

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YEŞİL YAPRAKLI BİTKİLER KULLANILARAK NANOPARTİKÜL SENTEZİ VE
BOYAR MADDE GİDERİM VERİMİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BUSENUR BAYKAL

MAYIS 2022

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YEŞİL YAPRAKLI BİTKİLER KULLANILARAK NANOPARTİKÜL SENTEZİ VE
BOYAR MADDE GİDERİM VERİMİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Busenur BAYKAL

DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Gülçin DEMİREL BAYIK

ZONGULDAK

Mayıs 2022

KABUL:

Busenur BAYKAL tarafından hazırlanan “Yeşil Yapraklı Bitkiler Kullanılarak Nanopartikül Sentezi ve Boyar Madde Giderim Verimi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir.
27/05/2022

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Gülçin DEMİREL BAYIK
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

Üye: Doç. Dr. Barış AVAR
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ersan TURUNÇ
Mersin Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Kimya Teknolojisi

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım./....../2022

Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Busenur BAYKAL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YEŞİL YAPRAKLI BİTKİLER KULLANILARAK NANOPARTİKÜL SENTEZİ VE BOYAR MADDE GİDERİM VERİMİ

Busenur BAYKAL

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Gülçin DEMİREL BAYIK

Mayıs 2022, 91 sayfa

Nanopartiküller tıp, elektronik, gıda ve çevre gibi pek çok alanda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu maddelerin sentezi için fiziksel, kimyasal ve biyolojik pek çok yöntem geliştirilmekte olup, özellikle yeşil sentez olarak bilinen bakteri, mantar ve bitkilerle sentez yöntemi; çevre dostu, uygun maliyetli, biyoyumlu ve güvenli bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.

Bu çalışmada gümüş nanopartiküllerin sentezi, biyolojik sentez yaklaşımıyla karalahana (*Brassica oleracea* var. *acephala*), fındık (*Corylus avellana* var. *avellana*) ve yeşil çay (*Camellia sinensis* L) bitki özütlerinin kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Gümüş nanopartikül sentezinde tepkime süresinin, bitki özütünün ve gümüş nitrat (AgNO_3) derişiminin etkisi incelenmiştir. Elde edilen gümüş nanopartiküllerinin karakterizasyonu Ultraviyole-görünür ışık spektroskopisi (UV-VIS), taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDX), geçirimli elektron mikroskobu (TEM), partikül boyut analizi (mastersizer analizi), X-ışını kırınımı (XRD), Brunauer-Emmett-Teller yüzey

ÖZET (devam ediyor)

alanı tayini (BET) ve Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) analiz teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Karakterizasyon işlemi sonuçlarından nanopartiküllerin başarılı şekilde elde edildiği sonucuna varılmıştır. FTIR spektroskopisi ile gümüş nanopartiküllerinin indirgenmesi ve stabilizasyonunda görevli biyomoleküller sınıflandırılmıştır. TEM, SEM-EDX analizleri sonucunda gümüş nanopartiküllerin küresel şekilde yaklaşık 100-200 nm boyutlara sahip olduğu tespit edilmiştir. XRD analizi yardımıyla sentezlenen gümüş nanopartiküllerin yüzey merkezli kübik yapısı ile kristal yapıda olduğu tespit edilmiştir.

Farklı bitki özütleri ve AgNO_3 derişimleri ile elde edilen gümüş nanopartiküllerinin çevre için zararlı tekstil boyası olan Metilen Mavisi (MM) giderimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Metilen Mavisi'nin giderimi, 24 saat boyunca 50 mL'lik kesikli reaktörlerde gerçekleştirilmiştir. Karalahana, fındık ve yeşil çayın 5 mM AgNO_3 derişimi ile reaksiyonu sonucu elde edilen gümüş nanopartiküllerin giderim verimleri sırasıyla % 77.38, % 99.12 ve % 88.23 olarak elde edilmiştir. Adsorpsiyon kinetik modelleri incelenmiş ve her üç nanopartikül tipi için de en uygun kinetik model pseudo ikinci dereceden kinetik model olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Gümüş Nanopartikül, Metilen Mavisi, Nanoteknoloji, Yeşil Sentez, Adsorpsiyon

Bilim Kodu: 615.01.00

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

NANOPARTICLE SYNTHESIS USING GREEN LEAFY PLANTS AND DYE REMOVAL EFFICIENCY

Busenur BAYKAL

**Zonguldak Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering**

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Gülçin DEMİREL BAYIK

May 2022, 91 pages

Nanoparticles are frequently used in many fields such as medicine, electronics, food and environment. Many physical, chemical and biological methods are being developed for the synthesis of these substances. Synthesis of NP with bacteria, fungi and plants, known as green synthesis, stands out as an environmentally friendly, cost-effective, biocompatible and safe method.

In this study, the synthesis of silver nanoparticles was carried out with the biological synthesis approach using plant extracts of collard (*Brassica oleracea var. acephala*), hazelnut (*Corylus avellana var. avellana*), and green tea (*Camellia sinensis L*). The effects of reaction time, plant extract and AgNO₃ concentration on silver nanoparticle synthesis were investigated. The characterization of the obtained silver nanoparticles was carried out using Ultraviolet-visible light spectroscopy (UV-VIS), scanning electron microscope (SEM), energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX), transmission electron microscope (TEM), particle size analysis (mastersizer analysis), X-ray diffraction (XRD), Brunauer-Emmett-Teller surface area analysis (BET), and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) analysis techniques.

ABSTRACT (continued)

From the results of the characterization process, it was concluded that nanoparticles were successfully obtained. The biomolecules involved in the reduction and stabilization of silver nanoparticles have been classified by FTIR spectroscopy. TEM, SEM-EDX analyses have revealed that silver nanoparticles have a spherical shape with a dimensions of 100-200 nm. XRD results shows that synthesized silver nanoparticles have a crystal structure with a face-centered cubic structure.

Methylene blue (MB) removal efficiency of NP synthesized with different plant extracts and AgNO_3 concentrations was investigated. The removal experiments were carried out in 50 mL batch reactors for 24 hours. Removal efficiencies of silver nanoparticles obtained by the reaction of collard, hazelnut, and green tea with 5 mM AgNO_3 concentration were calculated as 77.38 %, 99.12 %, and 88.23 %, respectively. Adsorption kinetic models have been studied and pseudo second order kinetic model was found to fit best for each NP type.

Keywords: Silver Nanoparticle, Methylene Blue, Nanotechnology, Green Synthesis, Adsorption

Science Code: 615.01.00

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamı hazırlarken değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, her konuda yardımlarını benden esirgemeyen ve kendisiyle çalışmaktan mutluluk duyduğum saygıdeğer tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Gülçin DEMİREL BAYIK'a,

Laboratuvar çalışmaları sırasında yaşadığım teknik sorunlarda yardımlarını esirgemeyen Sayın Arş. Gör. Ali Kemal TOPALOĞLU ve Arş. Gör. Bekir Fatih KAHRAMAN'a,

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen sevgili aileme,

Yaşamım boyunca desteklerini, sevgilerini ve bu süreçte yardımlarını esirgemeyen sevgili arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) 2021-77047330-01 nolu “Yeşil Yapraklı Bitkilerle Nanopartikül Sentezi ve Boyar Madde Giderimi” başlıklı proje ile desteklenmiştir.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 NANOPARTİKÜLLER.....	3
2.1. NANOPARTİKÜLLERİN FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ.....	4
2.1.1. Elektronik ve Optik Özellikler	4
2.1.2. Manyetik Özellikler.....	4
2.1.3. Mekanik Özellikler.....	5
2.1.4. Termal Özellikler	5
2.2. NANOPARTİKÜLLERİN SINIFLANDIRILMASI.....	5
2.2.1. Boyutlarına Göre Nanopartiküller.....	5
2.2.2. Kimyasal Yapılarına Göre Nanopartiküller	6
2.2.2.1 Karbon Bazlı Nanopartiküller	6
2.2.2.2. Metal Nanopartiküller	7
2.2.2.3. Seramik Nanopartiküller	8
2.2.2.4. Yarı iletken Nanopartiküller.....	8
2.2.2.5. Polimerik Nanopartiküller.....	8
2.2.2.6. Lipid Bazlı Nanopartiküller	9

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

2.3. NANOPARTİKÜLLERİN UYGULAMA ALANLARI	9
2.3.1. Sağlık ve Biyomedikal Uygulamalar	9
2.3.2. İmalat ve Malzemelerdeki Uygulamalar	9
2.3.3. Enerji ve Elektronik Uygulamaları	10
2.3.4. Çevre Uygulamaları	10
2.4. NANOPARTİKÜLLERİN SENTEZ YÖNTEMLERİ	12
2.4.1. Yukarıdan Aşağıya Yaklaşım (Top-down)	12
2.4.2. Aşağıdan Yukarıya Yaklaşım (Bottom-up).....	13
2.4.2.1. Biyolojik Sentez (Yeşil Sentez) Yöntemi	15
2.5. NANOPARTİKÜLLERİN YEŞİL SENTEZİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER	19
2.5.1. Reaksiyon Ortamının pH'ı	19
2.5.2. Reaksiyon Sıcaklığı ve Basıncı	19
2.5.3. Derişim	20
2.5.4. Süre.....	21
2.6. NANOPARTİKÜLLERİN KARAKTERİZASYONU	21
2.6.1. Ultraviyole-Görünür Işık (UV-VIS) Spektroskopisi	22
2.6.2. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi.....	22
2.6.3. X-ışını Kırınımı (XRD).....	23
2.6.4. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM)	23
2.6.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	23
2.6.6. Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM)	23
2.6.7. Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi (EDS, EDX, XEDS)	24
2.6.8. Brunauer-Emmett-Teller Yüzey Alanı Tayini (BET)	24
BÖLÜM 3 LİTERATÜR	25
BÖLÜM 4 MATERYAL VE METOT	29
4.1. BİTKİ ÖZÜTLERİNİN HAZIRLANMASI	29
4.2. GÜMÜŞ NANOPARTİKÜLLERİNİN SENTEZİ ve KARAKTERİZASYONU	31
4.3. SENTEZLENEN NANOPARTİKÜLLER İLE BOYAR MADDE GİDERİMİ.....	32

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

BÖLÜM 5 BULGULAR VE TARTIŞMA	35
5.1. GÜMÜŞ NANOPARTİKÜL SENTEZİ	35
5.2. GÜMÜŞ NANOPARTİKÜLLERİN KARAKTERİZASYONU	40
5.2.1. Sentezlenen AgNP'lerinin UV-VIS Spektrofotometre Analiz Sonuçları	40
5.2.2. Sentezlenen AgNP'lerinin Morfolojik Analiz Sonuçları	44
5.2.3. Sentezlenen AgNP'lerinin Boyut Analiz Sonuçları	45
5.2.4. Sentezlenen AgNP'lerinin Kimyasal Yapı Analiz Sonuçları	47
5.3. SENTEZLENEN NANOPARTİKÜLLER İLE BOYAR MADDE GİDERİMİ	52
5.3.1. Adsorpsiyon Kinetikleri	57
BÖLÜM 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	91



ŞEKİLLER DİZİNİ

No	Sayfa
Şekil 2.1	Yaygın olarak kullanılan nanopartiküller 3
Şekil 2.2	Çevresel boya atıklarının varlığından sorumlu endüstriler 11
Şekil 2.3	Nanopartiküllerin sentez yöntemleri 13
Şekil 2.4	AgNP'lerin bitkilerle sentez şeması 16
Şekil 4.1	Özüt hazırlama işlemi..... 30
Şekil 4.2	TFM analizi için hazırlanan gallik asit standart kalibrasyon eğrisi..... 31
Şekil 4.3	UV-VIS spektrofotometre cihazı..... 32
Şekil 5.1	Filtrasyon ve kurutma işlemlerinin ardından katı halde elde edilen AgNP örnekleri..... 35
Şekil 5.2	Farklı bitkilerden hazırlanan özütlerin direkt ve 1:4 seyreltilerek 1 mM AgNO ₃ ile reaksiyonu sonucunda t=0 anında ve 24 saat sonunda gözlemlenen renk değişimleri 38
Şekil 5.3	Farklı bitkilerden hazırlanan özütlerin direkt ve 1:4 seyreltilerek 1 mM AgNO ₃ ile reaksiyonu sonucunda t=0 anında ve 24 saat sonunda gözlemlenen renk değişimleri 39
Şekil 5.4	Bitki özütlerinin farklı seyreltme oranları ve 1 mM AgNO ₃ derişimlerinde farklı zaman aralıklarında elde edilen UV görüntüleri 42
Şekil 5.5	Bitki özütlerinin farklı seyreltme oranları ve 5 mM AgNO ₃ derişimlerinde farklı zaman aralıklarında elde edilen UV görüntüleri 43
Şekil 5.6	TEM ve SEM analiz görüntüleri 44
Şekil 5.7	Mastersizer analiz görüntüleri 45
Şekil 5.8	AgNO ₃ derişimi 1 mM için sentezlenen nanopartiküllerin EDX ve FTIR analiz sonuçları 48
Şekil 5.9	AgNO ₃ derişimi 5 mM için sentezlenen nanopartiküllerin EDX ve FTIR analiz sonuçları 49
Şekil 5.10	Karalahana özütleri ile sentezlenen 1) 1 mM 2) 5 mM, fındık özütleri ile sentezlenen 3) 1 mM 4) 5 mM, yeşil çay özütleri ile sentezlenen 5) 1 mM 6) 5 mM AgNO ₃ konsantrasyonlarında AgNP'lerine ait XRD görüntüleri 51
Şekil 5.11	Bitki yaprak özütleri ile 1 mM AgNO ₃ derişiminde elde edilen gümüş nanopartiküllerinin Metilen Mavisi giderimi üzerindeki etkisinin 24 saatteki görsel değişimi 54
Şekil 5.12	Bitki yaprak özütleri ile 5 mM AgNO ₃ derişiminde elde edilen gümüş nanopartiküllerinin Metilen Mavisi giderimi üzerindeki etkisinin 24 saatteki görsel değişimi 55

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No

Sayfa

- Şekil 5.13 Bitki gümüş nanopartiküllerinin 24saat sonundaki giderim verim grafikleri 56
- Şekil 5.14 Metilen Mavisi adsorpsiyonuna ait pseudo birinci derece, pseudo ikinci derece ve partikül içi difüzyon modellerine ait kinetik çalışmalar 59
- Şekil 5.15 Metilen Mavisi'nin AgNP'lerine adsorplanmasında en iyi verim elde edilen adsorbanların pseudo ikinci derece grafiği..... 60



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Farklı bitki özütleri kullanılarak AgNP'lerinin yeşil sentezine örnekler.....	18
Çizelge 5.1 Özüt oranı ve AgNO ₃ molaritesine bağlı olarak sentezlenen NP miktarları.....	36
Çizelge 5.2 Çalışmada kullanılan bitkilerin maksimum absorbans değerleri	41
Çizelge 5.3 Çalışmada kullanılan bitki ve farklı gümüş nitrat derişimleri ile elde edilen gümüş nanopartiküllerinin Mastersizer analiz parametreleri	46
Çizelge 5.4 AgNP numunelerinin BET analiz sonuçları.....	47
Çizelge 5.5 XRD analiz sonuçları ile elde edilen 2 θ kırınım pik açıları ve kristalit boyutları	52
Çizelge 5.6 24 saat sonunda Boyar madde giderimi (%)	56
Çizelge 5.7 Adsorpsiyon kinetik modellerine ait parametreler	59



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Ag	: Gümüş
%	: Yüzde
°C	: Santigrat Derece
g	: Gram
mg	: Miligram
mL	: Mililitre
µL	: Mikro Litre
mL	: Mililitre
L	: Litre
m ²	: Metre Kare
µm	: Mikrometre
keV	: Kilo Elektron Volt
K	: Kelvin

KISALTMALAR

AgNO ₃	: Gümüş Nitrat
Ag NP	: Gümüş Nanopartikül
BET	: Brunauer-Emmett-Teller
CNT	: Karbon Nanotüp
dk	: Dakika
EDX	: Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

FTIR	: Fourier Transmisyon Kızılötesi Spektroskopisi
GAE	: Gallik Asit Eşdeğeri
ka	: Kuruağırlık
MM	: Metilen Mavisi
mM	: Milimolar
MNP	: Metal Nanopartikül
nm	: Nanometre
NP	: Nanopartikül
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SPR	: Yüzey Plazmon Rezonansı
TEM	: İletim Elektron Mikroskobu
TFM	: Toplam Fenolik Madde
XRD	: X-ışını Kırınımı
JCPDS	: Uluslararası Kırınım Merkezi Veri kartı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Nanobilim; biyoloji, fizik, kimya dalları ile ortak çalışma yürüterek bilimsel konuları anlamaya ve çözmeye çalışan multidisipliner bir çalışma alanıdır. Nanoteknoloji ise nanobilimin uygulanmasıdır ve mikrondan 1000 kat daha küçük olan 1-100 nm boyuttaki malzemelerin sentez, karakterizasyon ve uygulanması ile ilgilenmektedir. Nanometre kavramını ilk tanıtan kişi olan Richard Zsigmondy, 1925'te mikroskop ile altın nanopartikül gibi kolloidal partiküllerin boyutunu ölçerek Kimya Nobel Ödülü'nü almıştır. 29 Aralık 1959'da fizikçi Prof. Richard Feynman Amerikan Fizik Derneği'nin yıllık toplantısında "Aşağıda daha çok yer var" sözü ile ilk kez nanoteknoloji kavramını ortaya koymuş ve nanoteknolojinin başlamasına öncülük etmiştir. Nanoboyuttaki malzemeleri tanımlamak için, 1974'te Tokyo Bilim Üniversitesi'nden Prof. Norio Taniguchi "nanoteknoloji" terimini kullanmıştır. Ayrıca, Taramalı Tünelleme Mikroskobu'nun (STM) icadı nanoteknoloji alanındaki çalışmaların ilerlemesinde yararlı olmuştur (Pal et al. 2019, Rafique et al. 2020, Rastogi et al. 2018).

Karbon, seramik, polimerik ve metal gibi birçok farklı biçimde sentezlenebilen nanomalzemeler spesifik yüzey özellikleri sayesinde biyomühendislik alanında sıklıkla kullanılmaktadır (Raghav et al. 2020, Thakkar et al. 2010). Özellikle metal nanopartiküller, optik, elektriksel ve katalitik özelliklerinden dolayı son yıllarda nanoteknoloji alanında yoğun ilgi görmektedir (Bar et al. 2009, Begum et al. 2009, Shnoudeh et al. 2019). Bu nanopartiküller su arıtım proseslerinde organik/inorganik kirleticilerin arıtımında nanoadsorbent ve biyosensör olarak, hastalıkların teşhisi, izlenmesi, hücre onarımı gibi nanotıp teknolojisinde biyosensör olarak, ilaç taşınımında hastalıkların tedavisinde, kozmetik, biyomedikal, gıda ve tekstil endüstrilerinde antibakteriyel ajan olarak kullanılmaktadır (Mukherjee et al. 2001, Raghav et al. 2020). Metal nanopartiküllerin sentezinde kimyasal ve fiziksel yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemlerin uygulama zorlukları, çevreye verdikleri zararlar, toksik ve yüksek maliyetli olmaları günümüzde alternatif yaklaşımlara ihtiyaç duyulmasına neden olmuştur (Kavitha et al. 2013, Rane et al. 2018). Bu alternatif yöntemler arasında en çok öne çıkan ise biyolojik yöntemlerdir. Özellikle yeşil sentez yöntemi son zamanlarda yeniden ilgi çekmeye başlamıştır. Bu yöntem temel olarak

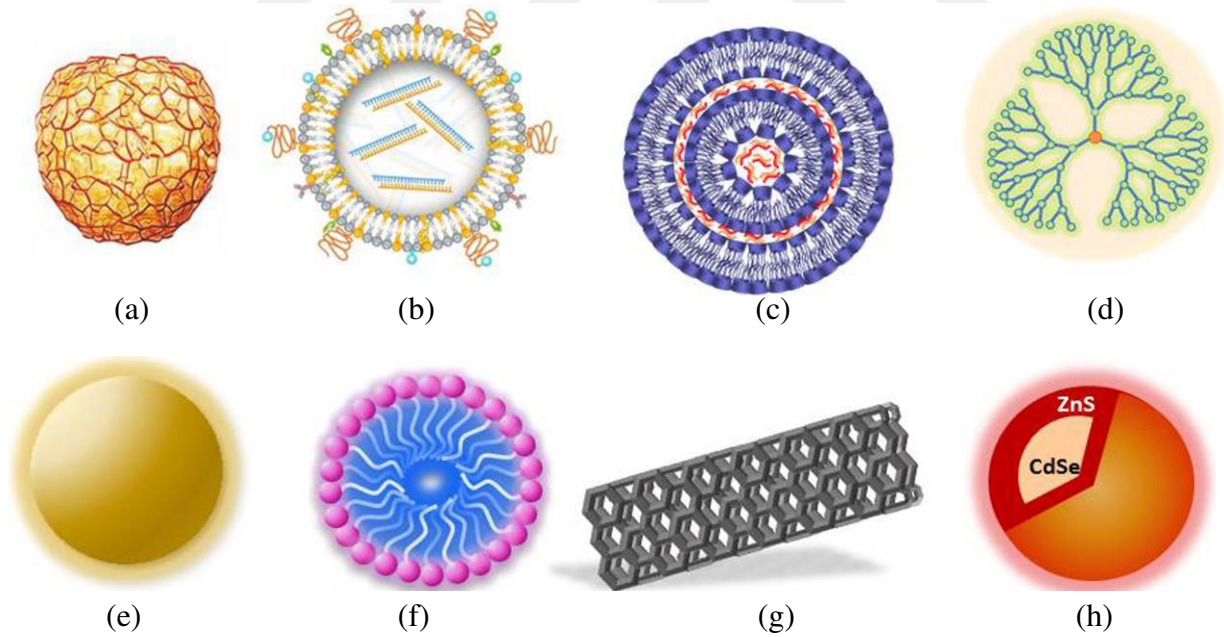
mantar, mikroorganizma ve bitki özütleri gibi malzemelerin kullanılmasına dayanmaktadır. Güvenli, çevre dostu ve ucuz olması nedeniyle diğer yöntemlere karşı araştırmacılar tarafından tercih edilen bir yöntemdir (Edison and Sethuraman 2012, Nadagouda and Varma 2008, Silva et al. 2015, Song et al. 2010, Vanaja et al. 2014).

Bu çalışmada karalahana (*Brassica oleracea* var. *acephala*), fındık (*Corylus avellana* var. *avellana*) ve yeşil çay (*Camellia sinensis* L) bitki özütleri kullanılarak gümüş nanopartiküllerin sentezlenmesi, elde edilen nanopartiküller ile endüstriyel boyar madde olan Metilen Mavisi'nin sulu ortamdan adsorpsiyon yöntemiyle gideriminin araştırılması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında bitki özütü ve gümüş nitrat çözeltisi derişiminin sentezlenen nanopartiküllerin şekil, boyut, morfolojik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Sentezlenen nanopartiküllerin Metilen Mavisi giderim verimleri karşılaştırılmış ve adsorpsiyon kinetikleri incelenmiştir.

BÖLÜM 2

NANOPARTİKÜLLER

Nanopartiküller tek bir malzeme veya birkaç malzemenin kombinasyonu ile meydana gelen, yüzey katmanı, kabuk katmanı ve çekirdek olmak üzere üç katmandan oluşan toz partikülleridir (Christian et al. 2008). Küçük boyutları, kimyasal bileşimleri, saflıkları, kristal yapıları, şekilleri ve kümelenmeleri sayesinde fizikokimyasal özellikler sergilemektedir. Gelişmiş katalitik aktivite, termal iletkenlik ve kimyasal kararlılıkları tıp, gıda, elektronik, kozmetik, kimya ve çevre gibi çeşitli bilim alanlarında uygulama alanı bulmalarını sağlamıştır (Abraham et al. 2020, Agarwal et al. 2017, Ahmed et al. 2016, Bhat et al. 2017, Kouvaris et al. 2012, Nair et al. 2022, Noah 2019, Pal et al. 2019). Şekil 2.1’de yaygın olarak kullanılan nanopartikül (NP) çeşitleri gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Yaygın olarak kullanılan nanopartiküller a) polimerler, b) lipozomlar, c) amfifilik siklodekstrinler, d) dendrimerler, e) altın nanopartiküller, f) miseller, g) karbon nanotüpler, h) kuantum noktaları (Mccarthy et al. 2014)

2.1. NANOPARTİKÜLLERİN FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Nanopartiküller boyut, boyut dağılımları, geniş alan ve hacim oranları, çeşitli yüzey yapıları, kimyasal bileşimleri gibi çeşitli fizikokimyasal özellikler sergilemektedir. NP'ler sergiledikleri bu özellikleri sayesinde çeşitli endüstrilerde uygulamalar bulmaktadır (Hammami et al. 2021).

2.1.1. Elektronik ve Optik Özellikler

Optik özellik, bir malzemenin özellikle görünür bölgedeki ($\lambda = 0.4-0.7 \mu\text{m}$) elektromanyetik dalgaya karşı verdiği cevap olarak tanımlanır (Hubenthal 2011). Nanomalzemenin absorpsiyon, iletim, yansımaya ve ışık emisyonu gibi optik özellikleri dinamik ve nanopartikülü oluşturan yığın metalin özelliklerinden önemli ölçüde farklı olabilir. Nanopartiküllerin şeklinin, büyüklüğünün ve yüzey fonksiyonelliğinin değiştirilmesi ile çok farklı optik özelliklere sahip nanopartiküller sentezlenebilir. Farklı şekil, boyut veya türde sentezlenebilmeleri ile farklı renklerde yansımaya yapar veya farklı elektriksel özellikler sergileyebilir (Adewuyi and Lau 2021). Malzemenin boyutundaki bir azalma, ilişkili optik özelliklerini büyük ölçüde değiştirmektedir. Malzemenin boyutu 10-15 nm'ye yaklaştığında boyut etkisi daha önemli hale gelmektedir, çünkü bu durumda ışığın dalga boyu nanopartiküllerin boyutundan daha uzun olmaktadır. Nanopartikül boyutu küçüldüğünde, absorpsiyon bandında mavi bölgeye doğru (blue-shift) bir kayma meydana gelmektedir. Nanopartiküllerinin absorpsiyon bandındaki bu mavi bölgeye kayma, boyut küçüldükçe enerji bandının boşluğunu arttırmaktadır (Eustis and El-sayed 2006, Rafique et al. 2020).

2.1.2. Manyetik Özellikler

Nanopartiküllerdeki küçük boyut dağılımları manyetik özelliklerini etkilemektedir (Faivre and Bennet 2016, Reiss and Hütten 2005). Manyetik NP'ler, kataliz, biyotıp, manyetik sıvılar, veri depolama manyetik rezonans görüntüleme (MRI) ve su arıtımı gibi çevresel konular da dahil olmak üzere çok çeşitli disiplinlerdeki araştırmacılar tarafından ilgi görmektedir (Khan et al. 2017).

2.1.3. Mekanik Özellikler

NP'lerin mekanik özellikleri sertlik ve sürtünme gibi özellikleri üzerinden incelenebilmektedir (Guo et al. 2014). Metal ve seramik malzemeler nanoboyutlarda oluşturularak mekanik mukavemetleri önemli ölçüde arttırılabilmektedir. Ayrıca, kristal boyutu nanometreden daha küçük olan seramik malzemeler erime noktasının % 50'sinin üzerindeki yüksek sıcaklıklarda orijinal boyutundan birkaç ila birkaç bin kata kadar uzayabilen benzersiz süperplastik özellikleri ile metalik malzemeler gibi şekillendirme ve işlenme olasılıkları sergileyebildikleri görülmektedir (Yokoyama 2018).

2.1.4. Termal Özellikler

Malzemelerin termal özellikleri ısı transferi ve erime noktası ile açıklanmaktadır. Bu özellikler partiküllerin yüzeyinde gerçekleştiğinden, malzemelerin boyutlarına ve yarıçaplarına bağlı olarak toplam yüzey alanı geniş olan nanomalzemeler tercih edilmektedir. Nanopartiküllerin boyutundaki ve yarıçaplarındaki küçülme ile erime noktası azalmaktadır (Khan et al. 2017, Lee et al. 1999, Rafique et al. 2020). Örneğin Lai et al. (1988) yaptığı bir çalışmada Alüminyum (Al) yığın metalinin termal iletkenliği 660 °C'de iken 2 nm boyutundaki Al nanopartiküllerinin 140 °C'de olduğu bildirilmiştir (Lai et al. 1998).

2.2. NANOPARTİKÜLLERİN SINIFLANDIRILMASI

Nanopartiküller boyutlarına, fiziksel, kimyasal yapılarına ve uygulamalarına göre sınıflandırılabilir.

2.2.1. Boyutlarına Göre Nanopartiküller

Nanopartiküller, genel şekillerine göre sıfır boyutlu (0 D), bir boyutlu (1 D), iki boyutlu (2 D) veya üç boyutlu (3 D) olarak sınıflandırılmaktadır.

- Sıfır boyutlu nanomalzemeler; nanoküreler ve nanokümeler gibi 0 D nanopartiküller, tüm boyutlarda 100 nm'den küçüktür.
- Tek boyutlu nanomalzemeler; film veya yüzey kaplamaları vardır. Nanotüpler, nanoçubuklar ve nanolifler gibi 1 D nanopartiküller, en az bir boyutta 100 nm'den küçüktür (camlardaki sert kaplamalar, ince filmler vb).

- İki boyutlu nanomalzemeler; 100 nm'den daha az kalınlığa, kalın membranlı sabit ve uzun 2 D nanoyapılara sahiptir (nano gözenekli filtreler, karbon nanotüpler, teller, lifler vb).
- Üç boyutlu nanomalzemeler; tüm boyutlarda 100 nm'den büyük, sabit ve küçük 3 D nanoyapılardır (kuantum noktaları, dendrimerler vb.) (Nair et al. 2022, Roy et al. 2021, Singh 2016b, Tiwari et al. 2012).

Boyut bir maddenin optik özellikleri gibi fizikokimyasal özelliklerini etkileyebilmektedir. Örneğin; 20 nm boyutundaki altın (Au), platin (Pt), gümüş (Ag) ve paladyum (Pd) NP'leri sırasıyla karakteristik olarak şarap kırmızısı rengi, sarımsı gri, siyah ve koyu siyah renklere sahiptir. Bu NP'ler, biyogörüntüleme uygulamalarında kullanılabilen boyut ve şekil çeşitliliği ile karakteristik renkler ve özellikler göstermektedir (Dreaden et al. 2012, Horikoshi and Serpane 2013, Ijaz et al. 2020).

2.2.2. Kimyasal Yapılarına Göre Nanopartiküller

Kimyasal olarak nanopartiküller metaller/metal oksitler, polimerler, karbon ve diğer biyolojik malzemelerden oluşmaktadır. Bazı önemli nanopartikül grupları karbon bazlı, metal, seramik, yarı iletken, polimerik ve lipid bazlı nanopartiküllerdir.

2.2.2.1. Karbon Bazlı Nanopartiküller

Karbon bazlı NP'ler, fullerenler ve karbon nanotüpler (CNT) olarak iki ana sınıftan oluşmaktadır. Fullerenler küresel, içi boş kafesten oluşan nanomalzemelerdir. Elektriksel iletkenlikleri, yüksek mukavemetleri, elektron ilgileri ve çok yönlülükleri nedeniyle ticari anlamda önemlidir (Astefanei et al. 2015, Nair et al. 2022). CNT'ler, benzersiz elektriksel, mekanik ve termal özelliklere sahip içi boş silindirik karbon moleküllerinden oluşmaktadır. Boru şeklindeki fullerenler olarak da bilinen CNT'ler tek, çift veya çok duvarlı olabilmektedir (Aqel et al. 2012, Ibrahim 2013, Khan et al. 2017). Fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinden dolayı CNT'ler dolgu malzemeleri, çevresel alanlar gibi birçok ticari uygulamalarda kullanılmaktadır (Mabena et al. 2011, Nair et al. 2022, Ngoy et al. 2014, Saeed and Khan 2016). Örneğin; işlevselleştirilmiş fullerenler antioksidan özellikleri nedeniyle kozmetik endüstrisinde, hastalıkların teşhisinde CNT'ler biyosensör olarak, yüksek

yüzey alanları nedeniyle organik-inorganik kirleticilerin sudan gideriminde adsorban malzeme olarak, yakıt hücreleri olarak sanayi endüstrisinde kullanılmaktadır (Buzea et al. 2007, Nasrollahzadeh et al. 2019, Nikalje 2015).

2.2.2.2. Metal Nanopartiküller

Metal nanopartiküller, biyomoleküllerin tespiti ve görüntülenmesi, antimikrobiyal aktivite, çevresel kirleticilerin uzaklaştırılması ve biyoanalitik uygulamalar gibi geniş uygulamalara olanak tanımaktadır (Gericke and Pinches 2006, Roy et al. 2021). Metal NP'lerin yüzey, boyut ve şekil kontrollü sentezi günümüzün yeni malzeme teknolojisinde önemli bir yere sahiptir (Dreaden et al. 2012). Metal bazlı NP'ler, nanoboyutlu metaller veya nanoboyutlu metal oksitler, metal sülfürler, metal fosfatlar gibi metalik öncüllerden hazırlanmaktadır (Ishtiaq et al. 2020). Metalik NP'ler, yüzey plazmon rezonans (SPR) özellikleri sayesinde Cu, Ag, Pt ve Au gibi alkali ve soy metaller ile gelişmiş optik özellikler sergilemektedir. Bu tür metal NP'lerin boyalarda, pigmentlerde ve çok yönlü elektriksel ve optik özelliklere sahip yeni nesil gelişmiş malzemelerin hazırlanmasında uygulama alanı bulmaktadır (Ishtiaq et al. 2020, Khan et al 2017, Singh 2016c). Örneğin; metal NP'lerden olan demir oksit NP'ler tıp endüstrisinde (MRI) ve ilaç iletimi gibi uygulamalarda, TiO_2 ve ZnO NP'leri sıklıkla kozmetik endüstrisinde, demir oksit ve titanyum dioksit nanomalzeler yüksek yüzey alanları nedeniyle organik- inorganik kirleticilerin sudan gideriminde adsorban malzeme olarak, TiO_2 nanopartikülleri hava kirliliğini önlemede nanomembran olarak, yüksek antimikrobiyal özelliği nedeniyle AgNP'ler yara bantları, kateterler ve çeşitli ev ürünleri gibi çeşitli endüstri uygulamalarda yerini almaktadır (Ali et al. 2016, Asharani et al. 2009, Buzea et al. 2007, Esmeray ve Özata 2019, Nasrollahzadeh et al. 2019).

Gümüş Nanopartiküller

Gümüş nanopartiküller (AgNP) boyut, şekil, elektriksel özelliklerine bağlı olarak farklı uygulama alanlarında birçok araştırmacının ilgisini çekmektedir. Kimyasal olarak gümüş, dört farklı oksidasyon (Ag^0 , Ag^{1+} , Ag^{2+} ve Ag^{3+}) durumuna sahiptir (Riedel and Kaupp 2009). Bununla birlikte, kimyasal olarak aktif olmayan bir elementtir, ancak nitrik asit veya konsantre sülfürik asit ile reaksiyona girerek çözünür gümüş tuzları oluşturabilmektedir (Wang et al. 2013). Metalik gümüş suda çözünmez, ancak gümüş nitrat (AgNO_3) ve gümüş klorür (AgCl) gibi metalik tuzları suda çözünmektedir (Keat et al. 2015).

Gümüş nanopartiküller, antiseptik ajan olarak tıp endüstrisinde, tekstilde, kozmetikte, gıda ambalajlamasında, biyomühendislikte, elektrokimyada, katalizde ve çevresel kullanımlar gibi çok çeşitli uygulamalara dahil edilebilen bir malzemedir (Hajipour et al. 2012, Merga et al. 2007, Song and Kim 2009, Tran et al. 2013, Zhang and Lin 2018). AgNP'ler elektrokimyasal, kimyasal ve optik özellikleri sayesinde biyosensör, katalizör, adsorbent olarak da kullanılmaktadır (Hussain et al. 2019).

2.2.2.3. Seramik Nanopartiküller

Seramik NP'ler, ısı ve ardışık soğutma yoluyla sentezlenen oksitler, karbürler, karbonatlar ve fosfatlardan oluşmaktadır. Amorf, polikristal, yoğun, gözenekli veya içi boş formlarda bulunabilmektedir. Bu NP'ler kataliz, fotokataliz, boyaların fotodegradasyonu ve görüntüleme gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır (Khan et al. 2017, Nair et al. 2022, Sigmund et al. 2006).

2.2.2.4. Yarı iletken Nanopartiküller

Yarı iletken nanomalzemeler kuantum noktaları olarak adlandırılmaktadır (Nair et al. 2022). Yarı iletken malzemeler metaller ve ametaller arasında özelliklere sahiptir ve bu özelliklerinden dolayı fotodedektörler, ışık yayan cihazlar, güneş pilleri, biyolojik etiketleme, tıbbi teşhis gibi çeşitli uygulamalarda yer almaktadır. Yarı iletken nanomalzemeler küçük boyutu (1-20 nm), yüksek yüzey alanı nedeniyle, ayırt edici optik ve manyetik özellikleri sayesinde fotokataliz, foto optik, LED ve elektronik cihazlarda ve minyatür çipler şeklinde elektronik endüstrisinde kullanılmaktadır (Ali et al. 2017, Cushing et al. 2004, Khan et al. 2016, Panda and Tseng 2013, Sun et al. 2000).

2.2.2.5. Polimerik Nanopartiküller

Literatürde özel bir terim olan polimer nanopartikül topluluğu (PNP) olarak adlandırılan bu nanopartiküller organik bazlı NP'lerdir. Çoğunlukla nanoküreler veya nanokapsüller şekillerden oluşmaktadır. Nanoküreler, partikülleri dış küresel yüzeyinde adsorbe eden katı partiküllerdir. Nanokapsüller ise partikülleri katı kütle içinde tamamen kapsülleyen nanopartiküllerdir (Rao and Geckeler 2011). Polimerik nanopartiküller, ilaç iletim araçları olarak en çok araştırılan nanopartiküllerden birisidir (Ellah and Abouelmagd 2016, Kumari et

al. 2010, Singh 2016c). Nanokapsüller, hastalıkların tespiti ve tedavisi ve su arıtım süreçlerinde kullanılmaktadır (Nasrollahzadeh et al. 2019).

2.2.2.6. Lipid Bazlı Nanopartiküller

Lipid NP'ler, lipidden yapılmış katı bir çekirdeğe sahiptir ve çözünür lipofilik moleküller içermektedir (Khan et al. 2017). Genellikle, çapı 10-1000 nm arasında değişen küresel karakteristik şekle sahip nanopartiküllerdir. Doğal lipidlerden oluşan bu NP'ler toksik değildir ve biyolojik olarak yüksek oranda parçalanabilmektedir (Rawat et al. 2011). Lipid bazlı nanopartiküller, ilaç iletimi ve ayrıca kanser tedavisinde RNA salınımında uygulanmaktadır (Gujrati et al. 2014, Puri et al. 2009).

2.3. NANOPARTİKÜLLERİN UYGULAMA ALANLARI

NP'ler sergiledikleri fizikokimyasal özellikleri nedeniyle çok çeşitli uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Bu uygulamalar arasında tıbbi, biyomedikal, çevre, tarım, kataliz, tekstil, elektronik, ulaşım ve diğer alanlar gösterilmektedir (Khan et al. 2017, Raghav et al. 2020).

2.3.1. Sağlık ve Biyomedikal Uygulamalar

Nano boyutlu inorganik nanomalzemeler, fiziksel ve kimyasal özellikleri sayesinde biyomedikal ve farmasötik uygulamalarda kullanılabilen yeni nanocihazların geliştirilmesinde sıkça kullanılmaktadır (Loureiro et al. 2016, Martis et al. 2012, Nikalje 2015). Nano malzemelerin yardımıyla hastalıkların erken teşhisi ve önlenmesi, uygun tedavi ve takibi mümkündür. Örneğin, Karbon nano tüpler (CNT) tıp alanında biyosensör olarak geliştirilerek kanser hastalığının teşhisinde, lipid ve polimer bazlı NP'ler ilaç iletim sistemlerinde, demir oksit NP'ler manyetik rezonans görüntüleme (MRI) ve ilaç iletimi gibi uygulamalarda, AgNP'ler, antimikrobiyal aktivitelerinden dolayı yara pansumanlarında, kateterlerde ve çeşitli ev ürünlerinde giderek daha fazla kullanılmaktadır (Alexis et al. 2008, Ali et al. 2016, Asharani et al. 2009, Jain et al. 2006, Laurent et al. 2008, Nikalje 2015).

2.3.2. İmalat ve Malzemelerdeki Uygulamalar

NP'lerin işlevsel özellikleri mikroelektronik, havacılık ve ilaç endüstrileri gibi alanlarda pazarlanabilir ürünlerin seri olarak üretilmesine olanak tanıyarak nanoteknoloji alanında hızla

ilerleme kaydedilmiştir (Khan et al. 2017). Gıda endüstrilerinde metalik nanopartiküller ürünlerin kalitesini değerlendirmek için uygun maliyetli biyosensör olarak, işlevselleştirilmiş fullerener antioksidan özellikleri nedeniyle yaşlanma karşıtı kremlerde, TiO₂ ve ZnO metal nanopartikülleri UV ışığı yansıtma özellikleri sayesinde güneş koruyucu kremlerde, boya endüstrisinde kapsüllenmiş NP'ler aşınmaya dirençli boyaların sentezinde ve gıda endüstrisinde koruyucu madde olarak yeşil yolla sentezlenmiş metalik nanopartiküller kullanılmaktadır (Buzea et al. 2007, Kokura et al. 2010, Kuppusamy et al. 2016).

2.3.3. Enerji ve Elektronik Uygulamaları

NP'ler, geniş yüzey alanları, optik davranışları ve katalitik yapıları nedeniyle enerji alanında kullanılmaktadır. NP'ler, özellikle fotokatalitik uygulamalarda ve enerji üretimi ve depolanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Avasare et al. 2015, Greeley and Markovic 2012, Liu et al. 2015, Liu et al. 2015, Mueller and Nowack 2008, Ning et al. 2016, Wang and Su 2014). Karbon nanotüp yakıt hücreleri elektrikli otomobillerde, yarı iletken nanomalzemeler minyatür çipler şeklinde elektronik endüstrisinde, nano yapıli dolgular yüksek gerilim hatlarında elektrik yalıtkanı olarak, nano yapıli katman sistemleri kullanarak termoelektrik eldesinde kullanılmaktadır (Cushing et al. 2004, Nikalje 2015, Raghav et al. 2020).

2.3.4. Çevre Uygulamaları

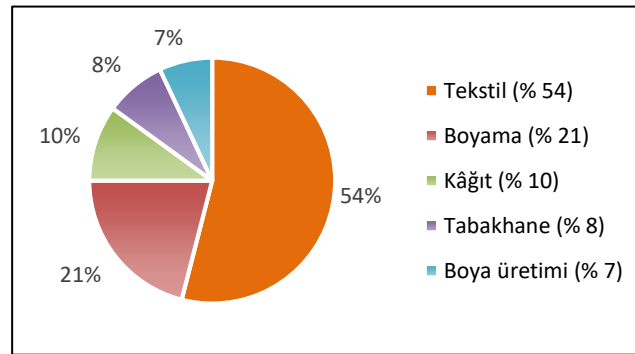
Nanoteknolojinin çevre alanındaki uygulamaları su ve toprak arıtım proseslerini, enerji depolanması gibi konuları ele alarak bu uygulamaları üç kategoride incelemektedir:

1. Çevreye zarar vermeyen sürdürülebilir ürünler (ör. yeşil kimya veya kirlilik önleme),
2. Tehlikeli maddelerle kontamine olmuş malzemelerin ıslahı ve
3. Çevresel kirleticilerin tespiti için sensörler (Ciambelli et al. 2020, Tratnyek and Johnson 2006).

Nanokapsüller, nanopartiküller ve viral kapsidler gibi nanoteknolojik cihazlar ve araçlar su arıtım süreçlerinde, karbon nanotüpler (CNT'ler), demir oksit ve titanyum dioksit nanomalzeler yüksek yüzey alanları nedeniyle ağır metaller, organik bileşikler, farmasötikler, kişisel bakım ürünleri gibi çok sayıdaki kirleticinin sudan gideriminde adsorban malzeme olarak, TiO₂ nanopartikülleri hava kirliliğini önlemede nano membran olarak başarıyla

kullanılmaktadır (Esmeray ve Özata 2019, Jung et al. 2013, Nasrollahzadeh et al. 2019). Soy metal nanopartiküller, manyetik nanopartiküller ve CNT'ler geniş absorpsiyon spektrumları gibi özellikleri sayesinde kirleticilerin tespitinde de kullanılmaktadır (Raghav et al. 2020).

Nanoteknoloji alanının atık su arıtımında hızla gelişimi, boyar maddelerin büyük bir çevresel tehdit oluşturması nedeniyle nanoteknolojinin kullanım olanaklarını boyar maddelerin giderimi üzerinde yoğunlaştırmıştır (Dutta et al. 2014, Moussavi and Mahmoudi 2009). Su kütlelerinde boyar maddelerin varlığı gıda, eczacılık, kozmetik, boya, plastik, kâğıt ve tekstil gibi çok sayıda endüstriden kaynaklanmaktadır (Sannino et al. 2013). Şekil 2.2'de gösterilen beş ana endüstrinin, çevredeki boya atıklarının varlığından sorumlu olduğu bildirilmektedir (Katheresan et al. 2018). Bu sentetik boyalar insan sağlığı üzerine mutajenik veya kanserojen etkiye sahiptir ve aynı zamanda su florasını ve faunasını etkilemektedir (Dutta et al. 2014, Şentürk et al. 2010, Yang et al. 2011). Sentetik boyalardan olan Metilen Mavisi (MM) ($C_{16}H_{18}ClN_3S$), tekstil endüstrilerinde esas olarak boyama işlemi için kullanılan heterosiklik aromatik ve katyonik bir boyadır (Anjana and Geetha 2019, Clifton and Leikin 2003, Fito et al. 2020, Schirmer et al. 2011). Tekstil endüstrisinde boyama işlemi sırasında boyanın % 10-15'inin kaybolduğu ve atık sulara bırakıldığı bu nedenle tekstil endüstrilerinden gelen boya atıklarının arıtılması gerekmektedir. Boya atık suları fiziksel-kimyasal ve biyolojik işlemlere karşı direnç gösterebilmektedir. Ayrıca toksik olmayan ürünlere parçalanması ve aromatik yapısal kararlılıkları nedeniyle sudan giderilmesi oldukça zordur (Lefebvre and Moletta 2006, Mohmood et al. 2013). Bu nedenle, MM'nin indirgenmesi/bozunması, giderilmesi ve renginin giderilmesi bilimsel olarak önem kazanmaktadır (Anjana and Geetha 2019, Rajasekar et al. 2021).



Şekil 2.2 Çevresel boya atıklarının varlığından sorumlu endüstriler (Katheresan et al. 2018)

AgNP'leri ve biyolojik yöntemlerle sentezlenmiş NP'ler boya indirgeme ve giderme alanında katalitik reaktivite sergileyerek giderim çalışmalarında kullanılmaya başlanmıştır (Bogireddy et al. 2016, Hamed and Shojaosadati 2019, Mamalis 2007, Muthu and Priya 2017). Bir çalışmada, biyolojik yolla sentezlenen demir nanopartiküllerinin ağır metal (bakır, nikel, çinko, kurşun) gideriminde etkisi % 92 ile % 98 arasında değiştiği bulunmuştur (Mahanty et al. 2020). Boyar madde giderim çalışmalarında, *Raphanus sativus*, *Morinda tinctoria*, *Imperata cylindrica*, *Trigonella foenum-graecum* ve *Cynodon dactylon (L.) Pers* bitkileri ile biyolojik yolla sentezlen gümüş nanopartikülleri Metilen Mavisi boyasının gideriminde kullanılmış ve giderim verimleri 10 dk. ile 5 gün arasında gerçekleştirilen deneylerde % 75 ile % 100 arasında bulunmuştur (Anjana and Geetha 2019, Fairuzi et al. 2018, Singh et al. 2016, Vanaja et al. 2014, Vidhu and Philip 2014).

2.4. NANOPARTİKÜLLERİN SENTEZ YÖNTEMLERİ

Nanopartikül sentezi için pek çok fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntem kullanılmakta ve farklı yöntemlerin geliştirilmesi araştırılmaktadır. NP'lerin sentezi genel olarak aşağıdan yukarıya yaklaşım (bottom-up) ve yukarıdan aşağıya yaklaşım (top-down) olarak iki ana sınıfa ayrılmaktadır. Aşağıdan yukarıya yaklaşımda atomlar veya moleküller kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılarak kendiliğinden birleştirilmesiyle nanoboyutlara sentezlenebilirken, yukarıdan aşağıya yaklaşımda ise, ezme, öğütme, püskürtme ve termal/lazer ablasyon gibi çeşitli boyut küçültme işlemleriyle yığın malzeme ince partiküllere ayrılarak sentezlenmektedir (Ahmed et al. 2016, Goutam et al. 2020, Naikoo et al. 2021, Raghav et al. 2020, Wang and Xia 2004).

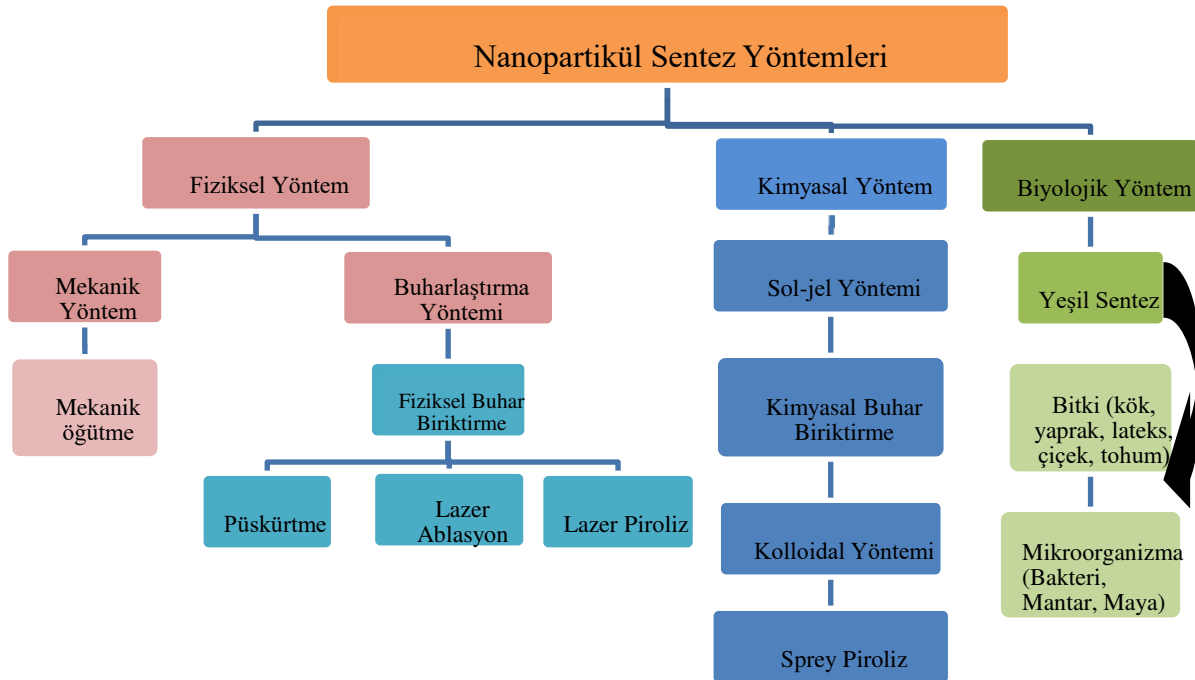
2.4.1. Yukarıdan Aşağıya Yaklaşım (Top-down)

Yukarıdan aşağıya yöntemi, daha büyük moleküllerin daha küçük birimlere ayrışması ve daha sonra bu birimlerin fiziksel yöntemlerle uygun NP'lere dönüştürülmesi ilkesine dayanmaktadır. Ag, Au, PbS ve fulleren nanopartikülleri bu teknik kullanılarak sentezlenmektedir. Bu yöntemle örnek olarak, mekanik öğütme, püskürtme yöntemi, lazer ablasyon, mekanokimyasal sentez yöntemi ve elektron ışını litografisi gibi ayrıştırma teknikleri verilebilmektedir. Mekanik öğütme yöntemi, yığın malzemelere basınç ve sürtünme sağlamasıyla ince partiküllerin ve tozların sentezi ile ilişkilendirilmektedir (Goutam et al. 2020, Rajput 2015). Püskürtme, buharlaştırılmış malzemenin yüzey atomlarının nanoyapılı malzeme sentezi için kullanılmaktadır (Nie et al. 2009). Lazer ablasyon yöntemi, lazer ışını

darbeleriyle dar boyut dağılımına sahip nanopartiküllerin sentezlenmesinde kullanılmaktadır (Ghorbani 2014). Mekanokimyasal yöntem, oda sıcaklığında bilyeli bir değirmen ve bir indirgeyici ajan kullanılarak NP'lerin sentezlenmesi esasına dayanmaktadır (Paskevicius et al. 2009, Tsuzuki and McCormick 2004). Elektron ışını litografisi (E-ışın litografisi), nanometre ölçekli desenler sentezlemede, 3-D mikro ve nano yapılar sentezlemede kullanılan bir yöntemdir (Fu et al. 2018). Bu yöntemler basit ve NP'lerin toplu sentez avantajına sahiptir. Ancak bu yaklaşımların en büyük dezavantajları, maliyetli ve yavaş bir teknik olması ve kristalografik hasar nedeniyle yüzey yapısını olumsuz etkilenmesi sayılmaktadır (Agarwal et al. 2017, Ahmed et al. 2016, Chandra et al. 2006, Hussain et al. 2016, Khan et al. 2017, Raghav et al. 2020, Tavakoli et al. 2007).

2.4.2. Aşağıdan Yukarıya Yaklaşım (Bottom-up)

Aşağıdan yukarıya yaklaşım, atomların ve moleküllerin sistematik bir şekilde birleştirilmesi yoluyla NP'lerin oluşturulmasını içermektedir. NP'lerin oluşumundan sorumlu metal tuzlarının kolloidlere indirgenmesi için birçok reaktif (örn. sitrat, hidrazin, NaBH_4 , boranlar, polioller, tetraoktilamonyum bromür) kullanılmaktadır. Bu yöneme örnek olarak sol jel, yeşil sentez, kimyasal indirgeme ve lazer piroliz gibi kimyasal ve biyolojik sentez yöntemleri sayılmaktadır. Şekil 2.3'te nanopartiküllerin sentez yöntemleri gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Nanopartiküllerin sentez yöntemleri (Goutam et al. 2020).

Kimyasal yöntemlerin çoğunda toksik kimyasallar kullanmakta ve sıklıkla polar olmayan organik çözeltiler ve çevre dostu olmayan yan ürünler üretilmektedir. Bunlara ek olarak, fiziksel ve kimyasal yöntemlerin aşırı güç tüketimi, yüksek maliyetli oluşu ve çeşitli cihazların kullanımını gerektirmesi nedeniyle çok fazla tercih edilmemektedir (Soshnikova et al. 2018). Biyolojik sentez yaklaşımı ise, NP sentezinde kimyasal ve fiziksel yöntemlere ekonomik, yenilikçi, güvenilir ve sürdürülebilir bir alternatif sunmaktadır (Hussain et al. 2016, Rastogi et al. 2018, Silva et al. 2015). Metal nanopartiküllerin biyolojik yolla biyosentezi, sert, toksik ve pahalı kimyasallar kullanmadan çevre dostu (yeşil kimya) bir yöntemdir (Iravani 2011).

Lazer piroliz yöntemi, bazı soy gaz ortamında güçlü bir lazer ışını kullanılarak hızlı ısıtma ve soğutma ile küçük boyutlarda nanopartiküllerin sentezlenmesi esasına dayanmaktadır (Tavakoli et al. 2007). Fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi, elektron demeti kullanarak ana yığın malzemeyi ısıtıp gaz fazında nanoyapılar sentezlemeye odaklanmaktadır (Goutam et al. 2020). Kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemi, yüksek sıcaklıklarda yüksek performansa sahip oldukça saf nanoyapısal ince film sentezi (Goutam et al. 2020, Pedersen and Elliott 2014, Tavakoli et al. 2007) için, sol-jel yöntemi ise manyetik veya optik özelliklere sahip nanomalzemelerin sentezi için kullanılmaktadır (Stenzel et al. 2003). Kimyasal indirgeme yoluyla sentez, bir yükseltgenme-indirgenme reaksiyonudur; reaksiyon, organik ve inorganik indirgeme ajanı ile kimyasal indirgemeyi içermektedir (Guzmán et al. 2008, Landage et al. 2014). Mikroemülsiyon yöntemi, metal nanopartiküllerinin homojen ve boyut kontrollü bir şekilde sentezlenmesinde yağ-su ve su-yağ inorganik fazların kullanılması esasına dayanmaktadır (Capek 2004). Bu yöntemlerin en büyük avantajları, çok miktarda ve homojen nanopartiküllerin kısa sürede sentezlenmesi ve partikül boyutu ve morfolojisinin kontrol edilebilir olması sayılmaktadır (Ahmed et al. 2016, Hasnidawani et al. 2016, Ijaz et al. 2020, Khan et al. 2017, Raghav 2020, Reina et al. 2008, Singh 2016a, Zhang and Lin 2018). Düşük sentezleme hızı, yüksek enerji tüketimi, toksik malzemelerin kullanımı ve pahalı olması ise bu sentezleme yöntemlerinin dezavantajlarından (Adachi et al. 2003, Biswas et al. 2012, Das et al. 2017, Tavakoli et al. 2007, Thakkar et al. 2010).

2.4.2.1. Biyolojik Sentez (Yeşil Sentez) Yöntemi

Yeşil sentez, bitkiler, bakteriler, mantarlar, algler gibi biyolojik yapılar ile gerçekleştirilen sentezleme yöntemidir (Ahmad et al. 2010, Nadagouda and Varma 2008, Rauwel et al. 2014, Raveendran et al. 2003). Nanopartiküllerin biyolojik sentezi (yeşil sentez), mikroorganizmalar ve bitkiler kullanılarak basit yapıların birleştirilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Bu sentezde kimyasal ve fiziksel yöntemler gibi yüksek sıcaklık, basınç, enerji ve toksik kimyasallar kullanılmamaktadır ve bu sayede çevre dostu, uygun maliyetli, biyouyumlu, güvenli ve yeşil bir yaklaşımdır (Dhuper et al. 2012, Khodadadi et al. 2017, Rafique et al. 2017, Roy et al. 2021, Salam et al. 2014). Yeşil sentez yaklaşımında nanopartiküllerin hazırlanması için üç ana kavram mevcuttur. Bu kavramlar; çözücü ortamının (tercihen su), çevre dostu bir indirgeyici ajanın ve nanopartiküllerin stabilizasyonu için toksik olmayan bir materyalin seçilmesini içermektedir. Bu ilkeleri nanobilimde kullanmak, daha güvenli nanomalzemelerin ve nanoyapılı cihazların sentezini ve işlenmesini kolaylaştırmaktadır (Nath and Banerjee 2013).

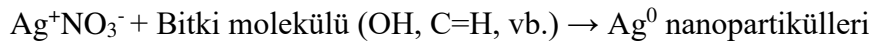
Yeşil sentez yönteminde mikroorganizmalarla sentez, yüksek düzeyde aseptik koşulların gereklilikleri ve bunların bakımı nedeniyle fazla tercih edilmemektedir. Bitkiler, NP sentezi için en çok tercih edilen kaynaklardır, çünkü büyük ölçekli sentez ve şekil ve boyut olarak değişken NP'lerin sentezine kolaylık sağlamaktadır (Agarwal et al. 2017, Ahmed et al. 2016, Das et al. 2017, Fierascu et al. 2017, Gopinath et al. 2012, Naikoo et al. 2021).

Bitkisel Kökenli Yeşil Sentez

Yapraklar, kökler, lateks, ağaç kabuğu, gövde ve tohumlar gibi bitki parçalarının çoğu nanopartikül sentezi için kullanılmaktadır. Bitki özütlerinde kendiliğinden bulunan, tıbbi değeri olan ve çevreye zarar vermeyen proteinler, amino asitler, enzimler, polisakkaritler, alkaloidler, tanenler, fenolikler, saponinler, terpenoidler ve vitaminler gibi biyomoleküllerin yardımıyla nanopartiküllerin sentezi metal iyonlarının veya metal oksitlerin 0 değerlikli metal NP'lerine indirgenmesini içermektedir ve çözeltinin UV-görünür (UV-VIS) spektrumlarının düzenli aralıklarla ölçülmesiyle izlenmektedir (Ahmad et al. 2010, Kulkarni and Muddapur 2014, Mittal et al. 2013, Rastogi et al. 2018). Toksik olmayan, metallere bağlanabilen hidroksil ve karboksil gruplarına sahip fitokimyasallar, nanopartikülleri indirmek ve aynı zamanda etkili bir şekilde sarmak için benzersiz kimyasal güce sahiptir, böylece nanopartiküllerin aglomerasyonunu önlemektedir (Ahmad et al. 2010). Metalik nanopartiküllerin sentezi için bitkilerin kullanılmasına yönelik ilk çalışmalardan biri, yonca

filizleri kullanılarak AgNP'lerinin sentezlenmesidir. Yonca köklerinin, agar ortamından Ag'yi absorbe etme ve aynı oksidasyon durumunda bitkinin sürgünlerine Ag'yi göndererek birleşmelerini sağlama ve nanopartiküllerinin oluşmasını sağlama yeteneğine sahip olduğu rapor edilmiştir (Gardea-torresdey et al. 2003).

Bitki özütleri kullanılarak metal nanopartiküllerin sentezi, bitki özütünün içeriğine bağlı olarak, farklı bitki parçaları veya bitkinin tamamının kullanılarak bitki özütlerinin hazırlanması, metal tuzu çözeltisinin hazırlanması ve oda sıcaklığında bitki özütü-metal tuzu çözeltisinin karıştırılması ve inkübasyonu adımları ile gerçekleşmektedir.



Metal tuzların biyokimyasal indirgenmesi hemen başlamakta ve NP'lerin oluşumu, reaksiyon karışımının rengindeki değişiklik ile belirlenmektedir. Nanopartikül boyutunu, şeklini, morfolojisini ve verimini sıcaklık, pH, özütlerin derişimi, metal tuzu çözeltisinin derişimi ve temas süresi etkilemektedir (Dwivedi and Gopal 2010, Rastogi et al. 2018). Şekil 2.4'te nanopartiküllerin bitkiler ile sentezlenme mekanizması gösterilmektedir (Ghotekar et al. 2019).



Şekil 2.4 AgNP'lerin bitkilerle sentez şeması (Ghotekar et al. 2019).

Bitki veya bitki özütleri ile sentezlenen nanopartiküller, mikroorganizma sentezlerine kıyasla, daha kararlı nanopartiküller oluşturmakta ve daha yüksek hızla sentezlenebilmektedir. Yapılan çalışmalar ile bitki özütlerinin biyo-indirgeme potansiyelinin mikrobiyal kültürlerden nispeten daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Khalil et al. 2014). Ayrıca, mikroorganizma

temelli yöntemden kaynaklanan atık ürünlerin, sentezde yer alan mikroorganizmaların türüne bağlı olarak çevreye zararlı olması söz konusudur (Moghaddam 2010). Bitki aracılı sentez, daha az veya neredeyse sıfır kontaminasyon gerektirir ve böylece çevre üzerindeki etkisi azalmaktadır. Bu nedenle nanopartiküllerin yeşil tabanlı sentezi, daha etkin maliyet yatırımı, çevre dostu ve insanların kullanımı için güvenli olan büyük ölçekli sentez için uygun bulunmaktadır (Keat et al. 2015). Gümüş, altın ve diğer birçok metalin nanopartikülleri bu şekilde sentezlenmektedir (Mittal et al. 2013). Çizelge 2.1’de AgNP’lerin bitki özütleri ile biyosentezinin bazı önemli sonuçlarını listelemektedir. Çizelge incelendiğinde literatür çalışmalarının çoğunlukla bitkilerin yaprak kısımlarının tercih edildiğini ve oluşan nanopartiküllerin küresel şekilli olduğunu göstermektedir. Sentezlenen nanopartikül boyutları ise oldukça değişken olup 5-100 nm arasındadır.



Çizelge 2.1 Farklı bitki özütleri kullanılarak AgNP'lerinin yeşil sentezine örnekler.

Bitkiler	Partikül Boyutu (nm)	Bitki kısmı	Partikül Şekli	Referans
<i>Alternanthera dentate</i>	50–100	Yaprak	Küresel	(Kumar et al. 2014)
<i>Tribulus terrestris</i>	16–28	Meyve	Küresel	(Gopinath et al. 2012)
<i>Pistacia atlantica</i>	10–50	Tohum	Küresel	(Sadeghi et al. 2015)
<i>Ziziphora tenuior</i>	8–40	Yaprak	Küresel	(Sadeghi and Gholamhoseinpoor 2015)
<i>Cuminum cyminum</i>	3–20	Yaprak	Küresel	(Karamian and Kamalnejad 2019)
<i>Centella asiatica</i>	30–50	Yaprak	Küresel	(Rout et al. 2015)
<i>Melia dubia</i>	5–35	Yaprak	Küresel	(Kathiravan et al. 2014)
<i>Brassica rapa L.</i>	5.7–24.4	Yaprak	Küresel	(Narayanan and Park, 2014)
<i>Thevetia peruviana</i>	10–30	Lateks	Küresel	(Rupiasih et al. 2013)
<i>Eclipta prostrate</i>	35–60	Yaprak	Üçgen, beşgen, altıgen	(Rajakumar and Rahuman 2011)
<i>Nelumbo nucifera</i>	25–80	Yaprak	Küresel, üçgen	(Santhoshkumar et al. 2011)
<i>Citrus sinensis</i>	10–35	Kabuk	Küresel	(Kaviya et al. 2011)
<i>Vitis vinifera</i>	30–40	Meyve	Küresel	(Gnanajobitha et al. 2013)
<i>Memecylon edule</i>	10-45	Yaprak	Üçgen, dairesel, altıgen	(Elavazhagan and Arunachalam 2011)
<i>Aloe vera</i>	15.2	Yaprak	Küresel	(Chandran et al. 2006)
<i>Camellia sinensis</i>	27.9-50.2	Yaprak	Küresel	(Masoooleh et al. 2018)
<i>Musa paradisiacal</i>	20	Kabuk	Kübik	(Bankar et al. 2010)
<i>Alstonia scholaris</i>	50	Kabuk	Küresel	(Shetty et al. 2014)
<i>Achillea biebersteinii</i>	5-35	Çiçek	Altıgen, beşgen, küresel	(Baharara et al. 2014)
<i>Premna serratifolia L.</i>	22.97	Yaprak	Kübik	(Paul et al. 2015)
<i>Annona squamosa</i>	35	Kabuk	Küresel	(Kumar et al. 2012)
Siyah ve yeşil çay	30-50	Yaprak	Küresel	(Al-ogaidi et al. 2017)
<i>Terminalia bellerica</i>	29.6	Çekirdek	Küresel	(Sherin et al. 2020)
<i>Acorous calamus</i>	31.83	Köksap	Küresel	(Nakkala et al. 2014)
<i>Medicago sativa</i>	5-108	Tohum	Küresel, üçgen	(Lukman et al. 2011)

2.5. NANOPARTİKÜLLERİN YEŞİL SENTEZİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Nanopartiküllerin biyolojik sentezi sıcaklık, pH, özütlerin derişimi, metal tuzu çözeltisinin derişimi ve inkübasyon süresi gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Bu faktörler, metal iyonlarının şekil ve büyüklüklerine göre metal NP'lere indirgenme sürecinde önemli ve belirleyici bir rol oynamaktadır (Rastogi et al. 2018).

2.5.1. Reaksiyon Ortamının pH'ı

Reaksiyon ortamının pH'ı, nanopartiküllerin oluşumunda önemli bir rol oynamaktadır (Gericke and Pinches 2006, Kumar et al. 2017). Farklı hidrojen iyonu derişimleri, nanopartiküllerin boyutunda ve şeklinde farklılıklara yol açmaktadır. Daha düşük (asidik) pH değerlerinde daha büyük boyutlarda partiküllerin sentezlendiği gözlemlenmiştir (Dubey et al. 2010, Sathishkumar et al. 2010). Örneğin *Avena Sativa*'dan pH 2'de büyük çubuk şekilli Au nanopartiküller (25-85 nm) oluşturulurken, pH 3 ve 4'te nispeten daha küçük nanopartiküller (5-20 nm) sentezlenmiştir (Armendariz et al. 2004). Sherin et al. (2020) *Terminalia bellerica* özütünden sentezledikleri AgNP'ler üzerinde pH'ın (5-9) etkisini incelemişlerdir. Asidik ve nötr pH'da SPR piklerinde genişlemeler ve büyük boyutlu nanopartiküllerin oluştuğunu, pH 9'da ise SPR bantlarının mavi bölgeye kaydığını ve daha küçük boyutlu nanopartiküllerin oluştuğunu bildirmişlerdir (Sherin et al. 2020). Dwivedi and Gopal (2010) yaptıkları bir çalışmada *Chenopodium album* bitki yaprakları ile gümüş ve altın nanopartikülleri sentezi üzerine pH'ın (2-10) etkisini SPR bantları ile incelemişlerdir. Her iki nanopartikül sentezinde pH 2'de, pH 4'ten sonrasına kıyasla daha düşük ve daha geniş absorbans göstererek daha büyük boyutta NP'ler sentezlendiğini ve altın nanopartiküllerin pH 4-10 arasında absorbansları neredeyse eşit pikler sergileyerek, benzer şekil ve boyuta sahip daha kararlı NP'lerin sentezlendiğini bildirmişlerdir (Dwivedi and Gopal 2010).

2.5.2. Reaksiyon Sıcaklığı ve Basıncı

Sıcaklık, elde edilen nanopartiküllerin şekillerini ve boyutlarını etkilemektedir. Sun et al. (2014) çay yaprağı özütü kullanarak AgNP'lerinin sentez verimliliği üzerinde sıcaklık parametresinin etkisini incelemiştir. 25 °C, 40 °C ve 55 °C gibi çeşitli sıcaklık aralıklarında sırasıyla 91, 129 ve 175 nm boyutlarda NP'ler elde edilmiştir. 25 °C sıcaklıkta daha iyi NP sentezinin gerçekleştiği ancak sıcaklıktaki artışın gümüş NP sentezi üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır (Sun et al. 2014). Bankar et al. (2010) yaptıkları bir

çalışmada muz kabuğu özütleri kullanarak AgNP'lerin sentezi üzerine sıcaklığın (40-100 °C) etkisini incelemişlerdir. Düşük sıcaklıkların aksine 80-100 °C'de sentezlenen AgNP çözeltilerinin koyu kahverengi ve SPR bantlarında gümüşün karakteristik piklerini sergilediği bildirilmiştir (Bankar et al. 2010). Forough and Farhadi (2010) yaptıkları çalışmada sabun kökü bitki özütleri ile gümüş nanopartikülleri sentezlenmiş ve sıcaklığın (25-95 °C) gümüş nanopartiküllerin sentez hızı üzerindeki etkisi bir su banyosunda gerçekleştirilerek incelenmiştir. AgNP sentezinin 86 °C'de 13 dakika içinde % 90'dan fazla gerçekleştiği bildirilmiştir (Forough and Farhadi 2010).

Basınç da tıpkı sıcaklık gibi sentezlenen nanopartiküllerin şeklini ve boyutunu etkilediği için önemli bir parametredir (Abhilash et al. 2012). Çalışmalar, ortam basıncı koşulları sağlandığında metal iyonlarının fitokimyasal ajanlar yoluyla indirgenmesinin normalden daha hızlı gerçekleştiğini göstermektedir (Tran et al. 2013).

2.5.3. Derişim

Bitki özütü miktarının NP'lerin morfolojisini etkilediği bildirilmektedir. Huang et al. (2007) *Cinnamomum camphora* yaprağı özütünün derişiminin sentezlenen altın ve gümüş NP'lerin morfolojisini etkilediğini bildirmişlerdir. Özüt miktarı 0.1-0.5-1 g olarak değiştirildiğinde AuNP'lerin şeklinin nanoüçgenden küresel şekle değiştiği bildirilmiştir (Huang et al. 2007). Sangeetha et al. (2011) Aloe vera yaprak özütleri derişiminin (% 5-50) ZnONP'leri sentezinde etkisini 6 saat boyunca incelemiş ve özüt derişiminin % 25'in üzerine çıkarıldığında sentezin 6-7 saatin sonunda tamamlandığını, elde edilen nanopartikül şekillerinin küresel/ altıgen şekilli olduğunu ve özüt miktarına bağlı olarak değişmediğini ve ortalama 35 nm boyutlarında olduğunu bildirmiştir (Sangeetha et al. 2011). Kumar et al. (2012) *Annona squamosa* yaprak özütü ile AgNP sentezi gerçekleştirmek üzere AgNO₃ derişiminin (0.25-1.25 mM) nanopartikül oluşumu üzerine etkisini incelemiştir. Elde ettikleri sonuca göre optimum 1 mM AgNO₃ derişiminin uygun olduğunu, optimum şartlarda elde edilen nanopartikül şekil ve boyutlarının düzensiz küresel şekilli ve ortalama 32 ± 5 nm olduğu bildirilmiştir (Kumar et al. 2012). Sherin et al. (2020) *Terminalia bellerica* özütünden sentezledikleri AgNP'ler üzerinde AgNO₃ derişiminin (1-2.5 mM) etkisini incelemiştir. Elde ettikleri sonuca göre optimum 2 mM AgNO₃ derişiminin uygun olduğunu bu derişimden yüksek derişim oranlarının agregasyona neden olduğu ve bunun sonucunda SPR sinyalinin azalmasına ve genişlemesine

yol açtığını gözlemlemişlerdir. Optimum koşullarda elde ettikleri nanopartiküllerin küresel şekilli ve ortalama 29.6 nm boyutta olduğu bildirilmiştir (Sherin et al. 2020).

2.5.4. Süre

Nanopartiküllerin inkübasyonu için uygulanan süre, nanopartikülün kalitesini ve morfolojisini büyük ölçüde etkilemektedir (Darroudi et al. 2011). İnkübasyon süresindeki değişiklikler, ışığa maruz kalma, kullanılan sentez yöntemi ve depolama koşulları nanopartiküllerin özelliklerini etkilemektedir (Kuchibhatla et al. 2012, Mudunkotuwa et al. 2012). Uzun süreli inkübasyon, nanopartiküllerde agregasyona veya büzölmeye neden olabilmektedir (Baer 2011). Dwivedi and Gopal (2010) yaptıkları bir çalışmada *Chenopodium album* bitki yaprakları ile gümüş ve altın nanopartikülleri sentezi üzerine temas süresinin etkisini UV-VIS spektroskopisinde absorbans olarak incelemiş ve temas süresinin artmasıyla absorbans piklerinin keskinleştiğini kaydetmişlerdir. Her iki nanopartikül sentezinin ilk 15 dakika içinde başladığı ve 2 saate kadar arttığı ancak 2 saatten sonra belirli bir değişikliğin gözlemlenmediği bildirilmiştir (Dwivedi and Gopal 2010). Imanzadeh and Hadi (2018) gerçekleştirdikleri bir çalışmada *Brassica Oleraceae* bitki özütü ile gümüş nanopartikül sentezi üzerine temas süresinin etkisini incelemişlerdir. 4 saat-21 gün aralığında UV-VIS spektrometre ile gerçekleştirilen ölçümlerde absorbansta kırmızı bölgeye kaymanın meydana geldiği ve bunun neticesinde nanopartiküllerin boyutlarında artışın olduğu ve maksimum dalga boyunun 21 günde elde edildiği bildirilmiştir (Imanzadeh and Hadi 2018). Badoei-dalfard et al. (2019) biyolojik sentez yöntemiyle gümüş nanopartiküllerin sentezi üzerine inkübasyon süresinin etkisini araştırmışlardır. Biyosentezin, 1 saatlik inkübasyonun sonunda başladığı ve 24 saatlik inkübasyondan sonra maksimuma ulaştığı raporlanmıştır. 48 saatlik inkübasyondan sonra önemli bir AgNP sentezinin tespit edilmediği, bu nedenle 24 saat sonraki NP sentezinin en iyi zaman olduğu bildirilmiştir (Badoei-dalfard et al. 2019).

2.6. NANOPARTİKÜLLERİN KARAKTERİZASYONU

Nanopartiküllerin karakterizasyonu, NP'lerin farklı enstrümental yöntemler kullanarak morfoloji, moleküler yapı ve uygulamalarını değerlendirmek ve kontrol etmek için uygulanmaktadır. Yaygın olarak kullanılan teknikler şunlardır: UV-VIS absorpsiyon spektroskopisi, X-ışını kırınımı (XRD), atomik kuvvet mikroskobu (AFM), Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi, dinamik ışık saçılımı (DLS), enerji dağılımlı X-

ışını incelemesi (EDAX), taramalı elektron mikroskobu (SEM), geçirimli elektron mikroskobu (TEM)'dur (Gour and Jain 2019, Ingale and Chaudhari 2013). Bu teknikler, partikül boyutu, şekil, kristallik, gözenek boyutu ve yüzey alanı gibi çeşitli parametreleri öğrenmeye yardımcı olmaktadır. Morfoloji ve partikül boyutu TEM, SEM ve AFM teknikleri tarafından belirlenmektedir. Ultraviyole-görünür ışık (UV-VIS) spektroskopisi, plazmon rezonansını sergileyen numune oluşumunu doğrulamak için kullanılmaktadır. X-ışını kırınımı (XRD), kristallliği belirlemek için kullanılmaktadır. Ayrıca, partikül boyut dağılımının belirlenmesi için dinamik ışık saçılımı (DLS) uygulanmaktadır (Ingale and Chaudhari 2013).

2.6.1. Ultraviyole-Görünür Işık (UV-VIS) Spektroskopisi

UV-VIS spektrofotometresi, nanopartiküllerin stabilitesini ve sentezini izlemek için kullanılan en yaygın karakterizasyon tekniklerinden biridir (Sastry et al. 1998). UV-görünür spektrofotometre, 200-900 nm dalga boyu aralığında analiz yapmaktadır. Maddenin elektronları, elektronların titreşim frekansına uyan bir dalga boyundaki ışıkla karşılaştığında absorpsiyon artmaktadır (Singh 2016a). Elektronlar, gelen ışık dalgası ile rezonans halindeki nanopartiküllerin elektronları nedeniyle bir yüzey plazmon rezonans (SPR) bandı üretmektedir (Rajeshkumar and Bharath 2017). UV-VIS spektroskopisi, plazmon rezonansını ölçerek çeşitli nanopartiküllerin oluşumunu doğrulamak için kullanılmaktadır (Gour and Jain 2019, Ingale and Chaudhari 2013). Bu sayede, nanopartiküllerin boyutu, yapısı, kararlılığı ve agregasyonu hakkında bilgi sağlanmaktadır (Toudert 2013). Gerçekleştirilen çalışmada nanopartikül sentezi ve boyut dağılımının değerlendirilmesi UV spektroskopisi ile gözlemlenmiştir.

2.6.2. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi

Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), sentezlenen nanopartiküllerde bulunan fonksiyonel grupları tanımlamak için kullanılmaktadır. Spektrum, nanopartiküldeki atomların bağları arasındaki titreşim frekanslarına karşılık gelen absorpsiyon tepe noktalarında oluşan nanopartiküllerin parmak izini temsil etmektedir. FTIR ölçümleri, nanopartiküller üzerindeki indirgeyici ajanının indirgenmesinden ve nanopartikül yüzeyine spesifik olarak bağlanan biyomolekülleri tanımlamak için gerçekleştirilmektedir. FTIR spektrumundan, bitki özütü fonksiyonel grubunun nanopartikül sentezi sırasında transfer edildiği açıklanmaktadır. Fonksiyonel gruplar dışındaki C-C-O, C=C, C-H ve C-O titreşimsel gerilmeler de

belirlenebilmektedir (Baraton 2002, Chauhan et al. 2012, Gour and Jain 2019, Kiefer et al. 2015, López-lorente and Mizaikoff 2016).

2.6.3. X-ışını Kırınımı (XRD)

X-ışını kırınımı (XRD), kristal veya polikristal yapıları araştırmak, kimyasal bileşiklerin nicel çözünürlüğünü, çeşitli kimyasal türlerin kalitatif tanımlamasını, kristallik derecesini ölçmek ve partikül boyutlarını belirlemek için kullanılan analitik bir tekniktir (Sharma et al. 2012). Pik konumları (XRD modelinde 2θ değerleri), Uluslararası Kırınım Merkezi Veri kartı (JCPDS) ile karşılaştırılmakta ve hazırlanan nanopartiküldeki farklı fazlar doğrulanmaktadır. XRD modelindeki dar tepe, sentezlenen nanopartiküllerin kristallliğini, geniş tepe ise malzemenin amorf yapısını göstermektedir (Abraham et al. 2020, Vijayaraghavan and Ashokkumar 2017).

2.6.4. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM)

Atomik kuvvet mikroskobu (AFM), boyut ve boyut dağılımı, şekil, yapı, soğurma, dağılım, yığın, yüzey özellikleri (modifiye AFM) ve üç boyutlu (3D) numune yüzey haritalaması hakkında bilgi sağlamaktadır (Abraham et al. 2020, Patra and Baek 2014).

2.6.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), nanomalzemelerin ve nanoyapıların karakterizasyonunda en yaygın kullanılan tekniklerden biridir. Elektron-numune etkileşimlerinden türetilen sinyaller, numunenin yüzey morfolojisi (doku) ve kimyasal bileşimi dahil olmak üzere numune hakkında bilgi vermektedir. Bu teknik, nanomalzemelerin boyut/boyut dağılımının ve şeklinin doğrudan ölçümünü içermektedir (Singh 2016a, Utsunomiya and Ewig 2003).

2.6.6. Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM)

Geçirimli elektron mikroskobu (TEM), partikül ve/veya tane boyutu, boyut dağılımı ve morfolojisinin nicel ölçümlerini elde etmek için nanomalzemelerin doğrudan görüntülenmesi için en çok kullanılan karakterizasyon yöntemlerinden biridir. TEM kullanılarak küçük partiküller (atomik seviyeye yakın olan 10^{-10} m boyutunda) görüntülenebilmekte ve bir

numunenin kristalografik yapısı atomik ölçekte belirlenebilmektedir (Abraham et al. 2020, Patra and Baek 2014, Rauwel et al. 2014).

2.6.7. Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi (EDS, EDX, XEDS)

Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi (EDX), malzemelerin temel düzenini tespit etmek için kullanılan bir X-ışını tekniğidir. EDX sistemi, mikroskop görüntüleme yeteneği ile numuneyi tanımlamaktadır, aynı zamanda TEM veya SEM cihazlarına takılabilmektedir. EDX analizi, analiz edilen numunenin elementleriyle ilgili pikleri gösteren spektrumlardan oluşan veriler üretmektedir (Abraham et al. 2020, Shnoudeh et al. 2019).

2.6.8. Brunauer-Emmett-Teller Yüzey Alanı Tayini (BET)

Brunauer-Emmett-Teller (BET) yöntemi, bir gazın katı yüzeyde fiziksel adsorpsiyonu ile bir tozun spesifik yüzey alanını belirleme esasına dayanmaktadır. Fiziksel adsorpsiyon, adsorbat gaz molekülleri ve adsorban tozunun yüzey alanı arasındaki nispeten zayıf kuvvetlerden (van der Waals kuvvetleri) kaynaklanmaktadır. Bu yöntem genellikle sıvı nitrojen sıcaklığında gerçekleştirilmektedir (Brunauer et al. 1938).

BÖLÜM 3

LİTERATÜR

Yeşil sentez yöntemi, bitkilerin sahip olduğu biyomoleküller sayesinde metal iyonlarının 0 değerlikli metal nanopartiküllere indirgenmesini sağlayarak büyük ölçekli senteze ve stabil, şekil ve boyut olarak değişken nanopartiküllerin sentezine kolaylık sağlaması nedeniyle metal nanopartikül sentezi için en çok tercih edilen sentez yöntemlerinden biridir. Bitkilerin nanopartikül sentezinde kullanılması, hızlı, çevre dostu, kolay erişilebilir, patojenik olmayan ve ekonomik bir teknik sağlaması nedeniyle birçok endüstriyel alanlarda kullanım kolaylığı sağlamasıyla son zamanlarda dikkat çekmektedir. Metal nanopartiküllerden gümüş nanopartikülleri, yüksek yüzey/hacim oranları ve yüksek antimikrobiyal özellikleri sayesinde katalizör, antimikrobiyal malzemeler ve adsorban olarak modern nanoteknoloji araştırmalarında özel ilgi görmektedir (Mittal et al. 2013, Patra et al. 2016).

Pasupuleti et al. (2013) tarafından yapılan bir çalışmada *Rhinacanthus nasutus* yaprağı özütü ve 1 mM AgNO₃ kullanılarak gümüş nanopartikül sentezlenmiştir. Sentezlenen AgNP'ler, UV-VIS spektroskopisi, FTIR spektroskopisi ve TEM ile incelenmiştir. TEM analizi sonucunda sentezlenen nanopartiküllerin 22 nm'den küçük küresel şekilli olduğu bulunmuştur. *R. nasutus* yaprağı özütü kullanılarak sentezlenen AgNP'nin antimikrobiyal aktivitesi, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumonia*, *Escherichia coli*, *Aspergillus niger* ve *Aspergillus flavus*'a karşı disk difüzyon yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. AgNP'lerinin tüm bakteri suşlarına ve mantar kolonilerine karşı potansiyel aktivite göstermesi, *R. nasutus*'un nanoteknoloji tabanlı endüstrilerde kullanılma potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir (Pasupuleti et al. 2013).

Vanaja et al. (2014) yaptıkları bir çalışmada, farklı pH değerlerinde *Morinda tinctoria* yaprağı özütü ve 1 mM AgNO₃ çözeltisi kullanarak gümüş nanopartikülleri başarılı bir şekilde sentezlemiştir. Sentezlenen gümüş nanopartiküller UV-VIS spektroskopisi, SEM,

XRD ve EDX ile karakterize edilmiştir. SEM analizlerine göre 79 ile 96 nm boyut aralığında yüksek aglomerasyona sahip nanopartiküllerin küresel ve çubuk şekilli olduğu raporlanmıştır. Sentezlenen gümüş nanopartiküllerin Metilen Mavisi'nin güneş ışığı altında absorplama kapasitesi de incelenmiştir. 72 saatlik reaksiyon süresinde nanopartiküllerin boyayı yaklaşık % 95 oranında etkili bir şekilde giderdiği belirtilmiştir. Sentezlenmiş gümüş nanopartiküllerin, boya moleküllerine karşı yüksek giderim verimi gösterdiği ve su arıtma sistemlerinde ve boya atıklarının arıtılmasında kullanılabileceği belirtilmiştir (Vanaja et al. 2014).

Muthukumar and Manickam (2015) yaptığı bir çalışmada, demir oksit nanopartikülleri, 0,5 M demir klorür ve *Amaranthus spinosus* yaprağı sulu özütleri kullanılarak sentezlenmiştir. Nanopartikül sentezinin çalışma parametreleri optimize edilmiş, sentezlenen nanopartiküllerin fizikokimyasal, optik ve manyetik özellikleri analitik teknikler kullanılarak karakterize edilmiştir. Sonuçlar, *A. spinosus* yaprak özüt aracılı nanopartiküllerin 54 - 270 nm çap aralığında, eşkenar dörtgen faz yapısına sahip, küresel bir şekilde olduğunu doğrulanmıştır. Yaprak özütünün yanı sıra sodyum borohidrit aracılı demir oksit nanopartiküllerinin fotokatalitik ve antioksidan aktiviteleri incelenmiştir. Özüt aracılı demir oksit nanopartiküllerinin güneş ışığı altında Metil Turuncu ve Metilen Mavisi'nin renk giderimi yüzdesi sırasıyla % 75 ve % 69 olmuştur. Antioksidan etkinliğinin de 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil'e karşı % 93 olduğu gözlenmiştir. Özüt aracılı demir oksit nanopartiküllerinin, sodyum borohidrit aracılı nanopartiküllerden daha iyi fotokatalitik ve antioksidan kapasite gösterdiği kanıtlanmıştır (Muthukumar and Manickam 2015).

Jyoti and Singh (2016) yaptıkları bir çalışmada Safranin O, Metil Kırmızısı, Metil Turuncu ve Metilen Mavisi gibi tehlikeli boyaların gideriminde, *Zanthoxylum armatum* yaprakları kullanarak sentezlenmiş gümüş nanopartikülleri (AgNP'ler) kullanmıştır. Gümüş iyonlarının azalması ve AgNP'lerin oluşumu UV-VIS spektroskopisi ile değerlendirilmiştir. DLS, SEM-EDX, TEM, SAED ve XRD çalışmaları, AgNP'lerin doğada kristalin olduğunu ve boyut aralığının 15 ile 50 nm arasında olduğunu göstermiştir. Safranin O, Metil kırmızısı, Metil Turuncu ve Metilen Mavisi'nin 24 saatte giderim hız sabitleri oranı sırasıyla $1.02 \times 10^{-3} \text{ dk}^{-1}$, $1.03 \times 10^{-3} \text{ dk}^{-1}$, $1.86 \times 10^{-3} \text{ dk}^{-1}$ ve $1.44 \times 10^{-3} \text{ dk}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Yapılan çalışma ile AgNP'lerin, tehlikeli boyaların giderilmesinde iyi bir katalizör olduğunun gözlemlendiği vurgulanmıştır (Jyoti and Singh 2016).

Saha et al. (2017) yaptığı bir çalışmada, 1 mM derişiminde AgNO₃ çözeltisi ve *Gmelina arborea*'nın meyve özütünü kullanarak gümüş nanopartiküllerin (AgNP'ler) biyolojik sentezi geliştirilmiştir. Hazırlanan AgNP'ler UV-VIS spektroskopisi, TEM, SAED ve EDX ile karakterize edilmiştir. TEM çalışmaları, sentezlenen AgNP'lerin kararlı, küresel ve 8 ile 32 nm arasında değişen partikül boyutu ile kristal yapıda olduğunu göstermiştir. Hazırlanan AgNP'ler, Metilen Mavisi (MM) boyasının adsorpsiyon reaksiyonlarında kullanılmış ve 10 dakika içinde tamamlanan adsorpsiyon işlemi, gümüş nanopartiküllerin iyi bir adsorbent özelliğinin varlığını doğrulamıştır (Saha et al. 2017).

Fairuzi et al. (2018) yaptığı bir çalışmada AgNP'ler, *Imperata cylindrica* özütü ve 5 mM AgNO₃ çözeltisi kullanılarak yeşil sentez yöntemi ile sentezlenmiştir. Biyosentezlenmiş AgNP'lerin mikro yapısındaki aglomerasyon FESEM ile doğrulanmış ve ortalama partikül boyutları 31 nm olarak ölçülmüştür. XRD analizi AgNP'lerin, yüzey merkezli kübik yapısının olduğunu göstermiştir. EDX analizi, analiz edilen numunenin ağırlıkça % 68.44'üne katkıda bulunan elementel gümüşün varlığını ortaya çıkarmıştır. Katalizör olarak AgNP'ler varlığında Metilen Mavisi'nin (MM) sodyum borohidrit (NaBH₄) tarafından giderimi gerçekleştirilmiştir. Biyosentezlenmiş AgNP'lerin eklenmesiyle, sulu ortamdan MM'nin giderimi 14 dakika içinde % 92.06'ya kadar yükselmiştir (Fairuzi et al. 2018).

Kumar et al. (2019) yaptıkları bir çalışmada AgNP'ler, *Gymnema sylvestre* sulu özütü kullanarak yeşil sentez yöntemi ile sentezlenmiştir. SEM analizine göre yüksek aglomerasyona sahip nanopartiküllerin küresel ve eşkenar dörtgen şekli, 1 µm ile 200-400 nm boyut aralığında olduğu tespit edilmiştir. AgNP'ler, kirlenmiş boya toprağından izole edilen mikroplara karşı çok iyi bir antimikrobiyal özellik göstermiştir. Sentezlenen gümüş nanopartiküllerin giderim verimi, güneş ışığı altında Metilen Mavisi'nin AgNP'lerinin yüzeyine adsorplanmasıyla incelenmiştir. Yeşil sentezlenmiş gümüş nanopartiküller, 7 saatlik maruz kalma süresinde boyayı yaklaşık % 95 oranında etkili bir şekilde gidermiştir. Sentezlenen AgNP'lerinin boya moleküllerine karşı mükemmel adsorplama etkisi gösterdiği ve su arıtma sistemlerinde ve boya atıklarının arıtılmasında kullanılabileceği bulunmuştur (Kumar et al. 2019).

Anjana and Geetha (2019) yaptığı bir çalışmada *Cynodon dactylon* (L.) Pers'in yaprak özütünü ve farklı AgNO₃ derişimine sahip çözeltiler kullanılarak gümüş nanopartiküllerin (AgNP'ler) biyosentezi ve AgNP'lerinin boya absorplama özelliği incelenmiştir. Gümüş nanopartiküllerin oluşumunu doğrulamak için UV-VIS, XRD ve SEM karakterizasyonları yapılmıştır. XRD ve

SEM analizi, gümüş nanopartiküllerin boyutunun yaklaşık 13 nm olduğunu ve küresel ve homojen AgNP'lerin varlığını göstermiştir. Çeşitli derişimlerde nanopartiküller (2.0-10.0 mg), Metilen Mavisi boyası (10 mg/1000 mL) içeren su ile karıştırılarak belirli gün aralıklarında giderim oranları ölçülmüştür. Absorbans değerleri kullanılarak hesaplanan boya absorplama yüzdesi gün arttıkça artmıştır. Kullanılan çeşitli AgNP derişimlerden 10 mg AgNP içeren boya çözeltisi, oda sıcaklığında 5 günlük inkübasyonun ardından % 75 boya giderimi göstermiştir (Anjana and Geetha 2019).

VenkataRao et al. (2020) yaptığı bir çalışmada, *Grevilla robusta* yaprakları ve 1 mM AgNO₃ çözeltisi kullanılarak gümüş nanopartikülleri sentezlenmiştir. Sentezlenen nanopartiküller SEM tekniği kullanılarak karakterize edilmiş olup boyutları 200 nm bulunmuştur. Çalışmada farklı parametrelere dayalı olarak sulu ortamda sentezlenen nanopartiküllerle Kongo Kırmızısı boyasının giderilmesi incelenmiştir. Optimum koşullarda elde edilen boya giderim verimi % 96 olmuştur. Pseudo ikinci dereceden kinetik model, deneysel çalışmaya uyum göstermiştir. Bu yöntemin diğer birçok endüstriyel boyanın gideriminde kullanılabilir olduğu söylenmiştir (VenkataRao et al. 2020).

Kiriyanthan et al. (2020) yaptıkları bir çalışmada *Manilkara zapota* yaprağı özütü ve 5 mM bakır sülfat çözeltisi kullanarak bakır nanopartikülleri (CuNP) sentezlenmiştir. Biyosentezlenen nanopartiküller UV-VIS, FT-IR, XRD, SEM ve EDX ile karakterize edilmiştir. Sentezlenen CuNP'lerin SEM analizi sonucunda ortalama 18.9-42.5 nm büyüklüğünde ve küresel olduğu gösterilmiştir. EDX analizi, nano numunenin % 58 bakır içerdiğini göstermiştir. Sentezlenen nanopartiküllerin antimikrobiyal özelliği, mantar bitki patojenleri *Rhizoctonia solani* (MTCC 12232), *Sclerotium oryzae* (MTCC 12230) ve bakteri türlerine, yani *Bacillus subtilis* (ATCC 23857), *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), *Vibrio harveyi* (ATCC 35084), *Vibrio parahaemolyticus* (ATCC 33845)'e karşı değerlendirilmiştir. Sentezlenen bakır partiküllerin, giderim verimleri Metil mor, Malahit yeşili ve Coomassie parlak mavisi için değerlendirilmiş ve sırasıyla 40, 50 ve 60 dakika içinde % 94.9, % 92.2 ve % 78.8 oranında olduğu bulunmuştur. Elde edilen bulgular ile sentezlenen nanopartikülün antiproliferatif, antimikrobiyal ajan ve adsorbent olarak kullanılabileceği bildirilmiştir (Kiriyanthan et al. 2020).

BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOT

Kolay erişimi, hızlı sentez gerçekleştirmesi, ucuz olması, daha çevre dostu olması gibi avantajları nedeniyle nanopartikül sentezinde bitki özütlerinin kullanımı ile gerçekleşen yeşil sentez yöntemi tercih edilmiştir. Gerçekleştirilen literatür taraması sonucunda yeşil sentez çalışmalarında daha önce kullanılmayan karalahana (*Brassica oleracea* var. *acephala*) ve findık yaprakları (*Corylus avellana* var. *avellana*); ayrıca yeşil çay (*Camellia sinensis* L) yaprak özütlerinin kullanılması öngörülmüştür. Öncelikle Ag^+ iyonunun bitki özütlerinin indirgeyici ve stabilize edici ajan olarak indirgenmesi yoluyla nanopartikül sentezi üzerine, bitki özütü derişimi ve $AgNO_3$ molaritesinin etkisi incelenmiş, sonrasında ise elde edilen gümüş nanopartiküller ile oda sıcaklığında sulu çözeltiden Metilen Mavisi'nin giderimi araştırılmıştır. Metilen Mavisi giderimi için kinetik hesaplamalar yapılmıştır.

4.1. BİTKİ ÖZÜTLERİNİN HAZIRLANMASI

Çalışmada kullanılan yeşil çay (*Camellia sinensis* L) yaprakları bir süpermarketten (ÇAYKUR marka, Rize üretimli), karalahana (*Brassica oleracea* var. *acephala*) ve findık (*Corylus avellana* var. *avellana*) yaprakları ise Merkez-Zonguldak ilinde Haziran ve Temmuz aylarında bahçelerden toplanmıştır. Toplanan bitki yaprakları yüzey kirlerinden arındırılmak üzere önce çeşme suyunda ve sonrasında saf su ile yıkanıp süzölmeye bırakılmıştır. Daha sonra yıkanan bu yapraklar kurumaları için güneş ışığı altında birkaç gün kurumaya bırakılmıştır.

Kuruyan yapraklar küçük parçalara ayrılarak homojen bir boyut dağılımı için 18 mesh'lik elekten geçirilip, daha sonra şeffaf poşetlere aktararak analiz anına kadar kapalı bir şekilde muhafaza edilmiştir.

Kurutulan yapraklardan 12 g tartılarak ve 250 mL'lik behere aktarılmış ve üzerine yaprak:su oranı 1:15 olacak şekilde 180 mL saf su ilave edilmiştir. Özüt oluşumu için elde edilen suyun rengi sarıdan kahverengiye dönene kadar manyetik karıştırıcıda 100 °C'de 10-15 dk. boyunca kaynamaya bırakılmıştır. Oda sıcaklığına kadar soğuyan bitki özütü adi süzgeç kâğıdı yardımıyla süzülerek nanopartikül sentezi için hazır hale getirilmiştir. Şekil 4.1'de bitki özütlerinin manyetik karıştırıcı ile hazırlanışı gösterilmektedir.



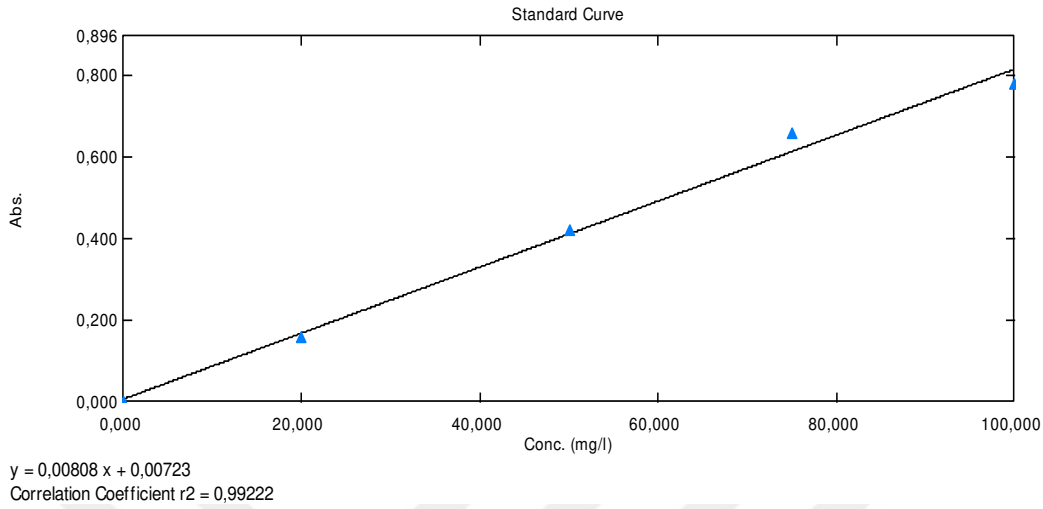
Şekil 4.1 Özüt hazırlama işlemi

Bitkilerin Toplam Fenolik Madde içeriğinin belirlenmesi

Bitkilerin oksidasyon özelliklerini ve dolayısıyla nanopartikül oluşturma verimlerini etkileyen toplam fenolik madde içerikleri (TFM) Folin-Ciocalteu metoduna göre belirlenmiştir. Bu yöntem, bitkilerin uygun bir organik çözücü içerisinde ekstrakte edilmesi ve fenolik maddelerin spektrofotometrik olarak tayin edilmesi esasına dayanmaktadır. Ekstraksiyon işlemi için 1 g bitki yaprağı tartılarak üzerine % 30-40-60'lık etanol ilave edilmiştir. 30 dk. boyunca 100 rpm'de Thermoshake cihazında ekstrakte edilmiş ve daha sonra numuneler Whatman No:1 filtre kâğıdı ile süzülmüştür.

Çözücüsü ile 25 kat seyreltilmiş olan 200 µL örnek üzerine 1.5 mL Folin-Ciocalteu çözeltisi (suda % 10' luk) eklenerek oda sıcaklığında 5 dk. bekletilmiştir. 1.5 mL Na₂CO₃ (suda, 75 g/L) ilave edilerek hızlıca karıştırma işlemi uygulanmış ve sonrasında mavi renk oluşumu için oda sıcaklığında karanlıkta 1 saat inkübasyona bırakılmıştır. Absorbans değerleri spektrofotometre cihazı ile 725 nm' de ölçülmüştür. Şekil 4.2'de gösterilen kalibrasyon eğrisi için 0-100 mg/L gallik asit çözeltileri kontrol numunesi olarak saf su kullanılmıştır. Sonuçlar,

kuru ağırlığın gramı başına miligram gallik asit eşdeğeri (mg GAE/g ka) olarak ifade edilmiştir. Tüm ölçümler 3 tekrar şeklinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.2 TFM analizi için hazırlanan gallik asit standart kalibrasyon eğrisi

4.2. GÜMÜŞ NANOPARTİKÜLLERİNİN SENTEZİ ve KARAKTERİZASYONU

AgNP'lerin oluşumu UV-VIS spektrofotometresi (Shimadzu UV-1800) ile, morfolojisi ve moleküler yapısı Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM) ve X-ışını Kırınımı (XRD) ile, partikül boyut dağılımı partikül boyutu analizi (mastersizer cihazı) ile, nanopartiküllerin yapısındaki fonksiyonel gruplar Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) ile belirlenmeye çalışılmıştır. Numunelerin tüm karakterizasyon analizleri ODTÜ Merkez Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır.

Nanopartikül sentezi için bitki özütleri, 1:1-1:4 ve 1:10 olmak üzere farklı oranlarda seyreltilerek 2 farklı molaritede (1 mM ve 5 mM) AgNO_3 çözeltisi ile reaksiyona sokulmuştur. Özüt; AgNO_3 oranı 1:10 olacak şekilde AgNO_3 çözeltisi özüt üzerine yavaş yavaş ilave edilerek gümüş nanopartiküllerin oluşumu gözlemlenmiştir.

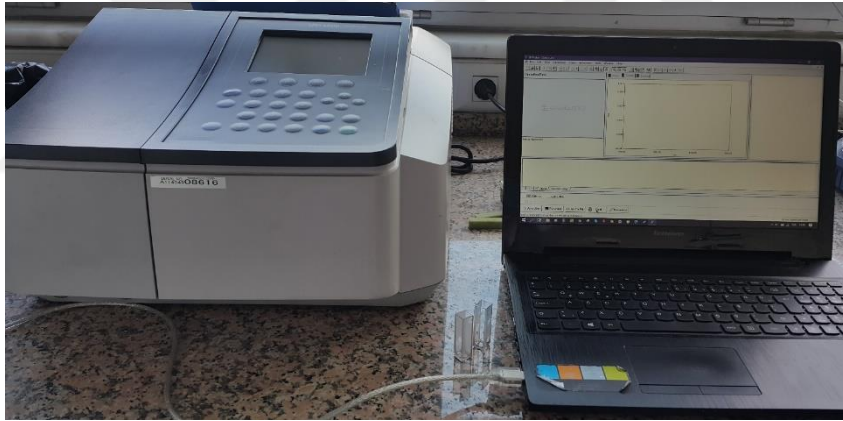
Numunelerden belirli aralıklarla örnek alınarak, Shimadzu UV-1800 spektrofotometre cihazı ile 300-700 nm dalga boyu aralığında tarama yapılmış ve 24 saat boyunca dalga boylarındaki değişim gözlemlenmiştir.

Oluşumunu tamamlayan kolloidal AgNP çözeltileri etüvde 105 °C'de 24 saat kurumaya bırakılmış ve 24 saatin sonunda beherler saf su ile yıkanarak AgNP'ler su içerisine alınmıştır. Sulu AgNP'ler vakum pompası kullanılarak sabit tartıma getirilmiş Whatman No:1 filtre

kağıdından süzölmüştür. Her filtre işlemi öncesi ve sonrasında vakum ekipmanları çeşme suyu ve ardından saf su ile yıkanmıştır. Süzme işlemi tamamlandıktan sonra filtre kağıtları etüvde 105 °C’de 2 saat kurumaya bırakılmıştır.

4.3. SENTEZLENEN NANOPARTİKÜLLER İLE BOYAR MADDE GİDERİMİ

Boyar madde giderimi deneyleri 0.5 mg/L derişiminde Metilen Mavisi (MM) içeren 50 mL’lik beherler kullanılarak kesikli olarak gerçekleştirilmiştir. Beher içersine 0.01 g AgNP eklenerek numuneler güneş ışığı altında bekletilmiştir. Beher içersinden farklı zaman aralıklarında numuneler alınarak spektrofotometrede 664 nm’de renk ölçümü yapılmıştır. Şekil 4.3’te nanopartiköl oluşumunun incelendiğı ve renk ölçümlerinin gerçekleştirildiğı UV-VIS spektrofotometre cihazı gösterilmektedir. Boya adsorpsiyonu, çözelti renginin koyu maviden önce açık mavi renge sonrasında açık yeşil renge dönüşümü ve 24 saatin sonunda tamamen renksiz bir hale gelmesi ile tamamlanmıştır.



Şekil 4.3 UV-VIS spektrofotometre cihazı

Boya giderim yüzdesi aşağıdaki formölden hesaplanmıştır:

$$Giderim (\%) = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100 \quad (4.1)$$

Denklemde A_0 ; MM çözeltisinin başlangıç absorbens değeri, A_t ; zamana bağı MM çözeltisinin absorbens değeri göstermektedir.

AgNP’ler üzerine dengede adsorbe edilen boya miktarı, q_e (mgg^{-1}), ve ‘t’ anında tutulan boya miktarı q_t (mgg^{-1}) aşağıdaki kütle dengesi ilişkisi ile hesaplanmıştır:

$$qe = V \frac{(C_0 - C_e)}{m} \quad (4.2)$$

$$qt = V \frac{(C_0 - C_e)}{m} \quad (4.3)$$

Denklemden C_0 ve C_e başlangıç ve denge boya derişimlerini (mgL^{-1}), V çözelti hacmini (L) ve m kullanılan adsorbent miktarını (g) ifade etmektedir (Borah et al. 2015, Wanyonyi et al. 2014).





BÖLÜM 5

BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. GÜMÜŞ NANOPARTİKÜL SENTEZİ

Farklı bitki özütleri ve AgNO_3 derişimleri ile sentezlenen kolloidal gümüş nanopartiküller vakum ile süzülerek filtre kağıdına alınan ve kurutulan nanopartiküller Şekil 5.1’de gösterilmekte, her bir farklı bitki, seyreltme oranı ve AgNO_3 molaritesi için elde edilen nanopartikül miktarları ise Çizelge 5.1’de sunulmaktadır. Aynı çizelgede bitkilere ait toplam fenolik madde içerikleri bitki isimlerinin yanında parantez içerisinde verilmiştir.



Şekil 5.1 Filtrasyon ve kurutma işlemlerinin ardından katı halde elde edilen AgNP örnekleri.

Çizelge 5.1 Özüt oranı ve AgNO₃ molaritesine bağlı olarak sentezlenen NP miktarları.

Seyreltme oranı	NP oluşumu (10 ⁻³ g NP/ g bitki)					
	Karalahana (27.4 mgGAE/g)		Fındık (53.9 mgGAE/g)		Yeşil çay (89.4 mgGAE/g)	
	1 mM	5 mM	1 mM	5 mM	1 mM	5 mM
Direkt	X	1.47	1.37	4.75	2.03	7.83
1:1	X	1.69	0.85	2.64	1.57	5.03
1:4	X	1.20	X	1.53	0.66	3.12
1:10	X	0.85	X	0.23	0.34	2.10

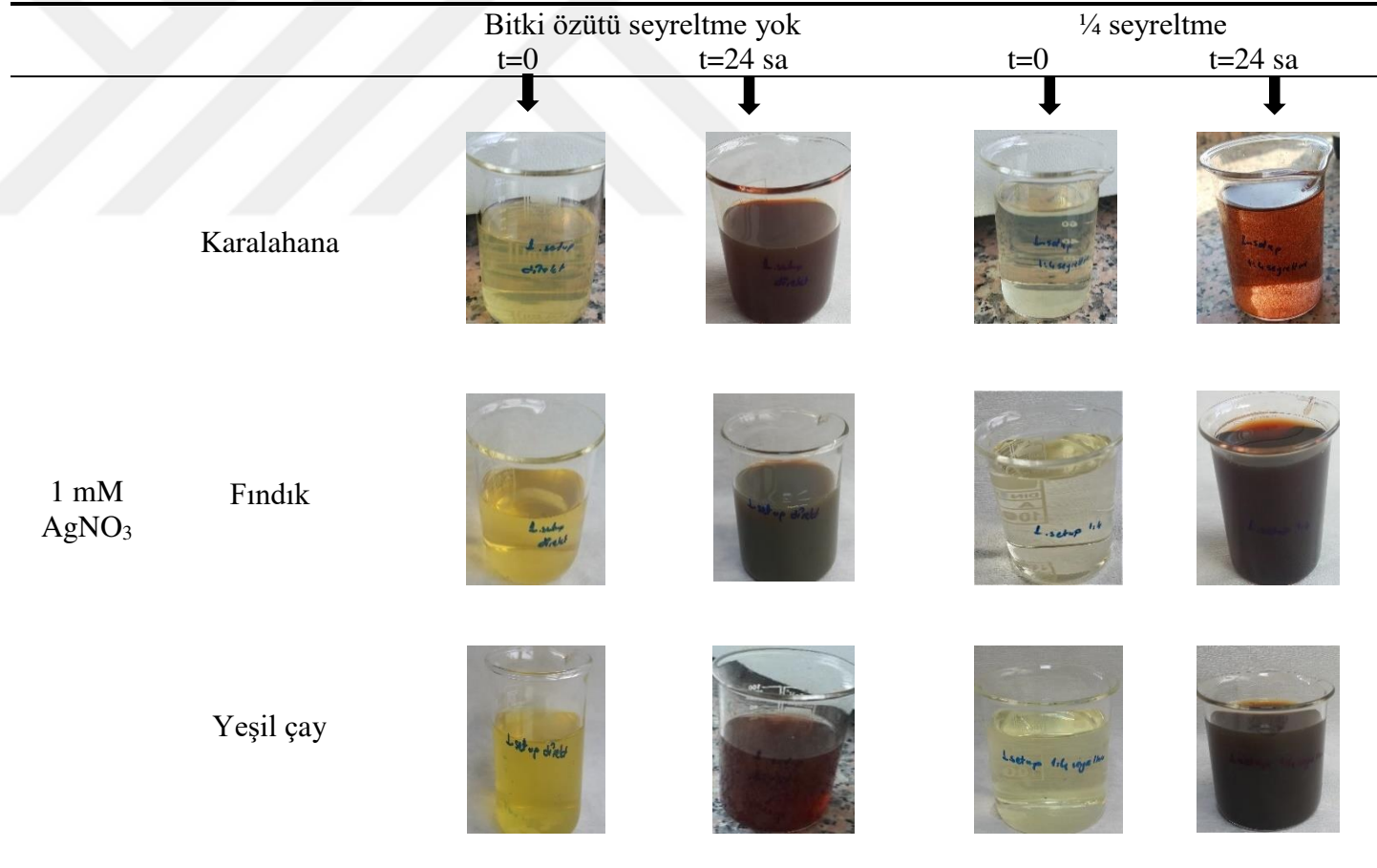
Çizelge 5.1 incelendiğinde nanopartikül oluşumunda ilk dikkat çeken nokta elde edilen NP miktarının bitkilerin yapısında bulunan indirgeyici protein, fenolikler, saponinler, terpinoidler, vitaminler gibi biyomoleküllerin varlığını gösteren (Ahmed et al. 2016, Mittal et al. 2013, Sadeghi and Gholamhoseinpoor 2015, Sharma et al. 2009) fenolik madde miktarından oldukça fazla etkilendiğidir. Fenolik madde miktarları göz önünde bulundurulduğunda özellikle karalahana ve yeşil çay bitkisi arasında üretilen NP miktarı açısından yaklaşık 5 kat fark olduğu görülmektedir. Bitki özütü seyreltme oranı ve AgNO₃ molaritesinin sentezlenen NP miktarına olan etkisi incelendiğinde, sentezlenen NP miktarının molarite ile doğru orantılı, bitki özütünün seyreltme oranı ile ters orantılı olarak değiştiği görülmektedir.

Karalahana ve fındık bitki özütlerinde düşük AgNO₃ derişim oranlarının etkisi ile yetersiz indirgeyici ajanın varlığı gümüş iyonlarının AgNP'lere indirgenmesi ve sentezi gözlemlenememiştir.

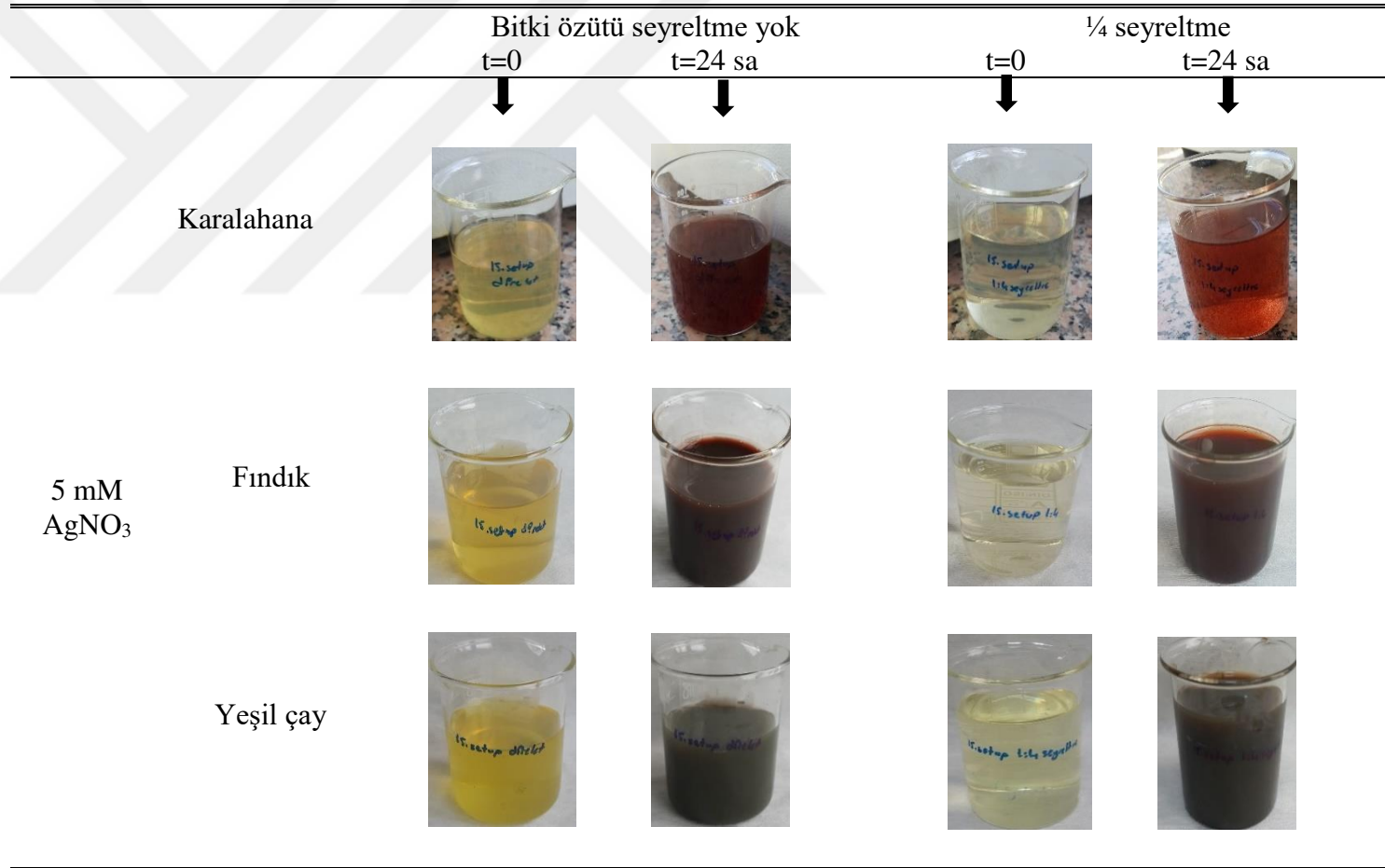
Nanopartiküllerin oluşumu ilk olarak reaksiyon çözeltisindeki renk değişimi ile gözlemlenebilir. Gözlemlenen renk değişimi bitki özütünün stabilize edici ve indirgeyici ajan olması sayesinde Ag⁺ iyonlarının Ag⁰'e indirgenmesiyle ortaya çıkmaktadır (Gopinath et al. 2012, Kesharwani et al. 2009, Safaepour et al. 2009). Gümüş nanopartiküller yüzey plazmon titreşimlerinin uyarılması nedeniyle sulu çözeltide kahverengi renk vermektedir (Kumar et al. 2017, Noginov et al. 2007, Ramkumar et al. 2017). Bu renk değişimi bitki özütünün AgNO₃ çözeltisi ile oda sıcaklığında birleştirilmesinden yaklaşık ilk 15-20 dk. içerisinde gözlemlenir. Gerçekleştirilen çalışmada gözlemlenen renk değişimleri Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te sentezlenen NP'lerin renk farklılıkları sunulmuştur. Her 3 bitki türü için de 24 saatin sonunda renk değişiminin gerçekleştiği net bir şekilde görülmektedir. Renk değişimi sırasında oluşan renk

farklılıkları sentezlenen NP miktarlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu farklılığın ortaya çıkmasının en önemli sebepleri ise sentez sırasında kullanılan bitki özütü derişimi ve AgNO_3 molaritesidir.

Yeşil çay ve fındık bitkisinin 24 saat sonunda renk dönüşümleri hem özütlerin direkt kullanımı hem de 1:4 seyreltme oranı için her iki AgNO_3 molaritesinde de oldukça koyu bir kahverengi iken karalahana bitkisi için özellikle 1:4 seyreltme sonucunda daha açık bir kahverengi renk elde edilmiştir. Bunun sebebi olarak karalahana bitkisinin (27.4 mg GAE/g) fenolik madde içeriğinin diğer fındık (53.9 mg GAE/g) ve yeşil çay (89.4 mg GAE/g) bitki türüne göre daha düşük olması gösterilebilir. Çizelge 5.1’de verilmiş olan NP miktarları da bitki özütü ve AgNO_3 molaritesinin sentezlenen NP miktarı üzerindeki etkisini net bir şekilde göstermektedir.



Şekil 5.2 Farklı bitkilerden hazırlanan özütlerin direkt ve 1:4 seyreltilerek 1 mM AgNO₃ ile reaksiyonu sonucunda t=0 anında ve 24 saat sonunda gözlemlenen renk değişimleri



Şekil 5.3 Farklı bitkilerden hazırlanan özütlerin direkt ve 1:4 seyreltilerek 1 mM AgNO₃ ile reaksiyonu sonucunda t=0 anında ve 24 saat sonunda gözlemlenen renk değişimleri

5.2. GÜMÜŞ NANOPARTİKÜLLERİN KARAKTERİZASYONU

5.2.1. Sentezlenen AgNP'lerinin UV-VIS Spektrofotometre Analiz Sonuçları

AgNP'lerin sahip oldukları serbest elektronlar yüzey plazmon rezonansının (SPR) absorbans bandı oluşturmaya neden olmaktadır (Noginov et al., 2007). SPR sayesinde, gümüş içeren metal nanopartiküller, elektromanyetik spektrumun UV-VIS bölgesinde absorpsiyon sergilemektedir, bu nedenle bu teknik Ag⁺'ün indirgenmesinin izlenmesine yardımcı olmaktadır. AgNP'lerinin yüzey plazmon rezonansları nedeniyle reaksiyon anında absorpsiyon spektrumlarının 400-500 nm aralığında maksimum absorpsiyonda olduğu belirtilmiştir (Akter et al. 2018, Imanzadeh and Hadi 2018, Kumar et al. 2012). Absorpsiyon bandının genişlemesi, numunedeki nanoyapıların şekil ve boyut homojenliği ile ilgili bilgi vermektedir (Oliveira et al. 2020, Velgosová et al. 2016). Daha geniş absorbans bantları nanopartikül boyutunun çoğul dağılımını, daha dar absorbans bantları ise tekli dağılımı temsil etmektedir (Jana et al. 2001, Sau et al. 2001). SPR bandının kayması veya şekil değiştirmesi, absorbans λ_{max} 'ın artması veya azalması, λ_{max} dalga boyu değerinin değişmesi gibi faktörler nanopartikülleri karakterize etmeye yardımcı olmakta veya çözeltide meydana gelen değişiklikler hakkında bilgi verebilmektedir (Velgosová et al. 2016). NP'lerin boyutunda küçülme olduğunda, SPR bandı blue-shift (kısa dalga boyu, 400-500 nm) bölgesine doğru kayma eğilimi gösterirken, partiküllerin çapı büyüdükçe, red-shift (uzun dalga boyu, 600-700 nm) bölgesine doğru kayma eğilimindedir (Velgosová et al. 2016, Verma and Mehata 2016). Çizelge 5.2'de farklı deney parametreleri ile elde edilen absorbans değerleri verilmektedir. Çizelge incelendiğinde SPR bant aralığının 430-460 nm arasında değiştiği, özüt ve AgNO₃ derişim oranlarının artması bantlarının mavi bölgeden kırmızı bölgeye kayarak maksimum dalga boylarını arttırdığı gözlemlenmektedir. Bitki özütleri arasında karşılaştırma yapıldığında dalga boyları arasında en fazla farkın yeşil çay bitkisinde olduğu görülmektedir. Artan bitki özütü derişimi ile absorpsiyon bandının genişliği, bitki özütü biyomoleküllerinin aynı zamanda yüzey işlevselleştirici ajan olarak hareket etmesinden kaynaklanmaktadır (Huang et al. 2007, Khan et al. 2013, Ramteke et al. 2012). Dalga boylarındaki bu değişim sentezlenen nanopartiküllerin gümüş iyonlarının agregasyonuna bağlı olarak partikül boyutlarını arttırması ve heterojen boyut dağılımı şeklinde yorumlanabilir.

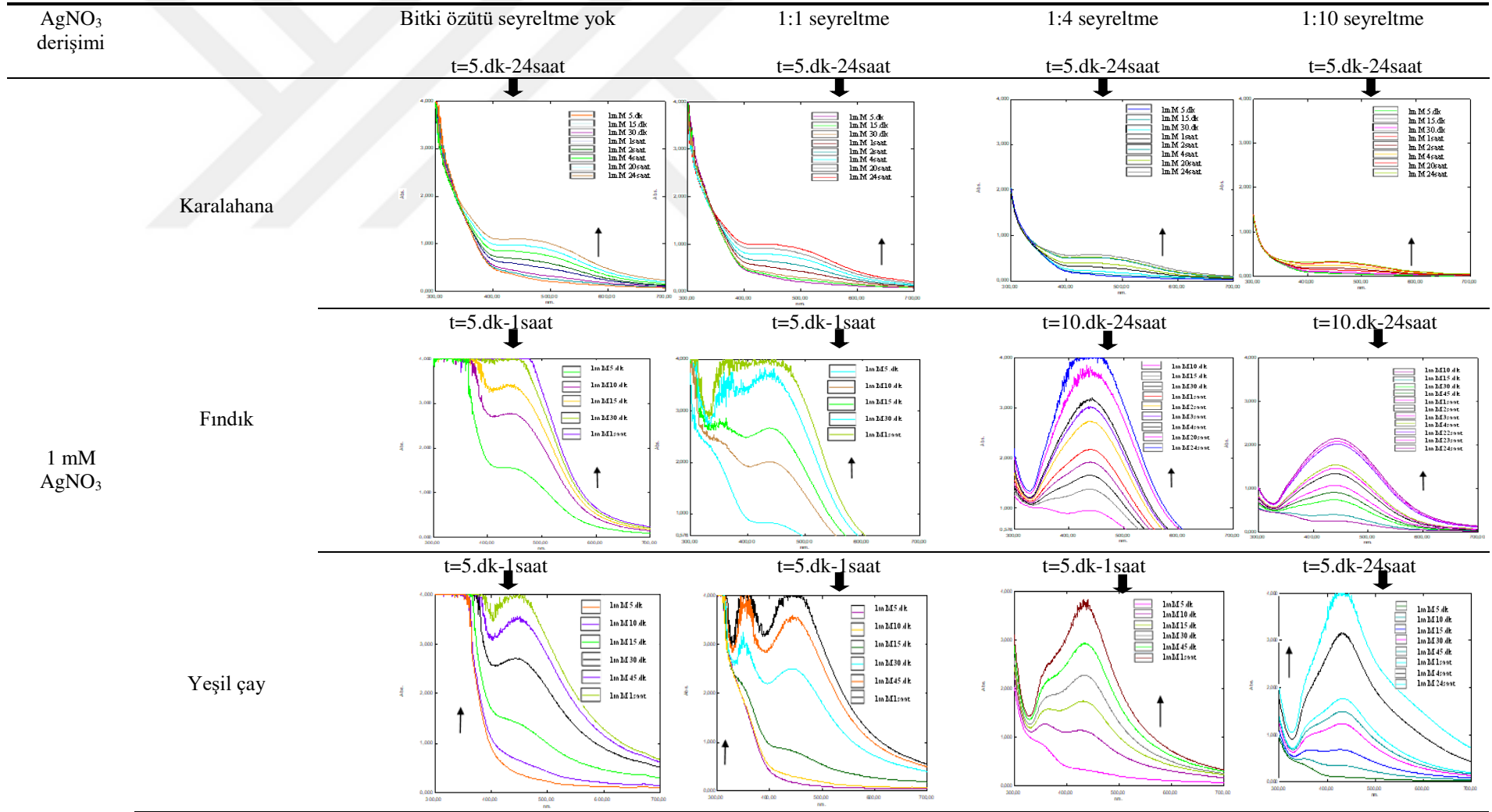
Çizelge 5.2 Çalışmada kullanılan bitkilerin maksimum absorbens değerleri

Seyreltme oranı	Maksimum Absorbans Dalga Boyları (nm)					
	Karalahana		Fındık		Yeşil çay	
	1 mM	5 mM	1 mM	5 mM	1 mM	5 mM
Direkt	450	455	450	X	450	460
1:1	435	450	445	455	445	455
1:4	445	450	440	440	430	440
1:10	440	450	440	440	430	440

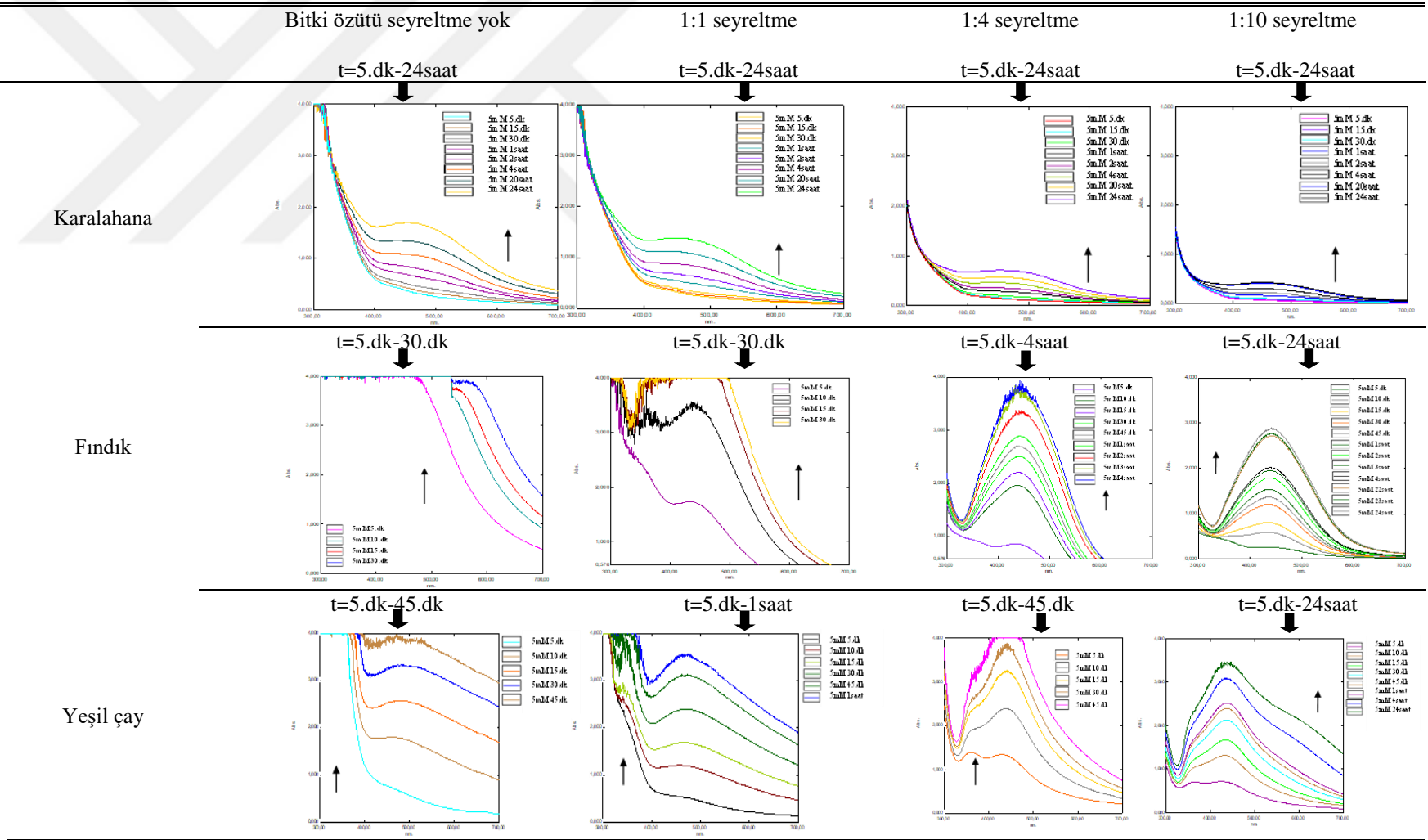
Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te farklı deney koşullarında elde edilen UV-VIS spektrumlar gösterilmektedir. SPR'nin tepe konumu, yoğunluğu ve bant şekli, partikülün şekli, boyutu, bileşimi gibi faktörlere bağlıdır. Şekil 5.4 ve Şekil 5.5 incelendiğinde 24 saatlik reaksiyon süresi boyunca renk yoğunluğunun ve buna bağlı olarak da absorbens artışının olduğu görülmektedir. Gerçekleşen bu artış, zamanla gümüş nanopartiküllerin sayısındaki artışa bağlanmaktadır (Bhainsa and D'Souza 2006). Özüt derişimi arttığında gümüş nanopartikül oluşumunun da daha hızlı gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Fındık ve yeşil çay bitki özütlerinin direkt kullanımının ve 1:1 seyreltme oranlarının her iki AgNO_3 derişiminde de yaklaşık 1 saat içinde tamamlandığı görülmektedir. Yeşil çay bitki özüt ve AgNO_3 derişimlerinin değişimi ile gözlemlenen yeni bantlar farklı form ve boyutlarda nanopartiküllerin oluşumunu ifade edebilmektedir (Sajanlal et al. 2011). Karalahana bitki özütleri ise 24 saatte gümüş nanopartikül oluşumlarını tamamlamıştır. 24 saatin sonunda absorpsiyon spektrumlarında belirli bir artış gözlemlenmemiştir. Fındık ve yeşil çay bitkisi için reaksiyonun daha kısa sürede tamamlanması bitki özütlerinin aktif bileşenlerinin indirgeme potansiyellerinin yüksek olmasıyla ilişkilendirilmektedir ve hesaplanan fenolik madde içerikleri bunu kanıtlamaktadır.

Bitki özüt ve AgNO_3 derişiminin artmasıyla SPR bantlarının 24 saat boyunca genişlemesine ve red-shift bölgesine kaymasına neden olduğu bu da NP'lerin daha fazla büyümesine ve heterojen yapıda dağılım gösterdiğine işaret etmektedir. Bu artışın TEM analiz sonuçları da sentezlenen NP'lerin UV-VIS spektroskopisinde gözlemlendiği gibi büyük boyutlarda olduğunu kanıtlamaktadır.

Yapılan biyolojik sentez çalışmalarında *Murraya koenigii* ve *Cinnamomum camphora* bitki özütleri kullanılmış ve en yüksek özüt derişimleri olan 1:20 ve 1 g ile gümüş nanopartikülleri sentezlenmiştir (Christensen et al. 2011, Huang et al. 2007).



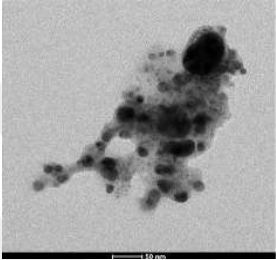
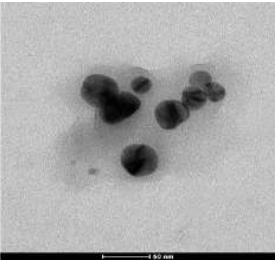
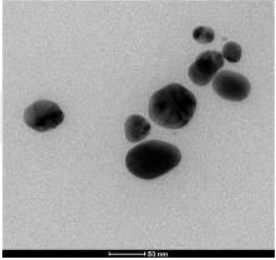
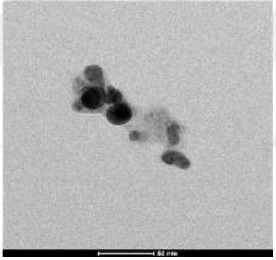
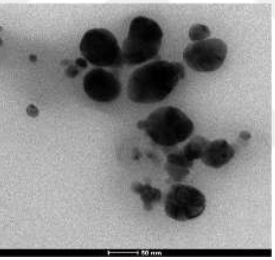
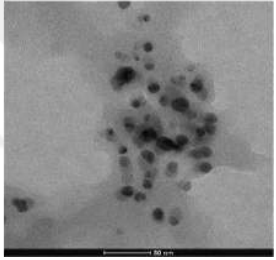
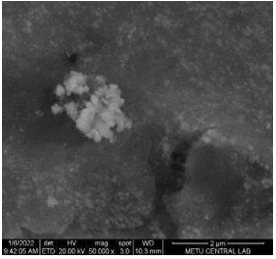
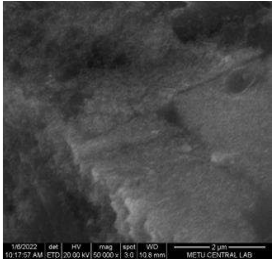
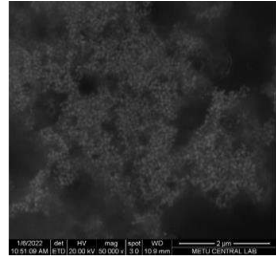
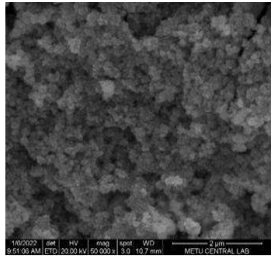
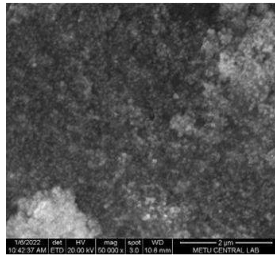
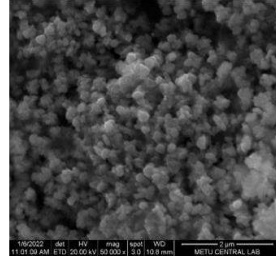
Şekil 5.4 Bitki özütlerinin farklı seyreltme oranları ve 1 mM AgNO₃ derişimlerinde farklı zaman aralıklarında elde edilen UV görüntüleri



Şekil 5.5 Bitki özütlerinin farklı seyreltme oranları ve 5 mM AgNO₃ derişimlerinde farklı zaman aralıklarında elde edilen UV görüntüleri

5.2.2. Sentezlenen AgNP'lerinin Morfolojik Analiz Sonuçları

Bitki özütleri ile sentezlenen gümüş nanopartiküllerinin morfolojik yapısı TEM ve SEM analiz teknikleri kullanılarak tespit edilmiştir. TEM tekniği AgNP'lerinin boyutunun ve şeklinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Şekil 5.6'da TEM analizi ile her bir farklı bitki özütü ve AgNO₃ derişimi için sentezlenen gümüş nanopartikül şekillerinin küresel olduğu ve boyutlarının 100-200 nm arasında değiştiği belirlenmiştir.

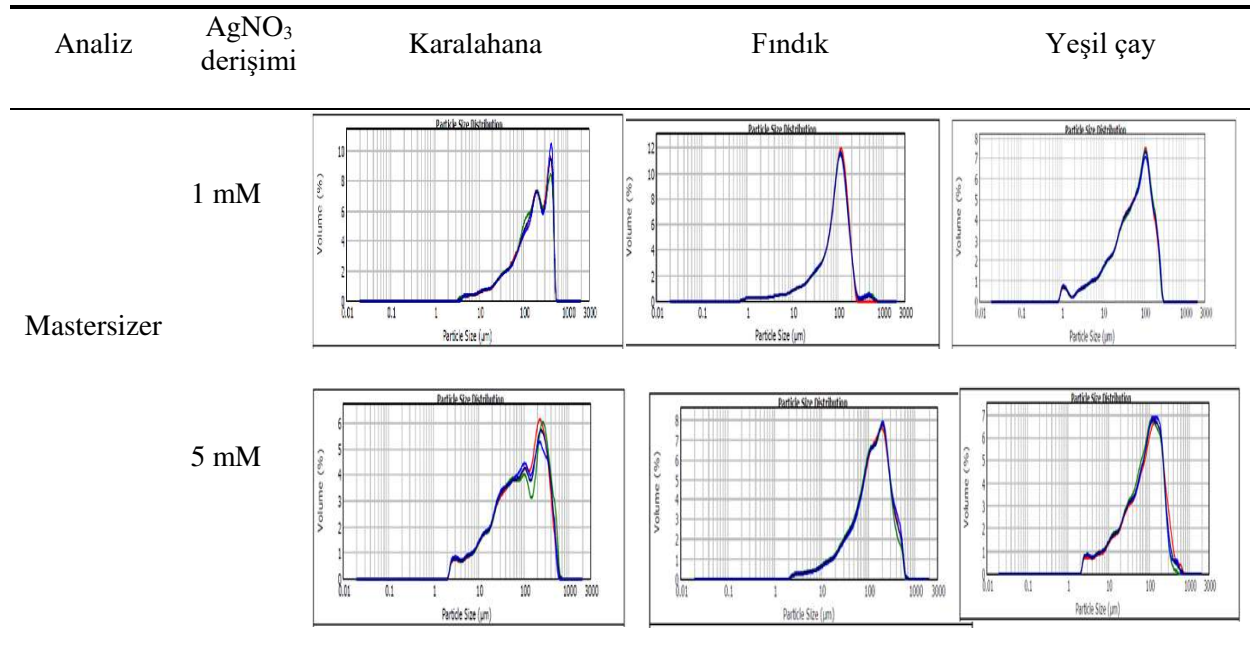
Analiz	AgNO ₃ derişimi	Karalahana	Fındık	Yeşil çay
TEM	1 mM			
	5 mM			
SEM	1 mM			
	5 mM			

Şekil 5.6 TEM ve SEM analiz görüntüleri

Örneklere uygulanan SEM analizi, nanopartiküllerin indirgeyici ajanlar tarafından stabilizasyonunu gösteren tek tip dağılmış gümüş nanopartikülleri göstermektedir. Üç bitkinin farklı AgNO_3 derişimleri ile elde edilen AgNP'lerinin 50.000 kat büyütme ile SEM görüntüleri Şekil 5.6'da verilmektedir. Analiz sonuçlarına göre farklı boyutlarda küresel nanopartiküller elde edilmiştir. SEM görüntülerinin sonuçları, artan boyutta ve farklı şekillerde nanopartiküllerin elde edildiğini göstermektedir. Daha büyük gümüş partiküller, SEM ölçümleri esnasında daha küçük partiküllerin agregasyonundan kaynaklanabilmektedir. Biyolojik yolla gümüş nanopartikül sentezleme çalışmalarında, *Brassica Oleracea L.var. Italica*, *Citrus Sinensis*, *Corylus Avellana* bitki özütleri kullanılmış ve TEM-SEM analizleri uygulanarak sentezlenen nanopartiküllerin boyutlarının 8-70 nm arasında değiştiği ve şekillerinin küresel şekilde olduğu bildirilmiştir (Caroling et al. 2013, Kaviya et al. 2011, Korkmaz et al. 2020). Gerçekleştirilen analiz sonuçlarının literatür ile uyum gösterdiği görülmektedir.

5.2.3. Sentezlenen AgNP'lerinin Boyut Analiz Sonuçları

Elde edilen toz gümüş nanopartiküllerin boyut dağılımı ve yüzey alanı çalışmaları mastersizer ve BET analizleri ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.7'de her bir farklı bitki özütü ve AgNO_3 derişimi için sentezlenen gümüş nanopartiküllerinin boyut dağılımı gösterilmektedir. Mastersizer analiz sonuçlarının parametreleri Çizelge 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.7 Mastersizer analiz görüntüleri

Çizelge 5.3 Çalışmada kullanılan bitki ve farklı gümüş nitrat derişimleri ile elde edilen gümüş nanopartiküllerinin Mastersizer analiz parametreleri

Parametreler	Karalahana NP		Fındık NP		Yeşil çay NP	
	1 mM	5 mM	1 mM	5 mM	1 mM	5 mM
Spesifik yüzey alanı (m ² /g)	0.0833	0.202	0.201	0.113	0.346	0.211
Homojen dağılımı	0.658	1.12	0.523	0.71	0.798	0.807
Ortalama boyut dağılımı (µm)	201	139	100	157	74	105

Şekil 5.7 ve Çizelge 5.3 incelendiğinde AgNO₃ derişiminin ve bitki biyomoleküllerinin yüzey alanlarını, partikül boyutları gibi etkenleri değiştirdiği kanıtlanmıştır. Elde edilen gümüş nanopartiküllerinin genişliğini belirleyen spesifik yüzey alanları incelendiğinde karalahana ve yeşil çay bitkilerinde 5 mM’lık AgNO₃ derişiminde spesifik yüzey alanları daha yüksek oranda elde edilmiştir ve sırasıyla 0.202, 0.211 m²/g olarak belirlenmiştir. Fındık bitkisinde 1 mM’lık AgNO₃ derişiminde ise spesifik yüzey alanı 5 mM’lık AgNO₃ derişimine kıyasla daha yüksek oranda elde edilmiş olup 0.201 m²/g olarak belirlenmiştir. Nanopartiküllerin spesifik yüzey alanlarının artması, adsorpsiyon kapasitelerini, antibakteriyel aktivitelerini, elektriksel iletkenliğini ve fotokatalitik özelliklerini arttırarak kullanım alanlarını etkilemektedir (Rohaizad et al. 2020). Nanopartiküllerin homojen dağılımı da yüzey kimyasını, morfolojilerini ve manyetik özelliklerini etkileyerek nanoteknoloji uygulamalarında kullanımını arttırmaktadır (Muzzio et al. 2019). Boyut dağılımları her iki AgNO₃ derişimlerinde karşılaştırıldığında homojen şekilde fındık gümüş nanopartiküllerinde olduğu görülmektedir.

AgNP numunelerinin spesifik yüzey alanları ve gözenekliliği, 77 K’de ölçülen nitrojen adsorpsiyon izotermi temelindeki BET yöntemi ile analiz edilmiştir. Analiz sonuçları Çizelge 5.4’te verilmiştir. Fındık nanopartiküllerinde BET yüzey alanı oranının diğer nanopartikül oranlarına göre nispeten daha yüksek olduğu ve gümüş nitrat derişiminin artmasıyla her bir bitki nanopartiküllerinde BET yüzey alanı miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Nanopartiküllerde BET yüzey alanı ve gözenek hacminin artması ile adsorbat moleküllerinin bağlanması ve adsorpsiyon kapasitesini arttırmaktadır. Yapılan adsorpsiyon çalışmalarında kullanılan ticari aktif karbonun, *Milletia pegunesis* bitki

özütleriyle sentezlenen AgNP'lerinin, *Amaranthus spinosus* bitki özütleriyle sentezlenen FeONP'lerinin ve doğal zeolitin BET yüzey alanı çalışmaları yapılmış ve BET yüzey alanlarının 26.7 m²/g ile 813 m²/g değiştiği ve gözenek çaplarının 4-14.5 Å arasında değiştiği bildirilmiştir (Ahmad et al. 2020, Alshameri et al. 2014, Hung-Lung et al. 2007, Muthukumar and Manickam 2015). Yüksek yüzey alanlarının ve toplam gözenek hacminin adsorpsiyon kapasitesini arttırdığı bu sayede su arıtım proseslerinde yüksek yüzey alanına sahip olmaları nedeniyle adsorpsiyon çalışmalarında adsorbent olarak nanopartiküller de kullanılabilmektedir (Alencar et al. 2012, Yılmaz 2019, Tiwari et al. 2008, Yalçın 2016).

Çizelge 5.4 AgNP numunelerinin BET analiz sonuçları

Numune	Yüzey Alanı (m ² /g)	Kümülatif Adsorpsiyon Gözenek Hacmi (cc/g)	Gözenek Büyükliği (Å)
1mM karalahana	1.313E+00	4.320E-02	6.728E+01
5mM karalahana	9.516E+00	6.424E-02	1.262E+01
1mM fındık	4.810E+00	1.263E-02	2.248E+01
5mM fındık	5.415E+00	5.046E-02	2.802E+01
1mM yeşil çay	3.024E+00	1.147E-02	3.128E+01
5mM yeşil çay	2.749E+00	6.700E-03	1.266E+01

5.2.4. Sentezlenen AgNP'lerinin Kimyasal Yapı Analiz Sonuçları

Sentezlenen AgNP'lerinin kimyasal yapısı, kristalografik yapısı veya elemental bileşimi hakkında bilgi sahibi olabilmek için EDX, XRD ve FTIR analizleri gerçekleştirilmiştir. TEM ile birlikte gerçekleştirilen EDX analizi, nanopartiküllerin kimyasal bileşimi hakkında bilgi sağlamaktadır (Bankar et al. 2010). Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da elde edilen gümüş nanopartiküllere ait EDX analiz sonuçları gösterilmekte ve metalik gümüş nanopartiküllerine ait 3 keV'de gözlemlenen tipik absorpsiyon zirvesi görülmektedir.

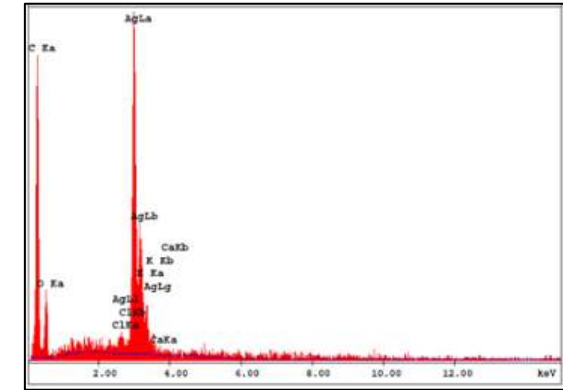
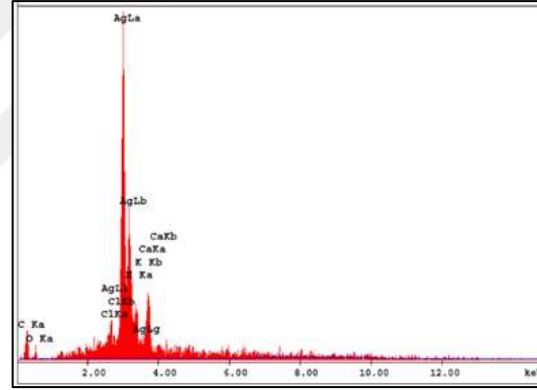
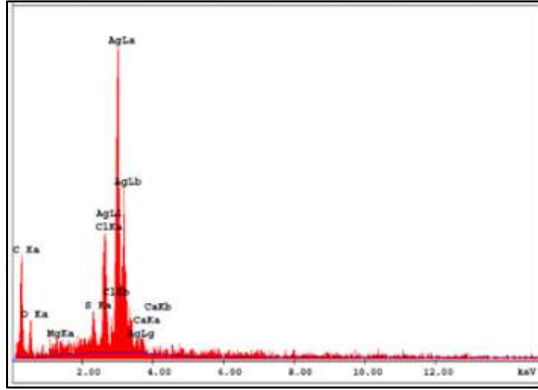
Analiz

Karalahana

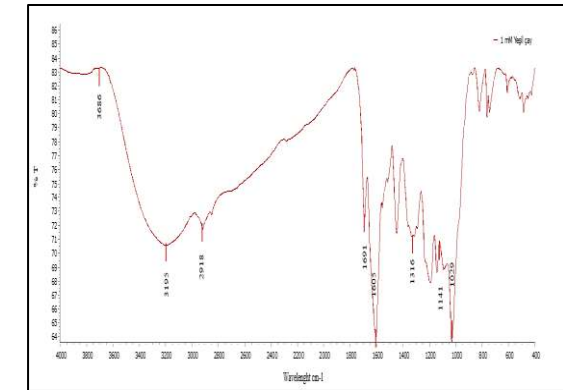
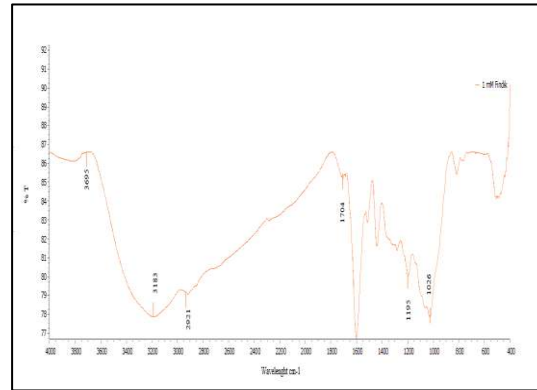
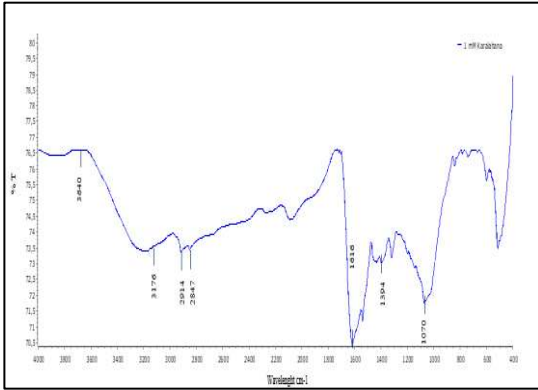
Fındık

Yeşil çay

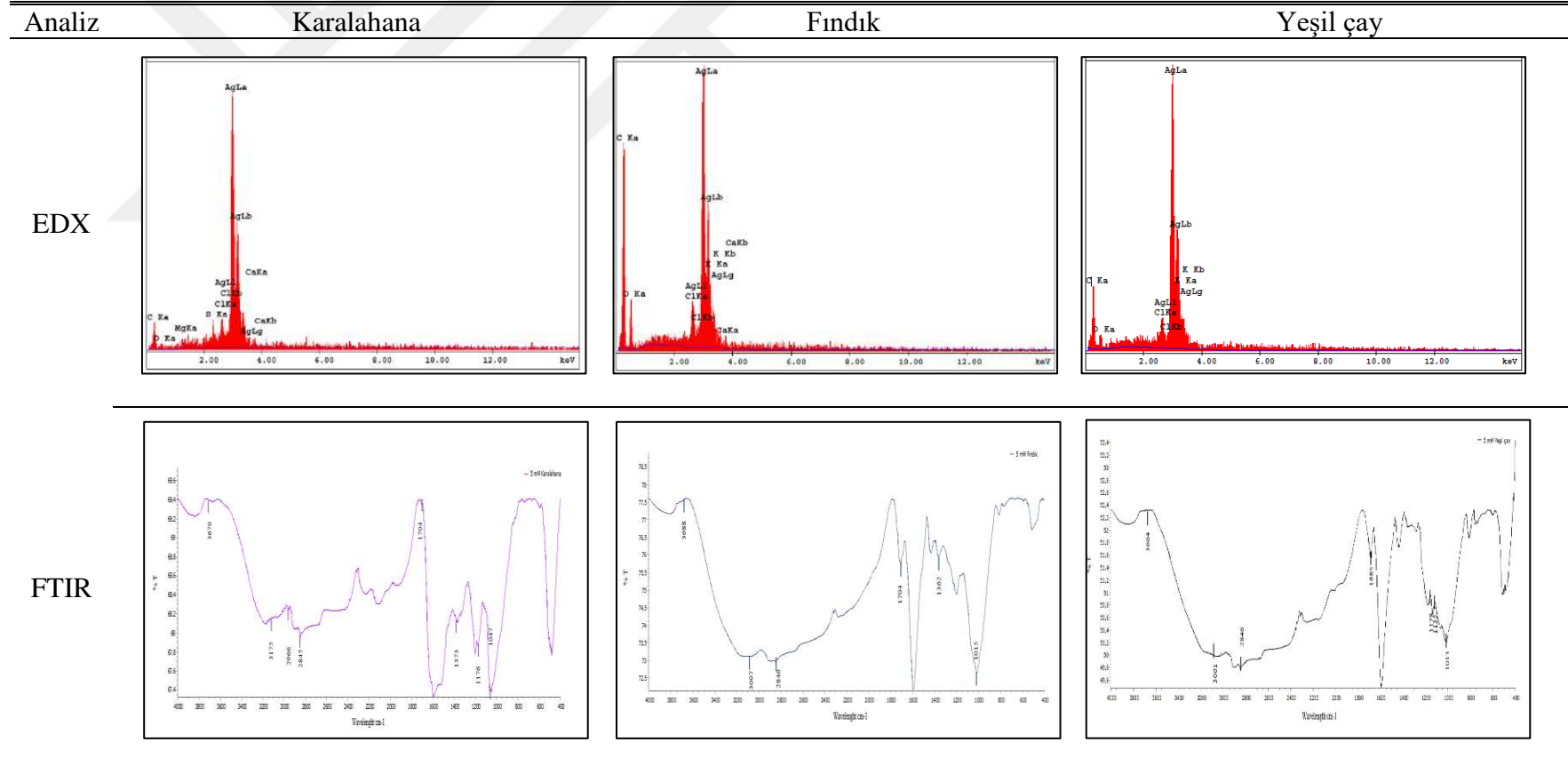
EDX



FTIR



Şekil 5.8 AgNO₃ derişimi 1 mM için sentezlenen nanopartiküllerin EDX ve FTIR analiz sonuçları



Şekil 5.9 AgNO_3 derişimi 5 mM için sentezlenen nanopartiküllerin EDX ve FTIR analiz sonuçları

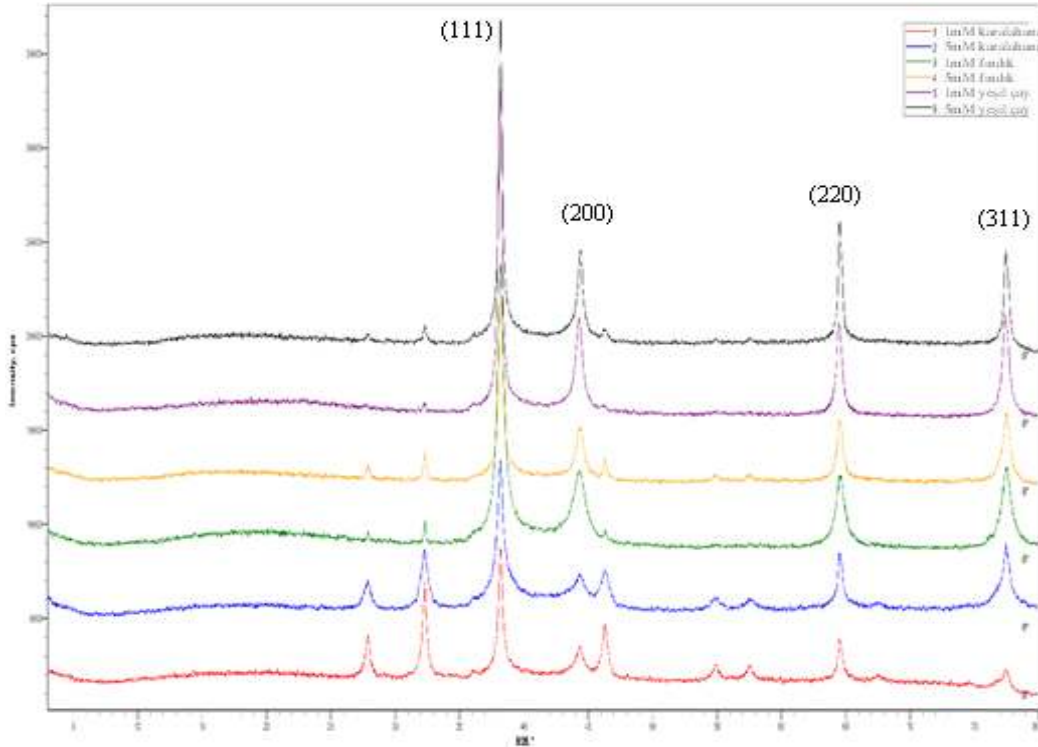
Şekil 5.8 ve Şekil 5.9 incelendiğinde EDX analizlerinde nanopartiküllerdeki gümüş atomlarından güçlü sinyaller gözlemlenirken, karbon, oksijen, kükürt, magnezyum, kalsiyum, potasyum ve klorür elementlerinden daha zayıf sinyaller de gözlemlenmiştir. Bu zayıf sinyallerin varlığı nanopartikül eldesinde kullanılan bitkilerin biyomoleküllerinden kaynaklanmaktadır. Ağırlıkça gümüş elementi en düşük % 47.19 olarak 1 mM AgNO₃ derişimindeki yeşil çay gümüş nanopartiküllerinden elde edilirken, en yüksek % 83.69 olarak 5 mM AgNO₃ derişimindeki karalahana gümüş nanopartiküllerinden elde edilmiştir. Bu uyumsuzluklar bitkilerdeki karbon elementinden kaynaklanabilmektedir. Elementel gümüşün varlığı, EDX sonuçlarını da destekleyen XRD analizinden elde edilen grafikte gözlemlenebilmektedir. Bu analizler, gümüş iyonlarının elementel gümüşe indirgendiğini göstermektedir. EDX analizi, nanopartiküllerin saf gümüş olduğunu ve yapılan analizlerin başarılı şekilde gerçekleştiğini doğrulamıştır. Biyolojik yolla gümüş nanopartikül sentez çalışmalarında, *Origanum onites*, *Citrus sinensis* ve *Ziziphora tenuior* bitki özütleri kullanılmış ve EDX analizlerinde gümüş iyonlarının elementel gümüşe indirgendiğini gösteren yüzey plazmon rezonansından kaynaklanan tipik absorpsiyon zirvesinin yaklaşık 3 ve 3.5 keV'de yoğun pik göstererek, AgNP'lerin oluşumunu ve karbon, oksijen, potasyum ve klorür gibi atomlardan gözlemlenen zayıf sinyallerin ise bitki biyomoleküllerinden kaynaklandığı kanıtlanmıştır (Genc 2020, Kaviya et al. 2011, Sadeghi and Gholamhoseinpoor 2015). Gerçekleştirilen çalışmada elde edilen sonuçların literatür çalışmaları ile uyum gösterdiği görülmektedir.

NP'lerin yüzeyinde bulunan ve NP'lerin indirgenmesinden ve stabilizasyonundan sorumlu olabilecek fonksiyonel grupların veya metabolitlerin özelliklerini öğrenmek için FTIR analizi yapılmıştır. Farklı derişimlerdeki bitki özütlerinden elde edilen AgNP'lerinin FTIR spektrumlarındaki fonksiyonel gruplarına ait frekanslar 4000 - 400 cm⁻¹ dalga boyları arasında kaydedilmiş ve Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Bitkilerden elde edilen farklı derişimlerdeki gümüş nanopartiküllerinin FTIR spektrumlarında O-H, C-H, C=O, C-N, C-O gerilmeleri görülmektedir. Piklerdeki kaymalar ve yeni pik oluşumu 5 mM derişimde nanopartiküllerin daha yoğun bir şekilde oluştuğuna atfedilebilmektedir. Biyolojik yolla gümüş nanopartikül sentez çalışmalarında *Achillea millefolium L.* ve *Terminalia bellerica* özütleri kullanılmış ve FTIR analizlerinde C-H, C-OH, C=C ve -C-O- gruplarının gerilmelerinin özütteki fenoliklerin Ag⁺ün indirgenmesiyle AgNP'lerinin oluşumundan

sorumlu olduğu sonucuna varılmıştır (Khodadadi et al. 2017, Sherin et al. 2020). Gerçekleştirilen çalışmada elde edilen sonuçların literatürle uyumlu olduğu görülmüştür.

–C–O–C–, –C–O–, –C=C– ve –C=O gibi bağlar veya fonksiyonel gruplar, büyük ölçüde, kurutulmuş biyokütlede suda çözünür bileşenler olan heterosiklik bileşiklerden türemektedir. Heterosiklik bileşiklerine örnek olarak alkaloidler, flavonlar ve antrasenler verilebilmektedir ve bu suda çözünür heterosiklik bileşenler, sırasıyla gümüş iyonlarının indirgenmesinden ve nanopartiküllerin stabilizasyonundan sorumlu tutulmaktadır (Biresaw and Taneja 2021, Dada et al. 2018, Huang et al. 2007, Verma and Mehata 2016).

Elde edilen gümüş nanopartiküllerin kristal yapılarını analiz etmek amacıyla XRD analizi yapılmıştır. Elde edilen XRD modeli Şekil 5.10'da gösterildiği gibi 3 ile 80° arasında değişen spektrum değerlerinde dört yoğun tepe noktası vermektedir. Çizelge 5.5'te XRD analizi ile elde edilen dört yoğun tepe noktasına ait kırınım pikleri ve partiküllerin kristalit çapları gösterilmektedir. Bu pikler gümüş nanopartiküller için (111), (200), (220) ve (311) düzlemlerine karşılık gelmektedir ve bu da partiküllerin doğada kristal olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.2 Karalahana özütleri ile sentezlenen 1) 1 mM 2) 5 mM, fındık özütleri ile sentezlenen 3) 1 mM 4) 5 mM, yeşil çay özütleri ile sentezlenen 5) 1 mM 6) 5 mM AgNO₃ konsantrasyonlarında AgNP'lerine ait XRD görüntüleri

Çizelge 5.5 XRD analiz sonuçları ile elde edilen 2 θ kırınım pik açıları ve kristalit boyutları

Parametreler	Karalahana		Fındık		Yeşil çay	
	1 mM	5 mM	1 mM	5 mM	1 mM	5 mM
Kırınım pik açı değerleri (°)	38.137	38.121	38.152	38.152	38.080	38.151
	44.29	44.26	44.297	44.322	44.255	44.376
	64.5	64.497	64.507	64.480	64.445	64.509
	77.426	77.434	77.464	77.415	77.350	77.419
Ortalama kristalit boyutları (nm)	238	160	148.5	239	280	319

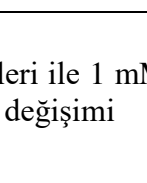
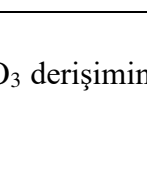
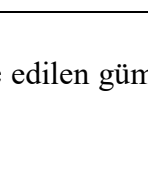
Bragg zirvesinin keskin bantları (111), (200), (220), (311), partiküllerin yüzey merkezli kübik (FCC) yapıda olduğunu ve yaprak özünde bulunan indirgeyici ajanlar tarafından stabilize edildiğini doğrulamaktadır. Saf kristal gümüş yapıların XRD spektrumlarındaki bu dört güçlü yansıma, Toz Kırınım Standartları Ortak Komitesi (JCPDS) tarafından yayınlanmıştır ve çalışmadaki kırınım desenleri, standart kırınım desenini ifade eden JCPDS dosya no 04-0783 ile uyum sağlamıştır (Ghotekar et al. 2019, Khodadadi et al. 2017, Kumar et al. 2012, Sherin et al. 2020). Nanokristallerin kristal büyümesi sırasında düzlemdeki (111) yansıma oldukça yoğun olduğu için anizotropik olduğunu göstermektedir ve bu noktada çok daha fazla Ag⁰ adsorpsiyonu olduğunu temsil etmektedir. Biyolojik yolla sentezlenen gümüş nanopartikül çalışmalarında *Citrullus lanatus* ve *Achillea millefolium L.* özütleri kullanılmış ve XRD analiz çalışmalarında tipik Ag yansıma zirveleri gözlemlenerek metalik gümüş NP'lerin yüzey merkezli kübik (FCC) yapı sergileyen Ag'nin (NO. 04-0783) JCPDS kartı ile iyi uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır (Khodadadi et al. 2017, Patra et al. 2016).

5.3. SENTEZLENEN NANOPARTİKÜLLER İLE BOYAR MADDE GİDERİMİ

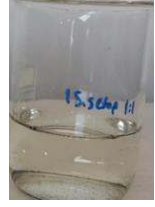
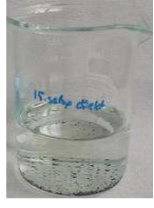
Organik boyalardan Metilen Mavisi (MM) özellikle tekstil endüstrisinde sıkça kullanılmakta ve endüstri atık suları artımı yapılmadan çevreye deşarj edilmektedir. Deşarj sonucunda endüstriyel atık suları insan sağlığı ve çevre üzerinde olumsuz etkiler göstermektedir. MM'sinin yapısal kararlılığı nedeniyle sudan giderimi oldukça zordur. Bu yüzden son zamanlarda yeşil sentezlenmiş AgNP'lerinin yüksek yüzey/hacim oranı sayesinde organik boyaların gideriminde adsorbent olarak kullanılmaya başlanmıştır (Bogireddy et al. 2016, Daniel and Astruc 2004, Dutta et al. 2014, Lazaridis et al. 2005, Lefebvre and Moletta 2006).

Farklı derişimlerdeki karalahana, fındık ve yeşil çay biyoekstreleri ve AgNO₃ ile elde edilen AgNP'ler kullanılarak Metilen Mavisi (MM) boyasının zamana bağı adsorpsiyonu incelenmiştir. MM'sinin adsorpsiyon reaksiyonları görsel olarak Şekil 5.11 ve 5.12'de gösterilmektedir. Bitki-AgNP'lerinin farklı derişimlerde 24 saatteki giderim verimleri ise Şekil 5.13'te gösterilmektedir. Çizelge 5.6'da gösterilen farklı derişimlerdeki AgNP'lerin giderim verim oranları Denklem 4.1 ile hesaplanmıştır.

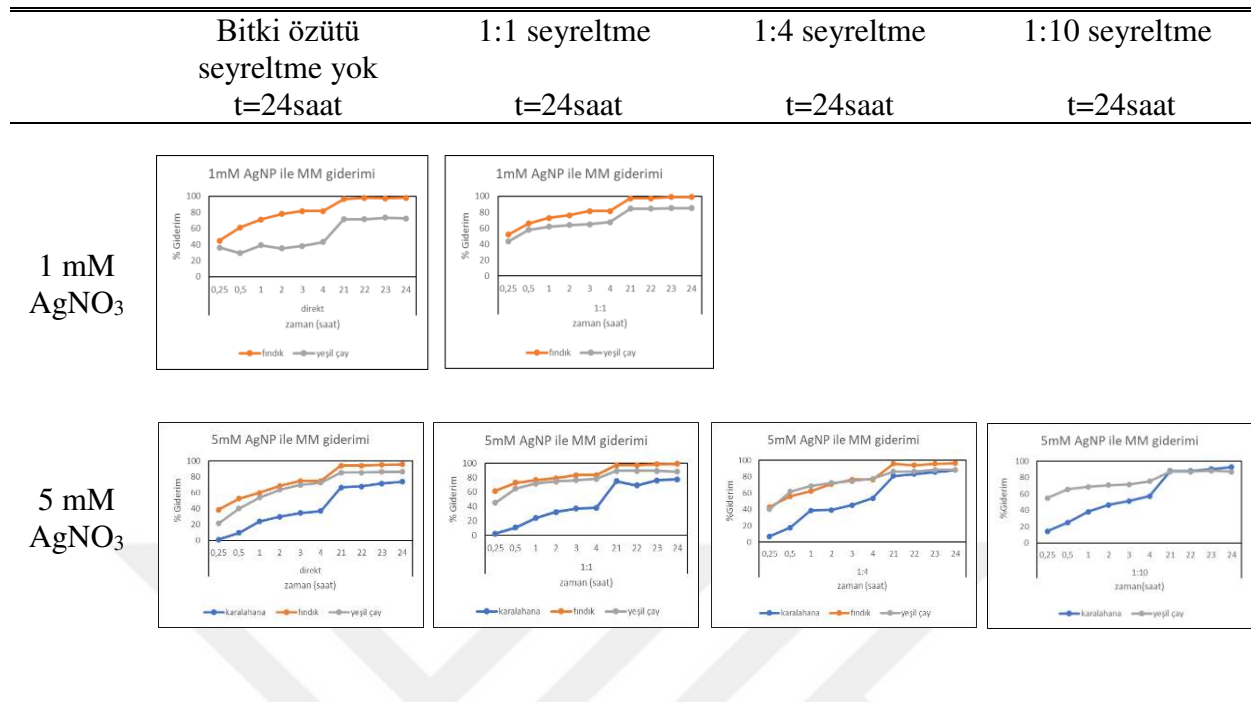


AgNO ₃ derişimi		Metilen Mavisi kontrol (0,5mg/L)	Bitki özütü seyreltme yok	1:1 seyreltme	1:4 seyreltme	1:10 seyreltme
		t=0	t=24saat	t=24saat	t=24saat	t=24saat
Karalahana						
1 mM AgNO ₃						
Fındık						
Yeşil çay						

şekil 5.11 Bitki yaprak özütleri ile 1 mM AgNO₃ derişiminde elde edilen gümüş nanopartiküllerinin Metilen Mavisi giderimi üzerindeki etkisinin 24 saatteki görsel değişimi

AgNO ₃ derişimi		Metilen Mavisi kontrol (0,5mg/L)	Bitki özütü seyreltme yok	1:1 seyreltme	1:4 seyreltme	1:10 seyreltme
		t=0	t=24saat	t=24saat	t=24saat	t=24saat
5 mM AgNO ₃	Karalahana					
	Fındık					
	Yeşil ay					

şekil 5.12 Bitki yaprak özütleri ile 5 mM AgNO₃ derişiminde elde edilen gümüş nanopartiküllerinin Metilen Mavisi giderimi üzerindeki etkisinin 24 saatteki görsel değişimi



Şekil 5.13 Bitki gümüş nanopartiküllerinin 24saat sonundaki giderim verim grafikleri

Çizelge 5.6 24 saat sonunda Boyar madde giderimi (%)

24 Saat sonunda Boyar Madde Giderimi (%)						
Seyreltme oranı	Karahana		Fındık		Yeşil çay	
	1 mM	5 mM	1 mM	5 mM	1 mM	5 mM
Direkt	X	73.8	98.24	95.61	72.54	86.27
1:1	X	77.38	99.12	99.12	85.29	88.23
1:4	X	88.09	X	96.47	X	88.23
1:10	X	92.85	X	X	X	87.25

Metilen mavisi için 664 nm'deki absorpsiyon pikleri, maruz kalma süresinin artmasıyla kademeli olarak azalırken, Şekil 5.13'te Metilen Mavisi'nin adsorpsiyon oranının bir yandan arttığını göstermektedir. Çizelge 5.6 incelendiğinde seyreltme oranı ve AgNO₃ oranı arttıkça giderim veriminin arttığı gözlemlenmiştir. AgNO₃ derişimi arttığında ciddi bir giderim oranı olduğu ancak özüt seyreltme oranının artması genel olarak giderim verimini etkilemediği gözlemlenmiştir. Yüksek yüzey alanının absorplama kapasitesini arttırdığı bilinmektedir

(Toptaş 2013, Eskizeybek et al. 2012, Rohaizad et al. 2020). BET analiz sonuçları da göz önüne alınarak partikül boyutlarının yüksek olması giderim verimini % 99.12, % 88.23, % 77.38'e çıkararak sırasıyla fındık, yeşil çay ve karalahanaya ait olmasına olanak sağlamıştır.

5.3.1. Adsorpsiyon Kinetikleri

Kinetik modeller, kimyasal veya fiziksel reaksiyonun ne kadar hızlı gerçekleştiğini ve bu hızı neyin etkilediğini göstermektedir. Reaksiyonların adsorpsiyon hızına, dinamik dengeye, kütle transferi ve difüzyon oranlarına bağlı olduğu bilinmektedir. Bu parametrelerin analizi, adsorpsiyon sürecini ve mekanizmasını anlamaya katkıda bulunmaktadır. Katı-sıvı adsorpsiyon prosesleri için yaygın olarak kullanılan kinetik modeller pseudo birinci dereceden, pseudo ikinci dereceden ve partikül içi difüzyon modelleridir. Bu nedenle elde edilen verilere bu kinetik modeller uygulanmıştır (Gohr et al. 2022, Kumar 2006).

Lagergren, adsorpsiyon analizi için pseudo birinci dereceden kinetik denklem modelini geliştirmiştir. Bu denklemin lineer formu aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (5.1)$$

Denklemden q_e (mg/g) ve q_t (mg/g), sırasıyla dengede ve t zamanında adsorbe edilen adsorbat miktarlarını, t , süreyi (dk) ve k_1 (dk^{-1}), pseudo birinci dereceden adsorpsiyonun hız sabitini ifade etmektedir (Nethaji et al. 2013).

Pseudo ikinci dereceden kinetik modeli Denklem 5.2'de gösterildiği gibi ifade edilmektedir:

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (5.2)$$

Denklemden q_e (mg/g) ve q_t (mg/g), sırasıyla dengede ve t zamanında adsorbe edilen adsorbat miktarlarıdır, t , süredir (dk) ve k_2 (g/mg min), pseudo ikinci dereceden adsorpsiyonun hız sabitini ifade etmektedir (Ho and Mckay 1999). t/qt ile t grafiğinin eğiminden denge adsorpsiyon kapasitesi (q_e) ve kesişiminden ikinci derece sabiti (k_2) deneysel olarak belirlenebilmektedir.

Partikül içi difüzyon modeli Denklem 5.3'te gösterildiği gibi ifade edilmektedir:

$$qt = k_3 t^{0.5} + C \quad (5.3)$$

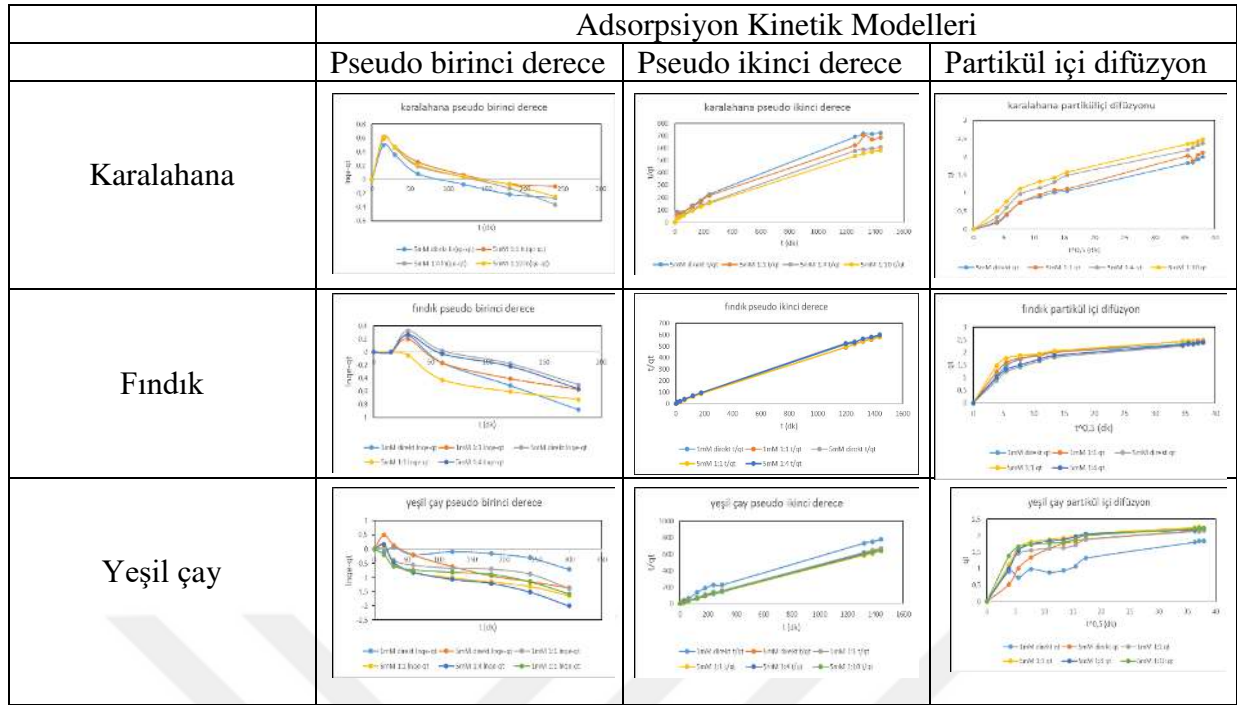
Denklemden q_t ; t zamanında (mg/g) sorbent yüzeyindeki çözünmüş madde miktarını ve k_3 , partikül içi difüzyon hızı sabitini (mg/g min^{0.5}) ifade etmektedir. Hız sınırlayıcı adım tek başına partikül içi difüzyon olduğunda, q_t 'ye karşı $t^{0.5}$ grafiği orijinden geçmektedir. Film difüzyonu da gerçekleştiğinde, kesme noktası C'dir, bu da sınır tabakasının kalınlığı hakkında fikir vermektedir (Cheung et al. 2007).

DeneySEL verilerin kinetik modellere uygunluğu Denklem 5.8'de verilen standart sapma % Δq , değeri ile hesaplanmaktadır. Küçük standart sapma değeri, model ile deney setinin uyumlu olduğunu göstermektedir (Theydan and Ahmed 2012).

$$\Delta q = \sqrt{\frac{(q_{deney} - q_{hesap})^2}{N-1}} 100 \quad (5.4)$$

Denklemden q_{deney} ve q_{hesap} , t anında adsorbent yüzeyine adsorplanan madde miktarıdır, N ise deney sayısını ifade etmektedir.

İncelenen adsorpsiyon kinetik modellerinde zamana bağlı olarak farklı derişimlerdeki karalahana, fındık ve yeşil çay AgNP'lerine MM'nin adsorpsiyonu için pseudo birinci derece, pseudo ikinci derece ve partikül içi kinetik modellerinin uygunluğu araştırılmıştır. En uygun model lineer korelasyon katsayısı, R^2 değerleri esas alınarak seçilmiştir. Kinetik modellerinin grafikleri ve kinetik modellerine ait kinetik parametreler sırasıyla Şekil 5.14 ve Çizelge 5.7'de gösterilmektedir.

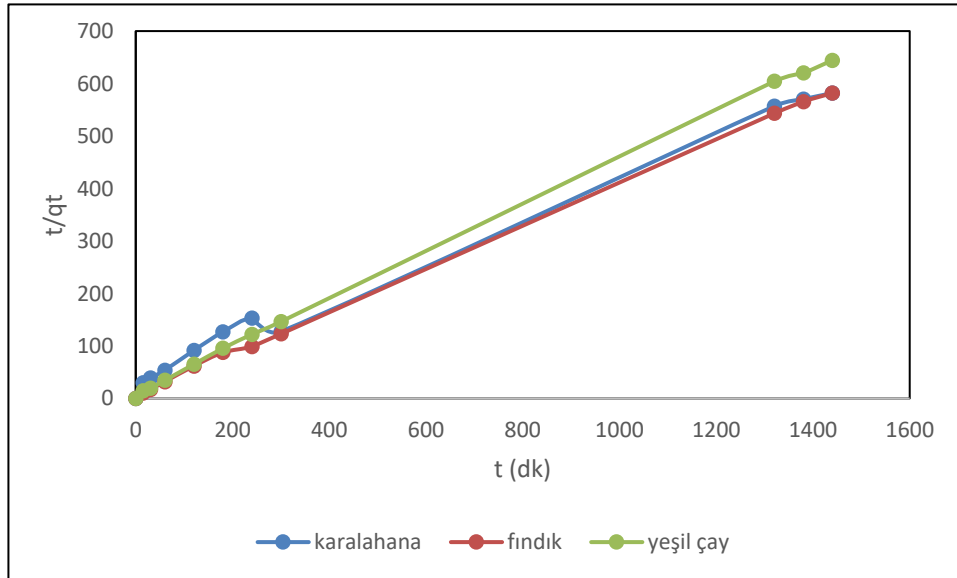


Şekil 5.14 Metilen Mavisi adsorpsiyonuna ait pseudo birinci derece, pseudo ikinci derece ve partikül içi difüzyon modellerine ait kinetik çalışmalar

Çizelge 5.7 Adsorpsiyon kinetik modellerine ait parametreler

	Pseudo 1.derece	Pseudo 2.derece	Partikül içi difüzyon
	Parametreler		
Karalahana	$q_{den}= 2.365$	$q_{den}=2.475$	
	$q_{he}=1.1624$	$q_{he}=2.55035$	$k_3=0.03865$
	$k_1=-0.00001$	$k_2=0.004588$	$C=0.47962$
	$R^2=0.630039$	$R^2=0.995361$	$R^2=0.99439$
	$\% \Delta q=12.60011$	$\% \Delta q=1.0147758$	$\% \Delta q=25.7383536$
Fındık	$q_{den}= 2.41$	$q_{den}=2.475$	
	$q_{he}=1.47023$	$q_{he}= 2.47604$	$k_3=0.043826$
	$k_1=-0.00003$	$k_2=1.204208$	$C=0.81368$
	$R^2=0.92292$	$R^2=0.996732$	$R^2=0.99317$
	$\% \Delta q=17.25556$	$\% \Delta q=0.0140464$	$\% \Delta q=21.96114383$
Yeşil çay	$q_{den}=2.175$	$q_{den}=2.235$	
	$q_{he}=1.24158$	$q_{he}=2.247$	$k_3=0.037372$
	$k_1=-0.00002$	$k_2=1.864026$	$C=0.48954$
	$R^2=0.919155$	$R^2=0.999587$	$R^2=0.872521$
	$\% \Delta q=14.3053$	$\% \Delta q=0.1794368$	$\% \Delta q=24.48893015$

Çizelge 5.7 ve Şekil 5.14 incelendiğinde, kinetik verilerin korelasyon katsayı değerlerinde (R^2) fark görülmektedir ve pseudo ikinci derece kinetik modelinde korelasyon katsayı değeri $>0,99$ olduğu hesaplanmıştır. En küçük % Δq standart sapma değerlerinin de pseudo ikinci derece kinetik modeline ait olduğu görülmektedir. Pseudo birinci derece ile pseudo ikinci derece modeller karşılaştırıldığında grafiklerden elde edilen qdeneyssel ile qhesaplanan verilerinde karalahana, fındık, yeşil çay nanopartiküllerinin pseudo ikinci derece modeli sonuçları sırasıyla 2.55035, 2.47604 ve 2.247 olarak hesaplanmış ve deneysel verilere daha yakın sonuçlar verdiği bulunmuştur. Bu nedenle pseudo ikinci derece kinetik modelin gerçekleştirilen adsorpsiyon çalışması ile en iyi uyumu sergilediği belirlenmiştir. Şekil 5.11’de her bir bitki adsorpsiyonunun en iyi pseudo ikinci derece grafiği gösterilmiştir. Pseudo ikinci derece kinetik model, adsorpsiyon sırasında ek bir tabakanın oluştuğunu, adsorbat ile adsorbent arasında elektron alışverişi olduğunu ve adsorpsiyon işleminin kimyasal adsorpsiyon olarak gerçekleştiğini kabul etmektedir (Bağcı 2014, Ruíz-Baltazar 2020, Wanyonyi et al. 2014). Şekil 5.15’te gösterilen partikül içi difüzyon modeli grafikleri adsorpsiyonun hız belirleyici adımını bulmada yardımcı model olup grafiğinin doğruları orijinden geçmektedir. Bu da adsorpsiyon işleminde hız sınırlayıcı tabakanın sadece partikül içi difüzyonun olduğu ve partikül difüzyonunun kontrol adımı olduğu anlamına gelmektedir (Nethaji et al. 2013, Özveri 2006).



Şekil 5.3 Metilen Mavisi'nin AgNP'lerine adsorplanmasında en iyi verim elde edilen adsorbanların pseudo ikinci derece grafiği

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Nanopartiküllerin sentezi için fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılmaktadır. Fiziksel, kimyasal yöntemlerin pahalı, toksik ve fazla enerji tüketimi gibi dezavantajları araştırmacıları ucuz, çevre dostu ve daha güvenli bir yaklaşıma odaklanmalarına teşvik etmektedir. Biyolojik sentez yöntemlerinden olan bitki özütleri kullanılarak metal nanopartiküllerinin sentezi, hızlı, çevre dostu, kolay erişilebilir, patojenik olmayan, ekonomik ve tek adımlı bir teknik olması nedeniyle dikkat çekmektedir. Nanopartiküller, küçük boyutları ve yüksek yüzey / hacim oranı nedeniyle büyük ilgi görmektedir. Bu özelliklerinden dolayı nanomalzemeler birçok endüstriyel alanda potansiyel uygulamalar bulmaktadır.

Bu çalışmada gümüş nanopartikülleri ilk kez karalahana (*Brassica oleracea* var. *acephala*) ve findık (*Corylus avellana* var. *avellana*) bitki özütleri ve ayrıca yeşil çay (*Camellia sinensis* L) bitki özütü kullanılarak biyolojik yöntem ile sentezlenmiştir. Bitki özütlerinin derişimi ve AgNO₃ derişimleri değiştirilerek farklı şekil, boyut ve morfolojilerde gümüş nanopartikül oluşumu üzerine etkisi incelenmiştir.

Gümüş nanopartiküllerin sentezi, özüt ortamının açık sarı renkten koyu kahverenge renk değişikliği ile takip edilmiştir. Gümüş nanopartiküllerinin sentezinden sonra, bu metalik nanopartiküllerin morfolojisi, moleküler yapısı UV-VIS spektroskopisi, geçirimli elektron mikroskobu (TEM), taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDX), X-ışını kırınım (XRD) analizi, Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi, partikül boyut analizi (mastersizer analizi) ve Brunauer-Emmett-Teller (BET) yüzey alanı tayini analiz yöntemleri kullanılarak ayrıntılı karakterizasyonları yapılmıştır.

İlk olarak, farklı bitki derişimleri (direkt, 1:1, 1:4, 1:10) ve AgNO_3 (1 mM ve 5 mM) derişimlerinde gümüş nanopartiküllerinin oluşumları oda sıcaklığında 24 saat boyunca UV-VIS spektroskopisi ile incelenmiştir. UV-VIS analizinde, gümüş metalinin serbest elektronları, ayırt edici yüzey plazmon rezonanslarının (SPR) oluşturduğu absorpsiyon bantları incelenmiştir. Karalahana bitki özütü direkt kullanımında 1 mM ve 5 mM AgNO_3 derişiminde elde edilen maksimum absorbans pikleri sırasıyla 450 nm ile 455 nm dalga boyu arasında, 1:1 özüt seyreltme işleminde 1 mM ve 5 mM AgNO_3 derişiminde elde edilen maksimum absorbans pikleri sırasıyla 435 nm ile 450 nm dalga boyu arasında olduğu gözlemlenmiştir. Karalahana bitki özütünün 1:4 ve 1:10 seyreltme işlemlerinde 1 mM ve 5 mM AgNO_3 derişiminde elde edilen maksimum absorbans pikleri ise sırasıyla 445-450 ve 440-450 nm dalga boylarında elde edilmiştir. Fındık bitki özütü direkt kullanımında 1 mM ve 5 mM AgNO_3 derişiminde elde edilen maksimum absorbans piki yaklaşık 450 nm dalga boyunda, 5 mM AgNO_3 derişiminde uygun aralıkta dalga boyu elde edilememiştir. 1:1 özüt seyreltme işleminde 1 mM ve 5 mM AgNO_3 derişiminde elde edilen maksimum absorbans pikleri sırasıyla 445-455 nm dalga boyunda gözlemlenmiştir. Fındık bitki özütünün 1:4 ve 1:10 seyreltme işlemlerinde 1 mM ve 5 mM AgNO_3 derişiminde elde edilen maksimum absorbans pikleri ise sırasıyla 440-440 ve 440-440 nm dalga boylarında olduğu elde edilmiştir. Yeşil çay bitki özütü direkt kullanımında 1 mM ve 5 mM AgNO_3 derişiminde elde edilen maksimum absorbans pikleri sırasıyla 450- 460 nm dalga boyunda, 1:1 özüt seyreltme işleminde 1 mM ve 5 mM AgNO_3 derişiminde elde edilen maksimum absorbans pikleri sırasıyla 445-455 nm dalga boyunda olduğu gözlemlenmiştir. Karalahana bitki özütünün 1:4 ve 1:10 seyreltme işlemlerinde 1 mM ve 5 mM AgNO_3 derişiminde elde edilen maksimum absorbans pikleri ise sırasıyla 430-440 ve 430-440 nm dalga boylarında elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre artan bitki derişimi ve AgNO_3 derişimi ile SPR bandının kırmızı bölgeye kaydığı bu nedenle nanopartikül boyutlarının büyüdüğü ve heterojen yapıda olduğu anlaşılmaktadır.

Çalışmada kullanılan bitki özütlerinin farklı oluşu gümüş iyonlarının indirgenmesi ve stabilizasyonu için bitki içeriğindeki proteinler, fenolikler, saponinler, terpenoidler, vitaminler gibi biyomoleküllerin varlığı elde edilen nanopartiküllerin miktarını etkilediği bilinmektedir. Bu yüzden çalışmada kullanılan bitkilerin toplam fenolik madde (TFM) miktarı Folin-Ciocalteu yöntemi ile hesaplanmıştır. TFM miktarları en yüksek yeşil çay bitkisine ait olurken onu takip eden fındık ve karalahana bitkileridir. TFM miktarları sırasıyla 89.4105, 53.9319, 27.4055 mg GAE/g ka olarak hesaplanmıştır.

Çalışmada kullanılan üç bitkinin farklı AgNO_3 derişimlerinde 24 saat inkübasyonu sonucu elde edilen gümüş nanopartiküllerinin morfolojik yapısı kullanılan AgNO_3 derişimine ve kullanılan bitkilere bağılı olarak değışkenlik göstermiştir. Elde edilen gümüş nanopartiküllerinin boyut ve şekil analizi TEM analizi ile yapılmış olup küresel şekilde ve boyutlarının 100-200nm arasında değıştiğı gözlemlenmiştir. SEM-EDX analizlerinde gümüş nanopartiküllerin morfolojisi incelenmiş olup elde edilen nanopartiküllerin küresel şekilleri görüntülenmiştir. EDX sonuçları metalik gümüş nanopartiküllerin tipik absorpsiyon zirvesi olan 3 keV'de Ag atomlarından kaynaklanan güçlü sinyaller gözlemlenirken, bitkilerin biyomoleküllerinden kaynaklanan C, O, S, Mg, Ca, K ve Cl⁻ elementleri için daha zayıf sinyaller gözlemlenmiştir.

Partikül boyut analizi (mastersizer analizi) sonuçları incelendiğinde karalahana bitki özütü ve 1 mM ve 5 mM AgNO_3 ile elde edilen gümüş nanopartiküllerinin ortalama boyut dağılımı sırasıyla 201 μm ve 139 μm değışmektedir. Fındık bitki özütü ve 1 mM ve 5 mM AgNO_3 ile elde edilen gümüş nanopartiküllerinin ortalama boyut dağılımı sırasıyla 100 μm ve 157 μm olarak değışmektedir. Yeşil çay bitki özütü ve 1 mM ve 5 mM AgNO_3 ile elde edilen gümüş nanopartiküllerinin ortalama boyut dağılımı ise sırasıyla 74 μm ve 105 μm olarak değışmektedir. Boyut dağılımında AgNO_3 derişiminin artmasıyla boyut oranının arttığı görülmektedir. Boyut dağılımı her iki AgNO_3 derişiminde de homojen şekilde gerçekleşen fındık gümüş nanopartikülleri olmuştur. Elde edilen gümüş nanopartiküllerin kristal yapılarını analiz etmek amacıyla XRD analizi yapılmıştır. Tüm gümüş nanopartikül numuneleri (111), (200), (220) ve (311) düzlemlerine karşılık gelen dört güçlü yansıma göstermiştir. Bu düzlemler numunelerin yüzey merkezli kübik kristal yapısına sahip olduğunu belirtmektedir. Karalahana bitki özütü ve 1 mM ve 5 mM AgNO_3 ile elde edilen gümüş nanopartiküllerinin kristalit boyut dağılımı sırasıyla 238 nm ve 160 nm olarak değışmektedir. Fındık bitki özütü ve 1 mM ve 5 mM AgNO_3 ile elde edilen gümüş nanopartiküllerinin kristalit boyut dağılımı sırasıyla 148.5 nm ve 239 nm olarak değışmektedir. Yeşil çay bitki özütü ve 1 mM ve 5 mM AgNO_3 ile elde edilen gümüş nanopartiküllerinin kristalit boyut dağılımı sırasıyla 280 nm ve 319 nm olarak değışmektedir.

Gümüş nanopartikül numunelerinin spesifik yüzey alanları Brunauer–Emmett–Teller (BET) analizi ile yapılmıştır. Karalahana bitki özütü ve 1 mM ve 5 mM AgNO_3 ile elde edilen gümüş nanopartiküllerinin spesifik yüzey alanı sırasıyla 1.313 m^2/g ve 9.516 m^2/g olarak bulunmuştur. Fındık bitki özütü ve 1 mM ve 5 mM AgNO_3 ile elde edilen gümüş nanopartiküllerinin spesifik yüzey alanı sırasıyla 4.81 m^2/g ve 5.415 m^2/g olarak bulunmuştur.

Yeşil çay bitki özütü ve 1 mM ve 5 mM AgNO₃ ile elde edilen gümüş nanopartiküllerinin spesifik yüzey alanı sırasıyla 3.024 m²/g ve 2.749 m²/g olarak bulunmuştur.

FTIR analizi, gümüş nanopartiküllerinin oluşumunda stabilizatör ve kaplama ajanı görevi gören yüzeyindeki fonksiyonel grupları karakterize etmek için kullanılmaktadır. FTIR spektrumunda 3695- 3640 cm⁻¹ arasında gözlemlenen yayvan pik bitkinin polimerik yapısında bulunan fenolik bileşiklerdeki O-H gerilmelerinden kaynaklanmaktadır. 3195- 3061 cm⁻¹ arasındaki pikler aromatik C-H gerilmelerine ait iken, 2966- 2845 cm⁻¹ arasındaki pikler alifatik C-H gerilmelerine ait olduğu saptanmıştır. 1704- 1605 cm⁻¹ arasındaki pikler karbonil grupların C=O gerilmesinden, 1394- 1135 cm⁻¹ arasındaki pikler amin gruplarının C-N gerilmesinden kaynaklanmaktadır. 1070- 1013 cm⁻¹ arasındaki pikler ester ve alkol yapılarının C-O gerilmelerinden kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak; -C-O-C-, -C-O-, -C=C- ve -C=O gibi bağlar veya fonksiyonel gruplar, büyük ölçüde, kurutulmuş biyokütlerde suda çözünür bileşenler olan heterosiklik bileşiklerden türemiştir. Heterosiklik bileşiklerine örnek olarak alkaloidler, flavonlar ve antrasenler verilebilir ve bu suda çözünür heterosiklik bileşenler, sırasıyla gümüş iyonlarının indirgenmesinden ve nanopartiküllerin stabilizasyonundan sorumludur.

Çalışmanın ikinci aşamasında üç farklı bitki özütleri ile farklı AgNO₃ derişimlerinde elde edilen gümüş nanopartikülleri ile Metilen Mavisi'nin adsorpsiyonu araştırılmıştır. Metilen Mavisi'nin sulu çözeltilerden giderimi güneş ışığı altında 24 saat boyunca hem görsel yolla hem de UV-VIS spektrofotometre ile izlenmiştir. BET analiz sonuçları da göz önüne alınarak yüzey alanlarının yüksek olması giderim verimini % 99.12, % 88.23, % 77.38 'e çıkararak sırasıyla fındık, yeşil çay ve karalahanaya ait olmasına olanak sağlamıştır.

Adsorpsiyon kinetikleri pseudo birinci derece kinetik modeli, pseudo ikinci derece kinetik modeli ve partikül içi difüzyon modeli ile belirlenmiştir. Kinetik modellerine ait korelasyon kat sayı değerleri ve standart sapma değerleri (% Δq) karşılaştırıldığında adsorpsiyon kinetiğinin pseudo ikinci derece kinetik modele uyduğu ve adsorpsiyon sırasında ek bir tabakanın oluştuğunu, adsorbat ile adsorbent arasında elektron alışverişi olduğunu ve adsorpsiyon işleminin kimyasal adsorpsiyon olarak gerçekleştiğini kabul edilmektedir. Ayrıca partikül içi difüzyon modeli, sadece partikül içine difüzyonun hız kontrol basamağı olduğuna işaret etmektedir.

Elde edilen sonuçlarla biyolojik sentez yöntemiyle sentezlenecek nanopartiküller için çalışmada kullanılan bitki özütlerinin gümüş nanopartiküllerinin geniş ölçekli sentezi için

kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Nanopartikül oluşumunu etkileyen faktörler arasında reaksiyon ortamının sıcaklığı ve pH'ı da yer almaktadır. Çalışmada sıcaklık, pH gibi parametreler de çalışılarak nanopartikül boyutlarının iyileştirilmesi yapılarak daha küçük boyutlarda nanopartiküller elde edilebilir. Metilen Mavisi'nin sulu çözeltilerden gideriminde yüksek giderim oranları vermesi sentezlenen gümüş nanopartiküllerinin ilaç, kozmetik, boya, plastik ve özellikle tekstil endüstrilerinin atık arıtımında uygulanabilirliğini göstermektedir. Elde edilen nanopartiküller ile yapılan adsorpsiyon çalışmalarında tek boyar madde yerine çoklu boyar madde çalışmaları ve adsorbent kapasitesi de araştırılabilir.





KAYNAKLAR

- Abhilash P C, Powell J R, Singh H B and Singh B K** (2012) Plant – Microbe Interactions: Novel Applications for Exploitation in Multipurpose Remediation Technologies. *Trends in Biotechnology*, 30(8): 416–420.
- Abraham J, Jose B, Jose A and Thomas S** (2020) Characterization of Green Nanoparticles From Plants. *Phytonanotechnology*, Thajuddin N and Mathew S (Ed.), 1st edition, ISBN: 978-0-12-822348-2, Elsevier, e-book, 21–39.
- Adachi M, Tsukui S and Okuyama K** (2003) Nanoparticle Synthesis by Ionizing Source Gas in Chemical Vapor Deposition. *Japanese Journal of Applied Physics, Part 2: Letters*, 42(1A): 4–7.
- Adewuyi A and Lau W J** (2021) Nanomaterial Development and Its Applications for Emerging Pollutant Removal in Water. *Handbook of Nanotechnology Applications*, Lau W J, Faungnawakij K, Piyachomkwan K and Ruktanonchai U R (Ed.), 1st edition, ISBN: 978-0-12-821506-7, Elsevier, e-book, 67–97.
- Agarwal H, Kumar S V and Rajeshkumar S** (2017) A Review on Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles – An Eco-friendly Approach. *Resource-Efficient Technologies*, 3(4): 406–413.
- Ahmad N, Sharma S, Alam K, Singh V N, Shamsi S F, Mehta B R and Fatma A** (2010) Rapid Synthesis of Silver Nanoparticles Using Dried Medicinal Plant of Basil. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 81(1): 81–86.
- Ahmad T, Nazim A, Farooq U, Khan H, Jain S K, Ubaidullah M and Ahmed J** (2020) Biosynthesis, Characterization and Photo-catalytic Degradation of Methylene Blue Using Silver Nanoparticles. *Materials Today: Proceedings*, 29(4): 1039–1043.
- Ahmed S, Ahmad M, Swami B L and Ikram S** (2016) A Review on Plants Extract Mediated Synthesis of Silver Nanoparticles for Antimicrobial Applications: A Green Expertise. *Journal of Advanced Research*, 7(1): 17–28.
- Akter M, Rahman M M, Ullah A K M A, Sikder M T, Hosokawa T, Saito T and Kurasaki M** (2018) Brassica rapa var. japonica Leaf Extract Mediated Green Synthesis of Crystalline Silver Nanoparticles and Evaluation of Their Stability, Cytotoxicity and Antibacterial Activity. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 28: 1483–1493.
- Al-ogaidi I, Salman M I, Mohammad F I, Aguilar Z P, Ogaidi M, Hadi Y A and Al-rhman R M A** (2017) Antibacterial and Cytotoxicity of Silver Nanoparticles Synthesized in Green and Black Tea. *World Journal of Experimental Biosciences*, 5(1): 39–45.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Alencar W S, Acayanka E, Lima E C, Royer B, Souza, F E, Lameira J and Alves C N** (2012) Application of *Mangifera indica* (Mango) Seeds As A Biosorbent For Removal of Victazol Orange 3R Dye From Aqueous Solution and Study of The Biosorption Mechanism. *Chemical Engineering Journal*, 209: 577–588.
- Alexis F, Pridgen E, Molnar L K and Farokhzad O C** (2008) Factors Affecting the Clearance and Biodistribution of Polymeric Nanoparticles. *Molecular Pharmaceutics*, 5(4): 505–515.
- Ali A, Zafar H, Zia M, Ul Haq I, Phull A R, Ali J S and Hussain A** (2016) Synthesis, Characterization, Applications, and Challenges of Iron Oxide Nanoparticles. *Nanotechnology, Science and Applications*, 9: 49–67.
- Ali S, Khan I, Khan S A, Sohail M, Ahmed R, Rehman A, Ansari M S and Morsy M A** (2017) Electrocatalytic Performance of Ni@Pt Core–shell Nanoparticles Supported on Carbon Nanotubes for Methanol Oxidation Reaction. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 795: 17–25.
- Alshameri A, Yan C and Lei X** (2014) Microporous and Mesoporous Materials Enhancement of Phosphate Removal From Water by TiO₂ / Yemeni Natural Zeolite: Preparation , Characterization and Thermodynamic. *Microporous And Mesoporous Materials*, 196: 145–157.
- Anjana R and Geetha N** (2019) Degradation of Methylene Blue Using Silver Nanoparticles Synthesized from *Cynodon dactylon* (L.) Pers. Leaf Aqueous Extract. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 8(9): 225–229.
- Aqel A, El-nour K M M A, Ammar R A A and Al-warthan A** (2012) Carbon Nanotubes, Science and Technology Part (I) Structure, Synthesis and Characterisation. *Arabian Journal of Chemistry*, 5(1): 1–23.
- Armendariz V, Herrera I, Peralta-videa J R, Jose-yacaman M, Troiani H, Santiago P and Gardea-Torresdey J L** (2004) Size Controlled Gold Nanoparticle Formation By *Avena Sativa* Biomass: Use Of Plants In Nanobiotechnology. *Journal of Nanoparticle Research*, 6: 377–382.
- Asharani P V, Low G, Mun K, Hande M P and Valiyaveetil S** (2009) Cytotoxicity and Genotoxicity of Silver Nanoparticles in Human Cells. *ACS Nano*, 3(2): 279–290.
- Astefanei A, Núñez O and Galceran M T** (2015) Characterisation and Determination of Fullerenes: A Critical Review. *Analytica Chimica Acta*, 882: 1–21.
- Avasare V, Zhang Z, Avasare D and Khan I** (2015) Room-temperature Synthesis of TiO₂ Nanospheres and Their Solar Driven Photoelectrochemical Hydrogen Production. *International Journal of Energy Research*, 39(12): 1714–1719.
- Badoei-dalfard A, Shaban M and Karami Z** (2019) Characterization, Antimicrobial, and Antioxidant Activities of Silver Nanoparticles Synthesized by Uricase from *Alcaligenes Faecalis* GH3. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 20: 101257.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Baer D R** (2011) Surface Characterization of Nanoparticles: Critical Needs and Significant Challenges. *Journal of Surface Analysis*, 17(3): 163–169.
- Bağcı S** (2014) Lupinus Albus'dan Elde Edilen Aktif Karbonun Sulu Çözeltideki Adsorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 88 s.
- Baharara J, Namvar F, Ramezani T, Hosseini N and Mohamad R** (2014) Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Achillea biebersteinii Flower Extract and Its Anti-Angiogenic Properties. *Molecules*, 19(4): 4624–4634.
- Bankar A, Joshi B, Kumar A R and Zinjarde S** (2010) Banana Peel Extract Mediated Novel Route for The Synthesis of Silver Nanoparticles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 368(1–3): 58–63.
- Bar H, Bhui D K, Sahoo G P, Sarkar P, De S P and Misra A** (2009) Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Latex of Jatropha Curcas. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 339(1–3): 134–139.
- Baraton M** (2002) Surface Analysis of Semiconducting Nanoparticles by FTIR Spectroscopy. *Nanocrystalline Metals and Oxides*, Knauth P and Schoonman J (Ed.), 1st edition, ISBN: 978-0-306-47609-9, Springer, e-book, 165–187.
- Begum N A, Mondal S, Basu S, Laskar R A and Mandal D** (2009) Biogenic Synthesis of Au and Ag Nanoparticles Using Aqueous Solutions of Black Tea Leaf Extracts. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 71(1): 113–118.
- Bhainsa K C and D'Souza S F** (2006) Extracellular Biosynthesis of Silver Nanoparticles Using The Fungus Aspergillus Fumigatus. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 47(2): 160–164.
- Bhat S S, Qurashi A and Khanday F A** (2017) ZnO Nanostructures Based Biosensors for Cancer and Infectious Disease Applications: Perspectives, Prospects and Promises. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 86: 1–13.
- Biresaw S S and Taneja P** (2021) Copper Nanoparticles Green Synthesis and Characterization as Anticancer Potential in Breast Cancer Cells (MCF7) Derived From Prunus Nepalensis Phytochemicals. *Materials Today: Proceedings*, 49: 3501–3509.
- Biswas A, Bayer I S, Biris A S, Wang T, Dervishi E and Faupel F** (2012) Advances in Top-down and Bottom-up Surface Nanofabrication: Techniques, Applications & Future Prospects. *Advances in Colloid and Interface Science*, 170(1–2): 2–27.
- Bogireddy N K R, Kumar H A K and Mandal B K** (2016) Biofabricated Silver Nanoparticles as Green Catalyst in The Degradation of Different Textile Dyes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(1): 56–64.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Borah L, Goswami M and Phukan P** (2015) Adsorption of Methylene Blue and Eosin Yellow Using Porous Carbon Prepared From Tea Waste: Adsorption Equilibrium, Kinetics and Thermodynamics Study. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3(2): 1018–1028.
- Brunauer S, Emmett P H, Teller E** (1938) Adsorption of Gases in Multimolecular Layers. *Journal of the American Chemical Society*, 60: 309–319.
- Buzea C, Pacheco I I and Robbie K** (2007) Nanomaterials and Nanoparticles: Sources and Toxicity. *Biointerphases*, 2(4): 17–71.
- Capek I** (2004) Preparation of Metal Nanoparticles in Water-in-Oil (w/y/o) Microemulsions. *Advances in Colloid and Interface Science*, 110(1-2): 49–74.
- Caroling G, Tiwari S K, Ranjitham A and Suja R** (2013) Biosynthesis of Silver Nanoparticles Using Aqueous Broccoli Extract-Characterization and Study of Antimicrobial, Cytotoxic Effects. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 6(4): 165–172.
- Chandra R, Chawla A K and Ayyub P** (2006) Optical and Structural Properties of Sputter-Deposited Nanocrystalline Cu₂O Films: Effect of Sputtering Gas. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 6(4): 1119–1123.
- Chandran S P, Chaudhary M, Pasricha R, Ahmad A and Sastry M** (2006) Synthesis of Gold Nanotriangles and Silver Nanoparticles Using Aloe Vera Plant Extract. *Biotechnology Progress*, 22(2): 577–583.
- Chauhan R P, Gupta C and Prakash D** (2012) Methodological Advancements in Green Nanotechnology and Their Applications in Biological Synthesis of Herbal Nanoparticles. *International Journal of Bioassays*, 1(7): 6-10.
- Cheung W H, Szeto Y S and McKay G** (2007) Intraparticle Diffusion Processes During Acid Dye Adsorption onto Chitosan. *Bioresource Technology*, 98(15): 2897–2904.
- Christensen L, Vivekanandhan S, Misra M and Mohanty A K** (2011) Biosynthesis of Silver Nanoparticles Using *Murraya Koenigii* (Curry Leaf): An Investigation on The Effect of Broth Concentration in Reduction Mechanism and Particle Size. *Advanced Materials Letters*, 2(6): 429–434.
- Christian P, Von Der Kammer F, Baalousha M and Hofmann T** (2008) Nanoparticles: Structure, Properties, Preparation and Behaviour in Environmental Media. *Ecotoxicology*, 17(5): 326–343.
- Ciambelli P, Guardia G and Vitale L** (2020) Nanotechnology for Green Materials and Processes. *Studies in Surface Science and Catalysis*, Basile A, Centi G, Falco M and Iaquaniello G (Ed.), 1st edition, ISBN: 978-0-444-64337-7, Elsevier, e-book, 97–116.
- Clifton J and Leikin J B** (2003) Methylene Blue. *American Journal of Therapeutics*, 10(4): 289–291.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Cushing B L, Kolesnichenko V L and Connor C J O** (2004) Recent Advances in The Liquid-Phase Syntheses of Inorganic Nanoparticles. *Chemical Reviews*, 104: 3893–3946.
- Dada A O, Inyinbor A A, Idu E I, Bello O M, Oluyori A P, Adelani-Akande T A, Okunola A A and Dada O** (2018) Effect of Operational Parameters, Characterization and Antibacterial Studies of Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Tithonia Diversifolia. *PeerJ*, 6(3): 1-17.
- Daniel M and Astruc D** (2004) Gold Nanoparticles: Assembly, Supramolecular Chemistry, Quantum-Size-Related Properties, and Applications toward Biology, Catalysis, and Nanotechnology. *Chemical Reviews*, 104(1): 293–346.
- Darroudi M, Ahmad M, Zamiri R, Zak A K, Abdullah A H and Ibrahim N A** (2011) Time-Dependent Effect in Green Synthesis of Silver Nanoparticles. *International Journal of Nanomedicine*, 6(1): 677–681.
- Das R K, Laxman V and Linson P** (2017) Biological Synthesis of Metallic Nanoparticles: Plants, Animals and Microbial Aspects. *Nanotechnology for Environmental Engineering*, 2(1): 1–21.
- Dhuper S, Panda D and Nayak P P L** (2012) Green Synthesis and Characterization of Zero Valent Iron Nanoparticles From the Leaf Extract of Mangifera Indica. *Nano Trends: A Journal of Nanotechnology and Its Applications*, 13(2): 16–22.
- Dreaden E C, Alkilany A M, Huang X, Murphy C J and El-Sayed M A** (2012) The Golden Age: Gold Nanoparticles for Biomedicine. *Chemical Society Reviews*, 41(7): 2740–2779.
- Dubey S P, Lahtinen M and Sillanpää M** (2010) Tansy Fruit Mediated Greener Synthesis of Silver and Gold Nanoparticles. *Process Biochemistry*, 45(7): 1065–1071.
- Dutta A K, Maji S K and Adhikary B** (2014) γ -Fe₂O₃ Nanoparticles: An Easily Recoverable Effective Photo-Catalyst For The Degradation of Rose Bengal and Methylene Blue Dyes in The Waste-Water Treatment Plant. *Materials Research Bulletin*, 49: 28–34.
- Dwivedi A D and Gopal K** (2010) Biosynthesis of Silver and Gold Nanoparticles Using Chenopodium Album Leaf Extract. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 369(1–3): 27–33.
- Edison T J I and Sethuraman M G** (2012) Instant Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Terminalia Chebula Fruit Extract and Evaluation of Their Catalytic Activity on Reduction of Methylene Blue. *Process Biochemistry*, 47(9): 1351–1357.
- Elavazhagan T and Arunachalam K D** (2011) Memecylon Edule Leaf Extract Mediated Green Synthesis of Silver and Gold Nanoparticles. *International Journal of Nanomedicine*, 6: 1265–1278.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Ellah N H and Abouelmagd S A** (2016) Surface Functionalization of Polymeric Nanoparticles For Tumor Drug Delivery: Approaches and Challenges. *Expert Opinion on Drug Delivery*, 14(2): 201–214.
- Eskizeybek V, Sari F, Gülce H, Gülce A and Avcı A** (2012) Preparation of The New Polyaniline/ZnO Nanocomposite and Its Photocatalytic Activity For Degradation of Methylene Blue and Malachite Green Dyes Under UV and Natural Sun Lights Irradiations. *Applied Catalysis B: Environmental*, 119–120: 197–206.
- Esmeray E ve Özata O** (2019) Nanopartiküllerin Çevre Mühendisliği Alanında Kullanımı ve Temel Laboratuvar Malzemeleri ile Gümüş Nanopartikül (AgNPs) Sentezi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 16: 521–527.
- Eustis S and El-sayed M A** (2006) Why Gold Nanoparticles Are More Precious Than Pretty Gold: Noble Metal Surface Plasmon Resonance and Its Enhancement of The Radiative and Nonradiative Properties of Nanocrystals of Different Shapes. *Chemical Society Reviews*, 35: 209–217.
- Fairuzi A A, Bonnia N N, Akhir R M, Abrani M A and Akil H M** (2018) Degradation of Methylene Blue Using Silver Nanoparticles Synthesized From Imperata Cylindrica Aqueous Extract. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 105(1): 012018.
- Faivre D and Bennet M** (2016) Magnetic Nanoparticles Line Up. *Nature*, 535: 235–236.
- Fierascu I, Georgiev M I, Ortan A, Fierascu R C, Avramescu S M, Ionescu D, Sutan A, Brinzan A and Ditu L M** (2017) Phyto-Mediated Metallic Nano-Architectures via Melissa Officinalis L.: Synthesis, Characterization and Biological Properties. *Scientific Reports*, 7(12428): 1-14.
- Fito J Abrham S and Angassa K** (2020) Adsorption of Methylene Blue from Textile Industrial Wastewater onto Activated Carbon of Parthenium Hysterophorus. *International Journal of Environmental Research*, 14: 501–511.
- Forough M and Farhadi K** (2010) Biological and Green Synthesis of Silver Nanoparticles. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 34(4): 281–287.
- Fu X, Cai J, Zhang X, Li W, Ge H and Hu Y** (2018) Top-down Fabrication of Shape-Controlled, Monodisperse Nanoparticles for Biomedical Applications. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 132: 169–187.
- Gardea-torresdey J L, Gomez E, Peralta-videa J R, Parsons J G, Troiani H and Jose-yacaman M** (2003) Alfalfa Sprouts: A Natural Source for The Synthesis of Silver Nanoparticles. *Langmuir*, 19(4): 1357–1361.
- Genc N** (2020) Biosynthesis of Silver Nanoparticles Using Origanum Onites Extract and Investigation of Their Antioxidant Activity. *Particulate Science and Technology*, 39(5): 562–568.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Gericke M and Pinches A** (2006) Biological Synthesis of Metal Nanoparticles. *Hydrometallurgy*, 83(1–4): 132–140.
- Ghorbani H R** (2014) A Review of Methods For Synthesis of Al Nanoparticles. *Oriental Journal of Chemistry*, 30(4): 1941–1949.
- Ghotekar S, Pansambal S, Pawar S P, Pagar T, Oza R and Bangale S** (2019) Biological Activities of Biogenically Synthesized Fluorescent Silver Nanoparticles Using *Acanthospermum Hispidum* Leaves Extract. *SN Applied Sciences*, 1(11): 1-12.
- Gnanajobitha G, Paulkumar K, Vanaja M, Rajeshkumar S, Malarkodi C, Annadurai G and Kannan C** (2013) Fruit-Mediated Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Vitis Vinifera* and Evaluation of Their Antimicrobial Efficacy. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 3(67): 1-6.
- Gohr M S, El-shanshory A A and Soliman H M A** (2022) Adsorption of Cationic Dyes onto Chemically Modified Activated Carbon: Kinetics and Thermodynamic Study. *Journal of Molecular Liquids*, 346: 118227.
- Gopinath V, MubarakAli D, Priyadarshini S, Priyadharsshini N M, Thajuddin N and Velusamy P** (2012) Biosynthesis of Silver Nanoparticles From *Tribulus Terrestris* and Its Antimicrobial Activity: A Novel Biological Approach. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 96: 69–74.
- Gour A and Jain N K** (2019) Advances in Green Synthesis of Nanoparticles. *Artificial Cells, Nanomedicine and Biotechnology*, 47(1): 844–851.
- Goutam S P, Saxena G, Roy D, Yadav A K and Bharagava R N** (2020) Green Synthesis of Nanoparticles and Their Applications in Water and Wastewater Treatment. *Bioremediation of Industrial Waste for Environmental Safety*, Saxena G and Bharagava R M (Ed.), 1st edition, ISBN: 978-981-13-1891-7, Springer, e-book, 349–379.
- Greeley J and Markovic N M** (2012) The Road From Animal Electricity to Green Energy: Combining Experiment and Theory in Electrocatalysis. *Energy & Environmental Science*, 5(11): 9246–9256.
- Gujrati M, Malamas A, Shin T, Jin E, Sun Y and Lu Z** (2014) Multifunctional Cationic Lipid-Based Nanoparticles Facilitate Endosomal Escape and Reduction-Triggered Cytosolic siRNA Release. *Molecular Pharmaceutics*, 11(8): 2734–2744.
- Guo D, Xie G and Luo J** (2014) Mechanical Properties of Nanoparticles: Basics and Applications. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 47(13001): 1–25.
- Guzmán M G, Dille J and Godet S** (2008) Synthesis of Silver Nanoparticles by Chemical Reduction Method and Their Antibacterial Activity. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 19: 357–364.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Hajipour M J, Fromm K M, Ashkarran A A, Aberasturi D J, Larramendi I R and Rojo T** (2012) Antibacterial Properties of Nanoparticles. *Trends in Biotechnology*, 30(10): 499–511.
- Hamed S and Shojaosadati S A** (2019) Rapid and Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Diospyros Lotus Extract: Evaluation of Their Biological and Catalytic Activities. *Polyhedron*, 171: 172–180.
- Hammami I, Alabdallah N M, Al jomaa A, and Kamoun M** (2021) Gold Nanoparticles: Synthesis Properties and Applications. *Journal of King Saud University - Science*, 33(7): 101560.
- Hasnidawani J N, Azlina H N, Norita H, Bonnia N N, Ratim S and Ali E S** (2016) Synthesis of ZnO Nanostructures Using Sol-Gel Method Synthesis of ZnO Nanostructures Using Sol-Gel Method. *Procedia Chemistry*, 19: 211–216.
- Ho Y S and McKay G** (1999) Pseudo-Second Order Model for Sorption Processes. *Process Biochemistry*, 34(5): 451–465.
- Horikoshi S and Serpane N** (2013) Introduction to Nanoparticles. *Microwaves in Nanoparticle Synthesis: Fundamentals and Applications*, Horikoshi S and Serpane N (Ed.), 1st edition, ISBN: 9783527331970, Weinheim: Wiley-VCH, e-book, 1–24.
- Huang J, Li Q, Sun D, Lu Y, Su Y, Yang X, Wang H, Wang Y, Shao W, He N, Hong J and Chen C** (2007) Biosynthesis of Silver and Gold Nanoparticles by Novel Sundried Cinnamomum Camphora Leaf. *Nanotechnology*, 18(10): 105104-105115.
- Hubenthal F** (2011) Noble Metal Nanoparticles: Synthesis and Optical Properties. *Comprehensive Nanoscience and Technology*, Andrews D L, Scholes G D and Wiederrecht G P (Ed.), 1st edition, ISBN: 978-0-12-374396-1, Academic Press, e-book, 375–435.
- Hung-Lung C, Kuo-Hsiung L, Shih-Yu C, Ching-Guan C and San-De P** (2007) Dye Adsorption on Biosolid Adsorbents and Commercially Activated Carbon. *Dyes and Pigments*, 75(1): 52–59.
- Hussain I, Singh N B, Singh A, Singh H and Singh S C** (2016) Green Synthesis of Nanoparticles and Its Potential Application. *Biotechnology Letters*, 38(4): 545–560.
- Hussain M, Raja N I, Iqbal M and Aslam S** (2019) Applications of Plant Flavonoids in the Green Synthesis of Colloidal Silver Nanoparticles and Impacts on Human Health. *Iranian Journal of Science and Technology, Transaction A: Science*, 43(3): 1381–1392.
- Ibrahim K S** (2013) Carbon Nanotubes-Properties and Applications: A Review. *Carbon Letters*, 14(3): 131–144.
- Ijaz I, Gilani E, Nazir A and Bukhari A** (2020) Detail Review on Chemical, Physical and Green Synthesis, Classification, Characterizations and Applications of Nanoparticles. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 13(3): 59–81.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Imanzadeh G and Hadi R** (2018) Brassica Oleraceae, A Versatile Plant For Green Synthesis of Silver Nanoparticles. *Iranian Chemical Communication*, 6: 70–77.
- Ingale A G and Chaudhari A N** (2013) Biogenic Synthesis of Nanoparticles and Potential Applications: An Eco-Friendly Approach. *Nanomedicine & Nanotechnology*, 4(2): 1-7.
- Iravani S** (2011). Green Synthesis of Metal Nanoparticles Using Plants. *Green Chemistry*, 13(10): 2638–2650.
- Ishtiaq M, Al-Rashida M, Alharthy R D and Hameed A** (2020) Ionic Liquid-Based Colloidal Nanoparticles: Applications in Organic Synthesis. *Metal Nanoparticles for Drug Delivery and Diagnostic Applications*, Shah M R, Imran M and Ullah S (Ed.), 1st edition, ISBN: 978-0-12-816960-5, Elsevier, e-book, 279–299.
- Jain P K, Lee K S, El-sayed I H and El-sayed M A** (2006) Calculated Absorption and Scattering Properties of Gold Nanoparticles of Different Size, Shape, and Composition: Applications in Biological Imaging and Biomedicine. *The Journal of Physical Chemistry B*, 110(14): 7238–7248.
- Jana N R, Gearheart L and Murphy C J** (2001) Seeding Growth For Size Control of 5-40 nm Diameter Gold Nanoparticles. *Langmuir*, 17(22): 6782–6786.
- Jung C, Heo J, Han J, Her N, Lee S J, Oh J, Ryu J and Yoon Y** (2013) Hexavalent Chromium Removal by Various Adsorbents: Powdered Activated Carbon, Chitosan, and Single/Multi-Walled Carbon Nanotubes. *Separation and Purification Technology*, 106: 63–71.
- Jyoti K and Singh A** (2016) Green Synthesis of Nanostructured Silver Particles and Their Catalytic Application in Dye Degradation. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 14(2): 311–317.
- Karamian R and Kamalnejad J** (2019) Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Cuminum Cyminum Leaf Extract and Evaluation of Their Biological Activities. *Journal of Nanostructures*, 9(1): 74–85.
- Katheresan V, Kansedo J and Lau S Y** (2018) Efficiency of Various Recent Wastewater Dye Removal Methods A Review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(4): 4676–4697.
- Kathiravan V, Ravi S and Ashokkumar S** (2014) Synthesis of Silver Nanoparticles From Melia Dubia Leaf Extract and Their in Vitro Anticancer Activity. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 130: 116–121.
- Kavitha K S, Baker S, Rakshith D, Kavitha H U, Yashwantha R H C, Harini B P and Satish S** (2013) Plants as Green Source Towards Synthesis of Nanoparticles. *International Research Journal of Biological of Science*, 2(6): 66–76.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Kaviya S, Santhanalakshmi J, Viswanathan B, Muthumary J and Srinivasan K** (2011) Biosynthesis of Silver Nanoparticles Using Citrus Sinensis Peel Extract and Its Antibacterial Activity. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 79(3): 594–598.
- Keat C L, Aziz A, Eid A M and Elmarzugi N A** (2015) Biosynthesis of Nanoparticles and Silver Nanoparticles. *Bioresources and Bioprocessing*, 2(1): 1-11.
- Kesharwani J, Yoon K Y, Hwang J and Rai M** (2009) Phytofabrication of Silver Nanoparticles by Leaf Extract of Datura Metel: Hypothetical Mechanism Involved in Synthesis. *Journal of Bionanoscience*, 3(1): 39–44.
- Khalil M M H, Ismail E H, El-Baghdady K Z and Mohamed D** (2014) Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Olive Leaf Extract and Its Antibacterial Activity. *Arabian Journal of Chemistry*, 7(6): 1131–1139.
- Khan I, Abdalla A abd Qurashi A** (2016) Synthesis of Hierarchical WO₃ and Bi₂O₃/WO₃ Nanocomposite for Solar-driven Water Splitting Applications. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(5): 3431-3439.
- Khan I, Saeed K and Khan I** (2017) Nanoparticles: Properties, Applications and Toxicities. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(7): 908–931.
- Khan M, Khan M, Adil S F, Tahir M N, Tremel W, Alkhathlan H Z, Al-Warthan A, Rafiq M and Siddiqui H** (2013) Green Synthesis of Silver Nanoparticles Mediated by Pulicaria Glutinosa Extract. *Internation Journal of Nanomedicine*, 8: 1507–1516.
- Khodadadi B, Bordbar M and Nasrollahzadeh M** (2017) Achillea Millefolium L. Extract Mediated Green Synthesis of Waste Peach Kernel Shell Supported Silver Nanoparticles: Application of The Nanoparticles For Catalytic Reduction of A Variety of Dyes in Water. *Journal of Colloid and Interface Science*, 493: 85–93.
- Kiefer J, Grabow J and Kurland H** (2015) Characterization of Nanoparticles by Solvent Infrared Spectroscopy. *Analytical Chemistry*, 87(24): 12313–12317.
- Kiriyanthan R M, Sharmili S A, Balaji R, Jayashree S, Mahboob S, Al-Ghanim K A, Al-Misned F, Ahmed Z, Govindarajan M and Vaseeharan B** (2020) Photocatalytic, Antiproliferative and Antimicrobial Properties of Copper Nanoparticles Synthesized Using Manilkara Zapota Leaf Extract: A Photodynamic Approach. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 32: 102058.
- Kokura S, Handa O, Takagi T, Ishikawa T, Naito Y and Yoshikawa T** (2010) Silver Nanoparticles as a Safe Preservative For Use in Cosmetics. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, 6(4): 570–574.
- Korkmaz N, Ceylan Y, Taslimi P, Karadağ A, Bülbül A S and Şen F** (2020) Biogenic Nano Silver: Synthesis, Characterization, Antibacterial, Antibiofilms, And Enzymatic Activity. *Advanced Powder Technology*, 31(7): 2942–2950.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Kouvaris P, Delimitis A, Zaspalis V, Papadopoulos D, Tsipas S A and Michailidis N** (2012) Green Synthesis and Characterization of Silver Nanoparticles Produced Using Arbutus Unedo Leaf Extract. *Materials Letters*, 76: 18–20.
- Kuchibhatla S V N T, Karakoti A S, Baer D R, Samudrala S, Engelhard M H, Amonette J E, Thevuthasan S and Seal S** (2012) Influence of Aging and Environment on Nanoparticle Chemistry: Implication to Confinement Effects in Nanoceria. *The Journal of Physical Chemistry C*, 116 (26): 14108–14114.
- Kulkarni N and Muddapur U** (2014) Biosynthesis of Metal Nanoparticles: A Review. *Journal of Nanotechnology*, 2014: 1-8.
- Kumar A D, Palanichamy V and Roopan M S** (2014) Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Alternanthera Dentata Leaf Extract at Room Temperature and Their Antimicrobial Activity. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 127: 168–171.
- Kumar K V** (2006) Linear and Non-linear Regression Analysis for The Sorption Kinetics of Methylene Blue onto Activated Carbon. *Journal of Hazardous Materials*, 137(3): 1538–1544.
- Kumar M S, Supraja N and David E** (2019) Photocatalytic Degradation of Methylene Blue Using Silver Nanoparticles Synthesized from Gymnema Sylvestre and Antimicrobial Assay. *Novel Research in Sciences*, 2(2): 1-10.
- Kumar R, Ghoshal G G and Goyal M** (2017) Rapid Green Synthesis of Silver Nanoparticles (AgNPs) Using (Prunus persica) Plants extract: Exploring Its Antimicrobial and Catalytic Activities. *Journal of Nanomedicine & Nanotechnology*, 8(4): 2157-7439.
- Kumar R, Roopan S M, Prabhakarn A, Khanna V G and Chakroborty S** (2012) Agricultural Waste Annona Squamosa Peel Extract: Biosynthesis of Silver Nanoparticles. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 90: 173–176.
- Kumari A, Yadav S K and Yadav S C** (2010) Biodegradable Polymeric Nanoparticles Based Drug Delivery Systems. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 75(1): 1–18.
- Kuppusamy P, Yusoff M M, Maniam G P and Govindan N** (2016) Biosynthesis of Metallic Nanoparticles Using Plant Derivatives and Their New Avenues in Pharmacological Applications – An Updated Report. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 24(4): 473–484.
- Lai S L, Carlsson J R A and Allen L H** (1998) Melting Point Depression of Al Clusters Generated During The Early Stages of Film Growth: Nanocalorimetry Measurements. *Applied Physics Letters*, 72(9): 1098–1100.
- Landage S M, Wasif A and Dhuppe P** (2014) Synthesis of Nanosilver Using Chemical Reduction Methods. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Applied Sciences*, 3(5): 14–22.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Laurent S, Forge D, Port M, Roch A, Robic C, Elst L V and Muller R N** (2008) Magnetic Iron Oxide Nanoparticles: Synthesis, Stabilization, Vectorization, Physicochemical Characterizations, and Biological Applications. *Chemical Reviews*, 108: 2064–2110.
- Lazaridis N K, Bakoyannakis D N and Deliyanni E A** (2005) Chromium (VI) Sorptive Removal From Aqueous Solutions by Nanocrystalline Akaganèite. *Chemosphere*, 58(1): 65–73.
- Lee S, Choi S, Li S and Eastman J** (1999) Measuring Thermal Conductivity of Fluids Containing Oxide Nanoparticles. *J. Heat Transfer*, 121(2): 280–289.
- Lefebvre O and Moletta R** (2006) Treatment of Organic Pollution in Industrial Saline Wastewater: A Literature Review. *Water Research*, 40(20): 3671–3682.
- Liu D, Li C, Zhou F, Zhang T, Zhang H, Li X, Duan G, Cai W and Li Y** (2015) Rapid Synthesis of Monodisperse Au Nanospheres Through A Laser Irradiation -Induced Shape Conversion, Self-Assembly and Their Electromagnetic Coupling SERS Enhancement. *Scientific Reports*, 5(7686): 1–9.
- Liu J, Liu Y, Liu N, Han Y, Zhang X, Huang H, Lifshitz Y, Lee S, Zhong J and Kang Z** (2015) Metal-free Efficient Photocatalyst For Stable Visible Water Splitting via A Two-Electron Pathway. *Science*, 347(6225): 1–6.
- López-lorente Á I and Mizaikoff B** (2016) Recent Advances on The Characterization of Nanoparticles Using Infrared Spectroscopy. *Trends in Analytical Chemistry*, 84: 97–106.
- Loureiro A, Azoia N G, Gomes A C and Cavaco-paulo A** (2016) Albumin-Based Nanodevices as Drug Carriers. *Current Pharmaceutical Design*, 22(10): 1371–1390.
- Lukman A I, Gong B, Marjo C E, Roessner U and Harris A T** (2011) Facile Synthesis, Stabilization, and Anti-bacterial Performance of Discrete Ag Nanoparticles Using Medicago Sativa Seed Exudates. *Journal of Colloid And Interface Science*, 353(2): 433–444.
- Mabena L F, Ray S S, Mhlanga S D and Coville N J** (2011) Nitrogen-doped Carbon Nanotubes as A Metal Catalyst Support. *Applied Nanoscience*, 1(2): 67–77.
- Mahanty S, Chatterjee S, Ghosh S, Tudu P and Gaine T** (2020) Synergistic Approach Towards The Sustainable Management of Heavy Metals in Wastewater Using Mycosynthesized Iron Oxide Nanoparticles: Biofabrication, Adsorptive Dynamics and Chemometric Modeling Study. *Journal of Water Process Engineering*, 37: 101426.
- Mamalis A G** (2007) Recent Advances in Nanotechnology. *Journal of Materials Processing Technology*, 181(1-3): 52–58.
- Martis E, Badve R and Degwekar M** (2012) Nanotechnology Based Devices and Applications in Medicine: An Overview. *Chronicles of Young Scientists*, 3(1): 68–73.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Masoooleh A K, Ahmadikhah A and Saidi A** (2018) Green Synthesis of Stable Silver Nanoparticles by The Main Reduction Component of Green Tea (*Camellia sinensis* L.). *IET Nanobiotechnology*, 13(2): 183–188.
- Mccarthy D J, Malhotra M, O'Mahony A M, Cryan J F and O'Driscoll C M** (2014) Nanoparticles and The Blood-Brain Barrier: Advancing From in-vitro Models Towards Therapeutic Significance. *Pharmaceutical Research*, 32(4): 1161–1185.
- Merga G, Wilson R, Lynn G, Milosavljevic B H, Meisel D, Carolina N and June R V** (2007) Redox Catalysis on “ Naked ” Silver Nanoparticles. *The Journal of Physical Chemistry C*, 111(3): 12220–12226.
- Mittal A K, Chisti Y and Banerjee U C** (2013) Synthesis of Metallic Nanoparticles Using Plant Extracts. *Biotechnology Advances*, 31(2): 346–356.
- Moghaddam K M** (2010) An Introduction to Microbial Metal Nanoparticle Preparation Method. *Journal of Young Investigators*, 19(19): 1-6.
- Mohmood I, Lopes C B, Lopes I, Ahmad I, Duarte A C and Pereira E** (2013) Nanoscale Materials and Their Use in Water Contaminants Removal—A Review. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(3): 1239–1260.
- Moussavi G and Mahmoudi M** (2009) Removal of Azo and Anthraquinone Reactive Dyes From Industrial Wastewaters Using MgO Nanoparticles. *Journal of Hazardous Materials*, 168(2-3): 806–812.
- Mudunkotuwa I A, Pettibone J M and Grassian V H** (2012) Environmental Implications of Nanoparticle Aging in the Processing and Fate of Copper-Based Nanomaterials. *Environmental Science & Technology*, 46(13): 7001–7010.
- Mueller N C and Nowack B** (2008) Exposure Modeling of Engineered Nanoparticles in The Environment. *Environmental Science & Technology*, 42(12): 4447–4453.
- Mukherjee P, Ahmad A, Mandal D, Senapati S, Sainkar S R, Khan M I, Parishcha R, Ajaykumar P V, Alam M, Kumar R and Sastry M** (2001) Fungus-Mediated Synthesis of Silver Nanoparticles and Their Immobilization in the Mycelial Matrix: A Novel Biological Approach to Nanoparticle Synthesis. *Nano Letters*, 1(10): 515–519.
- Muthu K and Priya S** (2017) Green Synthesis, Characterization and Catalytic Activity of Silver Nanoparticles Using *Cassia Auriculata* Flower Extract Separated Fraction. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 179: 66–72.
- Muthukumar H and Manickam M** (2015) *Amaranthus Spinosa* Leaf Extract Mediated FeO Nanoparticles: Physicochemical Traits, Photocatalytic and Antioxidant Activity. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 3(12): 3149–3156.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Muzzio M, Li J, Yin Z, Delahunty I M, Xie J and Sun S** (2019) Monodisperse Nanoparticles For Catalysis and Nanomedicine. *Nanoscale*, 11(41): 18946–18967.
- Nadagouda M N and Varma R S** (2008) Green Synthesis of Silver and Palladium Nanoparticles at Room Temperature Using Coffee and Tea Extract. *Green Chemistry*, 10(8): 859–886.
- Naikoo G A, Mustaqeem M, Hassan I U, Awan T, Arshad F, Salim H and Qurashi A** (2021) Bioinspired and Green Synthesis of Nanoparticles From Plant Extracts with Antiviral and Antimicrobial Properties: A Critical Review. *Journal of Saudi Chemical Society*, 25(9): 101304.
- Nair G M, Sajini T and Mathew B** (2022) Advanced Green Approaches for Metal and Metal Oxide Nanoparticles Synthesis and Their Environmental Applications. *Talanta Open*, 5: 100080.
- Nakkala J R, Mata R, Gupta A K and Sadras S R** (2014) Biological Activities of Green Silver Nanoparticles Synthesized with Acorous Calamus Rhizome Extract. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 85: 784–794.
- Narayanan K B and Park H H** (2014) Antifungal Activity of Silver Nanoparticles Synthesized Using Turnip Leaf Extract (*Brassica rapa* L.) Against Wood Rotting Pathogens. *European Journal of Plant Pathology*, 140: 185–192.
- Nasrollahzadeh M, Sajadi S M, Sajjadi M and Issaabadi Z** (2019) Applications of Nanotechnology in Daily Life. *An Introduction to Green Nanotechnology*, Nasrollahzadeh M, Sajadi S M, Atarod M, Sajjadi M and Issaabadi Z (Ed.), 1st edition, ISBN: 9780128135877, Elsevier, e-book, 113–143.
- Nath D and Banerjee P** (2013) Green Nanotechnology - A New Hope For Medical Biology. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 36 (3): 997–1014.
- Nethaji S, Sivasamy A and Mandal A B** (2013) Adsorption Isotherms, Kinetics and Mechanism for The Adsorption of Cationic and Anionic Dyes Onto Carbonaceous Particles Prepared From Juglans Regia Shell Biomass. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 10(2): 231–242.
- Ngoy J M, Wagner N, Riboldi L and Bolland O** (2014) A CO₂ Capture Technology Using Multi-walled Carbon Nanotubes with Polyaspartamide Surfactant. *Energy Procedia*, 63: 2230–2248.
- Nie M, Sun K and Meng D D** (2009) Formation of Metal Nanoparticles by Short-Distance Sputter Deposition in A Reactive Ion Etching Chamber. *Journal of Applied Physics*, 106(5): 4314-054314.
- Nikalje A P** (2015) Nanotechnology and Its Applications in Medicine. *Medicinal Chemistry*, 5(2): 81–89.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Ning F, Shao M, Xu S, Fu Y, Zhang R, Wei M, Evans D G and Duan X** (2016) TiO₂/graphene/NiFe-layered Double Hydroxide Nanorod Array Photoanodes For Efficient Photoelectrochemical Water Splitting. *Energy & Environmental Science*, 9(8): 2633–2643.
- Noah N** (2019) Green Synthesis: Characterization and Application of Silver and Gold Nanoparticles. *Green Synthesis, Characterization and Applications of Nanoparticles*, Shukla A K and Iravani S (Ed.), 1st edition, ISBN: 978-0-08-102579-6, Elsevier, e-book, 111–135.
- Noginov M A, Zhu G, Bahoura M, Adegoke J, Small C, Ritzo B A, Drachev V P and Shalaev V M** (2007) The effect of gain and absorption on surface plasmons in metal nanoparticles. *Applied Physics B: Lasers and Optics*, 86(3): 455–460.
- Oliveira J P, Prado A R, Keijok W J, Ribeiro M R N, Pontes M J, Nogueira B V and Guimarães M C C** (2020) A Helpful Method For Controlled Synthesis of Monodisperse Gold Nanoparticles Through Response Surface Modeling. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(1): 216–226.
- Özveri C** (2006) Adsorption of Malachite Green Onto Chitosan From Aqueous Solution. *Master Thesis*, Dokuz Eylül University, Graduate School of Natural Applied Sciences, Department of Chemistry, İzmir, 60 p.
- Pal G, Rai P, and Pandey A** (2019) Green Synthesis of Nanoparticles: A greener Approach For A Cleaner Future. *Green Synthesis, Characterization and Applications of Nanoparticles*, Shukla A K and Iravani S (Ed.), 1st edition, ISBN: 978-0-08-102579-6, Elsevier, e-book, 1–26.
- Panda D and Tseng T Y** (2013) One-dimensional ZnO Nanostructures: Fabrication, Optoelectronic Properties, and Device Applications. *Journal of Materials Science*, 48(20): 6849–6877.
- Paskevicius M, Webb J, Pitt M P, Blach T P, Hauback B C, Gray E M A and Buckley C E** (2009) Mechanochemical Synthesis of Aluminium Nanoparticles and Their Deuterium Sorption Properties to 2 kbar. *Journal of Alloys and Compounds*, 481(1–2): 595–599.
- Pasupuleti V R, Prasad T, Shiekh R A, Balam S K, Narasimhulu G, Reddy C S, Rahman I A and Gan S H** (2013) Biogenic Silver Nanoparticles Using Rhinacanthus Nasutus Leaf Extract: Synthesis, Spectral Analysis, and Antimicrobial Studies. *International Journal of Nanomedicine*, 8: 3355–3364.
- Patra J K and Baek K** (2014) Green Nanobiotechnology: Factors Affecting Synthesis. *Journal of Nanomaterials*, 2014: 1-12.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Patra J K, Das G and Baek K H** (2016) Phyto-mediated Biosynthesis of Silver Nanoparticles Using The Rind Extract of Watermelon (*Citrullus Lanatus*) Under Photo-catalyzed Condition and Investigation of Its Antibacterial, Anticandidal and Antioxidant Efficacy. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 161: 200–210.
- Paul J A J, Selvi B K and Karmegam N** (2015) Biosynthesis of Silver Nanoparticles From *Premna Serratifolia* L. Leaf and Its Anticancer Activity in CCl₄-induced Hepato-cancerous Swiss Albino Mice. *Applied Nanoscience*, 5(8): 937–944.
- Pedersen H and Elliott S D** (2014) Studying Chemical Vapor Deposition Processes with Theoretical Chemistry. *Theoretical Chemistry Accounts*, 133(5): 1–10.
- Puri A, Loomis K, Smith B, Lee J, Yavlovich A, Heldman E and Blumenthal R** (2009) Lipid-Based Nanoparticles as Pharmaceutical Drug Carriers From Concepts to Clinic. *Critical Reviews in Therapeutic. Drug Carrier Systems*, 26(6): 523–580.
- Rafique M, Sadaf I, Rafique M S and Tahir M B** (2017) A Review on Green Synthesis of Silver Nanoparticles and Their Applications. *Artificial Cells, Nanomedicine and Biotechnology*, 45(7): 1272–1291.
- Rafique M, Tahir M B, Rafique M S, and Hamza M** (2020) History and Fundamentals of Nanoscience and Nanotechnology. *Nanotechnology and Photocatalysis for Environmental Applications*, Rafique M, Tahir M B, Rafique M S, and Hamza M (Ed.), 1st edition, ISBN: 978-0-12-821192-2, Elsevier, e-book, 1–25.
- Raghav S, Yadav P K and Kumar D** (2020) Nanotechnology for a sustainable future. *Handbook of Nanomaterials for Manufacturing Applications*, Hussain C M (Ed.), 1st edition, ISBN: 978-0-12-821381-0, Elsevier, e-book, 465–492.
- Rajakumar G and Rahuman A A** (2011) Larvicidal Activity of Synthesized Silver Nanoparticles Using *Eclipta Prostrata* Leaf Extract Against Filariasis and Malaria Vectors. *Acta Tropica*, 118(3): 196–203.
- Rajasekar R, Samuel M, Edison T N J I and Raman N** (2021) Sustainable Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Alstonia Scholaris* for Enhanced Catalytic Degradation of Methylene Blue. *Journal of Molecular Structure*, 1246: 131208.
- Rajeshkumar S and Bharath L V** (2017) Mechanism of Plant-Mediated Synthesis of Silver Nanoparticles – A Review on Biomolecules Involved, Characterisation and Antibacterial Activity. *Chemico-Biological Interactions*, 273: 219–227.
- Rajput N** (2015) Methods Of Preparation of Nanoparticles – A Review. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 7(4): 1806–1811.
- Ramkumar V S, Pugazhendhi A, Gopalakrishnan K, Sivagurunathan P, Saratale G D, Dung T. N B and Kannapiran E** (2017) Biofabrication and Characterization of Silver Nanoparticles Using Aqueous Extract of Seaweed *Enteromorpha Compressa* and Its Biomedical Properties. *Biotechnology Reports*, 14: 1–7.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Ramteke C, Chakrabarti T, Sarangi B K and Pandey R A** (2012) Synthesis of Silver Nanoparticles From The Aqueous Extract of Leaves of Ocimum Sanctum For Enhanced Antibacterial Activity. *Journal of Chemistry*, 2013(2013): 1507-1516.
- Rane A V, Kanny K, Abitha V K and Thomas S** (2018) Methods For Synthesis of Nanoparticles and Fabrication of Nanocomposites. *Synthesis of Inorganic Nanomaterials*, Bhagyaraj S M, Oluwafemi O S, Kalarikkal N, Thomas S (Ed.), 1st edition, ISBN: 978-0-08-101975-7, Woodhead Publishing, e-book, 121–139.
- Rao J P and Geckeler K E** (2011) Progress in Polymer Science Polymer Nanoparticles: Preparation Techniques and Size-control Parameters. *Progress in Polymer Science*, 36(7): 887–913.
- Rastogi A, Singh P, Haraz F A and Barhoum A** (2018) Biological Synthesis of Nanoparticles: An Environmentally Benign Approach. *Fundamentals of Nanoparticles: Classifications, Synthesis Methods, Properties and Characterization*, Barhoum A and Makhoulouf A S H (Ed.), 1st edition, ISBN: 978-0-323-51255-8, Elsevier, e-book, 571–604.
- Rauwel P, Küünal S, Ferdov S and Rauwel E** (2014) A Review on The Green Synthesis of Silver Nanoparticles and Their Morphologies Studied via TEM. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2015: 1–9.
- Raveendran P, Fu J and Wallen L S** (2003) Completely “Green” Synthesis and Stabilization of Metal Nanoparticles. *Journal of the American Chemical Society*, 125(46): 13940–13941.
- Rawat M K, Jain A and Singh S** (2011) Studies on Binary Lipid Matrix Based Solid Lipid Nanoparticles of Repaglinide: in Vitro and in Vivo Evaluation. *Pharmaceutical Nanotechnology*, 100(6): 2366–2378.
- Reina A, Jia X, Ho J, Nezich D, Son H, Bulovic V, Dresselhaus M S and Kong J** (2008) Large Area, Few-Layer Graphene Films on Arbitrary Substrates by Chemical Vapor Deposition. *Nano Letters*, 9(1): 30–35.
- Reiss G and Hütten A** (2005) Magnetic Nanoparticles Applications Beyond Data Storage. *Nature Materials*, 4: 725–726.
- Riedel S and Kaupp M** (2009) The Highest Oxidation States of The Transition Metal Elements. *Coordination Chemistry Reviews*, 253: 606–624.
- Rohaizad A, Shahabuddin S, Muhammad S M, Nur R M, Hir Z A M, Ramly M.M, Awangd K, Sionga C W and Aspanut Z** (2020) Green Synthesis of Silver Nanoparticles From Catharanthus Roseus Dried Bark Extract Deposited on Graphene Oxide For Effective Adsorption of Methylene Blue Dye. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(4): 103955.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Rout A, Jena P K, Parida U K and Bindhani B K** (2015) Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Leaves Extract of *Centella Asiatica* L. For Studies Against Human Pathogens. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 4(4): 661–674.
- Roy A, Elzaki A, Tirth V, Kajoak S, Osman H, Algahtani A, Islam S, Faizo N L, Khandaker M U, Islam M N and Emran T B** (2021) Biological Synthesis of Nanocatalysts and Their Applications. *Catalysis*, 11(1494): 1–22.
- Ruíz-Baltazar Á** (2020) Kinetic Adsorption Models of Silver Nanoparticles Biosynthesized by *Cnicus Benedictus*: Study of The Photocatalytic Degradation of Methylene Blue and Antibacterial Activity. *Inorganic Chemistry Communications*, 120: 108158.
- Rupiasih N N, Aher A, Gosavi S and Vidyasagar P** (2013) Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Latex Extract of *Thevetia Peruviana*: A Novel Approach Towards Poisonous Plant Utilization. *Journal of Physics: Conference Series*, 423(1): 1-9.
- Sadeghi B and Gholamhoseinpoor F** (2015) A Study on The Stability and Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Ziziphora Tenuior* (Zt) Extract at Room Temperature. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 134: 310–315.
- Sadeghi B Rostami A and Momeni S S** (2015) Facile Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Seed Aqueous Extract of *Pistacia Atlantica* and Its Antibacterial Activity. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 134: 326–332.
- Saeed K and Khan I** (2016) Preparation and Characterization of Single-walled Carbon Nanotube/nylon 6, 6 Nanocomposites. *Instrumentation Science and Technology*, 44(4): 435–444.
- Safaepour M, Shahverdi A R, Shahverdi H R, Khorramizadeh M R and Gohari A R** (2009) Green Synthesis of Small Silver Nanoparticles Using Geraniol and Its Cytotoxicity Against Fibrosarcoma-Wehi 164. *Avicenna J Med Biotech*, 1(2): 111–115.
- Saha J, Begum A, Mukherjee A and Kumar S** (2017) A Novel Green Synthesis Of Silver Nanoparticles and Their Catalytic Action In Reduction Of Methylene Blue Dye. *Sustainable Environment Research*, 27(5): 245–250.
- Sajanlal P R, Sreeprasad T S, Samal A K and Pradeep T** (2011) Anisotropic Nanomaterials: Structure, Growth, Assembly, and Functions. *Nano Reviews*, 2(1): 5883.
- Salam H A, Sivaraj R and R V** (2014) Green Synthesis and Characterization of Zinc Oxide Nanoparticles From *Ocimum Basilicum* L. var. *Purpurascens* Benth.-Lamiaceae Leaf Extract. *Materials Letters*, 131: 16–18.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Sangeetha G, Rajeshwari S and Venckatesh R** (2011) Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles by Aloe Barbadensis Miller Leaf Extract: Structure and Optical Properties. *Materials Research Bulletin*, 46(12): 2560–2566.
- Sannino D, Vaiano V, Sacco O and Ciambelli P** (2013) Mathematical Modelling of Photocatalytic Degradation of Methylene Blue Under Visible Light Irradiation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1(1–2): 56–60.
- Santhoshkumar T, Rahuman A A, Rajakumar G, Marimuthu S, Bagavan A, Jayaseelan C, AbdulZahir A, Elango G and Kamaraj C** (2011) Synthesis of Silver Nanoparticles Using Nelumbo Nucifera Leaf Extract and Its Larvicidal Activity Against Malaria and Filariasis Vectors. *Parasitol Research*, 108(3): 693–702.
- Sastry M, Patil V and Sainkar S R** (1998) Electrostatically Controlled Diffusion of Carboxylic Acid Derivatized Silver Colloidal Particles in Thermally Evaporated Fatty Amine Films. *Journal of Physical Chemistry B*, 102(8): 1404–1410.
- Sathishkumar M, Sneha K and Yun Y** (2010) Immobilization of Silver Nanoparticles Synthesized Using Curcuma Longa Tuber Powder and Extract on Cotton Cloth for Bactericidal Activity. *Bioresource Technology*, 101(20): 7958–7965.
- Sau T K, Pal A, Jana N R, Wang Z L and Pal T** (2001) Size Controlled Synthesis of Gold Nanoparticles Using Photochemically Prepared Seed Particles. *Journal of Nanoparticle Research*, 3(4): 257–261.
- Schirmer R H, Adler H, Pickhardt M and Mandelkow E** (2011) Lest We Forget You - Methylene Blue. *Neurobiology of Aging*, 32(12): 7-16.
- Sharma R, Bisen D P, Shukla U and Sharma B G** (2012) X-ray Diffraction: A Powerful Method of Characterizing Nanomaterials. *Recent Research in Science and Technology*, 4(8): 77–79.
- Sharma V K, Yngard R A and Lin Y** (2009) Silver Nanoparticles: Green Synthesis and Their Antimicrobial Activities. *Advances in Colloid and Interface Science*, 145(1–2): 83–96.
- Sigmund W, Yuh J, Park H, Maneeratana V, Pyrgiotakis G, Daga A, Taylor J and Nino J C** (2006) Processing and Structure Relationships in Electrospinning of Ceramic Fiber Systems. *Journal of the American Ceramic Society*, 89(2): 395–407.
- Silva L P, Reis I G and Bonatto C C B** (2015) Green Synthesis of Metal Nanoparticles by Plants: Current Trends and Challenges. *Green Processes for Nanotechnology*, Basiuk V A and Basiuk E V (Ed.), 1st edition, ISBN: 978-3-319-15461-9, Springer, e-book, 259–275).
- Singh A K** (2016a) Experimental Methodologies for the Characterization of Nanoparticles. *Engineered Nanoparticles: Structure, Properties and Mechanisms of Toxicity*, Singh A K (Ed.), 1st edition, ISBN: 978-0-12-801406-6, Academic Press, e-book, 125–170.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Singh A K** (2016b) Introduction to Nanoparticles and Nanotoxicology. *Engineered Nanoparticles: Structure, Properties and Mechanisms of Toxicity*, Singh A K (Ed.), 1st edition, ISBN: 978-0-12-801406-6, Academic Press, e-book, 1–18.
- Singh A K** (2016c) Structure, Synthesis, and Application of Nanoparticles. İçinde *Engineered Nanoparticles: Structure, Properties and Mechanisms of Toxicity*, Singh A K (Ed.), 1st edition, ISBN: 978-0-12-801406-6, Academic Press, e-book, 19–76.
- Singh T, Jyoti K, Patnaik A, Chauhan R and Kumar N** (2016) Application of Silver Nanoparticles Synthesized From Raphanus Sativus For Catalytic Degradation of Organic Dyes. *MATEC Web of Conferences*, 57(1): 4–6.
- Sherin L, Sohail A, Amjad U, Mustafa M, Jabeen R and Ul-Hamid A** (2020) Facile Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Terminalia Bellerica Kernel Extract For Catalytic Reduction of Anthropogenic Water Pollutants. *Colloids and Interface Science Communications*, 37: 100276.
- Shetty P, Supraja N, Garud M and Prasad T N V K V** (2014) Synthesis, Characterization and Antimicrobial Activity of Alstonia Scholaris Bark-Extract-Mediated Silver Nanoparticles. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 4: 161–170.
- Shnoudeh A J, Hamad I, Abdo R W, Qadumii L, Jaber A Y, Surchi H S, and Alkelany S Z** (2019) Synthesis, Characterization, and Applications of Metal Nanoparticles. *Biomaterials and Bionanotechnology*, Tekade R K (Ed.), 1st edition, ISBN: 978-0-12-814427-5, Academic Press, e-book, 527–612.
- Song J Y and Kim B S** (2009) Rapid Biological Synthesis Of Silver Nanoparticles Using Plant Leaf Extracts. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 32(1): 79–84.
- Song J Y, Kwon E Y and Kim B S** (2010) Biological Synthesis of Platinum Nanoparticles Using Diopyros Kaki Leaf Extract. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 33(1): 159–164.
- Soshnikova V, Kim Y J, Singh P, Huo Y, Markus J, Ahn S, Castro-Aceituno V, Kang J, Chokkalingam M, Mathiyalagan R and Yang D C** (2018) Cardamom Fruits as A Green Resource For Facile Synthesis of Gold and Silver Nanoparticles and Their Biological Applications. *Artificial Cells, Nanomedicine and Biotechnology*, 46(1): 108–117.
- Stenzel O, Heger P and Kaiser N** (2003) The Optical Response of Silver Island Films Embedded in Fluoride and Oxide Optical Materials. *Physics, Chemistry and Application of Nanostructures*, Borisenko V E, Gaponenko S V and Gurin V S (Ed.), 1st edition, ISBN: 978-981-279-673-8, Metric, e-book, 158–163.
- Sun Q, Cai X, Li J, Zheng M, Chen Z and Yu C** (2014) Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Tea Leaf Extract and Evaluation of Their Stability and Antibacterial Activity. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 444: 226–231.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Sun S, Murray C B, Weller D, Folks L and Moser A** (2000) Monodisperse FePt Nanoparticles and Ferromagnetic FePt Nanocrystal Superlattices. *Science*, 80(287): 1989–1992.
- Şentürk H B, Özdeş D and Duran C** (2010) Biosorption of Rhodamine 6G From Aqueous Solutions Onto Almond Shell (*Prunus dulcis*) as A Low Cost Biosorbent. *Desalination*, 252(1–3): 81–87.
- Tavakoli A, Sohrabi M and Kargari A** (2007) A Review of Methods for Synthesis of Nanostructured Metals with Emphasis on Iron Compounds. *Chemical Papers*, 61(3): 151–170.
- Thakkar K N, Mhatre S S, and Parikh R Y** (2010) Biological Synthesis of Metallic Nanoparticles. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, 6(2): 257–262.
- Theydan S K and Ahmed M J** (2012) Adsorption of Methylene Blue onto Biomass-Based Activated Carbon by FeCl₃ Activation: Equilibrium, Kinetics, and Thermodynamic Studies. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 97: 116–122.
- Tiwari D K and Behari J and Sen P** (2008) Applications of Nanoparticles in Wastewater Treatment. *Nanotechnology in the Life Sciences*, 3(3): 395–418.
- Tiwari J N, Tiwari R N and Kim K S** (2012) Zero-dimensional, One-Dimensional, Two-Dimensional and Three-Dimensional Nanostructured Materials For Advanced Electrochemical Energy Devices. *Progress in Materials Science*, 57(4): 724–803.
- Toptaş A** (2013) Use of Cheap Adsorbent For The Removal Various Dyes From Aqueous Solution by Adsorption Method. *Master Thesis*, Ege University, Graduate School of Natural And Applied Sciences, Department of Chemistry, İzmir, 60 p.
- Toudert J** (2013) Modeling and Optical Characterization of The Localized Surface Plasmon Resonances of Tailored Metal Nanoparticles. *UV-VIS and Photoluminescence Spectroscopy for Nanomaterials Characterization*, Kumar C (Ed.), 1st edition, ISBN: 978-3-642-27594-4, Springer, e-book, 231–285.
- Tran Q H, Nguyen V Q and Le A** (2013) Silver Nanoparticles: Synthesis, Properties, Toxicology, Applications and Perspectives. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 4(3): 033001.
- Tratnyek P G and Johnson R L** (2006) Nanotechnologies For Environmental Cleanup. *Nanotoday*, 1(2): 44–48.
- Tsuzuki T and McCormick P G** (2004) Mechanochemical Synthesis of Nanoparticles. *Journal of Materials Science*, 39(16–17): 5143–5146.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Utsunomiya S and Ewig R C** (2003) Application of High-Angle Annular Dark Field Scanning Transmission Electron Microscopy, Scanning Transmission Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray Spectrometry, and Energy-Filtered Transmission Electron Microscopy to the Characterization of Nanoparticles in the Environment. *Environmental Science & Technology*, 37(4): 786–791.
- Vanaja M, Paulkumar K, Baburaja M, Rajeshkumar S, Gnanajobitha G, Malarkodi C, Sivakavinesan M and Annadurai G** (2014) Degradation of Methylene Blue Using Biologically Synthesized Silver Nanoparticles. *Bioinorganic Chemistry and Applications*, 2014: 1-8.
- Velgosová O, Mražíková A and Marcinčáková R** (2016) Influence of pH on Green Synthesis of Ag Nanoparticles. *Materials Letters*, 180: 336–339.
- VenkataRao P, SaiTarun G, Govardhani C, Manasa B, Joy J P and Vangalapati M** (2020) Biosorption of Congo Red Dye From Aqueous Solutions Using Synthesized Silver Nano Particles of Grevillea Robusta: Kinetic Studies. *Materials Today: Proceedings*, 26: 3009–3014.
- Verma A and Mehata M S** (2016) Controllable Synthesis of Silver Nanoparticles Using Neem Leaves and Their Antimicrobial Activity. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 9(1): 109–115.
- Vidhu V K and Philip D** (2014) Catalytic Degradation of Organic Dyes Using Biosynthesized Silver Nanoparticles. *Micron*, 56: 54–62.
- Vijayaraghavan K and 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(5): 4866-4883.
- Wang D and Su D** (2014) Heterogeneous Nanocarbon Materials For Oxygen. *Energy & Environmental Science*, 7(2): 576–591.
- Wang M Y, Shen T, Wang M, Zhang D and Chen J** (2013) One-pot Green Synthesis of Ag Nanoparticles-decorated Reduced Graphene Oxide For Efficient Nonenzymatic H₂O₂ Biosensor. *Materials Letters*, 107: 311–314.
- Wang Y and Xia Y** (2004) Bottom-Up and Top-Down Approaches to The Synthesis of Monodispersed Spherical Colloids of Low Melting-Point Metals. *Nano Letters*, 4(10): 2047–2050.
- Wanyonyi W C, Onyari J M and Shiundu P M** (2014) Adsorption of Congo Red Dye From Aqueous Solutions Using Roots of Eichhornia Crassipes: Kinetic and Equilibrium Studies. *Energy Procedia*, 50: 862–869.
- Yalçın A** (2016) Adi Fiğ’ den Elde Edilen Aktif Karbonun Sulu Çözeltilerdeki Adsorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 76 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Yang Y, Wang G, Wang B, Li Z, Jia X, Zhou Q and Zhao Y** (2011) Biosorption of Acid Black 172 and Congo Red From Aqueous Solution by Nonviable *Penicillium* YW 01 Kinetic Study, Equilibrium Isotherm and Artificial Neural Network Modeling. *Bioresource Technology*, 102(2): 828–834.
- Yılmaz E** (2019) Çörek Otu Küspesinden Hazırlanan Biyosorbent Yüzeyine Boyar Madde Adsorpsiyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Balıkesir, 71 s.
- Yokoyama T** (2018) Basic Properties and Measuring Methods of Nanoparticles. *Nanoparticle Technology Handbook*, Hosokawa M, Nogi K, Naito M and Yokoyama T (Ed.), 1st edition, ISBN: 978-0-444-53122-3, Elsevier Science, e-book, 3–48.
- Zhang Z and Lin P C** (2018) Noble Metal Nanoparticles: Synthesis, and Biomedical Implementations. *Emerging Applications of Nanoparticles and Architectural Nanostructures*, Barhoum A and Makhoulf A S H (Ed.), 1st edition, ISBN: 978-0-323-51254-1, Elsevier, e-book, 177–233.



ÖZGEÇMİŞ

Busenur Baykal, İlk ve ortaöğretimini Arif Nihat Asya İlköğretim okulunda tamamladı. Lise öğrenimini Necatibey Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'nde Gıda Teknolojisi-Gıda Kontrol alanında tamamladıktan sonra 2013 yılında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2018 yılında Çevre Mühendisliği Bölümü'nden başarı ile mezun olarak aynı yıl Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Çaycuma Meslek Yüksekokulu'nda Uygulamalı İngilizce Çevirmenlik bölümünde önlisans eğitimine başladı ve 2020 yılında başarı ile mezun oldu. 2018-2019 öğretim yılı bahar döneminde Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı.