



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS

***ABELMOSCHUS ESCULENTUS* MEYVESİNİN ÖZÜTÜ
KULLANILARAK ÇİNKO OKSİT NANOPARTİKÜLLERİN
SENTEZİ VE KARAKTERİZASYONU**

Nurullah DENİZ

**Ağustos-2025
BATMAN**

T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS

***ABELMOSCHUS ESCULENTUS* MEYVESİNİN ÖZÜTÜ
KULLANILARAK ÇİNKO OKSİT NANOPARTİKÜLLERİN
SENTEZİ VE KARAKTERİZASYONU**

Nurullah DENİZ

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Erdal ERTAŞ

Diğer Jüri Yeleri

Doç. Dr. Tuba TARHAN Doç. Dr. Mehmet Fırat BARAN

Dr. Öğr. Üyesi Erdal ERTAŞ

Ağustos-2025
BATMAN

TEZ KABUL VE ONAYI

Nurullah DENİZ tarafından hazırlanan “*Abelmoschus Esculentus* Meyvesinin Özütü Kullanılarak Çinko Oksit Nanopartiküllerin Sentezi ve Karakterizasyonu” adlı tez çalışması 26/08/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Kimya Ana Bilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Tuba TARHAN

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Erdal ERTAŞ

.....

Üye

Doç. Dr. Mehmet Fırat BARAN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Murat ÖTER
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

Bu tez çalışması Batman Üniversitesi-Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından BTÜBAP-2025-YL-08 nolu proje ile desteklenmiştir.

ETİK BEYANI

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabullendiğimi bildiririm.

ETHICAL DECLARATION

I declare that all the information in this thesis has been obtained within the framework of ethical behavior and academic rules, and that the source of any statements and information that do not belong to me in this study prepared in accordance with the thesis writing rules has been fully cited, and I declare that I accept all kinds of legal responsibility in case of any contrary situation.

İmza
Nurullah DENİZ
Tarih:26.08.2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

***ABELMOSCHUS ESCULENTUS* MEYVESİNİN ÖZÜTÜ KULLANILARAK ÇİNKO OKSİT NANOPARTİKÜLLERİN SENTEZİ VE KARAKTERİZASYONU**

Nurullah DENİZ

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Kimya Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Erdal ERTAŞ

2025, 59 Sayfa

Son zamanlarda nanoteknoloji, yeni malzeme bilimi içerisinde önemli bir araştırma alanı olarak ortaya çıkmıştır; metal ve yarı iletken nanoparçacıkların sentezi, yeni teknolojilerin ilerlemesindeki potansiyel kullanımları nedeniyle önem kazanmaktadır. Hem bitkilerin hem de mikroorganizmaların (bakteri, mantar, alg ve yosun gibi) kullanıldığı yeşil nanopartikül sentezi hem insan sağlığı hem de çevre üzerinde minimum etkiye sahip olması nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Yeşil kimya kullanılarak nanopartikül sentezi, basitliği, maliyet etkinliği, çevresel sürdürülebilirliği ve büyük ölçekli üretime uygunluğu nedeniyle alternatif bir yöntem olarak önemlidir. Ayrıca, bu yöntem kullanılarak sentezlenen metal oksit nanopartiküller çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bu çalışmada, çinko oksit nanopartiküllerinin çevreye duyarlı sentezi ve karakterizasyonu araştırılmıştır. ZnO nanopartikülleri, optimum koşullar altında *Abelmoschus esculentus* (AE) meyve özütü kullanılarak bir Zn²⁺ çözeltisinin biyolojik olarak indirgenmesiyle etkili bir şekilde sentezlenmiştir. Biyosentezlenen AE-ZnO nanopartiküllerinin karakterizasyonu amacıyla UV-Vis spektroskopisi (UV-Vis), Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dağılımlı X-ışını analizi (EDX), X-ışını kırınımı (XRD), dinamik ışık saçılması (DLS) ve zeta potansiyeli teknikleri kullanılmıştır. AE-ZnO nanopartiküllerinin varlığı, UV-Vis spektroskopisi ile 374 nm'de bir yüzey plazmon rezonans (SPR) pikinin gözlemlenmesiyle doğrulandı. AE meyve özütünün yapısındaki fonksiyonel grupların (flavonoidler, fenolik bileşikler, alkaloidler, terpenoidler ve tanenler) indirgenmeden önce ve indirgenme sırasında tanımlanması için FT-IR spektroskopisi kullanıldı. SEM incelemesi, AE-ZnO nanopartiküllerinin nanometre ölçeğinde olduğunu, küresel bir morfoloji sergilediğini ve düzgün bir dağılım gösterdiğini ortaya koydu. EDX analizi AE-ZnO nanopartiküllerinin temel bileşenlerini doğruladı ve çinkonun varlığını açıkça gösterdi. XRD analizi, AE-ZnO nanopartiküllerinin hem kristal yapıya sahip olduğunu hem de saflığını doğruladı. Zeta-sizer analiz sonuçlarına göre, sentezlenen AE-ZnO NP'lerinin ortalama parçacık boyutu 141,7 nm, üç tekrarlı ölçüm sonrasında ortalama zeta potansiyel yük değeri ise -7,42 meV olarak ölçüldü.

Anahtar kelimeler: Çinko oksit nanopartikül, *Abelmoschus esculentus*, Yeşil sentez, Nanopartiküller, Bitki özütleri

ABSTRACT

MASTER

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF ZINC OXIDE NANOPARTICLES USING *ABELMOSCHUS ESCULENTUS* FRUIT EXTRACT

Nurullah DENİZ

Batman University Graduate Education Institute

Chemistry Department of Science

Advisor: Assist. Prof. Dr. Erdal ERTAŞ

2025, 59 Pages

In recent times, nanotechnology has emerged as an important investigating domain within new materials science, with the synthesis of metal and semiconductor nanoparticles gaining prominence due to its prospective uses in the advancement of novel technologies. The green synthesis of nanoparticles, which involves the use of both plants and microorganisms (some examples of which are bacteria, fungi, algae, and mosses), is of great significance since it has a minimum impact on both human health and the environment. Nanoparticle synthesis using green chemistry is significant as an alternative method due to its simplicity, cost-effectiveness, environmental sustainability, and appropriateness for large-scale manufacturing. Additionally, metal oxide nanoparticles that are synthesized using this method are utilized in a variety of fields. The present study investigates the environmentally benign synthesis of zinc oxide nanoparticles and their characterization. ZnO nanoparticles were effectively synthesized by bioreducing a Zn^{2+} solution using *Abelmoschus esculentus* (AE) fruit extract under optimal conditions. UV-Vis spectroscopy (UV-Vis), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive X-ray analysis (EDX), X-ray diffraction (XRD), dynamic light scattering (DLS), and zeta potential were the techniques that were utilized in order to characterize the biosynthesized AE-ZnO nanoparticles. The presence of AE-ZnO nanoparticles was confirmed by UV-Vis spectroscopy the observation of a surface plasmon resonance (SPR) peak at 374 nm. FT-IR spectroscopy was employed to identify the functional groups (flavonoids, phenolic compounds, alkaloids, terpenoids, and tannins) in the structure of AE fruit extract before to and during reduction. SEM investigation indicated that AE-ZnO nanoparticles were within the nanoscale range, exhibited a spherical morphology, and demonstrated uniform distribution. EDX analysis verified the fundamental components of AE-ZnO nanoparticles and distinctly indicated the presence of zinc. XRD analysis confirmed both the crystalline structure and purity of AE-ZnO nanoparticles. According to zeta-sizer analysis results, the average particle size of the synthesized AE-ZnO NPs was 141.7 nm, and the average zeta potential charge value was measured as -7.42 meV after three replicate measurements.

Keywords: Zinc oxide nanoparticle, *Abelmoschus esculentus*, Green synthesis, Nanoparticles, Plant extracts

ÖN SÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi birikimi, akademik rehberliğini ve kıymetli görüşlerini benimle paylaşarak her daim yol gösteren, cesaretlendiren, disiplinli ve planlı çalışma alışkanlığı kazanmamı sağlayan danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Erdal ERTAŞ'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez süresince bilgi ve tecrübeleriyle her zaman destek olan, akademik yaklaşımlarıyla destekte bulunan, laboratuvar desteği sunan Prof. Dr. Bilsen TURAL ve Prof. Dr. Servet TURAL'a da değerli katkılarından dolayı şükranlarımı sunarım.

Deneysel çalışma esnasında bilgi birikimiyle yol gösteren ve katkı sunan Doç. Dr. Mehmet Fırat BARAN'a teşekkür ederim

Ayrıca, yaşamım boyunca yanımda olan, beni her koşulda destekleyen, sevgileri ve fedakârlıklarıyla daima güç veren sevgili aileme; maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemedikleri için sonsuz minnet ve sevgilerimi sunuyorum. Onların varlığı bu sürecin en büyük dayanağı olmuştur.

Nurullah DENİZ
BATMAN-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar LİSTESİ	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
SİMGELER ve KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Nanokimya	3
2.2. Nanobilim ve Nanoteknoloji	3
2.3. Nanopartiküller/Nanomalzemeler	4
2.4. Nanomalzemelerin Özellikleri	5
2.5. Nanomalzemelerin Boyutlarına Göre Sınıflandırılması	6
2.5.1. Sıfır boyutlu (0D) Nanomalzemeler	6
2.5.2. Bir boyutlu (1D) Nanomalzemeler	7
2.5.3. İki boyutlu (2D) Nanomalzemeler	7
2.5.4. Üç boyutlu (3D) Nanomalzemeler	7
2.6. Nanomalzemelerin Türlerine Göre Sınıflandırılması	8
2.6.1. Karbon Bazlı Nanomalzemeler	8
2.6.2. İnorganik Bazlı Nanomalzemeler	8
2.6.2.1. Metal Nanopartiküller	9
2.6.2.2. Metal Oksit Bazlı Nanopartiküller	9
2.6.2.3. Yarı İletken Nanomalzemeler	9
2.6.3. Organik Bazlı Nanomalzemeler	10
2.6.4. Kompozit Tabanlı Nanomalzemeler	10
2.7. Nanopartiküllerin Uygulamaları	11
2.8. Nanomalzemelerin Sentez Yöntemleri	11
2.9. Çinko (Zn)	13
2.10. Çinko Oksitin Özellikleri	14
2.11. Çinko oksit Nanopartiküller	15
2.12. Çinko Oksit Nanopartiküllerin Temel Özellikleri	15
2.12.1. Kristal Yapısı	15
2.12.2. Mekanik Özellikleri	17
2.12.3. Elektriksel ve Optik Özellikleri	18
2.12.4. Termal Özellikleri	18
2.12.5. ZnO Nanopartiküllerin Toksisitesi	18
2.13. Çinko Oksit Nanopartiküllerinin Sentezi için Yöntemler	19
2.14. Çinko Oksit Nanopartiküllerinin Uygulamaları	21
3. KAYNAK ARAŞTIRMASI	23

4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	30
4.1. <i>Abelmoschus Esculentus</i> (AE)'un Toplanması	30
4.2. AE-ZnO Nanopartiküllerin Sentezinde Kullanılan Kimyasallar.....	30
4.3. <i>Abelmoschus Esculentus</i> (AE) Özütünün Hazırlanması	30
4.4. AE-ZnO Nanopartiküllerinin Yeşil Sentezi	30
4.5. Nanomalzemeler için Karakterizasyon Teknikleri	31
4.5.1. Ultraviyole-Görünür (UV-Vis) Spektroskopisi	31
4.5.2. Fourier Dönüştümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR)	32
4.5.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	33
4.5.4. Enerji Dağıtıcı X-Işını Spektroskopisi (EDX).....	34
4.5.5. X-Işını Kırınımı (XRD).....	35
4.5.6. Dinamik Işık Saçılımı (DLS).....	36
4.5.7. Zeta Potansiyel.....	37
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	39
5.1. AE-ZnO Nanopartiküllerinin Karakterizasyonu	39
5.1.1. AE-ZnO Nanopartiküllerinin FTIR Analizi	39
5.1.2. AE-ZnO Nanopartiküllerinin UV-Vis Analizi	40
5.1.3. AE-ZnO Nanopartiküllerinin SEM Analizi	41
5.1.4. AE-ZnO Nanopartiküllerinin EDX Analizi	42
5.1.5. AE-ZnO Nanopartiküllerinin DLS Analizi	43
5.1.6. AE-ZnO Nanopartiküllerinin Zeta Potansiyel Analizi.....	44
5.1.7. AE-ZnO Nanopartiküllerinin X-ışını Kırınımı (XRD) Analizi.....	45
6. SONUÇLAR	47
KAYNAKLAR	48

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Nanopartiküllere ait bazı temel özellikler ve uygulamalar.....	5
Tablo 2.2. ZnO'nun fiziksel ve kimyasal özellikleri	14
Tablo 2.3. ZnO NP'lerinin kimyasal, fiziksel ve yeşil sentez yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları	20

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Boyutlarına göre nanomalzeme türleri.....	8
Şekil 2.2. Nanopartiküllerin uygulamaları.....	11
Şekil 2.3. Nanopartiküllerin sentezi için yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya yaklaşım.....	12
Şekil 2.4. ZnO nanopartiküllerinin kaya tuzu, çinko blend ve wurtzit kristal yapıları.....	17
Şekil 2.5. ZnO NP'lerin sentezinde kullanılan farklı yöntemler	20
Şekil 2.6. ZnO Nanopartiküllerin uygulamaları	22
Şekil 4.1. UV-Vis spektrofotometresinin şematik gösterimi.....	32
Şekil 4.2. FTIR spektrofotometresinin şematik gösterimi.....	33
Şekil 4.3. Taramalı elektron mikroskopunun (SEM) çalışma prensibi.....	34
Şekil 4.4. Enerji dağıtıcı X-Işını spektroskopisi (EDX) çalışma prensibi	35
Şekil 4.5. XRD difraktometre sisteminin şematik diyagramı	36
Şekil 4.6. DLS cihazının şematik gösterimi.....	37
Şekil 5.1. AE ve AE-ZnO nanopartiküllerinin FTIR spektrumu	40
Şekil 5.2. AE-ZnO nanopartikülün UV-Vis spektrumu	41
Şekil 5.3. AE meyve özütünden sentezlenen AE-ZnO NP'lerin SEM görüntüsü	42
Şekil 5.4. AE-ZnO nanopartiküllerinin EDX analizi	43
Şekil 5.5. Biyosentezlenen AE-ZnO NP'lerin parçacık boyut dağılımı	44
Şekil 5.6. AE-ZnO nanopartiküllerinin zeta potansiyeli grafiği.	45
Şekil 5.7. AE'nin meyve özütünden sentezlenen AE-ZnO NP'lerin XRD deseni.....	46

SİMGELER VE KISALTMA

NP	: Nanopartikül
Zno	: Çinko Oksit
Ev	: Elektro Volt
UV	: Ultraviyole-Görünür
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
EDX	: Enerji Dağılımlı X-Işını
XRD	: X-Işını Kırınımı
DLS	: Dinamik Işık Saçılımı
Zeta	: Zeta Potansiyel
Al ₂ O ₃	: Alüminyum Oksit
Nm	: Nanometre
VSEPR	: Valans Kabuğu Elektron Çifti İtmesi
Vb	: Ve Benzeri
SMPS	: Taramalı Hareketlilik Parçacık Boyutu
XPS	: X-Işını Fotoelektron Spektroskopisi
NMR	: Nükleer Manyetik Rezonans Spektroskopisi
DMA	: Diferansiyel Esneklik Analizörü
LSPR	: Lokalize Yüzey Plazmon Rezonans
TEM	: Geçirimli Elektron Mikroskobu
BET	: Brunauer, Emmett ve Teller
CVD	: Kimyasal Buhar Biriktirme
CNT	: Karbon Nano Tüpler
Hela	: İnsan Servikal Kanser Hücrelerine
EG	: Bant Aralığı Enerjisi
°C	: Celsius
K	: Kelvin
λ	: Dalga Boyu
Cp	: Özgül Isı
GC-MS	: Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometrisi

MB	: Metilen Mavisi
AFM	: Atomik Kuvvet Mikroskobu
MCF-7	: İnsan Meme Kanseri
AMGM5	: Beyin Kanseri
PXRD	: Toz X-ışını kırınımı (XRD)
PL	: Fotolüminesans Spektrumları
FESEM	: Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskobu
CR	: Kongo Kırmızısı
MG	: Malaşit Yeşili
μg	: Mikrogram
mL	: Mililitre
μm	: Mikrometre
AE	: <i>Abelmoschus Esculentus</i>
NaOH	: Sodyum Hidroksit
rpm	: Dakikadaki Devir Sayısı
cm	: Santimetre
SPR	: Yüzey Plazmon Rezonansı
MW	: Molekül Ağırlığı

1. GİRİŞ

Nanoteknoloji, geniş yüzey alanı, yüksek biyoyararlanım ve kolloidal kısmın sağlamlığı gibi gelişmiş 1 ila 100 nanometre arasında değişen boyutlarda ki özelliklere sahip nanopartiküllere (NP'ler) odaklanan, gelişen disiplinlerarası bir araştırma alanıdır (Pan vd., 2021). Geniş kapsamlı uygulamaları, tıp, çevre bilimi, tarım ve diğer birçok bilim dalını kapsar. Nanoteknolojinin temel avantajlarından biri, yüzey alanını hacme göre önemli ölçüde artırarak bir dizi benzersiz özellik sunmasıdır. Birçok biyolog, kimyager ve diğer araştırmacı, nanoboyutlu malzemelerin benzersiz özellikleri ve çeşitli uygulamaları sayesinde nanoteknoloji araştırmalarında önemli bir artış gözlemlemiştir. Geleneksel olarak, nanopartikül (NP) sentezi fiziksel, kimyasal ve mekanik yaklaşımlarla gerçekleştirilebilir. Ancak bu yöntemlerin yüksek maliyeti oluşu ve toksik madde kullanılması, NP üretimini biyolojik (yeşil sentez) yöntemlere kaydırmıştır (Chandrasekaran vd., 2020; Talebian vd., 2023). Bitkilere dayalı nanopartikül sentezi, kimyasal ve fiziksel yöntemlere çevre dostu bir alternatif olarak dikkat çekmektedir. Bu sentez yöntemi; ekonomik, ölçeklenebilir ve toksik kimyasal madde kullanımını içermemesi nedeniyle özellikle biyoyumluluk açısından avantajlar sunmaktadır. Geleneksel yöntemlerle üretilen nanopartiküller, yüzeylerinde kalabilen toksik kimyasallar nedeniyle özellikle biyolojik uygulamalarda sınırlamalara yol açarken, bitki ekstraktlarıyla sentezlenen nanopartiküller, fitomoleküllerin indirgeyici ve stabilize edici etkileri sayesinde hem biyoyumlu hem de işlevsel özellikler kazanmaktadırlar. Ayrıca bu fitomoleküller; antibakteriyel, antioksidan ve antikanser gibi biyolojik aktiviteler sergileyerek sentezlenen nanopartiküllerin terapötik potansiyelini artırıcı etkiler sergilemektedir (Khan vd., 2021).

Metal oksit nanopartiküller arasında yer alan çinko oksit (ZnO) nanopartiküller, uyarıcı özellikleri, 3,37 eV bant aralığına ve 60 meV uyarılma bağlanma enerjisi nedeniyle çeşitli uygulamalarda giderek artan bir ilgi görmektedir. Yüksek şeffaflığa ve iyi fotokatalitik özelliklere sahip toksik olmayan bir n tipi yarı iletken olan ZnO NP'ler antikanser, antioksidan, antimikrobiyal, antifungal, optik ve UV ışınlarını engelleyici özelliklere sahiptir. Bu belirtilen özellikleri nedeniyle ZnO NP'lerin sentezlenmesi için hem uygun hem de çevreye duyarlı bir yöntemin geliştirilmesi adına artan bir ilgi vardır. ZnO nanopartiküllerinin yeşil sentezi, basitliği, tek adımlı olması, düşük maliyetli, çevre dostu ve herhangi bir toksik kimyasal kullanmaması nedeniyle büyük ilgi gören bir

prosedürdür. Bitkiler tarafından sentezlenen metal ve metal oksit NP'lerin diğer yöntemlerle sentezlenen nanopartiküller ile kıyaslandığında daha kararlı olduğu bildirilmiştir (Abbes vd., 2022). Metal ya da metal oksit NP'lerin ölçek büyütme ve endüstriyel üretiminde kolay ve güvenli bir çevre dostu yöntem kullanılarak sentezlenmesi için bitkinlerin yaprakları (Ramesh vd., 2015), kökleri (Nagajyothi vd., 2015), meyveleri (Suresh vd., 2015) ve çiçekleri (Azizi vd., 2016) dahil olmak üzere çeşitli kısımlardan elde edilen özler kullanılmaktadır.

Yaygın olarak bamya ismiyle bilinen *Abelmoschus esculentus*, farklı ülkelerde birçok besinsel ve tedavi edici değere sahip uzun süredir tüketilebilir bir sebze olarak kullanılan önemli bir bitkidir. Bu bitki protein, enzim, vitamin, karbonhidrat, tanen, alkaloid, terpenoid, steroid, flavonoid ve polifenol maddelerini içermektedir. *Abelmoschus esculentus*, yüksek serbest radikal antioksidan aktivitesi sayesinde antikanser, antimikrobiyal, antidiyabetik ve antifungal etkiler gösterir. Bu bitkinin meyveleri, çiçekleri, kökleri, gövde kısmı ve yaprakları çeşitli miktarlarda fitokimyasallar içerir. AE'nin özütündeki fitokimyasalların (terpenoidler, alkaloidler, tanenler ve flavonoidler gibi) metal iyonlarının indirgenmesinde ve hem metal hem de metal oksit nanopartiküllerin stabilizasyonunda önemli rol oynadığı rapor edilmiştir (Ahmed vd., 2021). Bu tez çalışması, AE meyve özütünden ZnO nanopartiküllerinin sentezini ve karakterizasyonunu araştırmayı amaçlamaktadır. Sentezlenen AE-ZnO nanomalzemelerin karakterizasyon işlemleri için UV-Vis, FTIR, SEM, EDX, XRD, DLS ve Zeta potansiyel analiz teknikleri kullanılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Nanokimya

Nanokimya terimi, adını “kimya” ve “nano” kelimelerinin birleşiminden alır; burada “nano” kelimesi, metrik sistemde 10^{-9} (milyarda bir) birimi ifade etmektedir. Nanokimya, esasen nano ölçekli malzeme parçacıklarının sentezine odaklanan bir bilim dalı olup bu süreç, mühendislik yönlerinden çok kimyasal reaksiyonlar ve malzeme oluşturma teknikleri üzerine yoğunlaşmaktadır. Nanokimya, özellikle katı hal kimyasının yeni bir alt alanı olarak gelişmiş olup, nano ölçekteki yapıların bir, iki veya üç boyutta sentezlenmesi üzerine kapsamlı araştırmalar yürütmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalar, malzeme bilimi, kimya ve fizik alanlarını bir araya getirerek, nanometre ölçeğinde yeni malzemelerin özelliklerini ve bunların potansiyel uygulamalarını anlamayı amaçlamaktadır. Nanokimya, özellikle son yıllarda, elektronik, biyoteknoloji ve enerji çeşitli alanlarda yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır (Salman, 2019).

2.2. Nanobilim ve Nanoteknoloji

Nanobilim, atomik ve nanometre ölçeğindeki fiziksel sistemlerin davranışlarını incelemeye yönelik bir disiplindir (Findik, 2021). Bu alandaki çalışmalar, maddenin nanometre ölçeği incelendiğinde elektrik, manyetik, sıcaklık özellikleri ve kimyasal reaksiyonlar gibi temel fiziksel parametrelerin önemli ölçüde değişebileceğini ortaya koymaktadır. Nanobilim, küçük nesnelerin yönetim durumlarını gözlemlemeyi, nanomalzemelerin davranışlarını anlamayı ve boyutla ilgili olan özelliklerin belirlenmesine yönelik teorik modeller geliştirmeyi içerir. Dahası, nanobilim, atomik, moleküler ve makromoleküler ölçeklerde malzemelerin durumlarını ve yeniden düzenlenmesini inceleyerek, bu ölçeklerdeki özelliklerin daha büyük ölçeklerden nasıl farklılaştığını anlamayı hedefler (Raki vd., 2010).

Nanobilim ve nanoteknoloji terimleri genel olarak birbirine yakın bir şekilde kullanılsa da aslında farklı disiplinleri ifade eden kavramlardır. Nanoteknoloji, nanobilimin sağladığı teorik bilgi ve yöntemlerden elde edilen bilgilerle, nano boyuttaki cihazların ve sistemlerin tasarımı ile bu ölçekteki yapıların sentezlenmesi,

karakterizasyonu ve uygulanması ile ilgili yeni mühendislik çözümleri geliştirir. Dahası nanoteknoloji kavramı, nanobilimdeki kavramları kullanarak faydalı ve pazarlanabilir ürünler elde etmeyi amaçlar (Szczyglewska vd., 2023; Joudeh ve Linke, 2022).

Diğer yandan, nanobilim, sadece nanometre ölçeğindeki malzemelerin incelenmesi ve gözlemlenmesi ile sınırlıdır. Bu alandaki araştırmalar, nanometre boyutundaki malzemelerin davranışlarını anlamaya yönelik olup, bu malzemelerin özellikleri üzerinde boyut bağımlı etkileri anlamaya çalışır. Nanoteknoloji ise bu bilgileri kullanarak yeni özellikler ve işlevler geliştiren yapılar, cihazlar ve sistemler oluşturmayı amaçlar (Bayda vd., 2020).

Nanoteknoloji, dünya çapında farklı tanımlara sahip olmakla birlikte, genel olarak, atomlar veya moleküller ile ilişkili olan, boyut ve yapı odaklı özelliklerden faydalanarak, nanometre ölçeğinde maddenin manipülasyonu ve kontrolü için bilimsel bilgilerin uygulama alanına girmektedir. Bu alan, yaklaşık 1 ila 100 nanometre boyutlardaki maddelerin kontrol edilmesi ve anlaşılması bakımından eşsiz fiziksel ve kimyasal özelliklerin ortaya çıkmasını sağladığından yeni uygulamalar için olanaklar sunar. Ayrıca, 100 nanometre ölçeğinin altındaki maddelerin manipülasyonu, ölçülmesi, modellenmesi veya sentezlenmesi bu alanda önemli bir araştırma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır (Sudha vd., 2018).

2.3. Nanopartiküller/Nanomalzemeler

Nanomalzemeler/nanopartiküller hem nanobilim hem de nanoteknoloji alanında önemli bir rol oynamaktadır. Nanomalzemeler (NM'ler), en az bir dış boyutu yaklaşık 1-100 nanometre boyut aralığında olan malzemeler olarak ifade edilmektedir. Nanopartiküller (NP'ler), tüm dış boyutları nano ölçekte olan katı parçacıklar olup, kütsel (bulk) malzemeye kıyasla fizikokimyasal özellikleri önemli ölçüde değişkenlik gösteren yapılardır (Das vd., 2017).

Yığın malzemeler, boyutlarından bağımsız olarak nispeten sabit fiziksel özelliklere sahip olmalarına rağmen nanometre ölçeğinde durum genel olarak böyle değildir. NP'ler, istenen uygulama için işlenebilen benzersiz fiziksel, biyolojik, kimyasal ve optik özelliklere sahip malzemelerdir (Banerjee vd., 2014). Dahası, NP'ler, son derece küçük boyutları ve geniş yüzey alanları sayesinde birçok ilginç özelliğe sahiptir. Bu özellikleri sayesinde elektronik, manyetik, bilgi depolama, kayıt ortamı, algılama

cihazları, kataliz, kimya, çevre, enerji, tarım, tıp, iletişim teknolojisi, uçak teknolojisi, sanayi ve tüketim malları gibi çeşitli alanlarda yeni uygulamalar sunar (Vignesh, 2025).

Parçacıklar bir mikrometreden bir nanometre boyutuna küçüldükçe, ortaya çıkan özellikler önemli ölçüde değişkenlik gösterebilir. Örneğin, bu özelliklerden elektriksel iletkenlik, sertlik, aktif yüzey alanı, kimyasal tepkime ve biyolojik aktivitenin değiştiği söylenebilir. Çünkü; malzeme küçüldükçe yüzeydeki atomların yüzdesi, malzeme kütesinin toplam atom sayısına oranının artmasından dolayı nanopartiküllerin beklenmedik özelliklerine yol açabilir. Bu durum, kısmen malzemenin yüzeyinin hacimsel özellikler üzerinde baskın olmasından kaynaklanır (Vignesh, 2025).

Kimyasal bileşenlerinden bağımsız olarak tüm NP'ler, son derece yüksek yüzey alanı/hacim oranlarına sahiptir. Bu durum, nanopartiküllerin fiziksel özelliklerinin, yüzey atomlarının ve nanopartikül yüzeyindeki fonksiyonel grup içeren maddelerin etkisiyle baskın hale gelmesine neden olur. Yüksek yüzey alanına sahip bir partikül, düşük yüzey alanına sahip bir partikülden daha fazla reaksiyon noktası taşıdığından daha yüksek kimyasal reaktiviteye sahiptir (Lee vd., 2008).

Nanopartiküllere ait bazı temel özellikler ve uygulamalar Tablo 2.1'de yer almaktadır (Bhattarai, 2024).

Table 2.1. Nanopartiküllere ait bazı temel özellikler ve uygulamalar (Bhattarai, 2024)

Özellik	Uygulamalar
Yüksek yüzey alanı-hacim oranı	Kataliz, gaz sensörü ve güneş perdelerinde uygulama
Tane boyutunun azalmasıyla sertliğin artması	Sert kaplamalar ve koruyucu katmanlarda gelişme
Azalan tane boyutuyla artan direnç	Elektronik, pasif bileşenler ve sensörlerde uygulama
Geliştirilmiş atomik taşıma kinetiği	Pillerde ve hidrojen depolamada kullanım
Geliştirilmiş güvenilirlik ve yorulma direnci	Elektronik bileşenlerde ve MEMS'te uygulama
Düşük sızma eşiği	İletken malzemelerin ve hassas sensörlerin oluşturulmasında kullanımı

2.4. Nanomalzemelerin Özellikleri

Nanometre ölçeğindeki malzemelerin özellikleri, yüzey yükü/etkileşimi, kristalografi, bileşim, yüzey alanı ve nanometre ölçeğindeki boyut etkileri nedeniyle atomların ve dökme malzemelerin özelliklerinden önemli ölçüde farklıdır. Bu etkiler, nanomalzemelerin manyetik, optik, elektriksel, mekanik, kimyasal ve fiziksel özelliklerinde görülebilir (Baig vd., 2021; Yaqoob vd., 2019). Nanopartikülün saflığı ve performansı, kimyasal veya elementel bileşimi tarafından belirlenir. Parçacık boyutu, nanopartikül karakterizasyonu için en temel ve önemli ölçümlerden biridir. Elektron

mikroskobu, boyutu ve dağılımı ölçmek için en yaygın kullanılan tekniktir. Bir nanopartikülün yüzey alanı/hacim oranı, performansı ve özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yüzey alanı en yaygın olarak Brunauer-Emmett-Teller (BET) analizi kullanılarak ölçülür (Yaqoob vd., 2019). Nanopartiküllerin saflığı ve performansı, kimyasal veya elementel bileşimleriyle doğrudan ilişkilidir. Bir nanopartikülün hedefle etkileşimleri, yüzey yükü veya toplam yükü tarafından belirlenmektedir. Zeta potansiyometresinin en yaygın kullanım alanlarından biri, çözeltideki maddelerin yüzey yüklerini ve dispersiyon kararlılığını ölçmektir. Kristaller ve diğer malzemeler içerisindeki atom ve moleküllerin düzenlenmesi, kristalografi bilimiyle incelenir. Kristalografi, nanopartiküllerin yapısal organizasyonunun belirlenmesinde, toz X-ışını kırınımı, elektron kırınımı veya nötron kırınımı gibi yöntemlerle uygulanabilir. Nanomalzemelerin konsantrasyonu, özellikle işlem için gerekli hava veya gaz konsantrasyonunun hesaplanmasında, gaz fazında dağılmış nanomalzeme sayısının belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Mekuye ve Abera, 2023).

2.5. Nanomalzemelerin Boyutlarına Göre Sınıflandırılması

Nanoteknolojinin temel elemanları nanomalzemelerdir. Nanomalzemeler, boyutlarından en az birinin nanometre ölçeğinde, yani 100 nm'den küçük olduğu malzemeler olarak ifade edilmektedirler (Kolahalalam vd., 2019). Boyutlarına göre nanomalzemeler, Şekil 2.1'de özetlenen dört farklı sınıfa ayrılmaktadırlar.

2.5.1. Sıfır boyutlu (0D) nanomalzemeler

Sıfır boyutlu (0D) nanomalzemeler (nano ölçekte üç boyutun da yani 100 nm'ye kadar), kuantum noktalarını (karbon, grafen, inorganik) ve diğer küresel nanometreleri (soy metaller, fullerener, polimerler, metal organik iskelet, yukarı ve aşağı dönüşümlü nanopartiküller) içerir (Djamila vd., 2024).

Kimyasal eylemsizlikleri, biyoyumlulukları, optik kararlılıkları, hücre geçirgenlikleri ve dalga boyuna bağlı fotolüminesansları nedeniyle biyomedikal ve optoelektronik uygulamalar için ilgi çekicidirler (Bhushan, 2017).

2.5.2. Bir boyutlu (1D) nanomalzemeler

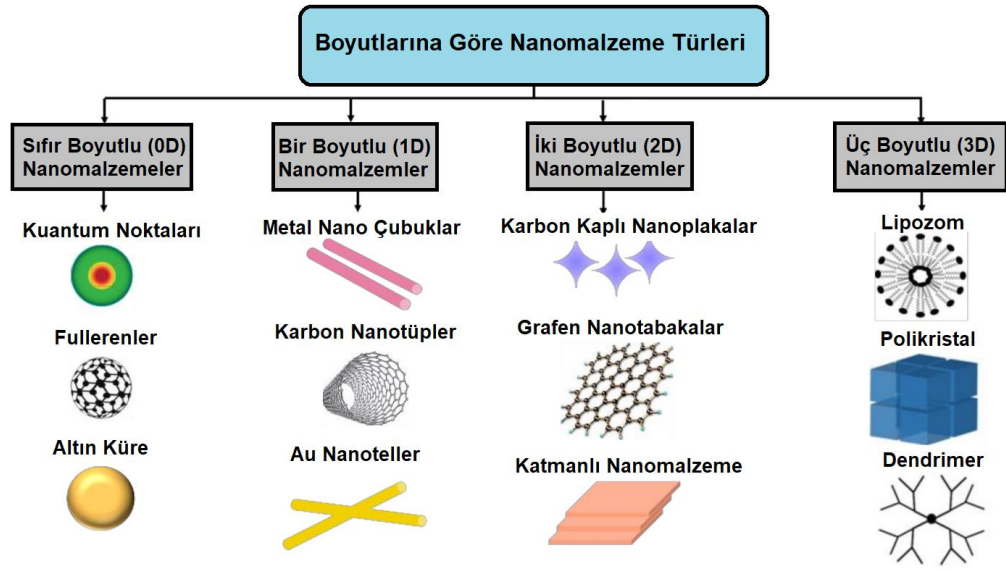
Bir boyutlu (1D) nanomalzemelerin (en az bir boyut > 100 nm) bir sınıfında nanotüpler, nanoçubuklar, nanoteller ve nanofiberler, polimer, karbon, metaller ve metal oksitlerden yapılır ve zayıf bir elektrik alanında iyi elektron yayıcılar yer alır. Diğer 1D nanomalzemeler (ör. tüller, paspaslar ve dokusuz kumaşlar), polimer nanofiberlerden yapılır (Ganjali vd., 2022). Önemli yüzey-hacim oranları ve küçük gözenekleri nedeniyle, filtrasyon, dekontaminasyon, kataliz, yara pansumanı ve doku mühendisliği için temel ve süper emici malzemeler olarak kullanılırlar (Harish vd., 2022).

2.5.3. İki boyutlu (2D) nanomalzemeler

İki boyutlu (2D) nanomalzemeler (en az iki boyut > 100 nm), trombosit benzeri formları, grafeni (grafen oksit ve yeniden indirgenmiş grafen oksit), geçiş metali dikalkojenitleri, metal oksitleri, silikatları, grafitli karbon nitrürü, katmanlı çift hidroksitleri, siyah fosforu, kalay tellür nanolevhalarını, antimonit, hekzagonal bor nitrürü, bor nanolevhalarını ve diğer levha benzeri nanomalzemeleri içerir (Abdel-Haleem vd., 2020). Fizikokimyasal, biyolojik ve optik özellikleri, homojen şekillerini, yüzey yüklerini ve yüksek yüzey-hacim oranlarını tanımlamaktadır (Zhang, 2015).

2.5.4. Üç boyutlu (3D) nanomalzemeler

Üç boyutlu (3D) nanometreler (nanoölçek aralığında boyut yok), nanogözenekli tozlar, nanotel demetleri, nanotüp demetleri, nanokatmanlar ve nanoyapılı elektrotları içerir. Atık su arıtımı ve elektrokimyasal dönüşüm için depolama cihazları (süperkapasitörler ve piller) için 3D nanometrelerin geliştirilmesi, üretimi ve değerlendirilmesi üzerine birçok araştırma yapılmıştır (Moodley vd., 2022; Hamimed vd., 2022). Bu karmaşık nanometreler, biyomedikal cihazların, güneş pillerinin, mikroeletromekanik sistemlerin ve robotik teknolojinin önemli bileşenleridir (El-Beshlawy vd., 2021). Nanometrelerin 3D baskısının kullanılması, gelişmiş işlevsel entegrasyona sahip mimarilerin geliştirilmesine olanak sağlayacaktır (Paramasivam vd., 2021).



Şekil 2.1. Boyutlarına göre nanomalzeme türleri (Rahman vd., 2022).

2.6. Nanomalzemelerin Türlerine Göre Sınıflandırılması

2.6.1. Karbon Bazlı Nanomalzemeler

Bu tür nanomalzemeler karbon içerikli olup çeşitli morfolojilere sahiptir. Karbon bazlı nanomalzemeler içi boş tüpler veya küreler, karbon nanofiberler, fullerenler ve grafen olabilir. Karbon bazlı nanomalzemelerin sentezinde kullanılan farklı yöntemler arasında kimyasal buhar biriktirme (CVD), ark deşarjı ve lazer ablasyonu bulunur (Singh vd., 2020);

2.6.2. İnorganik Bazlı Nanomalzemeler

Karbon bazlı olmayan partiküller inorganik nanopartiküller olarak bilinmektedir. Bu grupta yer alan nanomalzemeler metal ve metal oksit yapılar içerir. Organik nanopartiküllerle karşılaştırıldığında, inorganik nanopartiküller üzerine muazzam araştırmalar ve ticari yatırımlar yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir (Kumari ve Sarkar, 2021).

2.6.2.1. Metal nanopartiküller

Metal bazlı nanopartiküller, alüminyum (Al), altın (Au), gümüş (Ag), demir (Fe), kobalt (Co), çinko (Zn), kurşun (Pb), bakır (Cu) ve kadmiyum (Cd) gibi metallerden elde edilebilir. Ag, Au, Cu, Fe ve Zn gibi elementler en yaygın kullanılan metallerdir. Geçiş metallerinin, onları daha redoks aktif hale getiren kısmen dolu d orbitallerinin varlığı nedeniyle metal bazlı nanopartiküllerin sentezi için en iyi adaylar olduğu belirlenmiştir (Sánchez-López vd., 2020). Metal bazlı nanopartiküllerin boyutları 10 ila 100 nm arasında değişkenlik göstermektedir. Bu nanopartiküller küresel ve silindirik gibi farklı şekillerde bulunabilirler. Geniş yüzey alanı/hacim oranı, yüzey yükü ve yük yoğunluğu, gözenek boyutu, kristal ve amorf yapılar, yüksek reaktivite ve hava, nem, ısı, güneş ışığı gibi çevresel faktörlere duyarlılık gibi sıra dışı özellikler gösterirler. Bu sıra dışı özellikleri sayesinde birçok araştırma alanında umut vadeden uygulamalara sahiptirler (Ijaz vd., 2020).

2.6.2.2 Metal oksit bazlı nanopartiküller

Metal oksit bazlı nanopartiküller, oksitlerine dönüştürülebilen metallerden yapılan nanopartiküllerdir. Metal eşdeğerleriyle karşılaştırıldığında, metal oksit bazlı nanopartiküller dikkat çekici özellikler sergileyebilirler. Metal oksit bazlı nanopartiküllere örnek olarak demir oksit (Fe_2O_3 ve Fe_3O_4), silisyum dioksit (SiO_2), titanyum dioksit (TiO_2), çinko oksit (ZnO), alüminyum oksit (Al_2O_3) ve seryum oksit (CeO_2) verilebilir (Sune vd., 2024). Bu sınıfta yer alan nanopartiküller daha duyarlı ve etkili olduğu keşfedilen metal oksitlere dayanmaktadır.

2.6.2.3. Yarı iletken nanomalzemeler

Yarı iletken nanomalzemeler, metaller ve yalıtkanlarla aynı özellikleri gösterir. Bu grupta yer alan malzemeler üçe ayrılırlar (Mekuye ve Abera, 2023);

- a) **Yoğun manyetik yarı iletken nanomalzemeler**; Kendiliğinden manyetik düzen gösterir ve antiferromanyetik gibi ikili bir bileşik olabilirler.
- b) **Manyetik olmayan yarı iletken nanomalzemeler**; Manyetik iyon içermeyen ve bilgi işleme ve iletişim için kullanılan manyetik olmayan yarı iletkenler, yarı iletkenlerdeki

elektron yükünü kullanarak büyük başarı elde etmişlerdir, ancak vazgeçilmez bilgi teknolojilerinde bilgilerin toplu depolanması için kullanılmazlar.

c) **Seyreltilmiş manyetik yarı iletken nanomalzemeler;** Yarı iletken malzemeler, ana matrise birkaç manyetik safsızlık eklenerek manyetik hale getirilir ve bu durumda bazı diyamanyetik ana katyonlar rastgele manyetik katyonlarla değiştirilir. Bu malzemeler yalnızca yarı iletken özelliklerini korumakla kalmaz, aynı zamanda sıradan ve manyetik yarı iletkenlerin bir karışımı olan manyetik özelliklere sahip malzemelerdir (Zhang vd., 2016; Mekuye ve Abera, 2023).

2.6.3. Organik Bazlı Nanomalzemeler

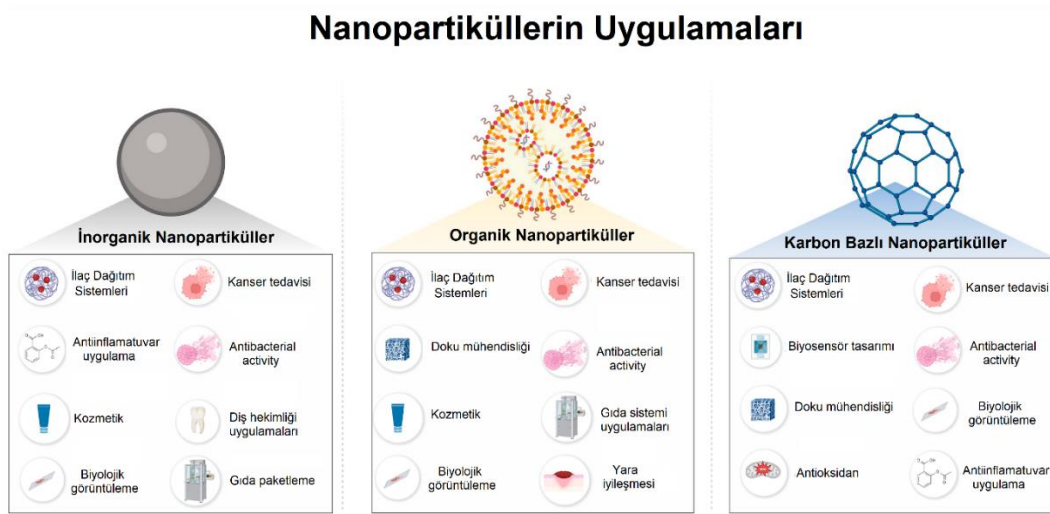
Organik nanopartiküller, çapı 10 nm ile 1 µm arasında değişen lipitler veya polimerler gibi organik bileşiklerden oluşan katı partiküllerdir. Yaygın olarak bilinen bazı organik nanopartiküller dendrimerler, lipozomlar, miseller, ferritin gibi malzemelerdir. Bu organik nanopartiküller çevre dostu, biyolojik olarak parçalanabilir, toksik olmayan, ekonomik ve biyomedikal alanda daha uygun malzemelerdir. Nanokapsül olarak da bilinen miseller ve lipozomlar içi boş bir çekirdeğe sahip olup termal ve elektromanyetik açıdan radyasyona duyarlı yapılardır. Bu yapılarda görülen benzersiz özellikler, organik nanopartikülleri ilaç salınımı için ideal bir seçim haline getirmekte ve hedef ilaç salınımında oldukça etkili yapmaktadır (Kumari vd., 2021).

2.6.4. Kompozit Tabanlı Nanomalzemeler

Kompozit nanomalzemeler, farklı nanopartikül katmanlarının birleşiminden oluşur ve bu yapı, belirli fiziksel ve kimyasal özellikleri iyileştirmek için tasarlanır. Nanopartiküller, yüksek yüzey alanı ve reaktivite sunarken, metal fazlar veya yığın malzemeler bu özelliklerin stabilitesini artırır. Bu birleşim, sertlik, iletkenlik, esneklik ve korozyon direnci gibi özelliklerde iyileşmeler sağlar, bu da onları çeşitli endüstriyel uygulamalarda ideal hale getirir. Kompozit malzemeler, organik, inorganik, polimer, metal ve seramik malzemelerin birleşiminden oluşur. Bileşim ve morfoloji, uygulama gereksinimlerine göre şekillendirilir, böylece mekanik, termal ve elektriksel özellikler optimize edilir. Bu yapılar, belirli uygulamalarda üstün performans sergilemektedir (Gokarna vd., 2014).

2.7. Nanopartiküllerin uygulamaları

Nanopartiküller metaller, polimerler, karbon bazlı maddeler, metal oksitler, seramikler, lipitler ve proteinler dahil olmak üzere çeşitli malzemelerden elde edilebilirler. Sentez sırasında kullanılan bu malzemeler, nanopartiküllerin özelliklerini önemli ölçüde değiştirdiğinden uygulama alanlarında da farklılıklara yol açmaktadır. Nanopartiküllerin uygulama alanları, özellikle inorganik, organik ve karbon bazlı olarak sınıflandırılanlara odaklanılarak incelenmekte ve bileşimlerinin kullanım alanlarıyla nasıl ilişkili olduğu değerlendirilmektedir (Şekil 2.2) (Eker vd., 2024).

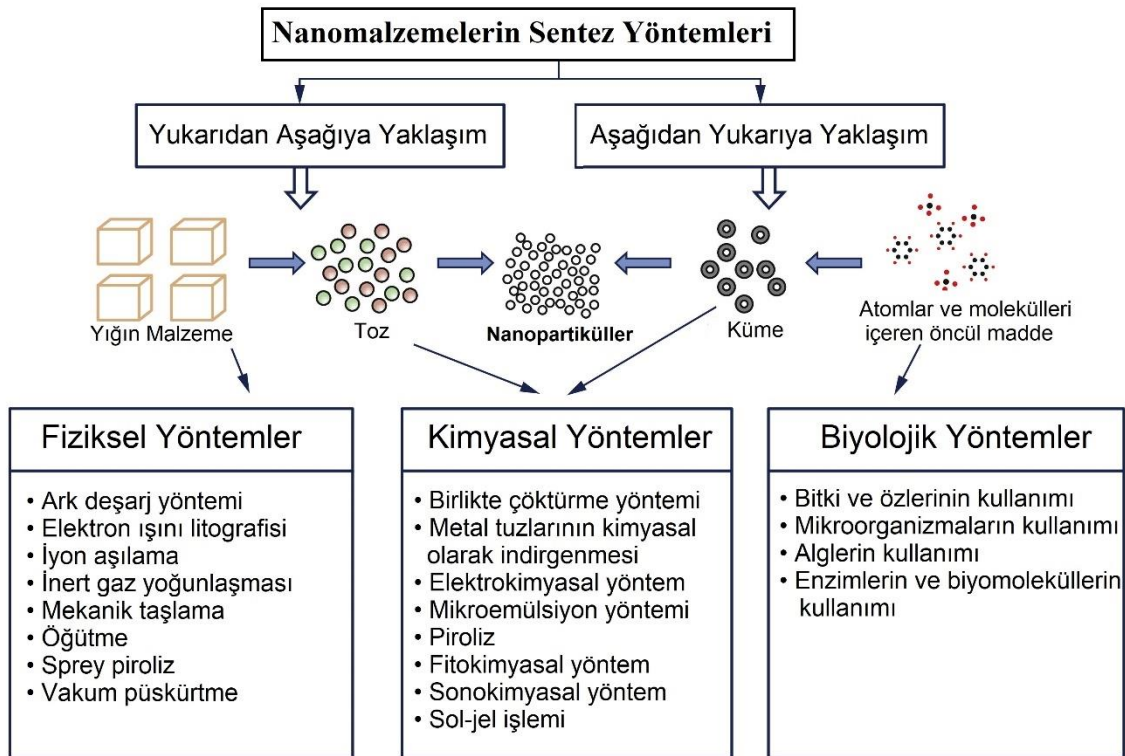


Şekil 2.2. Nanopartiküllerin uygulamaları (Altammar, 2023; Rudramurthy ve Swamy, 2018).

2.8. Nanomalzemelerin Sentez Yöntemleri

Nanomalzemelerin/Nanopartiküllerin sentezi ya yukarıdan aşağıya ya da aşağıdan yukarıya yöntemlerine dayanmaktadır (Şekil 2.3) (Messaoudi ve Bendahou, 2020). Yukarıdan-aşağıya yaklaşım, daha büyük moleküllerin daha küçük birimlere ayrıştırılmasına dayanan yıkıcı bir yöntemdir, bu yaklaşımda birimler daha sonra uygun nanopartiküllere dönüştürülür. Bu durumda mekanik öğütme, kimyasal aşındırma, püskürtme, lazerle ablasyon elektro-patlama gibi çeşitli fiziksel yöntemler uygulanır (Priyadarshana vd., 2015). Aşağıdan-yukarıya yaklaşım, yukarıdan aşağıya tersi şekilde kullanılır, aslında bu durumda nanopartiküller, atomlar kendiliğinden bir araya geldiğinde oluşur (Merkel vd., 2010). Bu yaklaşım kullanılarak nanopartiküllerin sentezi, eğirme, şablon destek sentezi, plazma veya alev püskürtme sentezi, lazer pirolizi, CVD, atomik

veya moleküler yoğunlaşma dahil olmak üzere çeşitli fiziksel ve kimyasal yöntemlerle gerçekleştirilebilir (Daraio ve Jin, 2011). Bu yaklaşımda biyolojik yöntemler, nanopartiküllerin sentezi için metalik iyonların nötr atomlara (sıfır değerlikli atomlar) indirgenmesi için de uygulanabilir; bu yönteme yeşil nanoteknoloji denir; bu durumda doğada bulunan çeşitli biyolojik kaynaklar söz konusudur, örneğin: (i) mikroorganizmaların (bakteri, mantar) kullanımı; (ii) bitki özlerinin kullanımı; (iii) mikro deniz yosunlarının kullanımı; (iv) enzimlerin ve biyomoleküllerin kullanımı örnek verilebilir (Mandava, 2017; Saranya vd., 2017).



Şekil 2.3. Nanopartiküllerin sentezi için yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya yaklaşım (Devatha ve Thalla, 2018).

Yeşil nanoteknolojide kullanılan biyolojik ajanlar, fiziksel ve kimyasal sentezlere kıyasla birçok avantaj sunar. Fiziksel ve kimyasal teknikler maliyetli, daha fazla enerji kullanımı gerektirmekte ve çevre üzerinde olumsuz etkilere sahip olabilecek toksik kimyasallar barındırırlar (Patra ve Baek, 2014). Buna karşılık, biyolojik yöntemde düşük maliyetli, çevre dostu, toksik olmayan, temiz ve daha büyük ölçekli sentezlere kolayca ölçeklendirilebilir nanopartikül sentezlenebildiği için kimyasal ve fiziksel yöntemlere göre birçok avantaja sahiptir (Singh vd., 2017).

Yeşil (biyolojik) sentezin sahip olduğu avantajlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır (Ijaz vd., 2020);

- ❖ Enerji bakımından verimli olması
- ❖ Düşük maliyetli üretim potansiyeli
- ❖ Daha az kaza riski
- ❖ Güvenli ürün elde edilmesi
- ❖ Ekonomik olması
- ❖ Daha az toksik atık ürettiği için çevre dostu olması
- ❖ Diğer yöntemler göre avantajlara sahip olması
- ❖ İnsan ve toplum sağlığını koruması
- ❖ İlaç endüstrisinde ve diğer biyomedikal uygulamalarda kullanılabilmesi

Farklı metaller kullanılarak sentezlenen biyolojik nanopartiküller birçok alanda uygulanmıştır. Bunlar arasında gümüş nanopartiküller tıp alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin Al-Sheddi ve arkadaşları *Nepeta deflersiana* özütü kullanılarak sentezlenen gümüş nanopartiküllerin insan servikal kanser hücrelerine (HeLA) karşı potansiyelini rapor etmişlerdir (Al-Sheddi vd., 2018). Ayrıca, Soliman ve arkadaşları pembe maya *Rhodotorula* sp. tarafından sentezlenen gümüş nanopartiküllerin Mısır'ın Akdeniz yakınlarındaki tuz bataklıklarından izole edilen ATL72, düşük MİK değerine sahip çok çeşitli Gram pozitif ve Gram negatif bakterilerin yanı sıra mantarlara karşı güçlü antimikrobiyal aktivite gösterdiğini rapor etmişlerdir (Soliman vd., 2018). Dahası, biyolojik olarak sentezlenen çinko ve titanyum nanopartiküller genel olarak daha çok kozmetik alanında kullanım potansiyeline sahip metal bazlı malzemelerdir.

2.9. Çinko (Zn)

Çinko metali hem insanlar hem bitkiler hem de mikroorganizmalar için temel bir eser element olup, prenatal (doğum öncesi) ve postnatal (doğum sonrası) gelişim için kritik öneme sahiptir. İnsan vücudunda demir metalinden sonra en bol bulunan ikinci eser element olarak, tüm enzim sınıflarında yer alan tek metal olarak öne çıkar. Ayrıca, çinko elementi antibakteriyel ve antifungal aktivitelerindeki etkinliği ile de tanınmaktadır (Jogi, 2024).

2.10. Çinko Oksitinin Özellikleri

Çinko oksit (ZnO), doğada yaygın olarak bulunan ve toksik olmayan bir bileşiktir. Kimyasal ve mekanik açıdan son derece stabil olan bu madde, aynı zamanda geniş bir uygulama yelpazesi ile dikkat çekmektedir. ZnO'nun fiziksel özelliklerinin, sıcaklık değişimleri, katkılama süreçleri ve çevresel faktörlere bağlı olarak optimize edilmesi, ZnO temelli cihazların performansı ve verimliliği açısından kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, ZnO'nun kristal yapısı, yüzey morfolojisi, bant aralığı (band gap) özellikleri ve elektriksel iletkenliği gibi parametreler, cihazların fonksiyonel verimliliğini doğrudan etkileyebilmektedir. Sıcaklık artışı veya dışsal katkılar ZnO'nun yapısal ve elektriksel özellikleri üzerindeki etkileri, malzemenin potansiyel kullanım alanları açısından kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle, ZnO'nun fotovoltaiik hücreler, sensörler, optoelektronik cihazlar ve piezoelektrik uygulamalar gibi alanlarda kullanımını optimize etmek için bu fiziksel özelliklerin titiz bir şekilde kontrol edilmesi önemlidir. ZnO'nun fiziksel özelliklerinin çeşitli uyarıcılara karşı nasıl tepki verdiğinin anlaşılması, bu materyalin endüstriyel ve teknolojik uygulamalarda daha verimli kullanılabilmesi için temel bir araştırma konusu olarak önem kazanmaktadır. ZnO'nun fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 2.2'de gösterilmektedir.

Tablo 2.2. ZnO'nun fiziksel ve kimyasal özellikleri (Kattel, 2021).

Fiziksel ve Kimyasal Parametreler		Değer
Molekül Ağırlığı		81,37 g mol ⁻¹
Renk		Beyaz
Bağ Uzunluğu		1,977 µm
Erime Noktası		1957 °C
Termal (Isıl) İletkenlik		0,6 W cm ⁻¹ °C ⁻¹
Erime Noktasındaki Minimum Basınç		7,82 atm
Statik Dielektrik Sabiti		8.656
Kafes sabiti (T=300K)	a	0.32495 nm
	c	0.52069 nm
	c/a	1.602
Wurtzite için kırılma indisi		2,028
Isı kapasitesi; Cp(25 0C)		9.62 cal/deg/mo
Isıl genleşme katsayısı		4x10 ⁻⁶ 0C
Bant aralığı		3,37 eV
Eksiton bağlanma enerjisi		60 meV

2.11. Çinko oksit nanopartiküller

Çinko oksit, suda çözünmeyen ve ZnO formülüyle tanımlanan beyaz renkli bir inorganik bileşiktir. Çeşitli yöntemler kullanılarak sentezlenen ZnO nanopartiküllerinin yapısal düzeni ve konfigürasyonu, yeni atomistik potansiyeller kullanılarak incelenmiştir. ZnO nanopartiküllerin farklı alanlarda uygulamaları için desenleme doğruluğunu ve dayanıklılığını korumak için iç gerilim ve yapışma özellikleri gibi mekanik özellikler gereklidir. ZnO nanoyapılar hekzagonal wurtzit yapıdadır. Genel olarak ZnO nanomalzemeler, hekzagonal wurtzit ve çinko karışımı halinde kristalleşir. Son yıllarda, çinko oksit, 60 meV'lik yüksek bağlanma enerjisi ve 3,37 eV'lik geniş bant aralığı ile temel bir yarı iletken olarak kabul edilmektedir (Pattanayak, 2013). ZnO, kendine özgü elektriksel ve optik özellikleri nedeniyle oldukça çok işlevli bir metal oksit olarak kabul edilmiştir (Vayssieres vd., 2001).

Çinko oksit, birçok teknoloji alanında yaygın olarak kullanılan bir malzemedir. Yüksek kaliteli, kendi dokusunu oluşturmuş ZnO filmlerinin farklı alt tabakalara sentezlenmesinin incelenmesi oldukça değerli bir araştırma konusudur (Sani vd., 2023). Yeni ve çeşitli ZnO nanopartiküllerinin uygulamalarıyla ilgili yapılan araştırmalar, konvansiyonel olmayan yöntemlerle hazırlanan gözenekli ve nanometrik malzemelerin gelişiminde önemli bir itici güç olmuştur.

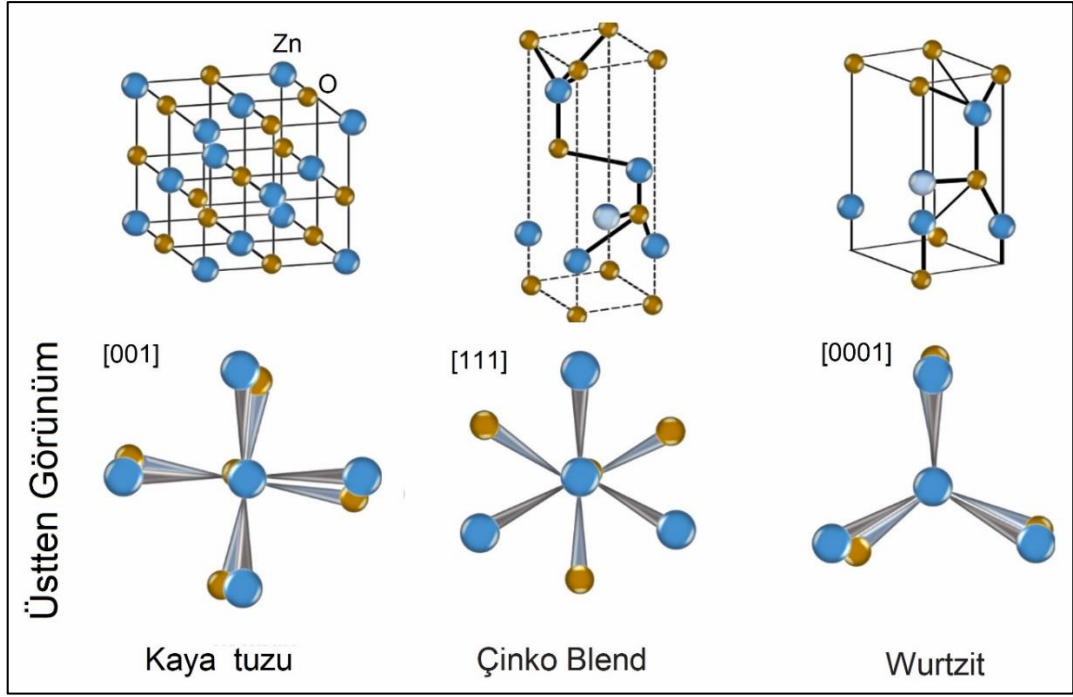
2.12. Çinko Oksit Nanopartiküllerin Temel Özellikleri

2.12.1. Kristal yapısı

ZnO kristalleri, kristal düzlemlerinin büyüme hızlarındaki farklılıklardan dolayı anizotropiklik yapı gösterirler. ZnO, wurtzit, çinko blende ve kaya tuzu olmak üzere üç farklı kristal yapıda olabilir. Ortam sıcaklığı ve basınç koşullarında, wurtzit ZnO kristal yapısı, yüksek termodinamik kararlılığı nedeniyle mevcut üç yapı arasında en yaygın olan yapıdır. Wurtzit yapı ZnO'ya 9 GPa'lık bir basınç uygulandığında kaya tuzu ZnO yapıya dönüşebilir, ancak kaya tuzu yapısı nadiren gözlemlenir (Segura vd., 2003). Öte yandan, ZnO'nun çinko blend formu yalnızca kübik yapıların büyümesiyle elde edilir (Kim vd., 2003). ZnO'nun her üç formunun kristal yapıları Şekil 2.4'te gösterilmiştir. ZnO'nun wurtzit kristal yapısı, birim hücre boyutları $a = 0,3296$ nm ve $c = 0,52065$ nm olan altıgen sıkı paketli bir yapıya sahiptir. C6v4 (P63mc) uzay grubuna aittir ve c eksenini boyunca

birbirine tetrahedral olarak bağı ve istiflenmiş Zn^{2+} ve O_2 'nin dönüşümlü düzlemlerinden oluşur (Wang, 2004). ZnO'daki bu tetrahedral koordinasyon, kristalindeki sp^3 kovalent bağı ve Zn-O bağlarının güçlü iyonik yapısını gösterir. Zn^{2+} ve O_2 iyonlarının tetrahedral koordinasyonu, ZnO kristal kafesinde dipol momentlerine ve kendiliğinden polarizasyona da yol açar; bu da kristal büyümesini etkileyerek ZnO yapısına çeşitli özellikler kazandırır.

ZnO kristalinin oluşumu sırasında, çekirdeklenme ve büyüme, parçacıkların kümelenmesini en aza indirerek çekirdekleri stabilize eden bir şekilde gerçekleşir (Lopez-Romero, 2009). Örneğin, wurtzit yapısında, polar Zn ve O koordinatları c eksenı boyunca yönlendirilir ve sırasıyla $[0001]$ ve $[000\bar{1}]$ düzlemlerinde sonlanır Zn ve O'nun polar olmayan koordinatları sırasıyla $[112\bar{0}]$ ve $[101\bar{0}]$ düzlemlerinde sonlanır (Dulub vd., 2002). Özellikle, $[0001]$ düzlemler, Zn atomlarıyla sonlanmaları nedeniyle yüksek fotokatalitik aktiviteye sahip ZnO kafes kristallerinde en yüksek yüzey enerjisine sahiptir (Liu vd., 2017). Wurtzit tipi ZnO'nun polar düzlemleri, polar olmayan $[11\bar{2}0]$ düzlemlere kıyasla çok daha iyi stabilite, optik özellikler, piezoelektriklik, kristal oluşumu ve kusur oluşumuna sahiptir. Polar O elementi sonlu elektronik konfigürasyonu, oksijen boşluklarından kaynaklanan kusur derecelerini içerir. ZnO'nun, daha yüksek yüzey enerjisi ve hızı nedeniyle c eksenı $[0001]$ düzlemi boyunca büyümeyi tercih ettiğı bildirilmiştir (Tong vd., 2006). ZnO kristal yapıları, farklı yönlerdeki kristal düzlemlerinin büyüme hızlarındaki değışiklikler nedeniyle 0-D (kuantum noktaları ve nanopartiküller), 1-D (nanoçubuklar, nanotüpler, nanofiberler, nanoteller ve nanoığneler), 2-D (nanotabakalar, nanoplakçıklar ve pullar) ve 3-D (nanoçiçekler, karahindiba ve kar taneleri) gibi çeşitli boyutlara sahiptir. Ayrıca, sentez yöntemi, pH, sıcaklık, öncül konsantrasyonu ve yüzey aktif madde veya çökeltici ajanların doğası gibi deneysel koşullar, ZnO kristallerinin şeklini, boyutunu, morfolojisini ve fotokatalitik etkinliğini etkiler (Kołodziejczak-Radzimska ve Jesionowski, 2014).



Şekil 2.4. ZnO nanopartiküllerinin kaya tuzu, çinko blend ve wurtzit kristal yapıları (Verma vd., 2021).

2.12.2. Mekanik özellikleri

Çinko oksit nanopartikülleri, farklı uygulamalarda ne kadar iyi çalıştıklarını büyük ölçüde etkileyen bir dizi mekanik özelliğe sahiptir. ZnO'nun sertlik aralığı, çeşitli girinti araştırmalarında gösterildiği gibi, genellikle 4 ila 5 GPa'dır (Fang vd., 2007). ZnO cihazlarının içsel sertlik değeri, işlenmesi ve tasarımı için kritik öneme sahiptir. ZnO'nun mekanik davranışının kristal yönelimine büyük ölçüde bağlı olduğunu belirtmek ilginçtir. Örneğin, a eksenini boyunca yönlendirilmiş kütleli ZnO, c eksenini boyunca yönlendirilmiş ZnO'dan 2 GPa daha az sertliğe sahiptir (Zhang vd., 2014). c eksenini yönlendiren epitaksiyel katmanlardaki sertlik 5,75 GPa kadar yüksektir. Malzemenin optoelektronik davranışı da bu mekanik özelliklerden güçlü bir şekilde etkilenir. Ek olarak, fotoluminesanstaki azalmanın ZnO kafesinin girintilemesiyle ilişkili olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar, özellikle cihazlarda ve uygulamalarda performansını en üst düzeye çıkarmak için ZnO'nun mekanik özelliklerini anlamının ne kadar önemli olduğunu vurgulamaktadır (Coleman vd., 2005).

2.12.3. Elektriksel ve Optik özellikleri

3,37 eV bant aralığı enerjisine sahip ZnO, görünür dalga boyu bölgesinde şeffaflık sergileyen, geniş bant aralığına sahip, düz bir yarı iletken malzemedir ve bu da onu mavi ve UV optoelektronik uygulamaları için uygun hale getirir. 60 meV'luk önemli eksiton bağlanma enerjisi sayesinde oda sıcaklığında etkili bir şekilde eksiton emisyonu yaratabilir. 2,05'lik düşük kırılma indisi sayesinde ZnO, optik sistemlerden ışık çıkarımını kolaylaştırarak fotonik uygulamalar için umut vaat etmektedir (Borysiewicz, 2019). Güneş hücrelerinde, şeffaf elektrotlarda, sensörlerde ve yüzey akustik aygıtlarında kullanılan optik, piezoelektrik ve yarı iletken bir dalga kılavuzu malzemesidir. ZnO, gaz sobaları için ısı aynalarının, yüzey buzlanmasını önlemek için uçak pencereleri için iletken kaplamaların ve görünür spektrumda eş zamanlı düşük öz direnci ve yüksek optik geçirgenliği nedeniyle amorf silikon güneş hücrelerindeki ince film elektrotlarının üretiminde kullanılan önemli bir malzemedir (Wisz vd., 2017). Son olarak, ZnO, elektron ve delik çiftlerini yeniden birleştirme ve bunun sonucunda UV ve mavi ışık emisyonlarına yol açma yeteneği nedeniyle UV ve mavi ışık yayıcılar gibi kısa dalga boylu optoelektronik uygulamalar için etkili bir malzemedir (Sun vd., 2006).

2.12.4. Termal özellikleri

ZnO'nun davranışını anlamak, özgül ısı, ısı iletkenlik ve ısıl büyüme sabiti de dahil olmak üzere ısı özelliklerinin anlaşılmasını gerektirir. 300 K'de, malzemenin ısı genişleme katsayıları c eksen boyunca $2,49 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ve a eksen boyunca $4,31 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 'dir. Yüksek güç ve yüksek sıcaklık uygulamaları, bir malzemenin ısıyı iletme kabiliyetini gösteren ısı iletkenliğine ihtiyaç duyar. ZnO nanopartiküllerinin ısı iletkenliği genellikle $0,6 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ile $1 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ arasında değişir. "Özgül ısı" ifadesi, birim kütle başına ısı kapasitesini ifade eder ve kusurlardan, serbest taşıyıcılardan ve kafes titreşimlerinden etkilenir. Çinko oksit için sabit basınçtaki özgül ısı (C_p) yaklaşık $40,3 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 'dir (Wisz vd., 2017).

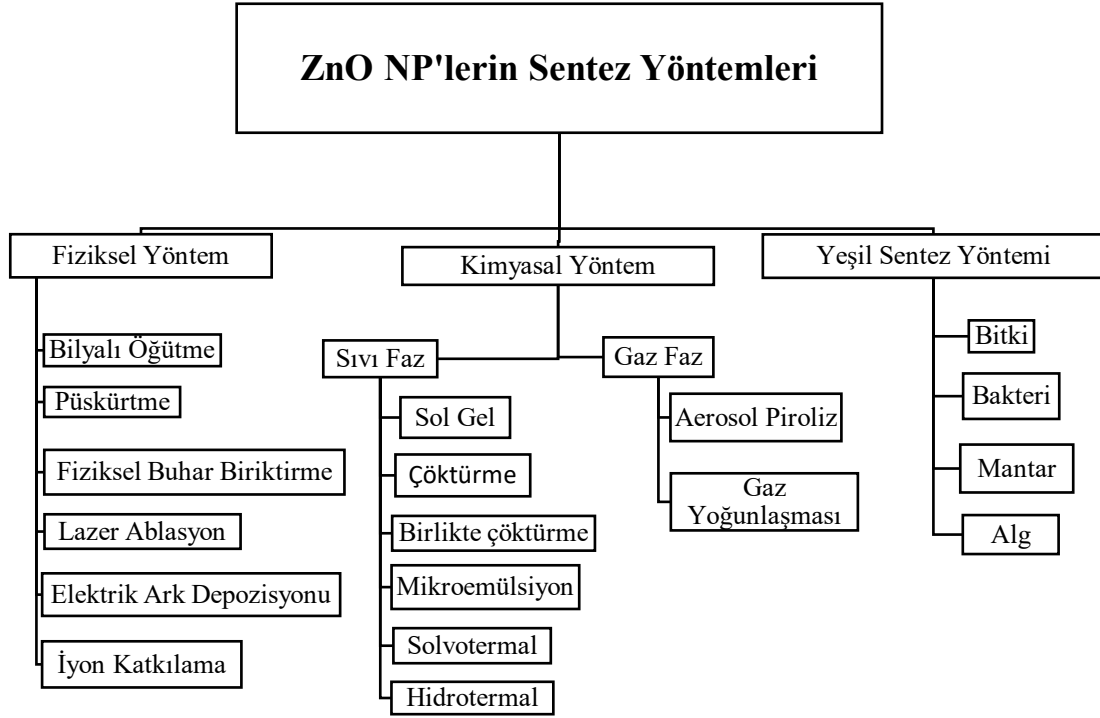
2.12.5. ZnO nanopartiküllerin toksisitesi

Çinko oksit nanopartikülleri insan hücrelerine zarar vermediği için güneş kremlerinde ve kozmetiklerde kullanılır. Daha fazla kabul edilebilirlik, daha iyi cilt

tutunumu ve üstün UV radyasyonu azaltımı gibi avantajlar sağlar. Ancak nano boyuttaki ZnO, UV ışığına maruz kaldığında Zn^{2+} iyonları saldığı ve reaksiyon oksijen türleri (ROS) ürettiği için balık ve alg gibi canlılar için zararlı olabilir. Bu çekincelere rağmen, nano boyuttaki ZnO'nun çeşitli bakteri türlerine karşı antibakteriyel etkinliği umut verici görünmektedir. Toksisiteyi azaltmak ve toprak ve su sistemlerindeki mikrobiyal popölasyonlara zarar vermemek için çevresel salınımı dikkatlice kontrol edilmelidir (Caracciolo vd., 2015).

2.13. Çinko Oksit Nanopartiküllerinin Sentezi için Yöntemler

ZnO nanopartiküllerinin kimyasal sentezi için çeşitli öncüller ve sıcaklık, zaman, reaktan konsantrasyonu vb. gibi çeşitli koşullar kullanılabilir. Bu kimyasal teknikler, yukarıda belirtilen çeşitli parametrelerin ayarlanması sayesinde boyut ve geometri açısından morfolojinin daha iyi kontrol edilmesini sağlar. ZnO nanopartikülleri mekanokimyasal proses, birlikte çöktürme, sol-jel yöntemi, buhar taşıma yöntemi, solvotermal, hidrotermal, emülsiyon ve mikroemülsiyon yöntemleri kullanılarak kimyasal olarak sentezlenebilir. ZnO nanopartiküllerin sentezinde kullanılan farklı yöntemler şekil 2.5'te yer almaktadır. Ayrıca Tablo 2.3'te ZnO nanopartiküllerin kimyasal, fiziksel ve yeşil sentezinin avantajları ve dezavantajları özetlenmektedir.



Şekil 2.5. ZnO NP'lerinin sentezinde kullanılan farklı yöntemler (Mandal vd., 2022).

Tablo 2.3. ZnO NP'lerinin kimyasal, fiziksel ve yeşil sentez yöntemlerinin avantajları ve dezavantajlar

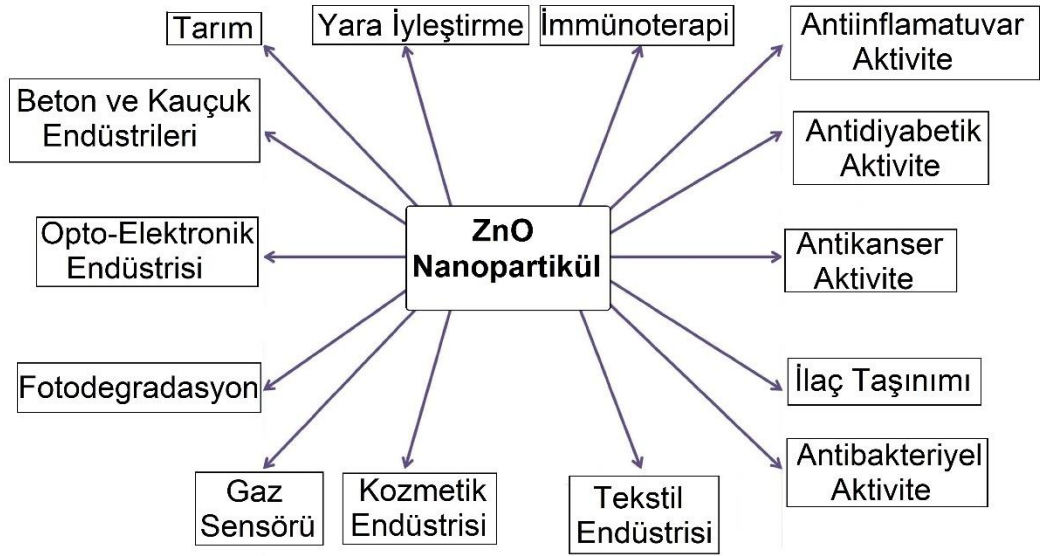
Yöntem	Avantajları	Dezavantajları	Referans
Kimyasal Sentez	Kontrollü boyut Yüksek saflık ve kalite NP'ler oldukça kararlıdır	-Toksik kimyasalların kullanımı -Organik çözücülerin kullanımı -Tehlike -Düşük saflık -Boyutu kontrol etmek ve yığılmayı önlemek için kapatma maddeleri ve stabilizatörler gereklidir -Bazı kapatma ve stabilize edici maddeler toksik olabilir -Çevrenin geri döndürülemez şekilde kirlenmesi	(Hasnidawani vd., 2016; Naveed vd., 2017; Xu vd., 2021)

Tablo 2.3. ZnO NP'lerinin kimyasal, fiziksel ve yeşil sentez yöntemlerinin avantajları ve Dezavantajlar(devamı)

Yöntem	Avantajları	Dezavantajları	Referans
Fiziksel Sentez	– Toksik bileşen kullanılmaz – Yüksek hızlı yöntem – Yüksek üretim oranları – Yüksek saflık ve kalite – Tek tip boyut ve şekil	– Yüksek maliyet – Yüksek enerji – Düşük stabilite – Geri döndürülemez çevre kirliliği	(Xu vd., 2021)
Biyolojik Sentez	–Güvenli ve toksik değildir – Basit ve uygun maliyetlidir – Pahalı ekipman yok – Toksik kimyasal yok – Çevre dostu – Biyouyumlu – Enerji tasarruflu	– Parçacık boyutunu ve şeklini kontrol etmek zordur –NP'ler nispeten daha az kararlıdır	(Naveed vd., 2017)

2.14. Çinko Oksit Nanopartiküllerinin Uygulamaları

ZnO nanopartiküllerine olan ilgi, ultraviyole (UV) ışık yayıcılar, kimyasal sensörler, elektronik, piezoelektrik cihazlar, optoelektronik, güneş pilleri ve spin elektronığı gibi çok çeşitli uygulama alanlarında sergilediği benzersiz özellikler nedeniyle son yıllarda önemli ölçüde artmıştır. Toksik olmayan ZnO nanopartikül, son zamanlarda çok sayıda yeni ortaya çıkan organik kirleticinin bozunması için mükemmel bir fotokatalizör olarak yaygın kullanım alanı bulmuştur. ZnO nanopartikül ilaç, boya, kozmetik, beton, kauçuk endüstrilerinde hammadde ve pigment olarak, diğer ürünlerde, tekstil endüstrisinde, tıbbi ve biyolojik alanlarda UV filtresi olarak vb. büyük ilgi görmektedir. Şekil 2.6'da ZnO nanopartiküllerin uygulamalarından birkaçı gösterilmektedir.



Şekil 2.6. ZnO nanopartiküllerin uygulamaları (Raha ve Ahmaruzzaman, 2022).

3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Jiménez-Rosado ve arkadaşları, çevresel sorunlara yol açan nanoparçacık sentezi yerine, toksik ürünler oluşturmamaya metal tuzlarını indirmek için polifenolik ekstraktları kullanarak çevre dostu bir yöntem geliştirmişlerdir. Onların çalışmasının amacı, polifenol açısından zengin biber ekstraktlarıyla çinko oksit nanopartikülleri elde etmektir. Polifenol ekstraksiyon süreci, sıcaklık, ekstraksiyon süresi, çözücü türü ve biberin farklı kısımlarının etkisi göz önünde bulundurularak yanıt yüzey analizi ile optimize edilmiştir. Optimal ekstrakt parametreleriyle, koloidal çökelme yöntemiyle ZnO nanopartiküller sentezlenmiş ve sentezlenen nanopartiküller XRD, SEM, FTIR teknikleriyle karakterize edilmiş ve antioksidan aktiviteleri incelenmiştir. Sonuçlar, yeşil sentez sonucunda elde edilen nanopartiküllerin daha saf (%100 ZnO) ve küçük boyutlu (yeşil ve kimyasal nanopartiküller için 24-43 ve 35-70 nm) olduğunu, kimyasal yöntemle sentezlenen nanopartiküllere göre çevre dostu bir alternatif sunduğunu göstermektedir. Sonuçlar, biber polifenol özütlerinin yeşil sentez yoluyla ZnO nanopartikülleri elde etmede büyük bir potansiyele sahip olduğunu ve çevresel sürdürülebilirliğe büyük bir katkı sağladığını göstermektedir (Jiménez-Rosado vd., 2022).

Yadav ve arkadaşları *Syzygium cumini* yaprak özütü kullanarak ZnO nanopartikülleri biyosentezlemiş ve bu nanopartiküllerin çeşitli biyolojik aktivitelerini incelemişlerdir. Sentezlenen nanopartiküller spektroskopik (UV-Vis, FTIR ve NMR), mikroskopik (TEM) ve yapısal karakterizasyon teknikleri (XRD) ile analiz edilmiştir. Yaprak özütündeki fitokimyasallar, ZnO nanopartiküllerin antikanser, antioksidan ve antibakteriyel aktiviteler için sürekli salınımını sağlayan bir kaplama işlevine sahip olduğunu göstermiştir. ZnO nanopartiküllerin HepG2 kanser hücre hatları üzerindeki IC₅₀ değeri 49,83 µg/ml olarak belirlenmiş, ayrıca 11,66 mm'lik inhibisyon alanları tespit edilmiştir. MİK testleri, *A. niger* ve *P. aeruginosa* bakterilerine karşı sırasıyla 8,0 ve 0,1 µg/ml değerlerinde etkinlik göstermiştir. Antioksidan aktivite testlerinde, ZnO nanopartiküller 10,54 µg/ml'lik IC₅₀ değeriyle önemli bir aktivite göstermiştir. Ayrıca, ZnO nanopartiküller paramagnetik özellikler ve korozyon önleyici etkinlik göstermiş ve 100 ppm konsantrasyonda %90 inhibisyon verimliliği elde edilmiştir (Yadav vd., 2025).

Sharmila ve arkadaşları tarafından, *Tecoma castanifolia* bitkisinin yaprağı kullanılarak elde edilen özüt yardımıyla çevre dostu ZnO nanopartikül sentezlenmiştir. ZnO nanopartiküller, UV-Vis spektroskopisi, TEM, EDX, XRD ve FTIR teknikleriyle

karakterize edilmiştir. UV-Vis absorpsiyon bandı, 370-400 nm aralığında yüzey plazmon rezonans (SPR) pikleri göstererek nanopartiküllerin oluşumunu doğrulamıştır. TEM analizi, nanopartiküllerin ortalama 70-75 nm boyutunda ve küresel formda olduğunu ortaya koymuştur. XRD sonuçları, ZnO nanopartiküllerin wurtzit yapısının hekzagonal fazını doğrulamıştır. FTIR spektrumu, Zn-O bağlarını doğrulamıştır. GC-MS analizi, *T. castanifolia*'nın metanol özütlerinde biyoaktif fitokimyasalların varlığını tespit etmiştir. Gram pozitif ve Gram negatif bakterilere karşı antibakteriyel testler önemli aktivite göstermiştir. Antikanser aktiviteleri, ZnO nanopartiküllerin A549 hücre hattında IC₅₀ değeri 65 µg/mL olarak belirlenmiş ve sitotoksik etkiler gözlemlenmiştir. Bu bulgular, yeşil olarak sentezlenen ZnO nanopartiküllerin biyomedikal uygulamalarda ve nano ilaç sistemlerinde potansiyel kullanım alanlarını ortaya koymuştur (Sharmila vd., 2019).

Velsankar ve arkadaşlar tarafından yapılan çalışmada, ZnO nanopartiküllerinin yeşil ve kimyasal yöntemlerle sentezi incelenmiştir. Yeşil sentez, *Erythrina variegata* yaprak özütü kullanılarak, kimyasal sentez ise sodyum hidroksit indirgenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Gaz kromatografisi-kütle spektrofotometrisi (GC-MS) analizi, yaprak özütündeki yirmi fitokimyasalın varlığını doğrulamıştır. Yeşil yöntemle sentezlenen ZnO nanopartiküller, XRD, FTIR, DLS, HR-TEM, EDX ve SEM analizleri ile karakterize edilmiştir. XRD, nanopartiküllerin yüksek kristalli yapısını, UV-görünür analiz ise 389 nm'de SPR bandını göstermiştir. FTIR spektrumu, metal-oksijen bağlarının varlığını doğrulamıştır. DLS analizi, parçacık boyutlarının 25-35 nm arasında olduğunu ve polidispersite indeksinin 0,297 olduğunu ortaya koymuştur. EDX analizi, Zn ve O elementlerinin yapıdaki varlığını doğrulamıştır. Antibakteriyel testler, yeşil sentez ile elde edilen ZnO nanopartiküllerinin *Salmonella typhi*, *Bacillus subtilis* ve *Staphylococcus aureus* üzerinde güçlü inhibisyon etkisi gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, *Erythrina variegata* yaprak ekstresi aracılı yeşil sentezlenmiş ZnO nanopartiküllerinin antibakteriyel ve antioksidan ajanlar olarak ilginç uygulamalara sahip olduğunu rapor etmiştir (Velsankar vd., 2022).

Manojkumar ve arkadaşlarının gerçekleştirildiği bir çalışmada, yeşil sentez yöntemiyle çinko oksit nanopartikülleri (ZnO NP'ler), *Brassica oleracea var. botrytis* (BO) yaprak özütü kullanılarak birlikte çöktürme yöntemiyle hazırlanmış ve nanopartiküllerin fotokatalitik/antibakteriyel aktiviteleri incelenmiştir. UV-görünür spektroskopi sonuçları, BO-ZnO nanopartiküllerin 311 nm dalga boyunda maksimum absorbans gösterdiğini ve başarılı bir sentez gerçekleştirilmiş olduğunu ortaya koymuştur. XRD analizi, BO-ZnO NP'lerin hekzagonal wurtzit yapısını ve ortalama 52

nm parçacık boyutunu sahip olduğunu doğrulamıştır. FT-IR spektrumu, hidroksil, karbonil, karboksilik ve fenol gruplarının varlığını gösterirken, SEM görüntüleri çiçek benzeri bir morfoloji ve EDX analizi, elementel bileşimi doğrulamıştır. Bu sonuçlar, BO yaprak özütü ile sentezlenen BO-ZnO NP'lerin hem çevre dostu hem de verimli bir alternatif malzeme olduğunu göstermektedir (Manojkumar vd., 2023).

Sadiq ve arkadaşları, tekstil endüstrisinin boyama işlemlerinde aşırı su tüketimi ve su kütlelerinin kirlenmesi sorunlarına çözüm olarak fotokatalitik bozunma yöntemini incelemişlerdir. Bu bağlamda, biyolojik yöntemle sentezlenen ZnO nanopartiküller, istenen fizikokimyasal özelliklere sahip olup, metilen mavisi (MB) boyasının toksisitesinin giderilmesinde kullanılmıştır. Çalışmada, *Syzygium Cumini* yaprak özütü kullanılarak ZnO nanopartiküller sentezlenmiş ve bu işlem sırasında ZnO çözeltisinin renk değişimi (sarıdan kırmızımsı kahverengiye) gözlemlenmiştir. ZnO nanopartiküller, XRD, SEM, FTIR ve UV-Vis spektrofotometresi ile karakterize edilmiştir. Fotokatalitik bozunma, güneş ışığı altında MB boyasının psödo-birinci derece kinetik modeline uygun olarak %91,4 oranında bozunma sağlanmıştır. Bu biyolojik yaklaşım, çevre dostu ve düşük maliyetli bir çözüm sunarak zararlı boyaların giderilmesinde etkili bir yöntem olarak önerilmektedir (Sadiq vd., 2021).

Hussein ve arkadaşları, *Vitis vinifera* özütü kullanarak çinko oksit nanopartikülleri biyolojik olarak sentezlemişlerdir. Elde edilen ZnO NP'lerin karakterizasyonu, UV-Vis, FTIR, TEM, AFM, XRD ve SEM ile yapılmıştır. ZnO nanopartiküllerin optik özellikleri, 373 nm'deki UV-Görünür spektrumuna dayalı olarak incelenmiştir. XRD deseni, ZnO NP'lerin wurtzit (hekzagonal) kristal yapısını ortaya koymuştur. FTIR analizi sonucunda 408,91 cm⁻¹'de Zn-O bağ gerilme titreşimini göstermektedir. Bakterisidal aktiviteleri, Gram pozitif (*S. aureus*) ve Gram negatif bakterilere (*K. pneumoniae*) karşı güçlü inhibisyon göstermiştir. Ayrıca, ZnO nanopartiküller insan meme kanseri (MCF-7) ve beyin kanseri (AMGM5) hücre hatlarına karşı belirgin sitotoksikite göstermiştir. Bu bulgular, *Vitis vinifera* özütünün ZnO NP'lerin biyolojik özellikler gösteren bir indirgeyici ajan olarak etkili bir rol oynadığını ortaya koymaktadır (Hussein vd., 2021).

Eswari ve arkadaşları *Tectona Grandis* ve *Abutilon Indicum* yaprak özütleri kullanarak yeşil sentez yöntemiyle çinko oksit (ZnO) nanopartikülleri elde etmişlerdir. Toz X-ışını kırınım (PXRD) analizleri, nanopartiküllerin wurtzit yapısında ve sırasıyla 17 nm ve 22 nm kristal boyutlarında olduğunu ortaya koymuştur. Optik analizler, 3,0 eV ve 3,1 eV bant aralığı değerleri ile UV bölgesinde güçlü absorpsiyon bantları göstermektedir. Biyomedikal testlerde, ZnO nanopartikülleri α -amilaz ve sığır

albüminine karşı sırasıyla %95,42 ve %94,82 inhibisyon sağlamış, ayrıca MCF-7 kanser hücrelerinde sitotoksikite göstermiştir. Bu sonuçlar, ZnO nanopartiküllerinin biyomedikal uygulamalarda potansiyel bir malzeme olduğunu göstermektedir (Eswari vd., 2022).

Sasi ve arkadaşları, çevre dostu bir yöntemle nano ZnO (nZnO) parçacıklarının sentezini ham *Garcinia Cambogia* meyve özütü kullanarak gerçekleştirmişlerdir. nZnO'nun kristal yapısı, XRD ile doğrulanmış ve ortalama çapı 32,8 nm olarak belirlenmiştir. SEM ve TEM ile nZnO'nun küresel şekli ortaya konmuştur. FTIR spektrumu, metal bağların varlığını doğrulayarak sentez mekanizmasını açıklamaktadır. UV-Vis analizi, nZnO'nun optik bant aralığının 3,24 eV olduğunu ortaya koymuştur. nZnO nanopartiküller katyonik ve anyonik boyaların fotokatalitik bozunmasında yüksek etkinlik göstermiş ve bozunma kinetiği psödo-birinci dereceden model ile açıklanmıştır ($R^2 > 0,95$). Fotokatalitik performans, pH, çözelti miktarı ve ışınlama süresi gibi faktörlere bağlı olarak çalışılmıştır. Ayrıca, nZnO'nun patojenik bakterilere karşı antibakteriyel etki durumu önemli bulunmuştur. Sonuç olarak, yeşil sentezlenen nZnO, endüstriyel atık sulardan boyaların ve bakterilerin verimli bir şekilde giderilmesinde hem düşük maliyetli hem de çevre dostu alternatif bir malzeme olarak kullanılabilir (Sasi vd., 2022).

Álvarez-Chimal ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada, ZnO-NP'lerin yapısal özellikleri ve çeşitli bakteriyel patojenlere karşı antibakteriyel etkileri incelenmiştir. ZnO-NP'ler, *Dysphania ambrosioides* bitkisi kullanılarak yeşil sentez yöntemiyle üretilmiş ve ticari ZnO-NP'ler ile karşılaştırılmıştır. XRD, FESEM, TEM, EDS, FTIR ve TG analizleri ile karakterize edilen ZnO-NP'lerin 5-30 nm boyutlarında olduğu ifade edilmiştir. Ticari olarak elde edilen ZnO-NP'lerin boyutları ise 15-35 nm olarak tespit edilmiştir. Antibakteriyel testler, yeşil sentezle elde edilen ZnO nanopartiküllerin *Prevotella intermedia*'ya karşı en güçlü aktivite gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, diş hastalıklarıyla ilişkili bakterilere karşı ZnO NP'lerin potansiyel bir antibakteriyel madde olarak kullanılabileceğini ifade etmektedir (Álvarez-Chimal vd., 2021).

Sharma ve arkadaşları, *Ficus palmata* yaprak özütü ile çinko oksit nanopartiküllerin yeşil sentezini gerçekleştirmişlerdir. Bu NP'ler UV-görünür spektroskopisi, DLS, FTIR, FESEM ve EDS ile karakterize edilmiştir. FP-ZnO NP'ler, antioksidan ve antibakteriyel aktiviteler göstermiş, ayrıca kanser ve tip 2 diyabet gibi çeşitli hastalıkların tedavisi için yeni ve daha etkili yöntemlerin önünü açmıştır. Bu nanopartiküller diyabetik tedavi açısından amilaz ve glukozidaz inhibisyonunda yüksek etkinlik sergilemiştir. İn vivo deneylerde, FP-ZnO NP'ler kan şekeri seviyelerini

düşürmüş ve lipid profilini iyileştirmiştir. Sonuç olarak bu nanopartiküllerin terapötik uygulamalarda potansiyel bir madde olarak kullanılabileceği gösterilmektedir (Sharma vd., 2022).

Chennimalai ve arkadaşları, *Opuntia humifusa* meyve özütü kullanarak fotokatalitik olarak kararlı ZnO nanopartikülleri tek adımlı hidrotermal yöntemle sentezlemişlerdir. Özüt, ZnO'nun yapısal ve optik özelliklerini modifiye ederken, ZnO nanokompoziti, *S. aureus*, *B. cereus*, *P. aeruginosa* ve *E. coli* gibi patojenlere karşı güçlü antimikrobiyal aktivite göstermiştir. Çalışma, yeşil sentezlenen ZnO nanopartiküllerinin tıbbi, endüstriyel ve gıda güvenliği uygulamaları için potansiyel bir madde olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır (Chennimalai vd., 2021).

Chan ve arkadaşları, mangosten yapraklarının sulu ekstraktını kullanarak çevre dostu bir şekilde çinko oksit (ZnO) nanopartikülleri sentezlemişlerdir. Sentezlenen ZnO NP'ler, çeşitli analitik yöntemlerle (UV-Vis, FTIR, XPS, Raman, XRD, EDX, SEM, TEM) kapsamlı bir şekilde karakterize edilmiştir. Sonuçlar, ZnO NP'lerin 2,80 eV enerji bant aralığı, gözenekli yapı, 16,99 nm kristal boyutu ve 14,21 nm ortalama parçacık boyutuna sahip olduğunu ortaya koymuştur. Antibakteriyel testler, ZnO NP'lerin *S. aureus*, *E. Coli*, *K. pneumoniae* ve *B. subtilis*'e karşı aktivite gösterdiğini ve bu bakterilerin büyümesini inhibe etmekte etkili olduğunu ortaya koymuştur. ZnO NP'ler, özellikle çoklu ilaca dirençli bakterilere karşı potansiyel bir terapötik ajan olarak değerlendirilmektedir (Chan vd., 2024).

Karam ve Abdulrahman tarafından yapılan çalışmada, kekik bitkisinden elde edilen yaprak ekstresi kullanılarak çinko oksit (ZnO) nanopartiküllerin yeşil sentez yöntemiyle üretimi gerçekleştirilmiştir. Araştırmada, farklı kalsinasyon sıcaklıklarının (150°C, 250°C, 350°C, 450°C) ZnO NP'lerin morfolojik, yapısal ve optik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiş ve optimum kalsinasyon sıcaklığı belirlenmiştir. UV-Vis ve FTIR analizleri, kekik yaprağı ekstresinin ZnO NP'lerin biyosentezinde uygun bir kaynak olduğunu doğrulamıştır. UV-Vis spektrumları, kekik yaprağı ekstraktı ile sentezlenen ZnO NP'lerin 400 nm altındaki UV bölgesinde yüksek absorbans ve görünür bölgede düşük absorbans gösterdiğini ortaya koymuştur. Elde edilen enerji bant aralığı (Eg) 2,645-2,7 eV arasında değişmiştir. FESEM görüntüleri, kalsinasyon sıcaklığının, ZnO NP'lerin morfolojik özellikleri (boyut, şekil ve yönelim) üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ortaya koymuştur. XRD analizleri, ZnO NP'lerin saf wurtzit yapısında ve (002) piki boyunca 35,20-243,3 nm arasında değişen partikül boyutlarına sahip olduğunu ifade etmişlerdir. FTIR spektrumları, kekik yaprağı ekstresi ile üretilen ZnO NP'lerinin yüksek

saflıkta olduğunu göstermiştir. Çalışma, 450°C kalsinasyon sıcaklığında sentezlenen ZnO NP'lerinin, diğer sıcaklıklarda üretilenlere göre daha yüksek kalite ve iyileşmiş özellikler sergilediğini belirtmiştir (Karam ve Abdulrahman, 2022).

Batool ve arkadaşları, çevre dostu yöntemlerle ZnO nanopartiküllerin (ZnO-NP) sentezlenmesi ve stabilizasyonunu, *Aloe barbadensis* özütü kullanarak gerçekleştirmiştir. Çalışmada, ZnO NP'lerin malaşit yeşili ve kongo kırmızısı gibi kanserojen azo boyalarının giderilmesinde etkili bir adsorban olarak kullanımı incelenmiştir. ZnO NP'ler, malaşit yeşili için %90,7, kongo kırmızısı için ise %92,3'lük adsorpsiyon verimliliği göstermiştir. Adsorpsiyon verimliliği, farklı parametreler (zaman, pH, adsorban miktarı) altında optimize edilmiştir. Ayrıca, ZnO-NP'ler, *K.pneumonia*, *E. coli*, *B. Subtilis* ve *B. licheniformis* gibi bakteriler ile *C. albicans* ve *A. niger* gibi mantarlara karşı güçlü antimikrobiyal aktivite göstermiştir. Bu bulgular, ZnO-NP'lerin hem çevre temizliği hem de biyomedikal uygulamalar için potansiyelini göstermektedir (Batool vd., 2021).

Albo Hay Allah ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada yeşil sentez yöntemiyle çinko oksit nanopartiküller (ZnO NP'ler) *Pontederia crassipes* yaprak özütü kullanarak başarılı bir şekilde elde etmişlerdir. Sentezlenen ZnO NP'ler, FT-IR, XRD, BET, FESEM, TEM ve EDS gibi çeşitli karakterizasyon teknikleriyle incelenmiş ve yüksek saflık göstermiştir. ZnO NP'leri, kanserojen kongo kırmızısı (CR) ve malaşit yeşili (MG) boyalarının sulu çözeltilerden adsorpsiyon yoluyla giderilmesinde etkin bir şekilde kullanılmıştır. CR için %96,39, MG için ise %95,75 giderim verimliliği elde edilmiştir. Adsorpsiyon süreci, Temkin ve Freundlich izoterm modelleri ile uyumlu bulunmuş, her iki boya için de süreçlerin endotermik ve kendiliğinden gerçekleştiği termodinamik analizle kanıtlanmıştır. Ayrıca, ZnO NP'lerinin MCF-7 kanser hücre hattına karşı yüksek in vitro sitotoksik etkinlik gösterdiği ($IC_{50} = 39,3 \mu\text{g/mL}$) gözlemlenmiştir. Bu bulgular, ZnO NP'lerin çevre dostu ve biyouyumlu uygulamalar için umut verici bir seçenek olduğunu ortaya koymaktadır (Albo Hay Allah ve Alshamsi, 2024).

Mongy ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, çinko oksit nanopartiküllerinin (ZnO NP'ler) biyojenik sentezi için *Rhus coriaria* meyve özütünün kullanımı incelenmiştir. Bu yöntemin, kimyasal sentez yöntemlerine kıyasla çevre dostu ve biyolojik olarak güvenli olduğu vurgulanmıştır. Karakterizasyon sonuçları, ZnO NP'lerin yaklaşık 359 nm'lik maksimum absorbansa sahip olduğunu ve ortalama kristal boyutunun 16,69 nm olduğunu göstermiştir. TEM analizinde, küresel ve hekzagonal

morfolojilerde ortalama tane boyutunun $20,51 \pm 3,90$ nm olduğu belirlenmiştir. Elementel bileşim EDX ile değerlendirilmiş ve fitokimyasalların varlığı FT-IR analiziyle doğrulanmıştır. ZnO NP'lerin zeta potansiyel değeri $-19,9 \pm 0,1663$ mV olarak bulunmuştur. Kanseri karşıtı etkiler açısından, ZnO NP'lerin MCF-7 ve MDA-MB-231 hücreleri üzerinde gl anti-tümör etkiler gösterdiği bulunmuştur. IC_{50} değerleri, MCF-7 için $35,04 \pm 44,86$ $\mu\text{g/mL}$, MDA-MB-231 için ise $55,54 \pm 63,71$ $\mu\text{g/mL}$ arasında değişmiştir. MDA-MB-231 hücrelerinde yapılan mekanistik analizler, ZnO NP'lerin apoptoz indüksiyonunu tetiklediğini ve bu etkiyi DAPI boyama, konfokal mikroskopisi ve Annexin V/PI boyama ile doğruladığını ortaya koymuştur. Ayrıca, ZnO NP'lerin apoptoz ve metastazla ilişkili genleri düzenleyerek S fazı durmasını sağladığı, koloni oluşturma ve metastatik potansiyeli engellediği gözlemlenmiştir. Bu bulgular, ZnO NP'lerin kanser hücreleri ölümünü ve metastazın engellenmesini nasıl tetiklediğine dair yeni bilgiler sunmakta ve kanser nanoteknolojisinde yeni umutlar taşımaktadır (Mongy ve Shalaby, 2024).

Zafar ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Zn nanopartiküllerinin (Zn-NP'ler) yeşil ve kimyasal yaklaşımlar ile hazırlanarak bamya bitkilerinin büyümesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çinko nanopartiküllerinin yeşil sentezi için *Sorghum bicolor* L. yaprak özütü kullanılmış, kimyasal olarak ise birlikte-çöktürme yöntemi uygulanmıştır. Sentezlenen nanopartiküller UV-Vis, FTIR ve XRD ile karakterize edilmiştir. Bamya bitkilerine %0,1, %0,2 ve %0,3 oranlarında uygulama yapılmış ve tuzlu koşullarda sürgün ve kök taze/ağırlık artışı ile klorofil içeriğinde belirgin bir iyileşme gözlenlenmiştir. Ayrıca, tuz stresi altında antioksidan aktivite artışı gzlenlenmiş olup, %0,3 Zn-GNP uygulamasının bu sistemin düzenlenmesinde önemli bir rol oynadığı belirlenmiştir. Çalışma, Zn-GNP kullanımının tuzluluk stresini azaltmada evre dostu bir yaklaşım olarak umut verici olduğunu ortaya koymaktadır (Zafar vd., 2021).

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. *Abelmoschus Esculentus* (AE)'un Toplanması

Diyarbakır'ın Çınar ilçesinde Karaçevre mahallesinden *Abelmoschus esculentus* (AE) bitkisinin meyveleri Ağustos ayın toplandı. Toplanan AE bitkisinin meyveleri Batman Üniversitesi gıda teknolojisi laboratuvarında'nda toz kalıntılarından arındırmak için önce çeşme suyuyla daha sonra birkaç kez distile su ile yıkanarak 25°C'de etüvde kurumaya bırakıldı. Kurutulan AE bitkisinin meyveleri IKA M 20 Evrensel öğütücü ile toz haline getirildikten sonra çalışmalarda kullanıldı.

4.2. AE-ZnO Nanopartiküllerin Sentezinde Kullanılan Kimyasallar

Çinko sülfat heptahidrat ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$), sodyum hidroksit (NaOH) ve çalışma için kullanılan tüm kimyasal maddeler analitik saflıkta olup, Merck'ten satın alınmış ve herhangi bir saflaştırma işlemine tabi tutulmadan kullanılmıştır. Tüm deneysel çalışmalarda damıtılmış ve steril deiyonize su kullanılmıştır.

4.3. *Abelmoschus Esculentus* (AE) özütünün hazırlanması

Yaklaşık 5 g toz haline getirilen AE bitkisinin meyveleri 250 mL'lik bir behere aktarıldıktan sonra üzerine 100 mL deiyonize suya eklendikten sonra 30 dakika manyetik karıştırıcıda 60 °C'de ısıtıldı. Isıtma işlemi sonrasında elde edilen karışım oda sıcaklığına soğutuldu ve reaksiyona girmeyen kalıntıları gidermek için Whatman No.1 filtre kâğıdı kullanıldı ve böylece berrak bir çözelti elde edildi. Elde edilen süpernatant (süzüntü), hem karakterizasyon hem de AE-ZnO nanopartiküllerin sentez çalışmalarında kullanılmak üzere için 4 °C'de saklandı.

4.4. AE-ZnO Nanopartiküllerinin Yeşil Sentezi

AE-ZnO nanopartiküllerin sentezi için $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 'ün katı formundan 1 M'lık bir çözelti hazırlandı ve bu çözeltiden sentezde kullanılmak üzere 50 mM sulu çinko çözeltisi elde edildi. Hazırlanan 50 mM çinko sülfat hepta hidrat çözeltisinin 240 mL'sine

AE bitkisinin meyve özütünden 60 mL damla damla eklenerek sürekli karıştırıldı. AE özütünün eklenmesinden 1 saat sonra, yeni hazırlanmış olan 2 M NaOH kullanılarak pH 10'a ayarlandı. Ardından çözeltiyi 75°C'deki su banyosunda 1 saat çalkalandıktan sonra tekrar 75°C'ye ayarlanmış manyetik karıştırıcıda 2 saat karıştırılmaya devam edildi. Beyaz kristalli bir çökelti oluşuktan sonra sistem kapatılarak oda sıcaklığında soğumaya bırakıldı. Soğuma sonrası çözelti 6000 rpm'de 30 dakika santrifüj edilerek santrifüj tüpünün alt kısmında toplanan beyaz kristalli çökelti distile suyla birçok kez yıkandıktan sonra 50 °C'ye ayarlanmış etüvde kurumaya bırakıldı. Kuruma işlemi sonrasında elde edilen ürün 550 °C'ye ayarlanmış olan kül fırında kalsine edildikten sonra ürün havanda toz haline getirildi. Sentezlenen AE-ZnO nanopartiküller farklı teknikler ile karakterize edildi. Karakterizasyon işleminden sonra sonraki çalışmalarda kullanılmak üzere elde edilen ürün karanlık ortamda saklandı (Moalwi vd., 2024; İpek vd., 2024).

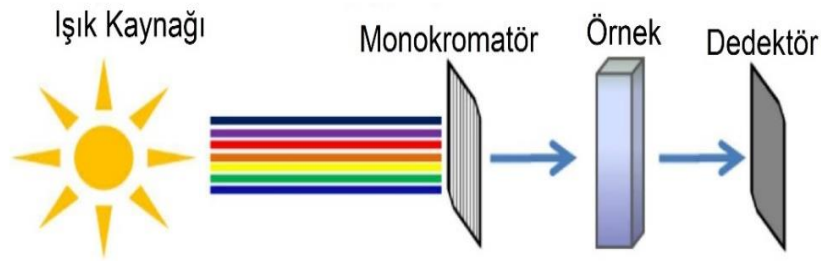
4.5. Nanomalzemeler için Karakterizasyon Teknikleri

Nanomalzemeler, yığın fazına kıyasla mükemmel fiziksel, elektriksel ve kimyasal özellikler göstermiştir. Nanoteknoloji/biyoteknoloji, nanomalzemelerin sentezi, karakterizasyonu ve uygulamalarıyla ilgilenir. Nanoölçekli malzemeler, genellikle nanopartiküller olarak bilinen küçük parçacıklar içerir ve başarılı karakterizasyon ve analizleri için özel cihazlar ve araçlar gerektirir. Nanomalzemelerin karakterizasyonu için yaygın olarak kullanılan araç ve teknikler arasında UV-Vis Spektroskopisi, SEM, FTIR, XRD, EDX, DLS ve zeta potansiyel yer almaktadır.

4.5.1. Ultraviyole-Görünür (UV-Görünür) Spektroskopisi

UV-Vis (Ultraviyole ve Görünür Işık) spektroskopisi, malzemelerin UV (190 nm) ve görünür (900 nm) dalga boyu aralığındaki geçirgenliğini veya yansımalarını ölçer. İncelenecek malzemeler katı, sıvı veya gaz fazında olabilir. Bu teknik çoğunlukla biyolojik makromoleküllerin, (soy ve geçiş metali) nanopartiküllerin ve iyonların boyut ve konsantrasyonlarının yanı sıra konjuge organik moleküllerin nicel ve/veya nitel karakterizasyonunda kullanılır. UV-Vis spektroskopisi, soy metal nanopartiküllerinin karakterizasyonu için yaygın olarak kullanılır; çünkü bu malzemeler, lokalize yüzey plazmon rezonansları (LSPR) nedeniyle görünür spektrumda güçlü bir absorpsiyon bandı

gösterir. LSPR, gelen ışığın frekansının nanopartiküllerin iletken elektronlarının kolektif salınımıyla rezonansa girdiğinde meydana gelir. Tipik bir UV-Vis spektrofotometresinde ana bileşenler bir ışık kaynağı (UV-görünür-NIR), ışık demetini tek bir dalga boyuna dağıtan bir kırınım ızgarası sistemi ve iletilen/yansıyan ışık yoğunluğunu toplayan bir dedektördür. Tipik bir UV-Vis grafiğinde, x eksenini dalga boyu/dalga sayıları (nm , cm^{-1}) olarak, y eksenini ise emilim, iletim veya yansıma modları için yoğunluğu (çoğunlukla % olarak) gösterir. Spektrofotometrenin yapı şeması Şekil 4.1’de gösterilmektedir (Disci-Zayed, 2016). UV-Vis analiz işlemlerinde Agilent Cary 60 Spektrofotometre cihazı kullanıldı.



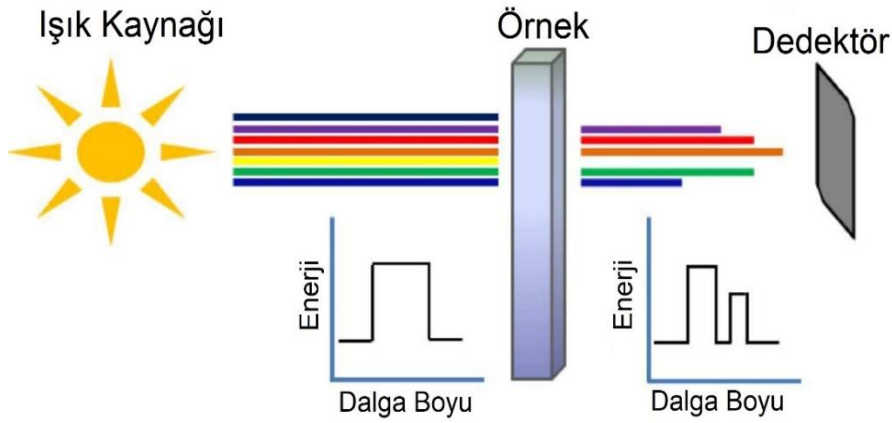
Şekil 4.1. UV-Vis spektrofotometresinin şematik gösterimi (Disci-Zayed, 2016)

4.5.2. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR)

Bu teknikte, örneğe kızılötesi (IR) radyasyon gönderilir ve bu ışınım, örneğin moleküler yapısına bağlı olarak kısmen emilir ve iletilir. Kızılötesi ışın, moleküllerin titreşim hareketlerine etki eder; bu titreşimlerin frekansları, her bir molekülün kimyasal bağlarına özgüdür. Böylece, örneğin iç yapısı ve bileşenleri hakkında bilgi sağlanmış olur. Elde edilen spektrum, emilim ve iletim özellikleri üzerinden, örneğin kimyasal bileşimi, moleküler yapısı ve fonksiyonel grupları hakkında detaylı bir parmak izi oluşturur.

Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR), özellikle numunelerin kimyasal analizini yapmak için oldukça etkili bir tekniktir. Bu yöntem, yalnızca moleküler bağların tespit edilmesiyle kalmaz, aynı zamanda bir numunenin kalite kontrolü, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değerlendirilmesi, viskozite ve kıvam gibi özelliklerin belirlenmesi açısından da güçlü bir araçtır. FTIR, karmaşık karışımlar içindeki bileşenlerin oranlarını hızlı ve hassas bir şekilde belirlemeye olanak tanır, çünkü her bileşen, kendine özgü bir emilim deseni ile karakterizedir. Bu özellik, özellikle

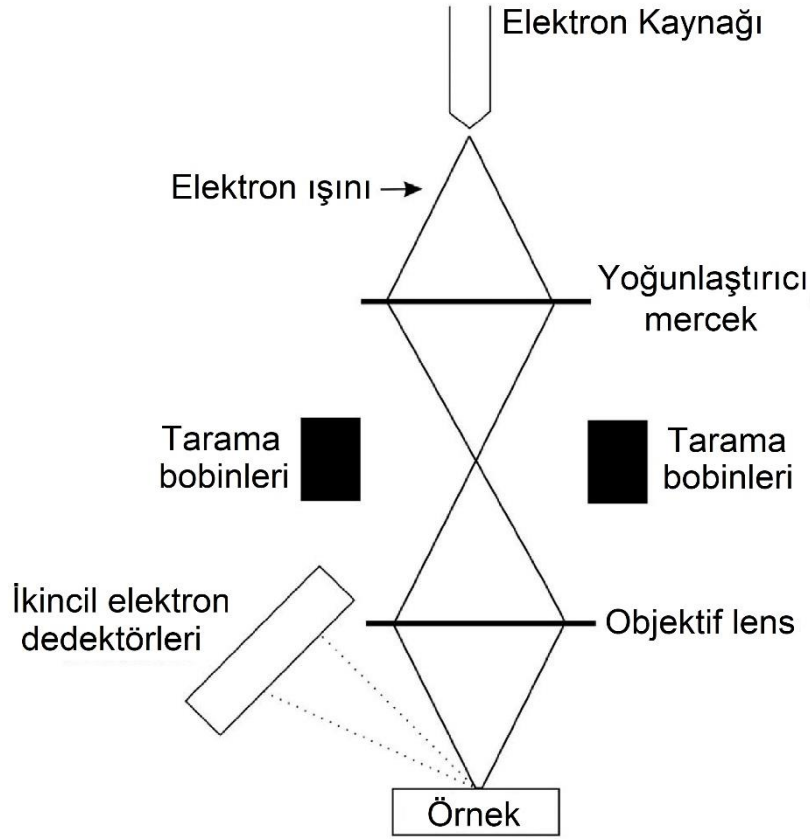
bileşen analizi veya saflık kontrolü gereken uygulamalarda, FTIR'yi son derece kullanışlı kılar. (Disci-Zayed, 2016). FTIR spektrofotometresinin temel yapısı Şekil 4.2'de gösterilmektedir. FTIR analiz işlemleri Dicle Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Araştırma laboratuvarında yer alan Agilent Cary 630 Spektrofotometre cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.2. FTIR spektrofotometresinin şematik gösterimi (Disci-Zayed, 2016)

4.5.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

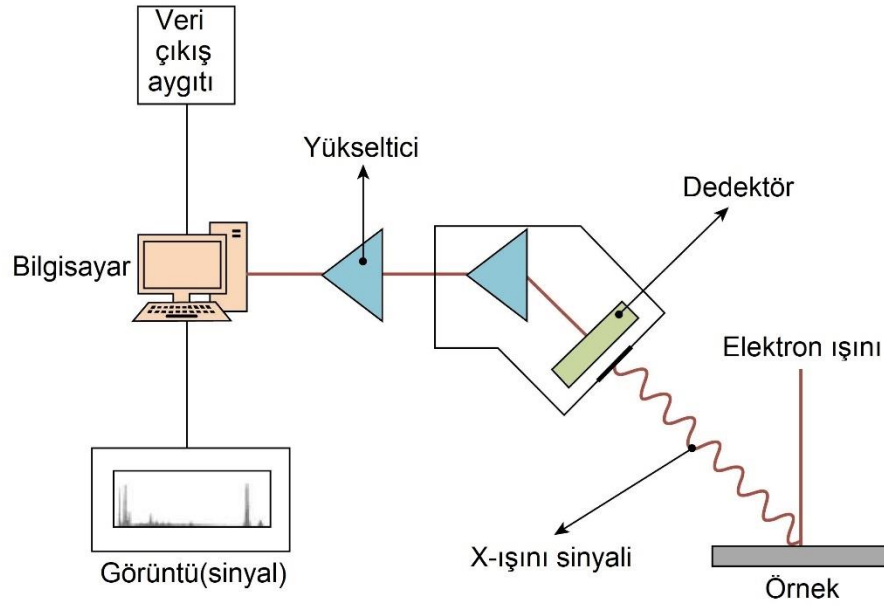
SEM, geniş bir uygulama yelpazesine sahip mikro ve nanoyapıların analizi için çok yönlü bir teknik olarak kabul edilir. SEM tekniği, yüzeylerin bileşimi ve topografyası hakkında bilgi sağlar ve Şekil 4.3'te SEM cihazının çalışma prensibi gösterilmektedir. SEM'in avantajları arasında okuma büyütmesinden ayarlanabilir büyütme ve yapı görselleştirmesinin uygulanması yer alır. Malzeme bileşimleri üzerindeki belirli etkileşimlerden kaynaklanan sinyallerden bilgi elde eder. SEM, numune yüzeyinin bir elektron ışını boyunca tarandığı bir yüzey görüntüleme yöntemi kategorisine girer. Numune etkileşimleriyle sinyaller üreterek topografik ayrıntıları ve atomik bileşimi yansıtır. Topografya, morfoloji, bileşim ve kristalografik bilgiler gibi özellikler SEM kullanılarak elde edilir. Bir numune yerleştirilmeden önce, numunenin yüzeyi SEM ile görüntülenir. SEM ile elde edilen çözünürlük yaklaşık 1 nm'dir ve esas olarak çalışma parametrelerine ve belirtilen numunenin özelliklerine bağlıdır. Numuneye doğru üretilen, hızlandırılan ve odaklanan elektronlar üzerinde çalışırlar (Akhtar vd., 2018). Bu tez çalışmasında sentezlenen AE-ZnO nanopartiküllerin SEM analizleri İBTAM'da (İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi) LEO-EVO 40/Cambridge-İngiltere cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.3. Taramalı elektron mikroskobunun (SEM) çalışma prensibi (Kumar vd., 2019)

4.5.4. Enerji Dağıtıcı X-Işını Spektroskopisi (EDX)

Genellikle mikroanaliz olarak adlandırılan ve mikrometre boyutlarını ölçmek için kullanılan enerji dağılımlı X-ışını (EDX), bir numune matrisi ve elektron ışını enerjisi kullanarak birkaç mikrometreküp mertebesinde etkileşim hacmi ve çözünürlük üretir. Bu cihazlar genellikle, ilgili numuneye bağlı olarak SEM veya TEM ile birlikte kullanılır. EDX, numunelerin element haritalamasının yanı sıra görüntü analizi de sunar. Uygulama alanı çoğunlukla kontamine numunelerin analizinde ve adli tıp araştırmalarında görülür. Herhangi bir ön numune hazırlığına gerek kalmadan, numunenin tahribatsız analizi yapılabilir. Kirletici ve kaynağının hızlı bir şekilde belirlenmesi, çevresel faktörler üzerinde kontrol, daha yüksek üretim verimi ve sorunun kaynağının belirlenmesi, EDX kullanımının avantajlarından bazılarıdır (Gmoshinski vd., 2013). Enerji dağıtıcı X-ışını spektroskopisinin çalışma prensibi Şekil 4.4'te gösterilmektedir. Bu tez çalışmasında sentezlenen AE-ZnO nanopartiküllerin EDX analizleri İBTAM'da Bruker-125 eV (Berlin-Almanya) cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.4. Enerji Dağıtıcı X-Işını Spektroskopisi (EDS) çalışma prensibi (Colpan ve ark.; 2018).

4.5.5. X-Işını Kırınımı (XRD)

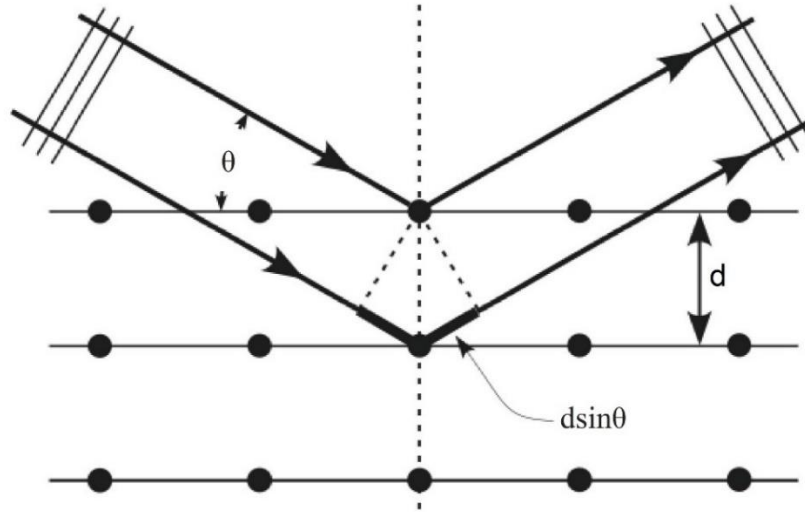
XRD, bir kristal içindeki atomların dizilimini, bir X-ışını demetinin kristal içindeki elektronlardan saçılma biçiminden belirleme bilimidir. Kristal, belirli bir atom diziliminin (birim hücresinin), baz (veya kafes) vektörleri olarak bilinen üç ana yönde sonsuza kadar tekrarlandığı bir katıdır. X-ışını kırınımı, kristal malzemelerin yapısal özelliklerini incelemek için kullanılan güçlü bir tekniktir (Tshabalala, 2011). Her kristal katının, kristal yapısını tanımlayan benzersiz bir XRD deseni vardır. λ dalga boyundaki X-ışını ışığı bir kristale düştüğünde, Bragg koşulu sağlanıyorsa bir kırınım tepe noktası oluşur:

$$n\lambda = 2d \sin\theta$$

Burada n , 1, 2, 3 (genellikle 1'e eşittir) tam sayıdır, d kristalin kafes aralığıdır ve θ , geliş açısıdır. Bir bakır hedeften gelen Cu K α emisyonu ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$), kırınım ölçümü için en yaygın X-ışını kaynağıdır. θ açısı değiştirildiğinde, polikristalin malzemelerin d -aralığı Bragg Yasası koşulları tarafından karşılanır (Tshabalala, 2011). Nanopartiküllerin ortalama boyutunu belirlemek için bir toz XRD deseni de kullanılır. Partikül boyutu, Debye-Scherrer formülü kullanılarak hesaplanabilir:

$$D = \frac{0.9\lambda}{\beta_{1/2} \cos\theta}$$

Burada λ , X-ışınının dalga boyu, β , 2θ 'deki tepe noktasının genişliği (radyan cinsinden) ve D , kristalitlerin çapıdır. Şekil 4.5'te X-ışınının tüpten dedektöre kadar izlediği yolun basit şematik diyagramı gösterilmektedir. Bu tez çalışmasında sentezlenen AE-ZnO nanopartiküllerin XRD analiz işlemleri İBTAM'da Bruker-125 eV (Berlin-Almanya) cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

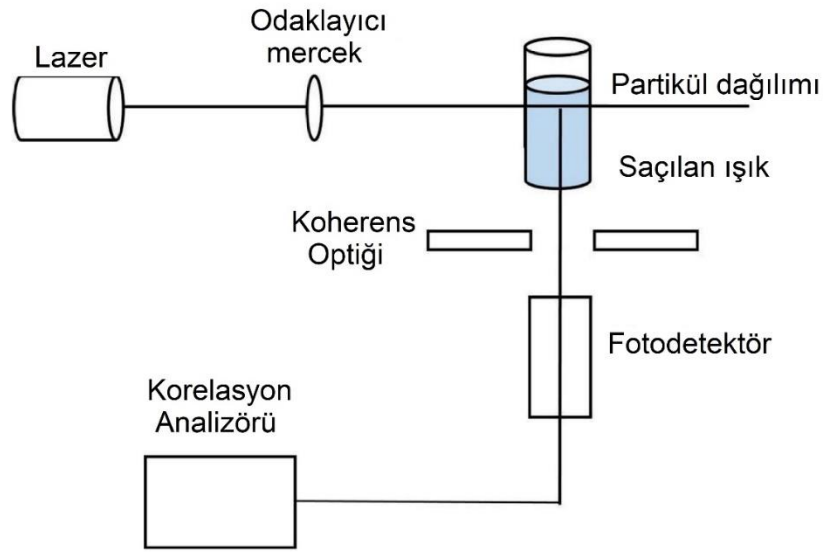


Şekil 4.5. XRD difraktometre sisteminin şematik diyagramı

4.5.6. Dinamik Işık Saçılımı (DLS)

DLS, süspansiyon halindeki partiküllerin ve moleküllerin boyutunun belirlenmesinde kullanılan bir teknik olup bu teknik için "yarielastik ışık saçılımı" veya "foton korelasyon spektroskopisi" isimleri de kullanılmaktadır. Bu teknik, kolloidal nanopartiküllerin hidrodinamik çapının, ortalama partikül boyutunun, partikül boyutu dağılımının ve agregasyon etkilerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Tekniğin temel çalışma prensibi örneğin bir lazer ışınına maruz bırakılması sonrasında çözeltideki partiküller Brown hareketi ışık yoğunluğunda dalgalanmalara yol açar. Saçılan ışık, belirli bir saçılma açısı (θ) altında hızlı bir foton detektörü tarafından algılanır. Lazer ışını, odaklama merceğinden geçerek numune hücresine ulaşır; bu hücre, çözeltide süspanse halde bulunan partikülleri içerir. Gelen lazer ışığı, θ açısı ile saçılır ve koherens merceğinden geçerek fotodetektör tarafından tespit edilir. Fotodetektör aracılığıyla alınan saçılmış ışığın yoğunluğu, önceden yükseltilerek korelatöre iletilir ve sonuçlar kullanılarak grafik elde edilir. DLS, proteinler, polimerler, miseller, karbonhidratlar ve nanopartiküller dahil olmak üzere çeşitli partiküllerin boyut analizinde

kullanılmaktadır. Sistem homojen bir boyut dağılımına sahipse, partikül çapı doğrudan partikül boyutu olarak kabul edilir. Ölçüm sonuçları, partikülün çekirdek boyutuna, yüzey yapısına, partikül konsantrasyonuna ve ortamda bulunan iyon türlerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Şekil 4.6’da dinamik ışık saçılımı tekniğinin şematik bir temsili görünümü yer almaktadır (Kumar vd., 2019). Bu tez çalışmasında sentezlenen AE-ZnO nanopartiküllerin DLS analizleri ODTÜ merkezi laboratuvarında (ODTÜ MERLAB) bulunan MALVERN Nano ZS90 cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.6. DLS cihazının şematik gösterimi (Alam vd., 2025)

4.5.7. Zeta Potansiyel

Kolloidal nanopartiküller, bir elektrik alanına tepki olarak askıda kalan ve hareket eden yüklü partiküllerdir. Bu hareket, elektrik alanı, yük ve ortamdan etkilenir. Saçılan ışığın Doppler kayması, parçacığın hızını nicelleştirir; ancak zeta potansiyeli, parçacığın hareketini etkileyen elektrik potansiyeli farkını belirterek hızını değerlendirir (Xu, 2008; Delgado vd., 2007). Elektroforez, parçacıkların bir elektrik alanı içindeki hareketini ifade eder. Numune partikülleri, tanımlanmış bir kırılma indisine sahip bir çözeltide askıda bırakılır. Zeta potansiyeli, nanopartikül yüzeylerindeki etkin elektrik yükünü ve kolloidal kararlılığını değerlendirir. Nanopartikülleri çevreleyen zıt yüklü iyonların toplanması, yüzey yükünü gizler ve hareket sırasında elektriksel bir çift katman oluşturur. Bu katman, partikül ile askıda tutan akışkan arasındaki potansiyel farkı olarak tanımlanan zeta potansiyelini ortaya çıkarır. Negatif yüklü parçacıklar pozitif yüzeylere bağlanırken,

pozitif yüklü parçacıklar negatif zeta potansiyeli gösteren yüzeylere tutunur. Zeta potansiyelinin büyüklüğü parçacık kararlılığını yansıtır; artan elektrostatik itme kararlılığı artırır (Titus ve diğerleri, 2019)

- 0-5 mV aralığında yer alan parçacıklar kümeleşme eğilimi göstermektedir.
- 5-20 mV aralığında yer alan parçacıklar minimum kararlı yapıda olma eğilimindedir.
- 20-40mV aralığında yer alan parçacıklar orta derecede kararlı olma eğilimindedir.
- 40+ mV aralığında yer alan parçacıklar yüksek kararlı olma eğilimindedir.

Çözeltinin pH değeri, nanopartikül yüzeyindeki yükün önemli bir belirleyicisidir. Belirli bir pH değerinde, nanopartikülün yüzey yükü nötr seviyeye ulaşabilir; bu pH değerine izoelektrik nokta denir.

Bu tez çalışmasında sentezlenen AE-ZnO nanopartiküllerin zeta potansiyel analizleri ODTÜ merkezi laboratuvarında (ODTÜ MERLAB) bulunan MALVERN Nano ZS90 cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. ZnO Nanopartiküllerinin Karakterizasyonu

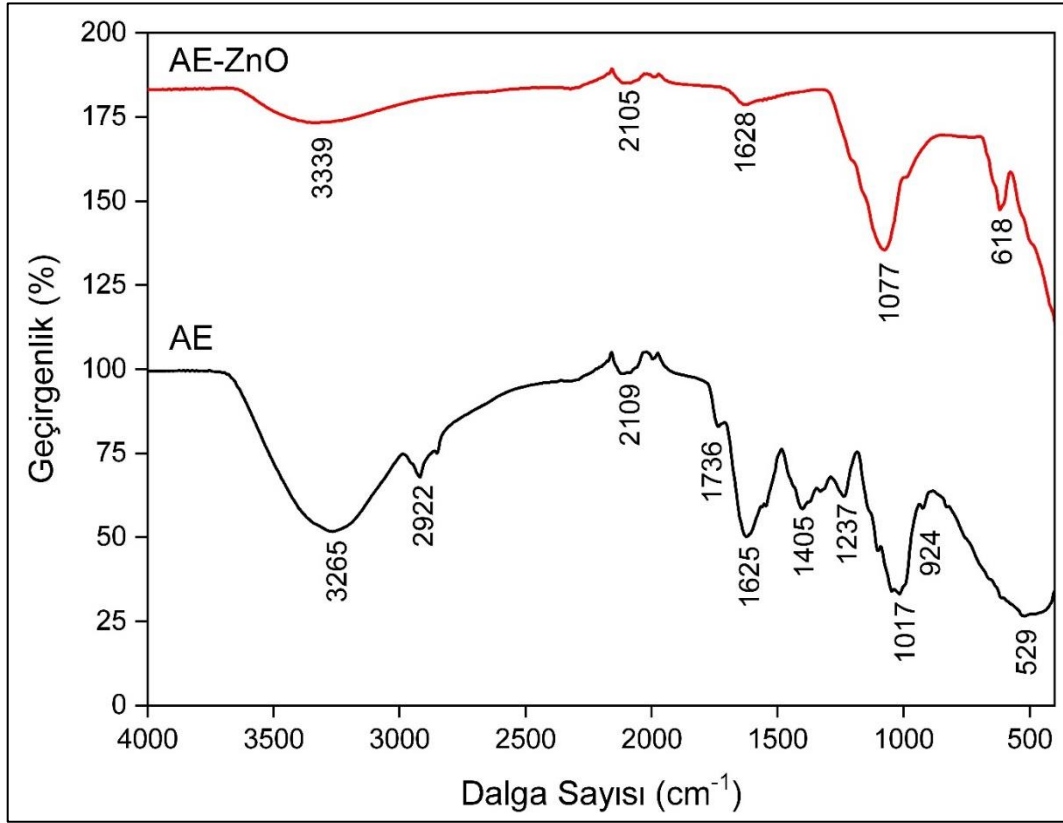
Sentezlenen AE-ZnO nanopartiküller, FTIR, UV-Vis, SEM, EDX, DLS, Zeta potansiyel ve XRD gibi analizlerle karakterize edilmiş ve görüntüleri ile birlikte sunulmuştur.

5.1.1. AE-ZnO Nanopartiküllerinin FTIR analizi

Şekil 5.1’de *Abelmoschus esculentus* meyve özütü (AE) ve yeşil sentezlenen AE-ZnO NP’leri üzerinde, özellikle AE’deki mevcut fonksiyonel gruplar ve AE-ZnO NP’lerinin indirgenmesi ve/veya kaplanması rol oynayan grupları belirlemek için FTIR spektroskopik analizi sonuçları gösterilmektedir. AE’nin FTIR spektrumu, çeşitli fonksiyonel grupların varlığını gösteren çok sayıda absorpsiyon bandı göstermektedir. 3265 cm⁻¹’de geniş bir pik, fenollerdeki bağlı bir hidroksil (O-H) grubunun gerilme titreşimine karşılık gelmekte ve 2922 cm⁻¹’de ise sp³ C-H gerilme titreşimine karşılık gelen başka bir pik görülmektedir (Patel ve Yadav, 2022). 1625 ve 1736 cm⁻¹’deki iki pik, karboksilik asitlerin C=O gerilmesine karşılık gelmekte ve 1405 cm⁻¹’de görülen pik ise C=C alken gerilmesine atfedilebilir (Happy vd., 2019; Sadeghi vd., 2015). 1237cm⁻¹’deki pik, alkollerin, eterlerin veya esterlerin CO gerilmesine ait bir asidik polisakkaritlerin ve ya glikozidik bağ göstergesine atfedilebilir (Naziruddin vd., 2023; Essa vd., 2020). 924 ve 1017 cm⁻¹’de görülen pikler özütte bulunan alkenlerin ve alkinlerin C-H titreşimini yansıtabilir (Sadeghi vd., 2015). 529 cm⁻¹’deki geniş pik, fenoller ve alkollerdeki O-H titreşimlerine veya bir alkil halojenür bağı olarak gösterilebilir (Saleh ve El-Shayeb, 2020; Sadeghi vd., 2015). 1625, 1736 ve 1405 cm⁻¹’de bulunan karbonil titreşimi ve alken gerilmesi, aromatik bileşiklerin göstergesi olabilir (Sadeghi vd., 2015).

Ayrıca AE-ZnO nanopartikülün 618 cm⁻¹’de görülen pik, 800-400 cm⁻¹ aralığında bildirilen Zn-O gerilme titreşimine atfedilebilir ve böylece AE-ZnO’nun yeşil sentezi doğrulanmaktadır. Ayrıca, 1628 ve 3339 cm⁻¹’de görünen iki pik, karbonil ve hidroksil gerilmesine karşılık gelen gruplardır (Happy vd., 2019). Hem hidroksil hem de karbonil grupları, ZnO NP’lere bağlanan (kaplanan) AE’nin fitokimyasallarında olabilir. Her iki

pikin yoğunluğunda ve bozulmasında meydana gelen azalma, AE-ZnO NP'lerin sentezi sırasında kaplanmasından kaynaklanabilecek derişimlerindeki azalmayı gösterbilir (Varshneya vd., 2010). Dahası, AE'nin spektrumunda görülen diğer fonksiyonel grupların olmayışı, bu fonksiyonel grupların Zn^{2+} 'nin Zn^0 'ye indirgenmesinde ve ardından AE-ZnO NP'lerinin sentezlenmesinde görev aldığını gösterebilir (Guirguis, 2023).

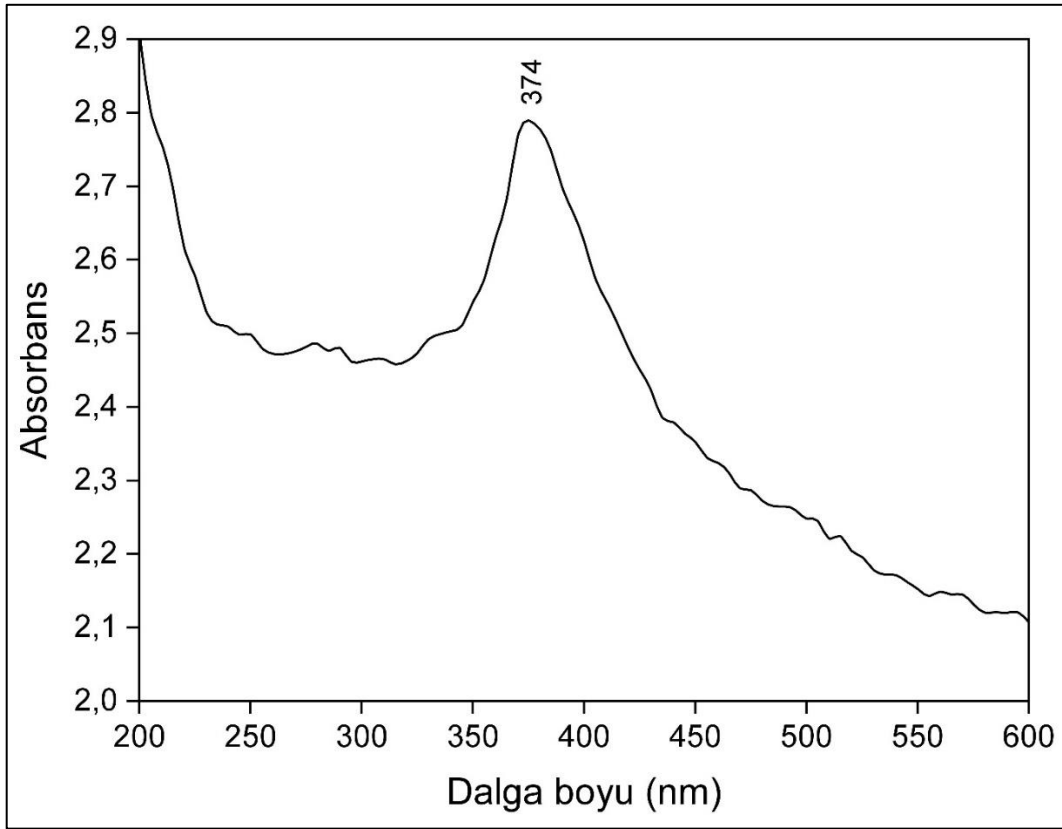


Şekil 5.1. AE ve AE-ZnO nanopartiküllerinin FTIR Spektrumu

5.1.2. AE-ZnO Nanopartiküllerinin UV-Vis analizi

Oda sıcaklığında 200-600 nm dalga boyu bölgesinde AE-ZnO NP'lerinin yeşil sentezini doğrulamak için UV-Vis spektroskopisi gerçekleştirildi. Şekil 5.2'de gösterildiği gibi, UV-Vis absorpsiyon spektrumu, maksimum absorbansın yaklaşık 374 nm'de mevcut olduğunu ve bunun ZnO NP'leri için ayırt edici tepe absorbans değerini temsil ettiğini ortaya koydu. ZnO NP'lerinin yüzey plazmon rezonansı (SPR), gelen ışığın absorpsiyonunun serbest iletim bandı elektronlarının toplu salınımının bir sonucu olduğu bu pikin nedeni olarak gösterilmektedir (Narayana vd., 2020). Ayrıca, spektrumda belirgin olan başka tepe gözlemlenmediğinden saf AE-ZnO NP'lerinin başarılı bir şekilde sentezlendiğini doğrulamaktadır. 374 nm'de bir absorbans tepesinin varlığı, ZnO

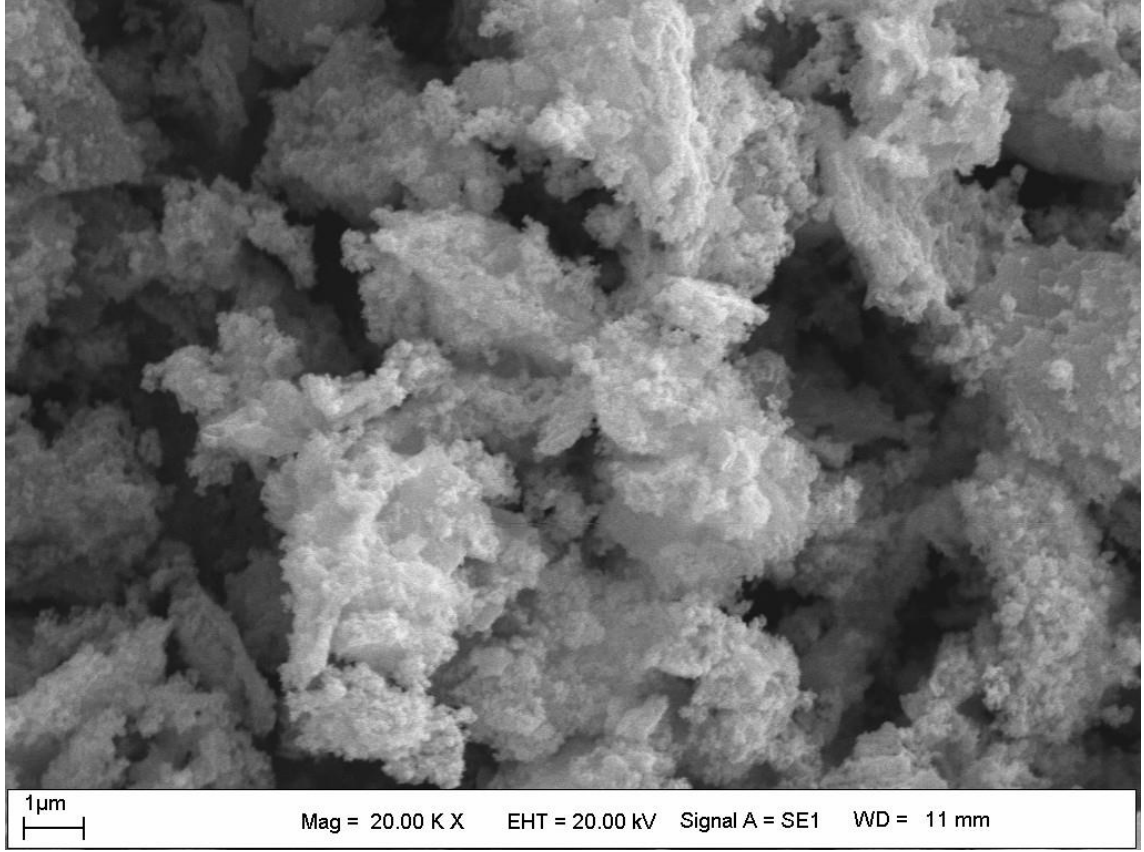
NP'lerinin 340 ila 380 nm arasında optik absorpsiyon gösterdiğine dair literatürdeki raporlarla uyumluluk göstermektedir (El Golli vd., 2023; Mongy ve Shalaby, 2024).



Şekil 5.2. AE-ZnO nanopartikülün UV-Vis spektrumu

5.1.3. AE-ZnO Nanopartiküllerinin SEM analizi

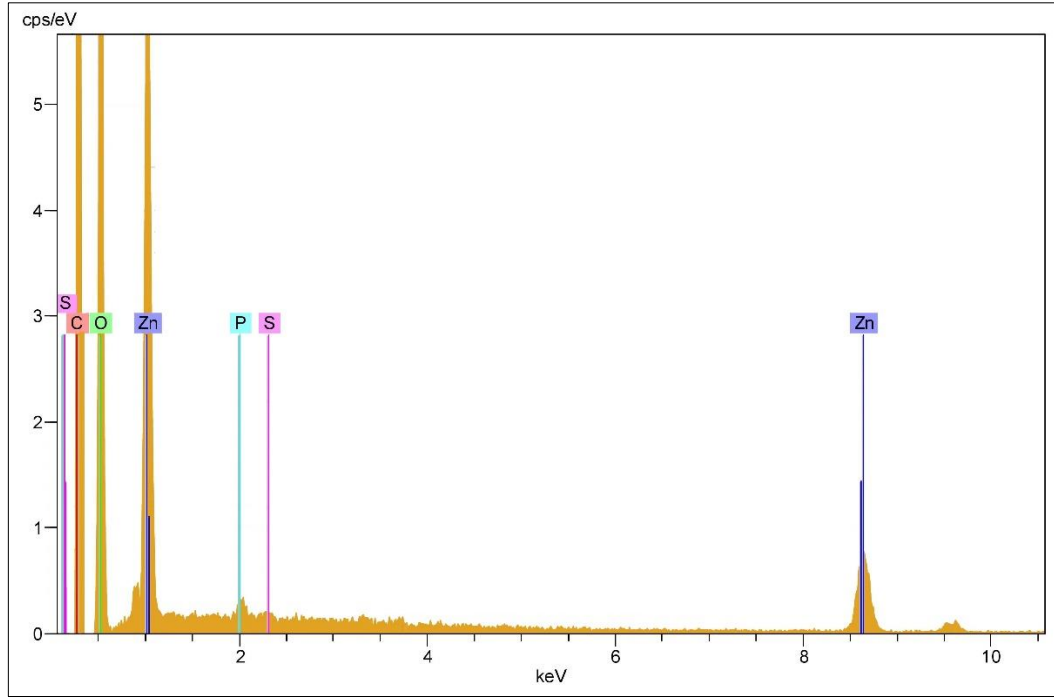
Sentezlenen AE-ZnO NP'lerin şekli ve yapısı SEM analizleri ile belirlendi (Şekil 5.3). AE-ZnO NP'lerin görüntüsü nano boyutta aralığa, küresel şekle ve düzgün dağılıma sahip olduğunu kanıtladı. Literatür incelendiğinde SEM sonuçları farklı çinko tuzlarının kullanılmasının nanopartiküllerin şeklini etkilediğini göstermiştir. Çinko asetat öncül olarak kullanıldığında çinko oksit molekülleri yavaşça büyümekte ve küçük küresel yapılar oluşturmaktadır. Diğer taraftan çinko nitrat öncül olarak kullanıldığında küresel ZnO NP'ler elde edilmekte ve nanopartiküller çiçek şeklinde demetler oluşturarak sentezlenmekte ve kümelenme göstermektedir. Bu kümelenme, ZnO nanopartiküllerinin polaritesinden ve elektrostatik çekiminden kaynaklanır (Raut vd., 2021; Moalwi vd., 2024).



Şekil 5.3. AE meyve özütünden sentezlenen AE-ZnO NP'lerin SEM görüntüsü

5.1.4. AE-ZnO Nanopartiküllerinin EDX analizi

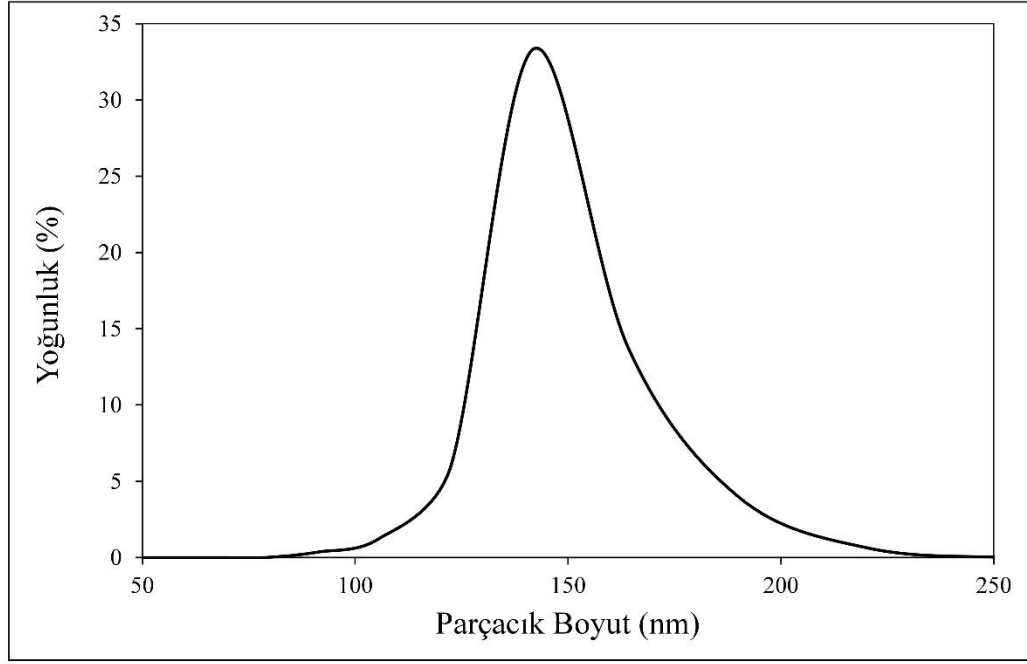
AE-ZnO'nun elementel bileşimi, Şekil 5.4'te gösterildiği gibi EDX analizi ile belirlenmiştir. AE-ZnO'nun EDX spektrumu, incelendiğinde elementel kütle içeriklerinin %50,07 karbon, %22,80 çinko ve %25,87 oksijen içerdiği göstermektedir. Bu EDX sonuçları, AE-ZnO nanopartiküllerinin biyosentezini ve çinko nanopartiküllerinin saf çinko formundan ziyade oksit formunda bulunduğunu daha da doğrulamaktadır. Spektrumlar ayrıca AE-ZnO nanopartiküllerinin kükürt ve fosfor gibi az miktarda safsızlıktan oluştuğunu gösterdi. Safsızlıklar, bitki özütünde bulunan biyolojik kökenli elementlerden kaynaklanabilir (Khalil ve Alqahtany, 2020).



Şekil 5.4. AE-ZnO nanopartiküllerinin EDX analizi

5.1.5. AE-ZnO Nanopartiküllerinin DLS analizi

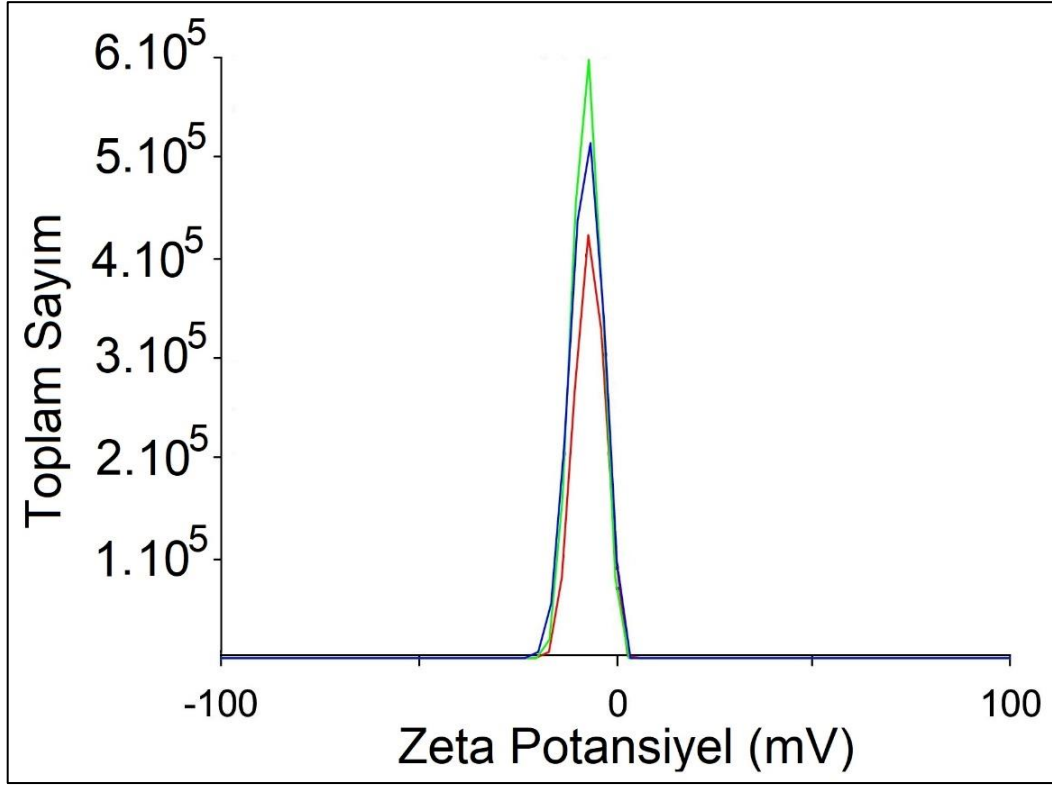
Parçacık boyutu, Zetasizer (Malvern, Birleşik Krallık) kullanılarak DLS yöntemi (kolloidal çözeltilerdeki parçacıkların boyutunu belirlemek için yaygın bir yaklaşım) ile ölçülmüştür. Zetasizer cihaz, 250 Da'nın altındaki molekül ağırlığı (MW) için hassasiyete sahip %0,00001 ile %40 arasında değişen konsantrasyonlarda sıvılarda asılı numunelerin parçacık boyutlarını ölçebilir. Şekil 5,5'te DLS tekniği kullanılarak, biyosentezlenen AE-ZnO NP'lerinin ortalama parçacık boyutu gösterilmektedir. Şekil 5.5'te gösterildiği gibi, AE-ZnO NP'lerinin elde edilen ortalama parçacık boyutu yaklaşık 141,7 nm'lik hidrodinamik çapa sahip küçük bir agregasyon göstermektedir (Abdelbaky vd., 2023; Alyamani vd., 2021).



Şekil 5.5. Biyosentezlenen AE-ZnO NP'lerin parçacık boyut dağılımı

5.1.6. AE-ZnO Nanopartiküllerinin Zeta Potansiyel analizi

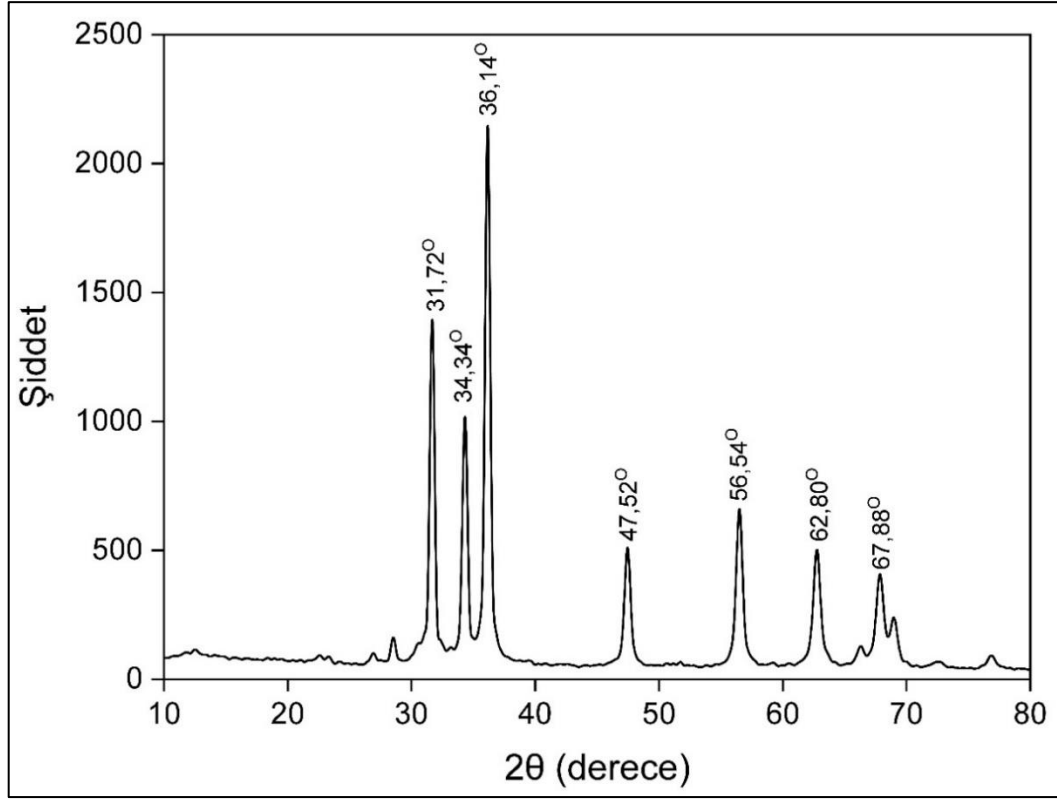
AE meyve özütü kullanılarak biyosentezlenen AE-ZnO NP'lerinin yüzey yükünü tespit etmek için zeta potansiyel analizi yapılmıştır. Sentezlenen AE-ZnO nanopartiküllerinin üç tekrarlı ölçün sonrasında ortalama zeta potansiyel değerinin -7,42 mV olduğu Şekil 5.6'da gösterilmektedir. Bu sonuç, biyosentez yoluyla elde edilen AE-ZnO NP'lerde bulunan biyomoleküllerin çoğunlukla negatif yüklü gruplardan oluştuğunu doğrulamaktadır (Barzinjy ve Azeez, 2020). AE-ZnO NP'lerinin tespit edilen negatif yükü, sentezlenen nanopartiküller arasındaki elektrostatik itmeyi ortaya koymaktadır (Yassin vd., 2022).



Şekil 5.6. AE-ZnO nanopartiküllerinin zeta potansiyeli grafiği

5.1.7. AE-ZnO Nanopartiküllerinin X-ışını kırınımı (XRD) analizi

Yeşil yöntem kullanılarak sentezlenen ve kristalinitesi iki teta (2θ) değeri arasında kalan AE-ZnO NP'ler XRD tekniği kullanılarak incelenmiştir (Şekil 5.7). Spektrumlar incelendiğinde (100), (002), (101), (102), (110), (103) ve (112) noktalarında, Bragg yasasının yansımaları olarak yedi belirgin pik görülebilmekte ve sırasıyla $31,72^\circ$, $34,34^\circ$, $36,14^\circ$, $47,52^\circ$, $56,54^\circ$, $62,8^\circ$ ve $67,88^\circ$ olmak üzere 2θ değeri bulunmaktadır. Elde edilen sonuçlar, AE-ZnO NP'nünün kristalinitesinin polikristalin wurtzit formuyla uyumlu olduğunu göstermiştir (Almuhayawi vd., 2024). Elde edilen sonuçlar, yeşil yöntem kullanılarak sentezlenen AE-ZnO NP'lerin kristalin olduğunu gösteren XRD deseniyle desteklenmiştir (Vijayakumar vd., 2022). Son zamanlarda, çeşitli tepe noktaları kabaca (101), (102), (101), (260) ve (101) kırınım düzlemlerine karşılık gelmiştir. Sonuçlar, biyolojik olarak üretilen AE-ZnO NP'lerin wurtzit bileşimini doğrulamaktadır (Azim vd., 2022).



Şekil 5.7. AE'nin meyve özütünden sentezlenen AE-ZnO NP'lerin XRD deseni

6. SONUÇLAR

Sonuç olarak bu tez çalışmasında, AE-ZnO nanopartiküller, çinko sülfat heptahidrat ve *Abelmoschus esculentus* (AE) meyvesinin özütü kullanılarak yeşil yöntemle başarılı bir şekilde sentezlenmiştir. Bulgular, AE-ZnO NP'lerinin sentezlenmesi sürecinde AE meyve özütündeki fitokimyasalların, indirgeyici ve stabilizatör görevi görerek reaksiyona dahil olduğunu ortaya koymuştur. AE-ZnO NP'ler, FT-IR, SEM, UV-Vis, EDX, XRD, DLS ve zeta potansiyel teknikleriyle karakterize edilmiştir. AE-ZnO NP'lerinin, FTIR spektrumunda 618 cm^{-1} 'de görülen pikin Zn-O gerilme titreşimini belirttiği sonucuna varılmıştır. AE-ZnO NP'lerinin UV-Vis analizinde, 377 nm 'de maksimum emilim dalga boyuna sahiptir. Ayrıca, SEM görüntüleri, AE-ZnO NP'lerinin morfolojisinin küresel bir şekle sahip olduğunu göstermiştir. AE-ZnO NP'lerinin elementel bileşimi EDX ile belirlenmiş ve EDX spektrumunda bulunan elementlerin sırasıyla %50,07, %22,80 ve %25,87 ağırlık yüzdesi ile karbon, çinko ve oksijen olduğu kanıtlanmıştır. XRD difraktogramı, ZnO NP'lerinin kristal yapıya sahip hekzagonal wurtzit bir yapıya ve $48,90\text{ nm}$ kristalit boyutuna sahip olduğunu göstermiştir. Dahası, sentezlenen AE-ZnO NP'lerin zeta-sizer analiz sonuçlarına göre ortalama hidrodinamik çapı $141,7\text{ nm}$ ve ortalama zeta potansiyeli yük değeri ise $-7,42\text{ meV}$ olarak ölçülmüştür.

KAYNAKLAR

- Abbes, N., Bekri, I., Cheng, M., Sejri, N., Cheikhrouhou, M., & Xu, J. (2022). Green synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles using *mulberry* fruit and their antioxidant activity. *Materials Science*, 28(2), 144-150.
- Abdelbaky, A. S., Mohamed, A. M., Sharaky, M., Mohamed, N. A., & Diab, Y. M. (2023). Green approach for the synthesis of ZnO nanoparticles using *Cymbopogon citratus* aqueous leaf extract: characterization and evaluation of their biological activities. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 10(1), 63.
- Abdel-Haleem, F. M., Gamal, E., Rizk, M. S., El Nashar, R. M., Anis, B., Elnabawy, H. M., ... & Barhoum, A. (2020). t-Butyl calixarene/Fe₂O₃@ MWCNTs composite-based potentiometric sensor for determination of ivabradine hydrochloride in pharmaceutical formulations. *Materials Science and Engineering: C*, 116, 111110.
- Ahmed, H. E., Iqbal, Y., Aziz, M. H., Atif, M., Batool, Z., Hanif, A., ... & Ahmad, H. (2021). Green synthesis of CeO₂ nanoparticles from the *Abelmoschus esculentus* extract: evaluation of antioxidant, anticancer, antibacterial, and wound-healing activities. *Molecules*, 26(15), 4659.
- Akhtar, K., Khan, S. A., Khan, S. B., & Asiri, A. M. (2018). Scanning electron microscopy: Principle and applications in nanomaterials characterization. In *Handbook of materials characterization* (pp. 113-145). Cham: Springer International Publishing.
- Alam, S., Hafeez, A., Ansari, J. A., Kaushal, V., & Kushwaha, S. P. (2025). Intranasal delivery of drug-loaded polymeric nanomicelles for brain targeting: a comprehensive review. *Journal of Nanoparticle Research*, 27(7), 173.
- Albo Hay Allah, M. A., & Alshamsi, H. A. (2024). Green synthesis of ZnO NPs using *Pontederia crassipes* leaf extract: characterization, their adsorption behavior and anti-cancer property. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(9), 10487-10500.
- Almuhayawi, M. S., Alruhaili, M. H., Soliman, M. K., Tarabulsi, M. K., Ashy, R. A., Saddiq, A. A., ... & Salem, S. S. (2024). Investigating the in vitro antibacterial, antibiofilm, antioxidant, anticancer and antiviral activities of zinc oxide nanoparticles biofabricated from *Cassia javanica*. *Plos One*, 19(10), e0310927.
- Al-Sheddi, E. S., Farshori, N. N., Al-Oqail, M. M., Al-Massarani, S. M., Saquib, Q., Wahab, R., Siddiqui, M. A. (2018). Anticancer potential of green synthesized silver nanoparticles using extract of *Nepeta deflersiana* against human cervical cancer cells (HeLA). *Bioinorganic Chemistry and Applications*, 2018(1), 9390784.

- Altammar, K. A. (2023). A review on nanoparticles: characteristics, synthesis, applications, and challenges. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1155622.
- Álvarez-Chimal, R., García-Pérez, V. I., Álvarez-Pérez, M. A., & Arenas-Alatorre, J. Á. (2021). Green synthesis of ZnO nanoparticles using a *Dysphania ambrosioides* extract. Structural characterization and antibacterial properties. *Materials Science and Engineering: C*, 118, 111540.
- Alyamani, A. A., Albukhaty, S., Aloufi, S., AlMalki, F. A., Al-Karagoly, H., & Sulaiman, G. M. (2021). Green fabrication of zinc oxide nanoparticles using phlomis leaf extract: characterization and in vitro evaluation of cytotoxicity and antibacterial properties. *Molecules*, 26(20), 6140.
- Azim, Z., Singh, N. B., Khare, S., Singh, A., Amist, N., & Yadav, R. K. (2022). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Vernonia cinerea* leaf extract and evaluation as nano-nutrient on the growth and development of tomato seedling. *Plant Nano Biology*, 2, 100011.
- Azizi, S., Mohamad, R., Bahadoran, A., Bayat, S., Rahim, R. A., Ariff, A., & Saad, W. Z. (2016). Effect of annealing temperature on antimicrobial and structural properties of bio-synthesized zinc oxide nanoparticles using flower extract of *Anchusa italica*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 161, 441-449.
- Baig, N., Kammakakam, I., & Falath, W. (2021). Nanomaterials: A review of synthesis methods, properties, recent progress, and challenges. *Materials Advances*, 2(6), 1821-1871.
- Banerjee, P., Satapathy, M., Mukhopahayay, A. and Das, P., 2014. Leaf extract mediated green synthesis of silver nanoparticles from widely available Indian plants: synthesis, characterization, antimicrobial property and toxicity analysis. *Bioresources and Bioprocessing*, 1(1), 3.
- Barzinjy, A. A., & Azeez, H. H. (2020). Green synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles using *Eucalyptus globulus Labill.* leaf extract and zinc nitrate hexahydrate salt. *SN Applied Sciences*, 2(5), 991.
- Batool, M., Khurshid, S., Qureshi, Z., & Daoush, W. M. (2021). Adsorption, antimicrobial and wound healing activities of biosynthesised zinc oxide nanoparticles. *Chemical Papers*, 75(3), 893-907.
- Bayda, S., Adeel, M., Tuccinardi, T., Cordani, M., & Rizzolio, F. (2019). The history of nanoscience and nanotechnology: from chemical–physical applications to nanomedicine. *Molecules*, 25(1), 112.
- Bhattarai, A. (2024). Green Synthesis of Silver/Zinc Oxide Nanocomposites using Leaf Extract of *Desmostachya Bipinnata (Kush)* and Study of Its Photocatalytic Activities (Doctoral Dissertation, Amrit Campus).
- Bhushan, B. (Ed.). (2017). *Springer handbook of nanotechnology*. Springer. pp. 15–38.

- Borysiewicz, M. A. (2019). ZnO as a functional material, a review. *Crystals*, 9(10), 505.
- Wisz, G., Virt, I., Sagan, P., Potera, P., & Yavorskyi, R. (2017). Structural, optical and electrical properties of zinc oxide layers produced by pulsed laser deposition method. *Nanoscale Research Letters*, 12(1), 253.
- Caracciolo, A. B., Topp, E., & Grenni, P. (2015). Pharmaceuticals in the environment: biodegradation and effects on natural microbial communities. A review. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 106, 25-36.
- Chan, Y. B., Aminuzzaman, M., Rahman, M. K., Win, Y. F., Sultana, S., Cheah, S. Y., ... & Tey, L. H. (2024). Green synthesis of ZnO nanoparticles using the mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) leaf extract: Comparative preliminary in vitro antibacterial study. *Green Processing and Synthesis*, 13(1), 20230251.
- Chandrasekaran, R., Yadav, S. A., & Sivaperumal, S. (2020). Phytosynthesis and characterization of copper oxide nanoparticles using the aqueous extract of *Beta vulgaris* L and evaluation of their antibacterial and anticancer activities. *Journal of cluster science*, 31(1), 221-230.
- Chennimalai, M., Vijayalakshmi, V., Senthil, T. S., & Sivakumar, N. (2021). One-step green synthesis of ZnO nanoparticles using *Opuntia humifusa* fruit extract and their antibacterial activities. *Materials Today: Proceedings*, 47, 1842-1846.
- Coleman, V. A., Bradby, J. E., Jagadish, C., Munroe, P., Heo, Y. W., Pearton, S. J., ... & Yano, M. (2005). Mechanical properties of ZnO epitaxial layers grown on a-and c-axis sapphire. *Applied Physics Letters*, 86(20).
- Colpan, C. O., Nalbant, Y., & Ercelik, M. (2018). 4.28 fundamentals of fuel cell technologies. *Comprehensive Energy Systems* (pp.1107-1130).
- Daraio, C., & Jin, S. (2011). Synthesis and patterning methods for nanostructures useful for biological applications. In *Nanotechnology for Biology and Medicine: At the Building Block Level* (pp. 27-44). New York, NY: Springer New York.
- Das, B., Dash, S. K., Mandal, D., Ghosh, T., Chattopadhyay, S., Tripathy, S., Roy, S. (2017). Green synthesized silver nanoparticles destroy multidrug resistant bacteria via reactive oxygen species mediated membrane damage. *Arabian Journal of Chemistry*, 10(6), 862-876.
- Delgado, Á. V., González-Caballero, F., Hunter, R. J., Koopal, L. K., & Lyklema, J. (2007). Measurement and interpretation of electrokinetic phenomena. *Journal of Colloid and Interface Science*, 309(2), 194-224.
- Devatha, C. P., & Thalla, A. K. (2018). Green synthesis of nanomaterials. In *Synthesis of inorganic nanomaterials* (pp. 169-184). Woodhead Publishing.
- Disci-Zayed, D. (2016). Green synthesis of nanoparticles (Doctoral Dissertation).
- Djamila, B., Eddine, L. S., Abderrhmane, B., Nassiba, A., & Barhoum, A. (2024). In vitro antioxidant activities of copper mixed oxide (CuO/Cu₂O) nanoparticles produced

- from the leaves of *Phoenix dactylifera* L. Biomass Conversion and Biorefinery, 14(5), 6567-6580.
- Dulub, O., Boatner, L. A., & Diebold, U. (2002). STM study of the geometric and electronic structure of ZnO (0001)-Zn,(0001)-O,(1010), and (1120) surfaces. Surface Science, 519(3), 201-217.
- Eker, F., Duman, H., Akdaşçi, E., Bolat, E., Sarıtaş, S., Karav, S., & Witkowska, A. M. (2024). A Comprehensive Review of Nanoparticles: From Classification to Application and Toxicity. Molecules, 29(15), 3482.
- El Golli, A., Contreras, S., & Dridi, C. J. S. R. (2023). Bio-synthesized ZnO nanoparticles and sunlight-driven photocatalysis for environmentally-friendly and sustainable route of synthetic petroleum refinery wastewater treatment. Scientific Reports, 13(1), 20809.
- El-Beshlawy, M. M., Abdel-Haleem, F. M., & Barhoum, A. (2021). Molecularly imprinted potentiometric sensor for nanomolar determination of pioglitazone hydrochloride in pharmaceutical formulations. Electroanalysis, 33(5), 1244-1254.
- Essa, H. L., Abdelfattah, M. S., Marzouk, A. S., Guirguis, H. A., & El-Sayed, M. M. (2020). Nano-formulations of copper species coated with sulfated polysaccharide extracts and assessment of their phytotoxicity on wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings in seed germination, foliar and soil applications. Applied sciences, 10(18), 6302.
- Eswari, K. M., Asaithambi, S., Karuppaiah, M., Sakthivel, P., Balaji, V., Ponelakkia, D. K., ... & Vijayaprabhu, N. (2022). Green synthesis of ZnO nanoparticles using *Abutilon Indicum* and *Tectona Grandis* leaf extracts for evaluation of anti-diabetic, anti-inflammatory and in-vitro cytotoxicity activities. Ceramics International, 48(22), 33624-33634.
- Fang, T. H., Chang, W. J., & Lin, C. M. (2007). Nanoindentation characterization of ZnO thin films. Materials Science and Engineering: A, 452, 715-720.
- Findik, F. (2021). Nanomaterials and their applications. Periodicals of Engineering and Natural Sciences, 9(3), 62-75.
- Ganjali, M., Ganjali, M., Sereshki, M. M. A., Ahmadinasab, N., Ghalandarzadeh, A., Aljabali, A. A., & Barhoum, A. (2022). Bionanomaterials for cancer therapy. In *Bionanotechnology: Emerging Applications of Bionanomaterials* (pp. 443-468). Elsevier.
- Gmoshinski, I. V., Khotimchenko, S. A. E., Popov, V. O., Dzantiev, B. B., Zherdev, A. V., Demin, V. F., & Buzulukov, Y. P. (2013). Nanomaterials and nanotechnologies: methods of analysis and control. Russian Chemical Reviews, 82(1), 48-76.
- Gokarna, A., Parize, R., Kadiri, H., Nomenyo, K., Patriarche, G., Miska, P., & Lerondel, G. (2014). Highly crystalline urchin-like structures made of ultra-thin zinc oxide nanowires. Rsc Advances, 4(88), 47234-47239.

- Guirguis, H. (2023). Adsorption of Antibiotics in Wastewater by *Stevia rebaudiana* Zinc Oxide Nanoparticles (Master's Thesis, the American University in Cairo). AUC Knowledge Fountain.
- Hamimed, S., Jebli, N., Othmani, A., Hamimed, R., Barhoum, A., & Chatti, A. (2022). Nanocelluloses for removal of heavy metals from wastewater. In Handbook of Nanocelluloses: Classification, Properties, Fabrication, and Emerging Applications (pp. 1-42). Cham: Springer International Publishing.
- Happy, A., Soumya, M., Kumar, S. V., Rajeshkumar, S., Sheba, R. D., Lakshmi, T., & Nallaswamy, V. D. (2019). Phyto-assisted synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Cassia alata* and its antibacterial activity against *Escherichia coli*. Biochemistry and Biophysics Reports, 17, 208-211.
- Harish, V., Ansari, M. M., Tewari, D., Gaur, M., Yadav, A. B., García-Betancourt, M. L., Barhoum, A. (2022). Nanoparticle and nanostructure synthesis and controlled growth methods. Nanomaterials, 12(18), 3226.
- Hasnidawani, J. N., Azlina, H. N., Norita, H., Bonnia, N. N., Ratim, S., & Ali, E. S. (2016). Synthesis of ZnO nanostructures using sol-gel method. Procedia Chemistry, 19, 211-216.
- Hussein, B. Y., & Mohammed, A. M. (2021). Green synthesis of ZnO nanoparticles in grape extract: Their application as anti-cancer and anti-bacterial. Materials Today: Proceedings, 42, A18-A26.
- Ijaz, I., Gilani, E., Nazir, A., & Bukhari, A. (2020). Detail review on chemical, physical and green synthesis, classification, characterizations and applications of nanoparticles. Green Chemistry Letters and Reviews, 13(3), 223-245.
- İpek, P., Baran, M. F., Hatipoğlu, A., & Baran, A. (2024). Anticancer Activities of Zinc Oxide Nanoparticles (ZnONPs) Synthesized from *Mentha longifolia* L. Leaf Extract. Journal of the Institute of Science and Technology, 14(1), 107-114.
- Jiménez-Rosado, M., Gomez-Zavaglia, A., Guerrero, A., & Romero, A. (2022). Green synthesis of ZnO nanoparticles using polyphenol extracts from pepper waste (*Capsicum annuum*). Journal of Cleaner Production, 350, 131541.
- Jogi, I. (2024). Bacopa monnieri extract mediated green synthesis, characterisation and applications of zinc oxide nanoparticles (Doctoral Dissertation, st. Teresa's college (Autonomous) Ernakulam).
- Joudeh, N., & Linke, D. (2022). Nanoparticle classification, physicochemical properties, characterization, and applications: a comprehensive review for biologists. Journal of Nanobiotechnology, 20(1), 262.
- Karam, S. T., & Abdulrahman, A. F. (2022). Green synthesis and characterization of ZnO nanoparticles by using *Thyme* plant leaf extract. Photonics, 9(8), 594.

- Kattel, S. (2021). Green Synthesis of ZnO NPS Using *Ixora coccinea* Leaf Extract for Ethanol Sensing (Master's Thesis, Tribhuvan University).
- Khalil, M., & Alqahtany, F. Z. (2020). Comparative studies of the synthesis and physical characterization of ZnO nanoparticles using *Nerium oleander* flower extract and chemical methods. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 30(9), 3750-3760.
- Khan, S. A., Shahid, S., Hanif, S., Almoallim, H. S., Alharbi, S. A., & Sellami, H. (2021). Green synthesis of chromium oxide nanoparticles for antibacterial, antioxidant anticancer, and biocompatibility activities. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(2), 502.
- Kim, S. K., Jeong, S. Y., & Cho, C. R. (2003). Structural reconstruction of hexagonal to cubic ZnO films on Pt/Ti/SiO₂/Si substrate by annealing. *Applied Physics Letters*, 82(4), 562-564.
- Kolahalam, L.A., Viswanath, I.K., Diwakar, B.S., Govindh, B., Reddy, V., & Murthy, Y.L.N. (2019). Review on nanomaterials: Synthesis and applications. *Materials Today: Proceedings*, 18, 2182-2190.
- Kołodziejczak-Radzimska, A., & Jesionowski, T. (2014). Zinc oxide from synthesis to application: a review. *Materials*, 7(4), 2833-2881.
- Kumar, P. S., Pavithra, K. G., & Naushad, M. (2019). Characterization techniques for nanomaterials. In *Nanomaterials for solar cell applications* (pp. 97-124). Elsevier.
- Kumari, S., & Sarkar, L. (2021). A review on nanoparticles: structure, classification, synthesis & applications. *Journal of Scientific Research*, 65(8), 42-46.
- Lee, D.G., Park, S.J., Park, Y.O. and Ryu, J.I., 2008. Development of membrane filters with nanostructured porous layer by coating of metal nanoparticles sintered onto a micro-filter. *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A*, 32, 617-623.
- Liu, Y., Liu, H., Zhang, Q., & Li, T. (2017). Adjusting the proportions of {0001} facets and high-index facets of ZnO hexagonal prisms and their photocatalytic activity. *RSC Advances*, 7(6), 3515-3520.
- Lopez-Romero, S. (2009). Growth and characterization of ZnO cross-like structures by hydrothermal method. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 14, 977-982.
- Mandal, A. K., Katuwal, S., Tettey, F., Gupta, A., Bhattarai, S., Jaisi, S., Parajuli, N. (2022). Current research on zinc oxide nanoparticles: synthesis, characterization, and biomedical applications. *Nanomaterials*, 12(17), 3066.
- Mandava, K. (2017). Biological and non-biological synthesis of metallic nanoparticles: Scope for current pharmaceutical research. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 79(4), 501-512.

- Manojkumar, U., Kaliannan, D., Srinivasan, V., Balasubramanian, B., Kamyab, H., Mussa, Z. H., Palaninaicker, S. (2023). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Brassica oleracea* var. botrytis leaf extract: Photocatalytic, antimicrobial and larvicidal activity. *Chemosphere*, 323, 138263.
- Mekuye, B., & Abera, B. (2023). Nanomaterials: An overview of synthesis, classification, characterization, and applications. *Nano Select*, 4(8), 486-501.
- Merkel, T. J., Herlihy, K. P., Nunes, J., Orgel, R. M., Rolland, J. P., & DeSimone, J. M. (2010). Scalable, shape-specific, top-down fabrication methods for the synthesis of engineered colloidal particles. *Langmuir*, 26(16), 13086-13096.
- Messaoudi, O., Bendahou, M. (2020). Biological Synthesis of Nanoparticles Using Endophytic. *Nanotechnology and the Environment*, (pp.37-54) IntechOpen.
- Moalwi, A., Kamat, K., Muddapur, U. M., Aldoah, B., AlWadai, H. H., Alamri, A. M., More, S. S. (2024). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles from *Wodyetia bifurcata* fruit peel extract: multifaceted potential in wound healing, antimicrobial, antioxidant, and anticancer applications. *Frontiers in Pharmacology*, 15, 1435222.
- Mongy, Y., & Shalaby, T. (2024). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Rhus coriaria* extract and their anticancer activity against triple-negative breast cancer cells. *Scientific Reports*, 14(1), 13470.
- Moodley, K. G., Arumugam, V., & Barhoum, A. (2022). Nanocellulose-based materials for wastewater treatment. In *Handbook of Nanocelluloses: Classification, Properties, Fabrication, and Emerging Applications* (pp. 809-841). Cham: Springer International Publishing.
- Nagajyothi, P. C., Cha, S. J., Yang, I. J., Sreekanth, T. V. M., Kim, K. J., & Shin, H. M. (2015). Antioxidant and anti-inflammatory activities of zinc oxide nanoparticles synthesized using *Polygala tenuifolia* root extract. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 146, 10-17.
- Narayana, A., Bhat, S. A., Fathima, A., Lokesh, S. V., Surya, S. G., & Yelamaggad, C. V. (2020). Green and low-cost synthesis of zinc oxide nanoparticles and their application in transistor-based carbon monoxide sensing. *RSC Advances*, 10(23), 13532-13542.
- Naveed Ul Haq, A., Nadhman, A., Ullah, I., Mustafa, G., Yasinzi, M., & Khan, I. (2017). Synthesis approaches of zinc oxide nanoparticles: the dilemma of ecotoxicity. *Journal of Nanomaterials*, 2017(1), 8510342.
- Naziruddin, M. A., Kian, L. K., Jawaaid, M., Fouad, H., Sanny, M., & Braganca, R. M. (2023). Sage biomass powders by supercritical fluid extraction and hydro-distillation techniques: a comparative study of biological and chemical properties. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(14), 13091-13101.
- Pan, S., Goudoulas, T. B., Jeevanandam, J., Tan, K. X., Chowdhury, S., & Danquah, M. K. (2021). Therapeutic applications of metal and metal-oxide nanoparticles:

- Dermato-cosmetic perspectives. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9, 724499.
- Paramasivam, G., Palem, V. V., Sundaram, T., Sundaram, V., Kishore, S. C., & Bellucci, S. (2021). Nanomaterials: Synthesis and applications in theranostics. *Nanomaterials*, 11(12), 3228.
- Patel, R. V., & Yadav, A. (2022). Photocatalytic MIL101 (Fe)/ZnO chitosan composites for adsorptive removal of tetracycline antibiotics from the aqueous stream. *Journal of Molecular Structure*, 1252, 132128.
- Patra, J. K., & Baek, K. H. (2014). Green nanobiotechnology: factors affecting synthesis and characterization techniques. *Journal of Nanomaterials*, 2014(1), 417305.
- Pattanayak, U. (2013). Green synthesis of zinc nano particle by microbes (Doctoral Dissertation).
- Piri, N., Shams-Nateri, A., & Mokhtari, J. (2016). The relationship between refractive index and optical properties of absorbing nanoparticle. *Color Research & Application*, 41(5), 477-483.
- Priyadarshana, G., Kottegoda, N., Senaratne, A., de Alwis, A., & Karunaratne, V. (2015). Synthesis of magnetite nanoparticles by top-down approach from a high purity ore. *Journal of Nanomaterials*, 2015(1), 317312.
- Raha, S., & Ahmaruzzaman, M. (2022). ZnO nanostructured materials and their potential applications: progress, challenges and perspectives. *Nanoscale Advances*, 4(8), 1868-1925.
- Rahman, B. A., Viphavakit, C., Chitaree, R., Ghosh, S., Pathak, A. K., Verma, S., & Sakda, N. (2022). Optical fiber, nanomaterial, and thz-metasurface-mediated nanobiosensors: A Review. *Biosensors*, 12(1), 42.
- Raki, L., Beaudoin, J., Alizadeh, R., Makar, J., & Sato, T. (2010). Cement and concrete nanoscience and nanotechnology. *Materials*, 3(2), 918-942.
- Ramesh, M., Anbuvarnan, M., & Viruthagiri, G. J. S. A. P. A. M. (2015). Green synthesis of ZnO nanoparticles using *Solanum nigrum* leaf extract and their antibacterial activity. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 136, 864-870.
- Raut, S. K., Mondal, P., Parameswaran, B., Sarkar, S., Dey, P., Gilbert, R., Singha, N. K. (2021). Self-healable ultrahydrophobic modified bio-based elastomer using Diels-Alder 'click chemistry'. *European Polymer Journal*, 146, 110204.
- Rudramurthy, G. R., & Swamy, M. K. (2018). Potential applications of engineered nanoparticles in medicine and biology: an update. *JBIC Journal of Biological Inorganic Chemistry*, 23(8), 1185-1204.

- Sadeghi, B., Mohammadzadeh, M., & Babakhani, B. (2015). Green synthesis of gold nanoparticles using *Stevia rebaudiana* leaf extracts: Characterization and their stability. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 148, 101-106.
- Sadiq, H., Sher, F., Sehar, S., Lima, E. C., Zhang, S., Iqbal, H. M., Nuhanović, M. (2021). Green synthesis of ZnO nanoparticles from *Syzygium Cumini* leaves extract with robust photocatalysis applications. *Journal of Molecular Liquids*, 335, 116567.
- Saleh, S. S., & El-Shayeb, N. S. (2020). Impact of *Spirulina platensis* and *Stevia rebaudiana* on growth and essential oil production of basil *Ocimum citriodorum*. *J. Agric. Rural Res*, 3(2), 36-45.
- Salman, H. E. (2019). Adsorption Study Of The Interaction Between Zinc Oxide Nanoparticles With Albumin And Creatinine (Doctoral Dissertation, University of Kerbala).
- Sánchez-López, E., Gomes, D., Esteruelas, G., Bonilla, L., Lopez-Machado, A. L., Galindo, R., Souto, E. B. (2020). Metal-based nanoparticles as antimicrobial agents: an overview. *Nanomaterials*, 10(2), 292.
- Sani, G. D., Yakubu, A., Saidu, A., Aati, R., Sahabi, S., & Abdullahi, S. (2023). A review on industrial applications of zinc oxide nanoparticles. *International Journal of Advances in Engineering and Management*, 5, 1031-1041.
- Saranya S, Vijayarani K, Pavithra S. (2017). Green synthesis of iron nanoparticles using aqueous extract of *Musa ornata* flower sheath against pathogenic bacteria. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 79(5), 688-694.
- Sasi, S., Fasna, P. F., Sharmila, T. B., Chandra, C. J., Antony, J. V., Raman, V., Ramanathan, H. N. (2022). Green synthesis of ZnO nanoparticles with enhanced photocatalytic and antibacterial activity. *Journal of Alloys and Compounds*, 924, 166431.
- Segura, A., Sans, J. A., Manjón, F. J., Munoz, A., & Herrera-Cabrera, M. J. (2003). Optical properties and electronic structure of rock-salt ZnO under pressure. *Applied Physics Letters*, 83(2), 278-280.
- Sharma, A., Nagraik, R., Sharma, S., Sharma, G., Pandey, S., Azizov, S., Kumar, D. (2022). Green synthesis of ZnO nanoparticles using *Ficus palmata*: Antioxidant, antibacterial and antidiabetic studies. *Results in Chemistry*, 4, 100509
- Sharmila, G., Thirumarimurugan, M., & Muthukumaran, C. (2019). Green synthesis of ZnO nanoparticles using *Tecoma castanifolia* leaf extract: characterization and evaluation of its antioxidant, bactericidal and anticancer activities. *Microchemical Journal*, 145, 578-587.
- Shin, J. I., Lee, K. H., Joo, Y. H., Lee, J. M., Jeon, J., Jung, H. J., Kronbichler, A. (2019). Inflammasomes and autoimmune and rheumatic diseases: a comprehensive review. *Journal of Autoimmunity*, 103, 102299.

- Singh, T., Jyoti, K., Patnaik, A., Singh, A., Chauhan, R., & Chandel, S. S. (2017). Biosynthesis, characterization and antibacterial activity of silver nanoparticles using an endophytic fungal supernatant of *Raphanus sativus*. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 15(1), 31-39.
- Singh, V., Yadav, P., & Mishra, V. (2020). Recent advances on classification, properties, synthesis, and characterization of nanomaterials. *Green Synthesis of Nanomaterials for Bioenergy Applications*, pp. 83-97.
- Soliman, H., Elsayed, A., & Dyaa, A. (2018). Antimicrobial activity of silver nanoparticles biosynthesised by *Rhodotorula* sp. strain ATL72. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(3), 228-233.
- Sudha, P. N., Sangeetha, K., Vijayalakshmi, K., & Barhoum, A. (2018). Nanomaterials history, classification, unique properties, production and market. In *Emerging applications of nanoparticles and architecture nanostructures* (pp. 341-384). Elsevier.
- Sun, X. W., Liu, Z. J., Chen, Q. F., Lu, H. W., Song, T., & Wang, C. W. (2006). Heat capacity of ZnO with cubic structure at high temperatures. *Solid State Communications*, 140(5), 219-224.
- Sune, P. R., Jumde, K. S., Hatwar, P. R., Bakal, R. L., More, S. D., & Korde, A. V. (2024). Nanoparticles: Classification, types and applications: A comprehensive review. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 29, 190-197.
- Suresh, D., Shobharani, R. M., Nethravathi, P. C., Kumar, M. P., Nagabhushana, H., & Sharma, S. C. (2015). *Artocarpus gomezianus* aided green synthesis of ZnO nanoparticles: Luminescence, photocatalytic and antioxidant properties. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 141, 128-134.
- Szczyglewska, P., Feliczak-Guzik, A., & Nowak, I. (2023). Nanotechnology—General Aspects: A Chemical Reduction Approach to the Synthesis of Nanoparticles. *Molecules*, 28(13), 4932.
- Talebian, S., Shahnavaz, B., Nejabat, M., Abolhassani, Y., & Rassouli, F. B. (2023). Bacterial-mediated synthesis and characterization of copper oxide nanoparticles with antibacterial, antioxidant, and anticancer potentials. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11, 1140010.
- Titus, D., Samuel, E. J. J., & Roopan, S. M. (2019). Nanoparticle characterization techniques. In *Green synthesis, characterization and applications of nanoparticles* (pp. 303-319). Elsevier.
- Tong, Y., Liu, Y., Dong, L., Zhao, D., Zhang, J., Lu, Y., Fan, X. (2006). Growth of ZnO nanostructures with different morphologies by using hydrothermal technique. *The Journal of Physical Chemistry B*, 110(41), 20263-20267.

- Tshabalala, M. A., Dejene, B. F., & Swart, H. C. (2012). Synthesis and characterization of ZnO nanoparticles using polyethylene glycol (PEG). *Physica B: Condensed Matter*, 407(10), 1668-1671.
- Varshneya, R., Bhadauriaa, S., & S Gaur, M. (2010). Biogenic synthesis of silver nanocubes and nanorods using sundried *Stevia rebaudiana* leaves. *Advanced Materials Letters*, 1(3), 232-237.
- Vayssieres, L., Keis, K., Hagfeldt, A., & Lindquist, S. E. (2001). Three-dimensional array of highly oriented crystalline ZnO microtubes. *Chemistry of Materials*, 13(12), 4395-4398.
- Velsankar, K., Venkatesan, A., Muthumari, P., Suganya, S., Mohandoss, S., & Sudhahar, S. (2022). Green inspired synthesis of ZnO nanoparticles and its characterizations with biofilm, antioxidant, anti-inflammatory, and anti-diabetic activities. *Journal of Molecular Structure*, 1255, 132420.
- Verma, S., Younis, S. A., Kim, K. H., & Dong, F. (2021). Anisotropic ZnO nanostructures and their nanocomposites as an advanced platform for photocatalytic remediation. *Journal of Hazardous Materials*, 415, 125651.
- Vignesh, K. (2025). Green Synthesis and Characterization of Zinc Oxide Nanoparticles Using Neem (*Azardirachta indica* L.) Leaf Extract. *Asian Journal of Plant Pathology*, 19(1), 27-35.
- Vijayakumar, N., Bhuvaneshwari, V. K., Ayyadurai, G. K., Jayaprakash, R., Gopinath, K., Nicoletti, M., Govindarajan, M. (2022). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Anoectochilus elatus*, and their biomedical applications. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(4), 2270-2279.
- Wang, Z. L. (2004). Zinc oxide nanostructures: growth, properties and applications. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 16(25), R829.
- Wisz, G., Virt, I., Sagan, P., Potera, P., & Yavorskyi, R. (2017). Structural, optical and electrical properties of zinc oxide layers produced by pulsed laser deposition method. *Nanoscale Research Letters*, 12(1), 253.
- Xu, J., Huang, Y., Zhu, S., Abbes, N., Jing, X., & Zhang, L. (2021). A review of the green synthesis of ZnO nanoparticles using plant extracts and their prospects for application in antibacterial textiles. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 16, 15589250211046242.
- Xu, R. (2008). Progress in nanoparticles characterization: Sizing and zeta potential measurement. *Particuology*, 6(2), 112-115.
- Yadav, A., Kumar, H., Kumar, P., Rani, G., & Maken, S. (2025). *Syzygium cumini* leaf extract mediated green synthesis of ZnO nanoparticles: A sustained release for anticancer, antimicrobial, antioxidant, and anti-corrosive applications. *Journal of Molecular Structure*, 1325, 141017.

- Yaqoob, A. A., Khan, R. M. R., & Saddique, A. (2019). Review article on applications and classification of gold nanoparticles. *International Journal of Research*, 6, 762–770
- Yassin, M. T., Mostafa, A. A. F., Al-Askar, A. A., & Al-Otibi, F. O. (2022). Facile green synthesis of zinc oxide nanoparticles with potential synergistic activity with common antifungal agents against multidrug-resistant candidal strains. *Crystals*, 12(6), 774.
- Youssef, A. M., Moustafa, H. A., Barhoum, A., Hakim, A. E. F. A. A., & Dufresne, A. (2017). Evaluation of the Morphological, Electrical and Antibacterial Properties of Polyaniline Nanocomposite Based on Zn/Al-Layered Double Hydroxides. *ChemistrySelect*, 2(27), 8553-8566.
- Zafar, S., Hasnain, Z., Aslam, N., Mumtaz, S., Jaafar, H. Z., Wahab, P. E. M., ... & Ormenisan, A. N. (2021). Impact of Zn nanoparticles synthesized via green and chemical approach on okra (*Abelmoschus esculentus* L.) growth under salt stress. *Sustainability*, 13(7), 3694.
- Zhang, H. (2015). Ultrathin two-dimensional nanomaterials. *ACS Nano*, 9(10), 9451-9469.
- Zhang, X. F., Liu, Z. G., Shen, W., & Gurunathan, S. (2016). Silver nanoparticles: synthesis, characterization, properties, applications, and therapeutic approaches. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(9), 1534.
- Zhang, X., Qin, J., Xue, Y., Yu, P., Zhang, B., Wang, L., & Liu, R. (2014). Effect of aspect ratio and surface defects on the photocatalytic activity of ZnO nanorods. *Scientific Reports*, 4(1), 4596.