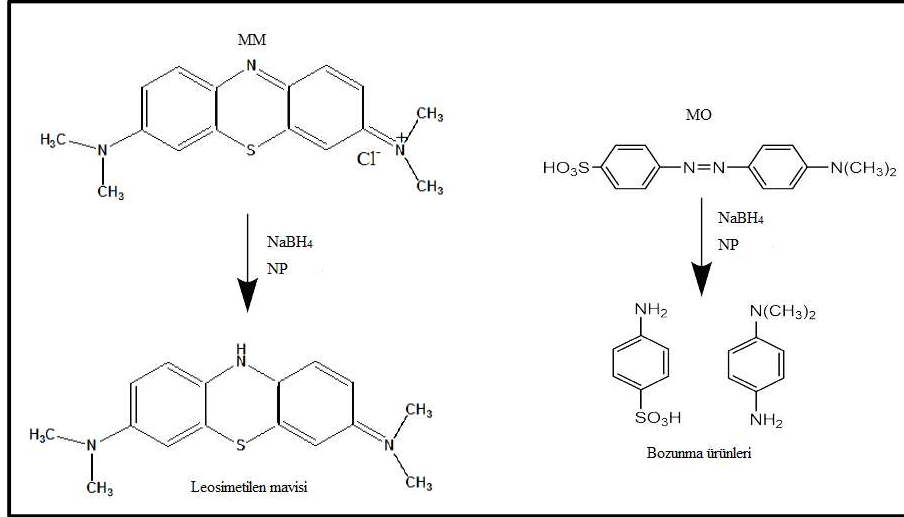


Şekil 4.12. NaBH₄ ilavesi ile MO boyasının renk gideriminin zamana bağlı değişimi

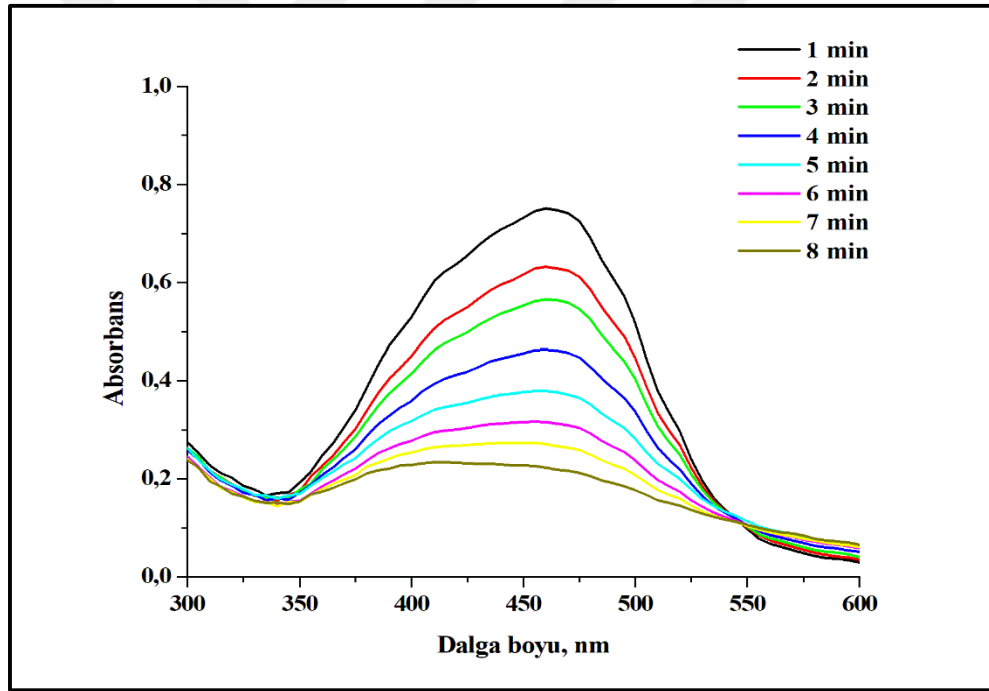


Şekil 4.13. NaBH₄ ilavesi ile MM boyasının renk gideriminin zamana bağlı değişimi

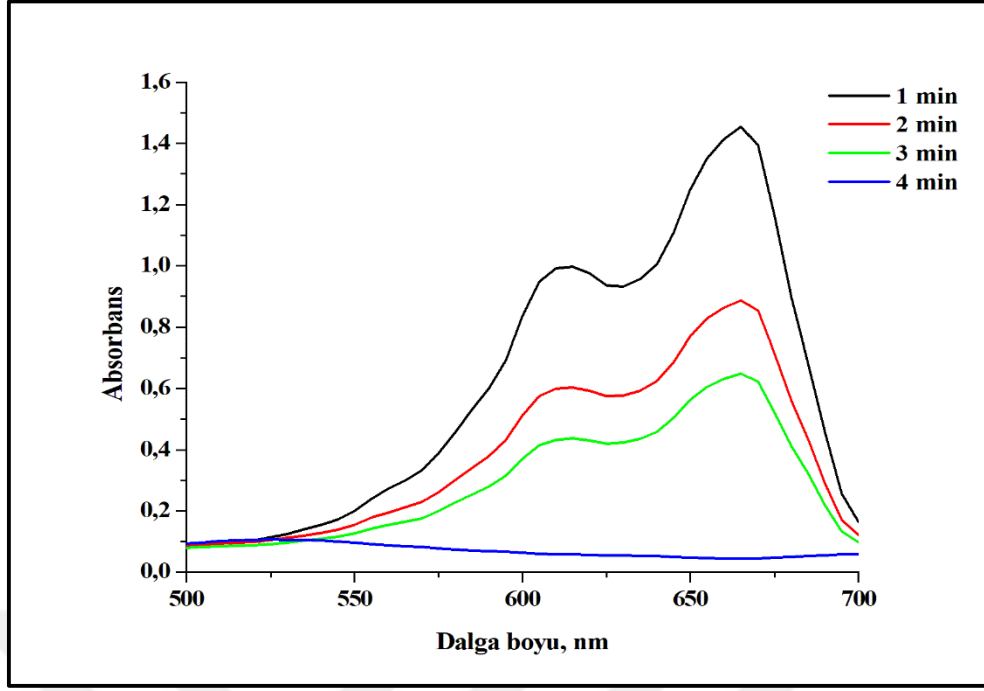
Deneyisel çalışmaların bu bölümünde sentezlenen AuNP'ler kullanılarak Şekil 4.14'te gösterilen reaksiyonların hızlandırılması hedeflenmiş ve bu kapsamda deney, MO ve MM boylarına NaBH₄ çözeltisi ve nanopartikül çözeltilerinin eklenmesi ile yürütülmüştür. Boyaların renk giderimleri, farklı zamanlarda gerçekleştirilen spektum ölçümleri ile MO için 465 nm'de ve MM için 665 nm'de gözlenen karakteristik piklerinin takip edilmesi ile izlenmiş ve elde edilen spektrumlar Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Ayrıca boyların zamana göre renk giderim yüzdesi eşitlik 3.1'e göre hesaplanmış ve MO için 8 dakikada % 70'lik giderim, MM için ise 4 dakikada % 97'lik renk giderimi sağlanmıştır.



Şekil 4.14. MM ve MO boya lar ı ve bozunma ürünleri (Şahin ve Gübbük, 2019).



Şekil 4.15. AuNP ilavesi ile MO boyasının zamana bağımlı renk giderimi



Şekil 4.16. AuNP ilavesi ile MM boyasının renk gideriminin zamana bağlı değişimi

Bu tez kapsamında sentezlenen AuNP'lerin MO ve MM boya larında gösterdiği katalitik aktivite sonuçları, literatürdeki bazı çalışmalar ile kıyaslanmıştır. Örneğin, Singh vd., AuNP'ler ile MM boyasının renk giderim çalışmalarında 20 dakikada % 87 renk giderimi elde edilmiştir (Singh vd., 2020). Diğer bir çalışmada, Kumar vd., Paşa kılıcı (*Sansevieria roxburghiana*) bitkisinin yaprağını kullanarak sentezledikleri AuNP'ler ile MM boyası için 60 dakikada % 49,62 renk giderim verimi elde etmişlerdir (Kumar vd., 2019). Başka bir çalışmada, Umamaheswari vd., *Dalbergia coromandeliana* bitkisinin köklerinden izole edilen 5,7-dihidroksi-6-metoksi-3',4'-metilenendioksiizoflavon (Dalspinin) kullanarak AuNP'lerin sentezini gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca elde ettikleri nanopartiküllerin katalitik aktivitesini MO boyası kullanarak araştırmışlar ve 465 nm'deki MO boyasının absorpsiyon pikinin 8 dakikada kaybolduğunu belirlemişlerdir (Umamaheswari vd., 2018). Diğer bir çalışmada ise Joseph ve Mathew yaptıkları çalışmada, *Oxalidaceae* familyasına ait *Biophytum sensitivum* bitkisinin yapraklarından elde ettikleri özüt ile AgNP sentezini gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca MO boyasının giderimi için gerçekleştirdikleri çalışmalarda, 0,020 mg/mL ve 0,025 mg/mL derişimindeki AgNP'ler ile MO boyasının gideriminin sırasıyla 15 ve 13 dakikada tamamlandığını belirlemişlerdir (Joseph ve Mathew, 2015). Bu tez çalışması kapsamında, MO ve MM boya larının bozunum çalışmaları, literatürdeki diğer çalışmalar ile kıyaslandığında genel olarak iki boya için de daha kısa sürelerde renk

giderimleri elde edildiği belirlenmiştir. Bu da bize çalışma kapsamında elde edilen AuNP'lerin katalitik aktivitesinin yüksek olduğunu ve iyi bir katalizör olarak boya giderim çalışmalarında kullanılabileceğini göstermiştir.



SONUÇ

Son zamanlarda metal nanopartiküllerin sentezinde geleneksel yöntemler olarak bilinen fiziksel ve kimyasal yöntemlerin yerine alternatif olarak ucuz, hızlı ve çevre dostu bir yöntem olan yeşil sentez yöntemi kullanılmaya başlanmıştır. Yeşil sentez, ekonomik, çevre dostu ve büyük ölçekli sentezler için kolayca ölçeklendirilebilme gibi birçok avantajı sebebiyle geleneksel yöntemlere göre üstünlük sağlamaktadır. Ayrıca yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve toksik kimyasalların kullanımı gibi zorlu sentez şartlarının ayarlanmasına gereksinim duyulmaması da bu yöntemin diğer avantajlarını oluşturmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında da toksik kimyasalların kullanılmadığı, hızlı, kolay, güvenilir ve tamamen çevreci bir yaklaşım sunan yeşil sentez yöntemiyle AuNP'lerin sentez çalışmaları yürütülmüştür. Nanopartiküllerin sentezi ortama herhangi bir indirgeyici ve/veya kararlaştırıcı ajan eklenmeden sadece kurutulmuş kiraz sapı özütü kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen yeşil sentez çalışmalarında en uygun sentez şartlarını belirlemek için özüt derişimi, eklenen Au çözeltisi derişimi ve sentez süresi optimizasyonları yürütülmüş ve % 1,5 özüt ve 10^{-2} M Au çözeltisi derişimi ile 1 saatte AuNP'lerin sentezinin optimum bir şekilde gerçekleştirilebileceği belirlenmiştir.

Çalışmaların ikinci basamağında nanopartiküllerin sentezlenip sentezlenmediğini tespit etmek için UV-Vis spektrometre, Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM), Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometre (FTIR) ve X-Işını Kırınım Difraktometre (XRD) cihazları kullanılarak karakterizasyon çalışmaları yürütülmüştür. Optimum şartlarda elde edilen AuNP'lerin SPR bandının, 536 nm'de elde edildiği UV-Vis spektrometre ile gerçekleştirilen ölçümlerde belirlenmiştir. Bu tez çalışmasında sentezlenen AuNP'lerin genellikle küresel yapıda olduğu ve AuNP'lerin 5,3 nm ile 32,5 nm arasında değişen partikül çapları ile ortalama çaplarının 16 nm olduğu, gerçekleştirilen TEM analizleri ile belirlenmiştir. Sentezlenen AuNP'lerin kristalitesini belirlemek için yapılan XRD analizi verilerine göre AuNP'lerin (111), (200), (220), (311) ve (222) düzlemlerine karşılık gelen $38,1^\circ$, $44,3^\circ$, $64,4^\circ$, $77,5^\circ$, $81,5^\circ$ açı değerleri ile AuNP'lerin yüzey merkezli kübik kristal yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kiraz sapı özütü ve AuNP'ler ile gerçekleştirilen FTIR analizleri, bitki özütünde yer alan, altın metal iyonlarının indirgeme, kaplama, stabilize etmede önemli rolü olan biyomoleküllerin fonksiyonel gruplarını ortaya çıkarmıştır.

Tez çalışmasının uygulama basamağında AuNP'lerin antibakteriyel ve katalitik özellikleri araştırılmıştır. AuNP'lerin antibakteriyel aktivitesinin değerlendirilmesi için

Enterococcus faecalis ATTC29212, *Listeria monocytogenes* ASKK472, *Bacillus cereus* ATTC 11778, *Staphylococcus aureus* ATTC 43300 gram pozitif bakteri ile çalışılmıştır. Bunlara ek olarak *Salmonella Typhimurium* ATTC 14028, *Enterobacter aerogenes* ATTC 13048, *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli* 0157:H7, *Salmonella Enterocolitica*, *Escherichia coli* 0157:H7 ATTC 43895, *Escherichia coli* ATTC 35150 gram negatif bakterileri ile de çalışmalar yürütülmüştür. Fakat gerçekleştirilen çalışmalar neticesinde sentezlenen AuNP'lerin çalışılan 11 çeşit bakteriye karşı antibakteriyel aktivite göstermediği tespit edilmiştir. Nanopartiküllerin katalitik aktivitesi ise, MO ve MM boya ların renk giderim çalışmalarında araştırılmış ve MO için 8 dakikada % 70'lik giderim, MM için ise 4 dakikada % 97'lik renk giderimi sağlanmıştır.

Gerçekleştirilen bu tez çalışması kapsamında AuNP'lerin sentezi, ortama hiçbir indirgeyici ve karıştırıcı ajan eklenmeden ayrıca bazı yeşil sentez çalışmalarında gerçekleştirilmesi gereken pH ve sıcaklık ayarlaması yapılmasına gerek duyulmadan tamamen çevreci, kolay ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çalışmalar sonucunda elde edilen AuNP'lerin katalitik aktiviteleri tekstil endüstrisinde en çok kullanılan boyalar olan MO ve MM boya ları ile test edilmiş ve nanopartiküllerin yüksek katalitik aktiviteye sahip olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Ademović, Z., Hodžić, S., Zahirović, Z.H., Husejnagić, D., Džananović, J., Šarić-Kundalić, B., Suljagić, J., 2017. Phenolic compounds, antioxidant and antimicrobial properties of the wild cherry (*Prunus avium* L.) stem. *Acta Periodica Technologica*, 48, 1-323.
- Ahmed, K.B.A., Kalla, D., Uppuluri, K.B., Anbazhagan, V., 2014. Green synthesis of silver and gold nanoparticles employing levan, biopolymer from *Acetobacter xylinum* NCIM 2526, as a reducing agent and capping agent. *Carbohydrate Polymers*, 112, 539-545.
- Anuradha Ch.S., Susheela, B. G., Sravani, D., 2020. Plant mediated green synthesis of novel bimetallic nanoparticles: characterization and investigation of photocatalytic activity for degradation of malachite green dye. *International Journal of Research and Analytical Reviews*, 7 (1), 404-416.
- Aromal, S.A., Philip, D., 2012. Green synthesis of gold nanoparticles using *Trigonella foenum-graecum* and its size-dependent catalytic activity. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 97, 1-5.
- Baker, S., Satish, S., 2015. Biosynthesis of gold nanoparticles by *Pseudomonas veronii* AS41G inhabiting *Annona squamosa* L., *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 150, 691-695.
- Bandeira, M., Giovanela, M., Roesch-Ely, M., Devine, D.M., Crespo J.S., 2020. Green synthesis of zinc oxide nanoparticles: A review of the synthesis methodology and mechanism of formation. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 15, 100223.
- Bayğu, G., 2020. Cimin Üzüm Yaprağı Kullanılarak Yeşil Sentez Yöntemiyle Elde Edilen Gümüş Nanopartikülünün Genotoksik Etkisinin Kanat Benek Testi İle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan, Türkiye.
- Bhuiyan, M.S.H., Miah, M.Y., Paul, S.C., Aka, T.D., Saha, O., Rahaman, M.M.R., Sharif, M.J.I., Habiba, O., Ashaduzzaman, M., 2020. Green synthesis of iron oxide nanoparticle using *Carica papaya* leaf extract: application for photocatalytic degradation of remazol yellow RR dye and antibacterial activity. *Heliyon*, 6, 04603.
- Bursal, E., Köksal, E., Gülçin, İ., Bilsel, G., Gören, A.C., 2013. Antioxidant activity and polyphenol content of cherry stem (*Cerasus avium* L.) determined by LC-MS/MS. *Food Research International*, 51, 66-74.
- Chandra, H., Kumari, P., Bontempi, E., Yadav, S., 2020. Medicinal plants: treasure trove for green synthesis of metallic nanoparticles and their biomedical applications. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 24, 101518.
- Chandra, H., Kumari, P., Bontempi, E., Yadav, S., 2020. Medicinal plants: Treasure trove for green synthesis of metallic nanoparticles and their biomedical applications. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 24, 101518.
- Chen, H., Zhou, K., Zhao, G., 2018. Gold nanoparticles: from synthesis, properties to their potential application as colorimetric sensors in food safety screening. *Trends in Food Science & Technology*, 78, 83-94.

- Clarance, P., Luvankar, B., Sales, J., Khusro, A., Paul Agastian, P., Tack, J.-C., Khulaifi, M.M.A., AL-Shwaiman, H.A., Elgorban, A. M., Syed, A., Kim, H.-J., Green synthesis and characterization of gold nanoparticles using endophytic fungi *Fusarium solani* and its in-vitro anticancer and biomedical applications. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27, 706–712.
- Colin, J.A., Pech-Pech, I.E., Oviedo, M., Águila, S.A., Romo-Herrera, J.M., Contreras, O.E., 2018. Gold nanoparticles synthesis assisted by marine algae extract: biomolecules shells from a green chemistry approach. *Chemical Physics Letters*, 708, 210–215.
- Cyril, N., George, J.B., Nair, P.V., Joseph, L., Sunila, C.T., Smitha, V.K., Anila, B.N., Sylas, V.P., 2020. Catalytic activity of *Derris trifoliata* stabilized gold and silver nanoparticles in the reduction of isomers of nitrophenol and azo violet. *Nano-Structures&Nano-Objects*, 22, 100430.
- De Souza, C.D., Nogueira, B.R., Rostelato, M.E.C.M., 2019. Review of the methodologies used in the synthesis gold nanoparticles by chemical reduction. *Journal of Alloys and Compounds*, 798, 714–740.
- Dheyab, M.A., Owaid, M.N., Rabeea, M.A., Aziz, A.A., Jameel, M.S., 2020. Mycosynthesis of gold nanoparticles by the *Portabella* mushroom extract, *Agaricaceae*, and their efficacy for decolorization of azo dye. *Environmental Nanotechnology, Monitoring&Management*, 14, 100312.
- Doan , V., Thieu, A.T., Nguyen, T., Van-Cuong Nguyen, V., Cao, X., Nguyen, T.L., Le, V.T., 2020. Biosynthesis of gold nanoparticles using litsea cubeba fruit extract for catalytic reduction of 4-Nitrophenol. *Hindawi Journal of Nanomaterials*, 1-10.
- Dykman, L. A., Khlebtsov, N. G., 2011. Gold nanoparticles in biology and medicine: recent advances and prospects, *Acta Naturae*, 3, 34-55.
- El-Borady, O.M., Ayat, M.S., Shabrawy, M.A., Millet, P., 2020. Green synthesis of gold nanoparticles using *Parsley* leaves extract and their applications as an alternative catalytic, antioxidant, anticancer, and antibacterial agents. *Advanced Powder Technology*, 31, 4390–4400.
- Emmanue, R., Karuppiah, C., Chen, S., Palanisamy, S., Padmavathy, S., Prakash, P., 2014. Green synthesis of gold nanoparticles for trace level detection of ahazardous pollutant (nitrobenzene) causing *Methemoglobinaemia*. *Journal of Hazardous Materials*, 279, 117–124.
- Fahimirad, S., Ajalloueian, F., Ghorbanpour, M., 2019. Synthesis and therapeutic potential of silver nanomaterials derived from plant extracts. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 168, 260–278.
- Gautam, P.K., Misra, A.S.K., Sahoo, A.K., Samanta, S.K., 2019. Synthesis and applications of biogenic nanomaterials in drinking and wastewater treatment. *Journal of Environmental Management*, 231, 734–748.
- Ghoreishi, S.M., Behpour, M., Khayat Kashani, M., 2011. Green synthesis of silver and gold nanoparticles using *Rosa damascena* and its primary application in electrochemistry. *Physica E*, 44, 97–104.

- Ghosh, S., Roy, S., Naskar, J., Kole, R.K., 2020. Process optimization for biosynthesis of mono and bimetallic alloy nanoparticle catalysts for degradation of dyes in individual and ternary mixture. *Scientific Reports*, 10, 277.
- González-Ballesterosa, N., Prado-López, S., Rodríguez-González, J.B., Lastra, M., Rodríguez-Argüelles, M.C. 2017. Green synthesis of gold nanoparticles using brown algae *Cystoseira baccata*: its activity in colon cancer cells. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 153, 90–198.
- Gürsoy, N., 2020. Mikroalg Aracılı Altın Nanopartiküllerinin Biyosentezi, Karakterizasyonu ve Antifungal Etkilerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye.
- Hulkoti, N.I., Taranath, T.C., 2014. Biosynthesis of nanoparticles using microbes—a review. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 121, 474–483.
- 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.
- Jayaseelan, C., Ramkumar, R., Rahuman, A.A., Perumal, P., 2013. Green synthesis of gold nanoparticles using seed aqueous extract of *Abelmoschus esculentus* and its antifungal activity. *Industrial Crops and Products*, 45, 423–429.
- Joseph, S., Mathew, B., 2015. Microwave-assisted green synthesis of silver nanoparticles and the study on catalytic activity in the degradation of dyes. *Journal of Molecular Liquids*, 204, 184–191.
- Kalimuthu, K., Cha, B.S., Kim, S., Park, K.S., 2020. Eco-friendly synthesis and biomedical applications of gold nanoparticles: a review. *Microchemical Journal*, 152, 104296.
- Kara, M.E., 2018. Nanoteknolojik Ürünlerle Modifiye Edilen Ff Ve Muf Tutkallarının Ahşap Kompozit Malzemelerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi, Doktora Tezi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, Türkiye.
- Khanna, P., Kaur, A., Goyal, D., 2019. Algae-based metallic nanoparticles: synthesis, characterization and applications. *Journal of Microbiological Methods*, 163, 105656.
- Kratošová, G., Holišová, V., Konvičková, Z., Ingle, A.P., Gaikwad, S., Škrlová, K., Prokop, A., Rai, M., Plachá, D., 2019. From biotechnology principles to functional and low-cost metallic bionanocatalysts. *Biotechnology Advances*, 37, 154–176.
- Król, A., Pomastowski, P., Rafińska, K., Railean-Plugaru, V., Buszewski, B., 2017. Zinc oxide nanoparticles: synthesis, antiseptic activity and toxicity mechanism. *Advances in Colloid and Interface Science*, 249, 37–52.
- Kumar, C.G., Poornachandra, Y., Mamidyalaba, S.K., 2014. Green synthesis of bacterial gold nanoparticles conjugated toresveratrol as delivery vehicles. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 123, 311–317.
- Kumar, I., Mondal, M., Meyappan, V., Sakthivel, N., 2019. Green one-pot synthesis of gold nanoparticles using *Sansevieria roxburghiana* leaf extract for the catalytic degradation of toxic organic pollutants. *Materials Research Bulletin*, 117, 18–27.

- Kumar, P.V., Kala, S.M.J., Prakash, K.S., 2019. Green synthesis of gold nanoparticles using *Croton Caudatus Geisel* leaf extract and their biological studies. *Materials Letters* 236, 19–22.
- Kumari, P., Meena, A., 2020. Green synthesis of gold nanoparticles from *Lawsoniainermis* and its catalytic activities following the Langmuir-Hinshelwood mechanism. *Colloids and Surfaces A*, 606, 125447.
- Kumari, Y., Kaur, G., Kumar, R., Singh, S.K., Gulati, M., Khursheed, R., Clarisse, A., Gowthamarajan, K., Karri, V.V.S.N.R., Mahalingam, R., Ghosh, D., Awasthi, A., Kumar, R., Yadav, A.K., Kapoor, B., Singh, P.K., Dua, K., Porwal, O., 2019. Gold nanoparticles: new routes across old boundaries. *Advances in Colloid and Interface Science*, 274, 102037.
- Kuppusamy, P., Yusoff, M.M., Maniam, G.P., Govindan, N., 2016. Biosynthesis of metallic nanoparticles using plant derivatives and their new avenues in pharmacological applications – an updated report. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 24, 473–484.
- Küyükoğlu, M., 2017. Bazi Geçiş Metal Katyonlarının Nitrat, Sülfat, Asetat ve Klorürlü Bileşiklerinin Askorbik Asit ile İndirgenerek Nano Boyutta Sentezi ve Yapısal Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi. Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum, Türkiye.
- Leonard, K., Ahmmad, B., Okamura, H., Kurawaki, J., 2011. In situ green synthesis of biocompatible ginseng capped gold nanoparticles with remarkable stability. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 82, 391–396.
- Malik, P., Mukherjee, T.K., 2018. Recent advances in gold and silver nanoparticle based therapies for lung and breast cancers. *International Journal of Pharmaceutics*, 553, 483–509.
- Manikandakrishnan, M., Palanisamy, S., Vinosha, M., Kalanjiraja, B., Mohandoss, S., Manikandan, R., Tabarsa, M., You, S., Prabhu, N.M., 2019. Facile green route synthesis of gold nanoparticles using *Caulerpa racemose* for biomedical applications. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 54, 101345.
- Mariychuk, R., Porubská, J., Ostafin, M., Čaplovičová, M., Eliašová, A., 2020. Green synthesis of stable nanocolloids of monodisperse silver and gold nanoparticles using natural polyphenols from fruits of *Sambucus nigra* L., *Applied Nanoscience*, <https://doi.org/10.1007/s13204-020-01324-y>.
- Mittal, A.K., Chisti, Y., Banerjee, U.C., 2013. Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts. *Biotechnology Advances*, 31, 346–356.
- Mutlu, Ö., 2020. Dağ Muşmulası Bitkisinden Bakır Oksit Nanopartiküllerinin Yeşil Sentezi, Karakterizasyonu ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Naimi-Shamel, N., Pourali, P., Dolatabadi, S., 2019. Green synthesis of gold nanoparticles using *Fusarium oxysporum* and antibacterial activity of its tetracycline conjugant. *Journal de Mycologie Médicale*, 29, 7–13.
- Narayanan, K.B., Park, H.H., 2015. Homogeneous catalytic activity of gold nanoparticles synthesized using turnip (*Brassica rapa* L.) leaf extract in the reductive degradation of cationic azo dye. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 32(7), 1273–1277.

- Narayanan, K.B., Sakthivel, N., 2010. Biological synthesis of metal nanoparticles by microbes. *Advances in Colloid and Interface Science*, 156, 1–13.
- Narayanan, K.B., Sakthivel, N., 2011. Green synthesis of biogenic metal nanoparticles by terrestrial and aquatic phototrophic and heterotrophic eukaryotes and biocompatible agents. *Advances in Colloid and Interface Science*, 169, 59–79.
- Narayanan, K.N., Sakthivel, N., 2011. Green synthesis of biogenic metal nanoparticles by terrestrial and aquatic phototrophic and heterotrophic eukaryotes and biocompatible agents. *Advances in Colloid and Interface Science*, 169, 59–79.
- Nasrollahzadeh, M., Sajjadi, M., Dadashi, J., Ghafuri, H., 2020. Pd-based nanoparticles: plant-assisted biosynthesis, characterization, mechanism, stability, catalytic and antimicrobial activities. *Advances in Colloid and Interface Science*, 276, 102103.
- Nath, D., Banerjee, P., 2013. Green nanotechnology – A new hope for medical biology. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 36, 997–1014.
- Nouri, A., Yarak, M.T., Lajevardi, A., Rezaei, Z., Ghorbanpour, M., Tanzifi, M., 2020. Ultrasonic-assisted green synthesis of silver nanoparticles using *Mentha aquatica* leaf extract for enhanced antibacterial properties and catalytic activity. *Colloid and Interface Science Communications*, 35, 100252.
- Oliveira, E., Núñez, C., Santos, H.M., Fernández-Lodeiro, J., Fernández-Lodeiro, A., Capelo, J.L., Lodeiro, C., 2015. Revisiting the use of gold and silver functionalised nanoparticles as colorimetric and fluorometric chemosensors for metal ions. *Sensors and Actuators B*, 212, 297–328.
- Oueslati, M.H., Tahar, L.B., Harrath, A.H., 2020. Synthesis of ultra-small gold nanoparticles by polyphenol extracted from *Salvia officinalis* and efficiency for catalytic reduction of p-nitrophenol and methylene blue. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 13(1), 18–26.
- Owaïd, M.N., 2019. Green synthesis of silver nanoparticles by *Pleurotus* (oyster mushroom) and their bioactivity: Review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 12, 100256.
- Özkan, S., 2019. Burdur Dimrit Üzüümü (*Vitis vinifera* L.) Özütü Kullanılarak Gümüş Nanoartiküllerin Sentezlenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Burdur, Türkiye.
- Patil, M.P., Kim, G., 2018. Marine microorganisms for synthesis of metallic nanoparticles and their biomedical applications. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 172, 487–495.
- Paul, B., Bhuyan, B., Purkayastha, D.D., Vadivel, S., Dhar, S.S., One-pot green synthesis of gold nanoparticles and studies of their anticoagulative and photocatalytic activities. *Materials Letters*, 185, 143–147.
- Paul, S.C., Bhowmik, S., Nath, M.R., Islam, M.S., Paul, S.K., Neazi, J., Monir, T.S.B., Dewanjee, S., Salam, M.A., 2020. Silver nanoparticles synthesis in a green approach: size dependent catalytic degradation of cationic and anionic dyes. *Oriental Journal of Chemistry*, 36 (3), 353–360.
- Paul, B., Bhuyan, B., Purkayastha, D.D., Dey, M., Dhar, S.S., 2015. Green synthesis of gold nanoparticles using *Pogostemon benghalensis* (B) O. Ktz. leaf extract and studies of

their photocatalytic activity in degradation of methylene blue. *Materials Letters*, 148, 37–40.

- Peixoto, J., Álvarez-Rivera, G., Alves, R.C., Costa, A.S.G., Andrade, N., Moreira, A., Cifuentes, A., Martel, F., Oliveira, M. B. P. P., Ibáñez, E., 2020. Cherry stem infusions: antioxidant potential and phenolic profile by UHPLC-ESI-QTOF-MS. *Food & Function*, 2020,11, 3471-3482.
- Pimprikar, P.S., Joshi, S.S., Kumar, A.R., Zinjarde, S.S., Kulkarni, S.K., 2009. Influence of biomass and gold salt concentration on nanoparticles synthesis by the tropical marine yeast *Yarrowia lipolytica* NCIM 3589, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 74, 309–316.
- Rabeea, M.A., Owaid, M.N., Aziz, A.A., Jameel, M.S., Dheyab, M.A., 2020. Mycosynthesis of gold nanoparticles using the extract of *Flammulina velutipes*, *Physalacriaceae*, and their efficacy for decolorization of methylene blue. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8, 103841.
- Rajeshkumar, S., Malarkodi, C., Gnanajobitha, G., Paulkumar, K., Vanaja, M., Kannan, C., Annadurai, G., 2013. Seaweed-mediated synthesis of gold nanoparticles using *Turbinaria conoides* and its characterization, *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 3, 44-50.
- Rajput, D., Paul, S., Gupta, A.D., 2020. Green synthesis of silver nanoparticles using waste tea leaves. *Advanced Nano Research*, 3(1), 01-14.
- Sajid, M., Plotka-Wasyłka, J., 2020. Nanoparticles: Synthesis, characteristics, and applications in analytical and other sciences. *Microchemical Journal*, 154, 104623.
- Samuel, M.S., Selvarajan, E., Mathimani, T., Santhanam, N., Phuong, T.N., Brindhadevi, K., Pugazhendhi, A., 2020. Green synthesis of cobalt-oxide nanoparticle using jumbo *Muscadine (Vitis rotundifolia)*: characterization and photo-catalytic activity of acid Blue-74. *Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology*, 211, 112011.
- Saratale, R.G., Karuppusamy, I., Saratale, G.D., Pugazhendhi, A., Kumar, G., Park, Y., Ghodake, G.S., Bharagava, R.N., Banu, J.R., Shin, H.S., 2018. A comprehensive review on green nanomaterials using biological systems: recent perception and their future applications. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 170, 20–35.
- Sen, I. K., Maity, K., Islam, S.S., 2013. Green synthesis of gold nanoparticles using a glucan of an edible mushroom and study of catalytic activity. *Carbohydrate Polymers*, 91, 518– 528.
- Sengani, M., Grumezescu, A.M., Rajeswari, V. D., 2017. Recent trends and methodologies in gold nanoparticle synthesis – a prospective review on drug delivery aspect. *Open Nano*, 2, 37–46
- Shah, M., Fawcett, D., Sharma, S., Tripathy, S.K., Poinern, G.E.J., 2015. Green synthesis of metallic nanoparticles via biological entities. *Materials*, 8, 7278–7308.
- Shamaila, S., Sajjad, A.K.L., Ryma, N., Farooqi, S.A.F., Jabeen, N., Sania Majeed, Farooq, I., 2016. Advancements in nanoparticle fabrication by hazard free eco-friendly green routes. *Applied Materials Today*, 5, 150–199.

- Shamaila, S., Sajjad, A.K.L., Ryma, N., Farooqi, S.A., Jabeen, N., Majeed, S., Farooq, I., 2016. Advancements in nanoparticle fabrication by hazard free eco-friendly green routes. *Applied Materials Today*, 5, 150–199.
- Shankar, P.D., Shobana, S., Karuppusamy, I., Pugazhendhi, A., Ramkumar, V.S., Arvindnarayan, S., Kumar, G., 2016. A review on the biosynthesis of metallic nanoparticles (gold and silver) using bio-components of microalgae: formation mechanism and applications. *Enzyme and Microbial Technology*, 95, 28–44.
- Sharma, D., Kanchi, S., Bisetty, K., 2019. Biogenic synthesis of nanoparticles: a review. *Arabian Journal of Chemistry*, 12, 3576–3600.
- Sharma, V.K., Yngard, R.A., Lin, Y., 2009. Silver nanoparticles: Green synthesis and their antimicrobial activities. *Advances in Colloid and Interface Science*, 145, 83–96.
- Sharon, M., Oza, G., Pandey, S., 2012. Extracellular synthesis of gold nanoparticles using *Pseudomonas denitrificans* and comprehending its stability, *Journal of Microbiology and Biotechnology Research*, 2, 493–499.
- Singh, A.K., Tiwari, R., Singh, V.K., Singh, P., Khadim, S.R., Singh, U., Laxmi, Srivastava, V., Hasan, S.H., Asthana, R.K., 2019. Green synthesis of gold nanoparticles from *Dunaliella salina*, its characterization and in vitro anticancer activity on breast cancer cell line. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 51, 164–176.
- Singh, R.K., Behera, S.S., Singh, K.R., Mishra, S., Panigrahi, B., Sahoo, T.R., Parhi, P.K., Mandal, D., 2020. Biosynthesized gold nanoparticles as photocatalysts for selective degradation of cationic dye and their antimicrobial activity. *Journal of Photochemistry & Photobiology A: Chemistry*, 400, 112704.
- Sooraj, M.P., Nair, A.S., Vineetha, D., 2020. Sunlight-mediated green synthesis of silver nanoparticles using *Sida retusa* leaf extract and assessment of its antimicrobial and catalytic activities. *Chemical Papers*, <https://doi.org/10.1007/s11696-020-01304-0>.
- Sowani, H., Mohite, P., Munot, H., Shouche, Y., Bapat, T., Kumar, A.R., Kulkarni, M., Zinjarde, S., 2016. Green synthesis of gold and silver nanoparticles by an actinomycete *Gordonia amicalis* HS-11: Mechanistic aspects and biological application. *Process Biochemistry*, 51, 374–383.
- Suganya, K.S.U., Govindaraju, K., Kumar, V.G., Dhas, T.S., Karthick, V., Singaravelu, G., Elanchezhian, M., 2015. Blue green alga mediated synthesis of gold nanoparticles and its antibacterial efficacy against gram positive organisms. *Materials Science and Engineering C*, 47, 351–356.
- Tabanlı, S.M., 2019. Genç Tüketicilerin Nanoteknolojik Ürünleri Satın Alma Niyetlerini Etkileyen Faktörler Ve Bursa İlinde Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi. Bursa Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Bursa, Türkiye.
- Thakkar, K.N., Mhatre, S.S. Parikh, R.Y., 2010. Biological synthesis of metallic nanoparticles. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, 6, 257–262
- Turunç, S., 2019. Nanoteknolojik Yapı Malzemelerinin Türk Yapı Sektöründe Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, Türkiye.
- Umamaheswari, C., Lakshmanan, A., Nagarajan, N.S., 2018. Green synthesis, characterization and catalytic degradation studies of gold nanoparticles against congo

red and methyl orange. *Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology* 178, 33–39.

- Varadavenkatesan, T., Vinayagam, R., Selvaraj, R., 2020. Green synthesis and structural characterization of silver nanoparticles synthesized using the pod extract of *Clitoria ternatea* and its application towards dye degradation. *Materials Today: Proceedings*, 23, 27–29.
- Vijayaraghavan, K., Ashokkumar, T., 2017. Plant-mediated biosynthesis of metallic nanoparticles: A review of literature, factors affecting synthesis, characterization techniques and applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5, 4866–4883.
- Vinoshia, M., Palanisamy, S., Muthukrishnan, R., Selvam, S., Kannapiran, E., You, S.G., Prabhu, N.M., 2019. Biogenic synthesis of gold nanoparticles from *Halymenia dilatata* for pharmaceutical applications: Antioxidant, anti-cancer and antibacterial activities. *Process Biochemistry*, 85, 219–229.
- Wang, Y., O'Connor, D., Shen, Z., Lo, I.M.C., Tsang, D.C.W., Pehkonen, S., Pu, S., Hou, D., 2019. Green synthesis of nanoparticles for the remediation of contaminated waters and soils: constituents, synthesizing methods, and influencing factors. *Journal of Cleaner Production*, 226, 540–549.
- Yu, J., Xu, D., Guan, H.N., Wang, C., Huang, L.K., Chi, D.F., 2016. Facile one-step green synthesis of gold nanoparticles using *Citrus maxima* aqueous extracts and its catalytic activity. *Materials Letters*, 166, 110–112.
- Şahin, M., Gübbük, İ.H., 2019. Antioksidan gümüş nanoparçacıkların sentezlenmesi, karakterizasyonu ve kataliz uygulamaları, *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, Special Issue-1, e75-e83.
- Zha, J., Dong, C., Wang, X., Zhang, X., Xiao, X., Yang, X., 2017. Green synthesis and characterization of monodisperse gold nanoparticles using *Ginkgo Biloba* leaf extract. *Optik*, 144, 511–521.
- Zha, J., Dong, C., Wang, X., Zhang, X., Xiao, X., Yang, X., 2017. Green synthesis and characterization of monodisperse gold nanoparticles using *Ginkgo Biloba* leaf extract, *Optik*, 144, 511–521.
- Zhang, X., Qu, Y., Shen, W., Wang, J., Li, H., Zhang, Z., Li, S., Zhou, J., 2016. Biogenic synthesis of gold nanoparticles by yeast *Magnusiomyces ingens* LH-F1 for catalytic reduction of nitrophenols. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 497, 280–285.
- Zoral, F.B., Turgay, Ö., 2014. Çeşitli gıda atıklarının toplam fenolik madde içeriğinin, antioksidan ve antimikrobiyel aktivitelerinin araştırılması, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 17(2), 24–33.