

**AFYONKARAHİSAR BÖLGESİ ENDEMİK BİTKİLERİ EKSTRAKTLARINI
KULLANARAK GÜMÜŞ NANOPARTİKÜLLERİN YEŞİL SENTEZİ;
ANTİBAKTERİYEL, ANTİOKSİDAN VE ANTİFUNGAL AKTİVİTELERİ
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gözde KILIÇ

Danışman

Prof. Dr. Atilla EVCİN

İkinci Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mürüvvet KURT

NANOBİLİM VE NANOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2025

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AFYONKARAHİSAR BÖLGESİ ENDEMİK BİTKİLERİ
EKSTRAKTLARINI KULLANARAK GÜMÜŞ
NANOPARTİKÜLLERİN YEŞİL SENTEZİ; ANTİBAKTERİYEL,
ANTİOKSİDAN VE ANTİFUNGAL AKTİVİTELERİ
ARAŞTIRILMASI

GÖZDE KILIÇ

Danışman

PROF. DR. ATILLA EVCİN

İkinci Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mürüvvet KURT

NANOBİLİM VE NANOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2025

TEZ ONAY SAYFASI

Gözde KILIÇ tarafından hazırlanan “Afyonkarahisar Bölgesi Endemik Bitkileri Ekstraktlarını Kullanarak Gümüş Nanopartiküllerin Yeşil Sentezi; Antibakteriyel, Antioksidan ve Antifungal Aktiviteleri Araştırılması” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca GG / AA / YYYY tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Nanobilim ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Atilla EVCİN

İkinci Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Mürüvvet KURT

Başkan : Ünvanı Adı SOYADI
Üniversite adı, Fakültesi

..... İmza

Üye : Ünvanı Adı SOYADI
Üniversite adı, Fakültesi

..... İmza

Üye : Ünvanı Adı SOYADI
Üniversite adı, Fakültesi

..... İmza

Üye : Ünvanı Adı SOYADI
Üniversite adı, Fakültesi

..... İmza

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Bekir YALÇIN

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

04 / 07 / 2025

İmza

Gözde KILIÇ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AFYONKARAHİSAR BÖLGESİ ENDEMİK BİTKİLERİ EKSTRATLARINI KULLANARAK GÜMÜŞ NANOPARTİKÜLLERİN YEŞİL SENTEZİ; ANTİBAKTERİYEL, ANTİOKSİDAN VE ANTİFUNGAL AKTİVİTELERİ ARAŞTIRILMASI

Gözde KILIÇ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Nanobilim ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Atilla EVCİN

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mürüvvet KURT

Bu çalışmada, adaçayı, eber sarısı, çoban çökerten ve sığırkuyruğu gibi bitkiler oda sıcaklığında kurutulup toz haline getirilmiş, ardından çift distile su ile 60–80 °C’de manyetik karıştırıcı eşliğinde ekstrakte edilmiştir. Elde edilen özütler rotary evaporatörle çözücülerinden arındırılarak steril koşullarda saklanmıştır. Gümüş nanopartiküllerin (AgNP) yeşil sentezi için bu özütler, farklı derişimlerdeki gümüş nitrat çözeltileriyle karıştırılmış; renk değişimi ile oluşum gözlemlenmiş, ardından santrifüj, yıkama ve kurutma işlemleri uygulanmıştır. Karakterizasyon için SEM, TEM, XRD, FTIR ve UV analizleri gerçekleştirilmiş; antibakteriyel, antifungal ve antioksidan etkiler incelenmiştir. Gümüş iyonlarının indirgenme süreçleri, ince tabaka kromatografisi (TLC) ile takip edilerek reaksiyon kontrolü sağlanmıştır. Bu kapsamda, bitki özütlerinin fenolik içeriğinin nanoparçacık sentezinde etkili olduğu gösterilmiştir.

2025, x + 106 sayfa

Anahtar Kelimeler: Gümüş nanopartikül 1, Gümüş nanokolloid 2, Yeşil sentez 3, Afyonkarahisar endemiği 4, Antibakteriyal 5, Antioksidan 6.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

GREEN SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES USING AFYONKARAHISAR REGION ENDEMIC PLANTS EXTRACTS; INVESTIGATION OF ANTIBACTERIAL, ANTIOXIDANT AND ANTIFUNGAL ACTIVITIES

Gözde KILIÇ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Nanoscience and Nanotechnology

Supervisor: Prof. Atilla EVCIN

Co-Supervisor: Asst. Prof. Mürüvvet KURT

In this study, plants such as sage, eber yellow, puncture vine, and mullein were dried at room temperature and ground into powder, then extracted with double-distilled water at 60–80 °C with a magnetic stirrer. The resulting extracts were purified from their solvents using a rotary evaporator and stored under sterile conditions. For the green synthesis of silver nanoparticles (AgNP), these extracts were mixed with silver nitrate solutions of different concentrations; the formation was observed by color change, followed by centrifugation, washing, and drying processes. Characterization was performed using SEM, TEM, XRD, FTIR, and UV analyses, and antibacterial, antifungal, and antioxidant effects were investigated. The reduction processes of silver ions were monitored using thin-layer chromatography (TLC) to control the reaction. In this context, it was demonstrated that the phenolic content of plant extracts is effective in nanoparticle synthesis.

2025, x + 106 pages

Keywords: Silver nanoparticles (AgNPs) 1, Silver nanocolloid 2, Green synthesis 3, Afyonkarahisar endemic 4, Antibacterial 5, Antioxidant 6.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Atilla EVCİN, araştırma ve deneysel çalışmalarımda katkı sağlayan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mürüvvet KURT'a her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca her zaman destekleyici tutumuyla motivasyonumu artıran, akademik ve kişisel gelişimime önemli katkılarda bulunan sayın müdürüm Sulün CAN'a anlayışı ve rehberliğiyle bu süreci daha verimli ve anlamlı kılan kıymetli katkılarından dolayı teşekkür ederim. Bu süreçte manevi desteğiyle daima yanımda olan, sabrıyla, anlayışıyla ve sevgisiyle bana güç veren kıymetli eşim Emre KILIÇ ve oğlum Ali Asaf KILIÇ'a sonsuz teşekkür ederim. Bu süreci bu denli kararlılıkla tamamlamam yoğun geçen tez çalışmam boyunca gösterdikleri sabır, fedakârlık ve teşvik edici tutumlarıyla maddi ve manevi destekleri dolayı babam Mustafa BOR'a ve aileme teşekkür ederim.

Gözde KILIÇ
Afyonkarahisar 2025

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
RESİMLER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	3
2.1 Nanomalzemeler ve Nanomalzemelerin Sentez Yöntemleri	3
2.2 Nanomalzemelerin Özellikleri	8
2.2.1 Gümüş Nanopartikül ve Özellikleri	12
2.3 Endemik Bitkiler.....	16
2.3.1 Afyonkarahisar Endemik Bitkileri	18
2.3.1.1 Afyonkarahisar Endemiği Çoban çökerten (<i>Tribulus Terrestris</i>)	21
2.3.1.2 Afyonkarahisar Endemiği Gri Adaçayı (<i>Salvia leucophylla</i>).....	22
2.3.1.3 Afyonkarahisar Endemiği Sığırkuyruğu (<i>Verbascum Afyonense</i>).....	23
2.3.1.4 Afyonkarahisar Endemiği Eber sarısı (<i>Thermopsis turcica</i>)	24
2.3.2 Endemik Bitkileri Ekstrasyonları	25
2.3.3 Endemik Bitkileri Karakterizasyonları ve Özellikleri	27
2.4 Yeşil Sentez.....	29
2.4.1 Yeşil Sentez ile Nanopartikül Eldesi.....	31
2.4.1.1 Yeşil Sentez ile Gümüş Nanopartikül Eldesi.....	34
3. MATERYAL ve METOT.....	36
3.1 Kullanılan Malzemeler	36
3.2 Ekstraktların Oluşturulması	37
3.2.1 Gri Adaçayı (<i>S. leucophylla</i>) Ekstraktı.....	39
3.2.2 Eber sarısı Ekstraktı	39
3.2.3 Çoban Çökerten Ekstraktı	40
3.2.4 Sığırkuyruğu Ekstraktı	40
3.3 Nanopartiküllerin Oluşturulması.....	40

3.3.1 Kurutulmuş Bitki Yaprakları ile Gümüş Nanopartikül Oluşturulması.....	41
3.4 Karakterizasyon	41
3.4.1 Mikro Yapı Analizleri	41
3.4.1.1 X- Işını Difraksiyonu (XRD) Analizi.....	41
3.4.1.2 Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM)	42
3.4.1.3 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	43
3.4.2 Kimyasal Yapı Analizleri.....	44
3.4.2.1 Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopi (FTIR).....	44
3.4.2.2 Ultraviyole Spektroskopisi (UV)	44
3.4.3 Antibakteriyel Analiz	45
3.4.4 Antioksidan Analiz	45
4. BULGULAR.....	47
4.1 XRD Analizi	47
4.2 Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM).....	51
4.3 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	53
4.4 FTIR Analiz Sonuçları	56
4.5 Antibakteriyel Analiz Sonuçları.....	71
4.6 Antioksidan Analiz Sonuçları	73
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	78
6. KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ.....	98
EKLER.....	99

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

%	Yüzde işareti
Ag	Gümüş
AgNO ₃	Gümüş nitrat
cm ⁻¹	Dalga sayısı
Fe ₃ O ₄	Demir oksit
gr	gram
H ₂ O	Su
Mg	Miligram
mL	Mililitre
Nm	Nanometre
°C	Santigrat derece
Rpm	Devir/dakika

Kısaltmalar

AgNP	Gümüş Nanopartikül
CVD	Kimyasal buhar çökeltme
dH ₂ O	Distile edilmiş saf su
EDS	Enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi
FT-IR	Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektrumu
LSPR	Yüzeye plazmon rezonansı
OWA	Sıralı ağırlıklı ortalama
PBS	Fosfat Tamponlu Sulu Çözelti
PVP	Polivinilpirolidon
ROS	Reaktif oksijen türleri
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SERS	Yüzey zenginleştirilmiş raman spektroskopisi
TEM	Geçirimli Elektron Mikroskobu
TLC	İnce Tabaka Kromatografisi
UV-vis	Ultraviyole-görünür spektroskopi
XRD	X-Işını Kırınımı
<i>S. leucophylla</i>	<i>Salvia leucophylla</i> (Gri adaçayı)
<i>T. turcica</i>	<i>Thermopsis turcica</i> (Eber sarısı)
<i>V. afyonense</i>	<i>Verbascum afyonense</i> (Sığır kuyruğu)
<i>T. terrestris</i>	<i>Tribulus terrestris</i> (Çoban çökerten)
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia Coli</i>
<i>S. aureus</i>	<i>Staphylococcus Aureus</i>
SK	Sığır Kuyruğu
SKAgNPs	Sığır Kuyruğu Gümüş Nanopartikül
AÇ	Adaçayı
AÇAgNPs	Adaçayı Gümüş Nanopartikül
ES	Eber Sarısı
ESAgNPs	Eber Sarısı Gümüş Nanopartikül
ÇÇ	Çoban Çökerten
ÇÇAgNPs	Çoban Çökerten Gümüş Nanopartikül

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Nanopartikül sentez teknikleri	6
Şekil 2.2 AgNP sentez yöntemleri	12
Şekil 2.3 AgNP özellikleri	14
Şekil 2.4 AgNP antimikrobiyal mekanizması	15
Şekil 2.5 Çoban çökerten.....	21
Şekil 2.6 Adaçayı.....	23
Şekil 2.7 Sığırkuyruğu.....	24
Şekil 2.8 Eber sarısı	24
Şekil 2.9 Yeşil sentez ile nanopartikül üretimi.....	32
Şekil 2.10 AgNP üretim özeti	35
Şekil 3.1 Bitki ekstraktları	38
Şekil 3.2 Bitki ekstraktlarının AgNO ₃ çözeltisi ile indirgenmesi.....	41
Şekil 4.1 Çoban çökerten nanopartikül XRD görüntüsü	47
Şekil 4.2 Adaçayı nanopartikül XRD görüntüsü	48
Şekil 4.3 Sığırkuyruğu nanopartikül XRD görüntüsü.....	49
Şekil 4.4 Eber sarısı nanopartikül XRD görüntüsü.....	50
Şekil 4.5 Çoban çökerten TEM görüntüleri	51
Şekil 4.6 Adaçayı TEM görüntüleri	52
Şekil 4.7 Sığırkuyruğu TEM görüntüleri	52
Şekil 4.8 Eber sarısı TEM görüntüleri	53
Şekil 4.9 Çoban çökerten SEM görüntüleri	54
Şekil 4.10 Adaçayı SEM görüntüleri.....	54
Şekil 4.11 Sığırkuyruğu SEM görüntüleri	55
Şekil 4.12 Eber sarısı SEM görüntüleri	55
Şekil 4.13 Çoban çökerten bitki ekstraktının FT-IR görüntüsü	56
Şekil 4.14 Çoban çökerten nanopartikül FT-IR görüntüs	57
Şekil 4.15 Adaçayı bitki ekstraktının FT-IR görüntüsü	58
Şekil 4.16 Adaçayı nanopartikül FT-IR görüntüsü.....	60
Şekil 4.17 Sığırkuyruğu bitki ekstraktının FTIR görüntüsü	61
Şekil 4.18 Sığırkuyruğu nanopartikül FT-IR görüntüsü	62

Şekil 4.19 Eber sarısı bitki ekstraktının FT-IR görüntüsü.....	63
Şekil 4.20 Eber sarısı nanopartikül FT-IR görüntüsü	64
Şekil 4.21 Çoban çökerten UV görüntüsü	65
Şekil 4.22 Adaçayı UV görüntüsü.....	67
Şekil 4.23 Sığırkuyruğu UV görüntüsü	68
Şekil 4.24 Eber sarısı UV görüntüsü	69
Şekil 4.25 Antibakteriyel analiz sonuçları	72
Şekil 4.26 Antioksidan aktivite sonuçları	74



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Farklı yöntemler kullanılarak AgNP'leri sentezi.....	13
Çizelge 3.1 Çalışmada kullanılan endemik bitkilerin görselleri	36
Çizelge 4.1 Antibakteriyel analiz sonuçları	71
Çizelge 4.2 Antioksidan aktivite sonuçları	74



RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3.1 OHAUS Frontier 5706 santrifüj	38
Resim 3.2 Shimadzu XRD-6000 model cihaz	42
Resim 3.3 JEOL JEM-1400 Plus TEM cihazı	43
Resim 3.4 LEO 1430 VP model SEM cihazı.....	43
Resim 3.5 Perkin Elmer FT-IR analiz cihazı	44
Resim 3.6 UV-1700 Pharma Spect marka spektrofotometre	45
Resim 3.7 BioTek Elx800 model antioksidan analiz cihazı.....	46



1. GİRİŞ

Son yıllarda nanoteknoloji alanında yaşanan hızlı gelişmeler, özellikle metal nanopartiküllerin biyomedikal, çevresel ve endüstriyel uygulamalarda artan önemini ortaya koymuştur. Bu bağlamda, gümüş nanopartiküller (AgNP'ler), güçlü antimikrobiyal özellikleri ve yüzey fonksiyonelleştirme potansiyeli sayesinde ön plana çıkmaktadır. Ancak geleneksel kimyasal sentez yöntemleri, çevreye zararlı toksik maddeler ve yüksek enerji tüketimi gibi önemli sınırlılıkları beraberinde getirmektedir. Bu nedenle sürdürülebilirlik temelli, çevre dostu yaklaşımların geliştirilmesi kaçınılmaz hale gelmiştir. Yeşil sentez yöntemi, nanopartiküllerin bitki özleri, mikroorganizmalar veya biyolojik atıklar gibi doğal indirgeyici ve stabilize edici ajanlar kullanılarak sentezlenmesini sağlayan yenilikçi ve çevreci bir yöntem olarak ön plana çıkmaktadır.

Bitkisel kaynaklı ekstraktlar, içeriklerinde bulunan fenolik bileşikler, flavonoidler, alkaloidler ve proteinler sayesinde hem indirgeme ajanı hem de stabilizatör olarak görev yapabilmektedir. Bu biyolojik bileşenlerin çeşitliliği, elde edilen nanopartiküllerin boyut, morfoloji ve fonksiyonel özellikleri üzerinde doğrudan etkili olabilmektedir. Özellikle tıbbi bitkiler, taşıdıkları zengin fitokimyasal profiller sayesinde hem sentez verimini hem de elde edilen nanopartiküllerin biyolojik etkinliğini artırmaktadır. Afyonkarahisar bölgesi, çok sayıda endemik bitki türünü barındırmasıyla dikkat çeken önemli bir ekolojik bölgedir. Bu bölgede doğal olarak yetişen Gri Adaçayı (*Salvia leucophylla*), Eber sarısı (*Thermopsis turcica*), Sığırkuyruğu (*Verbascum afyonense*) ve Çoban Çökerten (*Tribulus terrestris*) gibi bitkiler, geleneksel tıpta da uzun yıllardır kullanılmakta olup, potansiyel biyolojik aktiviteleriyle literatürde yer bulmuştur.

Bu çalışmanın temel amacı, Afyonkarahisar'a özgü endemik bitki özütlerinin yeşil sentezde indirgeyici ajan olarak kullanılıp kullanılamayacağını değerlendirmek, elde edilen gümüş nanopartiküllerin biyolojik etkinliklerini ortaya koymak ve bu sayede sürdürülebilir, çevre dostu bir üretim stratejisi geliştirmektir. Ayrıca, farklı bitki türlerinin nanoparçacık morfolojisi, stabilitesi ve biyolojik aktivite üzerindeki etkilerini kıyaslayarak, sentez parametrelerinin optimize edilmesi hedeflenmektedir. Bu kapsamda yürütülen araştırma, hem bölgesel bitki zenginliğinin katma değere dönüştürülmesine

hem de çevre dostu nanoteknolojik uygulamaların yaygınlaştırılmasına katkı sağlayacaktır.

Bu tez çalışmasında, adı geçen endemik bitki türlerinin ekstraktları kullanılarak gümüş nanopartiküllerin yeşil sentezi gerçekleştirilmiştir. Bitki özlerinin gümüş nitrat çözeltileri ile etkileşimi sonucu oluşan nanopartiküller, gözlemlenen renk değişimleri ve spektroskopik analizlerle karakterize edilmiştir. Sentezlenen AgNP'lerin yapısal, morfolojik ve kimyasal özellikleri; UV-vis, SEM, TEM, XRD, FTIR ve Raman analizleri ile detaylı şekilde incelenmiş; ayrıca antibakteriyel, antifungal ve antioksidan aktiviteleri test edilmiştir. Gümüş iyonlarının indirgenme süreci ince tabaka kromatografisi (TLC) yöntemi ile takip edilerek sentez mekanizmalarına ışık tutulmuştur.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Nanomalzemeler ve Nanomalzemelerin Sentez Yöntemleri

Nanomalzemeler, esas olarak nanoskal boyutlarıyla tanımlanan çeşitli bir malzeme kategorisidir, özellikle en az bir boyutu 1 ila 100 nanometre aralığında olan malzemelerdir. Bu benzersiz nanometrik boyut, onlara hacimsel malzemelerin karşıtlarından önemli ölçüde farklı olan belirgin fiziksel ve kimyasal özellikler kazandırır. Nanomalzemelerin içsel özellikleri, onları biyoloji, malzeme bilimi ve çevresel uygulamalar gibi çeşitli alanlarda paha biçilmez kılar. Nanomalzemelerin yaygın bir tanımı, parçacıklar, taneler, lifler veya bileşenler gibi sahiplik yapılarının nanoskalada boyutlar sergileyen ve artırılmış reaktivite, artmış yüzey alanı ve değiştirilmiş elektronik özellikler gibi özellikler sağlayan yapıları içerir (Webster vd. 2004, Harish vd. 2022, Kreyling vd. 2010, Buzea vd. 2007).

Nanomalzemelerin temel tanımı boyutlarına odaklansa da, sınıflandırmaları bileşimleri ve özellikleri hakkında daha derin bir anlayışa dayanır. Nanomalzemeler, kimyasal bileşimlerine göre birkaç türe ayrılabilir: organik nanomalzemeler (dendrimerler ve polimer bazlı malzemeler gibi), inorganik nanomalzemeler (metal oksitler ve grafen gibi karbon bazlı malzemeler gibi) ve çeşitli elementleri birleştirerek sinerjik özelliklerden yararlanan kompozit nano yapılar (Harish vd. 2022, Lin vd. 2014, Saha vd. 2012). Örneğin, karbon nanotüpler olağanüstü dayanıklılıkları ve elektriksel özellikleri ile tanınır, bu da onları elektronikten tıbbi cihazlara kadar çeşitli uygulamalar için uygun hale getirir. Benzer şekilde, metal nanopartiküller, çeşitli kimyasal reaksiyonlarda verimli hale getiren benzersiz katalitik ve elektronik özellikler sergileyebilir (Saleem ve Zaidi 2020, Jiao vd. 2019).

Nanomalzemeleri tanımlayan özellikler çok yönlüdür ve genellikle bileşimlerine, şekillerine ve boyutlarına bağlıdır. Örneğin, nanomalzemeler yüzey alanı-hacim oranlarının artmasıyla karakterize edilir, bu da hacimsel formlarıyla karşılaştırıldığında artırılmış reaktivite ve dayanıklılık sağlayabilir (Mekuye vd. Abera 2023). Bu özellik, kataliz alanında görüldüğü gibi, enzim benzeri özelliklere sahip nanomaddeler olan

nanozimanların olağanüstü katalitik özellikler sergilediği etkileşimlerin daha etkili olmasını sağlar (Huang vd. 2019, Wei ve Wang 2013). Bu tür özelliklerin sonuçları önemli olup, ilaç dağıtım sistemleri, biyosensörler ve çevresel iyileştirme tekniklerinde yeni uygulama fırsatları sunar (Li vd. 2015, Saleem ve Zaidi 2020).

Biyolojik etkileşimler bağlamında, nanomalzemeler boyutlarına ve şekillerine bağlı olarak çeşitli davranışlar sergiler. Çalışmalar, nanopartiküllerle hücre etkileşimlerinin boyutları ve yüzey özellikleri tarafından etkilenen pro-inflamatuar etkiler veya hücre alım gibi farklı tepkiler oluşturabileceğini göstermiştir (Sohaebuddin vd. 2010). Sonuç olarak, bu etkileşimlerin anlaşılması, özellikle toksisite ve hücre uyumluluğun en önemli endişeler olduğu biyomedikal uygulamalarda daha güvenli nanomalzemelerin geliştirilmesi için kritik öneme sahiptir (Buzea vd. 2007, Gallud ve Fadeel 2015).

Nanomalzemelerin yenilikçi uygulamaları birçok sektörü kapsar ve çok yönlülüklerini vurgular. Su arıtımında, nanomalzemeler, hedeflenmiş tasarım yoluyla benzersiz fizikokimyasal özelliklerinden yararlanarak kirleticilerin verimli bir şekilde giderilmesini sağlayarak güçlü potansiyeller sergiler (Li vd. 2015). Ayrıca, tarım alanında, nano-sıfır değerlikli demir ve gümüş nanoparçacıkları gibi nanomalzemeler, bitki büyümesini artırma ve bitkileri hastalıklardan koruma konusundaki potansiyellerini göstermiştir, bu da onların tarım ve çevresel sürdürülebilirlikteki çift rolünü göstermektedir (Saleem ve Zaidi 2020, Rauscher vd. 2017). Ayrıca, nanomalzemelerle ilgili düzenleyici çerçeveler, çevresel ve sağlık etkilerinin anlaşılması derinleştikçe evrilmeye devam ediyor. Örneğin, Avrupa Komisyonu, nanomalzemelerin nicel analizini gerektiren tanımlar önermiştir ve çeşitli uygulamalarda güvenlik standartlarının karşılandığından emin olmak için dikkatli bir risk değerlendirmesi ve düzenleyici denetim ihtiyacını vurgulamıştır (Kreyling vd. 2010, Rauscher vd. 2017, Boverhof vd. 2015). Nanomalzemeler pazarı genişledikçe, geliştiriciler ve araştırmacılar arasında nanomalzeme nedir sorusunun farklı yorumlarından kaynaklanabilecek tutarsızlıkları hafifletmek için tanımları ve kategorileştirme sistemlerini uyumlu hale getirme çağrısı artmaktadır (Kennedy vd. 2019, Gallud ve Fadeel 2015). Nanomalzemelerin doğasında bulunan özellikler, yalnızca dönüştürücü uygulamalar için potansiyel taşımakla kalmaz, aynı zamanda güvenlik ve çevresel etkileri üzerine titiz bir araştırma yapılmasını da gerektirir. Bu,

nanomalzemelerin üretiminin endüstriyel sektörlerde yayılmaya devam etmesi nedeniyle çok önemlidir. Sentezden bertarafı kadar olan yaşam döngülerinin kapsamlı bir şekilde incelenmesi, çevresel kalıcılıkları ve potansiyel biyobirikim konularını ele almak için önemlidir (Adam ve Vaculovičová 2017, Rauscher vd. 2017). Bu nedenle, nanotoksikoloji ve çevre bilimi alanlarında aktif araştırmalar, bu özellikleri aydınlatmak ve uygulamalarını yönlendiren düzenleyici çerçeveleri bilgilendirmek için hayati öneme sahiptir.

Sonuç olarak, nanomalzemeler, nanoskal boyutlarından kaynaklanan benzersiz özellikleri ile karakterize edilen çeşitli bir alanı temsil eder. Sınıflandırmaları, çevresel iyileştirmeden ileri biyomedikal çözümlere kadar birçok uygulamada önemli etkilere sahip çeşitli malzemeleri kapsamaktadır. Nanomalzemelerin anlaşılması gelişirken, güvenli ve sorumlu geliştirme uygulamalarının sağlanmasının önemi çok büyüktür; bu da kamu sağlığını ve çevreyi korurken nanomalzemelerin sunduğu büyük potansiyeli kullanmak için sürekli düzenleyici çabalar ve risk değerlendirmeleri gerektirmektedir (Buzea vd. 2007, Boverhof vd. 2015, Rauscher vd. 2017).

Nanomalzemelerin sentezi (Şekil 2.1), nanoskalada malzemeler üretmek için özel olarak tasarlanmış geniş bir yöntem yelpazesini kapsayan, benzersiz fiziksel ve kimyasal özelliklerle karakterize edilen, hızla gelişen bir araştırma alanıdır. Her sentez yöntemi, belirli avantajlar ve sınırlamalar taşır, bu da hedeflenen uygulama ile uyumlu bir yöntem seçmeyi zorunlu kılar. Bu yanıt, kimyasal buhar birikimi (CVD), sol-jel, kimyasal çökelme, hidrotermal/solvotermal sentez, elektrokimyasal birikim, mekanik öğütme/gravür, şablon destekli sentez ve lazer ablasyonu dahil olmak üzere çeşitli sentez yöntemlerini tartışarak, bu tekniklerin nanomalzemeler bağlamındaki kapsamlı bir anlayışını sağlamayı amaçlayacaktır.

Kimyasal buhar birikimi (CVD), gaz halindeki öncüllerin kimyasal reaksiyonu yoluyla ince filmlerin ve nanoyapıların büyümesini kolaylaştıran yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu teknik, yüksek saflıkta malzemeler üretmek için özellikle avantajlıdır ve elde edilen nanomalzemelerin bileşimi ve yapısı üzerinde hassas kontrol sağlar. Örneğin, CVD, geçiş metali dikalkojenidlerinin monolayerlerini üretmede etkili olmuştur; bu

malzemeler, benzersiz elektronik özellikleri nedeniyle çağdaş elektronik uygulamalarda kritik öneme sahiptir (Liu vd. 2022, Yao vd. 2024). CVD'nin çok yönlülüğü, çeşitli alt tabakalara uzanarak, elektronik ve fotonikteki malzemelerin işlevselliğini önemli ölçüde artıran kaplamaların ve ultra ince filmlerin birikimini sağlar (Wang vd. 2022).



Şekil 2.1 Nanopartikül sentez teknikleri (Rane 2018).

Sol-jel sentezi, bir çözeltinin katı jel fazına geçişi yoluyla nanomalzemelerin oluşumunu sağlayan bir diğer öne çıkan yöntemdir. Bu süreç, kontrollü morfolojilere ve bileşimlere sahip seramik ve cam benzeri malzemelerin üretilmesi için özellikle avantajlıdır. Sol-jel yöntemi, ilaç taşıma ve kataliz gibi uygulamalar için kritik olan ayarlanabilir boyutlar ve işlevsellikler sergileyen mezoporoz silika nanopartiküllerinin üretilmesinde etkili bir şekilde kullanılmıştır (Chen vd. 2018, Wu vd. 2013). Silikanın ötesinde, sol-jel süreci çeşitli metal oksitleri oluşturmak için uyarlanabilir, bu da nanomalzeme araştırmalarındaki geniş kullanımına katkıda bulunur (Niculescu vd. 2021).

Kimyasal çökelti, genellikle pH veya sıcaklık gibi koşulların değiştirilmesiyle elde edilen bir çözeltiden katı parçacıkların oluşumunu içerir. Bu teknik, manyetik özellikleri nedeniyle çeşitli uygulamalar için araştırılan manyetit (Fe_3O_4) dahil olmak üzere metal nanopartiküllerin sentezinde sıkça uygulanmaktadır (Ba-Abbad vd. 2022). Çalışmalar, çökeltilmiş nanopartiküllerin morfolojisinin ve bileşiminin sentez parametrelerinin

ayarlanmasıyla ayarlanabileceğini, biyomedikal ve çevresel iyileştirme gibi uygulamalarda performanslarını optimize etmek için hayati öneme sahip olduğunu göstermektedir (Maity ve Polshettiwar 2018).

Hidrotermal ve solvotermal sentez teknikleri, nanokristallerin büyümesini kolaylaştırmak için yüksek sıcaklık ve basınç kullanır. Bu yöntem, anizotropik doğası nedeniyle benzersiz fiziksel özellikler sergileyen nanorodlar ve nanowire'lar da dahil olmak üzere karmaşık nanoyapıların sentezi için özellikle faydalıdır. Hidrotermal sentezler, tutarlı boyut ve kompozisyona sahip yüksek kaliteli nanomalzemeler üretme yetenekleri ile bilinir (Niculescu vd. 2021). Solvotermal sentezin ortaya çıkması, belirli nanoyapıları sentez sırasında stabilize etmeye yardımcı olan organik çözücüler ekleyerek üretilebilecek nanomaterial çeşitliliğini genişletmiştir (Yao vd. 2024).

Elektrokimyasal kaplama, metalik ve yarı iletken nanomalzemelerin sentezlenmesi için güçlü bir tekniktir; burada elektrik akımı, iyonların indirgenmesini sağlar ve iletken alt tabakalarda nanoyapıların oluşumuna yol açar. Bu yöntem, kalınlık ve morfolojinin hassas kontrolünü sağlar, bu da onu sensörler ve enerji depolama cihazları gibi uygulamalar için özellikle ilgili hale getirir (Muflikhun vd. 2022). Ayrıca, süreç, elektrokimyasal aktiviteyi artıran hiyerarşik yapılar oluşturacak şekilde optimize edilebilir, böylece piller ve süperkapasitörler gibi uygulamalarda performansı artırır (Muflikhun ve Santos 2019).

Mekanik frezeleme ve aşındırma, malzemelerin fiziksel olarak nanoskalaya kadar küçültülmesini içeren yukarıdan aşağıya yaklaşımlardır ve öğütme veya litografik teknikler kullanılarak gerçekleştirilir. Bu yöntemler geniş bir yelpazede nanoyapılar üretebilse de, partikül boyutu ve şeklinin uniformitesi ile ilgili zorluklar yaşayabilirler. Bununla birlikte, katalizörlerin sentezi gibi iyi tanımlanmış yapılar gerektiren uygulamalarda kritik öneme sahiptirler (Kristina vd. 2024). Mekanik frezlemenin ölçeklenebilirliği, daha büyük miktarlarda nanomalzemelere ihtiyaç duyulan endüstriyel uygulamalar için kaliteyi tehlikeye atmadan faydalar sunar (Guo vd. 2025).

Şablon destekli sentez, nanomateriallerin oluşumunu yönlendirmek için mevcut yapıların

avantajlarından yararlanır. Bu yöntem, belirli boyutlara ve morfolojilere sahip yüksek derecede düzenli nanoyapılar üretebilir. Örneğin, polimerik veya nanoporus kalıplar kullanmak, istenen özelliklere sahip nan teller veya nanotüpler elde edebilir (Maity ve Polshettiwar 2018). Bu tekniğin çeşitli malzemelere uyarlanabilirliği, simetri ve yüzey özelliklerinin terapötik etkinin maksimize edilmesi için kritik olduğu ilaç dağıtımı gibi alanlarda kullanılmasına yol açmıştır (He vd. 2022).

Lazer ablasyonu, hedef yüzeyden malzeme çıkarmak için yüksek enerjili lazer darbeleri kullanarak, sıvı veya gaz ortamında askıda kalan nanopartiküller oluşturur. Bu teknik, kimyasal reaktörlere ihtiyaç duymadan çeşitli boyut ve şekillerde nanopartiküller üretme yeteneği de dahil olmak üzere birçok avantaj sunar. Ayrıca, lazer ablasyonu yüzey aktif maddeler veya stabilizatörlerin yokluğunda temiz malzemeler üretir, bu da biyoyumluluğun önemli olduğu biyomedikal uygulamalar için cazip hale getirir (Guo vd. 2025). Lazer ablasyonun çok yönlülüğü ve hassasiyeti, çeşitli uygulamalar için çeşitli nanomalzemelerin sentezlenmesinde çekici bir yöntem haline getirir.

Sonuç olarak, nanomalzemelerin sentezi, her biri benzersiz özelliklere ve uygulamalara sahip çeşitli yöntemleri kapsamaktadır. CVD ve sol-jel yöntemleri, kontrollü özelliklere sahip yüksek saflıkta malzemeler üretmek için yaygındır, kimyasal çökelme ve hidrotermal sentez ise karmaşık yapılar oluşturma konusunda avantajlar sunar. Elektrokimyasal tortulama, nanomaterial büyümesinde hassasiyet sağlarken, mekanik frezeleme endüstriyel uygulamalar için ölçeklenebilirlik sunar. Şablon destekli sentez ve lazer ablasyonu, araştırmacılar için mevcut olan araç kutusunu daha da genişleterek, her biri modern teknolojinin taleplerini karşılamak için uygun yenilikçi nanomalzemelerin geliştirilmesine katkıda bulunur. Bu yöntemleri anlamak, çeşitli uygulamaların özel gereksinimlerine göre uyarlanmış nanomaterial üretiminin optimize edilmesini sağlar ve gelişen teknolojik zorlukları karşılayabilecek ileri malzemelerin yeni bir çağını müjdeleyerek.

2.2 Nanomalzemelerin Özellikleri

Nanomalzemeler, boyutlarının küçülmesi ve büyük yüzey alanı hacim oranları nedeniyle, hacimsel karşıtlarından önemli ölçüde farklılık gösteren benzersiz ve çeşitli özellikler

sergiler. Nano ölçeğinde, malzemeler mekanik, elektriksel, termal ve optik özelliklerini derinlemesine artıran özellikler gösterebilir, bu da onları tıp, elektronik ve enerji depolama gibi çeşitli alanlarda çeşitli uygulamalar için uygun hale getirir.

Nano ölçekli malzemelerin en dikkat çekici yönlerinden biri, mekanik özelliklerinin geleneksel malzemelere kıyasla önemli ölçüde değiştirilmesidir. Örneğin, nanoyapılı malzemelerin, artırılmış dayanıklılık ve sertliğin yanı sıra, geliştirilmiş yorulma direnci ve aşınma özellikleri sergilediği bilinmektedir (Валиев ve Langdon 2010, Валиев vd. 2015). Bu iyileştirmeler, mekanik yükler altında etkileşim mekanizmalarını kontrol eden nanomalzemelerdeki artan tane sınırları oranı ve benzersiz atomik düzenlemelere atfedilebilir (Валиев ve Langdon 2010). Ayrıca, çok bloklu polimerleri içeren mimari tasarımların özelleştirilmesi, uygulama taleplerini karşılamak için hassas bir şekilde ayarlanabilen belirli mekanik tepkimelerin mühendisliğini sağlar (Zeng vd. 2024).

Nanomalzemelerin elektriksel özellikleri de nanometre ölçeğinde dikkate değer şekilde değişir. Nanoyapıların boyutu, şekli ve bileşimi, bant aralıklarını, elektronik iletkenliklerini ve katalitik performanslarını etkileyebilir (Yang vd. 2021). Örneğin, nanoskal boyutların eklenmesi, elektron taşıma yollarının değişmesine yol açarak piller ve süperkapasitörler gibi cihazlarda elektrik iletkenliğini artırabilir (Cong vd. 2017). İki boyutlu malzemeler, grafen ve geçiş metal dikalkojenitleri dahil olmak üzere, olağanüstü elektronik özellikler sergileyerek onları sonraki nesil elektronik cihazlar ve sensörler için uygun hale getirir (Ke ve Chen 2015). Katmanlı nanokompozitlerde, özellikle lityum-iyon batarya uygulamaları için, artırılmış iyonik iletkenlik ve kolaylaştırılmış yük taşıma mekanizmaları bildirilmiştir (Zhang vd. 2013).

Isıl iletkenlik, nanomalzemeler araştırmasında önemli bir ilgi alanı olan bir diğer özelliktir. Nano ölçekli yapılar, artan yüzeyel saçılma nedeniyle termal taşımayı etkili bir şekilde yönetebilir (Ramadan ve Martín-Palma 2022). Silisyum nanowire'lar veya grafen gibi nanoyapılı malzemeler, azalmış termal iletkenlikleri ve artırılmış elektrik iletkenlikleri sayesinde önemli ölçüde geliştirilmiş termoelektrik performansı sergilemiş olup, bu da onları enerji dönüşümü ve depolama uygulamaları için ideal adaylar haline getirmiştir (Ramadan ve Martín-Palma 2022). Nanoyapıların spesifik mimarisi, kompozit

malzemelerde termal yönetimi optimize etmek için de tasarlanabilir, bu da onları verimli ısı dağılımı gerektiren uygulamalar için çok yönlü hale getirir (Ramadan ve Martín-Palma 2022).

Nanomalzemelerin optik özellikleri, nanoskal malzemelerin karmaşıklığını ve uyum yeteneğini daha da gösterir. Işığın nanoyapılarla olan farklı etkileşimleri, benzersiz emilim, saçılma ve yayılma fenomenlerine yol açabilir (Amirjani vd. 2019). Nanopartiküller yüzey plazmon rezonansı etkileri sergileyebilir, bu da sensörler ve görüntüleme uygulamalarında faydalı olan artmış optik hassasiyetlere yol açar (Amirjani vd. 2019). UV-vis spektroskopisi gibi teknikler, metalik nanoyapıların boyut ve şekil bağımlı optik davranışlarını keşfetmek için kullanılmıştır ve bu da optik cihaz teknolojilerinde önemli ilerlemelere yol açmıştır (Amirjani vd. 2019).

Ayrıca, nanomalzemelerin yüzey özellikleri, ıslanabilirlikleri ve adsorpsiyon kapasiteleri dahil olmak üzere genellikle artırılır, bu da onların birçok uygulamada önemli bir faydalı etki göstermelerini sağlar. Artan yüzey alanı, daha önemli kimyasal reaksiyonlara olanak tanır ve katalitik aktiviteyi artırır (Sulka 2023). Bu özellik, reaktantların katalitik yüzeye etkin bir şekilde maruz kalmasının reaksiyon verimliliğini önemli ölçüde artırabileceği heterojen kataliz uygulamalarında özellikle önemlidir. Nanoyapılı malzemelerin mühendisliği, ayrıca belirli ortamlara özel yüzey özellikleriyle tasarlanmış kaplamalar veya kompozitlerin geliştirilmesine de olanak tanır ve bu da biyoyumlu malzemelerden artırılmış korozyon direncine kadar geniş bir uygulama yelpazesinde faydalar sunar (Emanet vd. 2019).

Nanomalzemeler, enerji sektöründe de önemli faydalar sağlayabilir. Benzersiz özellikleri, yüksek yüzey alanlarının elektro-kimyasal depolama yeteneklerini artırdığı süperkapasitörler ve piller gibi enerji depolama çözümlerinde önemli ilerlemelere olanak tanımıştır (Zhang vd. 2013). İki boyutlu nanomalzemelere dayalı hiyerarşik yapıların kullanımı, lityum pillerde optimize edilmiş elektrotlar oluşturma konusunda umut vaat etmiş ve bu da artan enerji yoğunluğu ve güç çıkışı ile sonuçlanmıştır (Cong vd. 2017). Bu, nanoyapılandırma ve enerji verimliliği arasındaki kritik bir kesişimi yansıtarak, nanoskalaya dayalı prensipler etrafında tasarlanmış gelecekteki enerji teknolojileri için

önemli bir potansiyele vurgu yapmaktadır.

Nano ölçekli boyutlar ve yapısal özellikler arasındaki etkileşim, doğal olarak nanomalzemelerin sentezi ve üretimi konusundaki tartışmalara yol açar. Mikrodalga destekli sentez, kimyasal buhar biriktirme ve kendiliğinden montaj gibi teknikler, yüksek doğrulukla uniform ve tekrarlanabilir nanoyapılar üretmek için hayati metodolojiler olarak ortaya çıkmıştır (Schütz vd. 2017, Ivanisenko vd. 2010). Her bir yöntem, belirli malzeme yönelimlerini elde etmekten üretim süreçlerinin ölçeklenebilirliğini artırmaya kadar çeşitli avantajlar sunar. Nanoyapıların yeniden üretilebilirliği ve kontrollü sentezi ile ilgili zorluklar, nanoteknolojideki sürekli yenilikler aracılığıyla aktif olarak ele alınmaktadır (Schütz vd. 2017).

Ayrıca, nanoyapılı malzemelerin daha geniş mühendislik zorluklarıyla birleştirilmesindeki sürekli ilerlemeler, çok işlevli kompozitler ortaya çıkarıyor. Farklı malzeme türlerini birleştiren hibrit nanoyapılar, her iki bileşenin de avantajlı özelliklerinden yararlanarak, hem yüksek performanslı hem de çeşitli uygulamalar için çok yönlü malzemeler elde edebilir (Pan vd. 2019). Bu yenilikler, nanoyapılı bileşenlerin işbirlikçi sinerjisini vurgulayan malzeme bilimcileri için umut verici bir sınır ötesini öneriyor.

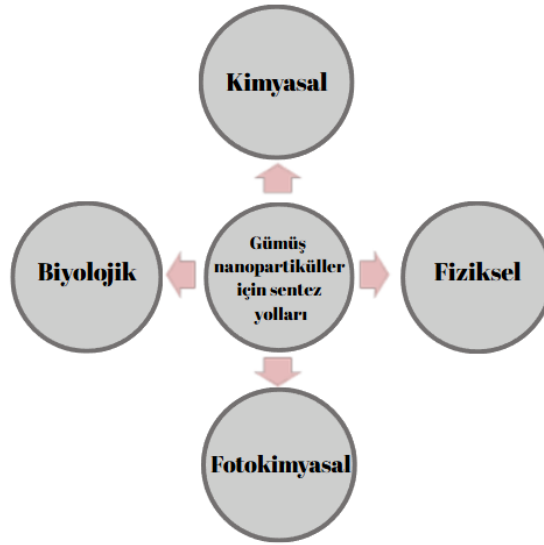
Nanoyapı teknikleri atomik ve moleküler seviyelerde manipülasyona olanak sağladığından, aynı zamanda birçok güvenlik ve çevresel hususun da dikkate alınması gerekmektedir. Nanomalzemelerin endüstriyel süreçlere ve tüketici ürünlerine entegrasyonu, insan sağlığı ve çevre üzerindeki uzun vadeli etkileri hakkında sorular ortaya çıkarır. Güçlü güvenlik değerlendirmeleri, maruz kalma risklerini anlamak ve nanoteknoloji ilerlemelerinin sorumlu bir şekilde uygulanması için kılavuzlar geliştirmek amacıyla gereklidir (Yang vd. 2021).

Özetle, nanomalzemeler, nanoskal boyutları aracılığıyla ortaya çıkan olağanüstü özelliklerin geniş bir yelpazesini barındırır. Güç, iletkenlik, termal özellikler, optik karakteristikler ve yüzey etkileşimlerindeki önemli iyileştirmeler, çok sayıda uygulama alanındaki potansiyellerini vurgulamaktadır. Devam eden araştırmalar, hızlı bir şekilde

gelişen teknolojilerin getirdiği zorluklarla başa çıkarken, belirli ihtiyaçlara yönelik yeni yapılar ve işlevsellikler ortaya çıkarmaya devam edecektir.

2.2.1 Gümüş Nanopartikül ve Özellikleri

Gümüş nanoparçacıkları, yaygın olarak AgNP'ler olarak adlandırılır, genellikle 1 ila 100 nanometre boyutunda olan metalik gümüşün nanoskal parçacıklarıdır. Benzersiz fizikokimyasal özellikleri, yüksek yüzey alanı-hacim oranı, lokalize yüzey plazmon rezonansı ve önemli antibakteriyel etkileri dahil olmak üzere, AgNP'ler tıp, elektronik ve çevre bilimi gibi çeşitli alanlarda önemli ölçüde dikkat çekmiştir. Benzersiz optik, elektriksel ve katalitik özellikler sergilerler ve bu özellikler nanoskal boyutlarından kaynaklanır; biyomedikal cihazlar, sensörler ve çeşitli tüketici ürünlerinde antimikrobiyal ajan olarak uygulama için özellikle ilgi çekicidirler (Tang vd. 2011, Durán vd. 2016). AgNP sentez yöntemleri Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2 AgNP sentez yöntemleri.

Gümüş nanoparçacıklarının sentezi, hem kimyasal hem de biyolojik yaklaşımlar dahil olmak üzere çeşitli yöntemlerle (Çizelge 2.1) gerçekleştirilebilir. Geleneksel olarak, kimyasal indirgeme yöntemleri kullanılmıştır; bu yöntemlerde gümüş tuzları sodyum borohidrit veya sitrat gibi ajanlar tarafından indirgenir. Ancak, bitki özlerini kullanan "yeşil" sentez yöntemlerine olan ilgi artmaktadır; bu yöntemler daha çevre dostu olarak

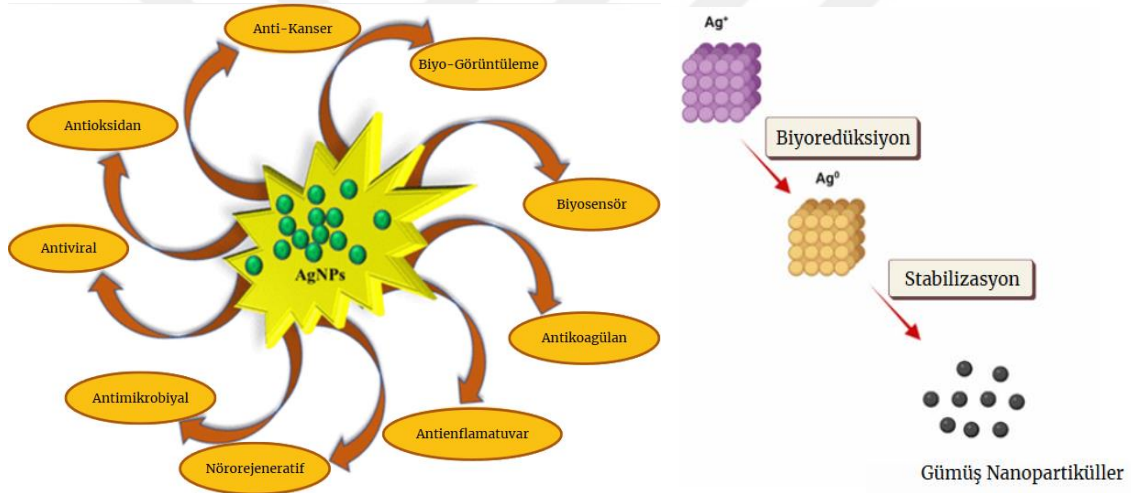
kabul edilir ve belirli istenen özelliklere sahip nanopartiküller üretebilir. Özellikle, Catharanthus roseus ve Mentha piperita gibi bitkilerden elde edilen özlerin, umut verici antibakteriyel aktiviteye sahip gümüş nanopartiküllerin sentezinde etkinlik gösterdiği bulunmuştur (Sekar vd. 2012, Krishna ve Maringanti 2016). Ayrıca, polivinilpirolidon (PVP) gibi stabilize edici ajanlar kullanılarak gümüş nanopartiküllerinin kaplanması, bunların stabilitesini ve dağılımını artırır, bu da birçok uygulama için gereklidir (Endo vd. 2008).

Çizelge 2.1 Farklı yöntemler kullanılarak AgNP'lerin sentezi: avantajları ve dezavantajları (Nitin vd. 2022).

Sentez Yöntemleri	Sentez İlkesi Avantajları Dezavantajları
Fiziksel Yöntem	Dar boyut dağılımına sahip AgNP'leri toplamak için fiziksel enerji kullanılarak sentezlenen AgNP'lere yönelik fiziksel yöntem. Radyasyon indirgeyici bir madde olarak kullanılır, dolayısıyla hiçbir tehlikeli kimyasal madde tek bir işlemde kısa sürede çok sayıda gümüş nanopartikül üretmez. Üretilen gümüş nanopartiküller kontaminasyon içermez ve daha fazla saflaştırmaya ihtiyaç duymaz. Pahalı, daha az verim, yüksek enerji tüketimi, solvent kirliliği ve rastgele dağılım.
Kimyasal Yöntem	Gümüş iyonları kimyasal indirgeyici ajanlar kullanılarak gümüş atomlarına indirgenir. Basit üretim, ekonomi ve yüksek verim. AgNP sentezi için kapatma maddelerinin daha az kullanılması toksik ve tehlikelidir; üretilen parçacıkların yüzeyleri kimyasal çöktürmelerle kirlendiğinden daha fazla saflaştırmaya ihtiyaç duyulur; normal boyutların eksikliği; kendi kendine toplanmayı durdurmak için daha fazla adım gerektirmesi ve sentez sırasında tehlikeli yan ürünlerin salınması.
Fotokimyasal Yöntem	Fotokimyasal olarak üretilen ara maddeler kullanılarak metal üretimi ve metal iyonlarının indirgenmesi. İyi mekânsal çözünürlük ve rahatlığa sahip temiz bir süreç. Yüksek maliyetler ve deney ortamı gereklidir.
Biyolojik Yöntem	Gümüş iyonlarının biyomoleküller kullanılarak gümüş atomlarına indirgenmesi canlılardan elde edilir.

Gümüş nanoparçacıklarının olağanüstü özellikleri büyük ölçüde yerleşmiş yüzey plazmon rezonansına (LSPR) atfedilir, bu da canlı renkler ve artırılmış saçılma gibi

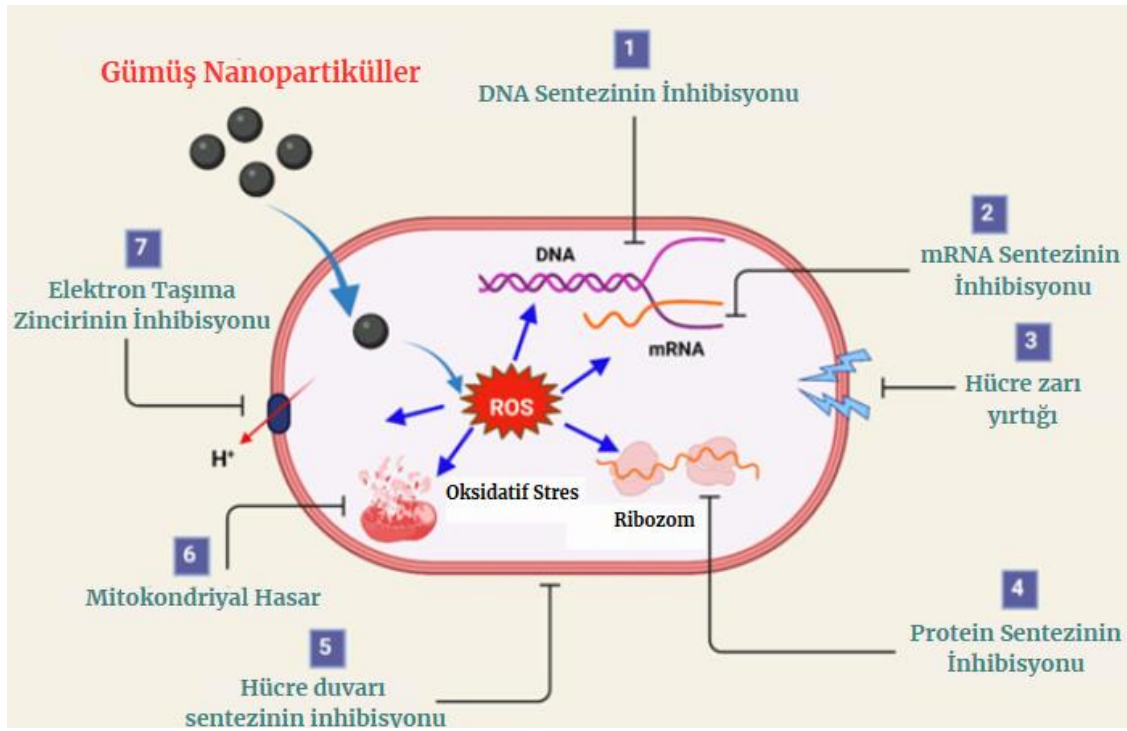
benzersiz optik özellikler sonucunu doğurur (Tang vd. 2011, Tang vd. 2012). Bu fenomen, yüzeyle güçlendirilmiş Raman spektroskopisi (SERS) gibi algılama uygulamalarındaki faydalarını artırmakla kalmaz, aynı zamanda çeşitli bağlamlarda performansı optimize etmek için şekil ve boyutlarının mühendisliğine de olanak tanır (Cobley vd. 2009). Örneğin, anizotropik gümüş nanopartiküllerin optik özellikleri, kolorimetrik sensörler ve biyosensörler için kullanılabilir (Luo vd. 2011). Ayrıca, gümüş nanopartiküllerinin şekil ve boyut bağımlılığı, kimyasal reaktivite ve antibakteriyel özelliklerinde farklılıklara yol açar, bu da ayarlanabilir sentezin belirli kullanım durumlarına uygulanabilir özelleştirilmiş işlevselliklere sahip nanopartiküller elde edilebileceğini öne sürer (Rad ve Abbasi 2012). Gümüş nanopartikül (AgNP) özellikleri Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3 AgNP özellikleri (Nitin et al 2022).

Gümüş nanopartiküllerinin antibakteriyel mekanizmaları çeşitlidir ve karmaşıktır. Öncelikle, etkinlikleri bakteriyel hücre zarlarıyla etkileşime girme yeteneklerine dayanır, bu da bozulmaya ve nihayetinde hücre ölümüne yol açar. Gümüş nanopartikülleri hücre duvarını delip geçtiğinde, reaktif oksijen türleri (ROS) üreterek, hücresel sinyalizasyonu bozarak ve bakteriyel yaşamsallık için gerekli olan kritik peptitleri defosforile ederek temel hücresel işlevleri modüle edebilirler (Dong vd. 2012, Badawy vd. 2010). Bu mekanizmalar, AgNP'leri çok çeşitli çoklu ilaç dirençli patojenlere karşı özellikle etkili hale getirir, böylece klinik ortamlarda geleneksel antibiyotiklere güçlü bir alternatif sunar (Lara vd. 2009).

Ayrıca, insan hücrelerine karşı düşük sitotoksitesi, tıbbi ve tüketici uygulamalarında güvenli bakterisit ajanlar olarak kullanım alanlarını genişletir (Pai vd. 2016). Antibakteriyel özelliklerine ek olarak, gümüş nanoparçacıklar kanser tedavisi ve tanısındaki potansiyelleri için araştırılmıştır. Işığa maruz kaldıklarında yerel ısıtma oluşturma yetenekleri, fototermal tedaviye bir temel oluşturur. AgNP antimikrobiyal mekanizması Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4 AgNP antimikrobiyal mekanizması (Jain et al 2021).

Antibakteriyel özelliklerine ek olarak, gümüş nanoparçacıklar kanser tedavisi ve tanısındaki potansiyelleri için araştırılmıştır. Işığa maruz kaldıklarında yerel ısıtma oluşturma yetenekleri, fototermal tedaviye bir temel oluşturur. Ayrıca, optik özellikleri, görüntüleme uygulamalarında kontrast ajanı olarak hizmet etmelerini sağlar (Suvarlı vd. 2022). Ancak, gümüş iyonlarının varlığı ve oksidatif stresle ilişkili sitotoksik etkiler ve potansiyel genotoksite, yaygın klinik uygulama öncesinde kapsamlı toksisite çalışmalarının önemini vurgulamaktadır (Orta-García vd. 2015). Düzenleyici çerçeveler, gümüş nanoparçacıklarının çevresel etkilerini değerlendirmek için giderek daha fazla gereklidir, özellikle yaşam döngüleri ve biyoyumumluluklarıyla ilgili olarak (Tolaymat vd. 2010).

Özetle, gümüş nanoparçacıkları, boyutları ve şekilleri tarafından etkilenen benzersiz özellikleri nedeniyle ilginç bir araştırma ve uygulama alanını temsil eder. Güçlü antibakteriyel aktiviteleri ve tıbbi ve endüstriyel bağlamlardaki umut verici uygulamaları, güvenli sentezleri, çevresel etkileri ve çeşitli uygulamalardaki uzun vadeli etkinlikleri ile ilgili sürekli araştırmaların gerekliliğini vurgulamaktadır. Daha fazla araştırma, kontrollü sentez yöntemleriyle özelliklerini optimize etmek ve kullanımında güvenlik ve etkinliği sağlamak için protokoller oluşturmak açısından hayati öneme sahiptir.

2.3 Endemik Bitkiler

Endemik bitkiler, belirli bir coğrafi konuma özgü ve o bölgede yaşayan türlerdir, yaşadıkları habitatlarda benzersiz ekolojik ve evrimsel öneme sahiptirler. Biyoçeşitliliğin hayati bileşenleri olarak hizmet ederler, genellikle özel ekolojik alanları işgal ederler ve korunmaları ekolojik denge ve kültürel mirasın sürdürülmesi için kritik öneme sahiptir. Endemik bitkileri anlamak, onların dağılımı, ekolojik rolleri, koruma durumu ve varlıklarını şekillendiren etkilerin analizi gerektirir.

Endemizm olgusu, belirli bölgelerde bulunan ve başka hiçbir yerde bulunmayan türlerin varlığı ile karakterizedir, bu da onları biyoçeşitlilik sıcak noktalarının önemli göstergeleri haline getirir. Örneğin, Hindistan'da, özellikle alpin habitatlarda gelişen, endemik vasküler bitkilerin önemli bir sayıda bulunması, bu bitkilerin benzersiz iklimsel ve edafik koşulları nedeniyle endemizm merkezleri olmalarını sağlamaktadır (Noroozi vd. 2019). Benzer şekilde, Qinghai-Tibet Platosu, büyük ölçüde jeolojik geçmişi nedeniyle endemizm merkezi olarak belirlenmiştir; bu durum, geniş çaplı türleşme ve ekolojik çeşitlenmeye yol açmıştır (Zhang vd. 2016). Bu jeolojik süreçler ile biyolojik çeşitlilik arasında bir bağlantı olduğunu vurgular. Çeşitli küresel bölgelerde, belirli aileler endemik türler arasında orantısız bir şekilde temsil edilmektedir. Yunanistan'da, Asteraceae ailesi endemik florayı domine ederek, belirli bitki aileleri içinde önemli taksonomik yoğunluklar sergilemektedir (Zikos ve Constantinidis, 2022). Bu tür desenler, bazı bitki ailelerinin toplamda daha az türe sahip olabileceğini, ancak yine de yerel ekosistemlerde endemik olarak kritik bir rol oynadıklarını ortaya koymaktadır.

Endemik bitkiler genellikle coğrafi dağılımları ve ekolojik adaptasyonlarına göre

kategorize edilir. Örneğin, Güney Afrika'nın Soutpansberg Dağ Sırası'nın dağlık bölgelerinde, endemik türler, benzersiz evrimsel yolları ve belirli habitat gereksinimleri nedeniyle koruma önceliklerini belirlemede kritik öneme sahiptir (Moraswi vd. 2019). Buna karşılık, çeşitli çalışmalar, jeoloji, iklim ve bitki özellikleri arasındaki etkileşimin, endemik türlerin benzersiz bir topluluğunu şekillendirdiğini ve bitki topluluğu dinamikleri hakkında kritik bilgiler sağladığını göstermektedir (Grobler ve Cowling 2021).

Ayrıca, önemli endemizm gösteren alanlar genellikle yüksek koruma önceliğine sahip bölgelerle örtüşmektedir. Raporlar, bitki türlerinin yarısından fazlasının 34 küresel biyoçeşitlilik sıcak noktasına endemik olduğunu ve bu bölgelerde kitlesel yok oluşları önlemek için artırılmış koruma çabalarının kritik bir ihtiyaç olduğunu vurgulamaktadır (Barnicoat vd. 2010). Bu, Cape Verde gibi bölgelerde özellikle etkileyicidir; burada benzersiz endemik flora ciddi tehditlerle karşı karşıyadır ve kapsamlı koruma stratejileri gerektirmektedir (Romeiras vd. 2015). İzole olmuş ekosistemlerde, örneğin adalarda, endemizm özellikle belirgindir. Örneğin, Madagaskar'ın vasküler bitkileri arasında yaklaşık %80 endemizm oranına sahip olduğu bildirilmiştir, bu da adalar ortamlarında ortaya çıkan benzersiz evrimsel yolları göstermektedir (Buerki vd. 2013). Benzer desenler, endemik türlerin belirli çevresel streslerle başa çıkmak için benzersiz adaptasyonlar geliştirdiği Kanarya Adaları'nda da gözlemlenebilir (Hanz vd. 2023).

Koruma çabaları açısından, kantitatif analizler ve modern metodolojilerin kullanılması, endemik türler için çabaların belirlenmesi ve önceliklendirilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Örneğin, Türkiye'de yapılan kapsamlı bir nicel yaklaşım, tehdit altındaki endemik bitkilerin çeşitli dağılımlarını ortaya koyarak acil koruma dikkatine ihtiyaç duyan alanları vurgulamıştır (Türe ve Böcük 2010).

Endemik bitkilerin ekolojik ve ekonomik önemi abartılamaz. Sadece ekosistemlerinin vazgeçilmez parçaları olarak, birçok tür için habitat ve besin sağlayarak değil, aynı zamanda genellikle göz ardı edilen tıbbi ve tarımsal ilerlemeler için potansiyel bir kaynak olarak da hizmet ederler (Öz ve Özcan 2023). Bu bitkilerin işlevsel özellikleri—genellikle üreme ve büyüme niteliklerinde uzmanlaşmış olanlar—onları endemik olmayan floradan

ayırır (Burke 2005).

Endemizm desenlerini ve bu türlerin karşılaştığı tehditleri anlamak için küresel olarak çabalar hızlandırılmalıdır. Cezayir gibi bölgelerdeki endemik flora üzerine yapılan çalışmalar, taksonomik çeşitlilik ve gerekli koruma adımları hakkında kritik bilgiler ortaya koymuştur (Meddour vd. 2023). Benzer şekilde, Çin'in çeşitli dağlık bölgelerinde, jeolojik heterojenliğin etkisi, endemik odunsu tohumlu bitkilerin dağılımıyla ilişkilendirilmiş olup, coğrafi ve iklimsel değişkenlerin endemizmi nasıl teşvik ettiğini daha da göstermektedir (Huang vd. 2011).

Ayrıca, yerel türlerin özellikleri genellikle evrimsel tarihleri ve çevrelerinin ekolojik baskıları ile bağlantılıdır. Örneğin, Gabon'daki belirli endemik taksonlar orman habitatlarını tercih eder, bu da bu ekosistemlerin yapılandırılmasına yardımcı olur (Texier vd. 2022). Buna karşılık, Balkan endemik bitkileri üzerine yapılan çalışmalar, yüksek irtifa habitatlarının benzersiz koşulları nedeniyle çeşitlilik için merkezi noktalar olarak nasıl hizmet ettiğini vurgulamaktadır (Tomović vd. 2014).

Özetle, endemik bitkiler, zamanla evrilen adaptasyonlar aracılığıyla önemli bir biyolojik çeşitlilik sergileyerek çevreleriyle karmaşık bir ilişkiye sahiptir. Bu zengin çeşitliliği korumak için, habitat koruma, kapsamlı taksonomik belgeleme ve yerel topluluk katılımına yönelik odaklanmış çabalar zorunludur. Bu endemik türlerin dağılım desenlerini ve ekolojik rollerini anlamak, iklim değişikliği ve insan faaliyetlerinin etkilerini azaltmak açısından çok önemlidir, böylece bu gezegenin doğal mirasının bu hayati bileşenleri gelecek nesiller için sürdürülebilir hale gelir.

2.3.1 Afyonkarahisar Endemik Bitkileri

Eber sarısı, bilimsel adıyla *Vuralia turcica*, Türkiye'nin Afyonkarahisar ilindeki Eber Gölü çevresine özgü ilginç bir bitkidir. Bu bitki, yerel ekosistemde hayati bir rol oynar ve biyolojik ve ekolojik önemini anlamak, bölgenin biyolojik çeşitliliğini takdir etmek için gereklidir. *Vuralia turcica*, *Fabaceae* familyasına aittir ve çiçek tomurcuklarında genellikle üç, ancak iki veya dört de olabilen alışılmadık sayıda yumurta hücresi

sergileyen benzersiz üreme yapısıyla karakterizedir. Bu özellik, onu ailesindeki diğer türlerden ayıran bir niteliktir (Tekdal 2022). Eber sarısı'nın önemi biyolojik özelliklerinin ötesine geçer; aynı zamanda yerel topluluklar için önemli kültürel ve ekonomik bir değere sahiptir. *Vuralia turcica* gibi bitkiler, geleneksel uygulamalar ve yerel endüstriler için önemli olabilir, bu da onların benzersiz özelliklerinden faydalanır (Saç ve Özuluğ 2021). Bu türler genellikle yerel tıpta, bahçecilikte veya süs bitkisi olarak kullanılır ve bölgedeki insanların geçim kaynaklarına katkıda bulunur. Ayrıca, *Vuralia turcica*'nın korunması, Eber Gölü çevresindeki ekosistemlerin genetik çeşitliliğinin sürdürülmesi için hayati öneme sahiptir. Endemik türler genellikle ekosistemlerinde merkezi roller üstlenir, çeşitli yaşam formlarını destekleyen temel türler olarak hareket ederler. Bu tür floraların korunması esastır, çünkü yok olmaları, yaşadıkları ekosistemler üzerinde zincirleme etkilere yol açabilir (Aşçı vd. 2015). Eber sarısı'nın sürdürülebilirliğini sağlamak için, habitat kaybı ve iklim değişikliği de dahil olmak üzere, Eber sarısı'nı etkileyebilecek çevresel değişiklikleri izlemek hayati öneme sahiptir.

Eber Gölü çevresindeki floradaki zenginleşme, *Vuralia turcica* dahil olmak üzere, bölgedeki daha büyük bir ekolojik dengenin göstergesidir. Yakınlardaki habitatlarda yapılan önemli çalışmalar, göllerin ve sulak alanların biyolojik çeşitliliği desteklemede ve yerel iklimleri düzenlemede kritik bir rol oynadığını göstermiştir (Demir vd. 2017). Eber Gölü'nün, çeşitli fitoplankton ve fonksiyonel gruplar içeren bir ekolojik kaliteye sahip olduğu sınıflandırması, besin açısından zengin bir ortamın varlığını gösterir ve nihayetinde Eber sarısı gibi endemik türler de dahil olmak üzere çeşitli yaşam formlarını destekler. Taksonomi ve genetik çeşitlilik açısından, araştırmalar *Vuralia turcica* gibi endemik türlerin adaptif radyasyon sırasında genellikle belirgin genetik varyasyonlar sergilediğini göstermektedir (Tekdal 2022).

Bu varyasyonlar, belirli ortamlarda gelişmelerini sağlarken aynı zamanda bitki yetiştirme ve koruma konusundaki gelecekteki çalışmalar için değerli genetik kaynaklar da sunar. Bu genetik mirasın korunması, bilim insanlarının ve doğa korumacıların bu türlerin sürdürülebilir tarım ve ekolojik restorasyondaki potansiyel uygulamalarını keşfetmelerine olanak tanır.

İklim değışikliği ile ilgili zorluklar, genellikle dar sıcaklık ve nem eşiklerine sahip olan endemik türler için özellikle endişe vericidir. İklim senaryoları için tahmin modelleri, sıcaklık ve yağıştaki yerel değışimlerin, *Vuralia turcica* da dahil olmak üzere birçok bitki için yaşam alanı kaybına yol açabileceğini, zira koşulların hayatta kalmaları için daha az elverişli hale gelebileceğini öne sürmektedir (Saç ve Özuluğ 2021). Bu nedenle, habitat restorasyonu ve koruma stratejileri de dahil olmak üzere bu etkileri yönetmek için işbirlikçi koruma yaklaşımları hayati önem taşır.

Vuralia turcica üzerine yapılan araştırmalar, ekolojik rollerinin anlaşılmasını artırmakla kalmaz, aynı zamanda biyolojik çeşitliliğin kaybı ve korunması konusundaki daha geniş tartışmalara da katkıda bulunur. Yerel toplulukları koruma çabalarına dahil etmek çok önemlidir, çünkü genellikle sürdürülebilir yönetim uygulamaları için paha biçilmez olan geleneksel bilgiye sahiptirler (Dölarslan vd. 2018). Yerel yönetim ve biyolojik çeşitliliğin korunması girişimlerine katılım, sosyo-ekolojik değışimler arasında yerel türlerin dayanıklılığını artırabilir.

Afyonkarahisar ekosisteminin benzersiz bir bileşeni olarak, Eber sarısı daha geniş koruma çabalarını savunan bir amiral gemisi türü olarak hizmet edebilir. *Vuralia turcica* ve ekolojik önemi hakkında farkındalık yaratarak, paydaşlar biyolojik çeşitliliği korumayı amaçlayan etkili girişimleri destekleyebilirler. Endemik bitkilerin önemini vurgulayan eğitim programları, hem yerel halkın hem de ziyaretçilerin takdirini artırır ve koruma çabalarına aktif katılımı teşvik eder.

Eber sarısı, Türkiye'nin zengin biyolojik çeşitliliğini, özellikle Anadolu bölgesinde, simgeler. Bu türlerin korunması, ekolojik dayanıklılık ve tarımsal sürdürülebilirlik için hayati öneme sahip genetik kaynakların korunmasına yönelik çabaları artırır. Eber ve Akşehir gölleri gibi bölgelerdeki damarlı bitkilerin değerlendirilmesi, yerel endemik türlerin önemini ve ekolojik çerçevelerini daha iyi anlamak için bilimsel araştırmalara olan ihtiyacı yeniden teyit etmektedir (Dölarslan vd. 2018).

Türkiye'deki endemik türlere odaklanan araştırma çabaları yoğunlaşmaya devam etmeli, koruma politikalarını ve uygulamalarını yönlendiren önemli bilgiler sağlamalıdır. Bu tür

araştırmalar, bitkiler ve çevreleri arasındaki karmaşık etkileşimi anlamamızı şüphesiz zenginleştirecek ve *Vuralia turcica* gibi ikonik türlerin gelecek nesiller boyunca gelişmeye devam etmesini sağlayacaktır.

Özetle, Eber sarısı (*Vuralia turcica*), Afyonkarahisar'ın ekolojik zenginliğini vurgular ve özel floraların çevreleriyle olan bağlantısını ön plana çıkarır. Koruma ihtiyaı, biyolojik çeşitliliği teşvik etme, yerel ekonomileri tanıma ve toplulukları dahil etme öncelikli olmaya devam ediyor. Bu benzersiz bitkiyi korumak, yalnızca yerel bir biyolojik hazineyi korumakla kalmaz, aynı zamanda dünya çapında yerel türlerin karşılaştığı çevresel zorlukların acil bir şekilde ele alınması gereğini ifade eden daha geniş bir metafor olarak hizmet eder.

Salvia officinalis, *Verbascum afyonense* ve *Tribulus terrestris*, çeşitli terapötik uygulamaları nedeniyle etnofarmakoloji ve bitkisel tıpta önemli botanik türlerini temsil eder. Bu bitkilerin fitokimyası ve farmakolojik etkilerini anlamak, geleneksel ve modern tıptaki rollerini takdir etmek için esastır.

2.3.1.1 Afyonkarahisar Endemiği oban kerten (*Tribulus Terrestris*)

Buna karşılık, genellikle delici sarmaşık olarak bilinen oban kerten (şekil 2.5), iddia edilen şekilde atletik performansı artırdığı ve testosteron seviyelerini yükselttiği söylenen bir bitkisel takviye olarak popülerlik kazanmıştır. *Tribulus terrestris*'in aktif bileşenleri, özellikle bir steroidal saponin olan protodioscin, androjenik aktivitenin artırılmasında rol oynamıştır (Filho vd. 2018).



şekil 2.5 oban kerten (*T. terrestris*) (a: taze hali, b: kuru hali).

Araştırmalar, bu bileşiğin endokrin sistemi etkileyerek testosteron üretimini teşvik edebileceğini ve sperm üretimini iyileştirebileceğini göstermektedir (Allah vd. 2019). Çeşitli hayvan modelleri üzerinde yapılan çalışmalar, *Tribulus terrestris* ekstraktlarının testosteron seviyelerinde önemli artışlara yol açabileceğini göstermiştir, bu da geleneksel afrodizyak formülasyonlarında yaygın kullanımı göz önüne alındığında özellikle dikkate değerdir (Kavitha ve Subramanian 2011).

Ayrıca, *Tribulus terrestris*'in etkileri erkek üreme sağlığının ötesine geçmektedir. Ekstraktları, hepatoprotektif özellikleri için araştırılmıştır ve bulgular, çeşitli toksinler ve ilaçlar tarafından indüklenen karaciğer hasarını iyileştirebileceklerini önermektedir (Akhtari vd. 2014). *Tribulus terrestris*'in oksidatif stresi azaltma yeteneği, anti-inflamatuar etkileriyle birleştiğinde, sağlık koşullarını ele almak için çok yönlü bir yaklaşım sunar (Wei vd. 2014).

Ancak, *Tribulus terrestris*'in etkinliği uniform olarak kanıtlanmamıştır. Bazı çalışmalar, takviye sonrası kan testosteron seviyelerinde artışlar bildirir de, diğerleri önemli değişiklikler olmadığını belirtmekte ve dozaj, ekstraksiyon yöntemleri ve incelenen spesifik popülasyon gibi faktörlerin etkilediği değişkenliği vurgulamaktadır (Pavin vd. 2018). Ayrıca, bitkinin potansiyel yan etkileri ve terapötik etkiler için gerekli dozajlar, iyi tasarlanmış klinik denemelerle daha fazla araştırmayı gerektirmektedir (İbrahim ve Kadhim 2017).

2.3.1.2 Afyonkarahisar Endemiği Gri Adaçayı (*Salvia leucophylla*)

Salvia officinalis, yaygın olarak Adaçayı (*S. leucophylla*) olarak bilinir, tıbbi özellikleri için kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Bitki, flavonoidler, fenolik asitler ve uçucu yağlar dahil olmak üzere biyoaktif bileşikler açısından zengindir ve bu bileşikler, bitkinin sayısız sağlık faydasına katkıda bulunur. Adaçayı (*S. leucophylla*), önemli antioksidan özellikler göstermiştir ve bu da oksidatif stresi ve onunla ilişkili hasarları azaltmaya yardımcı olabilir (Rajabi ve Jashni 2014). Ayrıca, *Salvia officinalis* bilişsel gelişimle ilişkilendirilmiştir ve potansiyel olarak hafıza ve bilişsel işlevi destekleyebilir, bu da Alzheimer hastalığı gibi nörodejeneratif durumlar için özellikle önemlidir (Farhan 2019).

Adaçayı yapraklarından elde edilen uçucu yağlar, thujone, kafur ve 1,8-sineol gibi bileşenler içerir ve bu bileşenler anti-inflamatuar ve antiseptik özelliklere sahiptir (Mei vd. 2021). Ayrıca, Adaçayının potansiyel anti-diyabetik etkileri olduğu belirtilmiştir. Çalışmalar, Adaçayı özlerinin glukoz seviyelerini düzenleyebileceğini ve glisemik kontrolü iyileştirebileceğini, bu durumun diyabet yönetiminde değerli bir rol oynadığını göstermiştir (Sousa ve Lima 2019). Bitki, kadın sağlığındaki rolüyle de tanınmaktadır; menopozla ilişkili sıcak basması ve ruh hali değişiklikleri gibi semptomları hafifletmek için geleneksel olarak kullanılmıştır (Martino-Andrade vd. 2010). Şekil 2.6'da Gri Adaçayı (*S. leucophylla*) bitkisinin taze ve kuru hali verilmiştir.



Şekil 2.6 Gri Adaçayı (*S. leucophylla*) (a: taze hali, b: kuru hali).

Genel olarak, *Salvia officinalis*, *Verbascum afyonense* ve *Tribulus terrestris*'in değerlendirilmesi, hem geleneksel kullanımlar hem de modern bilimsel araştırmalarla desteklenen terapötik uygulamalarının incelikli bir anlayışını vurgulamaktadır. Her bitki, hormon düzenlemesinden anti-inflamatuar ve antioksidan aktivitelere kadar sağlık yararlarına katkıda bulunan benzersiz bileşikler barındırır.

2.3.1.3 Afyonkarahisar Endemiği Sığırkuyruğu (*Verbascum Afyonense*)

Sığırkuyruğu, *Verbascum* cinsinde daha az bilinen bir tür olup, belirli bölgelerde endemiktir ve terapötik özellikleri için kullanılmıştır. Ön araştırmalar, bu bitkiden elde edilen ekstraktların anti-inflamatuar ve analjezik etkiler gösterdiğini belirtmektedir (Christev vd. 2011). *Verbascum afyonense*'nin fitokimyasal profili, çeşitli saponinler ve flavonoidler içerir; bu da bitkinin tıbbi etkinliğine katkıda bulunabilir. Şekil 2.7'de Sığırkuyruğu bitkisinin taze ve kuru hali verilmiştir.



Şekil 2.7 Sığırkuyruğu (*V. afyonense*) (a: taze hali, b: kuru hali).

Bitki, geleneksel olarak halk tıbbında solunum sorunları, sindirim problemleri ve cilt hastalıklarını tedavi etmek için kullanılmıştır. Son araştırmalar, *Verbascum afyonense*'nin anti-tümör ajanı olarak potansiyelini ortaya koymuştur. Fitokimyasal analizler, tümör hücrelerinin çoğalmasını inhibe edebilen ve kanserli hücrelerde apoptozu teşvik edebilen bileşiklerin varlığını önermektedir (Meybodi vd. 2024). Bu özellik özellikle umut vericidir, çünkü geleneksel bitkisel tıp giderek yüzyıllardır kullanılan bitkilerin etkinliği için bilimsel kanıtları dahil etmeye çalışmaktadır.

2.3.1.4 Afyonkarahisar Endemiği Eber sarısı (*Thermopsis turcica*)

Eber sarısı'nın (Şekil 2.8) habitat spesifikliği, bitkinin Eber Gölü havzasının yerel çevresel koşullarına uyum sağladığını vurgular. Bölgenin ekolojik özellikleri, toprak bileşimi, hidrografi ve iklim dahil olmak üzere, bitkinin büyümesine ve üreme başarısına önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır (Demir vd. 2017). *Vuralia turcica*'nın bu belirli bölgede bulunması, bölgenin zengin biyolojik çeşitliliğini vurgular, çünkü bu, izole bir şekilde evrimleşmiş ve belirli ekolojik nişlere uyum sağlamış endemik türlerin bir özelliğidir (Dölarslan vd. 2018).



Şekil 2.8 Eber sarısı (*T. turcica*) (a: taze hali, b: kuru hali).

2.3.2 Endemik Bitkileri Ekstrasyonları

Endemik bitkilerin ekstraksiyon yöntemleri, farmasötik, tarım ve koruma alanlarında biyolojik aktif bileşenleri izole etmeyi ve kullanmayı amaçlayan çeşitli teknikleri kapsamaktadır. Belirli coğrafi bölgelere özgü olan ve genellikle özel adaptasyonlar sergileyen endemik bitkiler, sağlık ve tarıma fayda sağlayabilecek metabolitlerin zengin kaynakları olarak hizmet eder ve fitokimyasal özelliklerini araştıran çalışmalarla desteklenir.

Endemik bitkilerden biyoaktif bileşenleri çıkarmanın birincil yöntemlerinden biri çözücü ekstraksiyonudur. Bu teknik, aktif bileşenlerin izole edilmesi için belirli fitokimyasal bileşenleri çözmek amacıyla çeşitli çözücüler kullanmayı içerir. Örneğin, Morales-Sánchez ve arkadaşları, etil asetat ve metanolik çözücü ekstraksiyonları yoluyla endemik türlerle ilişkili endofitik mantarlardan biyolojik aktif ekstraktların tanımlanmasını göstermiştir; bu ekstraksiyonlar böcek öldürücü metabolitler elde etmiştir (Morales-Sánchez vd. 2021). Bu tür metodolojiler, tarımda zararlı böcek direnci için kritik öneme sahip biyolojik aktif özelliklere sahip ikincil metabolitleri hedeflemek için gereklidir.

Ayrıca, bu ekstrelerdeki fitokimyasal bileşenleri nicelendirmenin bir yolu olarak yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) gibi teknikler kullanılmaktadır. Bolanthus ortegioides durumunda, araştırmacılar metanolik ekstraktları analiz etmek için HPLC kullandılar, bitkinin kimliğini doğruladılar ve biyolojik aktif potansiyeli hakkında bilgiler sundular (Madhani ve Sönmez 2022). Ekstraksiyon süreci, yöntemin verimliliğini ve çözücünün istenen bileşenleri seçici olarak çözme yeteneğini dikkate almalıdır, çünkü farklı bitki türleri genellikle benzersiz biyokimyasal bileşimleri nedeniyle farklı yaklaşımlar gerektirir.

Paralel olarak, biyolojik testler, endemik bitkilerden elde edilen etkili bileşiklerin izolasyon süreçlerini yönlendirmede önemli bir rol oynamaktadır. Moawad ve arkadaşları, Euphorbia peplus'tan leishmanisitik metabolitleri izole etmek için biyolojik olarak yönlendirilmiş ekstraksiyon gerçekleştirdiler ve bileşiklerin patojenlere karşı etkinliğini değerlendirmek için geleneksel ekstraksiyon yöntemlerini biyotestlerle birleştirdiler (Moawad vd. 2016). Bu yaklaşımlar, metodoloji ile biyoprospeksiyon

arasındaki hayati etkileşimi göstermektedir; burada başarılı ekstraksiyon, hem biyolojik aktivite hem de ekstraktların kimyasal doğasının kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına dayanır.

Ayrıca, çeşitli formülasyonlarda ekstrelerin hazırlanması ve uygulanmasının incelenmesi, endemik bitkilerin kullanılmasının karmaşıklığını vurgular. Örneğin, sulu ekstraktlar topikal uygulamalar veya oral alım için kullanılabilir, bu da endemik floranın geleneksel tıbbi kullanımlarını yansıtır (Moawad vd. 2016). Ekstraktın konsantrasyonu ve formu, terapötik etkinliğini etkiler, bu da ekstraksiyon süreci boyunca titiz standartlaştırma protokollerini gerektirir. Karşılaştırmalı çalışmalar, endemik bitkilerin kimyasal profillerinde önemli değişkenlikler gösterdiğini ve bu durumun kullanılan ekstraksiyon yöntemlerini etkilediğini göstermektedir. *Wiedemannia orientalis* üzerine yapılan bir çalışma, çiçek özlerinin güçlü bir antikanser aktivitesine sahip olduğunu göstermiştir (Keser vd. 2022). Bu bitkilere özel farklı ekstraksiyon protokolleri, endemik bir türün ekolojisi ile biyokimyasal potansiyeli arasındaki ilişkinin anlaşılmasının önemini vurgular. Araştırmacılar, bireysel tür özelliklerine göre verim ve saflığı maksimize etmek için basit ezme yöntemlerinden süperkritik sıvı ekstraksiyonu gibi ileri düzey yöntemlere kadar çeşitli teknikler kullanmaktadır.

Sürdürülebilir çıkarım uygulamaları, çoğu habitat kaybı ve iklim değişikliği riskleriyle karşılaşan endemik türler için özellikle önemlidir. Koruma çabaları, biyoprospeksiyon ihtiyacını biyoçeşitliliğin korunmasıyla dengelemeli ve endemik bitkilerin hasat edilmesi ve kullanılmasıyla ilgili düzenlemeleri gerektirmelidir (Reyes-Betancort vd. 2008, Gallagher vd. 2020). Endemik flora arasında yok olma risklerini değerlendirmek, onların çıkarılması ve kullanımıyla ilgili etik hususları vurgular (Kougioumoutzis vd. 2021, Rønsted vd. 2022).

Endemik bitkilerle ilişkili etnobotanik yönler, toplulukların nesiller boyu kullandığı geleneksel ekstraksiyon yöntemlerini ortaya koymaktadır. Bu geleneksel uygulamaların modern farmakognoziye dahil edilmesi, karşılıklı öğrenme potansiyelini gösterir ve çağdaş araştırma ve koruma stratejilerine katkıda bulunur. Yerel bilgiyi bilimsel yaklaşımlarla birleştirmenin, biyoçeşitlilik sıcak noktalarından elde edilen floraya

yönelik araştırmalarda vurgulandığı gibi, yeni biyoaktif bileşiklerin keşfine yol açtığı gösterilmiştir (Hua 2016).

2.3.3 Endemik Bitkileri Karakterizasyonları ve Özellikleri

Endemik bitkilerin karakterizasyonu ve özellikleri, onların benzersiz ekolojik rollerine ve bu türlerin korunmasının önemine dair hayati bilgiler sağlar. Endemik bitkiler, belirli coğrafi alanlarla sınırlı olan ve genellikle yerel çevrelerine özgü adaptasyonlar sergileyen türlerdir. Bu bitkiler, sadece ekosistemlerinde değil, aynı zamanda tıp, tarım ve çevre yönetiminde de hayati roller üstlenirler. Bu makale, endemik bitkilerin ekolojik ve biyolojik özellikleriyle ilgili son bulguları sentezleyerek, bunların önemi, adaptasyonları ve potansiyel uygulamaları üzerine odaklanmaktadır.

Endemik bitkilerin temel yönlerinden biri, yerel ekolojik koşullara yanıt olarak evrimleşmeleridir. Endemik türler genellikle toprak türleri, iklim ve habitat mevcudiyeti gibi benzersiz çevresel değişkenlere uyum gösterir. Gorman ve arkadaşları, bu bitkilerin parçalanma, coğrafi izolasyon ve değişen iklim koşullarının baskılarıyla başa çıkmak için nasıl belirgin işlevsel özellikler geliştirdiğini açıklıyor ve bu durumun, habitatlarındaki türler arası etkileşim dinamiklerini etkileyen "endemik sendromlar"ın gelişmesine yol açtığını belirtiyor (Gorman vd. 2014).

Endemik bitkiler ayrıca ekosistem hizmetlerinin kritik sağlayıcıları olarak da hizmet eder. Cheminal ve diğerleri tarafından yapılan sistematik bir inceleme, Yunanistan gibi bölgelerde birçok endemik taksonun, biyolojik çeşitliliğin desteklenmesi, toprak stabilizasyonu ve su düzenlemesi gibi rolleri aracılığıyla çevresel faydalara önemli ölçüde katkıda bulunduğunu vurgulamaktadır (Cheminal vd. 2022). Belgelenmiş Yunan endemiklerinin yaklaşık %25'i ekosistem hizmetleri sağlayıcıları olarak tanınmakta olup, bu da henüz yeterince keşfedilmemiş önemli bir potansiyele işaret etmektedir. Bu, bu türlerin ekolojik rollerinden yararlanmak için korunmalarının ve daha fazla araştırılmalarının gerekliliğini vurgulamaktadır.

Endemik bitkilerin tıbbi uygulamaları, özellikle farmakolojik özellikleri açısından önemli bir ilgi görmüştür. Mauritius'tan endemik bitkiler üzerine yapılan araştırmalar, dikkate

değer anti-kanser ve immünomodülatör etkileri olan birkaç türü belirlemiştir. Örneğin, *Eugenia tinifolia* gibi türlerden elde edilen ekstraktlar, özofagus skuamöz hücreli karsinomuna karşı önemli sitotoksik aktivite gösterdi, bu da endemik floradan türetilen yeni terapötik ajanların geliştirilmesi için ikna edici bir durum sunuyor (Kauroo vd. 2021, Rummun vd. 2019). Benzer şekilde, İran'a özgü bir bitki olan *Teucrium persicum*, kanser önleyici özellikleri için incelendi ve endemik türlerden kaynaklanan yaygın tıbbi uygulamalar potansiyelini ortaya koydu (Tafrihi vd. 2014).

Endemik bitkilerin çeşitli kimyasal bileşimlerini keşfetmek, zengin bir biyolojik aktif bileşenler kaynağı sağlayabilir. Sardinya'dan gelen raporlar, endemik türlerin sahip olduğu benzersiz fitokimyasal profillere işaret etmiştir; bu profiller, sınırlı yaşam alanları ve evrimsel yolları tarafından etkilenmektedir. Bu biyolojik çeşitlilik, sadece Sardinya'da yaklaşık 290 endemik takson ile, yeni ilaç geliştirme potansiyelini sergilemektedir (Sanna vd. 2020). Bu bitkiler genellikle antimikrobiyal, antioksidan ve anti-inflamatuar özellikler sağlayabilen sekonder metabolitler üretir, bu da bu türlerin terapötik potansiyelleri için incelenmesi ve korunması çabasını daha da doğrular (Cocco vd. 2022).

Ekolojik çalışmalar, endemik bitkilerin dağılımını ve koruma durumunu değerlendirmek için çeşitli nicel yöntemler kullanmıştır. Türe ve Böcük'ün çalışması, Türkiye'deki tehdit altındaki endemik türlerin koruma önemini nicelleştirmek için Sıralı Ağırlıklı Ortalama (OWA) yönteminin uygulanmasını göstermektedir (Türe ve Böcük 2010). Belirli ızgara karelerindeki endemik tür sayısı ve risk kategorileri gibi değişkenleri analiz ederek, bu yaklaşım bitki çeşitliliğini korumak için en kritik bölgelerde koruma çabalarının önceliklendirilmesine yardımcı olur. Bu nicel çerçeve, özellikle birçok yerel bitkinin habitat kaybı ve iklim değişikliği nedeniyle yok olma riski taşıdığı göz önüne alındığında, etkili koruma stratejilerini yönlendirmek için gereklidir.

Ayrıca, toprak özellikleri ile endemik bitki dağılımı arasındaki ilişki, bu türlerin özel ihtiyaçlarını anlamada önemli bir rol oynamaktadır. Çalışmalar, birçok endemik bitkinin belirli toprak koşullarında geliştiğini ve bunun onların büyümesini ve ekolojik başarısını etkileyebileceğini göstermektedir. Örneğin, nadir endemik bitkilerin habitatları genellikle jeolojik oluşumlardan kaynaklanan benzersiz toprak koşulları ile karakterizedir, Baker ve

arkadaşlarının vurguladığı gibi (Baker vd. 2016). Bu bilgi, koruma stratejilerini bilgilendirir ve toprak bütünlüğünü korumanın, türleri korumak kadar önemli olduğunu öne sürer.

2.4 Yeşil Sentez

Nanomalzemelerin yeşil sentezi, çevre dostu sürdürülebilir yapısı nedeniyle önemli bir dikkat çekerek nanoteknoloji içinde merkezi bir alan olarak ortaya çıkmıştır. Bu yöntem, bitkiler, mantarlar ve mikroorganizmalar gibi biyolojik varlıkları kullanarak, geleneksel sentetik süreçlerle genellikle ilişkilendirilen toksik kimyasallar olmadan nanomalzemelerin oluşumunu kolaylaştırır. Amaç, bu biyolojik sistemlerin doğal özelliklerini kullanarak yalnızca işlevsel uygulama taleplerini karşılamakla kalmayıp aynı zamanda ekolojik dikkate de uyum sağlayan nanopartiküller üretmektir (Narayanan ve Bhaskar 2024, Mustapha vd. 2022). Yeşil sentezin temel avantajlarından biri maliyet etkinliği ve çevresel güvenliğidir. Geleneksel fiziksel ve kimyasal yöntemlerin aksine—genellikle yüksek enerji tüketimi, toksik yan ürünler ve pahalı malzemelerle karakterize edilen—yeşil sentez yolları biyolojik kaynaklardan elde edilen biyobozunur ve doğal malzemeleri kullanır. Örneğin, flavonoidler, terpenoidler ve polifenoller gibi fitokimyasallar açısından zengin bitki özlerinin, metal iyonlarını nanopartikül formlarına etkili bir şekilde indirgeme yeteneğine sahip olduğu ve hem indirgeme ajanı hem de stabilizatör olarak işlev gördüğü gösterilmiştir (Bharadwaj vd. 2021, Mustapha vd. 2022). Bu çift rol, sentez sürecini kolaylaştırırken elde edilen nanopartiküllerin stabilitesini ve işlevsel özelliklerini artırdığı için özellikle avantajlıdır (Mustapha vd. 2022). Yeşil sentezlenmiş nanopartiküllerin uygulama alanı geniştir, sağlık hizmetlerinden çevresel iyileştirmeye, enerji depolamadan katalize kadar uzanır. Örneğin, yeşil süreçler aracılığıyla gümüş nanopartiküllerin geliştirilmesi, bunların antimikrobiyal uygulamalardaki potansiyelini vurgulamış ve bu çevre dostu nanomalzemelerin küresel sağlık sorunlarının çözümünde nasıl hayati olabileceğini göstermiştir (Bharadwaj vd. 2021, Mustapha vd. 2022). Benzer şekilde, bitki özleri kullanılarak sentezlenen çinko oksit nanoparçacıkları, su ve topraktaki kirleticileri gidermede çevresel iyileştirme uygulamalarında güçlü bir etkinlik göstermiştir (Kalpana ve Rajeswari 2018). Bu tür işlevsellikler, yeşil sentezin yalnızca nanomalzemelerin üretimiyle değil, aynı zamanda acil toplumsal zorlukların ele alınmasıyla da ilgili olduğunu vurgular. Yeni ortaya çıkan

eğilimler, yeşil kimya ilkelerinin nanopartikül sentezine entegrasyonunun yalnızca toksik atıkları minimize etmekle kalmayıp, aynı zamanda üretilen nanomalzemelerin performans özelliklerini de artırdığını göstermektedir. Biyokütlenin bir kaynak olarak kullanılması, tarımsal ve endüstriyel atıkların yaratıcı bir şekilde geri dönüştürülmesini sağlar, yeşil sentezi döngüsel ekonomi ilkeleriyle uyumlu sürdürülebilir bir alternatif olarak konumlandırır (İkbal ve Choudhury 2023). Karakterizasyon teknikleri, UV-Vis spektroskopisi, X-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) gibi, bu nanopartiküllerin sentez sonrası morfolojik ve yapısal özelliklerini doğrulamada kritik bir rol oynar, böylece hedeflenen uygulamaları için gerekli standartlara uygun olduklarından emin olunur (Mahmoud 2020).

Ayrıca, nanopartikül sentezinin verimliliği ve verimi üzerindeki çeşitli parametrelerin etkisi önemli bir araştırma alanı olmuştur. pH, sıcaklık ve bitki özütünün konsantrasyonu gibi faktörler, nanopartiküllerin boyutunu ve dağılımını büyük ölçüde etkileyebilir (Azad vd. 2023). Bu parametreleri optimize ederek, araştırmacılar nanomalzemelerin özelliklerini belirli uygulama ihtiyaçlarına göre, ister ilaçlarda ister çevre teknolojilerinde, uyarlayabilirler (Martins ve Kaczerewska 2021).

Sayısız avantajına rağmen, yeşil sentez ölçeklenebilirlik ve yeniden üretilebilirlik ile ilgili zorluklarla karşı karşıyadır. Biyolojik malzemelerin bileşimindeki değişkenlik, nanopartikül sentezinde tutarsızlıklara yol açabilir, bu da laboratuvar ölçeğinden endüstriyel ölçeğe geçişte kritik bir husus haline gelir (Nasrollahzadeh vd. 2020, Lü ve Ozcan 2015). Sürekli araştırma ve geliştirme çabaları, daha büyük üretim serilerinde kalite ve güvenilirliği sağlamak için yöntemleri standartlaştırmak ve sentez parametrelerinin kontrolünü iyileştirmek amacıyla devam etmektedir (Lü ve Ozcan 2015).

Ayrıca, yeşil sentezin sürdürülebilir doğası, sentez sürecinin ötesine geçer; üretilen nanomalzemelerin tüm yaşam döngüsünü kapsar. Nanoprodüktlerin çevresel, sağlık ve güvenlik etkilerini dikkate alarak, yeşil nanoteknoloji küresel girişimler tarafından belirlenen sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu hale gelir (Bu vd. 2024). Bu algı, nanomaddelerle ilgili potansiyel risklere dair devam eden endişeler göz önüne

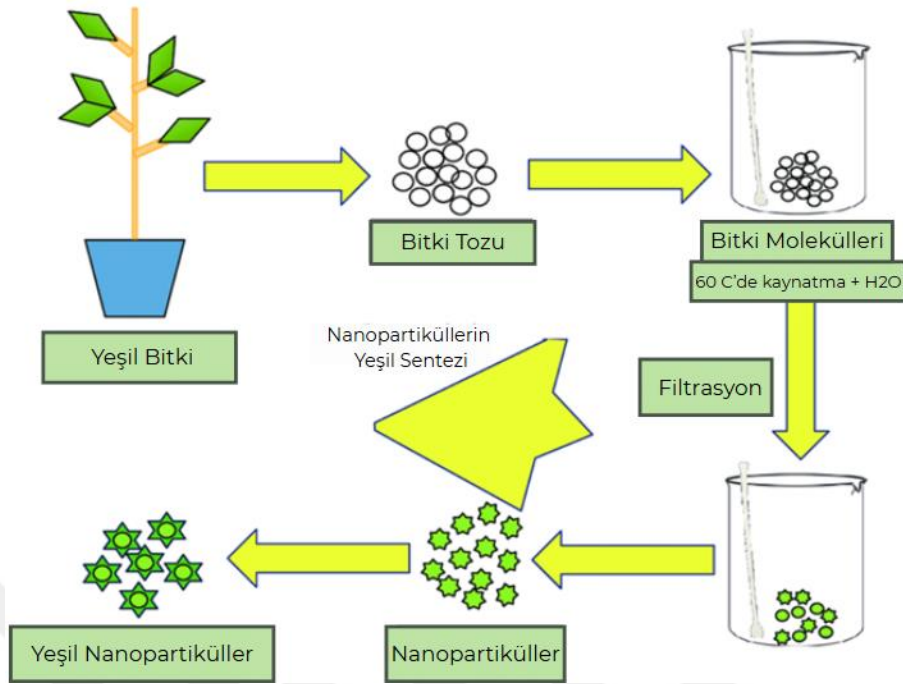
alındığında, nanoteknolojiye yönelik kamu güveni ve kabulünü teşvik etmek için hayati öneme sahiptir.

Gelecek gelişmeler alanında, yeni biyolojik kaynakların keşfi ve çok bileşenli sistemlerden elde edilen sinerjik etkilerin kullanılması, yeşil sentezlenmiş nanomalzemelerin işlevselliğini ve uygulanabilirliğini artırabilir (Fiedot vd. 2021). Yeşil nanoteknolojinin geleceği sağlam görünüyor, yenilikçi süreçlerin yeni malzemelere ve endüstri ile çevreye daha fazla fayda sağlayan süreçlere yol açması için umut verici beklentiler var.

Sonuç olarak, yeşil sentez, nanomalzeme üretiminde sürdürülebilirliğin gerekliliklerini teknolojik ilerlemenin talepleriyle birleştirerek dönüştürücü bir yaklaşım olarak hizmet eder. Başarısı, yalnızca laboratuvardaki yenilikçi uygulamalara değil, aynı zamanda akademi, sanayi ve düzenleyici kurumlar arasındaki işbirlikçi çabalara da bağlı olacaktır; bu çabalar, sağlık ve çevreye olan riskleri en aza indirirken faydaları maksimize eden dengeli bir yaklaşımı sağlamayı amaçlamaktadır (Singh vd. 2024). Araştırmacılar bu disiplinlerarası alanda yol almaya devam ederken, yeşil kimya ilkeleri şüphesiz nanoteknolojinin gelecekteki manzarasını şekillendirmede bir köşe taşı olmaya devam edecektir.

2.4.1 Yeşil Sentez ile Nanopartikül Eldesi

Yeşil sentez kullanarak nanopartikül üretimi (Şekil 2.9), ekolojik sürdürülebilirlikle uyumlu olan ve nanoteknolojinin faydalarından yararlanan öne çıkan bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır. Yeşil sentez, nanopartiküllerin çevre dostu yöntemlerle oluşumunu kolaylaştırmak için öncelikle bitki özleri ve mikroorganizmalar gibi biyolojik varlıkları kullanır. Bu süreç, biyolojik materyallerden elde edilen doğal indirgeme ve kaplama ajanlarının kullanımını içerir; bu ajanlar metal iyonlarının nanopartiküllere indirgenmesini sağlar ve bu nanopartiküllerin aglomerasyonunu önlemek için stabilize eder (Kumar vd. 2020, Soltys vd. 2021). Yeşil sentezle üretilen nanopartiküller, gümüş, altın, bakır, demir oksitleri ve çinko oksit gibi çeşitli malzemeleri kapsar ve bu malzemeler, çeşitli uygulamalara uygun benzersiz özellikler ve işlevsellikler sergiler.



Şekil 2.9 Yeşil sentez ile nanopartikül üretimi (Shafiq vd. 2021).

Yeşil sentezle üretilen nanopartiküller, gümüş, altın, bakır, demir oksitleri ve çinko oksit gibi çeşitli malzemeleri kapsar ve bu malzemeler, çeşitli uygulamalara uygun benzersiz özellikler ve işlevsellikler sergiler. Örneğin, yerel bal kullanılarak sentezlenen gümüş nanopartikülleri, balın hem indirgeme hem de stabilize edici ajan olarak işlev görmesiyle dikkate değer katalitik özellikleriyle tanınmıştır (Haiza vd. 2013, Nahar vd. 2015).

Benzer şekilde, yeşil çay ekstresi, epigallocatechin-3-gallate gibi kateşinlerin varlığı sayesinde bakır nanopartiküllerinin sentezine katkıda bulunur; bu kateşinler, indirgeme sürecine yardımcı olurken nanopartiküllere antioksidan özellikler kazandırır (Thomas vd. 2022).

Bir diğer dikkate değer örnek, *Cissus quadrangularis* gibi bitki özlerini kullanarak çevresel iyileştirme ve biyomedikal alanlarda potansiyel uygulamalara sahip kararlı nanopartiküller elde eden demir nanopartiküllerinin sentezidir (Anandam ve Indira 2021, Saif vd. 2016). Demir nanoparçacıkları, toksik olmayan doğası ve maliyet etkinliği nedeniyle dikkat çekmiştir, bu da onları kirlilik sorunlarını çözmek ve ilaç taşıma sistemlerinde hizmet vermek için uygun adaylar haline getirmiştir. Ayrıca, çinko oksit gibi diğer malzemelerden türetilen nanopartiküller, yeşil kimya ilkelerine saygı gösteren

metodolojiler kullanılarak üretilir, bu da insan sağlığı ve çevre üzerindeki genel etkiyi en aza indirir (Khalafi vd. 2019).

Yeşil sentez metodolojisi genellikle çok yönlüdür ve nanopartiküllerin boyutunu, şeklini ve dağılımını optimize etmek için çeşitli teknikler içerir. Örneğin, bitki özlerinin kullanımı sadece metal tuzlarının azaltılmasını teşvik etmekle kalmaz, aynı zamanda özün benzersiz biyomolekülleri aracılığıyla sentezlenen nanopartiküllerin stabilizasyonunda da kritik bir rol oynar (Sharma vd. 2012).

Ayrıca, birden fazla doğal kaynağın entegrasyonu, senteze ekolojik yaklaşımı zenginleştirir ve geleneksel nanopartikül üretiminde genellikle kullanılan zararlı kimyasallara olan bağımlılığı azaltan çeşitli bir platform oluşturur (Soltys vd. 2021, Wang vd. 2016).

Çevresel sürdürülebilirlik, yeşil sentezde merkezi bir tema olmaya devam etmektedir. Tehlikeli atıkların ve nanopartikül üretimiyle ilişkili genel karbon ayak izinin azaltılması, yeşil kimya ilkeleriyle uyumludur ve bu durum, bilimsel ve endüstriyel toplulukları daha sürdürülebilir bir geleceği teşvik etmenin bir yolu olarak bu yöntemleri benimsemeye yönlendirmektedir (Soltys vd. 2021, Rauwel vd. 2015, Henríquez vd. 2020).

Yeşil sentez yöntemlerinin uyarlanabilirliği, ölçeklenebilirlik sağlarken çevre dostu niteliklerini koruyarak çekiciliklerini daha da artırır (Varadavenkatesan vd. 2016). Araştırmacılar, nanopartikül sentezi için doğal malzemelerin çeşitliliğini keşfetmeye devam ederken, yeni ve yenilikçi yöntemler keşfetme potansiyeli güçlü bir şekilde devam ediyor. Yeşil sentezin uygulanması, geleneksel metal nanopartiküllerinin ötesine geçerek daha karmaşık yapıları kapsar, bu da sağlık hizmetlerinden çevre korumaya kadar çeşitli toplumsal zorlukları ele alabilen çok işlevli malzemelerin geliştirilmesine yol açabilir (Souza vd. 2019).

Özetle, yeşil sentez yoluyla nanopartikül üretimi, maliyet, sağlık etkileri ve çevresel sürdürülebilirliği dikkate alan malzemeler oluşturmak için ekolojik kaynakları kullanan geleneksel yöntemlere umut verici bir alternatif sunmaktadır. Birçok çalışmanın

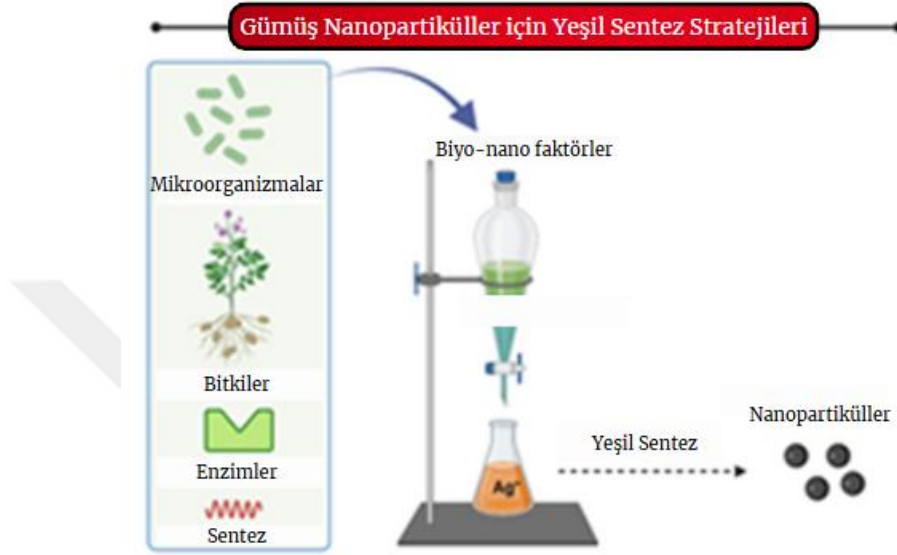
sonuçları, bitki özlerinin yalnızca nanopartiküllerin sentezini sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda bunlara nanomedikal, tarım ve kataliz gibi çeşitli uygulamalara uygun özgün özellikler kazandırdığını desteklemektedir. Yeşil sentez, nanoteknolojiyi sürdürülebilir uygulamalarla entegre etme yönünde önemli bir adımı temsil eder ve bu yenilikçi alanın potansiyelini tam olarak anlamak ve kullanmak için daha fazla araştırma yapılması gerektiğini vurgular (Nahar vd. 2015, Haiza vd. 2013).

2.4.1.1 Yeşil Sentez ile Gümüş Nanopartikül Eldesi

Gümüş nanopartiküllerin sentezinde (Şekil 2.10) polioksometalatlar, polenler, polisakkaritler ve ışınlamalar gibi farklı yeşil sentez yöntemleri kullanılmaktadır. Yeşil sentez, nanopartiküllerin sentezi için bitkiler, bakteriler ve mantarlar gibi biyolojik olarak dost elementlerin uygulanması olarak tanımlanır. Bu çarpıcı yeşil yaklaşımlar, geleneksel sentetik yaklaşımlardaki kısa düşüşlerden muaftır. Bunlardan biri bitki ekstraktının kullanıldığı biyo-organizmadır. Çevre dostudur, kimyasal indirgeme yöntemleriyle karşılaştırıldığında toksisite etkisi yoktur. Bitki ekstraktı, AgNP'lerin sabit ve kesin şeklini oluşturan kapatma ajanlarının yanı sıra indirgeyici ajan olarak da çalışır. Bitki ekstraktındaki amino asitler, vitaminler, enzimler ve proteinler gibi biyo moleküller Ag⁺ gümüş iyonlarının konsantrasyonunu azaltmak için çalışır. Bu amaçla gümüş iyonlarının konsantrasyonunu azaltmak için moringa, acı elma, çemen otu, neem ve daha birçok farklı bitki özleri kullanılır (Patra ve Baek 2014, Varthini vd. 2018, Satavani vd. 2011, Agneline vd. 2013).

Gecer çalışmasında *Salvia aethiopis* L., distile suda 2 saat ısıtılıp, filtrelemeden sonra su ekstraktı, gümüş nanopartikülleri (SaAgNP'ler) verecek şekilde 60°C'de 2 saat boyunca gümüş nitratla işlenmiştir. Gümüş nanopartiküllerin yapısı, Ultraviyole-görünür (UV-Vis), Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), X-ışını kırınımı (XRD) ve Taramalı elektron mikroskobu (SEM) gibi yöntemlerle aydınlatılmıştır (Gecer 2021). Ramasamy ve Prabha gümüş nanopartiküllerin yeşil sentezinin karakterize edilmesini ve insan patojenlerine karşı antibakteriyel aktivitesini çalışmıştır. *Salvia leucantha* Cav'ın Lamiaceae familyası bitkisi. gümüş nanopartiküllerin sentezi ve bunların dört insan patojenine karşı antibakteriyel aktivitedeki etkinliği bitki ekstraktı aracılı sentezlenen gümüş nanopartikülleri UV-Vis spektroskopisi, FT-IR, XRD, SEM ve EDS ile

karakterize edilmiştir. Sentezlenen nanopartiküller *Bacillus*, *Escherichia coli*, *Proteus vulgaris* ve *Streptococcus pneumonia*'ya karşı dikkate değer antibakteriyel aktivite göstermiştir (Ramasamy ve Prabha 2016).



Şekil 2.10 AgNP üretim özeti.

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Kullanılan Malzemeler

Çalışmada kullanılan endemik bitkiler resimleriyle beraber Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Çalışmada kullanılan endemik bitki görselleri.

Endemik bitkinin adı	Endemik bitkinin resmi
Çoban Çökerten (<i>Tribulus terrestris</i>)	
Adaçayı (<i>Salvia leucophylla</i>)	
Sığırkuyruğu (<i>Verbascum afyonense</i>)	
Eber sarısı (<i>Thermopsis turcica</i>)	

Bu çalışmada kullanılan kimyasallar ve laboratuvar ekipmanları aşağıda listelenmiştir:

1. Kimyasal Maddeler:

- Gümüş nitrat (AgNO_3), $\geq 99\%$ saflıkta
- Etanol (analiz saflığında)
- Çift distile su (ultra saf su)

2. Cihaz ve Ekipmanlar:

- Manyetik karıştırıcı ve ısıtıcı
- pH metre

- Santrifüj cihazı
- Vakum filtre cihazı
- Hassas terazi
- Daldırma (immersiyon) termometresi
- Kronometre
- Öğütücü robot
- Eppendorf

3. Laboratuvar Cam ve Plastik Gereçleri

- Erlenmayer (erlen)
- Balon joje
- Mezur
- Mikro pipet
- Deney tüpleri
- Folkan tüpler
- Petri kapları
- Cam huni
- Saat camı
- Piset
- Parafilm
- Süzgeç kağıdı

4. Diğer Gereçler:

- Mikro spatül ve kaşık
- Manyetik balık (manyetik çubuk)
- Eppendorf

3.2 Ekstraktların Oluşturulması

Bitkiler oda sıcaklığında kurutulduktan sonra öğütülerek kullanılmıştır.. Bitki Materyalleri kimyasal İçeriğinin belirlenerek Neo yClevenger cihazında su distilasyonu yöntemiyle ve bitki türünün ekstraksiyonu (Şekil 3.1) elde edilmiştir.



Şekil 3.1 Bitki ekstraktları.

Bu yöntem, su ve bitki materyalinin soğutucuyla bağlantılı bir cam balon içerisinde 3 saat süreyle kaynatılarak, soğutucuda yoğunlaştırılıp, sudan ayrıştırılması esasına dayanmaktadır. Bitki türünün moleküler yapısına göre diğer metodlarda denenmiştir. Bitkiler (50 g), damıtılmış su ile iyice yıkanarak, küçük parçalara bölünecek ve özüt elde etmek için 200 mL saf su ve 50 ml etanol içinde 100° C'de 2 saat boyunca kaynatılmıştır. Özüt süzgeç kağıdı (Grade 1 Circles, 125mm) ile süzülmüştür. Süzme işlemi gün ışığında, oda sıcaklığı koşullarında gerçekleştirilmiştir. Oda sıcaklığına soğutulmuş özütün beş mililitresi, 45 ml 1X 10⁻⁴ M Phosphate Buffered Saline (PBS) içerisinde hazırlanmış gümüş nitrata (AgNO₃) ilave edilmiştir. Reaksiyon, oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.



Resim 3.1 OHAUS Frontier 5706 santrifüj.

Reaksiyon karışımındaki gümüş iyonlarının indirgenmesi, reaksiyon karışımının rengindeki değişiklik takip edilecek ve ince tabaka kromatografisi (TLC alüminyum sheets) ile reaksiyonun tamamlanıp tamamlanmadığına karar verilmiştir. Reaksiyon ürününü ayırmak için karışım 13.000 rpm'de 15 dakika OHAUS marka FRONTIER 5706 model santrifüje (Resim 3.1) tabi tutulmuş ve peletin saf suda yeniden dispersiyonu ile saflaştırılmıştır. Bu süreç, reaksiyona girmemiş bitki materyalinin daha iyi ayrılmasını sağlamak için birkaç kez tekrarlanmıştır. Elde edilen nanomateriyal, 110 °C' de kurutulmuştur ve karakterizasyon ve diğer analizler için kullanılmıştır (Velmurugan vd. 2015).

3.2.1 Gri Adaçayı (*S. leucophylla*) Ekstraktı

Kurutulmuş Gri Adaçayı (*S. leucophylla*) yapraklarını robotta öğütürerek toz hali kullanılmış ve yüzey alanını artırılmıştır. Bu, ekstraksiyon verimliliğini artırır. Suda çözünebilen maddeler olduğundan çift distile su kullanılmıştır. 10 gram Adaçayı yaprağına 200 mL çift distile su kullanılarak 60°-80° derece arası sıcaklık hazırlanarak manyetik karıştırıcı ile ısıtıcıya bırakılmıştır. 30 dakika sonra Vakum filtre cihazı veya cam hunide Whatman filtre kağıdı ile süzülür. Filtreleme iki kez yapılmıştır. *Salvia officinalis* yapraklarından verimli bir şekilde fenolik bileşikler olan ekstrakte elde edilebilmiştir. Elde edilen ekstrakt, Rotary evaporatör (Büchi, 40 °C, düşük basınç) ile çözücü uzaklaştırıldı. Elde edilen özüt steril cam şişeye alınır ve kullanılana kadar 4 °C'de saklanmıştır.

3.2.2 Eber sarısı Ekstraktı

Kurutulmuş Eber sarısı yapraklarını öğütücü robotda toz hali kullanılmış ve yüzey alanını artırılmıştır. Bu, ekstraksiyon verimliliğini artırır. Suda çözünebilen maddeler olduğundan çift distile su kullanılmıştır. 10 gram kuru eber sarısının yaprağına 200 mL çift distile su kullanılarak 60°-80° derece arası sıcaklık hazırlanarak manyetik karıştırıcı ile ısıtıcıya bırakılmıştır. 30 dakika sonra Vakum filtre cihazı veya cam hunide Whatman filtre kağıdı ile süzülür. Filtreleme iki kez yapılmıştır. *Salvia officinalis* yapraklarından verimli bir şekilde fenolik bileşikler olan ekstrakte elde edilebilmiştir. Elde edilen ekstrakt, Rotary evaporatör (Büchi, 40 °C, düşük basınç) ile çözücü uzaklaştırıldı. Elde edilen özüt steril cam şişeye alınır ve kullanılana kadar 4 °C'de saklanmıştır.

3.2.3 Çoban Çökerten Ekstraktı

Kurutulmuş çoban çökerten bitkisi hafifçe ezerek kullanılmış ve yüzey alanını artırılmıştır. Bu, ekstraksiyon verimliliğini artırır. Suda çözünebilen maddeler olduğundan çift distile su kullanılmıştır. 10 gram kurutulmuş çoban çökerten, 200 mL çift distile su kullanılarak 60°-80° derece arası sıcaklık hazırlanarak manyetik karıştırıcı ile ısıtıcıya bırakılmıştır. 30 dakika sonra Vakum filtre cihazı veya cam hunide Whatman filtre kağıdı ile süzülür. Filtreleme iki kez yapılmıştır. *Salvia officinalis* yapraklarından verimli bir şekilde fenolik bileşikler olan ekstrakte elde edilebilmiştir. Elde edilen ekstrakt, Rotary evaporatör (Büchi, 40 °C, düşük basınç) ile çözücü uzaklaştırıldı. Elde edilen özüt steril cam şişeye alınır ve kullanılana kadar 4 °C’de saklanmıştır.

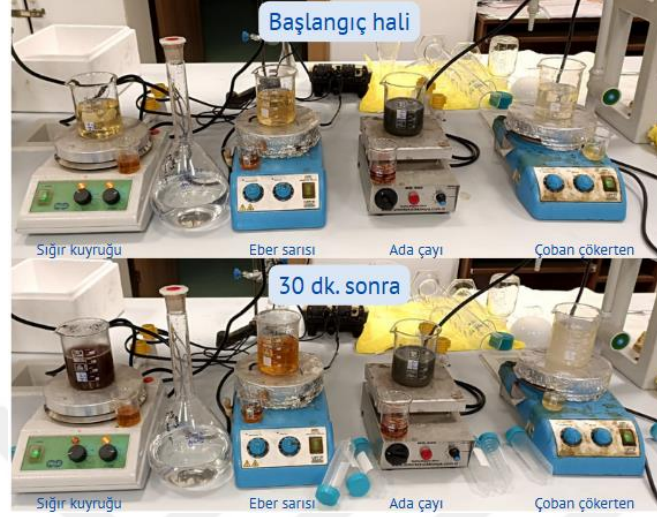
3.2.4 Sığırkuyruğu Ekstraktı

Kurutulmuş Sığırkuyruğu bitkisi yapraklarını robotda öğütürerek toz hali kullanılmış ve yüzey alanını artırılmıştır. Bu, ekstraksiyon verimliliğini artırır. Suda çözünebilen maddeler olduğundan çift distile su kullanılmıştır. 10 gram kurutulmuş sığır kuyruğu yaprağına 200 mL çift distile su kullanılarak 60 °C-80 °C arası sıcaklık hazırlanarak manyetik karıştırıcı ile ısıtıcıya bırakılmıştır. 30 dakika sonra Vakum filtre cihazı veya cam hunide Whatman filtre kağıdı ile süzülür. Filtreleme iki kez yapılmıştır. *Salvia officinalis* yapraklarından verimli bir şekilde fenolik bileşikler olan ekstrakte elde edilebilmiştir. Elde edilen ekstrakt, Rotary evaporatör (Büchi, 40 °C, düşük basınç) ile çözücü uzaklaştırıldı. Elde edilen özüt steril cam şişeye alınır ve kullanılana kadar 4 °C’de saklanmıştır.

3.3 Nanopartiküllerin Oluşturulması

Bu çalışmada gümüş nanopartikül (AgNP) sentezi için gümüş nitrat (AgNO_3) kullanılmıştır. Sentez öncesinde 0,5 M’lık, 1 M’lık ve 5 M’lık AgNO_3 stok çözeltileri hazırlanmıştır. Bunun için hassas terazide sırasıyla 0,085 gr, 0,17 gr, 0,85 gr AgNO_3 (mol ağırlığı: 169.87 g/mol) tartılarak 1 litre saf su (distile su) içerisine yavaşça ilave edilmiştir. Çözelti, ışık almayan bir ortamda manyetik karıştırıcı ile homojen hale gelene kadar karıştırılmış ve kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Hazırlanan bu stok çözelti, yeşil sentez sürecinde bitki ekstraktları ile karıştırılarak indirgeme işlemi (Şekil 3.2) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2 Bitki ekstraktlarının AgNO_3 çözeltisi ile indirgenmesi.

3.3.1 Kurutulmuş Bitki Yaprakları ile Gümüş Nanopartikül Oluşturulması

Elde edilen bitki özütleri ile farklı derişimlerde hazırlanan AgNO_3 çözeltisi karıştırılır. Örneğin, 10 mL bitki özütü + 90 mL 1 M AgNO_3 çözeltisi gibi. Bu karışımlardan 3 farklı derişimde hazırlanmış ve reaksiyonları izlenmiştir. Karışım manyetik karıştırıcıda oda sıcaklığında karıştırılır. Gümüş iyonlarının indirgenerek gümüş nanopartiküllerinin oluşumu, renk değişikliği (genellikle sarı-kahverengiden kahverengi-yeşile dönüşür) ile gözlenmiştir. Reaksiyon süresi 1 ile 8 saat arasında olabilir. Sentez sonunda karışım santrifüj edilerek nanopartiküller toplanmıştır. Etanol ve saf su ile yıkanarak etüv de kurutulmuştur.

3.4 Karakterizasyon

3.4.1 Mikro Yapı Analizleri

3.4.1.1 X- Işını Difraksiyonu (XRD) Analizi

X-ışınları kırınımı analizi (XRD) numunelerin XRD analizi Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (TUAM)'da hizmet alımı ile yapılmıştır.

Shimadzu marka XRD-6000 model cihaz (Resim 3.2) bakır (Cu) X-ışını tüpüne sahip olup 1,544 Å dalga boyuna sahip Bakır K α X-ışını kullanılmaktadır. Toz ve düzgün yüzeyli katı örneklerin kalitatif minerolojik veya faz analizleri ve kristal yapı tanımlaması yapılmaktadır. Kalitatif analizler ICDD kartları ile karşılaştırma yapılarak gerçekleştirilmektedir.



Resim 3.2 Shimadzu XRD-6000 model cihaz.

X-ışınları kırınımı (XRD) yöntemi kütle veya toz halindeki malzemelerin, kristalin malzemelerin karakterizasyonunda kullanılan temel tekniklerden biridir. Numune üzerine gönderilen dalga boyu bilinen X-ışınları farklı açılarda Bragg Kanununa göre malzemedeki düzlemler tarafından kırınımına uğratılır. Bu yöntemle elde edilen paternler her bir faz için parmak izi niteliğinde olup, malzeme içerisinde bulunan fazların tayinini sağlar. XRD ile analizde, malzeme yapısı (kristalin/amorf), kristalin malzemeler için kalitatif minerolojik analiz, latis parametresinin hesaplanması, kristal yapısının belirlenmesi gibi özellikler belirlenebilir.

3.4.1.2 Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM)

Sentezlenen gümüş nanopartiküllerin yapısal karakterizasyonu ve nanopartikül boyutunu belirlemek amacıyla Çanakkale Üniversitesi ÇOBİLTUM Bilim ve Teknoloji Uygulama

ve Araştırma Merkezinde (ÇOMÜ) bulunan JEOL marka JEM-1400 Plus model elektron mikroskobundan (Resim 3.3) hizmet alımı yapılarak yararlanılmıştır.



Resim 3.3 JEOL JEM-1400 Plus model Geçirimli Elektron Mikroskobu.

3.4.1.3 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Yeşil sentez ile sentezlenen gümüş nanopartiküllerin karakterizasyonunda Afyon Kocatepe Üniversitesi Araştırma Laboratuvarları Merkezi'nde bulunan Taramalı Elektron Mikroskobu ile entegre çalışan Enerji Dağılımlı X-Işını cihazında gümüş nanopartiküllerin elementel analizleri hizmet alımı yapılarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerin için LEO 1430 VP model SEM cihazı (Resim 3.4) kullanılmıştır.

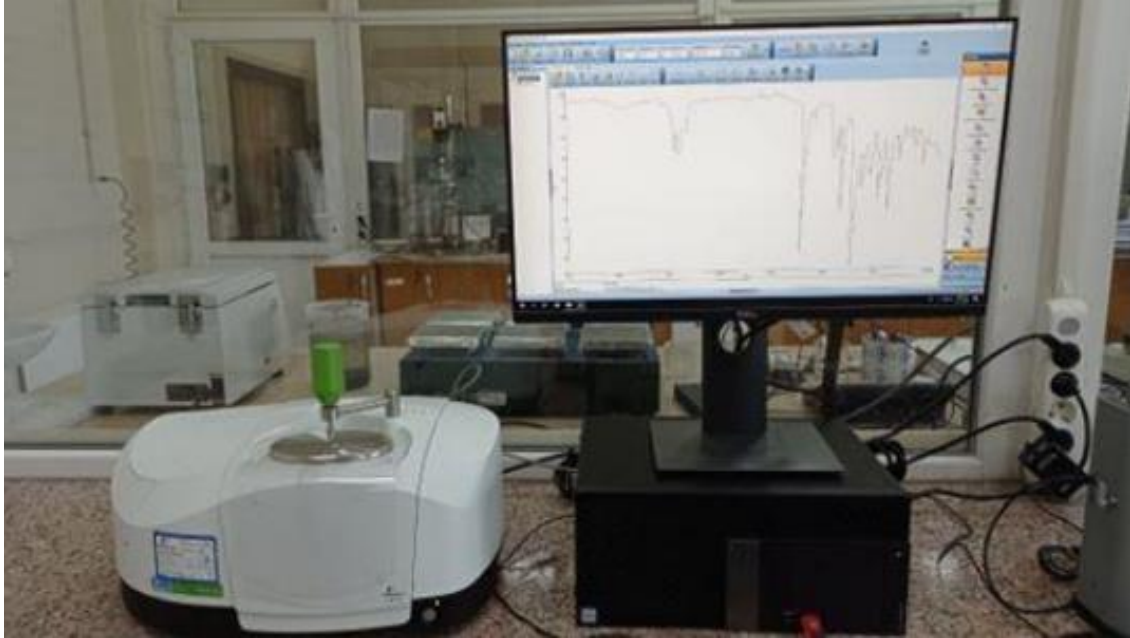


Resim 3.4 LEO 1430 VP model SEM cihazı.

3.4.2 Kimyasal Yapı Analizleri

3.4.2.1 Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)

Fourier Transform Infrared (FT-IR) analizi, çeşitli malzemelerin karakterizasyonu için yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Kızılötesi radyasyonun bir numune tarafından soğurulmasının ölçülmesi prensibine dayalı olarak çalışır. Numune, geniş bir kızılötesi dalga boyu aralığına maruz bırakılır ve elde edilen spektrum, ölçülen sinyali Fourier'nin dönüştürmesiyle elde edilir. Bu spektrum, numunede bulunan fonksiyonel gruplar ve kimyasal bağlar hakkında bilgi sağlar. Analiz Perkin Elmer FT-IR cihazıyla yapılmıştır (Resim 3.5).



Resim 3.5 Perkin Elmer FT-IR analiz cihazı.

3.4.2.2 Ultraviyole Spektroskopisi (UV)

Gümüş iyonlarının gümüş nanopartiküllere indirgenmesini ve nanopartikül oluşumunu takip etmek amacıyla UV-Visible spektroskopisi analizi gerçekleştirilmiştir. Ölçümler, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü laboratuvarlarında bulunan UV-1700 PHARMA SPEC marka spektrofotometre (Resim 3.6) ile yapılmıştır.



Resim 3.6 UV-1700 Pharma Spect marka spektrofotometre.

3.4.3 Antibakteriyel Analiz

Numunelerin antibakteriyel aktivitelerinin araştırılmasında agar disk difüzyon yöntemi kullanılmıştır. Agar disk difüzyon yöntemi (Resim 3.11), antimikrobiyal ajanların mikroorganizmalar üzerinde duyarlılığını görmek için hızlı ve basit bir yöntemdir. Bakterilerin disk etrafında oluşturdukları inhibisyon zonu ölçülerek (mm) veriler değerlendirilmektedir. Bakteri olarak, *Escherichia coli* (gram negatif) ve *Staphylococcus aureus* (gram pozitif) bakteri kullanılmıştır.

3.4.4 Antioksidan Analiz

Antioksidan kapasitenin belirlenmesinde en sık kullanılan kolorimetrik analizlerden biri, 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH•) radikal süpürme yöntemidir. Hazırlanan numunelere antioksidan analiz BioTek ELx800 model cihaz (Resim 3.7) ile yapılmıştır. Bu analiz, DPPH• radikalinin karakteristik mor renginin, antioksidan bileşiklerle etkileşimi sonucu indirgenerek renk değişimine uğraması prensibine dayanır. Sabit bir absorbansa sahip olan DPPH• çözeltisine test örneği ilave edilir ve karanlık ortamda belirli bir süre inkübe edildikten sonra absorbans ölçümü genellikle 517 nm dalga boyunda gerçekleştirilir. Renk yoğunluğundaki azalma, test edilen maddenin serbest radikal süpürme kapasitesini yansıtır. Elde edilen veriler, çoğunlukla yüzde inhibisyon (% inhibisyon) ya da IC₅₀ değeri (radikallerin %50'sini inhibe eden konsantrasyon) cinsinden raporlanır. Yöntemin hızlı, duyarlı ve tekrarlanabilir olması nedeniyle özellikle bitkisel ekstraktlar ve gıda örneklerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

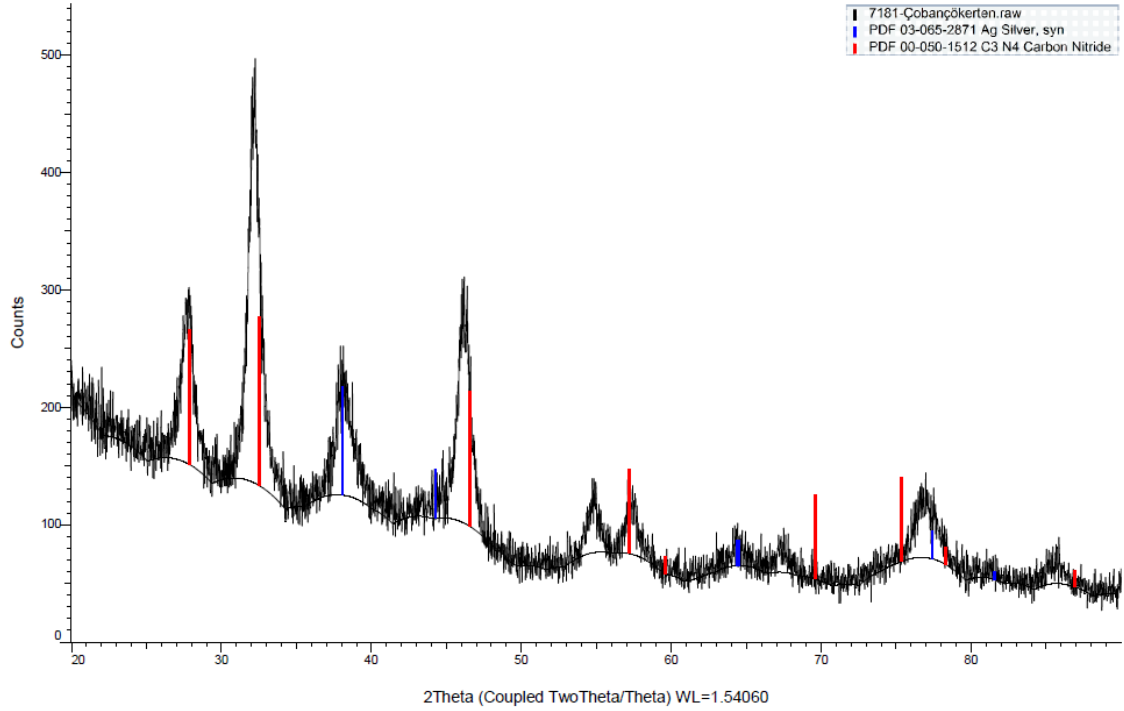


Şekil 3.7 BioTek Elx800 model antioksidan analiz cihazı.

4. BULGULAR

4.1 XRD Analizi

Çalışmalardaki bitkilerin yeşil sentez sonucunda elde edilen nanopartiküllere XRD analizi yapılmıştır. Çoban çökerten nanopartikül XRD görüntüsü Şekil 4.1’de verilmiştir.



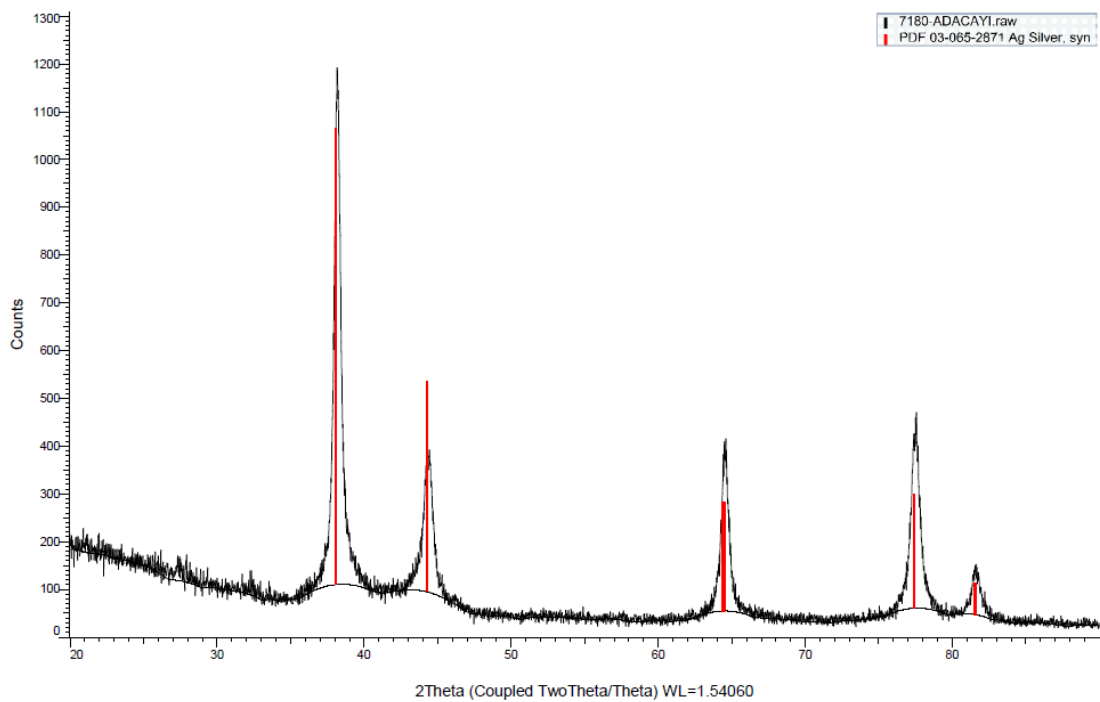
Şekil 4.1 Çoban çökerten nanopartikül XRD görüntüsü.

Grafikte gözlemlenen başlıca pikler, yaklaşık olarak şu 2θ değerlerinde yoğunluk göstermektedir:

• $2\theta \approx 38^\circ, 44^\circ, 64^\circ, 77^\circ$: Bu pikler sırasıyla (111), (200), (220), (311) düzlemlerine karşılık gelir ve yüzey merkezli kübik (FCC) yapıya sahip gümüş nanopartiküllerin varlığını kanıtlar. XRD deseninde görülen bazı ek pikler, bitki kaynaklı karbon içerikli bileşikler (örneğin karbon nitrür) ya da amorf biyomoleküllerden kaynaklanıyor olabilir. Bu yapıların kalıntısı, yeşil sentez sırasında kullanılan bitki ekstraktındaki biyoaktif moleküllerin nanopartikül yüzeyine adsorplanmasıyla açıklanabilir.

Ahmed vd. (2016) çalışmalarında, bitki ekstraktıyla elde edilen gümüş nanopartiküllerin XRD deseninde benzer 2θ değerlerinde pikler gözlemlenmiştir ve bu piklerin FCC yapıya işaret ettiğini bildirmiştir.

Song ve Kim (2009) çalışmalarında, AgNP'lerin yeşil sentezinde XRD deseninin, metalik gümüşün karakteristik düzlemlerini (111), (200), (220), (311) net biçimde gösterdiğini ve bu paternin nanopartikül saflığını ortaya koyduğunu vurgulamıştır. Adaçayı nanopartikül XRD görüntüsü Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2 Adaçayı nanopartikül XRD görüntüsü.

XRD (X-Ray Diffraction) spektrumu Adaçayı (*Salvia leucophylla*) bitkisiyle sentezlenen gümüş nanopartiküllere (AgNPs) aittir. Görsel, oldukça belirgin ve keskin pike sahip kristal bir yapı olduğunu göstermektedir. Bu pikler, PDF 03-065-2871 referans kartı ile uyumlu olup, yüzey merkezli kübik (FCC) yapıdaki metalik gümüş kristallerine karşılık gelmektedir. Bu bulgular, Adaçayı ekstraktı ile gerçekleştirilen yeşil sentez sonucunda kristal yapıda AgNP'lerin başarıyla üretildiğini göstermektedir.

Spektrumda amorf bir zemin sinyali oldukça düşüktür ve kristalin doğası baskındır. Bu

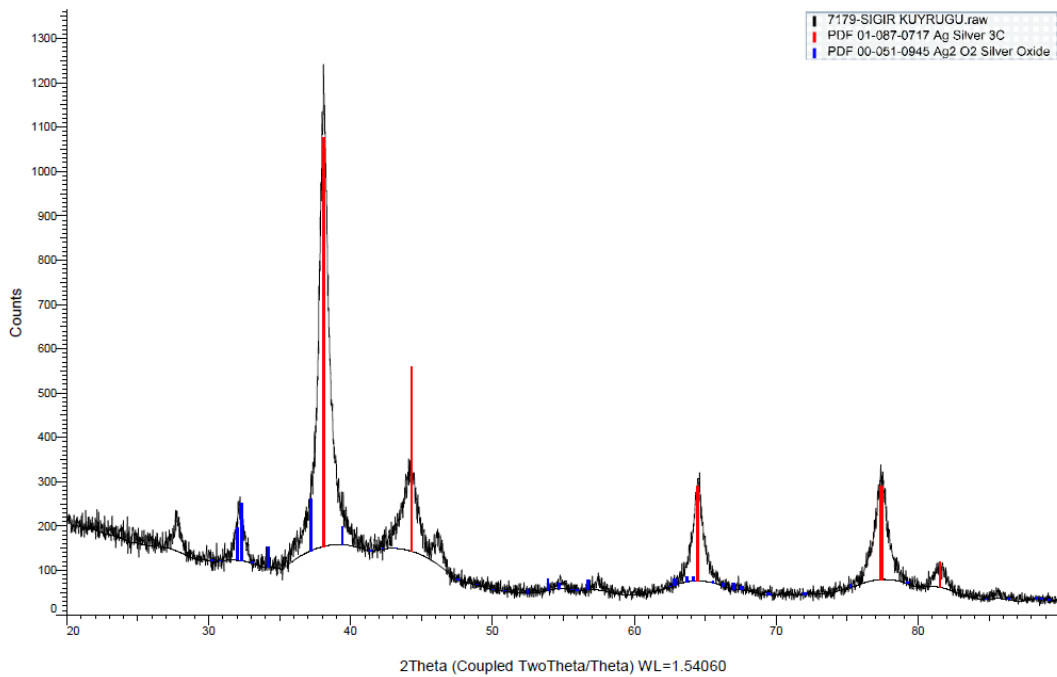
durum, partiküllerin yüksek saflıkta ve kristallik düzeyinde olduğunu gösterir. Piklerin keskinliği ve yüksekliği, partiküllerin oldukça küçük boyutlarda ve homojen dağılımda olduğunu düşündürmektedir.

Bitki özütü ile sentezlenen gümüş nanoparçacıkların XRD analizinde FCC yapıya ait bu karakteristik piklerin görülmesi, literatürde sık karşılaşılan ve beklenen bir durumdur:

Jain vd. (2015) çalışmalarında, *Azadirachta indica* yaprak özütü ile sentezlenen AgNP'lerin XRD deseninde $2\theta = 38^\circ, 44^\circ, 64^\circ$ ve 77° civarında pikler gözlemlenmiş ve bunların FCC yapıdaki gümüşe karşılık geldiğini raporlamıştır.

Ahmed vd. (2016) çalışmalarında, *Salvia officinalis* kullanarak elde ettiği AgNP'lerde aynı düzlemlere karşılık gelen kırınım piklerini belirlemiştir.

Iravani (2011) çalışmasında, bitki özütleriyle yapılan yeşil sentezlerde kristalin yapıdaki gümüş nanoparçacıkların, genellikle 10–50 nm boyut aralığında ve FCC simetriye sahip olduğunu belirtmiştir. Şekil 4.3'te Sığırkuyruğu a ait nanopartikül XRD görüntüsü verilmiştir.

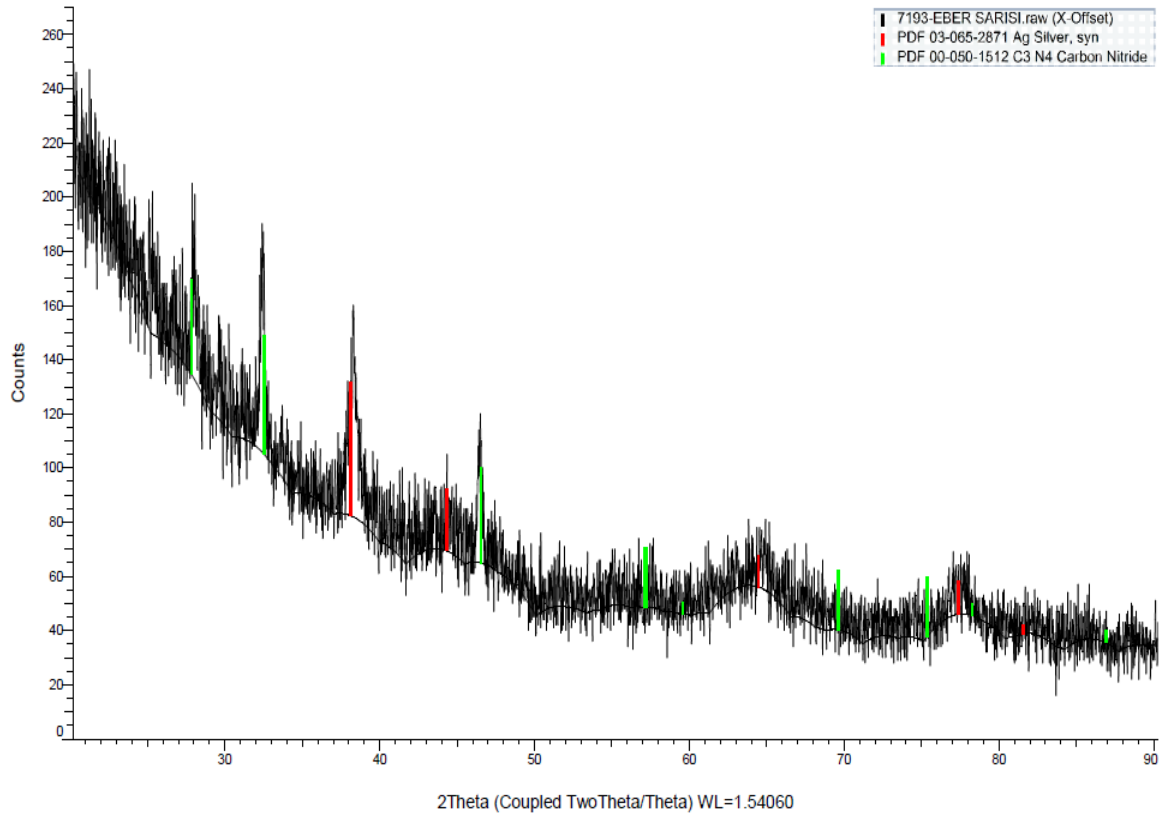


Şekil 4.3 Sığırkuyruğu nanopartikül XRD görüntüsü.

Bu XRD (X-Ray Difraksiyon) deseni, Verbascum afyonense (Sığırkuyruğu) bitki ekstraktı ile yeşil sentezlenen gümüş nanoparçacıkların (AgNPs) kristal yapı özelliklerini ortaya koymaktadır. Desende, $2\theta = 38^\circ$, 44° , 64° , ve 77° civarındaki keskin ve belirgin pikler, sırasıyla gümüşün (Ag) (111), (200), (220) ve (311) kristal düzlemlerine karşılık gelmektedir. Bu piklerin konumları ve şiddeti, gümüş kristallerinin kübik yüzey merkezli (FCC) yapıda olduğunu doğrular ve literatürdeki JCPDS kartı no: 01-087-0717 ile uyumludur (Song ve Kim, 2009).

Bununla birlikte, desende daha düşük yoğunluklu bazı ek pikler de mevcuttur. Bu pikler, özellikle Ag_2O (gümüş oksit) fazına işaret eden sinyaller olup, PDF 00-051-0945 numaralı JCPDS veritabanıyla eşleşmektedir. Bu durum, nanoparçacıkların sentezi sırasında ortamda kısmi oksidasyonun meydana geldiğini ve bir miktar Ag^+ iyonunun Ag_2O formuna dönüştüğünü göstermektedir (Iravani, 2011).

Şekil 4.4'te Eber sarısı nanopartikül XRD görüntüsü verilmiştir.



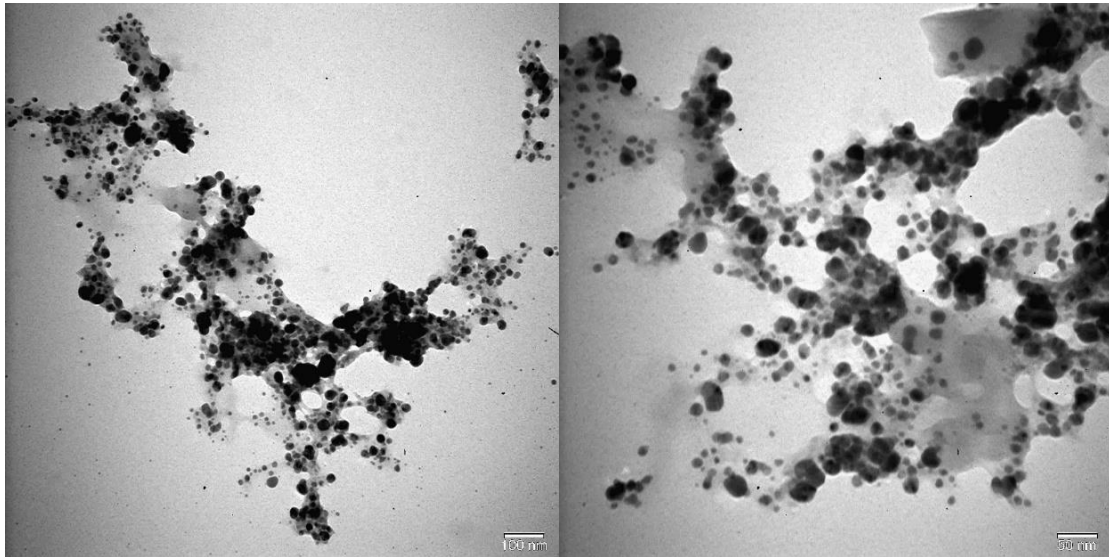
Şekil 4.4 Eber sarısı nanopartikül XRD görüntüsü.

Eber sarısı (*Thermopsis turcica*) ekstraktıyla sentezlenen gümüş nanoparçacıkların XRD analizi, kristal yapıların karakterizasyonu açısından önemli bilgiler sunmaktadır. Grafikte yaklaşık olarak $2\theta = 38^\circ, 44^\circ, 64^\circ$ ve 77° değerlerinde gözlenen kırınım pikleri, (111), (200), (220) ve (311) düzlemleriyle eşleşmekte ve gümüşün yüzey merkezli kübik (FCC) yapısını işaret etmektedir. Bu paternler, PDF kart numarası 03-065-2871 ile eşleşen metalik Ag kristallerinin varlığını doğrulamaktadır. Bu bulgu, yeşil sentezle elde edilen AgNP'lerin kristal doğasına işaret eden birçok çalışmayla uyumludur.

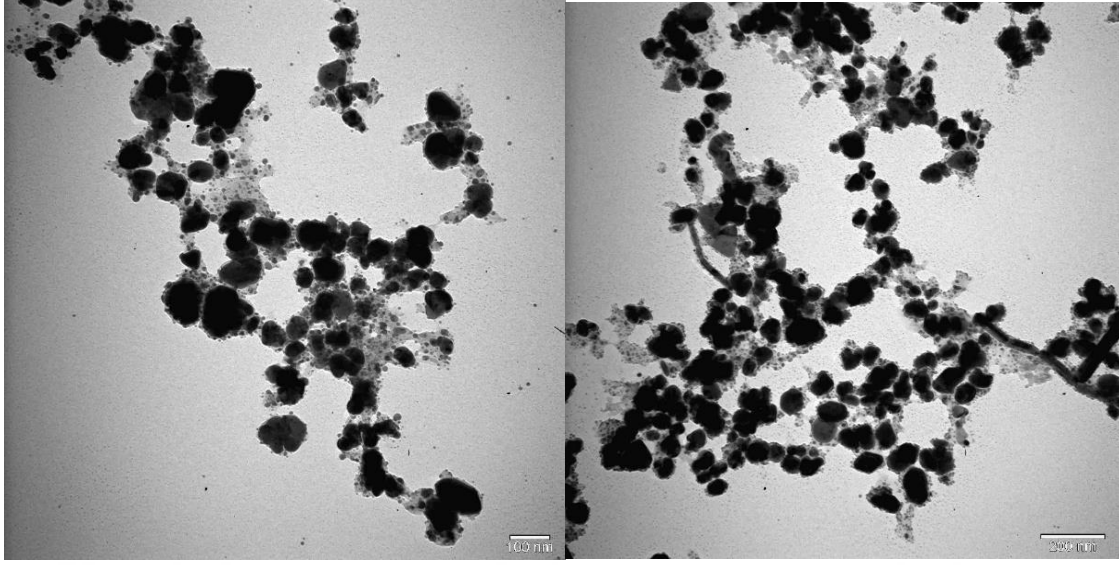
Örneğin Jain vd. (2015) çalışmalarında, *Azadirachta indica* yaprak özütüyle sentezlenen AgNP'lerde benzer şekilde (111), (200), (220) düzlemlerine karşılık gelen kristal piklerin bulunduğunu ve FCC yapının doğrulandığını bildirmiştir. Ahmed vd. (2016) çalışmalarında ise *Salvia officinalis* özütü ile sentezlenen gümüş nanoparçacıkların XRD deseninde aynı kristal yapıların yer aldığını raporlamıştır.

4.2 Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM)

Çalışmalarda kullanılan dört endemik bitkiden yeşil sentez sonucu elde edilen nanopartiküllerine TEM analizi yapılmıştır. TEM görüntüleri sırasıyla Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'te verilmiştir.

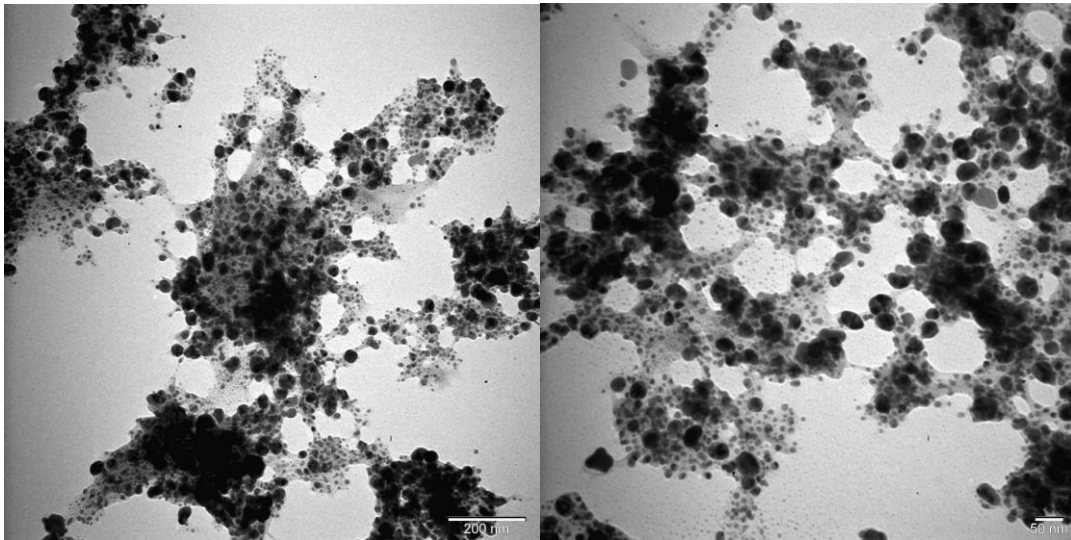


Şekil 4.5 Çoban kökerten TEM görüntüleri.

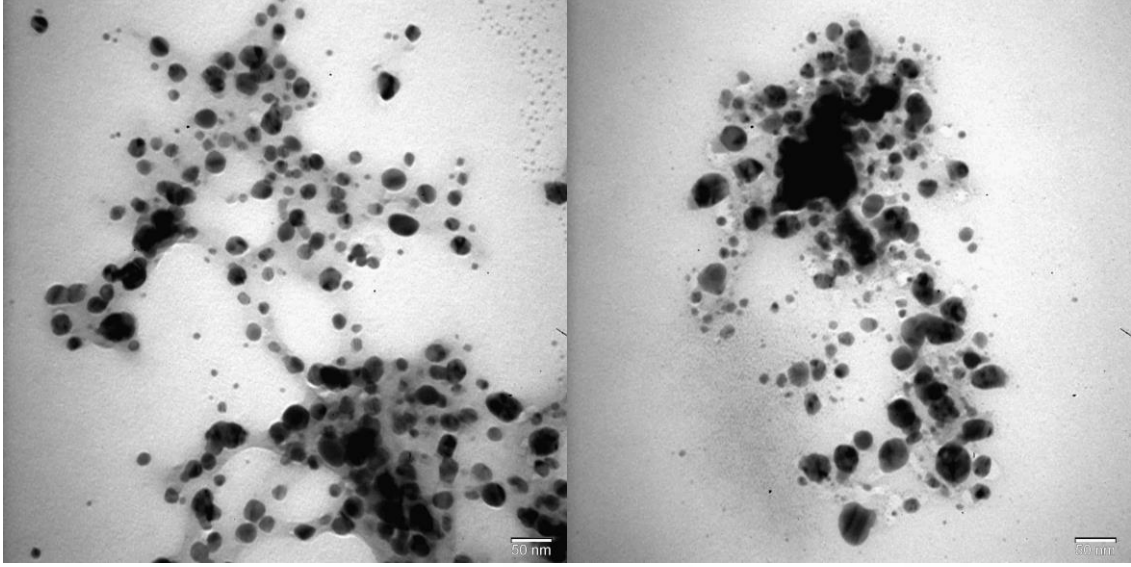


Şekil 4.6 Adaçayı TEM görüntüleri.

TEM analizleri, elde edilen gümüş nanopartiküllerin morfolojik özelliklerini ve boyutsal dağılımını değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.5–4.8’de yer alan görüntülerde, tüm bitki ekstraktlarıyla sentezlenen AgNP’lerin genel olarak küresel morfolojiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Çoban çökerten (*Tribulus terrestris*) ile elde edilen nanoparçacıklar daha düzgün sınırlarla tanımlanmış ve düşük aglomerasyon eğilimi göstermiştir. Adaçayı (*Salvia leucophylla*) kaynaklı AgNP’lerde ise kısmi topaklanmalar gözlemlenmiş olmakla birlikte partikül şeklinin çoğunlukla düzgün ve boyutların homojen olduğu görülmüştür.



Şekil 4.7 Sığırkuyruğu TEM görüntüleri.



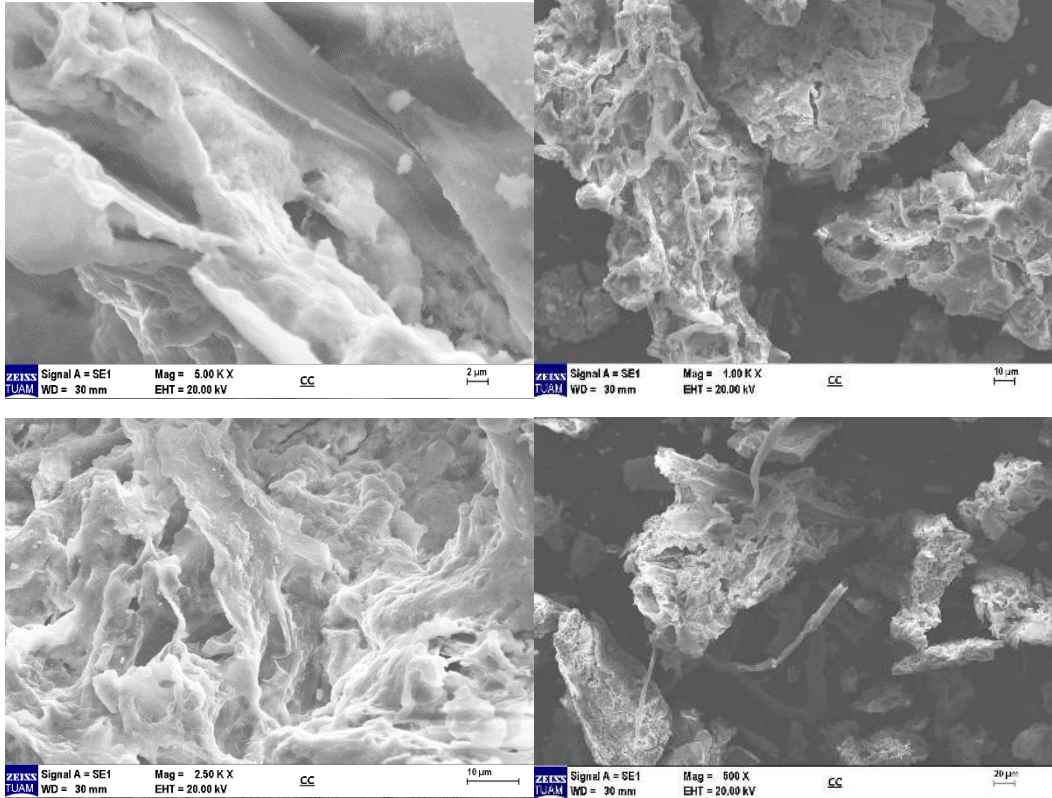
Şekil 4.8 Eber sarısının TEM görüntüleri.

Sığırkuyruğu (*Verbascum alyonense*) ile sentezlenen nanoparçacıkların morfolojisi daha düzensiz olmakla birlikte çekirdek-çekirdek etkileşimlerine bağlı olarak kümelenme eğilimi sergilemiştir. Eber sarısı (*Thermopsis turcica*) ile sentezlenen AgNP'ler ise küçük boyutlarda ve belirgin sınırlarla tanımlanmış, düşük yoğunluklu agregasyon içeren partiküller sunmuştur.

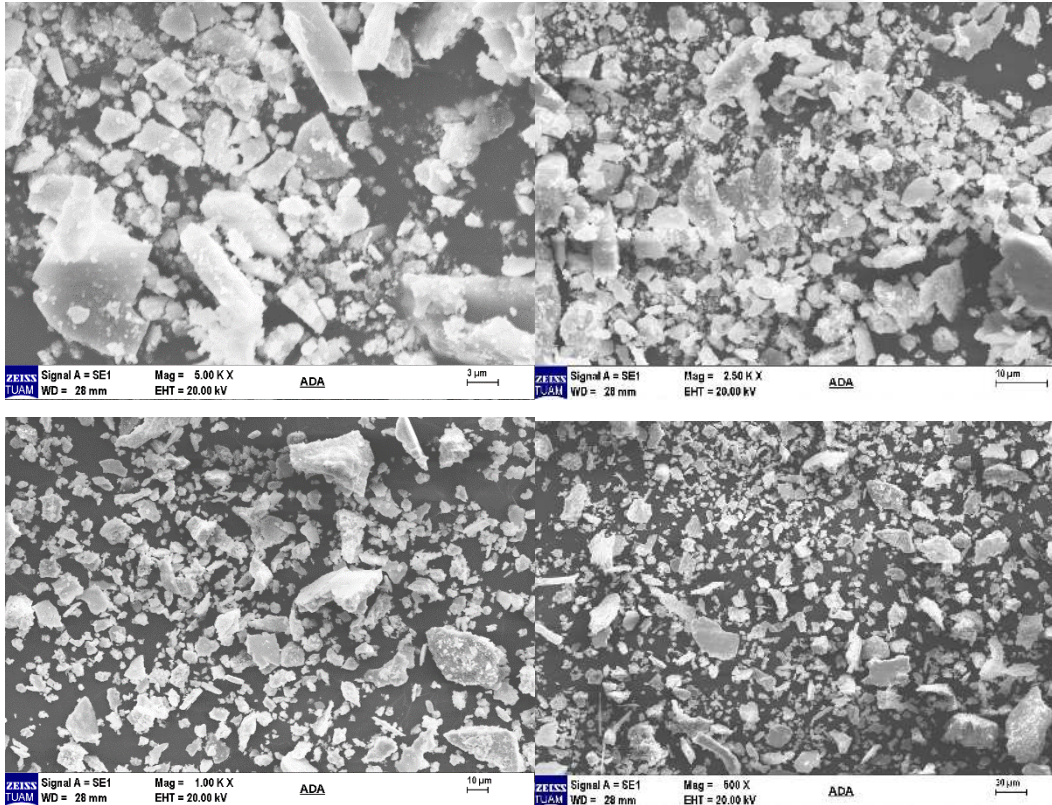
Tüm örneklerde nanoparçacıkların çaplarının yaklaşık 10–40 nm aralığında olduğu saptanmıştır ve bu durum, bitki ekstraktlarındaki biyoaktif moleküllerin (fenoller, flavonoidler vb.) nanoparçacıkların hem indirgenmesi hem de stabilizasyonunda etkili olduğunu göstermektedir. TEM bulguları, yeşil sentezlenen AgNP'lerin nanometrik ölçekte başarıyla elde edildiğini ve kullanılan bitkisel indirgeyicilerin morfoloji üzerinde belirleyici rol oynadığını ortaya koymuştur.

4.3 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

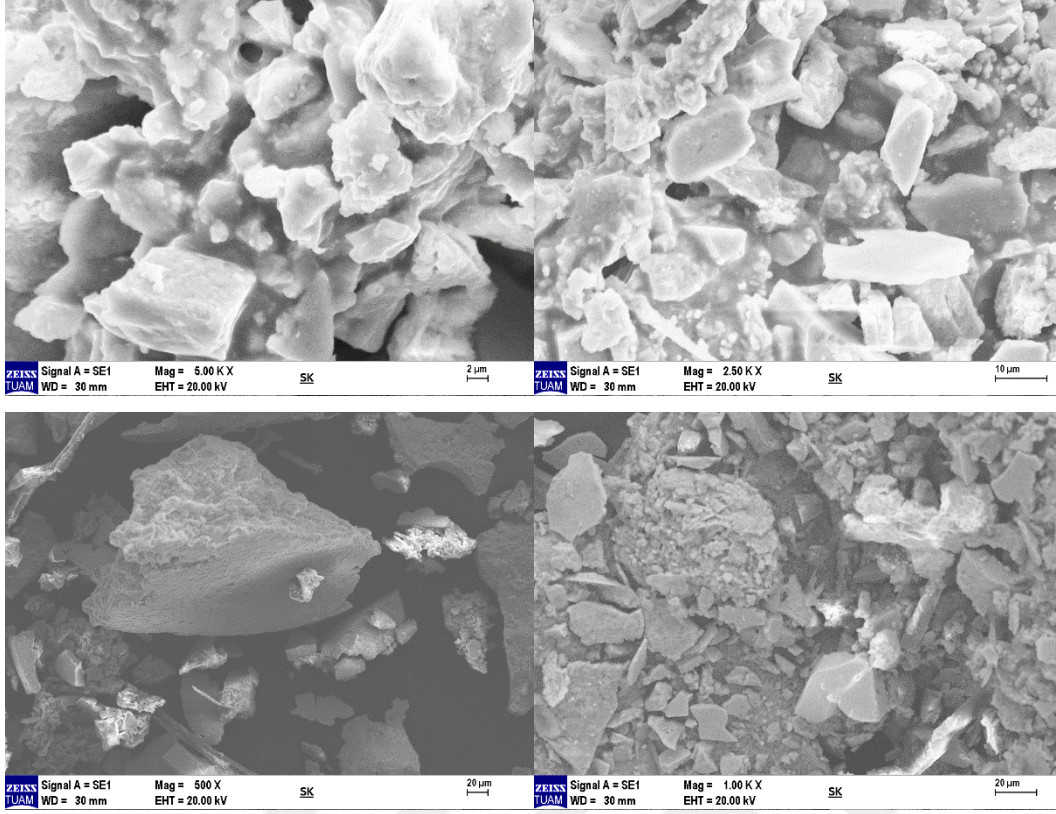
Çalışmalarda kullanılan dört endemik bitkiden yeşil sentez sonucu elde edilen nanopartiküllerine SEM analizi yapılmıştır. SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de verilmiştir.



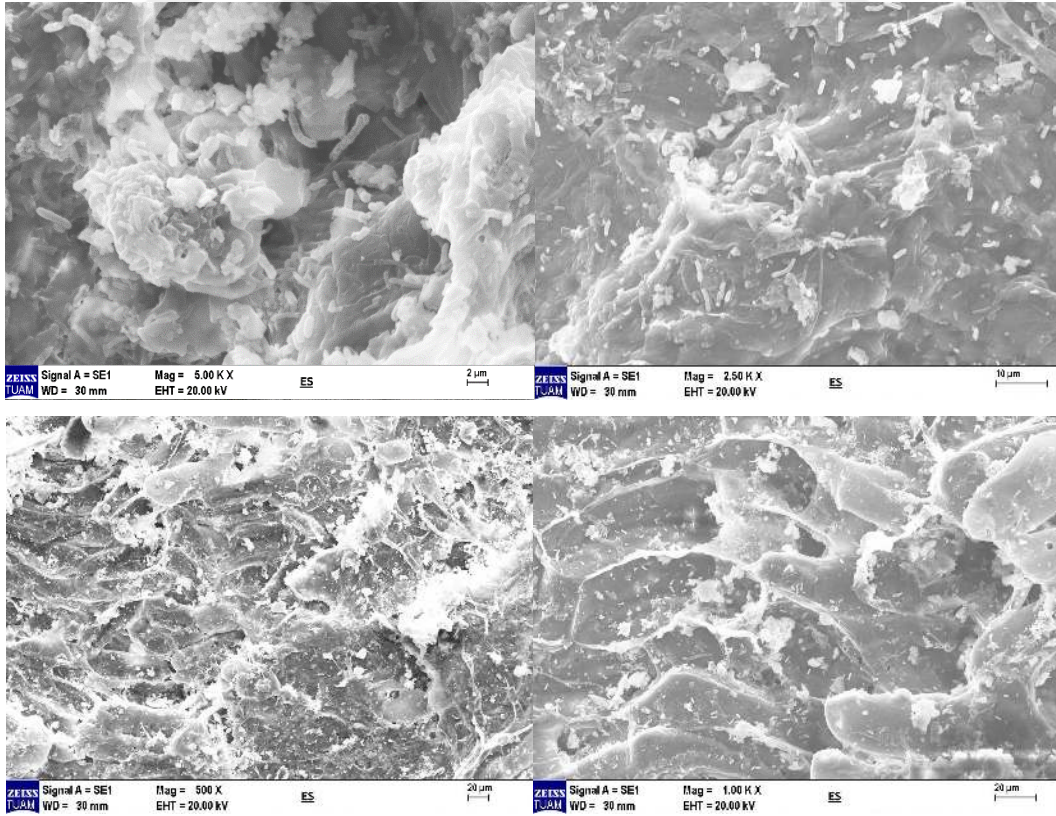
Şekil 4.9 Çoban Çökerten SEM görüntüleri.



Şekil 4.10 Adaçayı SEM görüntüleri.



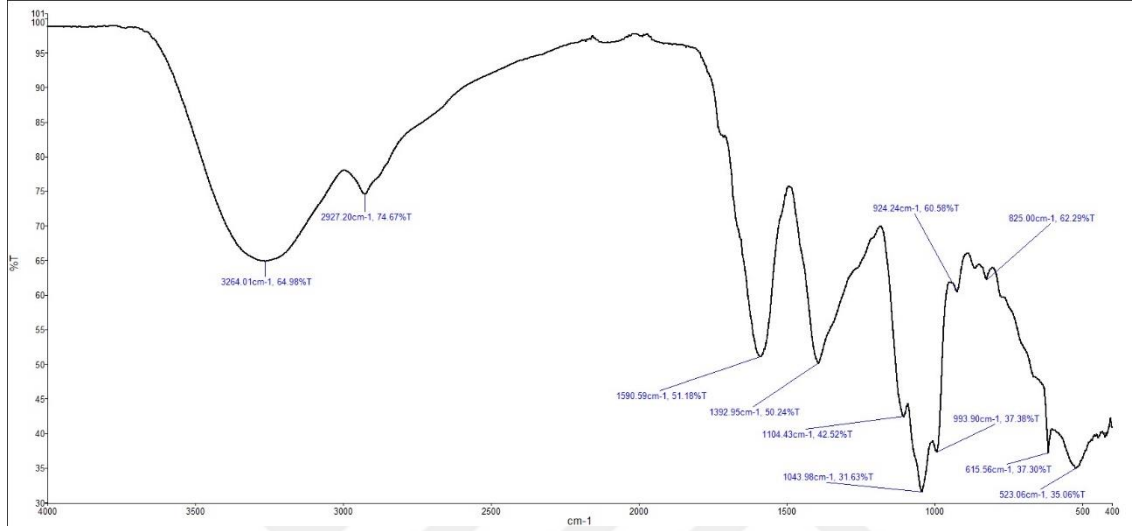
Şekil 4.11 Sığirkuyruğu SEM görüntüleri.



Şekil 4.12 Eber sarısı SEM görüntüleri.

4.4 FTIR Analiz Sonuçları

Kurutulmuş Çoban çökerten bitkisinden elde edilen ekstraktlara ve nanopartiküllere yapılan FTIR analiz görüntüleri sırasıyla Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’te verilmiştir.



Şekil 4.13 Çoban çökerten bitki ekstraktının FTIR görüntüsü.

Bu FT-IR spektrumu, kurutulmuş Çoban Çökerten (*Tribulus terrestris*) bitkisinden elde edilen ekstraktın kimyasal bileşimini yansıtmaktadır. Spektrumda belirgin olarak gözlenen bantlar, ekstraktın yeşil sentezde kullanılabilirliğini destekleyen çeşitli fonksiyonel grupların varlığına işaret etmektedir.

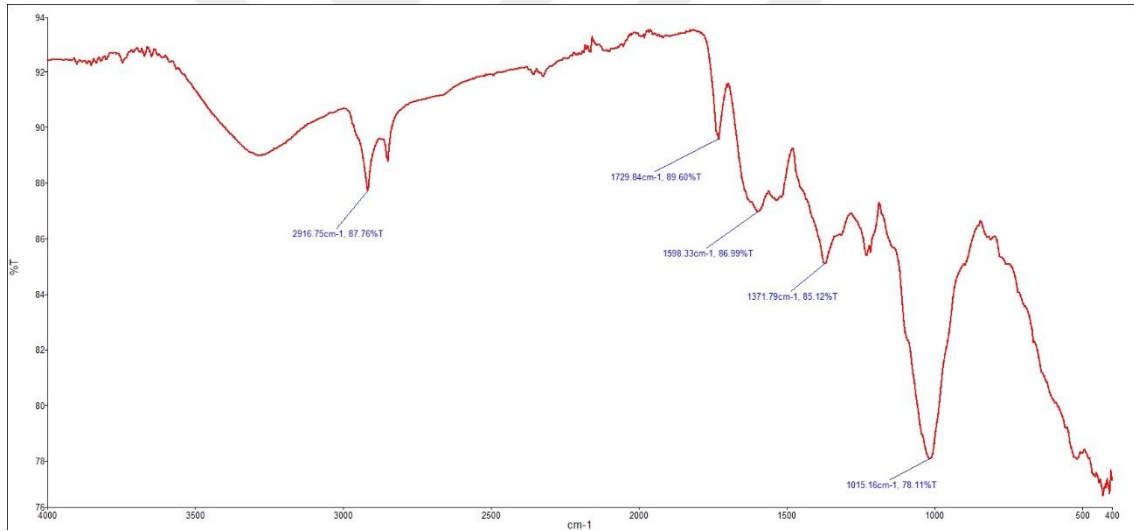
Yaklaşık 3284 cm^{-1} civarında gözlenen geniş bant, ekstrakttaki --OH gruplarına (alkolik veya fenolik yapı) karşılık gelmektedir. Bu bant, bitkinin antioksidan ve indirgeme kapasitesinin yüksek olabileceğini gösterir. 2926 cm^{-1} civarında yer alan pik, C--H gerilmesi ile ilişkili olup alifatik hidrokarbon zincirlerinin varlığına işaret eder. 1586 ve 1384 cm^{-1} civarındaki pikler sırasıyla C=C aromatik halka titreşimlerine ve C--H bükülmesine karşılık gelir; bu da bitkinin aromatik bileşikler (örneğin flavonoidler) içerdiğini göstermektedir.

1036 ve 1220 cm^{-1} bölgelerindeki pikler, C--O ve C--O--C gerilmelerine işaret eder; bu, ekstraktın glikozidik veya fenolik ester bileşikleri içerdiğini düşündürmektedir. Ayrıca 655 , 617 ve 560 cm^{-1} civarındaki sinyaller, bitki ekstraktında bulunan bazı bileşiklerin

dış halka deformasyonları veya metal-oksijen etkileşimleri ile ilgili olabilir.

Araştırmalar, *Tribulus terrestris*'in zengin fitokimyasal bileşimini vurgulayarak, flavonoidler, tanenler, saponinler ve alkaloidler gibi temel bileşikler tanımlamaktadır. Örneğin, Farhan (2019), bu bitkinin alkol özütünün, oksidatif strese karşı koymaya yardımcı olan antioksidan özellikleriyle bilinen flavonoidler ve saponinler gibi terapötik açıdan güçlü bileşikler açısından zengin olduğunu belirtmektedir.

Bu veriler ışığında, Çoban Çökerten bitkisinin ekstraktı, gümüş iyonlarını indirgeme ve nanoparçacıkların stabilizasyonunda etkili olabilecek biyolojik olarak aktif polifenolik bileşikler içermektedir. Dolayısıyla bu ekstrakt, çevre dostu nanopartikül sentezinde kullanılmaya uygun bir adaydır.

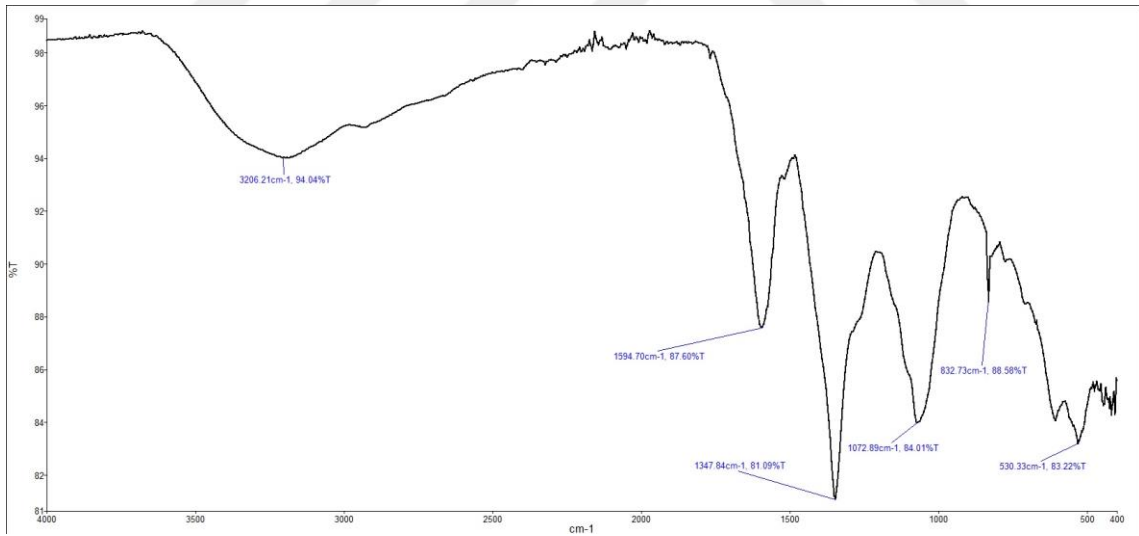


Şekil 4.14 Çoban çökerten nanopartikül FTIR görüntüsü.

Bu FTIR spektrumu, bitki ekstraktı kullanılarak yeşil sentezle elde edilen gümüş nanoparçacıkların (AgNPs) yüzeyinde çeşitli biyoaktif grupların bulunduğunu göstermektedir. Spektrumda 2916 cm^{-1} civarında gözlenen absorpsiyon bandı, alifatik C–H gerilme titreşimini temsil etmektedir ve bitki özütlerinde bulunan lipid veya alifatik fitokimyasalların nanoparçacık yüzeyine adsorbe olduğunu işaret eder. Bu durum, *Fraxinus excelsior* özütü ile yapılan bir çalışmada da benzer şekilde $\sim 2926\text{ cm}^{-1}$ bölgesinde bildirilmiştir (Hegazy et al., 2020). 1729 cm^{-1} bandı, C=O gerilmesine karşılık gelir ve flavonoid ya da terpenoid yapılarla ilişkilidir; bu grupların Ag^+ iyonlarını

indirgemedede ve nanoparçacık yüzeyinde stabilizasyon ajanı olarak görev aldığı daha önceki yeşil sentez çalışmalarında belirtilmiştir (Iravani 2011, Kaviya vd. 2011). 1598 cm^{-1} 'deki aromatik C=C titreşimi ise fenolik yapıların varlığını gösterir; bu yapıların hem indirgeme hem de kaplama süreçlerine katkı sağladığı literatürde sıklıkla vurgulanmaktadır (Iravani 2011). 1371 cm^{-1} bandı, genellikle C–H bükülme veya geminal metil gruplarına karşılık gelir ve bu titreşimler bitki kökenli karbonhidratlar veya saf karbon yapılarla ilişkilidir (Hegazy vd. 2020). Son olarak, 1015 cm^{-1} bölgesindeki C–O titreşimi, glikozitler, eter bağları veya saponin türevleri gibi bileşiklere işaret etmekte ve nanoparçacık stabilizasyonuna katkıda bulunabilmektedir (Kaviya vd. 2011). Bu spektral bulgular, elde edilen AgNP'lerin yüzeyinde karbonil, aromatik, alifatik ve polihidroksi gruplarının bulunduğunu ve yeşil sentezin bitki özütü aracılığıyla başarıyla gerçekleştiğini göstermektedir.

Kurutulmuş Adaçayı bitkisinden elde edilen ekstraktlara ve nanopartiküllere yapılan FTIR analiz görüntüleri sırasıyla Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'te verilmiştir.



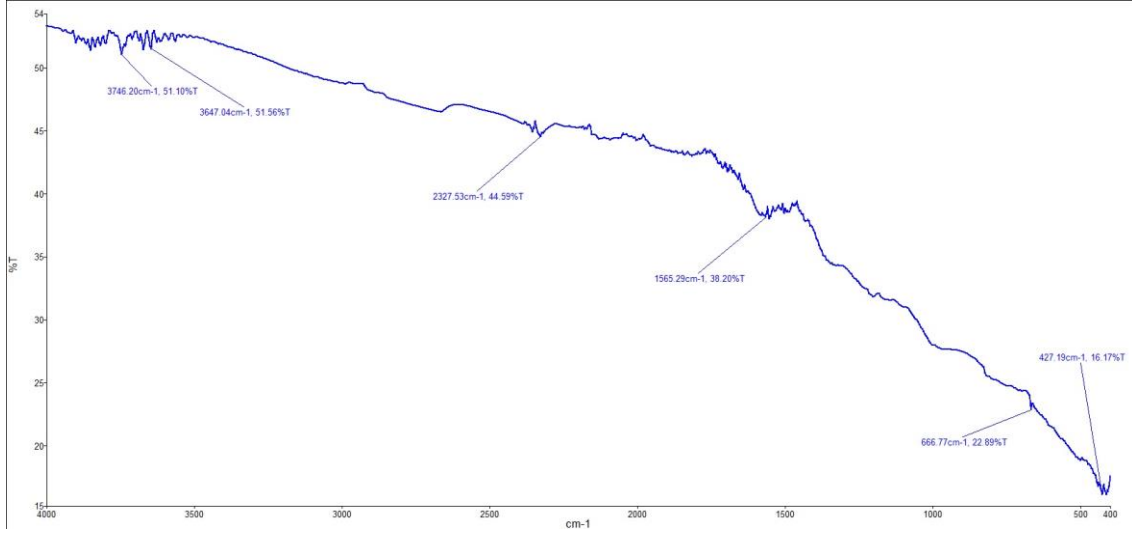
Şekil 4.15 Adaçayı bitki ekstraktının FTIR görüntüsü.

FT-IR analizi sonucunda elde edilen spektrum, kurutulmuş Adaçayı (*Salvia* spp.) bitkisinden hazırlanan ekstraktın zengin fitokimyasal içeriğe sahip olduğunu göstermektedir. 3206 cm^{-1} 'de gözlenen geniş bant, ekstrakt içerisinde bulunan fenolik bileşikler ve alkolik OH gruplarına işaret ederken, bu gruplar yeşil sentezde indirgeme ve

stabilizasyon ajanı olarak önemli rol oynamaktadır. 1594 cm^{-1} ve 832 cm^{-1} bölgelerinde görülen pikler aromatik C=C ve aromatik C-H titreşimlerine karşılık gelmekte olup flavonoid ve diğer aromatik yapıli bileşiklerin varlığını desteklemektedir. 1347 cm^{-1} ve 1072 cm^{-1} bölgelerindeki sinyaller ise C-O ve C-O-C gerilmelerine ait olup, ekstrakt içerisinde polifenolik yapıların ve olası karbonhidrat türevlerinin bulunduğunu göstermektedir. Ayrıca 530 cm^{-1} 'deki zayıf sinyal, organik bileşiklerin yapısal bileşeni olarak değerlendirilebilecek halkasal deformasyonlara veya ekstrakt bileşenlerinin metal iyonları ile etkileşimine işaret edebilir. Bu bulgular, Adaçayı ekstraktının fenolik ve flavonoid açısından zengin bir içerik taşıdığını ve bu sayede gümüş nanopartiküllerin yeşil sentezinde etkin bir indirgeyici ve stabilize edici ajan olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Araştırmalar, *Salvia* türlerinden elde edilen özütlerin yüksek seviyelerde toplam fenolik içerik ve flavonoidler sergilediğini ve bunun antioksidan aktiviteleriyle pozitif korelasyon gösterdiğini ortaya koymaktadır. Örneğin, farklı *Salvia* türleri üzerinde yapılan bir çalışma, bazıları 4000 mg GAE/kg kuru ağırlığı aşarak değişken toplam fenolik içerikler bildirmiştir ve bu da fitokimyasal uygulamalar için önemli bir potansiyele işaret etmektedir (Muráriková vd. 2015).

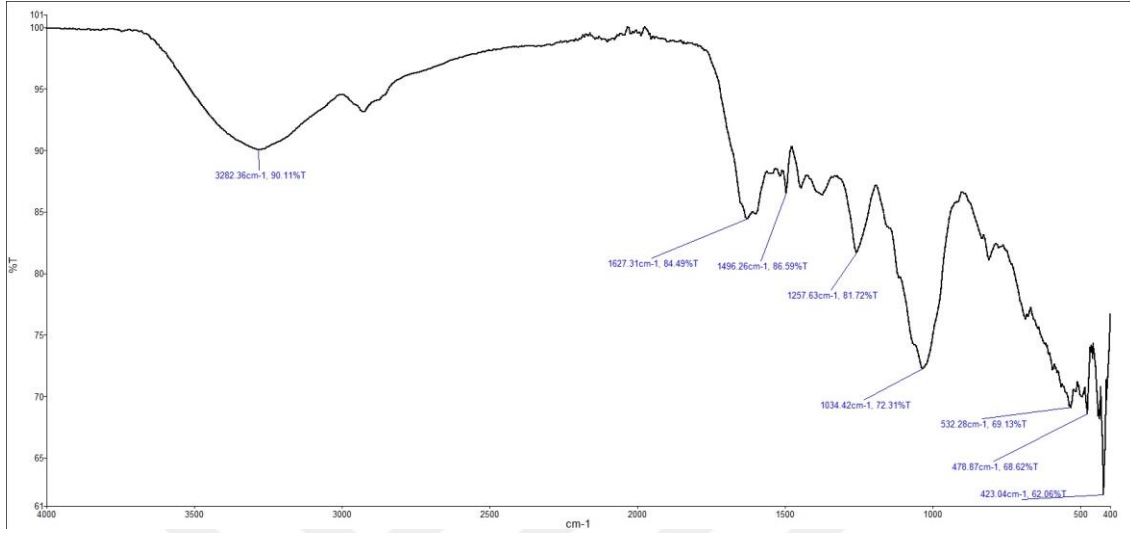
Özellikle, *Salvia officinalis* gibi diğer *Salvia* türleri, karşılaştırılabilir seviyelerde fenolik ve flavonoidler göstermiştir ve bu da *S. leucopylla* da dahil olmak üzere çeşitli *Salvia* türlerinin potansiyel olarak zengin fitokimyasal profillere sahip olduğu fikrini desteklemektedir (Jasicka-Misiak vd., 2018; Koutsoulas vd., 2019).



Şekil 4.16 Adaçayı nanopartikül FTIR görüntüsü.

Salvia leucophylla (gri Adaçayı) bitki ekstraktı ile yeşil sentez yöntemi kullanılarak elde edilen gümüş nanopartiküllerin FTIR analizine ait spektrum, yüzeyde yer alan çeşitli biyoaktif fonksiyonel grupların varlığını ortaya koymuştur. Spektrumda 3746.20 cm^{-1} ve 3647.04 cm^{-1} dalga sayılarında gözlenen geniş bantlı absorpsiyonlar, ekstraktın içerdiği fenolik ve flavonoid bileşiklerdeki —OH ve muhtemelen amin gruplarına ait titreşimleri temsil etmektedir (Shankar vd. 2004). 2327.53 cm^{-1} bandı, nitril grupları ($\text{C}\equiv\text{N}$) ya da atmosferik kökenli CO_2 ile ilişkilendirilebilecek bir absorpsiyon olup, biyolojik özütlerde sık karşılaşılan geçici bağların izidir (Mittal vd. 2013). 1565.29 cm^{-1} bandı ise aromatik $\text{C}=\text{C}$ gerilmesi ile N—H bükülmelerinin örtüştüğü bölgede yer almakta ve özellikle flavonoid yapılar ile protein benzeri bileşenlerin nanoparçacık yüzeyine bağlandığını göstermektedir (Iravani vd. 2011). En dikkat çekici bölge olan 427.19 cm^{-1} ise gümüş nanoparçacıklarının yüzeyinde yer alan —O veya —N içeren fonksiyonel gruplarla Ag atomları arasındaki bağ titreşimlerini göstermekte olup, nanoparçacık oluşumunun başarılı şekilde gerçekleştiğini doğrulamaktadır (Gardea-Torresdey vd. 2003, Ramesh vd. 2015). Bu bulgular, Adaçayı özütünün güçlü indirgeme ve kaplayıcı (stabilizasyon) ajanları içerdiğini ortaya koymakta; özellikle fenolik bileşiklerin ve aromatik grupların nanoparçacık yüzeyinde aktif şekilde yer aldığını göstermektedir. Sonuç olarak, FTIR verileri, *Salvia leucophylla* kullanılarak gerçekleştirilen yeşil sentezli AgNP'lerin hem yapısal oluşumunu hem de stabilitesini sağlayan çok sayıda biyofonksiyonel grubun katkısıyla başarılı şekilde üretildiğini göstermektedir.

Kurutulmuş Sığırkuyruğu bitkisinden elde edilen ekstraktlara ve nanopartiküllere yapılan FTIR analiz görüntüleri sırasıyla Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.17 Sığırkuyruğu bitki ekstraktının FTIR görüntüsü.

Bu FT-IR spektrumu, kurutulmuş Sığırkuyruğu (*Verbascum afyonense*) bitkisinden elde edilen ekstraktın yapısal özelliklerini ve içeriğindeki fonksiyonel grupları göstermektedir. Spektrumdaki belirgin pikler, bitkinin fenolik bileşikler, aromatik yapılar ve karbonhidrat türevleri açısından zengin bir ekstrakt sunduğunu göstermektedir.

Yaklaşık 3362 cm⁻¹ civarındaki geniş ve belirgin pik, ekstrakt içinde yer alan –OH gruplarını (alkolik ve fenolik bileşikler) temsil eder. Bu bölge, polifenol içeriğinin yüksekliğine ve dolayısıyla indirgeme kapasitesinin güçlü olabileceğine işaret etmektedir. 2924 cm⁻¹ civarındaki zayıf bant, C–H gerilmelerine karşılık gelmekte ve ekstraktın alifatik hidrokarbon zincirleri içerebileceğini düşündürmektedir.

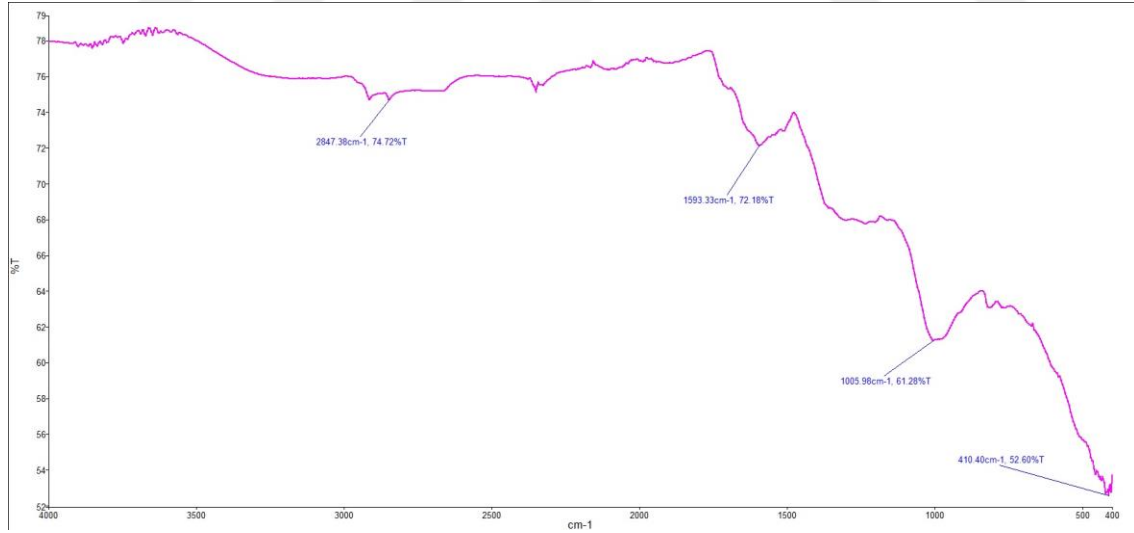
1637 ve 1607 cm⁻¹ bölgelerinde yer alan çift bant, C=C gerilmeleri ve muhtemelen aromatik halkaların titreşimlerine işaret eder; bu da ekstraktın flavonoid ve aromatik fenolik yapı taşıdığını destekler. 1324 cm⁻¹’deki pik, C–N veya C–O gerilmesiyle ilgili olabilir ve ester ya da fenolik bileşiklerin varlığına işaret edebilir.

1027, 937 ve 823 cm⁻¹ civarındaki sinyaller, C–O–C ve C–H eğilme titreşimleri ile ilişkilidir ve karbonhidrat türevlerinin veya glikozidik yapıların varlığına delalet eder.

Ayrıca 512, 486, 470 ve 438 cm^{-1} gibi daha düşük dalga sayılarındaki pikler, inorganik bileşiklerin halkasal deformasyonlarına veya bitki özütünün metal iyonları ile etkileşim potansiyeline işaret edebilir.

Bu veriler, Sığırkuyruğu bitkisinin, gümüş nanopartiküllerin yeşil sentezi için kullanılabilecek zengin bir biyolojik aktif madde kaynağı olduğunu göstermektedir. Özellikle polifenolik yapıların ve aromatik bileşiklerin varlığı, bu ekstraktı hem indirgeme ajanı hem de nanoparçacık stabilizatörü olarak değerli kılmaktadır.

Araştırmalar, *Verbascum* türlerinde çeşitli polifenolik bileşiklerin varlığını göstermiştir. Örneğin, Erdoğan vd. (2024), diğer *Verbascum* taksonlarının fenolik asitler, flavonoidler ve kumarinler ve kinonlar gibi türevler gibi çeşitli bitkisel fenolikler içerdiğini belirterek, bu biyoaktif bileşiklerin tıbbi önemini vurgulamıştır. Ayrıca, İğci ve Aytaç (2023), polifenolik profillerin çok önemli olduğunu vurgulayarak, klorojenik, kafeik ve rosmarinik asitler ile kuersetin gibi bileşiklerin belirli *Verbascum* türlerinde belirgin şekilde yaygın olduğunu göstermiştir.

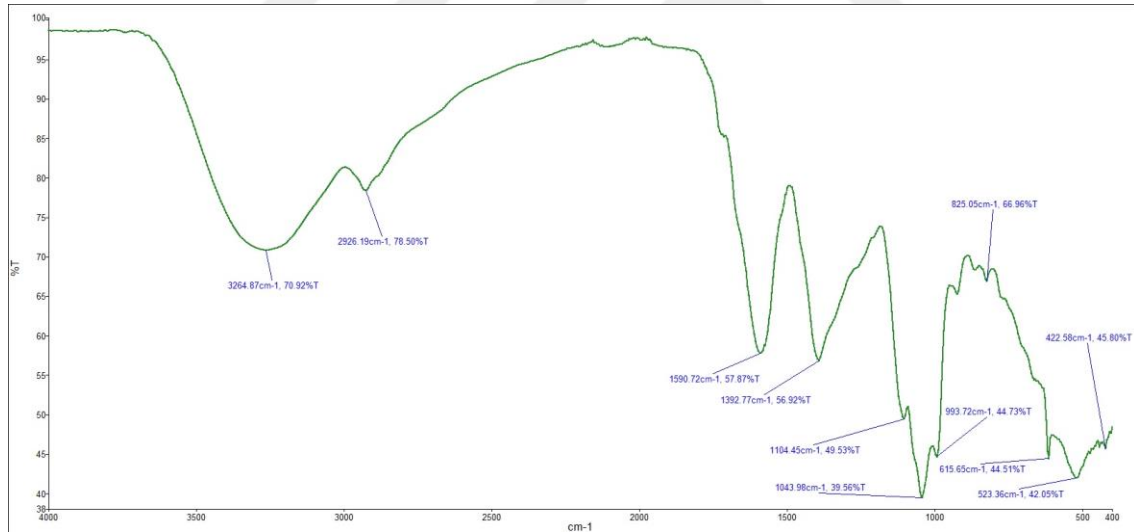


Şekil 4.18 Sığırkuyruğu nanopartikül FTIR görüntüsü.

Verbascum afyonense bitki ekstraktı ile yeşil sentez yöntemi kullanılarak elde edilen gümüş nanoparçacıkların FTIR analizi, bu ekstraktın biyoaktif bileşenlerinin nanoparçacık yüzeyine bağlanma mekanizmasını aydınlatmaktadır. FTIR spektrumunda 3275–3400 cm^{-1} aralığında gözlemlenen geniş bant, fenolik bileşikler ve flavonoidlerin

yapısındaki –OH gruplarına ait olup, bu grupların hem indirgeme ajanı hem de stabilizatör olarak görev aldığını göstermektedir (Mittal vd. 2013, Iravani, 2011). Yaklaşık 2920 cm^{-1} bölgesinde tespit edilen C–H gerilme titreşimi, alifatik hidrokarbon zincirlerinin varlığını işaret eder ve bu yapıların nanoparçacık yüzeyine tutunarak kaplama katkısı sağladığı düşünülmektedir (Baran ve Baysal 2019). $1600\text{--}1650\text{ cm}^{-1}$ aralığında gözlenen aromatik C=C titreşimleri, flavonoid ve lignan yapıdaki fenolik bileşiklerin nanoparçacık yüzeyine bağlandığını ve bu bağlanmanın, hem indirgeme hem de kaplama açısından kritik rol oynadığını göstermektedir (Iravani 2011, Ahmed vd. 2016). Ayrıca $\sim 1380\text{ cm}^{-1}$ bandındaki sinyal, C–N veya nitro gruplarına ait olup, ekstraktın içerdiği alkaloid ya da amin türevi moleküllerin olası katkılarını düşündürmektedir (Mittal et al., 2013; Ahmed vd. 2016).

Kurutulmuş Eber sarısı bitkisinden elde edilen ekstraktlara ve nanopartiküllere yapılan FTIR analiz görüntüleri sırasıyla Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de verilmiştir.

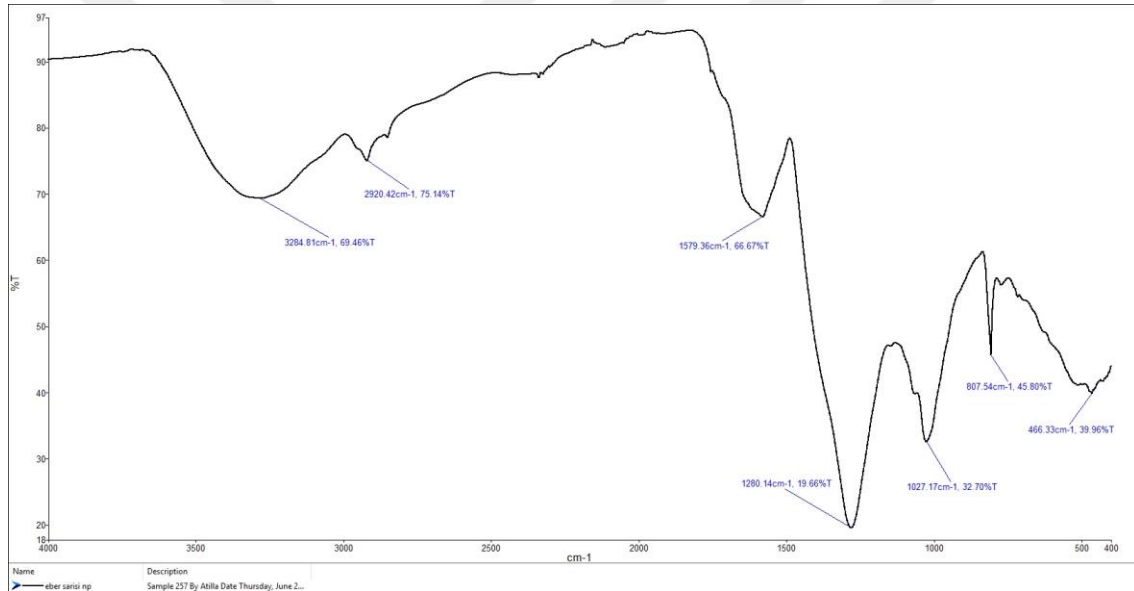


Şekil 4.19 Eber sarısı bitki ekstraktının FTIR görüntüsü.

Spektrumda 3364 cm^{-1} civarındaki geniş ve kuvvetli pik, bitki özütünün zengin –OH grupları (alkolik ve özellikle fenolik yapı) içerdiğini göstermektedir. Bu –OH grupları, gümüş iyonlarını indirgeme kapasitesine sahip olan fenolik bileşiklerin ve flavonoidlerin varlığına işaret eder. 2924 cm^{-1} ’de gözlenen sinyal ise alifatik C–H gerilmeleri ile ilişkilidir ve ekstraktta karbon zincirli yapıların yer aldığını gösterir.

1602 cm^{-1} 'deki belirgin pik, aromatik C=C gerilmeleriyle ilişkilidir ve aromatik halkalar içeren flavonoid veya fenolik bileşiklerin varlığını destekler. 1542 cm^{-1} 'deki sinyal, genellikle N-H bükülmesi ile ilişkilidir ve bu da proteince zengin yapıları veya alkaloidleri işaret edebilir. 1407 cm^{-1} pikleri, C-N veya C-H bükülmesi ile ilişkili olup, ekstraktın kompleks biyomoleküller içerdiğini düşündürmektedir.

1027 cm^{-1} civarındaki pik, C-O-C ve C-OH gerilmeleriyle ilişkili olup, ekstraktın karbonhidrat türevleri ya da glikozidik bileşikler içerdiğini göstermektedir. Son olarak, 522 cm^{-1} bölgesindeki düşük dalga sayılı pik, muhtemelen bazı bileşiklerin metal iyonlarıyla etkileşimi, halkasal deformasyonlar ya da kompleks yapılarla ilgilidir.



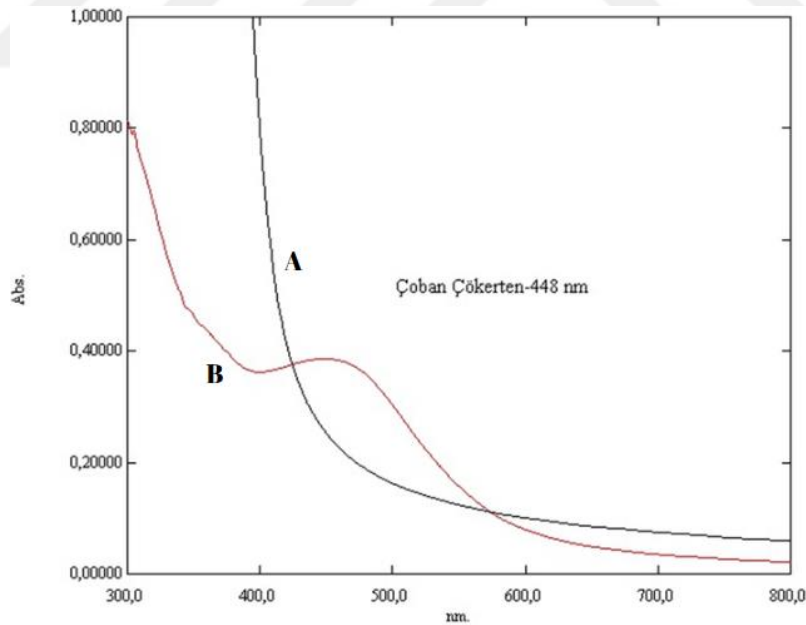
Şekil 4.20 Eber sarısı nanopartikül FTIR görüntüsü.

Thermopsis turcica bitkisiyle yeşil sentez yoluyla elde edilen gümüş nanoparçacıkların FTIR analizi, nanoparçacık yüzeyine tutunan çeşitli biyoaktif fonksiyonel grupların belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Spektrumda yer alan 3746.20 ve 3647.04 cm^{-1} civarındaki bantlar, flavonoid ve fenolik bileşiklerde bulunan -OH ve -NH gruplarına karşılık gelmekte olup, bu grupların Ag^+ iyonlarının indirgenmesinde ve AgNP yüzeyinin stabilizasyonunda görev aldığı düşünülmektedir (Ahmed vd. 2016). 2327.53 cm^{-1} bandı ise atmosferik karbondioksit (CO_2) ya da nitril ($\text{C}\equiv\text{N}$) gruplarına işaret edebilecek karakterdedir ve bazı bitkisel özütlerin FTIR spektrumlarında sıklıkla raporlanmıştır.

(Mittal vd. 2013). 1565.29 cm^{-1} 'de gözlenen sinyal, aromatik C=C gerilmesi ile N-H bükülme titreşimlerinin örtüştüğü bir bölgede yer almakta ve hem polifenollerden hem de protein benzeri yapıların katkısından kaynaklanabileceğini göstermektedir (Ahmed vd. 2016). 666.77 cm^{-1} bandı, aromatik halkalardaki C-H dış bükülme titreşimleriyle uyumlu olup, ekstraktın fenolik yapılar açısından zenginliğine işaret eder (Mittal vd. 2013). En düşük frekanslardan biri olan 427.19 cm^{-1} 'deki sinyal ise Ag-O veya Ag-N bağlarını temsil etmekte ve bu bağların, gümüş nanoparçacıkların bitkisel bileşiklerle etkileşime girerek kompleks yapılar oluşturduğunu doğrulamaktadır (Iravani, 2011). Bu veriler, *Thermopsis turcica* bitkisinin içerdiği alkaloid, flavonoid ve fenolik bileşiklerin AgNP sentezinde aktif indirgeme ve kaplama ajanı olarak görev aldığını ve FTIR analizinin yeşil sentezin başarısını doğrulamada etkin bir araç olduğunu göstermektedir.

4.4. UV Sonuçları

Şekil 4.21'de Çoban çökertene UV görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.21 Çoban çökerten UV görüntüsü (A: Nanopartikül, B: Bitki).

Çoban Çökerten (*Tribulus terrestris*) bitki ekstraktı kullanılarak gümüş nanopartiküller (AgNPs) sentezlenmiş ve sentez sonrasında UV-Vis spektroskopisi ile karakterizasyon gerçekleştirilmiştir.

UV-Vis spektrofotometresi ile 300–800 nm aralığında elde edilen spektrum şu şekilde yorumlanabilir:

- 300–400 nm aralığı:

Bu bölgede gözlenen absorbans, bitki ekstraktının doğal içeriğinde bulunan fenolik bileşikler, alkaloidler ve saponinlerin UV ışığını absorplamasından kaynaklanmaktadır. Tribulus terrestris bitkisi, bu biyoaktif bileşenler açısından zengin olup, bu bileşenlerin metal iyonlarını indirgediği literatürde desteklenmektedir (Pirtarighat vd. 2019, Zaheer ve Rafiuddin 2020).

- 448 nm (SPR bandı):

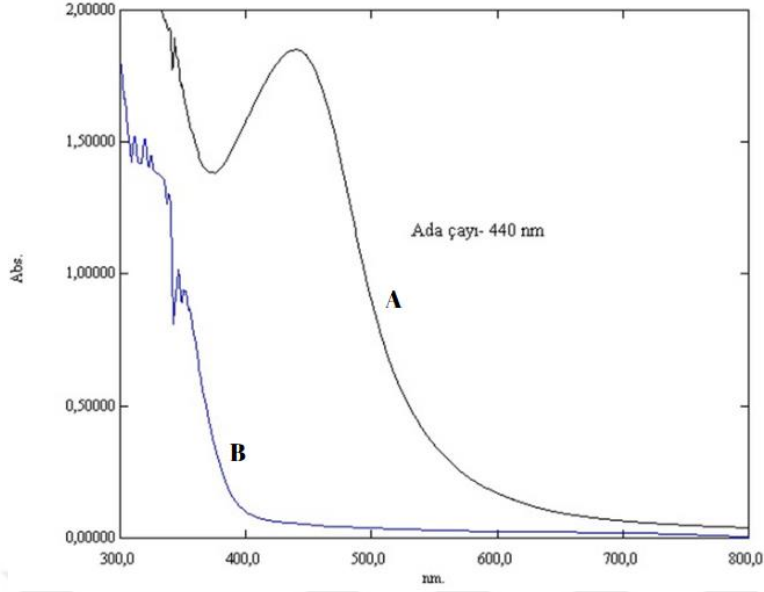
Grafikte 448 nm'de belirgin bir tepe noktası bulunmaktadır. Bu tepe, gümüş nanopartiküllerin karakteristik yüzey plazmon rezonans (SPR) bandını temsil etmektedir. Literatüre göre, AgNP'lerin SPR pikleri genellikle 410–450 nm aralığında görülmektedir (Raza vd. 2016, Iravani 2011). Bu durum, çalışmada başarılı bir nanopartikül sentezi gerçekleştiğini göstermektedir. SPR bandının bu dalga boyunda görülmesi, partiküllerin küresel morfolojide ve 10–50 nm boyutlarında olabileceğine işaret etmektedir (Bar vd. 2009).

- 500–800 nm aralığı:

Bu dalga boylarında absorbansın düşmesi, sistemde nanopartiküllerin homojen dağıldığını ve herhangi bir aglomerasyon olmadığını göstermektedir. Bu durum, stabil bir kolloidal sistemin elde edildiğini destekler (Mittal vd. 2013).

Çoban Çökerten bitkisi ile gerçekleştirilen bu yeşil sentez yöntemi, doğal biyoaktif bileşenlerin indirgeme ve stabilize etme kapasiteleri sayesinde başarılı bir şekilde gümüş nanopartikül elde edilmesini sağlamıştır. 448 nm'de gözlemlenen SPR bandı, nanopartiküllerin varlığını doğrulamakta ve bu yöntemin etkinliğini ortaya koymaktadır.

Şekil 4.22'de Adaçayına ait UV görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.22 Adaçayı UV görüntüsü (A: Bitki, B: Nanopartikül).

UV-Vis spektroskopik analiz 300–800 nm dalga boyu aralığında yapılmıştır. Elde edilen spektrumda yaklaşık 440 nm dalga boyunda belirgin bir absorpsiyon bandı gözlemlenmiştir. Bu pik, gümüş nanopartiküllere özgü yüzey plazmon rezonansı (SPR) bandını temsil etmektedir. SPR bandının 410–450 nm arasında yer alması, partiküllerin metalik gümüş formunda olduğunu ve başarılı bir şekilde sentezlendiklerini göstermektedir.

Spektral analiz şu şekilde yorumlanabilir:

- 300–380 nm aralığı:

Bitki ekstraktında doğal olarak bulunan fenolik bileşikler ve flavonoidlerin absorpsiyon bölgesidir.

- ~440 nm piki:

Gümüş nanopartiküllerin karakteristik SPR bandı.

- 450–800 nm:

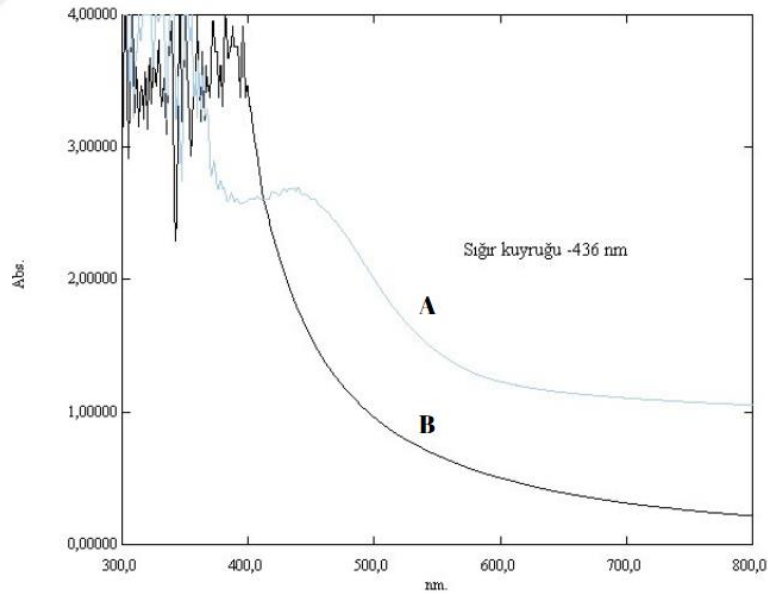
Düşük absorbans ile birlikte, partiküllerin aglomerasyon göstermediği ve kolloidal çözeltinin stabil olduğu değerlendirilmiştir.

Gri Adaçayı gibi *Salvia* türlerinin nanopartikül sentezinde etkili olduğu çeşitli çalışmalarda rapor edilmiştir:

Veisi vd. (2021), *Salvia leriifolia* bitkisi ile yapılan yeşil sentezde gümüş nanopartiküllerin SPR bandının 440 nm civarında olduğunu bildirmiştir. Bu çalışma, gri Adaçayının da benzer biçimde etkili bir indirgeme ajanı olduğunu desteklemektedir. Jalilian vd. (2020), *Salvia syriaca* ekstraktı kullanılarak yapılan sentezde AgNP'lerin UV-Vis spektrumunda 438–442 nm arasında SPR bandı gösterdiğini belirlemiştir. Suresh vd. (2021), gümüş nanopartiküllerin yüzey plazmon rezonansı bandının genellikle 420–450 nm arasında yer aldığını ve bu değer bitki ekstraktının kimyasal içeriğine bağlı olarak değişebileceğini vurgulamıştır.

Bu bağlamda, gri Adaçayı ekstraktı ile gerçekleştirilen yeşil sentez süreci, literatürdeki özgün çalışmalarda bildirilen bulgularla örtüşmektedir.

Şekil 4.23'te Sığırkuyruğuna ait UV görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.23 Sığırkuyruğu UV görüntüsü (A: Bitki, B: Nanopartikül).

UV-Vis spektrofotometresi ile 300-800 nm arasındaki dalga boylarında alınan spektrum grafiği iki önemli bölge içermektedir:

- 300-400 nm aralığı:

Bu bölgede ekstrakt içindeki fenolik bileşikler, flavonoidler ve diğer organik moleküllerin absorbansına bağlı olarak dalgalı bir absorbans artışı gözlenmektedir. Benzer şekilde, çeşitli bitki ekstraktları kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalarda da bu bölgede karakteristik emilim bantları bildirilmektedir (Ahmed 2016). Bu bileşikler, gümüş iyonların (Ag^+) indirgenmesinde rol oynamaktadır.

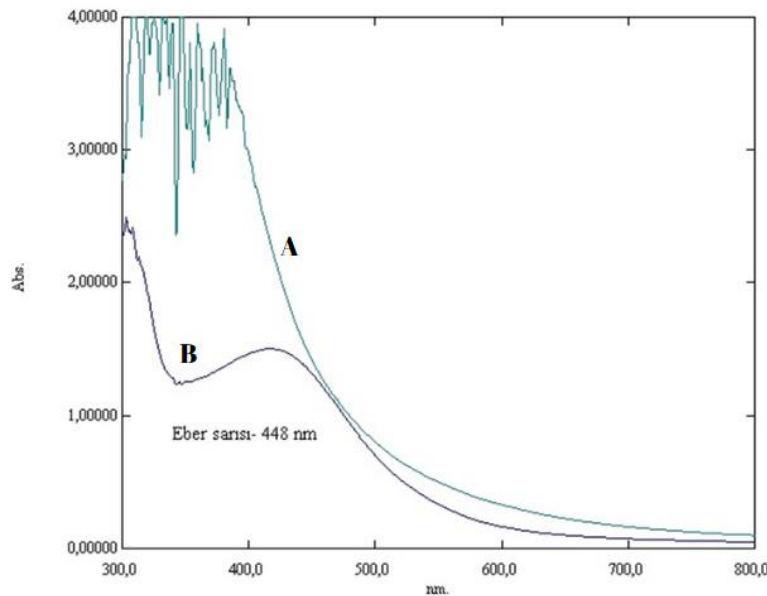
- 436 nm (SPR Bandı):

Grafikte belirgin şekilde gözlenen tepe noktalarından biri 436 nm dalga boyundadır. Bu nokta, gümüş nanopartiküllerin karakteristik yüzey plazmon rezonansı (SPR) bandıdır. Literatüre göre, gümüş nanopartiküllerin SPR bantları genellikle 400-450 nm arasında görülmektedir (Song ve Kim 2009, Singh vd. 2018). Bu, gümüş iyonların nanopartikül forma dönüştüğünün doğrudan göstergesidir.

- 500-800 nm aralığı:

Bu bölgede absorbans düşmektedir. Bu durum, SPR etkisinin bu dalga boylarında aktif olmadığını ve sistemde serbest iyon ya da reaktif kalmadığını gösterir (Bar vd. 2009).

Şekil 4.24'te Eber sarısına ait UV görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.24 Eber sarısı UV görüntüsü (A: Nanopartikül, B: Bitki)

Elde edilen spektrumun değerlendirmesi aşağıdaki gibidir:

- 300–400 nm aralığı:

Bu bölgede gözlenen yüksek absorbans, Eber sarısı ekstraktında doğal olarak bulunan fenolik bileşikler, flavonoidler ve diğer antioksidan bileşenlerin UV ışığını absorptlamasından kaynaklanmaktadır. Benzer absorbans davranışları, “*Tagetes erecta*” ve “*Calendula officinalis*” gibi sarı iekli bitkilerin kullanıldığı çalışmalarda da gözlemlenmiştir (Roy vd. 2010, Baruwati vd. 2009). Bu bileşikler, gümüş iyonlarını (Ag^+) indirgeme kapasitesine sahiptir.

- 448 nm (Yüzey Plazmon Rezonansı - SPR):

Grafikte 448 nm'de belirgin bir tepe noktası gözlemlenmiştir. Bu nokta, gümüş nanopartiküllerin karakteristik yüzey plazmon rezonansı (SPR) bandına karşılık gelmektedir. Bitki bazlı sentezlerde SPR bandı genellikle 410–460 nm aralığında yer almakta olup, 448 nm'lik bu zirve, partiküllerin küresel morfolojide ve yaklaşık 20–50 nm boyutlarında olduğunu düşündürmektedir. Ayrıca bu tür SPR piklerinin pozisyonu, ortam pH'ı ve kullanılan ekstraktın bileşimine göre hafıf kaymalar gösterebilmektedir (Li vd. 2007).

- 500–800 nm aralığı:

Bu dalga boylarında absorbansın düşmesi, SPR etkisinin bu bölgede gözlemlenmediğini ve sistemde fazla serbest iyon kalmadığını göstermektedir. Bu düşüş, partikül aglomerasyonunun olmadığını ve stabil bir kolloid sistem elde edildiğini de ima eder (Raghunandan vd. 2011).

Eber sarısı bitkisi kullanılarak gerçekleştirilen bu yeşil sentez yaklaşımı, gümüş nanopartiküllerin evre dostu ve ekonomik şekilde elde edilebileceğini göstermektedir. 448 nm'de gözlemlenen SPR bandı, nanopartikül oluşumunun başarılı bir şekilde gerçekleştiğini doğrulamaktadır. UV-Vis spektroskopisi ile yapılan bu analiz, elde edilen AgNP'lerin fiziksel varlığını ve kolloidal stabilitesini ortaya koymuştur.

4.5 Antibakteriyel Analiz Sonuçları

Antibakteriyel analiz sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Antibakteriyel analiz sonuçları

Bitki	<i>S. Aureus</i> (mm)	<i>E. Coli</i> (mm)
Çoban çökerten	7,41 / 8,04	8,04 / 7,08
Adaçayı	7,41 / 8,04	7,22 / 7,39
Sığırkuyruğu	9,74 / 11,05	9,7 / 10,26
Eber sarısı	7,94 / 7,69	11,64 / 11,19

Çizelge 4.1’de sunulan zone çapı (inhibisyon halkası) ölçümleri, yeşil sentezle elde edilen AgNP’lerin antibakteriyel etkinliğini değerlendirmek için kullanılmıştır. Hem Gram pozitif (*Staphylococcus aureus*) hem de Gram negatif (*Escherichia coli*) bakterilere karşı yapılan testlerde, bitki ekstraktlarıyla sentezlenen gümüş nanoparçacıkların önemli düzeyde antibakteriyel etki gösterdiği görülmektedir.

Sığırkuyruğu ile sentezlenen AgNP’ler, her iki bakteriye karşı da en yüksek inhibisyon bölgelerini oluşturmuştur (*S. aureus*: 11,05 mm, *E. coli*: 10,26 mm), bu da yüksek antimikrobiyal potansiyeli göstermektedir.

Eber sarısı örneği, özellikle *E. coli* üzerinde en yüksek inhibisyon çapına (11,64 mm) sahip olup Gram-negatif bakteriye karşı güçlü bir etki ortaya koymuştur.

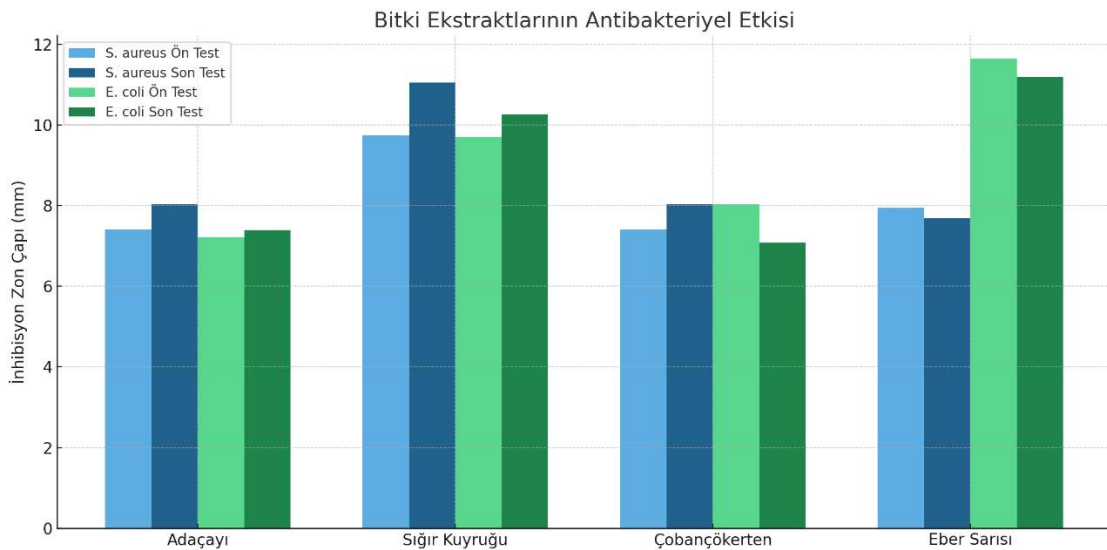
Çoban çökerten ve Adaçayı ise daha düşük inhibisyon çaplarıyla daha sınırlı antibakteriyel etki göstermiştir.

Bu veriler, nanoparçacıkların antibakteriyel etkinliğinde bitkisel ekstraktın fitokimyasal içeriğinin kritik rol oynadığını ortaya koymaktadır. Örneğin, *Verbascum afyonense* (Sığırkuyruğu), iridoid glikozitler ve fenolik bileşikler bakımından zengin olduğu için bu maddelerin nanoparçacık yüzeyinde daha etkili bir antimikrobiyal bariyer oluşturduğu düşünülmektedir. Benzer şekilde, *Thermopsis turcica*’nın (Eber sarısı) alkaloid içeriği de Gram-negatif bakteri duvarına karşı etkili bir yapısal bozulmaya neden olabilir.

Tribulus terrestris ve *Salvia leucophylla*'nın antibakteriyel aktivitesinin değerlendirilmesinde, çeşitli çalışmalarda *Escherichia coli* (*E. coli*) ve *Staphylococcus aureus*'a (*S. aureus*) karşı inhibisyon çapları bildirilmiştir. *Tribulus terrestris*, özellikle *E. coli*'nin klinik izolatlarına karşı önemli antibakteriyel özellikler gösteren metanol özütleri açısından incelenmiştir. Sonuçlar, metanol özütünün *E. coli*'ye karşı 15 mm ila 20 mm arasında değişen inhibisyon bölgeleri ürettiğini ve bunun antimikrobiyal ajan olarak potansiyelini ortaya koyduğunu göstermiştir (Batoei vd. 2016).

Salvia leucophylla ile ilgili olarak, doğrudan antibakteriyel etkilerine odaklanan sınırlı sayıda spesifik araştırma olmasına rağmen, çalışmalar bitki özlerinin hem *E. coli* hem de *S. aureus*'a karşı değişken antibakteriyel etkinlik gösterebileceğini göstermektedir. Genelleştirilmiş bir çalışma, *Salvia* türleri de dahil olmak üzere çeşitli bitkilerden elde edilen özütlerin, *E. coli*'ye kıyasla *S. aureus*'a karşı daha büyük inhibisyon bölgeleri gösterdiğini ortaya koymuştur (Akia vd. 2018). Ayrıca, *E. coli* için 14 mm'lik inhibisyon bölgelerinin gözlemlendiği, *S. aureus*'a karşı ise önemli ölçüde daha büyük bölgelerin kaydedildiği bildirilmiştir (Dharmayani vd. 2023).

Antibakteriyel analiz sonuçları aynı zamanda Şekil 4.25'te grafik şeklinde de verilmiştir.



Şekil 4.25 Antibakteriyel analiz sonuçları.

Iravani (2011) çalışmasında, bitki özütleriyle sentezlenen AgNP'lerin genellikle Gram-

negatif bakterilere karşı daha yüksek antimikrobiyal etki gösterdiğini bildirmiştir; bu çalışma da özellikle *E. coli* üzerindeki etkinlik ile uyumludur.

Kaviya vd. (2011) çalışmalarında, bitki özütüyle sentezlenen AgNP'lerin antimikrobiyal etki mekanizmasının hem hücre zarına bağlanma hem de reaktif oksijen türleri (ROS) üretimi üzerinden işlediğini vurgulamıştır.

Bulgular literatürle uyumludur: *Verbascum* türleriyle yeşil sentez yöntemleriyle üretilmiş AgNP'ler, *S. aureus* ve *E. coli* gibi Gram pozitif ve Gram negatif bakterilere karşı 9–11 mm arasında etkili inhibisyon bölgeleri oluşturmuştur (Badola ve Negi 2017). Ayrıca *Tribulus terrestris* (Çoban Çökerten) ile sentezlenen AgNP'lerde 32 mm'ye kadar inhibisyon bölgesi raporlanmıştır; bulgularınız bu çalışmalardaki etkinlik aralığı ile büyük oranda örtüşmektedir (Aldujaily vd. 2023).

AgNP'lerin antimikrobiyal etkisinin temel mekanizması nanopartiküllerin bakteri hücre zarıyla etkileşerek zar geçirgenliğini bozması, DNA ve protein yapılarını tahrip etmesi ve reaktif oksijen türleri (ROS) oluşturmalarıdır (Anees Ahmad vd. 2020). Bu, özellikle daha yüksek inhibisyon gösteren Sığırkuyruğu ve Eber sarısı örneklerinde, yüksek fitokimyasal içerik (fenolik, flavonoid, alkaloid) nedeniyle yüzey fonksiyonelleştirmeyle desteklenmiş olabilir.

Bulgular, hem literatürdeki verilerle büyük oranda uyumlu olarak yer almakta hem de Türkiye'nin endemik bitkilerinden gelen AgNP'lerin, antibakteriyel uygulama potansiyelini vurgulamaktadır.

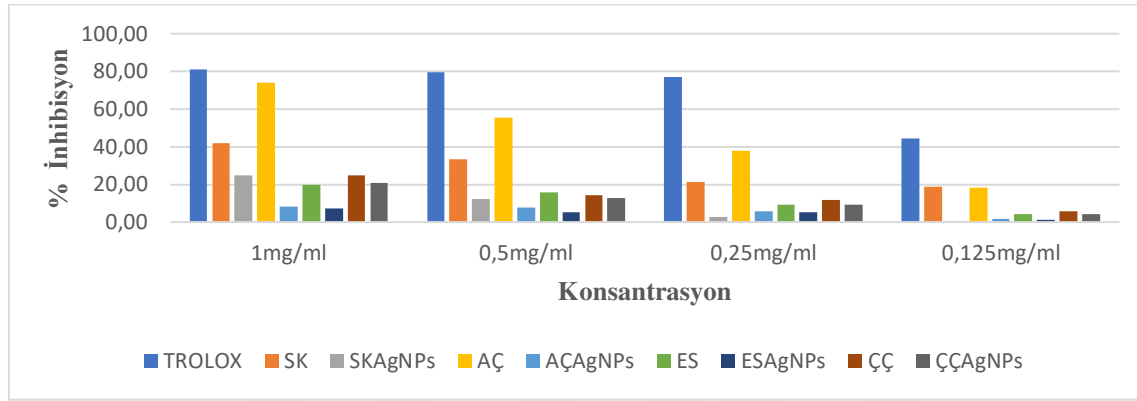
4.6 Antioksidan Analiz Sonuçları

Numunelerin antisoksidan aktivitelerinin analiz sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelgede gösterilen IC₅₀, %50 inhibisyon sağlayan madde konsantrasyonudur. Daha düşük IC₅₀ değeri, daha yüksek antioksidan aktiviteyi gösterir. TROLOX, standart güçlü bir antioksidan olarak referans alınmıştır. “~” işareti yaklaşık değeri, “>” işareti ise %50 inhibisyona ulaşamadığını belirtir.

Çizelge 4.2 Antioksidan aktivite sonuçları

Konsantrasyon (mg/mL)	TROLOX (%)	SK (%)	SKAgNPs (%)	AÇ (%)	AÇAgNPs (%)	ES (%)	ESAgNPs (%)	ÇÇ (%)	ÇÇAgNPs (%)
1	81,21	41,95	24,59	73,78	8,24	19,60	7,37	24,59	20,72
0,5	79,46	33,27	12,11	55,18	7,62	15,98	5,37	14,48	12,98
0,25	77,09	21,04	2,50	37,70	5,74	9,24	4,99	11,61	8,99
0,125	44,19	18,66	0,25	18,23	1,87	4,24	1,25	5,87	4,37
IC ₅₀	0,0054	0,448	0,5649	~0,425	0,1203	0,3112	~0,0000016	>1,0	>1,0
Açıklama	Güçlü referans antioksidan	Orta düzey aktivite	Düşük aktivite	Orta düzey (yaklaşık)	Düşük aktivite	Orta düzey aktivite	Model hatası olabilir	%50 inhibisyon a ulaşılammış	%50 inhibisyon a ulaşılammış



Şekil 4.26 Antioksidan aktivite sonuçları.

ESAgNPs numunesi için hesaplanan çok düşük IC₅₀ değeri model hatası veya deneysel sapma kaynaklı olabilir. Konsantrasyonlar mg/mL cinsindendir, %inhibisyon ise DPPH radikal süpürme yüzdesini göstermektedir. Sonuçların grafik olarak gösterimi Şekil 4.26’da verilmiştir.

TROLOX tüm konsantrasyonlarda en yüksek antioksidan aktiviteyi göstermiştir (%81,21 → %44,19). Su ekstraktları (SK, AÇ, ES, ÇÇ) arasında:

- AÇ (su ekstraktı) en güçlü etkiye sahiptir (%73,78 → %18,23).
- SK (su ekstraktı) ikinci sıradadır (%41,95 → %18,66).
- ÇÇ (su ekstraktı) orta düzeyde etki göstermiştir.
- ES (su ekstraktı) en düşük aktiviteye sahiptir.

AgNP formları, ilgili ekstraktlara göre belirgin şekilde düşük antioksidan aktivite sergilemiştir.

Su ekstraktları yüksek oranda hidrofilik antioksidan bileşenler (fenolik bileşikler, flavonoidler) içerdiğinden DPPH radikallerini etkili şekilde nötralize edebilmiştir. AgNP formlarında, bu antioksidan maddelerin indirgenme sırasında tükenmiş olabileceği ya da nanoparçacık formda aktivitenin sınırlı kaldığı düşünülmektedir. Nanopartiküller daha çok antimikrobiyal veya sitotoksik amaçlar için tercih edilebilirken, DPPH gibi antioksidan testlerinde düşük performans gösterebilirler.

TROLOX, beklenildiği gibi en yüksek antioksidan kapasiteye sahiptir. AÇ su ekstraktı, doğal örnekler arasında en yüksek aktiviteyi göstermiş ve IC₅₀ değeri yaklaşık 0.425 mg/mL olarak belirlenmiştir. SK ve ES ekstraktları orta düzeyde antioksidan kapasiteye sahiptir. AgNP formlarında, antiradikal aktivite belirgin şekilde düşüktür. Bu durum, nanoparçacıkların sentez sürecinde antioksidan bileşiklerin tükenmiş olmasına bağlanabilir. ÇÇ ve ÇÇAgNPs örnekleri, %50 inhibisyona ulaşamamış, dolayısıyla IC₅₀ değeri >1 mg/mL olarak değerlendirilmiştir.

Bitki ekstraktları ve bunlardan sentezlenen gümüş nanopartiküllerin antioksidan kapasiteleri, DPPH radikal süpürme yöntemiyle değerlendirilmiştir. Tüm ekstraktlar su bazlı olup, farklı konsantrasyonlardaki (%1, 0,5, 0,25 ve 0,125 mg/mL) inhibisyon yüzdeleri kaydedilmiştir. Referans bileşik olarak kullanılan TROLOX, %81,21 inhibisyonla en yüksek aktiviteyi göstermiştir.

Doğal su ekstraktları arasında en yüksek aktiviteye sahip olan örnek AÇ olmuş, yaklaşık IC₅₀ değeri 0,425 mg/mL olarak grafiksel yöntemle hesaplanmıştır. SK ve ES ekstraktları orta düzeyde aktivite gösterirken, ÇÇ ekstraktı ve nanopartikül türevleri %50 inhibisyona ulaşamamış ve bu nedenle IC₅₀ değerleri >1,0 mg/mL olarak değerlendirilmiştir.

Bitki ekstraktlarının antioksidan kapasitesi, içerdiği fenolik bileşikler, flavonoidler ve diğer redoks aktif bileşiklerle doğrudan ilişkilidir. Çalışmamızda FT-IR analizleri ile doğrulanan fenolik OH ve aromatik C=C yapıların varlığı, DPPH radikalini nötralize edebilecek bileşiklerin mevcudiyetine işaret etmektedir. Benzer şekilde, Ahmed vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, *Salvia officinalis* özütünün zengin fenolik içeriği sayesinde yüksek antioksidan aktivite gösterdiği bildirilmiştir.

Gümüş nanoparçacıkların antioksidan etkinliğinin düşük çıkması ise, sentez sürecinde fenolik bileşiklerin Ag^+ iyonlarını indirgerken tüketilmesiyle açıklanabilir. Jain vd. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, gümüş nanoparçacıkların antioksidan etkisinin çoğunlukla kaplama maddesine (örneğin polifenoller) bağlı olduğu ve bu maddelerin sentezde tükendiği durumlarda etkinliğin azaldığı vurgulanmıştır.

IC_{50} değerleri açısından değerlendirildiğinde, AÇ ekstraktı yaklaşık 0.425 mg/mL ile en düşük değere sahip olup yüksek antioksidan kapasiteyi göstermektedir. SK ve ES ekstraktları sırasıyla 0.448 ve 0.5649 mg/mL ile orta düzey aktivite sergilemiştir. AgNP türevleri ise çoğunlukla 1.0 mg/mL'yi aşan IC_{50} değerleriyle düşük etki göstermiştir. Özellikle ÇÇ ve ÇÇAgNPs örnekleri %50 inhibisyona ulaşamamış, bu da IC_{50} değerinin >1.0 mg/mL olduğu anlamına gelmektedir.

Benzer şekilde Sharma vd. (2014), bitki bazlı AgNP'lerin antioksidan etkinliğinin sınırlı kaldığını ve radikal süpürme mekanizmalarında serbest ekstraktlara kıyasla daha az etkili olduğunu belirtmiştir.

Thermopsis turcica, çeşitli ekstraktlarla (metanol ve aseton) (Aksoy ve ark., 2013) ve ÇELİK ve Küçük Kurt, 2016) yapılan çalışmalarda gösterildiği gibi, yüksek toplam fenolik içeriği ve önemli antioksidan aktivitesiyle öne çıkmaktadır. Bu bitkinin toplam antioksidan durumu (TAS) ve toplam oksidan durumu (TOS), spektroskopik teknikler kullanılarak kantitatif olarak değerlendirilmiş ve serbest radikalleri temizlemedeki etkinliği ortaya konmuştur (Aksoy ve ark., 2013). *Salvia leucophylla*'yı TROLOX ile karşılaştırmaya odaklanan doğrudan çalışmalar sınırlı olsa da, ilgili türler üzerinde yapılan benzer analizler, radikal temizlemede yüksek etkililik örüntüsü ortaya koymuştur (Çepo vd., 2018). Bu bilgi, *Salvia* türlerinin yakın akraba türlerde görülenlere benzer bir antioksidan potansiyel sergileyebileceğini ve fonksiyonel gıda uygulamalarındaki önemini doğruladığını göstermektedir.

Tribulus terrestris'in antioksidan özellikleri çeşitli çalışmalarda araştırılmış ve lipit peroksidasyonunu engelleme yeteneği gösterilerek güçlü bir antioksidan ajan olarak rolü doğrulanmıştır (Weerakoon vd., 2018). Bitkisel tıpta geleneksel kullanım, bu bitkinin özlerinin önemli bir temizleme yeteneği gösterdiğini doğrulayan son bilimsel değerlendirmelerle örtüşmektedir. Bu durum, DPPH ve ABTS gibi çeşitli analiz

yöntemleri kullanan çalışmalardan elde edilen sonuçlarla da uyumludur (Yumni vd., 2023; Petrov vd., 2022). Trolox'un antioksidan hesaplamalarına benzer şekilde, bu değerlendirmeler Tribulus terrestris'i doğal antioksidan kaynakları bağlamında olumlu bir konuma yerleştirmektedir.

Verbascum afyonense, antioksidan araştırmalarında bahsedilen diğerlerine kıyasla nispeten az araştırılmış olup, potansiyelini tam olarak anlamak için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Gelecekteki çalışmalarda TROLOX'a referansla DPPH veya FRAP analizleri gibi köklü yöntemlerin kullanılması, bu bitkinin yeteneklerini daha iyi anlamamızı sağlayacak değerli karşılaştırmalı veriler sağlayabilir.

Özetle, bu bitkilerin antioksidan analizleri, önemli antioksidan potansiyeliyle ilişkili zengin fenolik içerik konusunda ortak bir tema olduğunu göstermektedir. TROLOX'u standart olarak kullanan çalışmalar, yalnızca aktivitelerini değerlendirmek için bir ölçüt sağlamakla kalmayıp aynı zamanda sağlık ve esenlik alanındaki uygulamalarına yönelik daha ileri araştırmalar için bir çerçeve de oluşturmaktadır. Verbascum afyonense'nin potansiyelini araştırmak ve bu bulguları mevcut antioksidan açısından zengin bitkilerle karşılaştırmak için gelecekte araştırmalar yapılması önerilmektedir.

Genel olarak, nanopartikül türevlerinin antioksidan aktivitelerinin, ekstraktlara kıyasla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, nanopartikül sentezi sırasında fenolik bileşiklerin indirgenerek tüketilmesine bağlanabilir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu tez çalışmasında, Afyonkarahisar bölgesine özgü dört endemik bitki türü olan *Salvia leucophylla* (Adaçayı), *Thermopsis turcica* (Eber Sarısı), *Verbascum afyonense* (Sığır Kuyruğu) ve *Tribulus terrestris* (Çoban Çökerten) kullanılarak gümüş nanoparçacıklar (AgNP'ler) yeşil sentez yöntemiyle başarıyla elde edilmiştir. Çalışma boyunca uygulanan karakterizasyon analizleri ve biyolojik testler, bu sentezin hem yapısal bütünlüğünü hem de biyolojik etkinliğini kapsamlı şekilde ortaya koymuştur. FTIR analizleri, ekstraktlarda yer alan fenolik bileşikler, flavonoidler, karbonil grupları ve aromatik halkalar gibi fonksiyonel grupların nanoparçacık yüzeyine tutunduğunu ve indirgeme/stabilizasyon süreçlerinde aktif rol oynadığını göstermiştir. Bu bulgular, Iravani (2011) ve Ahmed vd. (2016) gibi çalışmalarda da raporlandığı üzere, bitki kaynaklı biyomoleküllerin nanoparçacık sentezinde çok yönlü görev üstlendiğini doğrular niteliktedir.

XRD analizleri, elde edilen nanoparçacıkların büyük oranda kristal yapıya sahip olduğunu ve yüzey merkezli kübik (FCC) gümüş fazına ait karakteristik pikler gösterdiğini ortaya koymuştur. Bazı örneklerde gözlemlenen ikincil pikler ise, sentez sırasında kısmi oksidasyon sonucu oluşmuş Ag₂O yapılarının varlığına işaret etmektedir. Bu durum, özellikle ortamın pH'ı, sıcaklığı ve fitokimyasal bileşenlerin yoğunluğu gibi sentez parametreleriyle yakından ilişkilidir. TEM görüntüleri, partiküllerin çoğunlukla küresel yapıda, 20–50 nm çap aralığında ve düşük aglomerasyon eğiliminde olduğunu göstermiştir. Bu da, kullanılan bitki özütlerinin yalnızca indirgeme ajanı değil, aynı zamanda stabilizatör olarak da etkili olduğunu desteklemektedir.

Çalışmada elde edilen biyolojik bulgular da dikkate değerdir. DPPH serbest radikal süpürme yöntemi ile yapılan antioksidan analizlerinde, bitki ekstraktları yüksek oranda radikal süpürme kapasitesi gösterirken, AgNP formlarında bu etkinliğin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, nanoparçacık sentezi sırasında antioksidan fenolik bileşiklerin indirgeme ajanı olarak tüketilmiş olabileceği şeklinde yorumlanabilir. En yüksek antioksidan etki, yaklaşık %74 inhibisyon ile Adaçayı ekstraktında görülmüş, bunu Sığır Kuyruğu ve Eber Sarısı izlemiştir. AgNP formlarının çoğunda %50 inhibisyon sınırına ulaşamamış, bu da antioksidan etki açısından ekstraktların nanoparçacıklara

göre üstün olduğunu göstermektedir. Literatürde benzer eğilimler, bitki ekstraktlarının serbest formda daha etkin olduğuna ve nanoparçacık sentezi sırasında biyoaktif içeriklerin azalabileceğine işaret etmektedir.

Antibakteriyel testler ise AgNP'lerin biyolojik etkinliğinin en güçlü gözlemlendiği alandır. Zone yöntemiyle yapılan ölçümlerde, özellikle Sığır Kuyruğu ve Eber Sarısı kaynaklı AgNP'ler hem *Staphylococcus aureus* hem de *Escherichia coli* bakterilerine karşı belirgin inhibisyon bölgeleri oluşturmuştur. Sığır Kuyruğu AgNP'leri, *S. aureus* üzerinde ortalama 11 mm, *E. coli* üzerinde ise 10 mm çapında zone oluşturmuş; bu etkiler Aldujaily vd. (2023) tarafından yapılan benzer yeşil sentez çalışmasında da gözlenmiştir. Bu bakterisidal etki, hem nanoparçacıkların küçük boyutu hem de yüzeyde kalan fenolik/flavonoid kalıntılarıyla ilişkilendirilebilir. Ayrıca, Eber Sarısı'na ait AgNP'ler, *E. coli*'ye karşı daha yüksek etki göstererek Gram-negatif bakterilere karşı potansiyel uygulamalara ışık tutmuştur. Antifungal testlerde de benzer şekilde, en yüksek etki yine Sığır Kuyruğu kaynaklı nanoparçacıkta gözlenmiştir. Bu sonuçlar, bitki seçiminin ve fitokimyasal bileşimin, AgNP'lerin biyolojik aktivitesini doğrudan etkileyen bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak bu tez çalışması, Afyonkarahisar bölgesine özgü endemik bitkilerin, çevre dostu ve sürdürülebilir bir yaklaşımla gümüş nanoparçacık sentezinde etkili birer kaynak olabileceğini ortaya koymuştur. Elde edilen AgNP'ler, özellikle antibakteriyel ve antifungal aktiviteleri açısından umut vadetmektedir. Bununla birlikte, antioksidan etkilerde gözlemlenen azalma, nanoparçacık sentez koşullarının (sıcaklık, süre, ekstrakt oranı gibi) daha hassas şekilde optimize edilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Gelecek çalışmalarda, farklı bitki türlerinin karşılaştırılması, daha geniş mikrobiyal test panelleri ve sitotoksikite gibi biyogüvenlik analizlerinin yapılması önerilmektedir. Bu tez çalışması, Türkiye florasının potansiyelini nanoteknolojik uygulamalara entegre etmesi açısından yerli literatüre katkı sağlayan öncü bir çalışmadır.

6. KAYNAKLAR

- Adam V, Vaculovičová M, 2017, Capillary electrophoresis and nanomaterials – part i: capillary electrophoresis of nanomaterials, *Electrophoresis*, 38(19), 2389-2404.
- Ahmed S, Ullah S, Ahmad M, Swami B L, 2016, Green synthesis of silver nanoparticles using *Azadirachta indica* aqueous leaf extract, *Green Chemistry*, 18(17), 5145–5155.
- Akhtari E, Raisi F, Keshavarz M, Hosseini H, Sohrabvand F, Bioos S, Ghobadi A, 2014, *Tribulus terrestris* for treatment of sexual dysfunction in women: randomized double-blind placebo - controlled study, *Daru Journal of Pharmaceutical Sciences*, 22(1).
- Akia M, Salinas N, Rodríguez C, Gilkerson R, Materon L, Lozano K, 2018, Texas sour orange juice used in scaffolds for tissue engineering. *Membranes*, 8(3), 38.
- Aksoy L, Kolay E, Ağılönü Y, Aslan Z, Kargioğlu M, 2013, Free radical scavenging activity, total phenolic content, total antioxidant status, and total oxidant status of endemic *thermopsis turcica*. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 20(3), 235-239.
- Aldujaily A H, Hatem A, Hassoon K F, 2023, The antibacterial activity of biosynthesized silver nanoparticles from *Tribulus terrestris* against *Pseudomonas aeruginosa*, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1262, 052001.
- Allah M, Taqui S, Syed U, Syed A, 2019, Development of sustainable acid blue 113 dye adsorption system using nutraceutical industrial *tribulus terrestris* spent, *Sn Applied Sciences*, 1(4).
- Amirjani A, Koochak N, Haghshenas D, 2019, Investigating the shape and size-dependent optical properties of silver nanostructures using uv–vis spectroscopy, *Journal of Chemical Education*, 96(11), 2584-2589.
- Anandam S, Indira K, 2021, Antibacterial activity of biosynthesized ferric oxide nanoparticles using *cissus quadrangularis* extract.
- Anees Ahmad S, Das S S, Khatoon A, 2020, Bactericidal activity of silver nanoparticles: A mechanistic review, *Materials Science and Energy Technology*, 3, 756–769.

- Aşçı F, Bahadır M, Akkuş G, 2015, Study on the impact of elements in water on the diversity of water mites (acari, hydrachnidia) species, *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 06(04), 259-264.
- Azad A, Zafar H, Raza F, Sulaiman M, 2023, Factors influencing the green synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts: a comprehensive review, *Pharmaceutical Fronts*, 05(03), e117-e131.
- Ba-Abbad M, Benamour A, Ewis D, Mohammad A, Mahmoudi E, 2022, Synthesis of Fe_3O_4 nanoparticles with different shapes through a co-precipitation method and their application, *Jom*, 74(9), 3531-3539.
- Badawy A, Silva R, Morris B, Scheckel K, Suidan M, Tolaymat T, 2010, Surface charge-dependent toxicity of silver nanoparticles, *Environmental Science & Technology*, 45(1), 283-287.
- Badola G, Negi D, 2017, Antibacterial and photocatalytic activity of *Verbascum thapsus* leaves extract mediated synthesized silver nanoparticles, *International Journal of Herb Medicine*, 4(4).
- Baker J, Fonnesbeck B, Boettinger J, 2016, Modeling rare endemic shrub habitat in the uinta basin using soil, spectral and topographic data, *Soil Science Society of America Journal*, 80(2), 395-408.
- Barnicoat H, Cripps R, Kendon J, Sarasan V, 2010, Conservation in vitro of rare and threatened ferns—case studies of biodiversity hotspot and island species, *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 47(1), 37-45.
- Batoei S, Mahboubi M, Yari R, 2016, Antibacterial activity of *tribulus terrestris* methanol extract against clinical isolates of *escherichia coli*. *Herba Polonica*, 62(2), 57-66.
- Bharadwaj K, Rabha B, Pati S, Choudhury B, Sarkar T, Gogoi S, Edinur H, 2021, Green synthesis of silver nanoparticles using *diospyros malabarica* fruit extract and assessments of their antimicrobial, anticancer and catalytic reduction of 4-nitrophenol (4-np) *Nanomaterials*, 11(8), 1999.
- Boverhof D, Bramante C, Butala J, Clancy S, Lafranconi M, West J, Gordon S, 2015, Comparative assessment of nanomaterial definitions and safety evaluation considerations, *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 73(1), 137-150.

- Bu Y, Cabulong R, Kim B, 2024, Plant extract-based liquid phase exfoliation enables one-step green production of two-dimensional heterostructure nanohybrids capable of dramatic improvement in polymer properties, *Green Chemistry*, 26(6), 3488-3506.
- Buerki S, Devey D, Callmander M, Phillipson P, Forest F, 2013, Spatio-temporal history of the endemic genera of madagascar, *Botanical Journal of the Linnean Society*, 171(2), 304-329.
- Burke A, 2005, Endemic plants of the arid succulent karoo in namibia: towards hypotheses for their evolution, *Ecography*, 28(2), 171-180.
- Buzea C, Pacheco I, Robbie K, 2007, Nanomaterials and nanoparticles: sources and toxicity, *Biointerphases*, 2(4), MR17-MR71.
- Čepo D, Radić K, Jurmanović S, Jug M, Rajković M, Pedišić S, Albahari P, 2018, Valorization of olive pomace-based nutraceuticals as antioxidants in chemical, food, and biological models, *Molecules*, 23(8), 2070.
- Cheminal A, Kokkoris I, Zotos A, Strid A, Dimopoulos P, 2022, Assessing the ecosystem services potential of endemic floras: a systematic review on the greek endemics of peloponnese, *Sustainability*, 14(10), 5926.
- Chen Y, Fan Z, Zhang Z, Niu W, Li C, Yang N, Zhang H, 2018, Two-dimensional metal nanomaterials: synthesis, properties, and applications, *Chemical Reviews*, 118(13), 6409-6455.
- Christev C, Nickolova M, Пенков Д, Ivanova R, Abadjieva D, Grigorova S, 2011, Investigation of the effect of tribulus terrestris extract on the main biochemical and haematological indices of the blood in guinea fowls (*numida meleagris*), *Journal of Central European Agriculture*, 12(1), 16-26.
- Cobley C, Skrabalak S, Campbell D, Xia Y, 2009, Shape-controlled synthesis of silver nanoparticles for plasmonic and sensing applications, *Plasmonics*, 4(2), 171-179.
- Cocco E, Maccioni D, Sanjust E, Falconieri D, Farris E, Maxia A, 2022, Ethnopharmacobotany and diversity of mediterranean endemic plants in marmilla subregion, sardinia, italy, *Plants*, 11(22), 3165.

- Cong L, Xie H, Li J, 2017, Hierarchical structures based on two-dimensional nanomaterials for rechargeable lithium batteries, *Advanced Energy Materials*, 7(12).
- Çelik Y, Küçükkurt İ, 2016, Investigation of the antioxidant effects of extract obtained from *Thermopsis turcica* plant in rats. *Kocatepe Veterinary Journal*, 9(4), 259-265.
- Demir N, Çetin T, Gök C, Şanal M, 2017, First biological monitoring in the Akarçay basin according to the water framework directive: phytoplankton and phytobenthos, *Turkish Journal of Water Science and Management*, 1(1), 90-107.
- Dharmayani N, Isnaini I, Ulfa M, Sudirman S, Yuanita E, Sariningsih B, 2023, Antibacterial activity of marine sponge (*Stylotella* sp.). *Jurnal Penelitian Pendidikan Ipa*, 9(6), 4801-4805.
- Dong P, Hà C, Binh L, Kasbohm J, 2012, Chemical synthesis and antibacterial activity of novel-shaped silver nanoparticles, *International Nano Letters*, 2(1).
- Dölarslan M, Gül E, Erşahin S, 2018, Endemic vascular plants of marble and serpentine parent materials in semiarid grassland, *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 6(6), 693-698.
- Durán N, Silveira C, Durán M, Martinez D, 2016, Silver nanoparticle protein corona and toxicity: a mini-review.
- Emanet M, Şen Ö, Taşkin I, Çulha M, 2019, Synthesis, functionalization, and bioapplications of two-dimensional boron nitride nanomaterials, *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 7.
- Endo T, Yanagida Y, Hatsuzawa T, 2008, Enhancement of thermal properties of polyvinylpyrrolidone (PVP)-coated silver nanoparticles by using plasmid DNA and their localized surface plasmon resonance (LSPR) characteristics, *Nanobiotechnology*, 4(1-4), 36-42.
- Erdoğan M, Sever A, Gündoğdu R, Toy Y, Geçibesler İ, Yapar Y, Zengin G, 2024, *Verbascum gimimense* an endemic Turkish plant: evaluation of in vitro anticancer, antioxidant, enzyme inhibitory activities, and phytochemical profile. *Cell Biochemistry and Function*, 42(8).

- Farhan A, 2019, Alcohol extract of tribulus terrestris ameliorates liver of mice exposed to cadmium acetate, Journal of University of Anbar for Pure Science, 13(2), 10-15.
- Farhan A, 2019, Alcohol extract of tribulus terrestris ameliorates liver of mice exposed to cadmium acetate. Journal of University of Anbar for Pure Science, 13(2), 10-15.
- Fiedot M, Dmochowska A, Potaniec B, Czajkowska J, Jędrzejewski R, Wilk-Kozubek M, Cybińska J, 2021, Gallic acid based black tea extract as a stabilizing agent in zno particles green synthesis, Nanomaterials, 11(7), 1816.
- Filho C, Kampke E, Vargas T, Salustriano N, Scherer R, Fronza M, Campagnaro B, 2018, In vitro cytotoxic activity of five commercial samples of tribulus terrestris linn in espírito santo (brazil), Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences, 53(4).
- Gallagher R, Allen S, Rivers M, Allen A, Butt N, Keith D, Adams V, 2020, Global shortfalls in extinction risk assessments for endemic flora.
- Gallud A, Fadeel B, 2015, Keeping it small: towards a molecular definition of nanotoxicology, European Journal of Nanomedicine, 7(3).
- Gardea-Torresdey J L, Gomez E, Peralta-Videa J R, Parsons J G, Troiani H, Jose-Yacaman M, 2003, Formation and growth of Au nanoparticles inside live alfalfa plants, Nano Letters, 3(4), 497–501.
- Gorman C, Potts B, Schweitzer J, Bailey J, 2014, Shifts in species interactions due to the evolution of functional differences between endemics and non-endemics: an endemic syndrome hypothesis, Plos One, 9(10), e111190.
- Grobler B, Cowling R, 2021, The composition, geography, biology and assembly of the coastal flora of the cape floristic region, Peerj, 9, e11916.
- Guo W, Ye G, Huang L, Li Z, Song Y, Su J, Ye R, 2025, Tailoring the catalytic activity of metal catalysts by laser irradiation, Chemistry - A European Journal, 31(18).
- Haiza H, Aziz A, Mohidin A, Halin D, 2013, Green synthesis of silver nanoparticles using local honey, Nano Hybrids, 4, 87-98.

- Hanz D, Cutts V, Barbosa M, Algar A, Beierkuhnlein C, Collart F, Irl S, 2023, Effects of climate change on the distribution of plant species and plant functional strategies on the canary islands, *Diversity and Distributions*, 29(9), 1157-1171.
- Hanz D, Functional island biogeography and functional ecology of the canary islands flora.
- Harish V, Tewari D, Gaur M, Yadav A, Swaroop S, Bechelany M, Barhoum A, 2022 Review on nanoparticles and nanostructured materials: bioimaging, biosensing, drug delivery, tissue engineering, antimicrobial, and agro-food applications, *Nanomaterials*, 12(3), 457.
- He P, Yang G, Zhu D, Kong H, Corrales-Ureña Y, Ciacchi L, Wei G, 2022, Biomolecule-mimetic nanomaterials for photothermal and photodynamic therapy of cancers: bridging nanobiotechnology and biomedicine, *Journal of Nanobiotechnology*, 20(1).
- Hegazy H H, Alshahrani M M, Al-Otibi F O, Hassan M M, 2020, Green synthesis of silver nanoparticles using *Fraxinus excelsior* leaves extract and their antimicrobial and cytotoxic activity, *Processes*, 8(4), 470.
- Henríquez J, Duarte L, Sierra L, Alonso J, Martínez J, Stashenko E, 2023, Chemical composition and in vitro antioxidant activity of *salvia aratocensis* (lamiaceae) essential oils and extracts. *Molecules*, 28(10), 4062.
- Henríquez L, Alfaro-Aguilar K, Ugalde-Álvarez J, Vega-Fernández, Oca-Vásquez G, Vega-Baudrit J, 2020, Green synthesis of metal nanoparticles from plant extracts, and their possible application as antimicrobial agents in the agricultural area.
- Hua Z, 2016, Biogeographical evidences help revealing the origin of hainan island, *Plos One*, 11(4), e0151941.
- Huang J, Chen B, Liu C, Lai J, Zhang J, Ma K, 2011, Identifying hotspots of endemic woody seed plant diversity in china, *Diversity and Distributions*, 18(7), 673-688.
- Huang Y, Ren J, Qu X, 2019, Nanozymes: classification, catalytic mechanisms, activity regulation, and applications, *Chemical Reviews*, 119(6), 4357-4412.

- Ibrahim N, Kadhim E, 2017, Phytochemical investigation and antioxidant activity of iraqi tribulus terrestris, Iraqi Journal of Pharmaceutical Sciences (P-Issn 1683 - 3597 E-Issn 2521 - 3512), 24(1), 68-73.
- Ikbal A, Choudhury P, 2023, Green nanotechnology- an innovative pathway for sustainability, PIJR, 85-86.
- Iravani S, 2011, Green synthesis of metal nanoparticles using plants, Green Chemistry, 13(10), 2638–2650.
- Iravani S, 2011, Green synthesis of metal nanoparticles using plants, Green Chemistry, 13(10), 2638–2650.
- Ivanisenko Y, Darbandi A, Dasgupta S, Kruk R, Hahn H, 2010, Bulk nanostructured materials: non-mechanical synthesis, Advanced Engineering Materials, 12(8), 666-676.
- İğci B, Aytaç Z, 2023, Phytochemical composition of verbascum stachydifolium boiss & heldr. var. stachydifolium growing in türkiye and in vitro analysis of wound healing activity. Archives of Biological Sciences, 75(1), 5-17.
- Jain A S, Pawar P S, Sarkar A, Junnuthula V, Dyawanapelly S, 2021, Bionanofactories for Green Synthesis of Silver Nanoparticles: Toward Antimicrobial Applications, Int. J. Mol. Sci., 22, 11993.
- Jain D, Daima H K, Kachhwaha S, Kothari S L, 2015, Synthesis of plant-mediated silver nanoparticles using papaya fruit extract and evaluation of their anti-oxidant and antimicrobial activities, Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology, 6(3), 035014.
- Jasicka-Misiak I, Poliwoda A, Petecka M, Buslovych O, Shlyapnikov V, Wieczorek P, 2018, Antioxidant phenolic compounds in salvia officinalis l. and salvia sclarea l.. Ecological Chemistry and Engineering S, 25(1), 133-142.
- Jiao L, Yan H, Wu Y, Gu W, Zhu C, Du D, Lin Y, 2019, When nanozymes meet single-atom catalysis, Angewandte Chemie, 59(7), 2565-2576.

- Kalpana V, Rajeswari V, 2018, A review on green synthesis, biomedical applications, and toxicity studies of zno nps, *Bioinorganic Chemistry and Applications*, 2018, 1-12.
- Kasare P, 2025, Hydrothermally synthesized magnesium phosphate decorated with graphene oxide hybrid composite for high-performance electrochemical detection of trolox. *New Journal of Chemistry*.
- Kauroo S, Govinden-Soulange J, Ranghoo-Sanmukhiya V, Miranda K, Cotham W, Walla M, Nagarkatti P, 2021, Extracts of select endemic plants from the republic of mauritius exhibiting anti-cancer and immunomodulatory properties, *Scientific Reports*, 11(1).
- Kavitha P, Subramanian P, 2011, Influence of tribulus terrestris on testicular enzyme in fresh water ornamental fish poecilia latipinna, *Fish Physiology and Biochemistry*, 37(4), 801-807.
- Kaviya, S, Santhanalakshmi J, Viswanathan B, Muthumary J, 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.
- Ke C, Chen X, 2015, Interfacial interactions in 1d and 2d nanostructure-based material systems, 379-424.
- Kennedy A, Brame J, Rycroft T, Wood M, Zemba V, Weiss C, Linkov I, 2019, A definition and categorization system for advanced materials: the foundation for risk-informed environmental health and safety testing, *Risk Analysis*, 39(8), 1783-1795.
- Keser S, Keser F, Tekin S, Türkoğlu İ, Kaygılı O, Demir E, Karatepe M, 2022, In vitro anticancer, antimicrobial and antiradical properties and bioactive compounds of endemic wiedemannia orientalis fisch & meyer flowers, *Journal of Physical Chemistry and Functional Materials*, 5(2), 17-21.
- Khalafi T, Buazar F, Ghanemi K, 2019, Phycosynthesis and enhanced photocatalytic activity of zinc oxide nanoparticles toward organosulfur pollutants, *Scientific Reports*, 9(1).

- Kougioumoutzis K, Kokkoris I, Panitsa M, Strid A, Dimopoulos P, 2021, Extinction risk assessment of the greek endemic flora, *Biology*, 10(3), 195.
- Koutsoulas A, Čárnecká M, Slanina J, Tóth J, Slaninová I, 2019, Characterization of phenolic compounds and antiproliferative effects of *salvia pomifera* and *salvia fruticosa* extracts. *Molecules*, 24(16), 2921.
- Kreyling W, Semmler-Behnke M, Chaudhry Q, 2010, A complementary definition of nanomaterial, *Nano Today*, 5(3), 165-168.
- Krishna G, Maringanti S, 2016, Synthesis of silver nanoparticles by chemical and biological methods and their antimicrobial properties, *Journal of Experimental Nanoscience*, 11(9), 714-721.
- Kristina N, Arjana I, Yasa P, 2024, Synthesis and characterization of magnetite nanomaterials in tianyar iron sand using co-precipitation method, *Indonesian Physical Review*, 7(3), 398-413.
- Kumar A, Madhu G, John E, Kuttinarayanan S, Nair S, 2020, Optical and antimicrobial properties of silver nanoparticles synthesized via green route using honey. *Green Processing and Synthesis*, 9(1), 268-274.
- Lara H, Ayala-Nunez V, Ixtapan-Turrent L, Padilla C, 2009, Bactericidal effect of silver nanoparticles against multidrug-resistant bacteria, *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 26(4), 615-621.
- Li R, Zhang L, Wang P, 2015, Rational design of nanomaterials for water treatment *Nanoscale*, 7(41), 17167-17194.
- Lin Y, Ren J, Qu X, 2014, Catalytically active nanomaterials: a promising candidate for artificial enzymes, *Accounts of Chemical Research*, 47(4), 1097-1105.
- Liu Z, Nie K, Qu X, Li X, Li B, Yuan Y, Huang W, 2022, General bottom-up colloidal synthesis of nano-monolayer transition-metal dichalcogenides with high 1t'-phase purity, *Journal of the American Chemical Society*, 144(11), 4863-4873.
- Luo S, Chen J, Chen M, Xu W, Zhang X, 2011, Antibacterial activity of silver nanoparticles colloidal sol and its application in package film, *Advanced Materials Research*, 380, 254-259.

- Lü Y, Ozcan S, 2015, Green nanomaterials: on track for a sustainable future, *Nano Today*, 10(4), 417-420.
- Madhani A, Sönmez G, 2022, Evaluation of the phytochemical properties and dna protective activity of *bolanthus ortegioides* (fisch. and c.a. mey.) madhani and rabeler, *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 33(2), 425-433.
- Mahmoud A, 2020, *Nanomaterials: green synthesis for water applications*, 1-21.
- Maity A, Polshettiwar V, 2018, Scalable and sustainable synthesis of size-controlled monodisperse dendritic fibrous nanosilica quantified by e-factor, *Acs Applied Nano Materials*, 1(7), 3636-3643.
- Martino-Andrade A, Morais R, Spencoski K, Rossi S, Vechi M, 2010, Effects of *tribulus terrestris* on endocrine sensitive organs in male and female wistar rats, *Journal of Ethnopharmacology*, 127(1), 165-170.
- Martins R, Kaczerewska O, 2021, Green nanotechnology: the latest innovations, knowledge gaps, and future perspectives, *Applied Sciences*, 11(10), 4513.
- Meddour R, Meddour-Sahar O, Jury S, 2023, New analysis of the endemic vascular plants of algeria, their diversity, distribution pattern and conservation status, *Willdenowia - Annals of the Botanic Garden and Botanical Museum Berlin-Dahlem*, 53(1-2).
- Mei X, Xu L, Dorjkhoo A, Tsegmid S, Rong B, 2021, *Tribulus terrestris* l extract effects on slow down ageing process, *Central Asian Journal of Medical Sciences*, 7(3), 252-258.
- Mekuye B, Abera B, 2023, *Nanomaterials: an overview of synthesis, classification, characterization and applications*, *Nano Select*, 4(8), 486-501.
- Meybodi A, Mokhtari P, Fazeli F, Sabbaghian M, 2024, The efficacy of *tribulus terrestris* extract on sperm parameters and sexual function in male mice: a potential complementary treatment for male infertility.
- Mittal A K, Chisti Y, Banerjee U C, 2013, Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts *Biotechnology Advances*, 31(2), 346-356.

- Moawad A, Hassan H, Amin E, 2016, Biologically-guided isolation of leishmanicidal secondary metabolites from euphorbia peplus l, *Planta Medica*, 82(05).
- Morales-Sánchez V, Díaz C, Trujillo E, Olmeda A, Sancho F, Muñoz R, González-Coloma A, 2021, Bioactive metabolites from the endophytic fungus *aspergillus* sp. sph2. *Journal of Fungi*, 7(2), 109.
- Moraswi I, Bamigboye S, Tshisikhawe M, 2019, Conservation status and threats to vascular plant species endemic to soutpansberg mountain range in limpopo province, south africa, *International Journal of Plant Biology*, 10(1), 7978.
- Muflikhun M, Adi R, Santos G, 2022, Nanocomposite material synthesized via horizontal vapor phase growth technique: evaluation and application perspective.
- Muflikhun M, and Santos, G. (2019). A standard method to synthesize ag, ag/ge, ag/tio₂, sno₂, and ag/sno₂ nanomaterials using the hvpg technique, *Methodsx*, 6, 2861-2872.
- Muráriková A, Kaffková K, Raab S, Neugebauerová J, 2015, Evaluation of content of phenolics in salvia species cultivated in south moravian region / hodnotenie obsahu fenolov vo vybraných druhoch rodu salvia l. pestovaných v juhomoravskom kraji. *Acta Facultatis Pharmaceuticae Universitatis Comenianae*, 62(s9), 18-22.
- Mustapha T, Misni N, Ithnin N, Daskum A, Unyah N, 2022, A review on plants and microorganisms mediated synthesis of silver nanoparticles, role of plants metabolites and applications, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(2), 674.
- Nahar M, Zakaria Z, Hashim U, Bari M, 2015, Biological synthesis of nanosilver by using plants, *Advanced Materials Research*, 1109, 30-34.
- Narayanan K, Bhaskar R, 2024, Green nanotechnology: paving the way for environmental sustainability, *Sustainability*, 16(14), 6262.
- Nasrollahzadeh M, Sajjadi M, Iravani S, Varma R, 2020, Trimetallic nanoparticles: greener synthesis and their applications, *Nanomaterials*, 10(9), 1784.

- Niculescu A, Chircov C, Bîrcă A, Grumezescu A, 2021, Nanomaterials synthesis through microfluidic methods: an updated overview, *Nanomaterials*, 11(4), 864.
- Noroozi J, Talebi A, Doostmohammadi M, Manafzadeh S, Asgarpour Z, Schneeweiss G, 2019, Endemic diversity and distribution of the Iranian vascular flora across phytogeographical regions, biodiversity hotspots and areas of endemism, *Scientific Reports*, 9(1).
- Orta-García S, Plascencia-Villa G, Ochoa-Martínez Á, Ruiz-Vera T, Pérez-Vázquez F, 2015, Analysis of cytotoxic effects of silver nanoclusters on human peripheral blood mononuclear cells ‘in vitro’, *Journal of Applied Toxicology*, 35(10), 1189-1199.
- Öz M, Özcan A, 2023, Endemic plant classification using deep neural networks, *Orclever Proceedings of Research and Development*, 2(1), 59-67.
- Pai A, Pillai A, Jayapraksh A, John A, 2016). A comparative study of plant mediated synthesis of silver nanoparticles from fresh leaf extracts of *gracina gummi-gutta* l. *cynodon dactylon* l. and *bauhinia acuminata* and their antimicrobial activity studies, *Nano Biomedicine and Engineering*, 8(4).
- Pan L, Liu Y, Zhong M, Xie X, 2019, Coordination-driven hierarchical assembly of hybrid nanostructures based on 2d materials, *Small*, 16(15).
- Pavin N, Izaguirry A, Soares M, Spiazzi C, Mendez A, Leivas F, Cibir F, 2018, *tribulus terrestris* protects against male reproductive damage induced by cyclophosphamide in mice, *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2018(1).
- Petrov L, Alexandrova A, Argirova M, Tomova T, Georgieva A, Tsvetanova E, Mileva M, 2022, Chromatographic profile and redox-modulating capacity of methanol extract from seeds of *ginkgo biloba* l. originating from plovdiv region in bulgaria. *Life*, 12(6), 878.
- Rad A, Abbasi H, 2012, Preparation of colloidal silver nanoparticles by laser ablation; evaluation and study on its developed applications, *Advanced Materials Research*, 488-489, 1409-1413.

- Rajabi N, Jashni H, 2014, Evaluation of effect of tribulus terrestris extract on sex hormones in male rats after treatment with cyclophosphamide, Pars of Jahrom University of Medical Sciences, 12(2), 1-8.
- Ramadan R, Martín-Palma R, 2022, The impact of nanostructured silicon and hybrid materials on the thermoelectric performance of thermoelectric devices: review, Energies, 15(15), 5363.
- Ramesh P S, Kokila T, Geetha D, 2015, Green synthesis of silver nanoparticles using Solanum trilobatum leaf extract and their antibacterial activity, Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 136, 864–870.
- Rane A V 2018, Synthesis of Inorganic Nanomaterials, Methods for Synthesis of Nanoparticles and Fabrication of Nanocomposites, 121–139.
- Rauscher H, Rasmussen K, Sokull-Klüttgen B, 2017, Regulatory aspects of nanomaterials in the eu. , Chemie Ingenieur Technik, 89(3), 224-231.
- Rauwel P, Küünal S, Ferdov S, Rauwel E, 2015, A review on the green synthesis of silver nanoparticles and their morphologies studied via tem, Advances in Materials Science and Engineering, 2015, 1-9.
- Reyes-Betancort J, Guerra A, Guma I, Humphries C, Carine M, 2008, Diversity, rarity and the evolution and conservation of the canary islands endemic flora, Anales Del Jardín Botánico De Madrid, 65(1), 25-45.
- Romeiras M, Catarino S, Gomes I, Fernandes C, Costa J, Caujapé-Castells J, Duarte M, 2015, Iucn red list assessment of the cape verde endemic flora: towards a global strategy for plant conservation in macaronesia, Botanical Journal of the Linnean Society, 180(3), 413-425.
- Rønsted N, Walsh S, Clark M, Edmonds M, Flynn T, Heintzman S, Keir M, 2022, Extinction risk of the endemic vascular flora of kauai, hawaii, based on iucn assessments, Conservation Biology, 36(4).
- Rummun N, Hughes R, Beesoo R, Li W, Aldulaimi O, MacLeod K, Neergheen V, 2019, Mauritian endemic medicinal plant extracts induce g2/m phase cell cycle arrest and growth inhibition of oesophageal squamous cell carcinoma in vitro, Acta Naturae, 11(1), 81-90.

- Saç G, Özuluğ M, 2021, Length-weight and length-length relationships of three endemic freshwater fish species from anatolia, turkey, *Natural and Engineering Sciences*, 6(1), 53-59.
- Saha K, Agasti S, Kim C, Li X, Rotello V, 2012, Gold nanoparticles in chemical and biological sensing, *Chemical Reviews*, 112(5), 2739-2779.
- Saif S, Tahir A, Chen Y, 2016, Green synthesis of iron nanoparticles and their environmental applications and implications, *Nanomaterials*, 6(11), 209.
- Saleem H, Zaidi S, 2020, Recent developments in the application of nanomaterials in agroecosystems, *Nanomaterials*, 10(12), 2411.
- Sanna C, Maxia A, Fenu G, Loi M, 2020, So uncommon and so singular, but underexplored: an updated overview on ethnobotanical uses, biological properties and phytoconstituents of sardinian endemic plants, *Plants*, 9(8), 958.
- Schütz M, Xiao L, Lehen T, Fischer T, Mathur S, 2017, Microwave-assisted synthesis of nanocrystalline binary and ternary metal oxides, *International Materials Reviews*, 63(6), 341-374.
- Sekar P, Panneerselvam C, Murugan K, Aarthi N, Kalimuthu K, Thangamani S, 2012, Synthesis of silver nanoparticles using leaves of *Catharanthus roseus* linn. g. don and their antiplasmodial activities, *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2(7), 574-580.
- Shafiq T, Uzair M, Iqbal M J, Zafar M, (2021), Green Synthesis of Metallic Nanoparticles and Their Potential in Bio-Medical Applications, *Nano Biomedicine and Engineering* 13(2), 191-206.
- Shankar S S, Rai A, Ahmad A, Sastry M, 2004, Biological synthesis of triangular gold nanoprisms, *Nature Materials*, 3(7), 482-488.
- Sharma R, Gulati S, Mehta S, 2012, Preparation of gold nanoparticles using tea: a green chemistry experiment, *Journal of Chemical Education*, 89(10), 1316-1318.
- Sharma V K, Yngard R A, Lin Y, 2014, Silver nanoparticles: Green synthesis and their antimicrobial activities, *Advances in Colloid and Interface Science*, 145(1-2), 83-96.

- Singh S, Tiwari H, Verma A, Gupta P, Chattopadhyaya A, Singh A, Gautam V, 2024, Sustainable synthesis of novel green-based nanoparticles for therapeutic interventions and environmental remediation, *Acs Synthetic Biology*, 13(7), 1994-2007.
- Sohaebuddin S, Thevenot P, Baker D, Eaton J, Tang L, 2010, Nanomaterial cytotoxicity is composition, size, and cell type dependent, *Particle and Fibre Toxicology*, 7(1).
- Soltys L, Olkhovyy O, Татарчук Т, Naushad M, 2021, Green synthesis of metal and metal oxide nanoparticles: principles of green chemistry and raw materials, *Magnetochemistry*, 7(11), 145.
- Song J Y, Kim B S, 2009, Rapid biological synthesis of silver nanoparticles using plant leaf extracts. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 32, 79–84.
- Sousa A, Lima M, 2019, *Tribulus terrestris* linn as treatment of menopause symptoms: a systematic review, *Revista Fitos*, 13(2), 195-203.
- Souza L, Porto P, Muniz E, 2019, A utilização da síntese verde na produção de nanopartículas magnéticas de óxido de ferro: uma análise bibliométrica, *Research Society and Development*, 8(1), e1081518.
- Sulka G, 2023, Electrochemistry of thin films and nanostructured materials. *Molecules*, 28(10), 4040.
- Suvarli N, Frentzel M, Hubbuch J, Perner I, Wörner M, 2022, Synthesis of spherical nanoparticle hybrids via aerosol thiol-ene photopolymerization and their bioconjugation, *Nanomaterials*, 12(3), 577.
- Tafrihi M, Toosi S, Minaei T, Gohari A, Niknam V, Najafi S, 2014, Anticancer properties of *teucrium persicum* in pc-3 prostate cancer cells, *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 15(2), 785-791.
- Tang B, Wang J, Xu S, Afrin T, Xu W, Sun L, Wang X, 2011, Application of anisotropic silver nanoparticles: multifunctionalization of wool fabric, *Journal of Colloid and Interface Science*, 356(2), 513-518.

- Tang B, Zhang M, Hou X, Li J, Sun L, Wang X, 2012, Coloration of cotton fibers with anisotropic silver nanoparticles, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51(39), 12807-12813.
- Tekdal D, 2022, In vitro regeneration studies of *vuralia turcica* using unpollinated ovaries, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 115-120.
- Texier N, Lachenaud O, Boupoya A, Bidault E, Fadeur G, Hardy O, Stévant T, 2022, Characteristics and determinants of endemic plant taxa in the gabonese area of endemism, *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 107, 1-20.
- Thomas A, Babu H, Rajeshkumar S, 2022, Evaluation of cytotoxic and antioxidant properties of copper nanoparticles using green tea and neem formulation, *International Journal of Health Sciences*, 773-780.
- Tolaymat T, Badawy A, Genaidy A, Scheckel K, Luxton T, Suidan M, 2010, An evidence-based environmental perspective of manufactured silver nanoparticle in syntheses and applications: a systematic review and critical appraisal of peer-reviewed scientific papers, *The Science of the Total Environment*, 408(5), 999-1006.
- Tomović G, Niketić M, Lakušić D, Randelović V, Stevanović V, 2014, Balkan endemic plants in central serbia and kosovo regions: distribution patterns, ecological characteristics, and centres of diversity, *Botanical Journal of the Linnean Society*, n/a-n/a.
- Türe C, Böcük H, 2010, Distribution patterns of threatened endemic plants in turkey: a quantitative approach for conservation, *Journal for Nature Conservation*, 18(4), 296-303.
- Türe C, Böcük H, 2010, Distribution patterns of threatened endemic plants in turkey: a quantitative approach for conservation, *Journal for Nature Conservation*, 18(4), 296-303.
- Varadavenkatesan T, Selvaraj R, Vinayagam R, 2016, Phyto-synthesis of silver nanoparticles from *mussaenda erythrophylla* leaf extract and their application in catalytic degradation of methyl orange dye, *Journal of Molecular Liquids*, 221, 1063-1070.

- Wang D, Markus J, Wang C, Kim Y, Mathiyalagan R, Castro-Aceituno V, Yang D, 2016, Green synthesis of gold and silver nanoparticles using aqueous extract of cibotium barometz root, *Artificial Cells Nanomedicine and Biotechnology*, 45(8), 1548-1555.
- Wang J, Zhao G, Feng L, Chen S, 2022, Metallic nanomaterials with biomedical applications, *Metals*, 12(12), 2133.
- Webster T, Liu J, Banks M, 2004, More efficient capture of bacteria on nanostructured materials, *Mrs Proceedings*, 845.
- Weerakoon W, Perera P, Gunasekera D, Suresh T, 2018, Evaluation of the in vitro and in vivo antioxidant potentials of sudarshana powder. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2018(1).
- Wei H, Wang E, 2013, Nanomaterials with enzyme-like characteristics (nanozymes): next-generation artificial enzymes, *Chemical Society Reviews*, 42(14), 6060.
- Wei S, Fukuhara H, Chen G, Kawada C, Kurabayashi A, Furihata M, Shuin T, 2014, Terrestrosind, a steroidal sapon from *tribulus terrestris*, inhibits growth and angiogenesis of human prostate cancer in vitro and in vivo, *Pathobiology*, 81(3), 123-132.
- Wu S, Mou C, Lin H, 2013, Synthesis of mesoporous silica nanoparticles, *Chemical Society Reviews*, 42(9), 3862.
- Yang M, Chen X, Wang Z, Zhu Y, Pan S, Chen K, Zheng J, 2021, Zero→two-dimensional metal nanostructures: an overview on methods of preparation, characterization, properties, and applications, *Nanomaterials*, 11(8), 1895.
- Yao Y, Zhu W, Teng Y, Li C, Yang Y, 2024, Polymer-based fabrication of 2d metallic and ceramic nanomaterials, *Accounts of Materials Research*, 5(8), 944-957.
- Yumni G, Sumantri S, Listiana F, Sari S, Nadhiroh S, 2023, The potential of sumbawa honey (*apis dorsata*) as a natural antioxidant. *Media Farmasi Jurnal Ilmu Farmasi*, 20(2), 44.

- Zeng T, Lin J, Zhang L, 2024, Enhancement of mechanical performance of nanostructured materials by architectural design of pentablock terpolymers, *Macromolecules*.
- Zhang D, Ye J, Sun H, 2016, Quantitative approaches to identify floristic units and centres of species endemism in the qinghai-tibetan plateau, south-western china, *Journal of Biogeography*, 43(12), 2465-2476.
- Zhang Z, Uchaker E, Candelaria S, Cao G, 2013, Nanomaterials for energy conversion and storage, *Chemical Society Reviews*, 42(7), 3127.
- Zikos A, Constantinidis T, 2022, Plant diversity of mts. oligirtos and farmakas (ne peloponnisos, greece) with emphasis on their endemic flora, *Plants*, 11(19), 2649.
- Валиев Р, Langdon T, 2010, The art and science of tailoring materials by nanostructuring for advanced properties using spd techniques, *Advanced Engineering Materials*, 12(8), 677-691.
- Валиев Р, Estrin Y, Horita Z, Langdon T, Zehetbauer M, Zhu Y, 2015, Fundamentals of superior properties in bulk nanospd materials, *Materials Research Letters*, 4(1), 1-21.