

**FARKLI NANOPARTİKÜL KULLANILARAK ÇEVRE
ÖRNEKLERİNDE TELLÜR ANALİZİNDE YENİ
BİR YÖNTEM GELİŞTİRİLMESİ**

FATMA ÖTÜNÇ

KASIM 2025

DİYARBAKIR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI NANOPARTİKÜL KULLANILARAK ÇEVRE
ÖRNEKLERİNDE TELLÜR ANALİZİNDE YENİ
BİR YÖNTEM GELİŞTİRİLMESİ**

FATMA ÖTÜNÇ

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV
YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK
KİMYA ANA BİLİM DALINDA
DOKTORA TEZİ
OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

KASIM 2025

DİYARBAKIR

FARKLI NANOPARTİKÜL KULLANILARAK ÇEVRE ÖRNEKLERİNDE TELLÜR ANALİZİNDE YENİ BİR YÖNTEM GELİŞTİRİLMESİ

Fatma ÖTÜNÇ tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **Kimya Ana Bilim Dalı**'nda **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Prof. Dr. Berrin ZİYADANOĞULLARI
Danışman, **Kimya Bölümü,**
Dicle Üniversitesi

Sınav Jürisi:

Prof. Dr. İbrahim TEĞİN (*)
Kimya Bölümü, Siirt Üniversitesi

Prof. Dr. Berrin ZİYADANOĞULLARI (**)
Kimya Bölümü, Siirt Üniversitesi

Prof. Dr. Fırat AYDIN
Kimya Bölümü, Dicle Üniversitesi

Prof. Dr. Recep KARAKAŞ
Biyoloji Bölümü, Dicle Üniversitesi

Doç. Dr. İhsan ALACABEY
Sağlık Hizmetleri Bölümü, Mardin Artuklu Üniversitesi

ONAY

Savunma Tarihi: 17 / 11 / 2025

(*) Jüri Başkanı.

(**) Tez Danışmanı.



Babama...

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılıyıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımınla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyad: Fatma ÖTÜNÇ

İmza:

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı'nda gerçekleştirilmiş olup, değerli danışmanım ve aynı zamanda Kimya Anabilim Dalı Başkanı olan Prof. Dr. Berrin ZİYADANOĞULLARI'nın özverili rehberliği ve akademik desteği ile yürütülmüştür. Kendisine bilimsel katkıları, yönlendirmeleri ve çalışmam boyunca gösterdiği sabır ve anlayış için en derin teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, bilgi ve deneyimleriyle çalışmama önemli katkılar sağlayan Prof. Dr. Fırat AYDIN'a da değerli destekleri için şükranlarımı sunarım.

Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne (DÜBAP), bu tez çalışması için sağladıkları finansal destek için (Proje No: DÜBAP- FEN-22.005) teşekkürü bir borç bilirim.

Her zaman yanımda olan, manevi destekleriyle bana güç veren sevgili kız kardeşim Zeynep ÖTÜNÇ'e ve kıymetli babam Mehmet ÖTÜNÇ'e de çok teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
ÇİZELGELER LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xii
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tellür	1
1.2 Nanoteknoloji	5
1.2.1 Tarihçesi	8
1.2.2 Temel kavramlar	14
1.2.3 Nanomateryaller	15
1.2.4 Araç ve teknikler	20
1.2.5 Nanoteknolojik uygulamalar	25
1.3 Nanopartiküller Hakkında Genel Bilgi	34
1.3.1 Manyetik nanopartikül sentezi	35
1.3.2 Manyetik nanopartiküllerin uygulama alanları	41
1.3.3 Demiroksit nanopartiküller	42
1.3.4 Manyetit	44
1.3.5 Manyetizma	46
1.4 Manyetik Mineraller	49
1.5 Ekstraksiyon	51
1.5.1 Ekstraksiyon yöntemleri	52
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	54
3. MALZEME VE YÖNTEM	62

3.1	Kullanılan Kimyasallar	62
3.2	Kullanılan cihaz ve ekipmanlar	63
3.3	Deneyin Hazırlanması.....	65
3.3.1	Manyetik nano partiküllerin hazırlanması.....	65
3.3.2	Kullanılan çözeltilerin hazırlanması	68
3.4	Tellür İçin Mikro Ekstraksiyon Deneyleri	69
3.4.1	pH deneyleri.....	69
3.4.2	İlave edilen tampon miktarı deneyleri	70
3.4.3	MNP miktarı deneyleri	70
3.4.4	Çalkalama şekli deneyleri.....	71
3.4.5	Zaman Deneyleri	71
3.4.6	Sıcaklık deneyleri.....	72
3.4.7	Eluent miktarı deneyleri	72
3.4.8	LOD ve LOQ deneyleri	73
3.4.9	Gerçek örneklerden analit iyonlarının geri kazanım çalışmaları	73
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	75
4.1	Mikro Ekstraksiyona pH Etkisi	75
4.1.1	Tellürün yüzey modifikasyonlu demir oksit manyetik nanopartiküller için pH etkisi.....	75
4.1.2	Tellürün $MnFe_2(SiO_4)_2$ nanopartikülü için pH etkisi	76
4.2	Mikro Ekstraksiyona Tampon Miktarının Etkisi	77
4.2.1	Tellürün yüzey modifikasyonlu demir oksit manyetik nanopartiküller için tampon miktarının etkisi	77
4.2.2	Tellürün $MnFe_2(SiO_4)_2$ nanopartikülü için tampon miktarının etkisi	78
4.3	Manyetik Nano Partikül Miktarının Mikro Ekstraksiyona Etkisi.....	79
4.3.1	Tellürün yüzey modifikasyonlu demir oksit manyetik nanopartiküller için manyetik nano partikül miktarının etkisi.....	79

4.3.2 Tellürün $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanopartikülü için manyetik nano partikül miktarının etkisi.....	80
4.4 Çalkalama Şekli ve Çalkalama Süresinin Mikro Ekstraksiyona Etkisi.....	81
4.4.1 Tellürün yüzey modifikasyonlu demir oksit manyetik nanopartiküller için çalkalama şekli ve çalkalama süresi.....	81
4.4.2 Tellürün $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanopartikülü için çalkalama şekli ve çalkalama süresi.....	83
4.5 Mikro Ekstraksiyona Eluent Miktarının Etkisi	84
4.5.1 Tellürün yüzey modifikasyonlu demir oksit manyetik nanopartiküller için eluent miktarı	84
4.5.2 Tellürün $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanopartikülü için eluent miktarı.....	85
4.6 Mikro Ekstraksiyona Sıcaklık ve Temas Süresinin Etkisi	86
4.7 Limit of Detection (LOD) ve Limit of Quantitation (LOQ).....	87
4.8 İnterfer Etkiler.....	90
4.9 Gerçek Numunelere Uygulama.....	92
4.9.1 Yüzey modifikasyonlu demir oksit manyetik nanopartiküller için gerçek numunelere uygulamaları	92
4.9.2 $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanopartikülü için gerçek numunelere uygulamaları.....	93
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	94
KAYNAKLAR.....	97
ÖZGEÇMİŞ.....	104

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Nesnelerin Ölçeği	5
Şekil 1.2 Nanopartiküllerin vitray pencerelerin renkleri üzerindeki etkisi	9
Şekil 1.3 Küresel fullerenler	12
Şekil 1.4 Altın nanomalzeme etkin optik sinir uyarımının tasarlanmasında kritik faktörler	19
Şekil 1.5 Özüt hazırlama teknikleri, metalik tek ve hibrit nanopartikül (NP) sentezi	22
Şekil 1.6 miRNA tespiti için NG/DFP algılama platformunun şematik gösterimi	23
Şekil 1.7 İnsan beyni ve bileşenleri, çoklu uzunluk ölçeklerinde, sorgulayan elektrofizyolojik problemlerle elektrokimyasal olarak etkileşime girer. (a) insan beyninin, (b) kortikal kolonun, (c) nöronun, (d) kanal proteinleri ve lipid çift katmanları içeren nöronal membran ve (e) sorgulayan elektrot yüzeyinin şematik çizimleri.....	24
Şekil 1.8 Kanser tedavisine yönelik nanoilaçların tarihsel gelişiminin şematik gösterimi.....	28
Şekil 1.9 Nanobiyoteknolojinin ihmal edilen tropikal hastalıklar için uygulamaları	29
Şekil 1.10 İltihaplı bozukluklara ve bunları tedavi eden son teknoloji nanomedikallere örnekler.....	33
Şekil 1.11 SARS-CoV-2'nin ve S proteinleriyle işlevselleştirilmiş bir altın nanopartiküller (AuNP) olan sahte bir virüsün şematik gösterimi	34
Şekil 3.1 FAAS (Alevli Atomik Absorbsiyon Spektroskopisi) cihazı ve SQT (Yarıklı Quars Tüp).....	64
Şekil 3.2. $MnFe_2(SiO_4)_2$ nanopartikülünün sem görüntüleri.....	66
Şekil 3.3 $MnFe_2(SiO_4)_2$ nanoparçacıklarının EDS spektrumu.....	67
Şekil 3.4 XRD (X-Işını Kırınımı) Sonucu – $MnFe_2(SiO_4)_2$ Nanoparçacıkları.....	67
Şekil 3.5 $MnFe_2(SiO_4)_2$ nanoparçacıklarının EDX spektrumu ve elementel bileşim tablosu.....	68
Şekil 4.1 Te elementinin farklı pH' larda MNP yüzeyinde OAMNP Nanopartikülünde tutulumu.....	76

Şekil 4.2 Te metalinin farklı pH'larda yüzey $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ Nanopartikülünde tutulumu.....	77
Şekil 4.3 MNP' nin farklı tampon miktarlardaki Te tutulumu.....	78
Şekil 4.4 $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanopartikülünün farklı tampon miktarlardaki Te tutulumu	79
Şekil 4.5 Farklı MNP miktarlarına karşı Te metalinin tutulumu	80
Şekil 4.6 Farklı $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanopartikül miktarlarına karşı Tellür tutulumu.....	81
Şekil 4.7 MNP' nin farklı çalkalayıcılardaki Te tutulumu.....	82
Şekil 4.8 Te tutulumuna çalkalama süresinin etkisi.....	83
Şekil 4.9 $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanopartikülü için farklı çalkalayıcılardaki Te tutulumu.....	84
Şekil 4.10 $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanopartikülü Te tutulumuna çalkalama süresinin etkisi....	84
Şekil 4.11 Te tutulumuna eluent miktarının etkisi.....	85
Şekil 4.12 $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanopartikülü ile Te tutulumuna eluent miktarının etkisi...	86
Şekil 4.13 Te tutulumuna sıcaklığın etkisi.....	87
Şekil 4.14 Te tutulumuna sıcaklık temas süresi etkisi.....	87

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1.1 Bazı ağır mineraller ve bunların manyetik duyarlılıkları ve elektrostatik tepkileri.....	50
Çizelge 4.1 Tellürün Yüzey Modifikasyonlu Demir Oksit Manyetik Nanopartiküller ile sıvı faz mikro ekstraksiyonuna ilişkin parametreler.....	89
Çizelge 4.2 Tellürün Yüzey Modifikasyonlu Demir Oksit Manyetik Nanopartiküller ile sıvı faz mikro ekstraksiyonuna ilişkin değerleri.....	89
Çizelge 4.3 Tellürün $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ Nanopartikülü ile sıvı faz mikro ekstraksiyonuna ilişkin parametreler.....	90
Çizelge 4.4 Tellürün $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ Nanopartikülü ile sıvı faz mikro ekstraksiyonuna ilişkin değerleri.....	90
Çizelge 4.5 Geri kazanıma matriks iyonlarının etkisi.....	91
Çizelge 4.6 Tellürün Yüzey Modifikasyonlu Demir Oksit Manyetik Nanopartiküllerin gerçek numunelere uygulanması	92

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simge	Açıklama
mg/L	Miligram/Litre – çözelti derişim birimi
µg/L	Mikrogram/Litre – çok düşük derişimlerin ifadesi
µL	Mikrolitre – litrenin milyonda biri hacim birimi
°C	Santigrat derece – sıcaklık birimi
g/cm ³	Gram/Santimetreküp – yoğunluk birimi
%	Yüzdelik oran
\$	Dolar – para birimi
M	Metre – uzunluk birimi
m ²	Metrekare – alan birimi
ΔG	Gibbs serbest enerji değışimi
ΔS	Entropi değışimi
ΔH	Entalpi değışimi
Ph	Çözeltinin asitlik veya bazlık derecesi
Nm	Nanometre – metrenin milyarda biri uzunluk birimi
G	Gram – kütle birimi
L	Litre – hacim birimi
Mg	Miligram – gramın binde biri
Ng	Nanogram – gramın milyarda biri
T	Zaman
T	Sıcaklık
µg	Mikrogram – gramın milyonda biri

Simge	Açıklama
AAS	Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi
ICP-MS	İndüktif Eşleşmiş Plazma–Kütle Spektrometresi
ICP-OES	İndüktif Eşleşmiş Plazma–Optik Emisyon Spektroskopisi
UV-Vis	Ultraviyole–Görünür Bölge Spektroskopisi
MNP	Manyetik Nanopartikül
FAAS	Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrometresi
Te	Tellür Elementi
LCD	Sıvı Kristal Ekran (<i>Liquid Crystal Display</i>)
LED	Işık Yayan Diyot (<i>Light Emitting Diode</i>)
M.Ö.	Milattan Önce
Ppm	Milyonda Bir Oran (<i>Parts per Million</i>)
SPME	Katı Faz Mikroekstraksiyonu
SBSE	Manyetik Karıştırma Çubuğu ile Ekstraksiyon
LPME	Sıvı Faz Mikroekstraksiyonu
SDME	Asılı Damla Mikroekstraksiyonu
DLLME	Dağıtıcı Sıvı–Sıvı Mikroekstraksiyonu
SFODME	Yüzen Katı Organik Damla Mikroekstraksiyonu
HF-LPME	Oyuk Lifli (Hollow Fiber) Sıvı Faz Mikroekstraksiyonu
GC	Gaz Kromatografisi
HPLC	Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi

Simge	Açıklama
FT-IR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
ml	Mililitre
SQT	Yarıklı Kuvars Tüp
LOD	Belirlenme Sınırı (<i>Limit of Detection</i>)
LOQ	Ölçüm Sınırı (<i>Limit of Quantitation</i>)
SD	Standart Sapma (<i>Standard Deviation</i>)
Mol	Madde Miktarı Birimi
Ppb	Milyarda Bir Oran (<i>Parts per Billion</i>)
Ppt	Trilyonda Bir Oran (<i>Parts per Trillion</i>)
SRM	Standart Referans Malzeme
R ²	Korelasyon Katsayısı
Ads.	Adsorpsiyon – yüzeyde tutunma olayı

ÖZET

FARKLI NANOPARTİKÜL KULLANILARAK ÇEVRE ÖRNEKLERİNDE TELLÜR ANALİZİNDE YENİ BİR YÖNTEM GELİŞTİRİLMESİ

ÖTÜNÇ, Fatma

Doktora, Kimya Bölümü

Danışman: Prof. Dr. Berrin ZİYADANOĞULLARI

Kasım 2025, 121 sayfa

Bu çalışmada, eser miktardaki tellür (Te) iyonlarının tayini amacıyla iki farklı manyetik nanoparçacık temelli yeni bir katı faz mikroekstraksiyon (SPME) yaklaşımı geliştirilmiş ve optimize edilmiştir. Adsorban olarak oleik asit ile modifiye edilmiş manyetik demir oksit nanoparçacıklar (OAMNP) ile $MnFe_2(SiO_4)_2$ esaslı nanoparçacıklar kullanılmıştır. Her iki sistem, yarıklı kuvars tüp destekli alevli atomik absorpsiyon spektrometresi (SQT-FAAS) cihazı ile birlikte değerlendirilmiştir.

Metotta; pH, tampon hacmi, nanoparçacık miktarı, çalkalama biçimi ve süresi, sıcaklık, temas süresi ile eluent hacmi gibi parametreler tek tek incelenmiş ve deneysel olarak optimize edilmiştir.

OAMNP adsorbanı kullanıldığında en uygun koşullar; pH 8.0, 1.0 mL tampon, 50 mg nanoparçacık, 120 saniyelik manuel çalkalama ve 60 saniyelik temas süresi olarak belirlenmiştir. Bu koşullar altında belirlenme sınırı (LOD) $0.02 \mu g/L$, ölçüm sınırı (LOQ) ise $0.07 \mu g/L$ olarak elde edilmiştir. SQT sistemi, klasik FAAS yöntemine kıyasla yaklaşık 9.1 kat daha yüksek duyarlılık sağlamıştır.

$MnFe_2(SiO_4)_2$ nanoparçacıklarıyla yapılan deneylerde optimum koşullar; pH 5.0, 0.5 mL tampon, 75 mg adsorban, 105 saniye vortex çalkalama ve 60 saniye temas süresi olarak saptanmıştır. Bu durumda LOD ve LOQ değerleri sırasıyla $7.733 \mu g/L$ ve $24.776 \mu g/L$ olarak bulunmuştur.

Yöntemin seçiciliği, farklı iyonların varlığında yapılan girişim testleriyle değerlendirilmiş; geri kazanım oranlarının %92–105 aralığında olduğu belirlenmiştir. Yöntemin doğruluğunu test etmek amacıyla ticari soğuk çay örnekleri analiz edilmiş, doğal örneklerde tellür seviyesi tespit sınırının altında kalmıştır. Zenginleştirilen örneklerde ise %92–108 oranında geri kazanım elde edilmiştir.

Sonuç olarak geliştirilen SPME–SQT–FAAS yöntemi, hem OAMNP hem de $MnFe_2(SiO_4)_2$ nanoparçacıklarıyla birlikte kullanıldığında, karmaşık örnek matrislerinde düşük derişimlerdeki tellürün belirlenmesinde seçici, hassas ve uygulanabilir bir analitik alternatif sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Manyetik nanoparçacıklar, Mikroekstraksiyon, Atomik absorpsiyon spektrometresi, Tellür

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF A NEW METHOD FOR TELLURIUM ANALYSIS IN ENVIRONMENTAL SAMPLES USING DIFFERENT NANOPARTICLES

ÖTÜNÇ, Fatma

PhD in Department of Chemistry

Supervisor: Prof. Dr. Berrin ZİYADANOĞULLARI

November 2025, 121 pages

In this study, a solid phase microextraction (SPME) approach based on two different magnetic nanoparticles was developed and optimized for the determination of trace levels of tellurium (Te). Oleic acid-modified magnetic iron oxide nanoparticles (OAMNPs) and $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ -based nanoparticles were used as adsorbents. Both systems were evaluated in combination with slotted quartz tube-flame atomic absorption spectrometry (SQT-FAAS).

Parameters such as pH, buffer volume, nanoparticle amount, shaking mode and time, temperature, contact time and eluent volume were individually investigated and experimentally optimized.

For the OAMNP adsorbent, the optimum conditions were pH 8.0, 1.0 mL buffer, 50 mg nanoparticles, 120 s manual shaking and 60 s contact time. Under these conditions, a LOD of $0.02 \mu\text{g/L}$ and a LOQ of $0.07 \mu\text{g/L}$ were obtained. The incorporation of the SQT increased the analytical sensitivity by approximately 9.1-fold compared to classical FAAS.

For the $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanoparticles, the optimum conditions were pH 5.0, 0.5 mL buffer, 75 mg adsorbent, 105 s vortex shaking and 60 s contact time. Under these conditions, LOD and LOQ values of $7.733 \mu\text{g/L}$ and $24.776 \mu\text{g/L}$, respectively, were obtained.

Selectivity was evaluated by interference studies in the presence of foreign ions, and recovery values were found to be in the range of 92–105%. In the analysis of commercial cold tea samples, Te levels were below the detection limit; however, after standard addition, recoveries ranged from 92–108%.

In conclusion the developed SPME–SQT–FAAS method offers a sensitive, selective and applicable analytical alternative for the determination of trace Te in complex environmental matrices using both types of nanoparticles.

Keywords: Magnetic nanoparticles, Microextraction, Atomic absorption spectrometry, Tellurium

1. GİRİŞ

Ağır metaller, çok düşük derişimlerde bile canlılar üzerinde toksik etkiler gösterebilen elementlerdir. Bu metaller, ağız yoluyla, solunumla ya da deri temasıyla vücuda girebilir; fakat çoğu zaman böbrek, karaciğer, akciğer veya cilt gibi organlar tarafından kolaylıkla atılamazlar. Bu nedenle vücutta birikerek zamanla tiroid bozuklukları, sinir sistemi hastalıkları, otizm ve kısırlık gibi ciddi sağlık sorunlarına yol açabilirler; yüksek birikim durumunda ise ölümcül sonuçlar doğurabilirler [1].

Doğal yaşam için tehdit oluşturan ağır metaller, özellikle bitkilerde kalıcı ve olumsuz etkiler yaratır. Üretici canlılar olan bitkiler, besin zincirinin temel halkasını oluşturdıklarından, bu elementlerin bitkilerde birikmesi zincirin tamamını etkiler. Sanayileşme, takı üretimi, metal içeren kömür kullanımı ve eski su tesisatları gibi faaliyetler, ağır metallerin çevreye yayılımını hızlandırmış ve canlı yaşamı üzerindeki baskıyı artırmıştır [2].

Birçok metalin mutajenik ve kanserojen özelliklere sahip olduğu bilinmektedir. Bu tür metaller, DNA yapısında hasara neden olabilir. Araştırmalar, toksik metallerin biyolojik elementlerle benzer kimyasal ve fiziksel özellikler taşıdığını, bu yüzden vücut sistemlerinde kolayca yer değiştirebildiğini göstermektedir [3].

Son yıllarda bazı metallere yönelik “yeşil metaller” kavramı ortaya çıkmıştır. Uluslararası Enerji Ajansı’nın (IEA) raporlarına göre, 2020 yılında dünya elektrik üretiminin yalnızca %9’unu oluşturan yenilenebilir enerji kaynaklarının payının, 2050’de karbon nötr hedeflerine ulaşmak amacıyla %70’e çıkması beklenmektedir. Bu dönüşüm, özellikle alüminyum, bakır, lityum, kobalt, nikel, gümüş ve çinko gibi metallere olan talebi artırmıştır. “Yeşil enerji” teknolojilerinde kullanılan bu metaller, elektrikli araçlardan enerji depolama sistemlerine kadar geniş bir uygulama alanına sahiptir. 2030 yılı itibarıyla bu metallere olan küresel talebin yedi katına ulaşabileceği öngörülmektedir [4].

1.1 Tellür

Tellür (Te), atom numarası 52 olan, periyodik tablonun 16. grubunda yer alan ve kalkojenler sınıfına dahil bir elementtir. Gümüşe benzer parlaklıkta, yarı metal (metaloit) karakterli bir elementtir. Kimyasal özellikleri bakımından kükürt ve

selenyum elementleriyle yakın benzerlik gösterir. Oksijen, kükürt, selenyum ve tellür aynı grup içinde yer alarak kalkojen ailesini oluşturur. Tellür, yer kabuğunda oldukça düşük bollukta bulunan elementlerden biridir. Bu kıtlığın, Dünya'nın ilk oluşum döneminde yüksek sıcaklıklarda buharlaşan tellür bileşiklerinin uzaya dağılmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir [5].

Tellürün keşfi 1782 yılında, Avusturyalı mineralog Franz-Joseph Müller von Reichenstein tarafından Transilvanya'da bir altın cevherinde gerçekleştirilmiştir. Ancak elemente "tellür" adı, 1798'de Martin Heinrich Klaproth tarafından verilmiştir. Bu ad, Latince "toprak" anlamına gelen tellus kelimesinden türetilmiştir. Metalik parlaklığa sahip olan tellür, hem metalik hem de ametalik özellikler sergilediğinden metaloid olarak sınıflandırılır. Doğada saf halde çok nadir bulunur; genellikle altın ve diğer değerli metallerle birlikte kompleks mineral yapılarında yer alır. Tellür içeren bu mineraller, ekonomik açıdan yüksek değere sahip cevherler olarak değerlendirilir. Endüstriyel açıdan tellür, yüksek sıcaklıklara dayanıklı yapısı nedeniyle elektronik ve yarı iletken teknolojilerinde önemli bir malzemedir. Ayrıca güneş enerjisi panellerinde, optik sistemlerde, termoelektrik dönüştürücülerde ve radyasyon dedektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle tıbbi görüntüleme ve radyoterapi uygulamalarında, tellür içeren bileşikler radyasyonu algılayabilme özellikleri sayesinde büyük önem taşır. Dolayısıyla tellür, hem teknolojik hem de bilimsel araştırmalarda stratejik bir element olarak öne çıkmaktadır [6].

Tellür, nadir bulunmasına rağmen sanayi açısından kritik bir öneme sahiptir. Kadmyum tellür (CdTe) bileşiği, fotovoltaik teknolojilerde (güneş panellerinde) yüksek verimliliği ve düşük üretim maliyeti nedeniyle en çok tercih edilen malzemelerden biridir. CdTe panelleri, diğer güneş pili türlerine göre daha kısa enerji geri dönüş süresine ve daha düşük karbon ayak izine sahiptir. Ayrıca, tellür içeren termoelektrik malzemeler, ısı enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürerek enerji verimliliğini artırır ve atık ısının yeniden kullanılmasına olanak tanır. Bu malzemeler, otomotivden uzay araştırmalarına kadar pek çok alanda değerlendirilmektedir.

Tellür ayrıca bakır ve çelik alaşımlarında da kullanılarak bu metallerin işlenebilirliğini ve mekanik dayanımını artırır. Cam ve seramik üretiminde ise renk verici ajan olarak mavi ve kahverengi tonların elde edilmesinde tercih edilir. Elektronik devrelerde, yarı iletkenlerde ve katalitik reaksiyonlarda da önemli rol oynar. Günümüzde, stratejik önemi giderek artan tellür; yenilenebilir enerji sistemleri, ileri malzemeler ve mikroelektronik teknolojileri için vazgeçilmez bir element haline gelmiştir [7].

Tellür, canlı organizmalar için bilinen doğrudan bir biyolojik işlev taşımamakla birlikte, bazı mikroorganizmalar ve mantar türleri bu elementi sınırlı biyokimyasal süreçlerinde kullanabilmektedir. Bu canlılar, amino asit yapısında yer alan kükürt veya selenyum atomlarını tellür ile değiştirerek tellürosistein ve tellurometiyonin gibi tellür içeren amino asitler sentezleyebilirler. Bu özel bileşikler, mikroorganizmaların tellür bakımından zengin ortamlarda yaşamlarını sürdürebilmelerini ve toksik etkilere karşı direnç kazanmalarını sağlar. Ayrıca, bu organizmaların, tellürün zararlı etkilerini azaltmak amacıyla geliştirdikleri biyolojik detoksifikasyon mekanizmaları bulunduğu düşünülmektedir.

İnsan vücudunda ise tellür, karaciğerde metabolize edilerek dimetil tellürit ((CH₃)₂Te) gibi uçucu bileşiklere dönüştürülür. Bu bileşik, tellüre maruz kalan bireylerin nefesinde hissedilen sarımsak benzeri kokudan sorumludur. Tellür maruziyeti, nörolojik, gastrointestinal ve metabolik rahatsızlıklar dahil olmak üzere bir dizi toksik etkiye neden olabilir. Akut maruziyet, kısa süreli yüksek dozlara bağlı zehirlenme belirtileri oluştururken; kronik maruziyet, uzun süre düşük miktarlarda tellürle temas sonucu gelişir. Bu durumlarda mide bulantısı, baş dönmesi, kas zayıflığı ve sinir sistemi bozuklukları gözlemlenebilir.

Tellür esas olarak karaciğerde metillenme reaksiyonlarıyla metabolize edilir ve bu süreç sonunda uçucu organik bileşiklere dönüştürülerek solunum yoluyla vücuttan uzaklaştırılır. Endüstriyel üretim alanlarında çalışanlar ve çevresel kirlenmeye maruz kalan topluluklar için tellürün solunum veya cilt temasıyla alınması ciddi bir risk oluşturur. Tellür, metalurjik işlemler ve çeşitli sanayi uygulamaları yoluyla çevreye yayılabilir; toprak, su ve biyota içinde birikerek ekosistemlerde kalıcı etkilere neden

olabilir. Dolayısıyla, tellürün insan sağlığı ve çevre üzerindeki olası etkileri dikkatle izlenmeli, maruziyet yönetimi etkin biçimde sağlanmalıdır [8].

Tellür, doğada iki farklı allotropik formda bulunur: kristal ve amorf. Kristal tellür, metalik parlaklığa sahip gümüş beyazı renkte, kırılğan bir metaloiddir ve kolaylıkla toz haline getirilebilir. Trigonal kristal yapı gösterir ve atomları sarmal zincirler oluşturacak şekilde dizilmiştir. Bu yapı, tellürün elektriksel iletkenliğinde yönsel farklara neden olur. Bu nedenle kristal tellür, yarı iletken malzeme olarak elektronik bileşenlerde kullanılır. Amorf tellür ise düzenli bir atomik dizilişe sahip değildir; atomlar rastgele bir ağ yapısı oluşturur. Bu düzensizlik, amorf tellüre kristal forma göre farklı elektriksel ve kimyasal özellikler kazandırır. Amorf form, özel cam malzemeleri, ince film teknolojileri ve ileri malzeme araştırmalarında tercih edilmektedir. Her iki form da tellürün metalik ve ametalik karakterinin bir sonucu olup, modern teknoloji ve malzeme mühendisliği alanlarında önemli kullanım potansiyeline sahiptir [9].

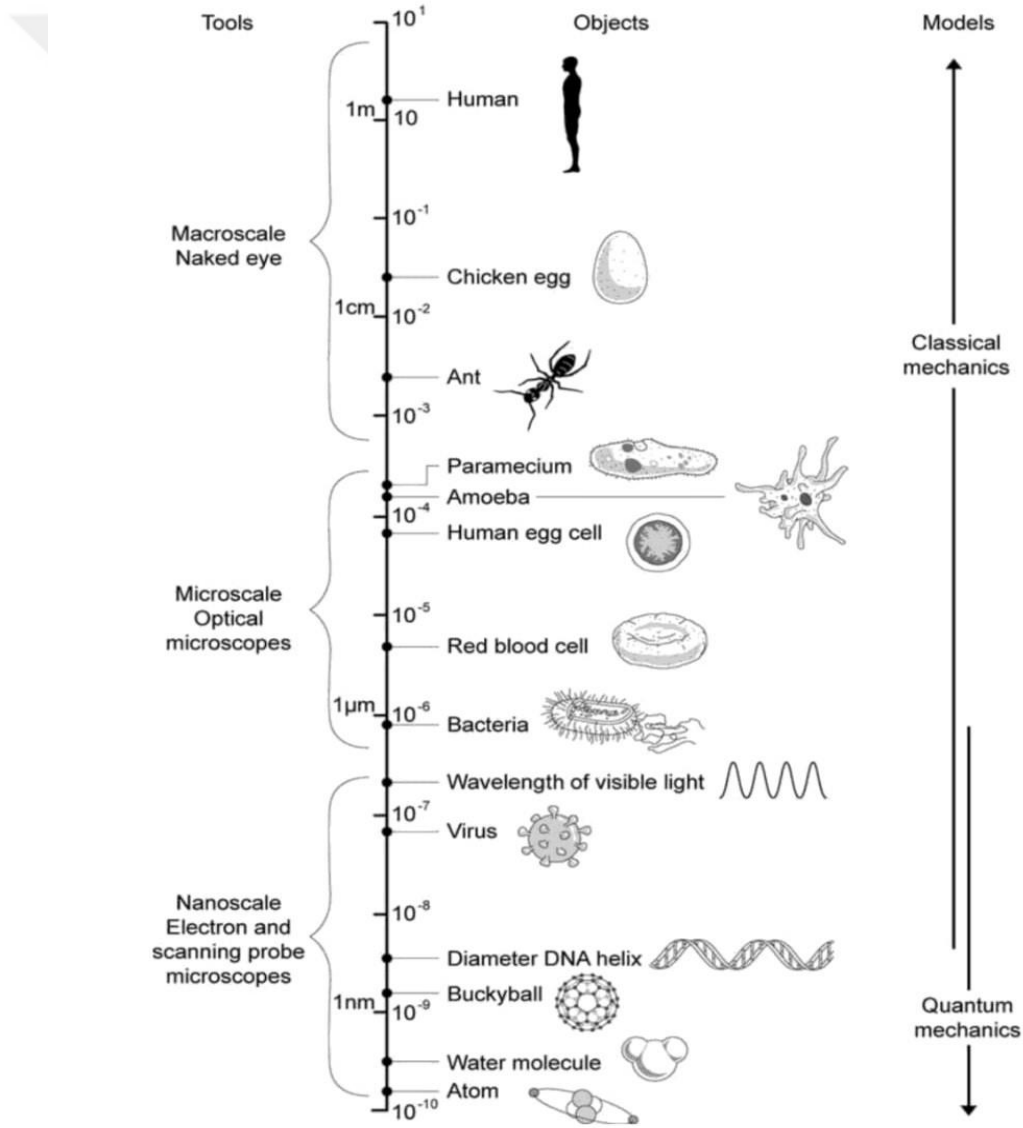
Tellür, birçok fiziksel ve kimyasal özelliğiyle dikkat çeken bir yarı iletkenidir. Anizotropik elektrik iletkenliği, kristal yapısındaki atom diziliminin yönsel farklarından kaynaklanır. Erimiş halde tellür, bakır, demir ve paslanmaz çelik gibi metalleri aşındırma eğilimi gösterir. Bu nedenle tellürle çalışan sistemlerde yüksek sıcaklıklarda özel kaplama ve koruma önlemleri gereklidir. Tellürün erime noktası 449,5 °C (722,7 K), kaynama noktası ise 987,9 °C (1261 K)'dir. Bu yüksek sıcaklık dayanımı, onu birçok endüstriyel işlem için uygun hale getirir [10].

Tellür genellikle bakırın elektrolitik rafinasyonu sırasında yan ürün olarak elde edilir. Porfiri tipi bakır yataklarında sülfür mineralleriyle birlikte bulunan tellür, rafinasyon esnasında anot çamurlarında birikir. Bu çamurlarda tellür oranı genellikle %1–4 arasında değişir. Dünya tellür üretiminin büyük bir kısmı bu tür işlemlerden sağlanmaktadır. Önemli üretim merkezleri arasında ASARCO (Teksas, ABD) ve Kennecott Utah Copper tesisleri yer almaktadır. Tellür ayrıca altın içeren minerallerden de geri kazanılabilir; ancak doğrudan tellür madenciliği, düşük bolluğu ve yaygın dağılmış yapısı nedeniyle ekonomik olarak mümkün değildir [11].

1.2 Nanoteknoloji

Nanoteknoloji, maddenin en az bir boyutunun 1 ila 100 nanometre (nm) aralığında olduğu ölçekteki yapıların incelenmesi ve kontrol edilmesiyle ilgilenen bir bilim dalıdır. Bu ölçekte yapılan çalışmalar, yüzey alanının artması ve kuantum mekanik etkilerin belirgin hale gelmesi nedeniyle büyük önem taşır. Nanoteknoloji, bu küçük ölçekli yapıların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini değiştirerek yeni fonksiyonlar kazandırmayı amaçlar. Bu alan; malzeme bilimi, kimya, fizik, biyoteknoloji ve mühendislik gibi birçok disiplini bir araya getirir ve nanoölçekli sistemlerin sentezi, karakterizasyonu ile uygulamalarını kapsar [12].

Ölçek Diyagramı: Çeşitli ve farklı ölçeklerde araçlar, nesneler ve modeller



Şekil1.1 Nesnelerin Ölçeği [13]

Nanoteknoloji, farklı bilim dallarının kesişiminde yer alan disiplinler arası bir araştırma alanıdır. Geleneksel cihaz fiziğinden atomik ve moleküler ölçeklere kadar uzanan bir bakış açısıyla, maddenin nano boyutta kontrolünü ve tasarımını konu alır. Bu teknoloji; nanotıp, nanoelektronik, biyomateryaller, enerji üretimi ve tüketici ürünleri gibi pek çok alanda yeni nesil malzemeler ve sistemlerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Ancak, nanoteknolojinin hızla gelişmesi beraberinde bazı etik, çevresel ve ekonomik kaygıları da gündeme getirmiştir. Özellikle nanomalzemelerin potansiyel toksisitesi, çevreye olası etkileri, küresel üretim dengelerine etkisi ve “kontROLSÜZ teknoloji senaryoları” üzerine yürütülen tartışmalar bu alanın sadece bilimsel değil, sosyoekonomik yönlerinin de ele alınması gerektiğini göstermektedir. Dolayısıyla, nanoteknolojinin sağladığı fırsatlar kadar olası risklerin yönetilmesi için de kapsamlı düzenlemelere ihtiyaç duyulmaktadır [14].

Nanoteknoloji kavramının temelleri, ilk kez 1959 yılında fizikçi Richard Feynman’ın ünlü konuşması “There’s Plenty of Room at the Bottom” ile atılmıştır. Feynman bu konuşmasında, atomların tek tek kontrol edilerek yeni maddeler ve sistemler oluşturulabileceği fikrini ileri sürerek gelecekteki nanobilim anlayışının kapısını aralamıştır. “Nanoteknoloji” terimi ise daha sonra, 1974 yılında Japon araştırmacı Norio Taniguchi tarafından bilim dünyasında ilk kez dile getirilmiştir. Ancak bu kavramın geniş kitlelerce tanınması, 1986 yılında K. Eric Drexler’in “Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology” adlı kitabının yayımlanmasıyla olmuştur. Drexler, atomik düzeyde işlev gören moleküler montajcıların gelecekte maddeyi yeniden şekillendirebileceğini öne sürmüş ve nanoteknolojinin potansiyelini vizyoner bir bakış açısıyla betimlemiştir. Aynı yıl, nanoteknolojinin gelişimini desteklemek amacıyla kurulan Foresight Institute (Öngörü Enstitüsü)’nün kurucuları arasında yer almıştır. 1980’li yıllar, nanoteknolojinin teoriden uygulamaya geçtiği dönemi temsil eder. Bu süreçte hem kuramsal altyapı hem de deneysel teknikler hızla ilerlemiştir. Özellikle 1981 yılında geliştirilen taramalı tünelleme mikroskobu (STM), atomların doğrudan gözlemlenmesini mümkün kılmış ve 1989’da atom ölçeğinde manipülasyonların yapılabilmesini sağlamıştır. Bu çığır açıcı gelişmeleri gerçekleştiren Gerd Binnig ve Heinrich Rohrer, bu çalışmaları nedeniyle 1986 Nobel Fizik Ödülü’ne layık görülmüştür. Böylece nanoteknoloji, kuramsal bir düşünce olmaktan çıkıp gözlemlenebilir ve deneysel bir bilim alanına dönüşmüştür [15].

Nanoteknolojinin en ayırt edici özelliği, nano ölçekteki yapıların makroskobik ölçekte görülmeyen farklı fiziksel ve kimyasal özellikler sergilemesidir. Bu durum, nanoteknolojinin mikroteknolojiden ayrılmasını sağlar. Nano ölçekte malzemelerin yüzey enerjileri, elektriksel özellikleri ve reaktiflikleri büyük oranda değiştiğinden, bu farklılıklar yeni işlevsel materyallerin geliştirilmesine olanak verir. Örneğin tıpta, hedefe yönelik ilaç taşıyıcı sistemler ve erken tanı sensörleri geliştirilmiştir. Elektronik alanında nano malzemeler, daha küçük, hızlı ve enerji verimli cihazların üretimini sağlamaktadır. Enerji teknolojilerinde ise, özellikle güneş pilleri ve batarya sistemlerinde nano ölçekli materyaller, enerji dönüşüm verimliliğini artırmaktadır. Bununla birlikte, nanomalzemelerin çevresel ve biyolojik sistemler üzerindeki kalıcı sonuçları konusunda belirsizlikler devam etmektedir. Bu nedenle nanoteknolojinin gelişimi, yalnızca teknik ilerleme açısından değil; aynı zamanda etik, çevresel ve sağlık temelli bir denetim perspektifiyle de sürdürülmelidir [16].

Nanomalzemeler bilimi, nano ölçekli yapılarla çalışarak bu boyutların kazandırdığı özel fiziksel ve kimyasal özellikleri inceleyen çok yönlü bir araştırma alanıdır. Genellikle 1–100 nanometre aralığında boyutlara sahip olan bu malzemeler, atomik ve moleküler düzeydeki düzenlenmeleri sayesinde geleneksel malzemelerden oldukça farklı davranışlar sergiler. Özellikle yüzey alanı/hacim oranının artışı, kuantum etkilerinin belirginleşmesi ve yüzey enerjisinin değişmesi bu farklılıkların temel nedenlerindendir. Nanomalzemelerle ilgili alt alanlardan biri olan arayüz ve kolloid bilimi, yüzey etkileşimlerinin ve sınır bölgelerinin özelliklerini inceleyerek nanoteknolojinin teorik ve uygulamalı gelişimine katkı sağlar. Bu disiplin, nano boyutlu sistemlerin kararlılığı, dağılma özellikleri ve yüzey kimyasının anlaşılması açısından kritik öneme sahiptir. Karbon temelli nanomalzemeler, nanoteknoloji alanında özel bir yere sahiptir. Karbon nanotüpler, grafen ve fullerenler, üstün mekanik dayanım, elektriksel iletkenlik ve ısıl kararlılık özellikleriyle dikkat çeker. Bu tür yapılar, elektronik, biyomedikal, enerji depolama ve ilaç taşıma sistemleri gibi çok geniş bir uygulama yelpazesinde değerlendirilmektedir. Ayrıca nanopartiküller ve nanoçubuklar, sensör teknolojilerinden güneş pillerine, kataliz sistemlerinden ilaç taşıyıcı platformlara kadar birçok alanda yenilikçi çözümler sunar. Bu malzemeler, kimya, biyoteknoloji ve malzeme mühendisliği alanlarında yeni nesil sistemlerin tasarlanmasına öncülük etmektedir. Dolayısıyla nanomalzemeler bilimi, hem mevcut

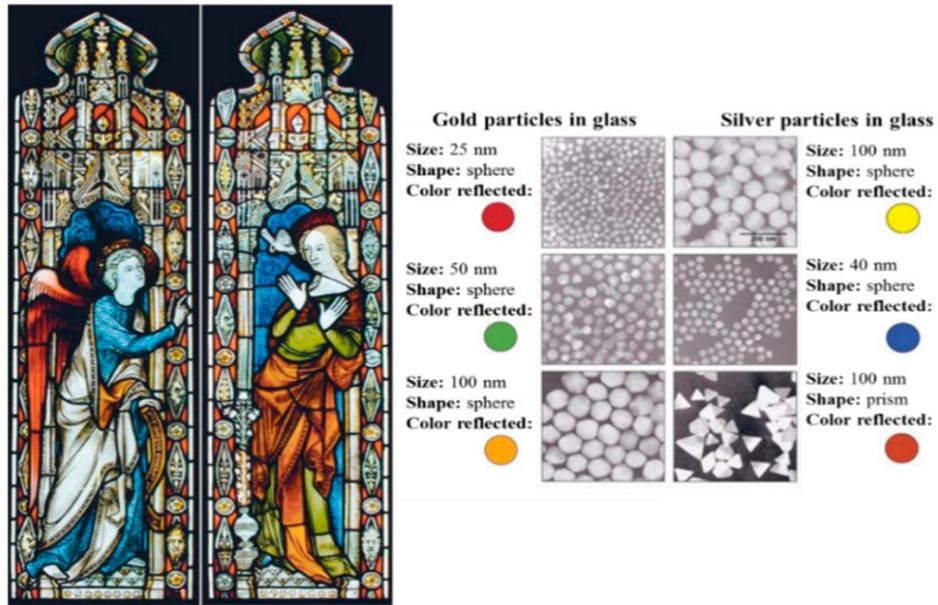
malzemelerin performansını artırma hem de yepyeni işlevsel yapıların geliştirilmesi açısından nanoteknolojinin temel taşlarından birini oluşturur [17].

Nanomalzemeler yalnızca yapısal üstünlükleriyle değil, nanoiyonik ve nanoelektronik sistemlerdeki işlevleriyle de öne çıkar. Nanoiyonik malzemeler, yüksek yüzey alanları ve iyon taşınım yollarının kısalığı sayesinde iyon iletiminde verimliliği artırır. Bu malzemeler, özellikle batarya, yakıt hücresi ve enerji dönüşüm teknolojilerinde büyük avantajlar sağlar. Nanoelektronik ise, atomik düzeyde tasarlanmış malzemelerin elektronik bileşenlerde kullanılmasını hedefler. Örneğin karbon nanotüpler, geleneksel silikon temelli transistörlere kıyasla daha hızlı, küçük ve enerji tasarruflu sistemlerin geliştirilmesini mümkün kılar. Nanomalzemelerin günlük yaşamdaki kullanımı da giderek artmaktadır. Kozmetik ürünlerden tekstil liflerine, yiyecek ambalajlarından antibakteriyel kaplamalara kadar birçok ürün, nano ölçekli katkılar sayesinde yeni fonksiyonlar kazanmıştır. Tıbbi alanda, özellikle kanser tedavisinde hedefe yönelik ilaç taşıyıcı sistemler ve kontrast ajanlar geliştirilmiştir. Bu sistemler, yan etkileri azaltarak tedavi etkinliğini artırmaktadır. Enerji sektöründe de nanomalzemeler devrim yaratmaktadır. Güneş pilleri, süperkapasitörler ve lityum iyon piller gibi enerji teknolojilerinde nano yapılar, daha yüksek verimlilik ve uzun ömür sağlayan çözümler sunmaktadır. Ayrıca yarı iletken nanopartiküller, görüntüleme teknolojileri, LED aydınlatma ve biyo görüntüleme sistemlerinde de yaygın şekilde kullanılmaktadır. Son yıllarda araştırmacılar, çevre dostu nanoteknoloji yaklaşımlarına yönelmiştir. Geleneksel fiziksel ve kimyasal nanoparçacık üretim yöntemleri, toksik yan ürünler oluşturabildiğinden çevre ve sağlık açısından risk taşımaktadır. Bu nedenle yeşil sentez yöntemleri ön plana çıkmıştır. Bitkisel ekstraktlar, mikroorganizmalar veya biyopolimerler kullanılarak yapılan bu çevre dostu üretim teknikleri, toksik atık oluşumunu azaltırken, sürdürülebilir ve güvenli nanomalzeme üretimine olanak sağlamaktadır [18, 19].

1.2.1 Tarihçesi

Nanoteknolojik yapıların kökeni, sanıldığından çok daha eskiye dayanmaktadır. Nanopartikül tabanlı malzemelerin ilk örneklerinden biri, MS 4. yüzyılda Romalılar tarafından üretilmiştir. Bu döneme ait en dikkat çekici buluntu, bugün British Museum'da sergilenen Lycurgus Kupası'dır. Bu eser, antik çağın en gelişmiş cam

işçiliği örneklerinden birini oluşturur ve dikroik (iki renkli) camın bilinen en eski örneği olarak kabul edilir. Lycurgus Kupası'nın benzersiz özelliği, ışığın geliş yönüne bağlı olarak renk değiştirmesidir: doğrudan ışık altında yeşil, arka aydınlatmada ise kırmızı-mor bir renk sergiler. 1990'lı yıllarda yapılan transmisyon elektron mikroskobu (TEM) analizleri, bu renk değişiminin 50–100 nm boyutlarındaki metal nanopartiküllerden kaynaklandığını ortaya koymuştur. X-ışını analizleri, cam matris içinde yaklaşık %70 gümüş (Ag) ve %30 altın (Au) oranında bir alaşımın varlığını göstermiştir; ayrıca matriste düşük oranda bakır (Cu) da bulunmuştur. Bu metallerin nanoparçacık boyutları, ışığın soğurulma ve saçılma biçimini etkileyerek renk geçişlerini oluşturmuştur. Örneğin, altın nanoparçacıklar (~520 nm dalga boyunda) kırmızı tonları oluştururken, gümüş nanoparçacıklar (>40 nm) yeşil ışığın saçılmasından sorumludur. Böylece Lycurgus Kupası, hem nanoteknolojik hem de optik açıdan olağanüstü bir mühendislik başarısını temsil eder. Benzer şekilde, Orta Çağ vitray pencerelerinde de altın ve gümüş nanoparçacıkların cam içine dâhil edilmesi sonucu canlı kırmızı ve sarı renklerin elde edildiği bilinmektedir. Bu uygulama, tarih öncesi dönemlerde bile insanların farkında olmadan nanomalzeme sentezi gerçekleştirdiğini göstermektedir. Dolayısıyla Lycurgus Kupası, yalnızca bir sanat eseri değil; aynı zamanda insanlığın bilinen ilk sentetik nanomalzeme örneği olarak bilim tarihine geçmiştir [20].



Şekil 1.2 Nanopartiküllerin vitray pencerelerin renkleri üzerindeki etkisi [20].

Nanoteknolojik yaklaşımların farkında olmadan kullanıldığı örnekler, yalnızca Roma dönemine özgü değildir. 9. ile 17. yüzyıllar arasında İslam dünyasında ve daha sonra Avrupa’da üretilen seramiklerde de benzer nano ölçekli uygulamalara rastlanmaktadır. Bu dönemde özellikle “ışılıklı sır” veya “parıltılı seramik” olarak adlandırılan cam kaplamalar, gümüş (Ag), bakır (Cu) ve bazı diğer metal nanoparçacıkların kontrollü biçimde seramik yüzeylere gömülmesiyle elde edilmiştir. Bu metalik nanoparçacıklar, seramiklerin güneş ışığı altında altın benzeri bir parlaklık kazanmasını sağlamıştır. Rönesans döneminde, İtalyan ustalar da bu teknikleri geliştirerek kendi çanak çömlek sanatlarında uygulamışlardır. Özellikle 16. yüzyıl İtalyan majolika seramiklerinde görülen yansıtıcı efektler, Osmanlı ve İslam dünyasında geliştirilen lüster (parıltı) tekniklerinden esinlenmiştir. Bu dönemde kullanılan nanoparçacıklar, renk ve parlaklığın kalıcı hâle gelmesini sağlamış, böylece estetik ve işlevsel açıdan gelişmiş ürünlerin ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır. Aynı şekilde Osmanlı ve Orta Doğu metal işçiliğinde de nanoyapıların kullanıldığı bilinmektedir. 13.–18. yüzyıllar arasında üretilen ünlü “Şam kılıçları” (Damascus steel), mukavemet, keskinlik ve esneklik açısından döneminin en üstün metalleri arasında yer alıyordu. Modern analizler, bu kılıçların mikro yapısında sementit nanoteller ve karbon nanotüpler bulunduğunu ortaya koymuştur. Bu nanoyapılar, çeliğin mekanik dayanıklılığını artırırken keskin kenarların uzun süre korunmasına da olanak tanımıştır. Bu tür malzemelerin üretimi yüzlerce yıl boyunca ustalar tarafından tekrarlanmış, ancak o dönemde bu etkilerin temelinde nanoölçekli yapıların bulunduğu bilinmiyordu. Dolayısıyla, Orta Çağ sanatçıları ve zanaatkârları, farkında olmadan nanoteknolojinin erken örneklerini üretmişlerdir [20].

Nanoteknolojinin modern anlamda kavramsal temelleri, 29 Aralık 1959’da ünlü fizikçi Richard Feynman tarafından Caltech’teki Amerikan Fizik Derneği toplantısında yapılan “There is Plenty of Room at the Bottom” başlıklı konuşmayla atılmıştır. Feynman bu tarihi konuşmasında, atomların ve moleküllerin doğrudan kontrol edilip düzenlenebileceği fikrini ilk kez sistematik biçimde ortaya koymuştur. Maddenin en küçük yapı taşlarıyla çalışmanın, gelecekte bilimin yönünü değiştireceğini öngörmüştür. Feynman, bu süreçte büyük makinelerin daha küçüklerini, onların da daha minyatür versiyonlarını üretebileceğini ve sonunda atomik ölçekte işlev gösterebilecek sistemlerin inşa edilebileceğini ileri sürmüştür. Ayrıca küçük

boyutlarda yerçekimi etkisinin azalırken, yüzey gerilimi ve Van der Waals kuvvetleri gibi mikro kuvvetlerin daha baskın hâle geleceğini belirtmiştir. Bu fikir, maddenin davranışını makro ölçekte değil, atomik ölçekte anlamayı ve yönetmeyi amaçlayan yepyeni bir bilim dalının kapısını aralamıştır. Feynman'ın vizyonu, bugünkü taramalı tünelleme mikroskopi (STM) ve atomik kuvvet mikroskopi (AFM) gibi cihazlarla hayata geçmiştir. Bu araçlar, atomları tek tek hareket ettirerek yüzeylerde düzenli yapılar oluşturabilmektedir. Günümüzde moleküler düzeyde ilaç tasarımı, nanoelektronik devre üretimi ve malzeme mühendisliği çalışmaları, Feynman'ın öngörüsünün gerçekleşmiş hâlidir. Bu nedenle “There is Plenty of Room at the Bottom” konuşması, modern nanoteknolojinin başlangıç noktası olarak kabul edilir ve hâlen bilim dünyasında büyük saygı görür [21].

Nanoteknolojiye dair sonraki önemli adımlardan biri, 1970 yılında Japon kimyager Eiji Osawa tarafından atılmıştır. Osawa, teorik hesaplamalarla fulleren yapılarının kararlı biçimde var olabileceğini öne sürmüştür. Bu, karbon temelli kapalı kafes yapıların varlığına dair ilk bilimsel öngörü olarak tarihe geçmiştir [22].

Fullerenler, yaklaşık 1 nanometre çapında küresel yapılar olup tamamen karbon atomlarından oluşur. En iyi bilinen formu C_{60} 'tır ve “Buckminsterfullerene” veya kısaca “Buckyball” olarak adlandırılır. Bu ad, mimar ve tasarımcı Buckminster Fuller'in jeodezik kubbe tasarımlarına benzer geometrik yapısından esinlenilmiştir. C_{60} molekülü, 20 altıgen ve 12 beşgen yüzeyden oluşan bir futbol topunu andırır. Silindirik biçimli türevleri ise karbon nanotüpler ya da buckytubes olarak adlandırılır. Bu yapılar, doğada çok nadir bulunmalarına rağmen, sentezlenebilir ve olağanüstü özellikler gösterirler. Yüksek mekanik dayanıklılık, elektriksel iletkenlik ve kimyasal kararlılık gibi özellikleri nedeniyle malzeme bilimi, elektronik ve tıp alanlarında geniş uygulama potansiyeline sahiptirler [23].



Şekil1.3 Küresel fullerenerler [24]

Nanoteknoloji tarihinde dikkat çeken tartışmalardan biri, Eric Drexler ile Richard Smalley arasında yaşanmıştır. Bu tartışma, “moleküler birleştiriciler” (molecular assemblers) olarak adlandırılan ve atomları tek tek yerleştirerek yeni maddeler sentezleyebileceği öne sürülen sistemlerin, kimyasal ve fiziksel olarak uygulanabilirliği konusuna odaklanmıştır. Eric Drexler, bu birleştiricilerin mekanik olarak tasarlanabileceğini ve atomik hassasiyetle kimyasal reaksiyonları yönlendirebileceğini savunmuştur. Ona göre bu sistemler, atom ve molekülleri belirli dizilimlerle yerleştirerek istenen moleküler yapıların oluşturulmasına olanak tanıyabilir. Drexler, bu yaklaşımın nanoteknolojinin nihai hedefi olması gerektiğini ileri sürmüştür. Buna karşın Richard Smalley, bu fikrin pratikte mümkün olmadığını öne sürmüştür. Smalley’e göre, kimyasal reaksiyonlar doğası gereği karmaşık süreçlerdir ve atomların tek tek bu düzeyde kontrol edilmesi mevcut teknolojik koşullarda imkânsızdır. Ayrıca, kimyasal bağ oluşumunun dinamik yapısı nedeniyle, atomları bu kadar hassas biçimde yönlendirmek teorik olarak dahi zordur. Drexler, mekanik prensiplere dayalı yaklaşımlarla bu zorlukların aşılabileceğini savunurken, Smalley bunun bilimsel olarak temelsiz olduğunu iddia etmiştir. Bu fikir ayrılığı, yalnızca iki bilim insanı arasındaki bir anlaşmazlık değil; aynı zamanda nanoteknolojinin hedeflerinin, sınırlarının ve gelecekteki yönelimlerinin tartışıldığı bir dönüm noktası olmuştur. Tartışmanın sonunda, moleküler birleştiricilerin uygulanabilirliği konusunda kesin bir sonuca varılamamıştır. Ancak bu durum, nanoteknolojinin gelecekte hangi alanlara yoğunlaşması gerektiğine dair yeni sorular doğurmuştur. Günümüzde bile, bu konu hem teorik hem de deneysel çalışmalar açısından önemli bir araştırma alanı olmaya devam etmektedir. Sonuç olarak, Drexler–

Smalley tartışması, nanoteknolojinin potansiyelini ve sınırlarını daha iyi anlamamızı sağlamış; bu alandaki bilimsel düşüncenin gelişiminde kalıcı bir etki bırakmıştır [25]. Gümüş nanopartiküller, olağanüstü optik, elektriksel ve antimikrobiyal özellikleri sayesinde son yıllarda geniş bir ilgi alanı bulmuştur. Bununla birlikte, bu partiküllerin toksik etkileri ve agregasyon eğilimleri, onların daha yaygın ve uzun ömürlü uygulamalarda kullanılmasını sınırlamaktadır. Bu sorunların aşılması için, gümüş nanopartiküllerin yüzeylerinin terapötik veya biyolojik olarak aktif moleküllerle kaplanması yönünde çeşitli stratejiler geliştirilmiştir. Gümüş nanopartiküller, belirli dalga boylarındaki ışığı soğurup yeniden yayma özellikleri sayesinde optik sensörler ve görüntüleme sistemleri gibi uygulamalarda değerlidir. Ayrıca yüksek elektriksel iletkenlikleri, onları sensör teknolojileri, elektronik devreler ve iletken mürekkepler için uygun hâle getirmiştir. Geniş spektrumlu antimikrobiyal etkileri sayesinde tıbbi alanda yara örtüleri, dezenfektan yüzey kaplamaları ve sterilizasyon sistemlerinde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bu nanopartiküller biyolojik sistemlerde toksisite riski taşıyabilir ve zamanla birleşerek çökme eğilimi gösterebilir. Bu durum hem etkinliği azaltır hem de biyoyumluluğu sınırlar. Bu nedenle, nanopartiküllerin yüzey modifikasyonu büyük önem taşır. Yüzey modifikasyonu, genellikle nanopartiküllerin yüzeyine biyomoleküller, polimerler veya surfaktanlar bağlanarak gerçekleştirilir. Bu sayede partiküller arasında fiziksel bir bariyer oluşturulur ve toplanma engellenir. Polimer kaplama, nanopartiküllerin biyoyumluluğunu artırır, toksisiteyi azaltır ve biyolojik ortamlarda daha kararlı hale gelmelerini sağlar. Sonuç olarak, gümüş nanopartiküller sahip oldukları üstün özellikler sayesinde tıp, elektronik, çevre ve enerji teknolojileri gibi birçok alanda geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Ancak bu potansiyelin güvenli biçimde kullanılabilmesi için biyoilevşelleştirme ve yüzey modifikasyonu yaklaşımlarının geliştirilmesi gerekmektedir. Bu stratejiler, nanopartiküllerin daha güvenli, kararlı ve hedefe yönelik biçimde kullanılmasına olanak tanımaktadır [26].

Ferroakışkanlar, nanobilim alanındaki ilerlemeler sayesinde yüksek sıcaklıklara gerek duyulmadan manyetik özelliklere sahip sıvı çözeltilerin üretilmesine olanak tanıyan devrim niteliğinde malzemelerdir. Bu sistemler, manyetik nanopartiküllerin su veya organik çözücüler içinde homojen biçimde dağılmasıyla elde edilen kolloidal süspansiyonlardır. Dışarıdan manyetik alan uygulandığında, bu sıvılar katı bir

mıknatıs gibi davranarak akışkan hâlde manyetik tepki verirler. Manyetik nanopartiküller, karşılıklı manyetik çekim ve van der Waals kuvvetleri nedeniyle bir araya gelme eğilimindedir. Bu durum, çözelti içinde kümelenmeye yol açarak sistemin kararlılığını azaltabilir. Dolayısıyla, ferroakışkanların uzun süre stabil kalabilmesi için bu çekici kuvvetlere karşı yeterli itici kuvvetlerin oluşturulması gerekir. Ferroakışkanların kararlılığı, çekici ve itici kuvvetler arasındaki hassas dengeye bağlıdır. Stabilizasyonun sağlanmasında iki temel yöntem kullanılır: sterik ve elektrostatik stabilizasyon. Sterik stabilizasyonda, nanopartiküllerin yüzeyi polimerler veya yüzey aktif maddeler (surfaktanlar) ile kaplanır. Bu kaplama, parçacıklar arasında fiziksel bir bariyer oluşturarak toplanmayı önler. Elektrostatik stabilizasyonda ise, partikül yüzeylerine yük kazandırılarak elektriksel itici kuvvetler oluşturulur. Bu yöntem, nanopartiküllerin çözelti içinde homojen biçimde dağılmasını sağlar. Ferroakışkanlarda en sık kullanılan manyetik nanopartiküller manyetit (Fe_3O_4), kobalt (Co) ve nikel (Ni) bileşikleridir. Manyetit nanopartikülleri, yüksek manyetik momentleri ve kimyasal kararlılıkları nedeniyle en yaygın tercih edilen malzemedir. Kobalt ve nikel partikülleri ise güçlü manyetik özellikleri sayesinde daha yüksek performans gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır. Sonuç olarak, ferroakışkanlar manyetik çekim kuvvetleri ile itici kuvvetlerin dengelenmesi sonucu kararlı hâlde kalabilen özel sistemlerdir. Bu çözeltiler, elektromekanik sistemler, soğutma teknolojileri, sensörler, biyomedikal cihazlar ve enerji sistemleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Ferroakışkanların bu özellikleri, nanoteknolojinin maddeyi atomik düzeyde kontrol etme potansiyelinin en etkileyici örneklerinden birini oluşturmaktadır [27].

1.2.2 Temel kavramlar

Nano terimi (sembolü: n), Yunanca “cüce” anlamına gelen nanos kelimesinden türetilmiştir. “Nano-” öneki, herhangi bir ölçünün milyarda biri kadarını ifade eder. Örneğin, bir nanometre, bir metrenin milyarda birine eşittir ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Nanoteknolojinin gelişimi, bilgisayar işlem gücünden tıbbi tedavilere kadar geniş bir yelpazede köklü değişimlere yol açmaktadır. Gelecekte, nanoteknoloji sayesinde bilgisayarların işlem kapasitesinin milyarlarca kat artacağı, tıbbi cihazların ise dokulara zarar vermeden tedavi uygulayabileceği öngörülmektedir. Bu yenilikler, hastalıkların teşhis ve tedavisinde devrimsel ilerlemeler sağlayacaktır. Ayrıca, nano

üretim yöntemleri çevre dostu üretim anlayışının gelişmesine katkı sunacaktır. Moleküler düzeyde gerçekleştirilen üretim süreçleri, gereksiz yan ürünlerin oluşumunu azaltarak kirletici madde salınımını minimize eder. Nanoteknoloji kavramı ilk kez 1960'lı yıllarda gündeme gelmiş, 1990'lı yıllarda ise enerji ihtiyacının artması ve çevresel kaygıların yoğunlaşmasıyla birlikte bilimsel araştırmaların odak noktası haline gelmiştir. Bilim insanları, bu teknolojinin kısa sürede mekanik üretim süreçlerini dönüştüreceğini ve yeni meslek alanlarının ortaya çıkmasına zemin hazırlayacağını öngörmektedir [28].

Nanometre (nm), bir metrenin milyarda biri uzunluğuna karşılık gelen SI birimidir ve Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Bürosu tarafından resmi olarak kabul edilmiştir. Nanometre ölçeği, atomik ve moleküler yapıların boyutlarını tanımlamak için kullanılır. İnsan gözüyle görülemeyecek kadar küçük olan bu ölçü, ancak elektron mikroskopları veya yüksek hassasiyetli ölçüm cihazları ile tespit edilebilir. Nanometre ölçeği, nanoteknoloji, nanobilim ve nanomühendislik alanlarında temel bir öneme sahiptir. Örneğin, hücre zarının kalınlığı yaklaşık 12 nm civarındadır; bu durum, biyolojik sistemlerin dahi nano boyutta işlev gördüğünü göstermektedir [29].

Nanoteknoloji, maddenin atomik, moleküler ve supramoleküler seviyede kontrolünü konu alan bir bilim dalıdır. En genel tanımla, atom ve moleküllerin istenen özellikte ürünler oluşturmak üzere düzenlenmesi anlamına gelir. Daha sonra National Nanotechnology Initiative (NNI) tarafından yapılan tanımda, nanoteknoloji; boyutu 1–100 nanometre aralığında olan maddelerin özelliklerinin incelenmesi ve kontrolü olarak açıklanmıştır. Bu tanım, kuantum etkilerinin nano ölçekte belirgin hale geldiğini vurgular. Günümüzde “nanoteknolojiler” ve “nanoölçek teknolojileri” kavramları, yalnızca belirli bir uygulama alanını değil, boyut temelli tüm araştırma ve geliştirme faaliyetlerini kapsar. Dolayısıyla, nanoteknoloji artık yalnızca bir üretim yöntemi değil, maddeyi en küçük ölçekte anlamaya ve yönlendirmeye odaklanan çok disiplinli bir bilim alanı olarak kabul edilmektedir [30].

1.2.3 Nanomateriyaller

Nanomateriyaller, nano ölçekli boyutlarından dolayı klasik malzemelerde gözlemlenmeyen benzersiz fiziksel, kimyasal ve elektronik özelliklere sahiptir. Bu

malzemeler arasında karbon nanotüpler, fullerenler, grafen ve çeşitli nanopartikül türleri yer alır. Günümüzde birçok ticari nanoteknoloji uygulaması, bu tür nanoyapılara dayanmaktadır. Nanomateriyallerin özellikle biyomedikal uygulamalardaki kullanımı hızla gelişmektedir. Ayrıca, nanopillar yapıları, silikon tabanlı güneş pillerine alternatif olarak düşük maliyetli enerji üretimi sağlayabilir. Nanomateriyallerin ekran teknolojisi, aydınlatma sistemleri, güneş pilleri ve biyolojik görüntüleme gibi alanlardaki kullanımı, onların çok yönlü potansiyelini göstermektedir [31].

Nanoteknolojinin gıda ambalajlama endüstrisinde kullanımı da büyük bir potansiyele sahiptir. Nanomateriyaller, ambalaj malzemelerinin mekanik dayanıklılığını, geçirgenliğini ve raf ömrünü artırabilir. Ayrıca, aktif ve akıllı ambalaj sistemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunarak, gıdaların tazeliğinin korunmasına yardımcı olabilir. Bununla birlikte, bu teknolojilerin yaygınlaşmasının önünde bazı hukuki ve güvenlik temelli engeller bulunmaktadır. Nanopartiküllerin insan sağlığı üzerindeki uzun vadeli etkileri tam olarak belirlenemediği için, yasal düzenlemeler ve tüketici kabulü sınırlı kalmaktadır. Mevcut araştırmalar, ambalajlarda kullanılan nanopartiküllerin büyük çoğunluğunun gıdaya geçmediğini, dolayısıyla tüketici maruziyetinin oldukça düşük olduğunu göstermektedir [32].

Nanomühendislik tabanlı malzemeler, su ve atık su arıtımı süreçlerinde giderek daha fazla önem kazanmakta ve çevresel sürdürülebilirliğe ciddi katkılar sunmaktadır. Bu tür malzemeler genel olarak iki sınıfta incelenmektedir: karbon esaslı yapılar (örneğin karbon nanotüpler ve grafen) ile karbon içermeyen sistemler (metaller ve metal oksitler). Bu nanoyapılar; nanosorbentler, nanokatalizörler ve nanofiltrasyon membranları gibi farklı biçimlerde kullanılarak kirleticilerin etkin biçimde giderilmesini sağlar. Yüksek yüzey alanları, reaktif yüzey kimyası, seçici adsorpsiyon yeteneği ve gelişmiş filtrasyon performansları, bu malzemelerin başlıca avantajları arasındadır. Bu sayede nanoyapılar; ağır metallerin, organik kirleticilerin ve mikroorganizmaların sudan uzaklaştırılmasında son derece etkilidir. Dolayısıyla nanoteknoloji temelli bu sistemler, su arıtımı, çevre koruma ve endüstriyel geri dönüşüm uygulamalarında yenilikçi ve sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır [33].

Görüntüleme teknolojileri, özellikle kanser teşhisinde kritik bir öneme sahiptir ve nanomalzemelerin bu alandaki kullanımı son yıllarda büyük ilerleme kaydetmiştir. Hibrit nanoyapılar, klasik nanomalzemelere kıyasla çok yönlü avantajlar sunmakta ve tanı–tedavi uygulamalarında giderek daha fazla ilgi görmektedir. Bu yapılar, hem görüntüleme doğruluğunu artırmakta hem de terapötik ajanların hedefe yönlendirilmesini kolaylaştırmaktadır. Bununla birlikte, hibrit nanoyapıların sentezi, kararlılığı ve biyouyumluluğu gibi bazı teknik zorluklar hâlen araştırılmaktadır. Yine de bu sistemlerin sunduğu üstün performans ve yüksek hassasiyet, onları kanser tanı ve tedavisinde geleceğin umut verici araçlarından biri haline getirmiştir [34].

Küresel ölçekte fosil yakıtların azalması ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri, bilim insanlarını alternatif enerji kaynakları araştırmaya yöneltmiştir. Bu bağlamda hidrojen, temiz, yenilenebilir ve çevre dostu bir enerji taşıyıcısı olarak öne çıkmaktadır. Ancak, ekonomik ve güvenli hidrojen depolama teknolojilerinin geliştirilmesi hâlen önemli bir zorluktur. Grafen oksit (GO), hafif yapısı, yüksek yüzey alanı ve düşük üretim maliyetiyle bu alanda dikkat çekici bir malzemedir. GO'nun yüzeyinde yer alan fonksiyonel gruplar, yüzey modifikasyonuna elverişli olup hidrojen depolama kapasitesini artırabilmektedir. Kimyasal adsorpsiyon süreçleri de bu kapasiteyi güçlendirmektedir. Son yıllarda yapılan araştırmalar, GO ve kompozitlerinin hidrojen depolama performansını artırmaya yönelik önemli ilerlemeler sağlamıştır [35].

Nanomalzemelerin üretimi ve kullanımı, modern dünyada giderek daha fazla yaygınlaşmaktadır. Günümüzde bu materyaller yalnızca endüstriyel uygulamalarda değil, kozmetik ürünlerde de yer bulmaktadır. Örneğin, güneş koruyucu kremlerde nano boyuttaki titanyum dioksit ve çinko oksit partikülleri, ultraviyole ışınlarını yansıtıp emerek cildi korur. Nano boyuta indirgenmeleri sayesinde bu maddeler, geleneksel formlarına kıyasla daha yüksek etkinlik ve daha estetik görünüm sunar. Böylece nanoteknoloji, hem bilimsel hem de ticari anlamda günlük yaşamın ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir [36].

Nanomalzemeler, 1 ila 100 nanometre arasında değişen boyutlara ve farklı morfolojilere sahip parçacıklardır. Bu kadar küçük boyutlarda olmaları, yüzey alanlarını ve kimyasal reaktivitelerini artırır. Böylece bu materyaller, mekanik

dayanıklılık, optik davranış, manyetik özellikler ve elektriksel iletkenlik açısından geleneksel malzemelerden belirgin şekilde ayrılır. Küresel nanopartiküller, yüksek yüzey/hacim oranları sayesinde oldukça reaktiftir ve bu özellik, uygulamaya göre uyarlanabilir. Metal ve metal oksit nanoparçacıkları, bu özgün fizikokimyasal davranışları nedeniyle birçok endüstride tercih edilmektedir. Ancak bu partiküller genellikle kararsızdır; toplanma eğilimindedirler ve stabil kalabilmeleri için yüzeylerinin modifiye edilmesi gerekir. Yüzey işlevselleştirme süreçleri, nanopartiküllerin hem raf ömrünü uzatmakta hem de biyolojik ortamlarda uyumlarını artırmaktadır. Bu bölümde, metal nanopartiküllerin yüzey aktif maddelerle nasıl stabilize edilebildiği ve bu modifikasyonların yeni işlevsel özellikler kazandırmadaki rolü ele alınmaktadır [37].

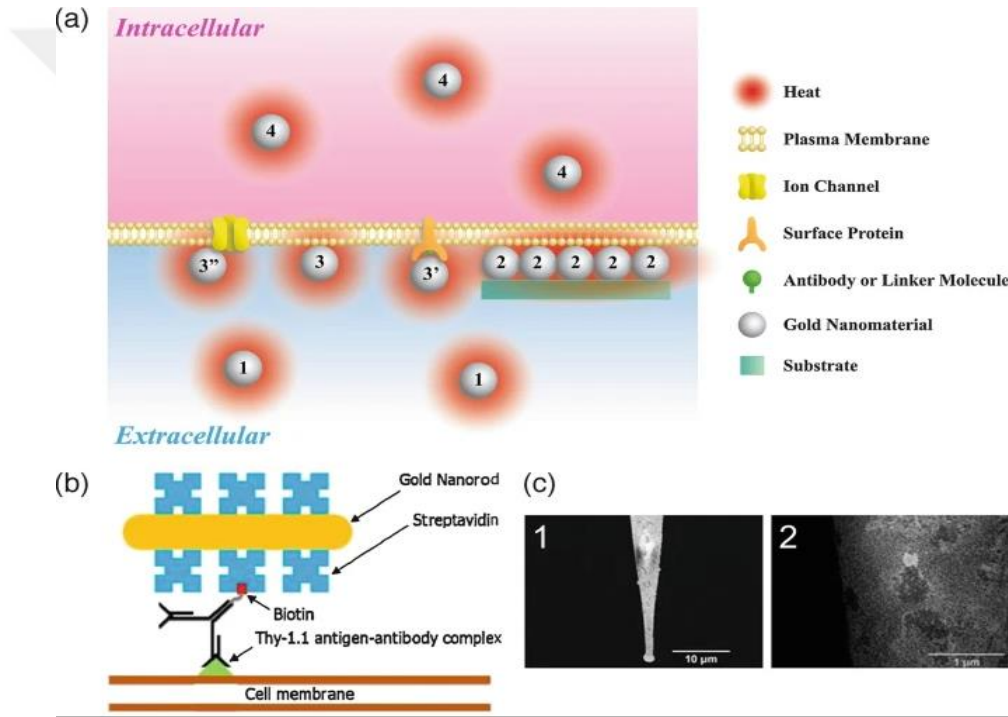
Kanser, dünya genelinde yüksek ölüm oranlarına sahip en yaygın hastalıklardan biridir ve önümüzdeki yıllarda bu oranın artması öngörülmektedir. Kontrollü ilaç salınım sistemleri (DDS), ilaçların doğrudan hedef bölgeye taşınmasını sağlayarak yan etkileri azaltır ve tedavi etkinliğini artırır. Bu sistemler, ilacı bozunmadan korurken hedef dokuda daha yüksek bir ilaç konsantrasyonu sağlar ve böylece gereken doz miktarını düşürür. Nanoteknolojik yaklaşımlar, ilaç taşıyıcı sistemlerinin geliştirilmesinde büyük bir potansiyel sunmaktadır. Küçük boyutları ve yüzeylerinin kolayca modifiye edilebilmesi sayesinde nanopartiküller, ilaç taşıyıcıları olarak biyomedikal uygulamalara oldukça uygundur. Bu kapsamda yapılan çalışmalar, nanotemelli ilaç taşıma sistemlerinin kanser tedavisinde yeni ve daha etkili yaklaşımlar geliştirilmesine olanak tanıdığını göstermektedir [38].

Nanopestisitler, tarım alanında geliştirilen yeni nesil koruyucu ajanlardır ve biyolojik aktiviteleri hâlen yoğun bir şekilde araştırılmaktadır. Bu çalışmalar, nanopestisitlerin su ve toprak ortamlarındaki davranışlarını, etki mekanizmalarını, toksisitelerini ve çevresel kaderlerini incelemektedir. Ayrıca, bu bileşiklerin hedef dışı canlılar üzerindeki olası riskleri, yasal düzenlemelerdeki eksiklikler ve gelecekteki geliştirme potansiyelleri de değerlendirilmektedir [39].

Altın nanomalzemeler, lokalize yüzey plazmon rezonansı (LSPR) özellikleri sayesinde ışığı ısı enerjisine dönüştürebilmekte ve bu sayede sinirsel aktivitenin kontrolü gibi ileri biyomedikal uygulamalarda kullanılabilir. Nöronlara

yönlendirildiklerinde, nano anten görevi görerek lokal ısı üretir ve sinirsel iletimi etkileyebilirler. Bu yaklaşım, genetik modifikasyona gerek kalmadan hücresel yanıtların uyarılmasını mümkün kılar. Ayrıca altın nanomalzemeler, biyolojik pencere içinde uygun dalga boylarına ayarlanabildiğinden invazivliği azaltır ve optik sinir uyarımında değerli bir alternatif sunar. Bu bölüm, altın nanoyapı destekli optik sinir stimülasyonunun gelişimi ve mevcut zorluklarını tartışmaktadır [40].

Şekilde altın nanomalzeme etkin optik sinir uyarımının tasarlanmasında kritik faktörler açıklanmıştır.



Şekil 1.4 Altın nanomalzeme etkin optik sinir uyarımının tasarlanmasında kritik faktörler [40].

Selenyum nanoparçacıklarının antikanser etkisi, özellikle meme kanseri hücrelerinin çoğalmasını baskılama yönünde güçlü bir potansiyel sergilemektedir. Doza bağımlı olarak artan büyüme durdurma (proliferasyon inhibisyonu) yanıtı, bu yapının tedavi amaçlı kullanımına işaret eder. Biyomühendislik yaklaşımlarıyla yüzeyi işlevselleştirilen Se nanoparçacıkları, kanser hücrelerine karşı daha belirgin seçicilik ve artmış apoptotik (programlı hücre ölümü) yanıt sağlayarak hedefe yönelik etkiyi güçlendirmektedir. Apoptozun uyarılması, tümör hücrelerinin kontrollü biçimde ortadan kaldırılması açısından terapötik açıdan arzu edilen bir sonuçtur. Bu bulgular,

selenyum nanoparçacıklarının güvenli ve etkili antikanser ajanlar olarak klinik uygulamalara aktarılabilmesi için kritik önemdedir [41].

Mikro ve nanoplastiklerin sulu ortamlardaki kalıcılığı, biyobirikim ve ekotoksik etkiler nedeniyle önemli bir çevresel risk kaynağıdır. Geliştirilen pek çok giderim teknolojisine rağmen mevcut yöntemler her durumda yeterli performans göstermeyebilir. Bu bağlamda nanomalzemeler; yüksek kapasiteli adsorbanlar, seçici yarı geçirgen membranlar ve etkin fotokatalizörlerin tasarımında kullanılarak mikro/nanoplastiklerin uzaklaştırılmasında belirgin avantajlar sunar. Altyapısı nanoyapısal tasarıma dayanan bu çözümler, arıtım verimini artırırken süreçlerin sürdürülebilirliğine de katkı sağlar. Güncel değerlendirmeler, söz konusu nanoyapıların daha etkili ve ölçeklenebilir arıtım teknolojilerine dönüştürülebilmesi için yapısal/işlevsel optimizasyon çalışmalarının sürdürülmesi gerektiğini göstermektedir [42].

Kanser tanı ve tedavisinde öne çıkan nanoyapılardan biri de gümüş nanoparçacıklarıdır (AgNP). AgNP'ler; tümör hücrelerinde antiproliferatif etki, görüntüleme sinyali/gürültü oranını iyileştirme ve çoklu modalitelerde (tanısal-terapötik) kullanılabilme gibi üstünlükler sergiler. Bununla birlikte, biyoyumluluk, dozlaşmanın hassas yönetimi, hedefleme özgülüğü ve klinik çeviriye yönelik üretim standardizasyonu gibi başlıklarda çözülmesi gereken zorluklar mevcuttur. Bu bölümde AgNP'lerin antikanser etkinlik mekanizmaları, tanısal uygulamalardaki performansı ve klinik uygulamaya geçişte karşılaşılan engeller bütüncül biçimde ele alınmaktadır [43].

1.2.4 Araç ve teknikler

Nanoteknoloji, 100 nanometre (nm) veya daha küçük boyutlardaki yeni malzemelerin üretimi ve manipülasyonu ile ilgilenen bir bilim alanıdır. Bu malzemeler; tıp, mühendislik, tarım ve çevre teknolojileri gibi pek çok disiplinde yaygın kullanım alanı bulmuştur. Bununla birlikte, nanomalzemelerin özgün fiziksel ve kimyasal özellikleri, onlara hem faydalı hem de potansiyel olarak zararlı nitelikler kazandırabilir. Özellikle sağlık ve çevre güvenliği açısından, bu materyallerin toksikolojik etkilerinin ve ekotoksisitelerinin detaylı biçimde incelenmesi gereklidir. Artan nanomalzeme

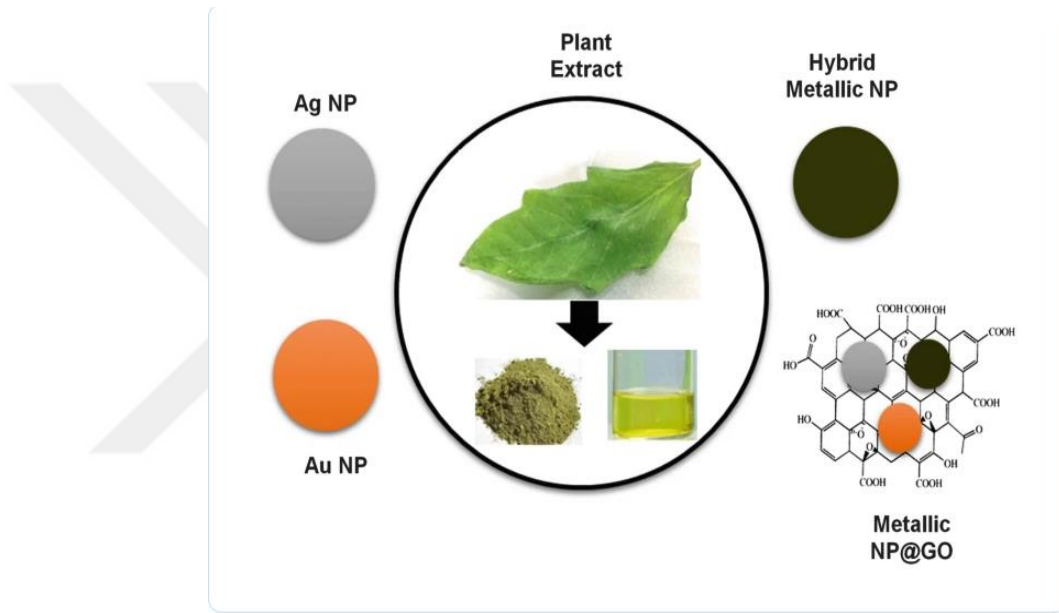
çeşitliliği, her birinin ayrı ayrı test edilmesini güçleştirmekte, bu nedenle alternatif değerlendirme ve tahmin yöntemlerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, makine öğrenmesi, bulanık mantık ve evrimsel hesaplama gibi yapay zekâ temelli yöntemlerin, nanomalzemelerin toksisite profillerini öngörmeye etkili araçlar sunduğu vurgulanmaktadır. Bu yaklaşımlar, nanomalzeme risklerinin daha hızlı, doğru ve sürdürülebilir biçimde değerlendirilmesini sağlamaktadır [44].

Gelişmiş nanomalzemeler, üstün optik, elektronik ve redoks davranışları sayesinde bilimsel araştırmalarda giderek daha fazla ilgi görmektedir. Bu özel nitelikler, onları yeni nesil fonksiyonel malzemeler arasında öne çıkarmaktadır. Nanoteknolojideki ilerlemeler, bu malzemelerin yüksek yüzey alanı, biyouyumluluk, düşük toksisite ve yük duyarlılığına sahip iletkenlik gibi avantajlarıyla geniş bir uygulama alanına ulaşmasını sağlamıştır. Bu özellikler, özellikle elektrokimyasal genosensörlerin geliştirilmesinde belirleyici rol oynamaktadır. Genosensörler, belirli DNA dizilimlerini veya genetik materyalleri tespit etmeye yarayan cihazlardır. Nanomalzemelerin bu sistemlere entegre edilmesi, sensörlerin hassasiyetini, tekrarlanabilirliğini ve sinyal iletim hızını artırmaktadır. Ayrıca, düşük maliyetli ve taşınabilir sensör tasarımlarına olanak tanıyarak saha koşullarında kullanılabilir biyosensörlerin geliştirilmesini kolaylaştırır. Bu bölüm, nanomalzemelerin elektroaktif özelliklerinin doğrudan analit tespiti ve sinyal iletiminde nasıl kullanıldığını açıklamakta ve yeni nesil genosensörlerin biyomühendislik uygulamaları için sunduğu yenilikleri ortaya koymaktadır [45].

Bitki ekstraktları, nanomalzeme sentezinde çevre dostu, güvenli ve ekonomik bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Bitkiler doğal olarak biyolojik ve kimyasal bileşenler içerdiğinden, nanoparçacıkların biyosentezinde hem indirgeme hem de kaplama ajanı olarak görev alabilirler. Bu yaklaşım, toksik kimyasalların kullanımını ortadan kaldırarak yeşil sentez yöntemlerinin yaygınlaşmasına katkı sağlamaktadır. Farklı bitki türlerinden elde edilen ekstraktlar, nanoparçacıkların boyut, morfoloji ve yüzey özelliklerini kontrol etmede önemli rol oynar. Bu yöntemle elde edilen metalik (ör. gümüş, altın) ve hibrit nanoparçacıklar, hem antimikrobiyal hem de biyomedikal uygulamalarda değerlendirilebilmektedir. Ekstrakt hazırlama teknikleri arasında soğuk/sıcak ekstraksiyon, macerasyon ve ultrasonik ekstraksiyon yöntemleri yer alır.

Bitki bazlı nanoparçacıklar, patojen mikroorganizmalara karşı gösterdikleri yüksek biyolojik aktivite nedeniyle, tıp ve çevre mühendisliği alanlarında önemli bir potansiyel taşımaktadır. Bu nedenle bitki ekstraktlarının nanomalzeme sentezindeki kullanımı, sürdürülebilir üretim ve çevre dostu teknoloji hedefleri açısından büyük bir öneme sahiptir [46].

Şekilde özüt hazırlama teknikleri, metalik tek ve hibrit nanopartikül (NP) sentezi için özütler.



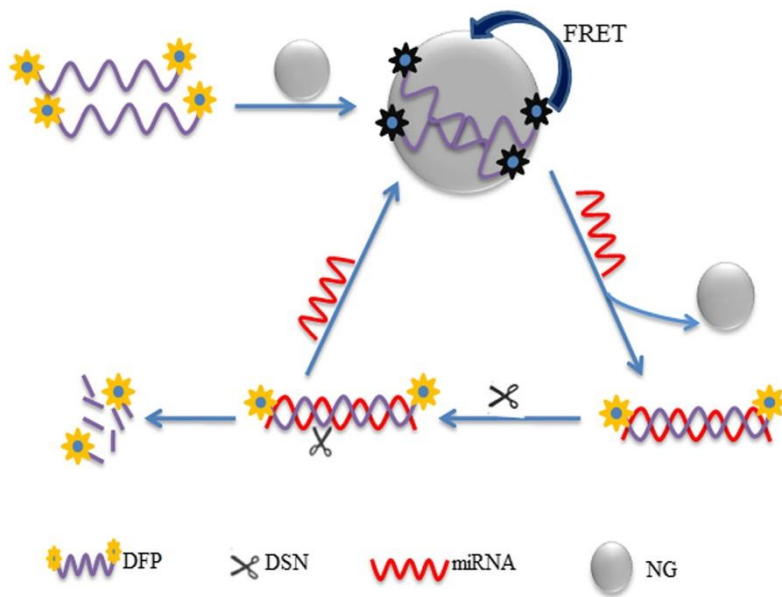
Şekil 1.5 Özüt hazırlama teknikleri, metalik tek ve hibrit nanopartikül (NP) sentezi [46].

Nanomikotoksikoloji: Nanoteknoloji ile Mikotoksinlerin Yönetimi adlı kitap, nanoteknolojinin mikotoksinlerin tespiti, toksisite mekanizmaları ve kontrol süreçlerindeki rolünü kapsamlı bir biçimde ele almaktadır. Çalışmada, nanoteknolojik yaklaşımların mikotoksin teşhisinde nasıl uygulandığı, toksik mantarların (mikotoksijenik türler) hızlı, düşük maliyetli ve yüksek doğrulukta tespitine nasıl katkı sunduğu detaylandırılmaktadır. Ayrıca, nanoteknolojinin hastalık tahmini, direnç mekanizmaları ve mikotoksin analizlerindeki etkileri tartışılmakta; nanodiagnostik ve moleküler biyoteknolojik yöntemlerin bitki hastalıklarının yönetimindeki kullanımına da değinilmektedir.

Bu kitap, mikotoksikoloji, mikoloji, bitki bilimi, gıda güvenliği ve nanoteknoloji alanlarında çalışan araştırmacılar için disiplinler arası bir referans kaynağı niteliğindedir. Aynı zamanda endüstriyel Ar-Ge uzmanlarına yönelik olarak nanotoksikoloji ve nanogüvenlik konularında güncel bilgiler sunmakta; mikotoksinlerin etkin yönetimi için geliştirilen yenilikçi nanoteknolojik çözümleri ayrıntılı biçimde incelemektedir [47].

Bir diğer çalışmada, mikroRNA (miRNA) tespiti için yüksek hassasiyetli bir biyosensör geliştirilmiştir. Bu sensör, nanografite (NG) yüzeyi ve floresan etiketli bir prob kullanarak dublet spesifik nükleaz (DSN) destekli sinyal yükseltme prensibine dayanır. Hedef miRNA bulunmadığında, NG yüzeyine bağlanan karboksiflorescein (FAM) etiketli probun floresansı sönümlenir. Ancak hedef miRNA mevcutsa, DNA/RNA hibritleri NG'ye bağlanarak floresans sinyali yeniden ortaya çıkar. Bu sistem, 10 pmol/L tespit limitine sahip olup, 50 pmol/L ile 5 nmol/L arasındaki miRNA konsantrasyonlarıyla doğrusal bir ilişki göstermektedir. Ayrıca sensör, let-7b miRNA'sını, let-7 ailesinin diğer üyelerinden ayırt edebilecek seçiciliğe sahiptir. Geliştirilen bu biyosensör, miRNA tespiti için son derece yüksek hassasiyet sunmakta ve biyomedikal araştırmalar, hastalık tanısı ve tedavi geliştirme süreçleri açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır [48].

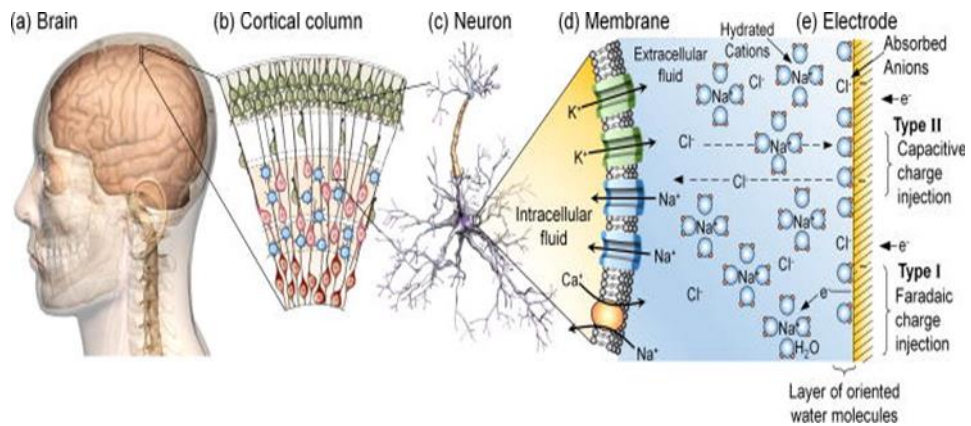
Şekil miRNA tespiti için NG/DFP algılama platformunun şematik gösterimi.



Şekil 1.6 miRNA tespiti için NG/DFP algılama platformunun şematik gösterimi. [48].

Bu çalışma, biyolojik dokular ile nano ölçekteki arayüzlerin nasıl geliştirildiğini ve özellikle nanotellerin (NW'ler) nöronal aktivitelerin yüksek çözünürlükte iletimindeki rolünü kapsamlı biçimde incelemektedir. Nanoelektrotlar, nöronların elektrokimyasal sinyallerini doğrudan ölçebilme yeteneği sayesinde, sinir hücrelerinin davranışlarını daha hassas bir şekilde analiz etmeye olanak tanır. Çalışmada, farklı malzemelerden (Pt, PEDOT:PSS, Si, Ti, ITO, IrO_x, Ag ve AgCl) üretilen elektrotların elektrokimyasal empedans değerleri ile yük enjeksiyon kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Nanoelektrot teknolojileri, sinir hücrelerine minimal invaziv etki yaparak yüksek çözünürlükte veri elde edilmesini sağlar. Ayrıca, nanotellerle oluşturulan arayüzlerin, hücre potansiyellerinin genliği ve zamansal özellikleri üzerindeki etkileri detaylı biçimde değerlendirilmiştir. Ultra ince nanoteller (ultra-sharp NW'ler) kullanılarak, hücre içi potansiyellerin yüksek doğrulukta kaydı mümkün hale gelmiştir. Sonuç olarak, bu inceleme nanoelektrot-nöron arayüzlerinin tasarım prensiplerini, performans ölçütlerini ve gelecekteki uygulama potansiyellerini tartışmaktadır. Çalışma, biyosensör teknolojisi, sinir mühendisliği ve nöroelektronik araştırmaları için önemli bir temel bilgi kaynağı sunmaktadır [49].

Şekilde insan beyni ve bileşenleri, çoklu uzunluk ölçeklerinde, sorgulayan elektrofizyolojik problemlerle elektrokimyasal olarak etkileşime girer. (a) insan beyninin, (b) kortikal kolonun, (c) nöronun, (d) kanal proteinleri ve lipid çift katmanları içeren nöronal membranın ve (e) sorgulayan elektrot yüzeyinin şematik çizimleri.



Şekil 1.7 İnsan beyni ve bileşenleri, çoklu uzunluk ölçeklerinde, sorgulayan elektrofizyolojik problemlerle elektrokimyasal olarak etkileşime girer. (a) insan beyninin, (b) kortikal kolonun, (c) nöronun, (d) kanal proteinleri ve lipid çift katmanları içeren nöronal membranın ve (e) sorgulayan elektrot yüzeyinin şematik çizimleri. [49].

Bu inceleme, minyatürleştirilmiş sıvı kromatografi (LC) tekniklerinin, özellikle kılcal (capillary) ve nano-LC sistemlerinin, karmaşık biyolojik süreçlerin analizinde ve yüksek çözünürlüklü protein ayırımında nasıl kullanıldığını ele almaktadır. Nano ölçekli ayırma teknolojilerinde son yıllarda önemli ilerlemeler kaydedilmiş olup, bu yöntemler yüksek kütle duyarlılığı, kısa analiz süresi ve düşük numune hacmi gibi avantajlar sunmaktadır. Kılcal ve nano-LC sistemleri, sınırlı miktardaki biyolojik örneklerin analizinde yüksek hassasiyet sağlamanın yanı sıra, kütle spektrometrisi (MS) ile entegrasyon açısından da oldukça uygundur. Bu çalışma, monolitik nanokolonların kullanıldığı çeşitli uygulamalara odaklanmakta ve bu sistemlerin pratik kullanım örneklerini özetlemektedir. Genel olarak, kılcal ve nano-LC tekniklerinin protein analizinde sağladığı hız, hassasiyet ve doğruluk sayesinde biyoteknolojik araştırmalarda önemli bir potansiyele sahip olduğu vurgulanmaktadır [50].

Genom düzenleme teknolojileri, kanser gibi karmaşık hastalıkların tedavisinde umut verici yaklaşımlar arasında yer almaktadır. Geleneksel viral vektörler, nükleik asitlerin ve proteinlerin taşınmasında belirli başarılar sağlamış olsa da, verimlilik, dokuya özgü hedefleme ve toksisite gibi konularda hâlâ sınırlılıklar barındırmaktadır. Nanoteknolojideki gelişmeler, bu sorunların aşılmasında yeni olanaklar sunmuş ve nano taşıyıcı sistemlerin genom düzenleme araçlarıyla birleştirilmesine zemin hazırlamıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmalar, özellikle CRISPR/Cas tabanlı sistemlerin nanotaşıyıcılarla entegrasyonu üzerine yoğunlaşmakta; bu birleşimin kanserin teşhisi, tedavisi ve hastalık modellerinin oluşturulması üzerindeki olumlu etkileri detaylı biçimde incelenmektedir. Böylece, nanoteknoloji destekli genom düzenleme stratejileri, hem tedavi etkinliğini artıran hem de toksisiteyi azaltan yenilikçi biyoteknolojik çözümler olarak değerlendirilmektedir [51].

1.2.5 Nanoteknolojik uygulamalar

Günümüzde günlük yaşamda kullanılan birçok ürünün geliştirilmesinde nano ölçekteki malzemeler ve üretim teknolojileri önemli bir rol oynamaktadır. Bu tür malzemeler, klasik bileşenlere göre daha dayanıklı, hafif, esnek ve yüksek iletkenliğe sahip olacak şekilde özel olarak tasarlanmaktadır. Nanoteknoloji uygulamaları, sanayinin pek çok alanına yayılmış durumdadır. Kimyasal-mekanik cilalama

maddeleri, manyetik veri depolama sistemleri, güneş koruyucu kozmetikler, otomotiv katalizör taşıyıcıları, yarı iletken cihazlar, iletken kaplamalar ve optik fiber altyapıları bu teknolojinin yaygın olarak kullanıldığı başlıca örneklerdir. Gıda endüstrisinde ise nanoteknoloji, ürün kalitesini ve güvenliğini artırmak amacıyla önemli katkılar sağlamaktadır. Özellikle, gümüş nanopartiküllerle güçlendirilmiş polimer matrisler, ambalaj malzemelerinin dayanıklılığını artırmakta ve gıdaların raf ömrünü uzatmaktadır. Bu sayede ürünlerin tazeliği, lezzeti ve besin içeriği daha uzun süre korunabilmektedir. Ayrıca, akıllı ambalaj sistemleri sayesinde gıdaların biyolojik değişimleri veya bozulmaları erken dönemde tespit edilebilmekte, böylece gıda güvenliği önemli ölçüde geliştirilmektedir. Tarımsal uygulamalarda da nanoteknoloji, ürün verimliliğini yükseltmek ve kontaminasyonu azaltmak için önemli bir araç olarak değerlendirilmektedir. Teknolojik gelişmeler sayesinde, geçmişte büyük boyutlu televizyon ve telefonların yerini ince ekranlı televizyonlar ve akıllı cihazlar almıştır. Bu dönüşümde grafen gibi nanomalzemeler, düşük enerji tüketimi, hafiflik ve yüksek çözünürlük avantajlarıyla öne çıkmaktadır. Ayrıca, veri işleme hızını artırmak için geliştirilen nano boyutlu çipler, günümüzün büyük veri gereksinimlerini karşılayacak kapasitededir. Tıbbi uygulamalarda, nanoteknoloji görüntüleme sistemlerinin verimliliğini artırmak, gen tedavisi, yara iyileştirme ve doku mühendisliği gibi alanlarda yenilikçi çözümler sunmak amacıyla kullanılmaktadır. Geleneksel tedavi yöntemlerinde görülen yan etkileri azaltmak için hedefe yönelik nanopartikül taşıyıcı sistemleri geliştirilmektedir. Böylece, yalnızca hastalıklı hücreleri hedefleyen nanotıp tabanlı tedaviler ön plana çıkmaktadır. Tekstil endüstrisinde, kumaşların daha uzun ömürlü, kırıılmaz, koku tutmaz ve antibakteriyel özelliklere sahip olması amacıyla nano boyutlu gümüş ve titanyum dioksit partikülleri kullanılmaktadır. Bu teknolojiler, hafif, nefes alabilir, leke tutmayan ve dayanıklı kumaşların üretimini sağlamaktadır. Otomotiv sektöründe, lastiklerin aşınmaya karşı direncini artırmak amacıyla Doğal Kauçuk–Organokil gibi polimer nanokompozitler kullanılmaktadır. Ayrıca, tungsten nanoparçacıklarının otomotiv sıvılarına eklenmesi mekanik performansı güçlendirir. Nanoteknoloji; boya kaplamaları, enerji depolama sistemleri, ısı kontrolü sağlayan termoelektrik malzemeler ve korozyon önleyici yüzeyler gibi alanlarda da önemli katkılar sunmaktadır. Enerji teknolojilerinde, nanoteknoloji güneş pilleri ve lityum iyon pillerin verimliliğini artırmak için kullanılmaktadır. Nano yapıları güneş pilleri, daha yüksek ışık emilimi ve enerji dönüşümü sağlar. İnşaat sektöründe ise

nanomalzemelerin kullanımı, aydınlatma ve ısı yalıtımı verimliliğini artırarak enerji tasarrufuna katkı sağlamaktadır. Spor endüstrisinde, nanoteknoloji silika nanopartiküller ve diğer nanomalzemelerle hafif, dayanıklı ve yüksek performanslı ekipmanların üretimine olanak tanımıştır. Bu sayede raketler, golf topları, hokey sopaları ve spor ekipmanları daha yüksek dayanıklılık ve esneklik kazanmaktadır. Su arıtımında, nanoteknoloji temelli filtrasyon zarları, nehir ve yeraltı sularındaki kimyasal atıkları uzaklaştırarak su kalitesini artırır. Bu yöntem hem verimli hem de ekonomik bir çözüm sunar. Hava kirliliğiyle mücadelede, grafen oksit kaplı membranlar kirleticileri etkili biçimde filtreler ve katalizörlerin verimini artırarak endüstriyel tesisler, araçlar ve iklimlendirme sistemlerinden kaynaklanan emisyonları azaltır. Son olarak, uzay teknolojilerinde nanoteknoloji büyük önem taşımaktadır. Karbon nanotüpler (CNT'ler) gibi ileri nanomalzemeler, uyduların yapısal dayanıklılığını artırmak ve uzay araçlarının ağırlığını azaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Böylece, daha az yakıtla uzaya erişim mümkün hale gelmektedir [52].

1.2.5.1 Nanoteknolojik uygulamalara örnekler

Bitkisel bileşiklerin, kanser tedavilerinin etkinliğini artırmada önemli bir potansiyele sahip olduğu çok sayıda çalışma tarafından gösterilmiştir. Bu doğal bileşiklerin, kemoterapi, hormonal tedavi ve gen terapisi gibi yöntemlerin tümör hücreleri üzerindeki etkisini güçlendirdiği rapor edilmiştir. Doğal kaynaklı ürünler, genellikle daha güvenli biyolojik profillere sahiptir; terapötik dozlarda düşük toksisite göstermeleri, bu bileşiklerin tercih edilme oranını artırmaktadır. Nanoteknoloji mühendisliği, materyallerin en temel düzeyde yeniden tasarlanmasına olanak tanıyarak organik ve inorganik yapıların işlevselliğini geliştirmektedir. Bu alanda etkin araştırmalar yürütmek, ileri düzeyde teorik ve uygulamalı bilgi gerektirir. Özellikle elektrik ve malzeme mühendisliği alanlarında uzmanlaşan araştırmacılar, nano ölçekli elektronik bileşenlerin tasarımı, üretimi ve uygulanması konusunda derinlemesine bir anlayış kazanabilirler. Bitkisel kökenli bileşikler, sinyal iletim yollarını düzenleyerek, kanser ilaçlarının hücrelerden dışarı atılmasını engelleyebilir ve böylece ilaç direncini azaltabilir. Ayrıca, bu bileşikler yan etkileri hafifletme ve tedaviye duyarlılığı artırma potansiyeliyle de dikkat çekmektedir. Bu derleme, bitkisel nanotüplerin oluşumunu etkileyen faktörleri, hedefleme stratejilerini, ilaç taşımada

kullanılan nanotaşıyıcı sistemleri, fitokimyasal bazlı kombinasyonel nanotüplerin kanser tedavisindeki rolünü ve nanotaşıyıcı tabanlı tedavi yaklaşımlarında karşılaşılan zorlukları ayrıntılı biçimde incelemektedir. Bu bağlamda, bitkisel bileşiklerin nanoteknoloji destekli kanser tedavisinde güvenli, etkili ve biyolojik olarak uyumlu ajanlar olarak öne çıktığı vurgulanmaktadır [53].

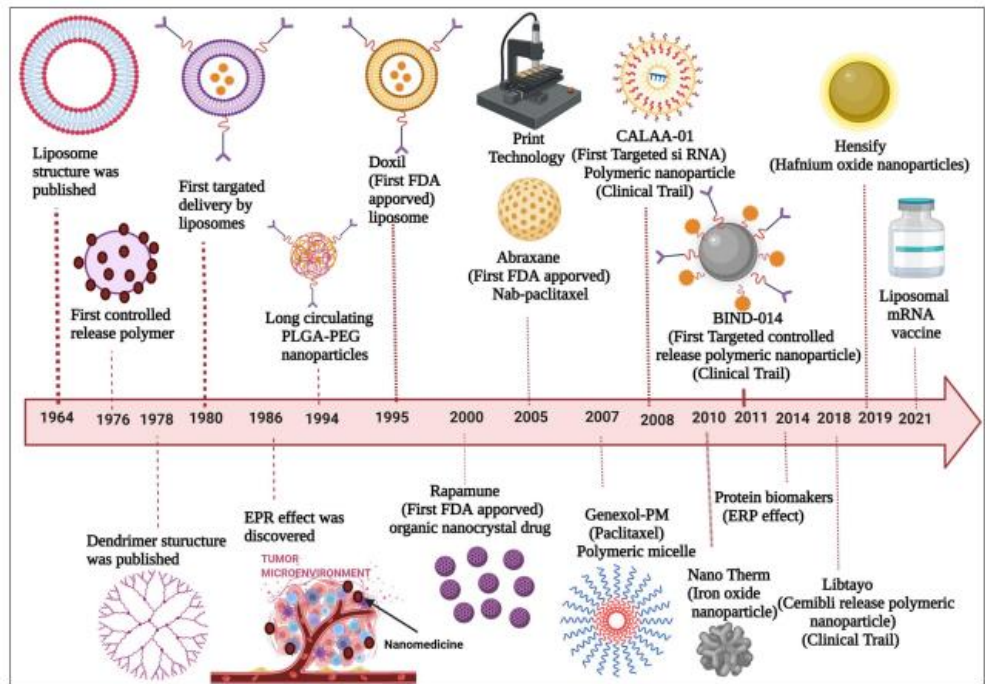
Şekil; kanser tedavisine yönelik nanoilaçların tarihsel gelişiminin şematik gösterimi.

PLGA, poli laktik-ko-glikolik asit;

PEG, polietilen glikol; FDA, gıda ve ilaç idaresi; Genexol-PM, paklitakselin polimerik misel formülasyonu; ERP, geliştirilmiş

geçirgenlik ve tutma; RNA, ribonükleik asit; CALAA-01, küçük girişim yapan ribonükleik asit içeren hedefli, polimer bazlı nanopartikül;

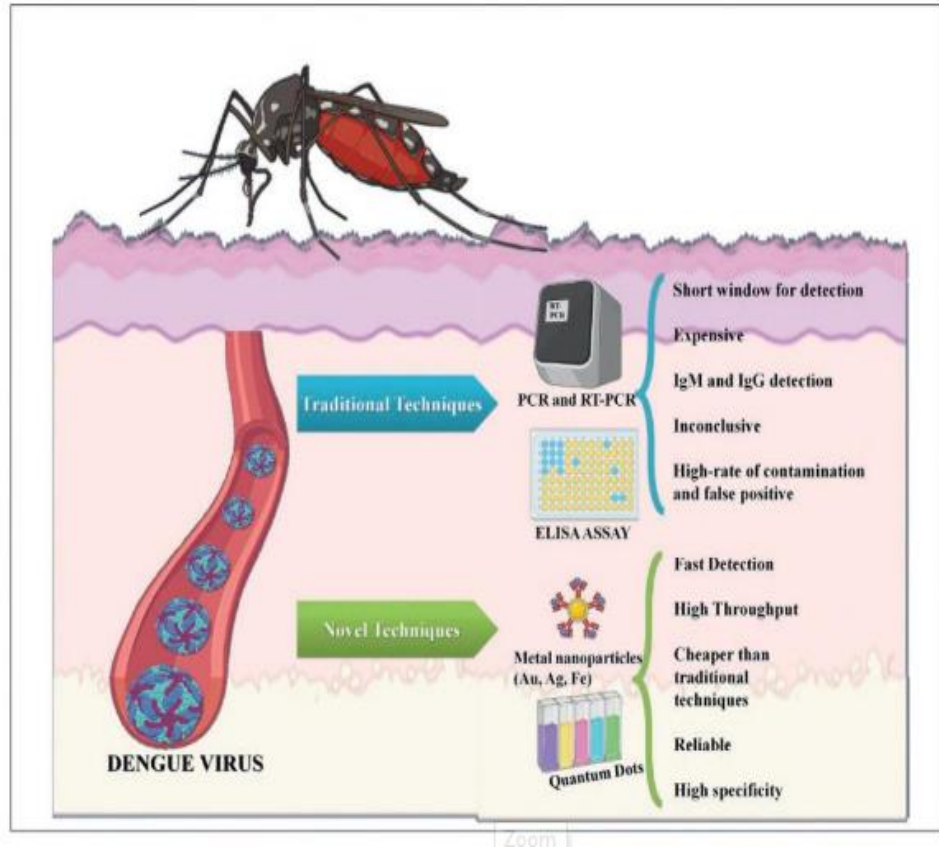
BIND-014, prostata özgü membran antijenini hedef alan, nanopartikül hapseden dosetaksel; mRNA, haberci ribonükleik asit.



Şekil 1.8 Kanser tedavisine yönelik nanoilaçların tarihsel gelişiminin şematik gösterimi [53].

“Nanobiyoteknolojinin İhmal Edilen Tropikal Hastalıklar İçin Uygulamaları” adlı kitap, tropikal hastalıkların (NTD’ler) küresel ölçekteki etkilerini azaltmada nanobiyoteknolojinin yenilikçi yaklaşımlarını kapsamlı biçimde ele almaktadır. Eser, bu hastalıkların önlenmesi, tanısı ve tedavisi süreçlerinde nanoteknolojik yöntemlerin

nasıl kullanılabileceğini araştırmakta ve üç ana tematik bölüm altında yapılandırılmıştır. İlk bölüm, NTD'lerin önlenmesinde kullanılabilecek nanoteknolojik stratejilere odaklanmaktadır. İkinci bölümde, teşhis ve tespit yöntemlerinde nanoteknolojinin uygulandığı ayrıntılı biçimde açıklanırken, son bölümde tedaviye yönelik nanoteknolojik yaklaşımlar ve bu yöntemlerin etkinliği tartışılmaktadır. Her bölüm, mevcut yaklaşımlarla karşılaştırmalı analizler yaparak farklı tekniklerin avantaj ve sınırlılıklarını ortaya koymaktadır. Kitap, biyokimya, tıbbi kimya, malzeme bilimi, farmakoloji ve eczacılık gibi disiplinlerden gelen bilgi birikimini bir araya getirerek çok boyutlu bir bakış açısı sunar. Ayrıca, temel araştırmalardan klinik uygulamalara kadar nanobiyoteknolojinin güncel tekniklerini detaylı bir biçimde incelemektedir. Bu yönüyle eser, nanoteknolojinin tropikal hastalıklarla mücadelede sunduğu yeni olanakları hem teorik hem de pratik açıdan değerlendiren önemli bir başvuru kaynağı niteliğindedir [54].



Şekil 1.9 Nanobiyoteknolojinin ihmal edilen tropikal hastalıklar için uygulamaları [54].

Nano-endüstri, gıda işleme, üretim, paketlenme, analiz ve depolama gibi birçok alanda köklü değişimlere yol açmaktadır. Nanopartiküller, hem organik hem de inorganik

yapılarda kullanılabilen çok yönlü malzemelerdir ve fiziksel ya da kimyasal özellikleri nano ölçekte değiştirilerek özel uygulamalara uyarlanabilir. Son yıllarda, yapı malzemeleri, tıbbi teşhis ve tedavi, enerji üretimi, moleküler hesaplama gibi farklı alanlarda bu teknolojilerin geniş uygulama potansiyeli dikkat çekmiştir. Bu bölümde, nanopartiküllerin bileşimi, sınıflandırılması ve nanosensörlerin temel işlevsel bölümleri ele alınmaktadır. Nanosensörler, gıda endüstrisinde özellikle raf ömrünü uzatma, tat ve aroma farklılıklarını algılama gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Gıda kalitesinin izlenmesi için geliştirilen elektronik burun (e-burun) ve elektronik dil (e-dil) sistemleri, nanosensör teknolojilerinin pratik uygulama örneklerindendir. Bununla birlikte, nanosensörlerin biyoakümülyasyon potansiyeli ve güvenlik riskleri de önemli araştırma konuları arasında yer almaktadır. Bu alanda yapılan son çalışmalar, mevcut bilgi boşluklarını belirleyerek gelecekteki araştırma yönelimlerini ortaya koymaktadır [55].

Gıda bozulması, çevresel etkenler, kimyasal reaksiyonlar ve mikrobiyal kontaminasyon sonucu meydana gelmekte; bu durum kalite kayıplarına, toksik bileşik oluşumuna ve ciddi sağlık risklerine neden olabilmektedir. Gıda güvenliği ve kalite beklentilerinin artması, ambalaj endüstrisinde yeni çözümlere duyulan ihtiyacı artırmıştır. Nanoteknoloji, bu alanda devrim yaratabilecek potansiyele sahip yenilikçi bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Nanopartikül bazlı akıllı ambalaj sistemleri, gıdalar için gelişmiş bariyer özellikleri, mekanik dayanıklılık ve kontrollü madde salınımı sağlayarak ürünlerin raf ömrünü uzatmaktadır. Özellikle, antimikrobiyal nanopartiküller, gıdalarda mikrobiyal bozulmayı yavaşlatarak kaliteyi korur. Organik ve inorganik nanomalzemelerden geliştirilen antimikrobiyal nanokompozit filmler, bu amaçla önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Ambalajların etkinliği, nanopartiküllerin etkileşimi ve polimer matrisin fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir [56].

Burundan beyne ilaç iletimi sistemleri, nörolojik hastalıkların tedavisinde geleneksel yöntemlere alternatif olarak büyük ilgi görmektedir. Trigeminal ve olfaktör yollar, ilaçların kan-beyin bariyerini aşarak beyne ulaşmasını mümkün kılar. Bu derlemede, nanotaşıyıcı sistemlerin intranazal uygulama sonrası beyindeki biyoyararlanımını etkileyen fizikokimyasal parametreler ve tasarım özellikleri değerlendirilmiştir. Yüzey modifikasyonları, ligand ekleme stratejileri ve geçirgenlik artırıcı ajanların kullanımı,

hedefe yönelik ilaç iletimini optimize etmektedir. Ayrıca, in vivo hayvan modelleri ve in vitro hücre hattı çalışmaları, nanotaşıyıcı sistemlerin emilim, difüzyon, geçirgenlik, toksisite ve farmakokinetik profilleri üzerine kapsamlı veriler sunmaktadır. Elde edilen bulgular, burundan beyne ilaç taşıma teknolojilerinin beyin hastalıklarında ilaç etkinliğini artırma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Bunun yanında, biyotanasal yüzey değiştiriciler ilaç taşıma verimini artırarak bu sistemlerin klinik uygulamalara entegrasyonunu kolaylaştırabilir. Çalışmada ayrıca, nörolojik tedavilerde nanosistemlerin karşılaştığı mevcut zorluklar ve gelecekteki fırsatlar da ayrıntılı biçimde tartışılmıştır [57].

Bitki mikrobiyomu, yani bitki köklerini çevreleyen mikrobiyal topluluk, bitki büyümesi, beslenmesi ve stres toleransı üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Özellikle bitki büyümesini destekleyen mikroorganizmalar, hem büyümeyi uyarıcı hem de hastalık baskılayıcı özellikleriyle öne çıkar. Bu mikrobiyal topluluklar, tarımsal verimliliğin artırılması amacıyla geliştirilen nanoteknolojik yaklaşımlarla etkileşime girmektedir. Nanopartiküller, bitki mikrobiyomuyla etkileşime girerek faydalı bakteri aktivitelerini uyarabilir, biyosentez süreçlerini hızlandırabilir ve bitki metabolizmasını güçlendirebilir. Özellikle kök kolonizasyonu yapan mikroorganizmalarla etkileşimleri, bitki sağlığını ve stres direncini artırma potansiyeli taşır. Bununla birlikte, nanopartikül dozajı, ekonomik uygulanabilirlik ve toprakta kalıcılık süreleri gibi parametrelerin dikkatle değerlendirilmesi gerekir. Sonuç olarak, nanoteknolojinin modern tarımda kullanımı, bitki mikrobiyomlarının düzenlenmesi yoluyla küresel gıda üretimini iyileştirme açısından önemli bir fırsat sunmaktadır. Bu bölüm, bitki mikrobiyomlarının yapısını, nanopartiküllerle olan etkileşimlerini ve bu etkileşimlerin verim artışı ile biyotik stres toleransına etkilerini tartışmaktadır [58].

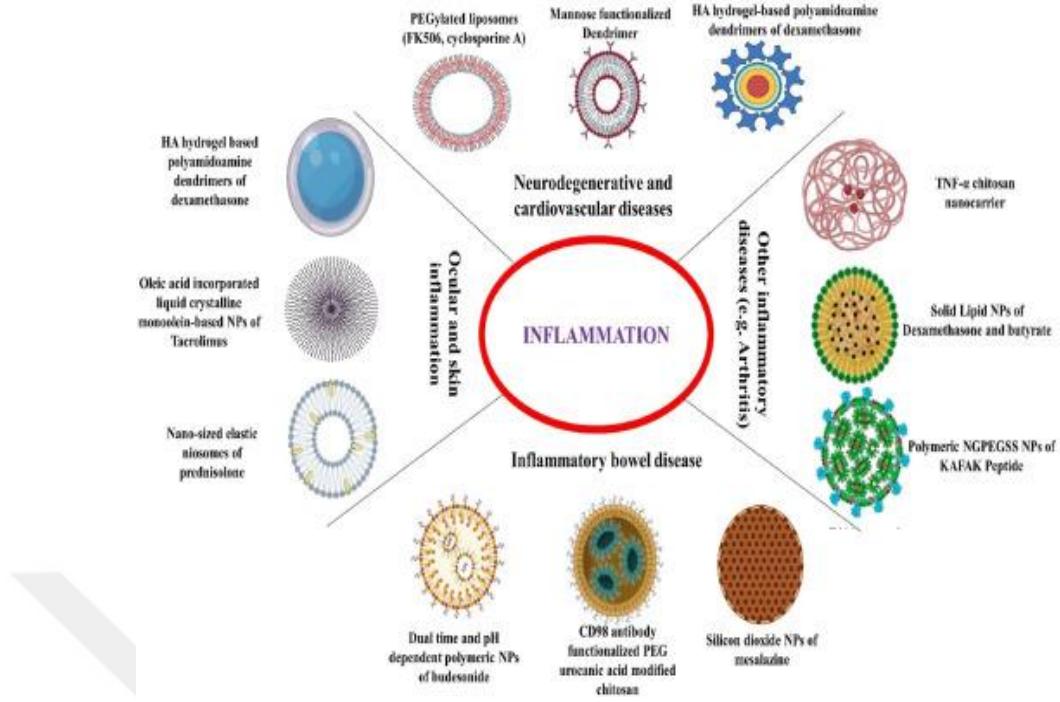
Nanoteknoloji tabanlı pestisitler (nanobiyopestisitler), çevre dostu ve yüksek etkinlik gösteren zararlı kontrol ajanları olarak ilgi görmektedir. Bu çalışmada, *Myrtus communis* bitki özütü kullanılarak çinko oksit nanopartikülleri (ZnO NP'ler) biyosentetik yöntemle üretilmiştir. Sentezlenen nanopartiküller, UV-görünür spektrofotometri, Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi ve alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FESEM) ile karakterize edilmiş ve 40–60 nm çapında yarı küresel biçimli yapılar olarak tanımlanmıştır. 100 ppm ZnO NP uygulaması sonucunda, *Myzus persicae* nimf ve erginleri üzerinde sırasıyla %77,37 ve %53,65

oranında mortalite sağlanmış; kontrol grubunda bu oranlar sırasıyla %33,31 ve %23,54 olarak kaydedilmiştir. Bulgular, *Myrtus communis* kaynaklı ZnO nanopartiküllerinin, konvansiyonel pestisitlere kıyasla yaklaşık 2,5 kat daha yüksek toksisite gösterdiğini ve etkili bir nanobiyopestisit olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymuştur [59].

2022–2023 yıllarında Lovely Professional University Bahçecilik Araştırma Alanı'nda yürütülen bir çalışmada, çilek (*Fragaria × ananassa* Duch.) cv. Winter Dawn bitkilerinde farklı ZnO ve FeO nanopartikül konsantrasyonlarının büyüme ve verim parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Denemeler rastgele blok tasarımı (RBD) altında yürütülmüş ve en yüksek etkinliğin 150 ppm ZnO + 150 ppm FeO kombinasyonu (T₁₅) ile elde edildiği belirlenmiştir. Bu uygulama, bitki boyu, yaprak sayısı, yaprak uzunluğu, klorofil içeriği ve gövde çapı gibi morfolojik ölçümlerde en yüksek değerlere ulaşmıştır. Ayrıca, çiçeklenme süresi ve meyve verimi açısından da T₁₅ uygulaması en başarılı sonuçları vermiştir. Çalışma, ZnO ve FeO nanopartikül kombinasyonlarının, özellikle Hindistan'ın Pencap bölgesinde çilek yetiştiriciliğinde verimi artırma potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymuştur [60].

İnflamasyon, bağışıklık sisteminin dokuları koruma amacıyla verdiği doğal bir yanıttır; ancak kontrolsüz olduğunda kronik hastalıkların ilerlemesine katkıda bulunabilir. Bu nedenle, nanomedikal yaklaşımlar, inflamatuvar hastalıkların hedefe yönelik tedavisinde umut verici alternatifler sunmaktadır. Nanotaşıyıcı sistemler, aşırı aktif makrofajlar veya endotel hücrelerindeki spesifik yüzey reseptörlerine bağlanarak tedavi etkinliğini artırabilir. Nanoinformatik, ilaç keşfi ve nanomedikal tasarım süreçlerinde hesaplamalı modelleme, veri analizi ve yapay zekâ destekli yaklaşımlarla kritik bir rol oynamaktadır. Bu disiplin, ilaç tasarımı, taşıma sistemleri ve tanısal yöntemlerin optimizasyonunda önemli yenilikler sunmakta; veri odaklı analizlerle dağıtım verimliliğini ve hedefleme doğruluğunu geliştirmektedir. Sonuç olarak, nanoinformatik destekli nanomedikal araştırmalar, hem tedavi etkinliğini artırmakta hem de sağlık hizmetlerinde kişiselleştirilmiş yaklaşımlara geçişi hızlandırmaktadır [61].

Şekilde iltihaplı bozukluklara ve bunları tedavi eden son teknoloji nanomedikallere örnekler. İltihaplı hastalıkların tedavisi için çok çeşitli malzemeler ve yöntemler yaratılmıştır



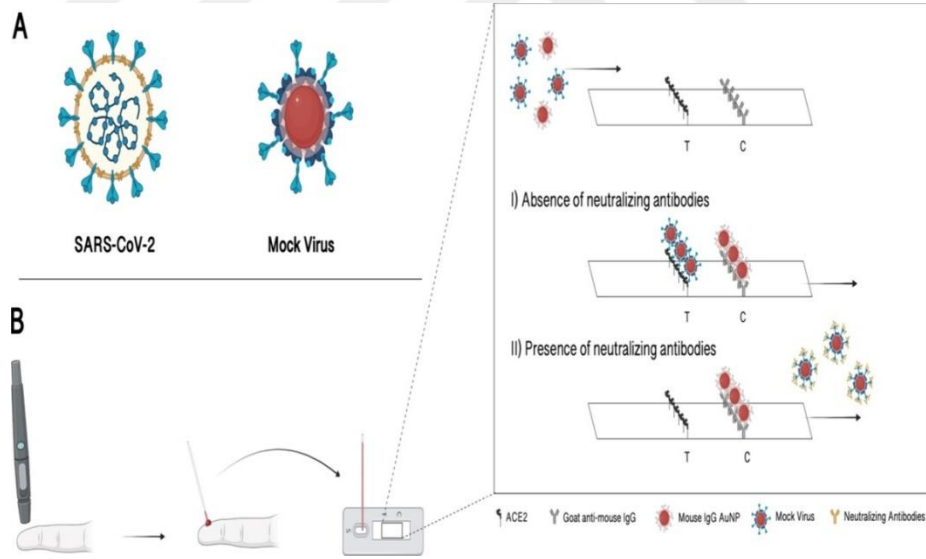
Şekil1.10 İltihaplı bozukluklara ve bunları tedavi eden son teknoloji nanomedikallere örnekler [61]

Nanohibrit fungusitler, farklı patojenik mantarlara karşı çevre dostu, ekonomik ve etkili antifungal ajanlar olarak tasarlanmıştır. Bu hibrit sistemler, hedefli etki mekanizması, artırılmış çözünürlük ve geçirgenlik sayesinde biyoyararlanımı yükseltir, doz ihtiyacını azaltır, toksisiteyi düşürür ve kontrollü etken madde salınımı sağlar. Bu sinerjik özellikler, özellikle tarımsal ve hasat sonrası fungal hastalıkların kontrolünde büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, ikincil metabolitlerle kombinasyon yoluyla nanohibrit fungusitlerin antifungal etkinliğinin artırılması, yeni nesil bitki koruma stratejilerinin geliştirilmesine katkı sunabilir. Bu bölüm, nanohibrit fungusitlerin bitki hastalık yönetimindeki rolünü, avantajlarını ve gelecekteki uygulama potansiyellerini kapsamlı biçimde özetlemektedir [62].

SARS-CoV-2'ye karşı nötralizan antikorların tespitine yönelik yenilikçi bir yanıl akış immünotesti (Lateral Flow Assay, LFA) geliştirilmiştir. Bu sistemde, yüzeyinde trimerik spike (S) proteini bulunan fonksiyonel altın nanopartiküller (AuNP'ler) kullanılarak pseudovirüs benzeri bir model oluşturulmuştur. Testin çalışma prensibi, sahte virüs partikülleri ile nötralizan antikorlar arasındaki ACE2 reseptör etkileşiminin inhibisyonuna dayanır. Tasarıma eklenen karıştırma pedi, antijen-antikor temas süresini uzatarak analitik hassasiyeti artırmıştır. Geliştirilen LFA, Dünya Sağlık

Örgütü (WHO) Uluslararası Standardı referans alınarak test edilmiş ve 59 IU/mL düzeyindeki antikor titrelerini güvenilir biçimde saptayabildiği gösterilmiştir. Ayrıca, yöntem tam kan ve plazma örnekleri üzerinde doğrulanmıştır. Bulgular, geliştirilen sistemin hızlı, güvenilir ve hasta başı (point-of-care) kullanım için uygun bir teşhis aracı olduğunu ortaya koymuştur [63].

Şekil (A) SARS-CoV-2 virüsünün yanı sıra, S proteiniyle işlevselleştirilmiş altın nanopartiküller (AuNPs) içeren biyomimetik (sahte) bir virüsün şematik temsili gösterilmektedir. (B) Test uygulanmadan önce, örnek parmak ucundan alınan az miktarda kan ile elde edilir. (I) Eğer numunede nötralizan antikorlar bulunmuyorsa, sahte virüs test şeridindeki ACE2 reseptörüne bağlanır ve bu bağlanma test hattında (T) bir sinyal oluşumuyla gözlenir. (II) Buna karşılık, nötralizan antikorların varlığında, sahte virüsün ACE2 ile etkileşimi engellenir, bu nedenle test hattında sinyal görülmez. Burada: T, test çizgisini; C, kontrol çizgisini; AuNP, altın nanoparçacığını temsil etmektedir.



Şekil 1.11 SARS-CoV-2'nin ve S proteinleriyle işlevselleştirilmiş bir altın nanopartiküller (AuNP) olan sahte bir virüsün şematik gösterimi [63].

1.3 Nanopartiküller Hakkında Genel Bilgi

Nanopartiküller, atom veya moleküllerin bir araya gelmesiyle oluşan, çapları genellikle 1–100 nanometre aralığında değişen yapılardır. Bu partiküller genellikle koruyucu bir yüzey tabakası (kabuk) ile kaplanır ve bu tabaka, elektrostatik ve sterik

stabilizasyon sağlayarak partiküllerin kararlılığını artırır. Nanopartiküller; geniş yüzey alanı, yüksek kimyasal kararlılık, boyut ve yüzey özelliklerinin ayarlanabilirliği ile taşınabilirlik kolaylığı gibi avantajlara sahiptir.

Özellikle manyetik nanopartiküller, nano boyutlarda süperparamanyetik davranış sergilemeleri sayesinde çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Uygulanan harici manyetik alana hızlı tepki verebilmeleri, bu partikülleri tıp, çevre, kataliz ve malzeme bilimi gibi birçok uygulama için uygun hale getirir.

Manyetik nanopartiküller farklı bileşimlerde sentezlenebilir:

Demir oksitler: Fe_3O_4 (magnetit) ve $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (maghemit)

Toz metalleri: Fe ve Co

Spinel yapıli ferrimagnetler: MgFe_2O_4 , MnFe_2O_4 ve CoFe_2O_4

Alaşımlar: CoPt_3 ve FePt

Bu farklı kompozisyonlar, nanopartiküllerin manyetik özelliklerini, ısıya dayanıklılığını ve uygulama alanlarına uygunluğunu belirlemektedir.

1.3.1 Manyetik nanopartikül sentezi

Nanopartikül sentezi, farklı yöntemlerle gerçekleştirilebilir ve her yöntemin kendine özgü avantajları bulunmaktadır. Aşağıda, yaygın kullanılan yöntemlerden biri olan ortak çöktürme yöntemi özetlenmiştir.

1.3.1.1 Ortak çöktürme yöntemi

Bu yöntem, çözelti içinde çözünmüş metal tuzlarının, kimyasal bir çöktürücü ajan ile reaksiyona sokularak katı fazın çöktürülmesi esasına dayanır. Reaksiyon ortamındaki pH, sıcaklık ve konsantrasyon gibi parametreler dikkatle kontrol edilmelidir. Basit, düşük maliyetli ve verimli olması nedeniyle özellikle magnetit (Fe_3O_4) nanopartiküllerinin üretiminde yaygın olarak kullanılır. Sentez sırasında Fe^{2+} ve Fe^{3+} iyonları uygun oranlarda karıştırılarak bazik ortamda çöktürülür. Bu işlem, aşağıda açıklanan çeşitli faktörlerden etkilenir:

Fe²⁺/Fe³⁺ Oranı

Manyetit sentezinde genellikle 1:2 oranında Fe²⁺ ve Fe³⁺ iyonları kullanılır. Bu oran, Fe₃O₄ fazının oluşumu için kritik öneme sahiptir. Orandaki değişiklikler, hematit (Fe₂O₃) gibi farklı demir oksit fazlarının oluşmasına yol açabilir.

pH

Çöktürme işlemi genellikle 9–14 pH aralığında yapılır. Yüksek pH değerleri, Fe²⁺ ve Fe³⁺ iyonlarının hidroksit iyonlarıyla (OH⁻) reaksiyona girmesini sağlayarak manyetit kristal yapısının oluşumunu destekler. pH değişimi, partikül boyutu ve faz saflığı üzerinde doğrudan etkilidir.

Karıştırma hızı:

Çözelti karıştırma hızı, çökelmenin homojenliğini ve partikül büyüklüğünü etkiler. Yavaş karıştırma, düzensiz ve daha büyük partiküller oluşturabilirken; hızlı karıştırma, daha küçük ve tekdüze nanopartiküllerin oluşmasını sağlar.

Sıcaklık

Sentez işlemi oda sıcaklığında veya daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilebilir. Yüksek sıcaklık, reaksiyon kinetiğini hızlandırır, partikül boyutunu küçültür ve kristal yapının düzenliliğini artırarak manyetik özellikleri iyileştirir.

Baz türü

Kullanılan bazın tipi (örneğin NaOH veya NH₄OH) çözelti kimyasını ve partikül morfolojisini belirler. Baz seçimi, çökelme hızı ve ürünün yüzey özellikleri üzerinde önemli rol oynar.

İyonik şiddet

Çözeltideki diğer iyonların varlığı, çökelme kinetiğini ve agregasyon eğilimini etkiler. Yüksek iyonik şiddet, partiküllerin büyümesini sınırlandırabilir veya birleşmelerini artırabilir.

Ortamın niceliği:

Reaksiyonun hacmi ve iyon derişimleri, partikül büyüklüğü ve dağılımı üzerinde belirleyicidir. Daha yüksek iyon konsantrasyonları, genellikle daha büyük partikül boyutlarına neden olur. Bu parametrelerin optimize edilmesi, istenen morfoloji, partikül boyutu ve manyetik özelliklere sahip Fe₃O₄ nanopartiküllerinin elde edilmesini sağlar. Ortak çöktürme yöntemi, sadeliği, verimliliği ve kolay uygulanabilirliği nedeniyle biyomedikal, katalitik, çevresel arıtım ve manyetik depolama gibi birçok alanda tercih edilen bir üretim tekniğidir.

1.3.1.2 Mikroemülsiyon

Mikroemülsiyon yöntemi, su ve yağ fazlarının kararlı bir şekilde bir araya getirilmesiyle nanopartikül sentezinin gerçekleştirildiği bir tekniktir. Bu yöntemde, yüzey aktif maddeler (sümfaktanlar) yardımıyla kararlı, mikro ölçekli damlacıklar oluşturulur. Bu damlacıklar, “nanoreaktör” görevi görerek reaksiyonun kontrollü bir ortamda gerçekleşmesini sağlar. Sümfaktan molekülleri, su ve yağ fazları arasında ara yüzey gerilimini düşürür ve böylece kararlı misel yapıları oluşur. Bu misellerin iç kısmında gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar sonucunda nanopartiküller sentezlenir. Elde edilen partiküllerin boyutu, şekli ve dağılımı, mikroemülsiyonun bileşenleri (su/yağ oranı, sümfaktan tipi, yardımcı sümfaktan varlığı) ve ortam koşulları (sıcaklık, karıştırma hızı) ile doğrudan ilişkilidir. Mikroemülsiyon yöntemi, kontrollü boyut dağılımı, yüksek homojenlik ve iyi tekrarlanabilirlik sağlaması nedeniyle nanopartikül sentezinde sıkça tercih edilen bir yöntemdir. Ayrıca, bu yöntem sayesinde partiküller arasında agregasyon (topaklanma) riski azaltılır ve partikül morfolojisi istenen şekilde ayarlanabilir. Bu tekniğin önemli bir avantajı, reaksiyon ortamının moleküler düzeyde homojen olması ve böylece partikül büyümesinin kademeli bir şekilde ilerlemesidir. Bununla birlikte, yüksek miktarda sümfaktan ve organik çözücü gerektirmesi, yöntemin ölçek büyütülmesini zorlaştırabilir. Yine de, laboratuvar ölçeğinde yüksek saflıkta, kontrollü boyut ve şekil özelliklerine sahip manyetik veya metalik nanopartiküllerin elde edilmesinde oldukça etkili bir yöntemdir.

Nanoreaktör olarak miseller

Mikroemülsiyon yöntemi, birbirine karışmayan iki sıvı fazın genellikle su (hidrofilik faz) ve yağ (hidrofobik faz) yüzey aktif maddeler yardımıyla kararlı bir dağılım

hâlinde bir arada tutulmasına dayanır. Bu sistemde, kararlılığı sağlayan sürfaktan molekülleri, yapılarında bulunan hidrofilik baş ve hidrofobik kuyruk kısımları sayesinde iki faz arasında denge oluşturur. Sürfaktanlar, su damlacıklarının etrafında misel adı verilen küresel yapılara organize olur. Bu miseller, su damlacıklarının yağ fazı içinde kararlı bir biçimde dağılmasını sağlar. Mikroemülsiyon yapısı sayesinde çok küçük ve homojen damlacıklar elde edilir; bu damlacıklar, “nanoreaktör” gibi davranarak nanopartikül sentezi için gerekli mikro ortamı oluşturur. Elde edilen partiküllerin boyutu, şekli ve dağılımı, mikroemülsiyon sisteminin bileşenleri (su/yağ oranı, sürfaktan tipi, yardımcı sürfaktan kullanımı) ve işlem koşulları (sıcaklık, karıştırma hızı) ile yakından ilişkilidir. Bu yöntem, partikül morfolojisi üzerinde yüksek kontrol sağlaması nedeniyle nanopartikül sentezinde yaygın olarak tercih edilmektedir.

Parçacıkların miseller içinde büyütilmesi

Su damlacıkları, mikroemülsiyon sisteminde reaksiyon ortamı görevi görür. Bu damlacıkların içinde, genellikle metal tuzları veya diğer öncül bileşikler çözülür. Ön maddeler, miselin iç hacmiyle sınırlı bu mikro ortamlarda reaksiyona girerek nanopartiküllerin oluşumunu başlatır. Misel yapısı, reaksiyonun dar ve kontrollü bir hacimde gerçekleşmesini sağlar. Böylece, partikül büyümesi sınırlanır ve elde edilen nanopartiküllerin boyut ve morfoloji dağılımı yüksek hassasiyetle kontrol edilebilir. Bu kontrollü yapı, mikroemülsiyon yönteminin diğer sentez tekniklerine kıyasla daha homojen ve tek boyutlu nanopartiküller üretmesini mümkün kılar.

Partiküllerin çöktürülmesi

Nanopartiküller, misel yapısı içinde büyüüp olgunlaştıktan sonra, sentez işlemini tamamlamak için genellikle bir çözücü (örneğin aseton veya etil alkol) eklenir. Bu aşamada mikroemülsiyon sistemi bozundurulur; sürfaktan molekülleri çözeltiden ayrılır ve nanopartiküller çökelti hâline geçer. Mikroemülsiyonun boyutu ve yapısı, nanopartiküllerin son özelliklerini belirleyen temel parametrelerdendir. Özellikle su/sürfaktan oranı, misellerin büyüklüğünü dolayısıyla elde edilen partiküllerin boyutunu doğrudan etkiler. Düşük su/sürfaktan oranları, daha küçük misellerin ve bu nedenle daha küçük nanopartiküllerin oluşumuna yol açarken; yüksek oranlar, daha büyük miseller ve partiküller oluşturur. Ayrıca, sürfaktanın türü de sistemin kararlılığı

üzerinde önemli rol oynar. Noniyonik, anyonik ve katyonik sürfaktanlar, misel boyutu, şekli ve yük dağılımı üzerinde farklı etkiler gösterebilir. Bunun yanında, kullanılan yağ fazının özellikleri (örneğin polarite ve viskozite) de mikroemülsiyonun kararlılığını ve reaksiyon kinetiğini belirler. Mikroemülsiyon yöntemi, nanopartiküllerin homojen, kontrollü ve tekrarlanabilir bir biçimde sentezlenmesini sağlayan etkili bir tekniktir. Misellerin “nanoreaktör” olarak işlev görmesi, partikül boyutu ve dağılımının hassas biçimde kontrol edilmesine olanak tanır. Bu nedenle, yöntem tıp, kataliz, malzeme bilimi ve nanoteknolojik cihaz üretimi gibi pek çok alanda yüksek kalitede nanopartikül üretimi için yaygın olarak tercih edilmektedir.

1.3.1.3 Hidrotermal sentez

Hidrotermal sentez yöntemi, kimyasal reaksiyonların yüksek sıcaklık ve basınç koşullarında sulu ortamda gerçekleştirilmesine dayanır. Bu işlem genellikle, iç basınca dayanıklı otoklav adı verilen özel reaktör kaplarında yapılır. Yöntemin temel prensibi, çözünmeyen veya düşük çözünürlüklü maddelerin, yüksek sıcaklık ve basınç altında çözünebilir hâle getirilmesi ve ardından kontrollü kristal büyümesinin sağlanmasıdır. Hidrotermal süreç sırasında sıcaklık ve basınç parametreleri, reaksiyonun kinetiğini ve ürün morfolojisini doğrudan etkiler. Bu yöntemle elde edilen nanopartiküller genellikle yüksek saflığa, iyi kristalliliğe ve dar boyut dağılımına sahiptir. Ayrıca, düşük erime noktalarına sahip bileşenlerin bozulmadan sentezlenebilmesi de yöntemin önemli bir avantajıdır. Demir oksit nanopartiküllerinin hidrotermal yöntemle sentezinde, uygun demir tuzları (örneğin FeCl_3 veya $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$) sulu ortamda çözülür ve ardından bazik koşullar altında otoklavda belirli sıcaklık ve sürelerde reaksiyona tabi tutulur. Bu koşullar altında, Fe_3O_4 (manyetit) veya $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (maghemit) gibi farklı fazlarda demir oksit nanopartikülleri üretilebilir. Reaksiyon süresi uzadıkça kristal boyutu artar, ancak faz saflığı ve morfoloji daha kararlı hâle gelir. Hidrotermal yöntem, yüksek kristallik, iyi morfoloji kontrolü ve saflık gerektiren nanopartikül üretimi için oldukça etkili bir tekniktir. Bu özellikleri nedeniyle biyomedikal, katalitik ve manyetik malzeme sentezi gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Reaktantlar ve rolleri

Hidrotermal yöntemle demir oksit nanopartiküllerinin sentezinde kullanılan kimyasal bileşenler, hem reaksiyonun kimyasal seyrini hem de ürünün fiziksel özelliklerini

belirlemede önemli rol oynar. FeCl_3 (Demir (III) klorür), temel demir kaynağı olarak kullanılır. Bu bileşik, reaksiyon sırasında indirgenerek demir oksit (Fe_3O_4 veya $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) nanopartiküllerinin oluşumunu sağlar. Etilen glikol, yüksek kaynama noktasına sahip bir çözücü olup, reaksiyon ortamının sıcaklık kontrolünü sağlar. Aynı zamanda indirgeme ajanı olarak görev yaparak Fe^{3+} iyonlarının Fe^{2+} formuna dönüşmesine katkıda bulunur. Bu özellik, kristal oluşumunu destekler ve nanopartiküllerin homojen yapıda sentezlenmesine olanak tanır. Sodyum asetat, sentez sırasında yüzey kaplayıcı ajan olarak işlev görür. Ortama elektrostatik itme kuvvetleri kazandırarak nanopartiküller arasındaki birikmeyi (aglomerasyonu) engeller. Böylece monodispers, yani tekdüze boyut dağılımına sahip nanopartiküllerin elde edilmesini sağlar. Polietilen glikol (PEG) ise sürfaktan görevi üstlenir. PEG, nanopartiküllerin yüzeyini kaplayarak sistemin kolloidal kararlılığını artırır ve partikül boyutunun kontrol altında tutulmasına yardımcı olur. Bu kaplama aynı zamanda nanopartiküllerin biyoyumluluğunu ve çözeltideki stabilitesini artırır. Bu dört bileşen, hidrotermal sentez sürecinde hem reaksiyon kinetiğini hem de nanopartikül morfolojisini kontrol ederek yüksek saflıkta, homojen ve stabil manyetik nanopartiküllerin elde edilmesini sağlar.

Reaksiyon Koşulları

Hidrotermal sentez yönteminde, hazırlanan karışım basınca dayanıklı otoklav kaplarına alınır ve genellikle 200 °C sıcaklıkta 8–72 saat arasında reaksiyona bırakılır. Bu koşullar altında yüksek sıcaklık ve basınç, reaksiyon kinetiğini hızlandırarak demir oksit nanopartiküllerinin kristal yapısının oluşumunu teşvik eder.

Etilen glikol, yüksek kaynama noktasına sahip bir çözücü olarak reaksiyonun kararlı bir şekilde sürdürülmesini sağlar. Aynı zamanda indirgeme ajanı olarak görev yaparak Fe^{3+} iyonlarının Fe^{2+} ya da metalik demire indirgenmesine katkıda bulunur. Sodyum asetat, nanopartiküllerin yüzeyini kaplayarak negatif yük kazandırır ve bu yük, partiküller arasında elektrostatik itme kuvvetleri oluşturarak aglomerasyonu engeller. Böylece monodispers (tekdüze boyutlu) nanopartiküllerin elde edilmesine olanak tanır. Polietilen glikol (PEG), sürfaktan olarak işlev görür ve nanopartiküllerin yüzeyini kaplayarak sistemin stabilitesini artırır. PEG kaplaması, partiküllerin birbirine yapışmasını önler ve büyümelerini kontrol altında tutarak tekdüze boyut dağılımı sağlar. Bu yöntemle elde edilen demir oksit nanopartiküllerinin boyutları

genellikle 200–800 nm arasında değişmektedir. Monodispers nanopartiküller, eşit boyut dağılımı sayesinde manyetik depolama, biyomedikal görüntüleme, ilaç taşıma ve kataliz gibi uygulamalarda yüksek performans sunar.

1.3.1.4 Termal parçalanma

Termal parçalanma yöntemi, organometalik bileşiklerin yüksek sıcaklıkta kontrollü olarak ayrıştırılması prensibine dayanır. Reaksiyon genellikle inert bir atmosfer altında gerçekleştirilir ve sıcaklık, süre ve çözücü seçimi partikül boyutu ile morfolojiyi belirler. Demir oksit nanopartikülleri, genellikle demir-oleat komplekslerinin, yüksek kaynama noktalı organik çözücülerde (örneğin oktadesen) ve oleik asit varlığında termal olarak parçalanmasıyla sentezlenir. Bu koşullar, yüksek saflıkta, homojen boyut dağılımına sahip nanopartiküllerin elde edilmesini sağlar. Yöntem, metal oksitlerin ve saf metal nanopartiküllerinin üretiminde yaygın olarak kullanılır ve partikül morfolojisi üzerinde hassas kontrol imkânı sunar.

Reaktantlar ve rolleri

Demir-oleat kompleksleri, demir kaynağı olarak görev yapar ve demir iyonlarının oleik asit ile kompleksleşmesi sonucu elde edilir. Oleik asit, sürfaktan işlevi görerek nanopartiküllerin yüzeyini kaplar, sistemi stabilize eder ve partikül büyümesini sınırlar. Yüksek kaynama noktalı organik çözücüler (örneğin 1-oktan veya 1-heksadekan) reaksiyonun yüksek sıcaklıklarda homojen bir biçimde gerçekleşmesini sağlar. Bu bileşenlerin bir arada kullanımı, tekdüze boyutlu ve yüksek saflıkta demir oksit nanopartiküllerinin sentezine olanak tanır.

Reaksiyon Koşulları

Demir-oleat kompleksleri, yüksek kaynama noktalı organik çözücülerde oleik asit varlığında karıştırılarak kaynatılır. Yüksek sıcaklıkta, demir-oleat kompleksleri termal yolla parçalanır ve serbest demir iyonları açığa çıkar. Ortamdaki oksijen, serbest demir iyonlarının manyetit (Fe_3O_4) nanopartiküllerine dönüşmesini sağlar. Termal parçalanma, demir-oleat komplekslerinin yüksek sıcaklıkta (200–300 °C) kontrollü olarak ayrışmasına dayanır. Bu süreçte demir iyonları serbest kalır ve oksijen varlığında manyetit nanopartiküllerine dönüşür. Oleik asit, partiküllerin yüzeyini kaplayarak aşırı büyümeyi engeller ve tekdüze (monodispers) boyut oluşumunu sağlar.

Reaksiyon sıcaklığı ve süresi, partikül büyüklüğünü belirleyen temel parametrelerdir; daha yüksek sıcaklık ve uzun süre, daha büyük partiküllerle sonuçlanabilir. Elde edilen nanopartiküller genellikle 5–22 nm aralığında olup kloroform ve hekzan gibi organik çözücülerde iyi dağılma özelliği gösterir. Bu yöntem, yüksek saflıkta, homojen boyutlu demir oksit nanopartiküllerinin üretimini sağlar ve tıp, elektronik, kataliz ve manyetik depolama gibi birçok alanda kullanılabilir.

1.3.2 Manyetik nanopartiküllerin uygulama alanları

Nanopartiküller, biyoteknoloji, ilaç geliştirme, tıp, kataliz, elektronik ve manyetik depolama sistemleri gibi birçok disiplinde geniş kullanım alanına sahiptir. Bu bölümde, söz konusu teknolojilerin farklı endüstrilerdeki uygulamaları ve işlevsel avantajları özetlenmiştir.

1.3.2. 1 Biyoteknoloji

Nanopartiküller, biyoteknoloji alanında özellikle manyetik ayırma süreçlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem, protein, DNA/RNA ve hücrelerin hızlı ve seçici şekilde ayrılmasını sağlar. Manyetik nanopartiküller, dış manyetik alan altında mıknatıslanır, alan kaldırıldığında ise tekrar çözeltiye dağılır. Süperparamanyetik özellikleri, partiküllerin birbirine yapışmasını önleyerek yüksek saflıkta ayırma olanağı sunar.

1.3.2. 2 İlaç Sektörü

Nanopartiküller, hedefe yönelik ilaç taşıyıcı sistemlerde önemli rol oynamaktadır. İlaç molekülleri, manyetik nanopartiküllere bağlanarak dış manyetik alan yardımıyla doğrudan hastalıklı dokuya yönlendirilebilir. Bu yöntem, ilacın etkinliğini artırırken sistemik yan etkileri azaltır. Ayrıca, manyetik nanopartiküller değişken manyetik alan altında ısınma özelliği gösterir. Bu durum, hipertermi tedavisinde kullanılarak tümör hücrelerinin 41 °C civarında ısıyla tahrip edilmesini sağlar. Hipertermi, kemoterapi ve radyoterapiye destekleyici bir yöntem olarak uygulanabilir. Bu sayede manyetik nanopartiküller, kanser tedavisinde hem hedefli ilaç taşıyıcı hem de lokal ısı terapisi aracı olarak iki yönlü bir tedavi potansiyeli sunar.

1.3.2. 3 Manyetik kayıt cihazları

Manyetik nanopartiküller, veri depolama ve okuma teknolojilerinde yüksek yoğunluklu bilgi aktarımı sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Bu partiküller, yüksek manyetik doyum kapasiteleri sayesinde daha küçük boyutlarda daha fazla veri depolanmasına olanak tanır. Böylece, hafif, kompakt ve yüksek performanslı manyetik kayıt cihazlarının geliştirilmesi mümkün olur. Genel olarak nanopartiküller; biyoteknoloji, tıp ve elektronik alanlarında geniş bir uygulama yelpazesi sunar. Manyetik ayırma, hedefe yönelik ilaç taşıma, hipertermi tedavisi ve veri depolama gibi uygulamalar, bu teknolojinin bilimsel ve endüstriyel yeniliklerdeki önemini ortaya koymaktadır.

1.3.3 Demiroksit nanopartiküller

Demir oksit nanopartiküller, nanoteknolojinin gelişimiyle birlikte biyoteknoloji, tıp ve veri depolama teknolojilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu partiküller, yaklaşık 40 yıldır in vitro tanı uygulamalarında önemli rol oynamaktadır. Son yıllardaki gelişmeler, demir oksit nanopartiküllerin sentezlenmesi, karakterizasyonu ve fonksiyonelleştirilmesini mümkün kılmıştır. Özellikle manyetit (Fe_3O_4) ve maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), yüksek manyetik duyarlılıkları ve biyouyumlu yapıları nedeniyle en çok tercih edilen manyetik malzemeler arasında yer almaktadır.

1.3.3. 1 Demiroksit nanopartiküllerin kimyasal ve fiziksel özellikleri

Nano boyuttaki manyetik partiküller, kuantum etkileri ve geniş yüzey alanları nedeniyle kütsel malzemelerden farklı davranır ve genellikle süperparamanyetik özellik gösterirler. Bu tür partiküller, dış manyetik alan uygulandığında mıknatıslanır, ancak alan kaldırıldığında manyetizasyonlarını kaybederler. Bu özellik, partiküllerin birbirine yapışmadan stabil bir şekilde dağılmasını sağlar. Her bir nanopartikül, bağımsız bir manyetik moment olarak davranır; dolayısıyla toplu bir sistem yerine tekil manyetik birimler şeklinde hareket eder. Bu yapı, biyomedikal ve manyetik depolama uygulamalarında büyük avantajlar sunar.

1.3.3. 2 Demiroksit nanopartiküllerin karakterizasyon ve sentez

Nano ölçekli manyetik partiküllerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini anlamak amacıyla çok sayıda araştırma yürütülmüştür. Karakterizasyon çalışmaları,

partiküllerin boyut dağılımı, morfolojisi, yüzey yapısı ve manyetik özelliklerini belirlemeye odaklanır. Demir oksit nanopartiküller, farklı sentez teknikleriyle hazırlanarak istenen büyüklük, şekil ve manyetik davranışlara sahip olacak şekilde optimize edilebilir. Süperparamanyetik özellikleri ve geniş yüzey alanları sayesinde bu partiküller, biyoteknoloji, tıp ve manyetik depolama sistemlerinde yaygın olarak kullanılır. Yüksek kontrol edilebilirlikleri ve verimlilikleri, demir oksit nanopartikülleri üzerinde yapılan ileri düzey çalışmaların temelini oluşturmakta ve nanoteknolojinin gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır.

1.3.4 Manyetit

1.3.4.1 Manyetit özellikleri

Manyetit, M.Ö. 1500'lü yıllarda keşfedilen ilk doğal manyetik minerallerden biridir ve günümüzde hâlâ en çok araştırılan manyetik oksit bileşiklerinden biri olarak önemini korumaktadır. Bu mineral, ters spinel kristal yapısına sahiptir ve kübik bir kafes içinde düzenlenmiştir. Yapıda yer alan oksijen iyonları merkeze yönelmiş biçimde dizilirken, demir iyonları iki farklı koordinasyon bölgesinde bulunur: Fe^{2+} iyonları tetrahedral (A) bölgelerde, Fe^{3+} iyonları ise oktahedral (B) bölgelerde yer alır.

Oda sıcaklığında elektronlar Fe^{2+} ve Fe^{3+} iyonları arasında serbestçe geçiş yapabilir. Bu elektron atlama (electron hopping) olgusu, manyetitin hem manyetik hem de elektriksel iletkenlik özelliklerini belirler. Bu nedenle manyetit, yarı metalik (yarı iletken) özellik gösteren bir malzeme olarak sınıflandırılır. Yüksek doygunluk manyetizasyonu, kimyasal kararlılığı ve biyouyumlu yapısı sayesinde manyetit, biyomedikal uygulamalarda (örneğin ilaç taşıma, hipertermi, görüntüleme) ve manyetik depolama teknolojilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.3.4.2 Manyetit sentez yöntemleri

Manyetit nanopartiküller, çeşitli yöntemlerle sentezlenebilir. İşte bazı yaygın yöntemler:

1.3.4.2.1 Poliyol yöntemi (Sun 2002)

Etilen glikol gibi poliyoller, hem çözücü hem de indirgeme ajanı olarak görev yapar. Metal tuzları bu ortamda indirgenerek manyetit (Fe_3O_4) nanopartiküller oluşturulur. Poliyoller, reaksiyonun kontrollü ilerlemesini sağlarken aynı zamanda partikül

boyutunun düzenlenmesine yardımcı olur. Böylece yüksek saflıkta, homojen ve kararlı manyetik nanopartiküller elde edilir [64].

Çöktürme yöntemi (Wu 2007)

Manyetit nanopartiküllerinin sentezinde en sık tercih edilen yöntemlerden biridir. Bu yöntemde, Fe^{2+} ve Fe^{3+} iyonlarını içeren çözeltiye baz ilavesiyle manyetit çökeltirilir. Basit uygulanabilirliği, düşük maliyeti ve yüksek verimi nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır [65].

Sonokimyasal sentez (Enomoto 1996)

Ultrason dalgaları kullanılarak kimyasal reaksiyonlar hızlandırılır. Ultrasonik enerji, çözelti içindeki reaktantların homojen karışmasını sağlar ve reaksiyon hızını artırır. Bu sayede nanopartikül sentezi kısa sürede, yüksek verimle gerçekleştirilebilir [66].

Mikroemülsiyon teknikleri (Chhabra 1996)

Mikroemülsiyon ortamı kullanılarak manyetit nanopartiküller sentezlenir. Yöntem, partikül boyutu ve morfolojisinin hassas şekilde kontrol edilmesine olanak tanır. Uygulaması kolay olup, genellikle Fe^{2+} ve Fe^{3+} iyonlarının birlikte çöktürülmesiyle manyetit oluşumu sağlanır [67].

1.3.4.3 Reaktantlar ve Reaksiyon Koşulları:

Manyetit nanopartikülleri, genellikle Fe^{2+} ve Fe^{3+} iyonlarının bazik ortamda birlikte çöktürülmesiyle elde edilir. Bu yöntemde, Fe^{2+}/Fe^{3+} oranı genellikle 1:2 olacak şekilde ayarlanır. Reaksiyon sırasında NaOH veya NH_4OH gibi bazlar kullanılır. pH ve iyonik güç, partikülün boyutunu ve yapısal özelliklerini belirleyen temel faktörlerdir. Oluşan manyetit çökeltileri yıkama ve kurutma işlemlerinden geçirilir. Fe_3O_4 , ters spinel yapıda olup oda sıcaklığında Fe^{2+} ve Fe^{3+} iyonları arasında elektron geçişine izin verir. Bu özellik, manyetiti yarı metalik malzemeler sınıfına dahil eder. Manyetit nanopartikülleri; poliyol, çöktürme, sonokimyasal ve mikroemülsiyon yöntemleri ile sentezlenebilir. Bunlar arasında ikili çöktürme yöntemi, basitliği ve yüksek verimi nedeniyle en yaygın kullanılan tekniktir. Elde edilen nanopartiküller, biyoteknoloji, ilaç taşıma sistemleri ve manyetik veri depolama gibi birçok alanda kullanılmaktadır [68].

1.3.5 Manyetizma

1.3.5.1 Ferromanyetizma

Ferromanyetizma, bazı maddelerin dış manyetik alan altında güçlü biçimde mıknatıslanma özelliğidir. Bu özellik, atomların manyetik momentlerinin aynı doğrultuda hizalanmasıyla ortaya çıkar. Başlıca ferromanyetik elementler demir (Fe), kobalt (Co) ve nikel (Ni)'dir. Bu metallerin oluşturduğu alaşımlar da benzer manyetik davranışlar gösterir.

Temel özellikler

Ferromanyetik maddeler, manyetik geçirgenliği 1'in çok üzerinde olan malzemelerdir; bu da manyetik alanın içlerinden kolayca geçebildiği anlamına gelir. Bu tür malzemeler, zayıf manyetik alanlarda bile hızlı bir şekilde manyetik doygunluğa ulaşabilirler. Manyetik doygunluk, bir malzemedeki tüm manyetik dipollerin aynı yönde hizalanarak maksimum mıknatıslanma seviyesine ulaşması durumudur. Bu özellik, ferromanyetik maddelerin manyetik alan uygulamaları açısından son derece verimli olmasını sağlar.

Histerezis

Histerezis, ferromanyetik malzemelere özgü bir manyetik davranıştır. Dış bir manyetik alan uygulandığında, atomik dipoller hizalanarak malzemenin mıknatıslanmasına neden olur. Ancak manyetik alan kaldırıldığında, bu dipoller tamamen eski konumlarına dönmeyebilir ve malzeme bir miktar kalıcı mıknatıslık korur. Bu olay, histerezis eğrisi ile ifade edilir. Eğri, manyetik alan (H) ile mıknatıslanma (M) arasındaki ilişkiyi gösterir. Eğrinin genişliği, malzemenin kalıcı mıknatıslanma derecesini temsil eder. Malzeme, alan uygulanırken bir yol izlerken; alan kaldırıldığında farklı bir yol izler. Bu iki yol arasındaki fark, histerezis döngüsü olarak adlandırılır ve malzemenin manyetik belleğini yansıtır.

Curie noktası

Curie noktası, bir ferromanyetik maddenin belirli bir sıcaklığın üzerinde paramanyetik hale geçtiği kritik sıcaklıktır. Bu sıcaklığa kadar malzeme mıknatıslanabilirken, üzerinde termal enerji dipollerin rastgele yönlenmesine neden olur ve mıknatıslık kaybolur. Ferromanyetik malzemeler (örneğin Fe, Co, Ni), yüksek

manyetik geçirgenliğe sahiptir ve zayıf alanlarda bile manyetik doygunluğa ulaşabilir. Histerezis, bu malzemelerde dış alan kaldırıldığında kalıcı mıknatıslanma görülmesini ifade eder. Curie noktası ise bu özelliklerin kaybolduğu sınırı belirler. Bu temel nitelikler, ferromanyetik malzemelerin teknolojik ve endüstriyel uygulamalarda yaygın şekilde kullanılmasını sağlar [69].

1.3.5.2 Paramanyetizma

Paramanyetizma, atomların dış manyetik alan etkisiyle manyetik momentlerinin kısmen hizalanması sonucunda ortaya çıkan bir manyetik özelliktir. Paramanyetik maddeler, manyetik alan altında mıknatıslanma eğilimi gösterir; ancak alan kaldırıldığında bu özelliklerini kaybederler. Bu nedenle, kalıcı mıknatıslanma oluşturmazlar ve davranışları yalnızca uygulanan manyetik alan süresince devam eder.

Temel Özellikler

Paramanyetik atomlar, çiftlenmemiş elektronlar içerdikleri için net bir manyetik moment taşır. Bu elektronlar, dış manyetik alan etkisinde kısmen hizalanarak malzemenin mıknatıslanmasına neden olur. Ancak, termal hareketler bu hizalanmayı tamamen engellediğinden, manyetik düzen tam olarak oluşmaz. Bu nedenle, paramanyetik maddelerin mıknatıslanması yalnızca manyetik alan varlığında gözlenir.

Manyetik alan etkisi

Paramanyetik maddeler, dış manyetik alan uygulandığında manyetik momentlerini alan doğrultusunda hizalama eğilimi gösterir. Bu durum, maddenin geçici bir net manyetik moment kazanmasına neden olur. Ancak, termal hareketler momentlerin tam hizalanmasını engellediğinden, bu mıknatıslanma kısmi ve kısa süreli olur.

Kalıcı manyetizasyon

Paramanyetik maddeler, dış manyetik alan kaldırıldığında kalıcı manyetizasyon göstermezler. Bu durumda, manyetik momentler yeniden rastgele yönlere dağılır ve net manyetik moment sıfıra iner. Dolayısıyla, dış alan bulunmadığında paramanyetik maddeler manyetik özellik sergilemezler.

Paramanyetik maddeler

Oksijen (O₂), alüminyum (Al), platin (Pt) ve manganez (Mn) gibi elementler paramanyetik özellik gösterir. Bu maddelerdeki çiftlenmemiş elektronlar, dış manyetik alan altında kısmen hizalanarak geçici bir manyetik moment oluşturur. Manyetik alan kaldırıldığında ise bu hizalanma termal hareketler nedeniyle kaybolur. Bu nedenle paramanyetik maddeler kalıcı manyetizasyon göstermez ve sadece manyetik alan varlığında manyetik özellik sergilerler [70].

1.3.5.3 Süperparamanyetizma

Süperparamanyetizma, genellikle 1–10 nm boyut aralığındaki kristalin nanopartiküllerde gözlemlenen özel bir manyetik özelliktir. Bu olgu, nano ölçekteki parçacıkların tek manyetik alan domenine sahip olmasıyla ortaya çıkar. Süperparamanyetik nanopartiküller, dış manyetik alan uygulandığında mıknatıslanır; ancak alan kaldırıldığında kalıcı manyetizasyon göstermezler. Bu özellik, nano boyutlu materyallerin manyetik davranışlarının anlaşılması açısından büyük önem taşır.

Temel özellikler

Kristalin boyutlar

Süperparamanyetik davranış, partikül boyutunun kritik sınırın altında olduğu (1–10 nm) durumlarda ortaya çıkar.

Kalıcı mıknatıslanma

Kritik boyutun altındaki partiküllerde kalıcı mıknatıslanma (Mr) ve koersivite (Ms) değerleri sıfırdır; manyetik alan kaldırıldığında mıknatıslık kaybolur.

Termal enerji ve manyetizasyon

Termal hareketler manyetik momentlerin yönünü hızla değiştirir, bu da ortalama manyetizasyonun sıfıra düşmesine neden olur.

Manyetik alanın etkisi

Dış manyetik alan altında momentler hizalanır, ancak alan kaldırıldığında rastgele yönelme tekrar başlar. Süperparamanyetik partiküller, dış manyetik alan uygulandığında momentlerini bu alan doğrultusunda hizalarlar. Ancak, manyetik alan kaldırıldığında momentler tekrar rastgele yönlere dağılır ve kalıcı manyetizasyon oluşmaz.

Uygulama ve önemi

Süperparamanyetik nanopartiküller, MRI kontrast ajanları, hedefe yönelik ilaç taşıma sistemleri ve manyetik veri depolama gibi alanlarda kullanılır. Kalıcı manyetizasyon göstermemeleri, biyolojik ortamlarda birikimi önleyerek biyouyumluluk sağlar. Ayrıca bu özellik, yüksek veri yoğunluğu ve hızlı okuma/yazma imkânı sunan manyetik depolama teknolojileri için avantaj sağlar [68].

1.4 Manyetik Mineraller

Ağır mineraller (HM), yüksek endüstriyel değerleri ve stratejik kullanım alanları nedeniyle son yıllarda giderek daha fazla önem kazanmaktadır. HM'lerin zenginleştirilmesi ve yoğunlaştırılması üzerine yapılan çalışmalar artmış olsa da, yatakların karmaşık mineralojisi ve çevreye duyarlı yöntemlerin sınırlılığı hâlâ büyük bir zorluk oluşturmaktadır. Literatürdeki mevcut bilgiler, süreç parametreleri ve uygulama ilkeleri açısından çoğu zaman yetersiz kalmakta, bu da daha kapsamlı ve çevre dostu zenginleştirme yaklaşımlarına ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, manyetik ve elektrostatik ayırma yöntemleri, ağır minerallerin saflaştırılması için etkili bir seçenek sunmaktadır. Yüksek yoğunluklu manyetik ayırıcılar, ferromanyetik ve güçlü paramanyetik mineralleri çekerek onları diamagnetik fazlardan ayırır. Manyetik tepki, minerallerin tane boyutu ve manyetik geçirgenliğine bağlı olarak değişir; kaba taneler genellikle daha güçlü tepki gösterir. Düşük yoğunluklu ayırıcılar ise ferromanyetik mineralleri yoğunlaştırmada daha etkilidir, ancak zayıf paramanyetik veya diamagnetik fazlar genellikle artık olarak kalır. Bu tür süreçlerde $MnFe_2(SiO_4)_2$ gibi mangan-demir silikat mineralleri özel bir öneme sahiptir. Bu mineral, hem paramanyetik karakteri hem de kararlı silikat yapısı sayesinde yüksek manyetik alanlarda seçici olarak ayrılabilir. Ayrıca, $MnFe_2(SiO_4)_2$ nanopartikülleri, yüzey aktif bölgeleri sayesinde çevre uygulamalarında ağır metal iyonlarını adsorbe edebilme potansiyeline sahiptir. Bu özellik, mineralin yalnızca zenginleştirme proseslerinde değil, aynı zamanda atık su arıtımı ve çevresel onarım çalışmalarında da kullanılabileceğini göstermektedir. Ağır minerallerin zenginleştirilmesinde $MnFe_2(SiO_4)_2$ gibi manyetik özellik taşıyan silikat yapılar, hem verimli hem de sürdürülebilir proseslerin geliştirilmesi açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır. [71].

Çizelge. 1.1 Bazı HM'ler ve bunların manyetik duyarlılıkları ve elektrostatik tepkileri

Mineral Adı	Genel Kimyasal Formül	Manyetik Tepki (Manyetik Duyarlılık)	Elektriksel İletkenlik Tepkisi
Aktinolit	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2(\text{OH})_2$	2	B
Almandin	$\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	2	B
Amfibol	$(\text{Fe,Mg,Ca})_x\text{SiO}_3$	2	B
Anatas	TiO_2	3	A
Andradit	$3\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	2	B
Ankerit	$\text{Ca}(\text{Mg,Fe})(\text{CO}_3)_2$	2	B
Apatit	$(\text{F,Cl,OH})\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$	3	B
Aragonit	CaCO_3	3	B
Arsenopirit	FeAsS	2–3	A
Azurit	$\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$	3	B
Barit	BaSO_4	3	B
Biyotit	$\text{K}(\text{Mg,Fe})_3\text{Si}_3\text{AlO}_{102}$	2	B
Bornit	Cu_5FeS_4	2–3	A
Brütülit	$\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	3	B
Diyopsit	$\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$	2–3	B
Hematit	Fe_2O_3	2	A
İlmenit	FeTiO_3	1–2	A
Kromit	$(\text{Fe,Mg})(\text{Cr,Al})_2\text{O}_4$	2	A
Kuvars	SiO_2	3	B
Manyetit	Fe_3O_4	1	A
Manganit	$\text{MnO}(\text{OH})$	2–3	A
Olivin	$(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$	2	B
Pirolusit	MnO_2	2–3	B
Rutil	TiO_2	3	A
Spessartin	$\text{Mn}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	3	B
Siderit	FeCO_3	2	B
Volframit	$(\text{Fe,Mn})\text{WO}_4$	2	A
Zirkon	$(\text{Zr,Hf})\text{SiO}_4$	3	B
$\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ —		2	A

Anahtar: Ferromanyetik = 1; Paramanyetik = 2; Diyamanyetik = 3; İletken = A; İletken Olmayan = B. [71].

Manyetik mineraller, doğada oldukça yaygın olup hemen her tür kaya, tortul birikinti ve toprakta bulunur. Bu mineraller, bulundukları kayacın oluşumu sırasında mevcut olan jeomanyetik alanın kalıcı kaydını tutarlar. Bu özellikleri sayesinde, paleomanyetik çalışmalar 50 yılı aşkın süredir kıtasal ve okyanusal levha hareketlerinin izlenmesi ve Dünya'nın jeolojik evriminin yeniden kurgulanmasında temel bir araç olmuştur. Ayrıca, farklı dönemlere ait kayalarda ve arkeolojik materyallerde gözlenen jeomanyetik alan yoğunluğundaki değişimler, Dünya çekirdeğindeki sıvı hareketlerinin (jeodinamo) modellenmesi için de önemli bilgiler sağlamaktadır. Günümüzde manyetik mineraloji, yalnızca jeolojik süreçlerin değil, aynı zamanda iklim değişimlerinin izlenmesinde de kullanılmaktadır. Sedimanlarda ve topraklarda bulunan manyetik mineraller, iklimsel dalgalanmaların ve çevresel dönüşümlerin göstergeleri olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle, manyetik mineraller hem Dünya'nın manyetik geçmişini anlamada hem de küresel iklim dinamiklerini izleme çalışmalarında kritik bir role sahiptir [72].

1.5 Ekstraksiyon

Ekstraksiyon, bir çözeltilde veya süspansiyonda bulunan bileşenlerin kimyasal özelliklerine bağlı olarak uygun bir çözücü aracılığıyla ayrılması işlemidir. Genellikle saflaştırma amacıyla kullanılan bu yöntem, hedef bileşiğin karışımdaki diğer maddelerden seçici bir şekilde ayrılmasını sağlar. Kimyasal aktif ekstraksiyon tekniği, asidik, bazik veya nötral organik bileşiklerin ayrılması ve saflaştırılmasında yaygın olarak uygulanır. Örneğin, asidik karaktere sahip bir bileşiğin ayrılması için uygun bir baz eklenerek iyonik tuz oluşturulur; bu tuz, seçilen organik çözücüye geçerek ayrışmayı kolaylaştırır. Böylece hedef madde, karışımdaki diğer bileşenlerden etkin bir biçimde izole edilir. Ekstraksiyon, hem organik kimya hem de analitik kimya alanlarında sıkça başvurulmuş temel işlemlerden biridir. Özellikle bir bileşiğin karışımdan saf olarak elde edilmesi veya bileşenlerin analitik olarak incelenmesi gerektiğinde, çözünürlük farkına dayalı seçici ayırma prensibi sayesinde yüksek verimlilik sunar [73].

1.5.1 Ekstraksiyon yöntemleri

Sıvı-sıvı ekstraksiyonu, bir çözültide bulunan bileşenin uygun bir çözücü fazına geçişi esasına dayanır. Bu yöntemde, çözülmüş madde, kendisini daha iyi çözebilen ikinci bir sıvı faza transfer edilir. Genellikle birbirine karışmayan iki sıvı —örneğin su ve bir organik çözücü kullanılır. İşlem, laboratuvar ortamında ayırma hunisi ile gerçekleştirilir. Karışım ve çözücü çalkalanarak temas ettirilir; daha sonra fazlar ayrıldığında hedef bileşik çözücü fazda toplanır. Örneğin, suda çözülmüş bir organik maddenin ayrılması için, o maddeyi daha iyi çözen ve su ile karışmayan bir organik çözücü tercih edilir. Böylece organik bileşik, çözücü faza geçerek diğer bileşenlerden ayrılır. Bu yöntem, özellikle organik bileşiklerin saflaştırılması ve analitik kimyada numune hazırlama işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [74].

Katı-sıvı ekstraksiyonu ise, çözünen bir bileşiğin katı bir matristen uygun bir çözücü yardımıyla ayrılması prensibine dayanır. Çözücü, yalnızca hedef maddeyi çözerek karışımdan ayırır. Bu yöntem, özellikle yağlı tohumlardan yağ eldesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Örneğin, ayçiçeği veya pamuk çekirdeklerinden yağın çıkarılması için hekzan gibi organik çözücüler tercih edilir. Çözücü, katı faz ile temas ettiğinde yağı çözer ve sıvı faza taşır. Bu işlem laboratuvar ortamında Soxhlet düzeneği kullanılarak da yapılabilir. Soxhlet ekstraksiyonu, çözücünün sürekli olarak buharlaşarak yoğunlaştığı ve katı madde üzerinden tekrar geçtiği döngüsel bir ekstraksiyon sistemi oluşturur. Böylece çözünen bileşenler yüksek verimle çözücüye geçer [74].

Geleneksel çözücü ekstraksiyonu yöntemleri, yüksek sıcaklık, uzun işlem süresi ve çevresel etkiler nedeniyle bazı dezavantajlara sahiptir. Bu sınırlamaları aşmak amacıyla geliştirilen ultrasonik destekli ekstraksiyon (UDE) yöntemi, son yıllarda “yeşil kimya” yaklaşımı içinde ön plana çıkmıştır. UDE’de ultrason dalgaları, sıvı ortamda akustik kavitasyon oluşturarak hücre duvarlarını parçalar, böylece hücre içi bileşenlerin çözücüye geçişini kolaylaştırır. Bu yöntem, düşük sıcaklıklarda çalışabildiği için biyoaktif bileşiklerin yapısal bütünlüğünü korur ve ekstraksiyon süresini önemli ölçüde kısaltır. Ayrıca enerji verimliliği yüksek, çevre dostu ve geri dönüştürülebilir çözücülerin kullanılmasına olanak tanır [5].

Tohum yağlarının ekstraksiyonunda UDE yöntemi, yüksek verim, kısa işlem süresi ve düşük sıcaklık avantajlarıyla yağ kalitesinin korunmasına katkı sağlar. Bu nedenle endüstriyel üretimde çevreye duyarlı, maliyet açısından uygun ve yüksek saflıkta ürün elde edilmesini mümkün kılar. Doğal ürünlerin önemi, artan nüfus ve sağlık bilincinin gelişmesiyle birlikte giderek artmıştır. Sentetik ürünlerin olası zararları fark edildikçe, tıbbi ve aromatik bitkiler yeniden değer kazanmaktadır. Bu bitkiler; ilaç, kozmetik, gıda, tarım ve sağlık ürünleri gibi geniş bir endüstriyel alanda kullanılmaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışmalardan biri de, sinir otu (*Plantago lanceolata*) bitkisinin Soxhlet ekstraksiyonu yöntemiyle farklı çözücüler (metanol, etanol) kullanılarak toplam fenolik madde içeriğinin belirlenmesidir. Soxhlet düzeneğinde çözücü, bitki materyali üzerine sürekli olarak damlatılır ve çözünebilir fenolik bileşikler çözücü faza geçer. Elde edilen ekstrakt daha sonra buharlaştırılarak fenolik bileşiklerin miktarı belirlenir. Bu tür çalışmalar, tıbbi bitkilerin biyolojik aktivitelerinin, farmakolojik potansiyellerinin ve doğal antioksidan kapasitelerinin daha iyi anlaşılmasına önemli katkı sağlamaktadır [76]).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tellür ilk kez plazma destekli kimyasal taşıma reaksiyonu ve termal ayrışma süreçleriyle saflaştırılmıştır. Bu yenilikçi yaklaşımda, düşük basınçta hidrojen gazı ile tellür buharlarının etkileşimi kullanılmıştır. Süreçte ayrıca, metalik ve karbon içeren safsızlıkların davranışı da incelenmiştir. Yöntemin etkinliği, As_2Te_3 ince filmlerinin hazırlanması ve bunların kütle spektrometresi ile analiz edilmesiyle doğrulanmıştır [77].

Tellürün insan metabolizmasındaki davranışı hakkında doğrudan veriler sınırlıdır. Bu nedenle, sağlıklı gönüllüler üzerinde farklı tellür bileşiklerinin bağırsak emilimi ve atılım hızları araştırılmıştır. Sonuçlara göre, çözünür tellür tuzlarının yaklaşık %25 oranında emildiği, dört değerlikli tellür bileşiklerinin altı değerlikli formlara göre daha hızlı renal atılıma sahip olduğu saptanmıştır. Bitkisel formda (örneğin tere içinde) bulunan tellürün emilimi %15'e, metalik tellürün ise yaklaşık %10'a düşmektedir (78). Elementel tellür (Te) ve tellür dioksit (TeO_2), değerli metallerin hidrometalurjik işlemleriyle yakından ilişkilidir. Bu bileşikler, genellikle siyanürleme veya kavrulma işlemlerinin yan ürünleri olarak oluşur. Araştırmalar, tellür dioksitin çözünme veriminin %82'ye kadar çıktığını, ancak çözünme oranının pH'ın 11,5'in üzerine çıkarılmasıyla daha da artırılabilirdiğini göstermiştir. Alkali ortamda, TeO_2 'nin hidroliziyle $TeO_2(OH)_2^{2-}$ türleri oluşurken, asidik ortamda H_2TeO_3 meydana gelir ve çözünme hızı düşer. Döngüsel voltametri sonuçları, tellür için birden fazla oksidasyon yolu bulunduğunu ortaya koymuştur [79].

Selenyum ve tellür, çeşitli oksidasyon durumlarında farklı halojenür bileşikleri oluşturabilir. Bu halojenürler, organik ve inorganik tellür bileşiklerinin sentezinde önemli ara ürünlerdir. Özellikle organotellür halojenürleri, sentetik kimyada reaktif olarak kullanılır; tetrahalojenürler ticari olarak temin edilebilirken düşük değerlikli türler kararsızdır ve dikkatli koşullar altında kullanılmalıdır [80].

Son yıllarda, biyohidrometalurjik süreçler, düşük maliyetli ve çevre dostu alternatif yöntemler olarak öne çıkmıştır. Çin'de keşfedilen dağınık elementel tellür yatakları, bu alandaki çalışmalara hız kazandırmıştır. Bu araştırmalarda, biyoliç (bioleaching)

yöntemiyle tellürün geri kazanımına yönelik deneysel sonuçlar elde edilmiş ve çevresel açıdan sürdürülebilir işlem koşullarının mümkün olduğu gösterilmiştir (81).

Bu araştırma, dünyada keşfedilen ilk dağıntık element yatağı olan, tetradimit, joseit, pirit, kalkopirit, silika ve az miktarda dolomit içeren düşük tenörlü bağımsız tellür cevherlerinden biyolojik liç yöntemiyle tellür geri kazanımını incelemeyi amaçlamıştır. Biyoliç çalışmaları, asidofilik *Thiobacillus ferrooxidans* türü bakteriler kullanılarak, hem adaptasyonlu hem de adaptasyonsuz koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde pH, pulp yoğunluğu ve sıcaklığın ekstraksiyon verimine etkileri sistematik biçimde değerlendirilmiştir. Laboratuvar koşullarında, 30 °C’de 20 gün süren biyoliç sonucunda, toplam tellürün yaklaşık %80’inin çözündüğü belirlenmiştir. Kinetik analizler, tellür çözünmesi sırasında difüzyonun hız sınırlayıcı adım olduğunu ve aktivasyon enerjisinin 34,75 kJ/mol olarak hesaplandığını göstermiştir [82].

Bir diğer çalışmada, farklı bileşimlere sahip $\text{TeO}_2\text{--Tl}_2\text{O}$ ve $\text{TeO}_2\text{--PbO}$ camlarının γ -ışını zırlama performansları hem Phy-X hem de MCNPX yazılımları kullanılarak incelenmiştir. 0,01–15 MeV enerji aralığında yapılan analizlerde, $90\text{TeO}_2\text{--}10\text{Tl}_2\text{O}$ camının en düşük doğrusal zayıflama katsayısına sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca, $82\text{TeO}_2\text{--}18\text{Tl}_2\text{O}$ ve $90\text{TeO}_2\text{--}10\text{Tl}_2\text{O}$ camlarının 60 keV’de sırasıyla $T_{1/2} = 0,00094$ cm ve 0,00105 cm yarı değer kalınlıklarına sahip olduğu belirlenmiştir. Özellikle talyum içeren camların, yüksek radyasyon soğurma özellikleri sayesinde nükleer enerji, tıbbi görüntüleme ve uzay teknolojilerinde koruyucu malzeme olarak kullanılma potansiyeli vurgulanmıştır [83].

Ayrıca, tellürün insan sağlığı üzerindeki etkilerini değerlendiren disiplinlerarası bir çalışma Japonya’da 2 592 gönüllü üzerinde yürütülmüştür. Bu araştırma, idrar tellür düzeyleri ile kan basıncı ve hipertansiyon riski arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Elde edilen bulgular, idrar Na/K oranı ile tellür konsantrasyonu arasında anlamlı bir ilişki olduğunu göstermiştir. Diyetle tahıl/fasulye tüketiminin, sebze ve meyve alımına kıyasla tellür maruziyetini artırdığı belirlenmiştir. Hayvan deneylerinde de, içme suyu yoluyla alınan tellürün kan basıncını yükselttiği, maruziyetin kesilmesiyle ise bu etkinin geri döndüğü saptanmıştır. Sonuç olarak, tellür maruziyetinin hipertansiyon riskini artırabileceğine dair ilk deneysel ve epidemiyolojik kanıtlar elde edilmiştir.

Bulgular, Asya ve Avrupa'daki benzer çalışmalarla birlikte değerlendirildiğinde, tellürün küresel ölçekte potansiyel bir kardiyovasküler risk etmeni olabileceğini göstermektedir [84].

Molibden ditellürid (MoTe_2), ışıkla uyarılabilen özellikleri sayesinde uçucu olmayan faz değişim hafıza cihazları için umut vadeden bir malzemedir. MoTe_2 üretiminde kullanılan gaz atmosferinde izotermal yakın alan süblimasyonu (CSS) yöntemi, molibden oksidin tellürizasyonuna dayanır ve büyük ölçekli üretim için hem basit hem de düşük maliyetli bir alternatif sunar. Bu yöntemle üretilen ince filmlerin fiziksel davranışlarının aydınlatılması, gelecekteki optoelektronik uygulamalar açısından önem taşımaktadır. Araştırmalar, düşük lazer gücünde bile $1\text{T}'$ - MoTe_2 matrisi üzerinde tellür kristallerinin ışıkla indüklenen büyümesini göstermiştir. Raman spektroskopisi verileri, nanometre boyutlu tellür kristalitlerinin fotokristalizasyon sürecinde çekirdek (nükleasyon) bölgeleri olarak görev yaptığını ortaya koymuştur. Kristalleşme mekanizmasının Kolmogorov–Johnson–Mehl–Avrami (KJMA) teorisiyle açıklanabileceği, süreçte tellür atomlarının anizotropik düzenlenmesinin belirleyici rol oynadığı saptanmıştır. Bu sonuçlar, MoTe_2 'nin hafıza cihazları ve sensör teknolojilerinde kullanılabilirliği açısından önemli bir temel oluşturmaktadır (85).

Manyetik hipertermi (MH), kanser tedavisinde giderek daha fazla ilgi gören yenilikçi bir yöntemdir. Bu teknik, manyetik nanopartiküllerin (MNP) alternatif manyetik alan altında ısı üreterek tümör hücrelerini tahrip etmesine dayanır. MH, kemoterapi ve radyoterapiye destekleyici veya bağımsız bir tedavi olarak kullanılabilir. MNP'ler, bu yöntemin temel bileşenleri olup farklı sentez yolları ve kaplama materyalleri (örneğin polietilen glikol [PEG] veya sitrik asit [CA]) ile optimize edilebilir. MNP'lerin ısı üretim verimi, özgül soğurma oranı (SAR) ve içsel kayıp gücü (ILP) gibi parametrelerle değerlendirilir. Yapılan deneylerde, 12 ± 5 nm ile 36 ± 11 nm arasında değişen küresel ve kübik nanopartiküller test edilmiştir. Sonuçlar, kaplama türü ve partikül geometrisinin ısıtma etkinliğini doğrudan etkilediğini göstermiştir. Özellikle kaplanmış partiküller, yüksek stabilite ve daha verimli enerji dönüşümü sağlamıştır. Bu bulgular, manyetik hiperterminin kanser tedavisinde daha güvenli, hedefe yönelik ve minimal yan etkiye sahip bir alternatif olarak geliştirilmesine katkı sunmaktadır [86].

Silybin (SIB), güçlü hepatoprotektif (karaciğer koruyucu) etkisiyle bilinen ancak düşük biyoyararlanıma sahip bir bileşiktir. İlk geçiş metabolizması nedeniyle oral yolla alındığında etkinliği sınırlıdır. Bu sorunu gidermek amacıyla, SIB'nin katı lipid nanopartiküller (SLN-SIB) ve polimerik nanopartiküller (PN-SIB) içerisinde taşınması araştırılmıştır. Ayrıca, ursodeoksikolik asit (UDCA) içeren varyantlar (SLN-SIB-U) da değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, bu sistemlerin SIB'nin çözünürlüğünü ve biyoyararlanımını artırdığını, aynı zamanda karaciğer hedeflemesini güçlendirdiğini göstermektedir. Bu sonuçlar, ilaç taşıma sistemlerinde nanoteknolojik yaklaşımların terapötik etkinliği artırabileceğini doğrulamaktadır (87). Kitosan nanopartikülleri (CS-NP'ler), nanotıp alanında geniş uygulama potansiyeli nedeniyle yoğun şekilde araştırılmaktadır. Bu partiküller genellikle iyonik jelasyon yöntemiyle hazırlanır ve ilaç taşıma sistemlerinde hedefe yönelik dağıtım amacıyla kullanılır. Bu çalışmada, %0,25–1,0 w/v aralığında farklı konsantrasyonlarda sentezlenen CS-NP'lerin yapısal, morfolojik ve moleküler özellikleri incelenmiştir. %1,0 w/v oranında hazırlanan CS-NP'ler, polietilen oksit (PEO) ve PEO-polipropilen glikol (PPG) diblok kopolimerleriyle fonksiyonelleştirilmiştir. TEM analizleri, partikül boyutunun 11,3–14,8 nm arasında değiştiğini; XRD sonuçları ise nanopartiküllerin yarı kristal yapı gösterdiğini ortaya koymuştur. PEO kaplaması kristallliği etkilemezken, PEO-PPG ile modifikasyon kristallik derecesini artırmıştır. FTIR analizleri, TPP'nin CS yapısına dahil olduğunu ve kristallik arttıkça hidrojen bağlanmasının güçlendiğini doğrulamıştır. Bulgular, CS-NP'lerin yapısal özelliklerinin hazırlama konsantrasyonu ve fonksiyonelleştirme yöntemi ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Özellikle PEO-PPG ile modifiye edilmiş %1,0 w/v CS-NP'ler, yüksek kristallik ve güçlü hidrojen bağlarıyla öne çıkmaktadır. Bu sonuçlar, CS-NP'lerin ilaç taşınımı gibi tıbbi uygulamalarda kullanım potansiyelini güçlendirmektedir [88].

Diosmetin, doğal kaynaklı bir biyoflavonoid olup antioksidan, antikanser, antibakteriyel ve anti-inflamatuar özellikleriyle dikkat çeker. Genellikle turuncgiller, nane, krizantem ve örümcek kokusu (*Artemisia spp.*) gibi bitkilerden elde edilir. Ancak diosmetinin karmaşık biyolojik materyallerden seçici ekstraksiyonu, klasik yöntemlerle (örneğin silika jel kolon kromatografisi) oldukça zordur.

Bu çalışmada, diosmetinin seçici ayrımı için manyetik yüzey baskılanmış polimerler (Diosmetin/SMIP'ler) geliştirilmiştir. 4-vinilpiridin (4-VP) fonksiyonel monomeri kullanılarak manyetik nanopartiküller üzerine baskı polimerizasyonu uygulanmış, hesaplamalı simülasyonlar yardımıyla monomer-şablon etkileşim enerjileri analiz edilmiştir. Sonuçlara göre, Diosmetin/SMIP'ler diosmetine karşı yüksek özgüllük göstermiş, adsorpsiyon kapasitesi 20,25 mg/g ve baskı faktörü (IF) 2,28 olarak belirlenmiştir. Ayrıca 8 döngülük adsorpsiyon-desorpsiyon testleri sonunda yeniden kullanılabilirlik oranı yüksek bulunmuştur. Limon kabuğu örneklerinde %91-94 oranında diosmetin geri kazanımı elde edilmiştir. Bu sonuçlar, hesaplamalı modellemeye dayalı baskı polimerizasyonunun, diosmetinin seçici ekstraksiyonunda verimliliği önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Geliştirilen Diosmetin/SMIP'ler, doğal tıp, gıda takviyeleri ve kozmetik endüstrilerinde yüksek özgüllük, geri dönüştürülebilirlik ve seçici adsorpsiyon kapasitesiyle gelecek vadeden adsorban materyaller olarak değerlendirilmektedir [89].

Bu çalışmada, titanyum dioksit (TiO_2) nanotüpleri (NT'ler), titanyum (Ti) yüzeyinin elektrokimyasal anodizasyonu ile üretilmiştir. Elektrolit ortamına farklı oranlarda amonyum florür (NH_4F) eklenerek nanotüp morfolojisi üzerinde etkileri araştırılmıştır. Üretilen nanotüpler, kadmiyum kalkojenit nanopartikülleri (CdS ve CdSe) ile yüzey fonksiyonelleştirmesi yapılarak hidrojen üretim verimliliği incelenmiştir. Sonuçlar, CdS ve CdSe ile modifiye edilen TiO_2 nanotüplerin, ışık soğurma kapasitesinin artması ve yük ayrışmasının iyileşmesi nedeniyle hidrojen üretiminde belirgin bir artış sağladığını göstermiştir. Ayrıca NH_4F konsantrasyonunun, nanotüplerin gözenek boyutu, yüzey pürüzlülüğü ve kristal yapısı üzerinde doğrudan etkili olduğu tespit edilmiştir. CdS/CdSe-TiO_2 kompozitlerinde gözlenen sinerjik fotokatalitik etki, hidrojen üretimini önemli ölçüde artırmış ve bu tür nanoyapıların yenilenebilir enerji sistemlerinde kullanılabileceğini ortaya koymuştur [90].

Nanoteknoloji, lignoselülozik biyokütleden biyoyakıt üretiminde ön arıtma süreçlerini iyileştiren yenilikçi bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Lignoselülozik biyokütle; selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi karmaşık polimerlerden oluşur ve bu yapının etkili şekilde parçalanması, fermente edilebilir şekerlerin serbestleşmesi için kritik öneme sahiptir. Geleneksel ön arıtma yöntemleri, yüksek enerji gereksinimi ve kimyasal

kirlilik gibi dezavantajlara sahiptir. Buna karşın nanoteknolojik uygulamalar, enzimlerin nanomalzemeler üzerine immobilizasyonu yoluyla reaksiyon etkinliğini artırır. Bu yöntem, hem enzim stabilitesini korur hem de biyokütle yüzeyinde kontrollü katalitik etki sağlar. Nanoparçacıklar, enzimlerin aktif merkezlerinin korunmasına ve daha uzun süre işlevsel kalmasına yardımcı olur. Ayrıca nanotaşıyıcılar, enzimlerin biyokütle matrisi üzerinde daha eşit dağılmasını sağlayarak şeker verimini artırır. Bu sinerjik sistemler, hem enerji verimliliğini artırmakta hem de çevre dostu biyoyakıt üretimine katkı sunmaktadır. Sonuç olarak, nanoteknoloji tabanlı ön arıtma yaklaşımları, geleneksel yöntemlerin sınırlamalarını aşarak sürdürülebilir biyoyakıt üretimi için etkili bir alternatif oluşturmaktadır [91].

Su kirliliği, hem doğal olaylardan hem de insan kaynaklı faaliyetlerden kaynaklanarak günümüzün en ciddi çevresel sorunlarından biri haline gelmiştir. Artan nüfus, endüstriyel üretim ve tarımsal faaliyetler, mevcut su arıtma teknolojilerinin etkinliğini sınırlandırmakta; su kalitesi standartlarının giderek sıkılaşması da bu teknolojilerin yetersiz kalmasına yol açmaktadır. Bu bağlamda nanoteknoloji, atık suların arıtımında yenilikçi, etkili ve sürdürülebilir çözümler sunma potansiyeliyle öne çıkmaktadır. Nanomalzemelerin yüksek yüzey alanı, kimyasal kararlılığı ve özgül adsorpsiyon yeteneği, kirleticilerin daha etkin uzaklaştırılmasını mümkün kılar. Son yıllarda yapılan çalışmalar, nanoteknolojik filtreler, katalitik oksidasyon sistemleri ve manyetik nanopartiküllerin su arıtma süreçlerinde klasik yöntemlere kıyasla daha verimli sonuçlar verdiğini göstermektedir. Nanoteknolojiye dayalı arıtma yaklaşımlarının çevresel sürdürülebilirlik, enerji verimliliği ve ekonomik uygulanabilirlik açısından değerlendirilmesi, bu teknolojilerin endüstriyel ölçekte kullanımını yönlendiren temel faktörlerdendir. Bu sistemler, daha az enerji tüketimi ve düşük kimyasal kullanım oranı sayesinde çevreye minimum etkiyle yüksek arıtma performansı sağlayabilir. Nanoteknoloji tabanlı su arıtma sistemleri, geleneksel yöntemlere kıyasla daha çevre dostu, ekonomik ve uzun vadede sürdürülebilir çözümler sunar. Bu yenilikçi yaklaşımlar, su kaynaklarının korunması ve küresel su güvenliğinin sağlanması açısından önemli bir potansiyele sahiptir [92].

2023 yılı Nobel Kimya Ödülü, kuantum noktalarının keşfi ve sentezine yönelik öncü çalışmalarıyla Mounqi Bawendi, Louis Brus ve Alexei Ekimov'a verilmiştir. Bu ödül,

nanobilim alanında boyut kontrollü malzeme sentezinin temel önemini yeniden vurgulamıştır. Kuantum noktaları, 1980'lerin başında keşfedildiklerinden bu yana boyuta bağlı optoelektronik özellikleriyle nanoteknolojide devrim yaratmıştır. Parçacık boyutunun atomik ölçekte hassas biçimde ayarlanabilmesi, enerji seviyelerinin ve ışık emilim özelliklerinin kontrolünü mümkün kılar. Bu yönüyle kuantum noktaları, boyuta bağlı kuantum sınırlanması olgusunun en iyi örneklerinden biridir. Kuantum noktaları; biyolojik floresan görüntüleme, LED teknolojileri, güneş pilleri ve QD ekranları gibi alanlarda geniş uygulama alanı bulmuştur. Geleneksel pigmentlere göre daha yüksek parlaklık, kararlılık ve ayarlanabilir renk özellikleri sunan bu nanoyapılar, temel bilimden endüstriyel uygulamalara uzanan geniş bir etki alanına sahiptir. Bu nedenle 2023 Nobel Ödülü, kuantum noktalarının modern bilim ve teknolojiadaki dönüştürücü gücünü sembolize etmektedir [93].

Manyetik FexOy nanopartiküller (NP'ler), çevrede yaygın olarak bulunan ancak toksik potansiyelleri nedeniyle sağlık riski taşıyan inorganik kirleticilerdir. Son yıllarda bu partiküllerin hava, su, toprak ve biyolojik dokulardaki dağılımı üzerine çeşitli çalışmalar yapılmış olsa da, çevresel kaderleri ve toksikolojik etkileri hakkında hâlâ önemli bilgi eksiklikleri bulunmaktadır. Gelecekteki araştırmaların, FexOy NP'lerin kaynak belirleme, taşınım, biyobirikim ve dönüşüm mekanizmalarına odaklanması gerekmektedir. Özellikle izotopik parmak izi analizleri ve makine öğrenimi tabanlı modellemeler, bu parçacıkların izlenmesinde yeni yaklaşımlar sunabilir. Bu nanopartiküllerin solunum yoluyla vücuda alınması durumunda sinir sistemi dokularına ulaşabildiği ve Alzheimer gibi nörodejeneratif hastalıklarla ilişkilendirilebileceği bildirilmiştir. Bu nedenle epidemiyolojik çalışmalar ve çevresel izleme ağları, gerçek risk düzeylerinin değerlendirilmesi için kritik öneme sahiptir. Ayrıca, kaynak yönetimi, emisyon azaltımı, geri dönüşüm teknolojileri ve yasal düzenlemelerin geliştirilmesi, manyetik nanopartikül kirliliğini azaltmak için bütüncül bir yaklaşım gerektirir. Sonuç olarak, FexOy NP'lerin çevresel davranışını ve insan sağlığı üzerindeki uzun vadeli etkilerini anlamak için çok disiplinli araştırma stratejileri gereklidir [94].

Tungsten disülfür (WS₂) nanoﬂakeler, tungsten oksit nanoçubukların oleilamin ortamında yüksek sıcaklıkta sülfidasyonu ile sentezlenmiştir. Bu yaklaşım, kolloidal

kurban-dönüşüm stratejisine dayanmaktadır. Sentez süreci sonunda WS₂ nanoflakes yüzeyinde kalan oleilamin molekülleri, nanopul yapının polar olmayan çözücülerde kararlılığını artırmış ve van der Waals etkileşimleriyle katmanlaşmayı engellemiştir. İki boyutlu geçiş metali dikalkojenitler (2D-TMD'ler), özellikle elektronik, sensör ve optoelektronik cihazlar için önemli malzemelerdir. Bu çalışmada elde edilen WS₂ kolloidal nanokristalleri kullanılarak, katman katman biriktirme yöntemiyle milimetre ölçekli ince filmler üretilmiştir. Oda sıcaklığında yapılan yüzey işlemleri, kükürt boşluklarını onararak malzemenin elektronik kalitesini ve optik yanıtını iyileştirmiştir. Elde edilen sonuçlar, WS₂ nanoyapılarının gelecekteki nanoelektronik ve enerji depolama uygulamaları için umut verici malzemeler olduğunu göstermektedir (95).

Sudan arsenik iyonlarının uzaklaştırılması amacıyla, polimerik anyon değiştirici reçine (D201) üzerine gümüş nanopartiküller (AgNP'ler) ve Fe–Ce karışık oksit yüklenerek yeni bir nanokompozit malzeme hazırlanmıştır. D201'in gözenek yapısı içerisinde goetit (α -FeO(OH)), hidratlı serik oksit (CeO₂·H₂O) ve AgNP'ler kapsüllendirilmiş; böylece FeO(OH)–HCO–Ag–D201 nanokompoziti sentezlenmiştir. Yapılan adsorpsiyon izoterm çalışmaları, bu nanokompozitin hem As(III) hem de As(V) türlerine karşı yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir. Özellikle, AgNP içermeyen kompozite kıyasla As(III) giderim kapasitesi 22,03 mg/g'den 40,12 mg/g'ye yükselmiştir. Kinetik analizler, As(III)'ün adsorpsiyon hızının As(V)'e göre daha yavaş olduğunu ve süreçlerin sırasıyla yalancı ikinci derece ve birinci derece kinetik modellere uyduğunu ortaya koymuştur. Adsorpsiyonun nötr ve bazik pH koşullarında daha etkili olduğu belirlenmiştir. Sülfat, silikat ve fosfat iyonları rekabet etkisiyle adsorpsiyonu kısmen engellerken, doğal organik maddelerin önemli bir etkisi gözlenmemiştir. Mekanizma açısından, As(V) iyonlarının uzaklaştırılması elektrostatik çekim ve yüzey kompleksleşmesi yoluyla gerçekleşirken, As(III) türü hem oksidasyon hem de adsorpsiyon süreçlerine katılmıştır. Oksidasyon aşamasında Ce(IV) iyonları başlıca oksitleyici tür olarak görev yaparken, α -FeO(OH) ve AgNP'ler As(III)'ün As(V)'e dönüşümünü kolaylaştırmıştır. Ayrıca, nanokompozitin yeniden kullanılabilirliği ve stabil yapısı, arsenik gideriminde yüksek verimlilik ve tekrarlanabilir performans sunarak çevre dostu su arıtma uygulamaları için umut verici bir malzeme olduğunu göstermiştir [96].

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 Kullanılan Kimyasallar

Kaplanmış manyetik nanopartiküller genellikle laboratuvar ortamında, kontrollü kimyasal koşullar altında sentezlenir. Süreç, belirli demir tuzlarının hazırlanması ve indirgenmesiyle başlar. İlk aşamada, 8,109 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ve 3,278 g $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ tartılarak konik bir şişeye aktarılır. Bu iki bileşik, nanopartikül sentezi için gerekli Fe^{3+} ve Fe^{2+} iyonlarının kaynağını oluşturur. Ardından, demir tuzları 100 mL ultra saf su içerisinde çözülerek homojen bir çözelti elde edilir. Bu seyreltme işlemi, çözeltinin iyonik yoğunluğunu kontrol altına alarak nanopartikül çekirdeklerinin dengeli şekilde oluşmasını sağlar. Elde edilen karışım, 900 rpm hızında karıştırılarak manyetik karıştırıcı üzerinde homojen hale getirilir. Sentez reaksiyonu, 80 °C sıcaklıkta gerçekleştirilecek şekilde ayarlanır. Bu sıcaklık, kristal çekirdeklenmeyi ve nanopartikül büyümesini optimize eder. Reaksiyon sırasında, %25’lik 10 mL amonyak çözeltisi ve 1 mL oleik asit yavaşça, damla damla karışıma eklenir. Amonyak, ortamın pH’ını yükselterek Fe^{2+} ve Fe^{3+} iyonlarının Fe_3O_4 çekirdekleri oluşturmaya olanak tanıırken; oleik asit, nanopartiküllerin yüzeyini kaplayarak agregasyonu önler ve kolloidal stabiliteyi artırır. Tüm adımlar tamamlandığında, yüzeyi oleik asit ile kaplanmış manyetik nanopartiküller elde edilir. Bu partiküller, biyomedikal görüntüleme, manyetik ayırma, kataliz ve çevresel arıtım gibi çeşitli alanlarda uygulama potansiyeline sahiptir [31].

Oleik asit, doğada yaygın olarak bulunan tekli doymamış bir yağ asididir ve kimyasal formülü $\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$ ’dir. Moleküler yapısında bir adet çift bağ içeren 18 karbonlu zinciri sayesinde, diğer yağ asitlerinden farklı fiziksel özellikler gösterir. Genellikle renksiz ve kokusuz bir sıvı olmasına rağmen, ticari örneklerinde hafif sarımsı bir ton görülebilir. “Oleik” terimi, Latince “oleum” yani “yağ” kelimesinden türetilmiştir. Doğal yağ asitleri arasında en bol bulunan türlerden biri olup, bitkisel ve hayvansal yağların %55–80’ini oluşturan ana bileşendir. Özellikle zeytinyağında yüksek oranda bulunması nedeniyle, beslenmede sağlıklı yağ asidi kaynakları arasında kabul edilir. Oleik asidin tuzları ve esterleri “oleatlar” olarak adlandırılır. Endüstriyel ölçekte sabun, kozmetik, ilaç, gıda katkı maddesi ve biyolojik yüzey aktif madde üretiminde

yaygın kullanım alanına sahiptir. Ayrıca farmasötik formülasyonlarda çözücü ve emülgatör olarak görev yapar. Doğal kökenli olması, biyouyumlu ve çevre dostu bir hammadde olarak tercih edilmesini sağlar. Oleik asidin bu çok yönlü yapısı, hem biyolojik sistemlerdeki işlevsel rolünü hem de endüstriyel uygulamalardaki önemini artırmaktadır [97].

3.2 Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar

- **Saf su üretim sistemi:** (Millipore marka ultra saf su cihazı)
- **pH ölçüm cihazı:** (Mettler Toledo dijital pH metre)
- **Analitik terazi:** (Pioneer yüksek hassasiyetli tartım sistemi)
- **Elektrikli ısıtıcı tabla:** (Heidolph marka manyetik karıştırıcılı ısıtıcı)
- **Su banyosu:** (HAPA marka sıcak su sirkülasyon ünitesi)
- **Vorteks karıştırıcı:** (ISOLAB marka vortex mikser)
- **Titreşimli çalkalayıcı:** (Biosan ES-20 model orbital çalkalayıcı)
- **Mekanik çalkalayıcı:** (IKA-Werke marka laboratuvar karıştırıcısı)
- **Numune döndürücü:** (Biosan RS-24 model rotatör)
- **Neodimyum mıknatıs:** (10×10 mm ölçülerinde güçlü sabit mıknatıs)
- **Numune kabı:** (ISOLAB Diamond, 5 mL hacimli tartım kabı)
- **Termal ölçüm cihazı:** (ISOLAB dijital termometre)
- **Mikropipet seti:** (Eppendorf marka otomatik pipet)
- **Yarıklı kuvars tüp (SQT):** FAAS sisteminde kullanılan özel atomizasyon tüpü
- **Sirkülasyonlu sıcak su banyosu:** (Memmert WB-22 model)
- **Alev atomik absorpsiyon spektrometresi (AAS):** (Shimadzu AA-7000 model)
- **Elementel analiz cihazı:** (Carlo Erba CA-1108 model karbon-hidrojen-azot analizörü)
- **Taramalı elektron mikroskobu (SEM):** (Coxem CX-200 model)
- **Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskop (FTIR):** (Perkin Elmer Mattson 1000 model)
- **Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrometresi:**



Şekil 3.1 Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrometresi

Analitik Terazı: Tüm tartım işlemleri, ± 0.0001 g hassasiyetle ölçüm yapabilen Pioneer marka analitik terazi ile gerçekleştirilmiştir. Bu cihaz, deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasal maddelerin doğru miktarlarda tartılmasını sağlamıştır.

pH Ölçüm Cihazı: Hazırlanan çözeltilerin pH değerlerinin belirlenmesi, Mettler Toledo marka dijital pH metre ile yapılmıştır. Cihazın düzenli kalibrasyonu sağlanarak ölçüm güvenilirliği korunmuştur.

Saf Su Sistemi: Deneylerde kullanılan çözeltilerin hazırlanması ve seyreltme işlemlerinde, Millipore marka saf su üretim cihazı ile elde edilen ultra saf su kullanılmıştır. Bu sayede, çözeltilerin iyonik saflığı korunmuştur.

Mikropipet: Çözelti hazırlama ve aktarma işlemleri, Eppendorf marka, 100–1000 μL aralığında ayarlanabilir otomatik mikropipetler ile gerçekleştirilmiştir. Pipet uçlarının tek kullanımlık olması, çapraz bulaşmayı önlemiştir.

Çalkalayıcı Sistemler: Analit iyonlarının çözücü ve reaktiflerle etkin biçimde etkileşime girmesi için çeşitli karıştırıcı sistemler kullanılmıştır.

Homojen bir karışım elde etmek amacıyla:

- ISOLAB mini vortex,
- Biosan ES-20 sonik çalkalayıcı,

- IKA-WERKE bionik çalkalayıcı ve
- Biosan RS-24 rotatör

cihazlarından yararlanılmıştır. Bu cihazlar, çözelti kararlılığını artırmış ve reaksiyon verimliliğini iyileştirmiştir.

Yarıklı Kuvars Tüp (SQT): Atomik absorpsiyon spektrometresi (AAS) analizlerinde ölçüm hassasiyetini artırmak amacıyla, PerkinElmer AAS-400 sistemine özel olarak uyumlu yarıklı kuvars tüp (Slotted Quartz Tube) kullanılmıştır. Bu ekipman, atomizasyon verimini yükselterek sinyal yoğunluğunu artırmıştır.

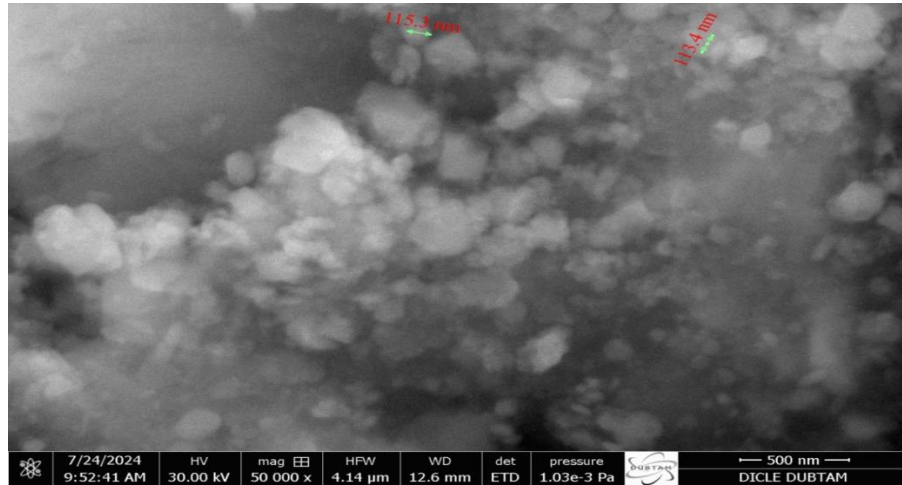
3.3 Deney Hazırlanması

3.3.1 Manyetik nano partiküllerin hazırlanması

Bu çalışmada kaplanmış manyetik nanopartiküller, belirli kimyasal adımlar izlenerek sentezlenmiştir. Öncelikle $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (8,109 g) ve $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (3,278 g) uygun oranlarda tartılarak bir balon içine alınmıştır. Bu bileşenler, nanopartikül sentezi için gerekli Fe^{3+} ve Fe^{2+} iyonlarının kaynağını oluşturmaktadır. Tuz karışımı, 300 mL saf su içerisinde çözülmüş ve homojen bir çözelti elde edilmiştir. Karışım, 80°C sıcaklıkta 30 dakika süreyle ısıtılarak reaksiyon ortamı hazırlanmıştır. Isıtma süreci boyunca, 30 mL amonyak (NH_3) ve 3 mL oleik asit aynı anda sisteme ilave edilmiştir. Amonyak, çöktürme ajanı olarak görev yaparken oleik asit, partikül yüzeyinde bir kaplama tabakası oluşturarak nanopartiküllerin kararlılığını artırmıştır. Reaksiyonun kontrollü atmosferde gerçekleşmesi için sistem üzerine azot gazı verilmiş ve 2 saat boyunca ısıtma işlemi sürdürülmüştür. Bu aşamanın sonunda, çözelti içerisinde siyah renkli partiküller oluştuğu gözlenmiş, bu da kaplanmış manyetik nanopartiküllerin sentezinin tamamlandığını göstermiştir. Oluşan nanopartiküller, neodimyum mıknatıs yardımıyla çözelti ortamından ayrılmıştır. Partiküller, yüzeyde kalabilecek reaktif kalıntıları uzaklaştırmak amacıyla su ve etanol ile beş kez yıkanmış, ardından 70°C’de vakum altında kurutulmuştur. Kurutulan numuneler, homojen partikül elde etmek için havanda öğütülmüş ve toz formuna getirilmiştir. Elde edilen Fe_3O_4 nanopartikülleri, çevresel kirleticilerin giderilmesinde etkili bir adsorban olarak değerlendirilmektedir. Özellikle baskı mürekkebi renklerinin giderilmesinde yüksek adsorpsiyon performansı göstermektedir. Nanopartiküller, birlikte çöktürme yöntemi ile $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ve $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ tuzlarının $\text{Fe}^{3+} : \text{Fe}^{2+} = 2 : 1$ mol oranında karıştırılmasıyla hazırlanmıştır. Çözeltiye NaOH çözeltisi yavaşça ilave

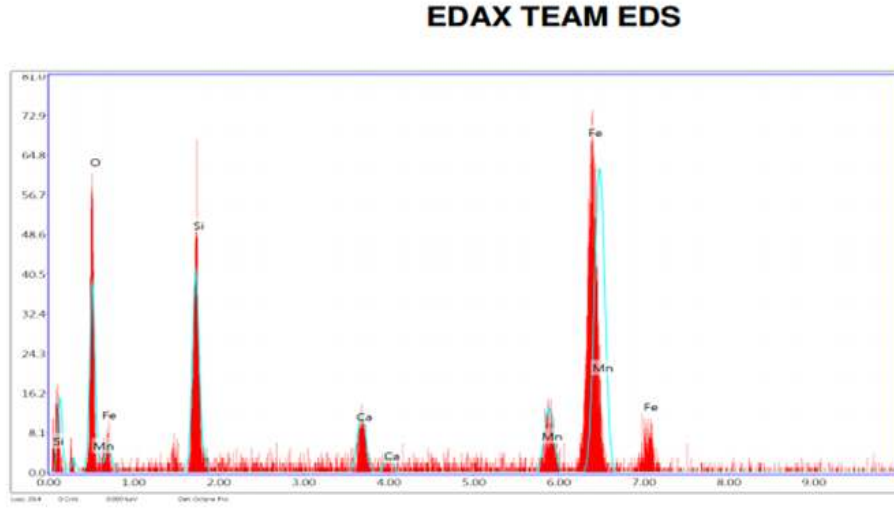
edilmiş ve reaksiyon argon atmosferinde 60 dakika boyunca karıştırılmıştır. Sonuçta, ortalama 34 nm boyutunda siyah Fe_3O_4 kristalleri elde edilmiştir. Bu nanopartiküller, renkli atık çözeltilerinde etkili bir adsorban olarak kullanılmıştır. 0,1 g Fe_3O_4 nanopartikülü, 40 dakikalık temas süresi ve 100 rpm karıştırma hızı altında mavi rengi %97, kırmızı rengi %94 ve sarı rengi %62 oranında adsorbe etmiştir. Ayrıca, manyetik özellikleri sayesinde nanopartiküller çözelti ortamından mıknatıs kullanılarak kolayca geri kazanılabilmektedir. Bu özellikleriyle Fe_3O_4 nanopartikülleri, hem atık su arıtma sistemlerinde hem de endüstriyel renk giderim süreçlerinde çevre dostu ve yeniden kullanılabilir bir alternatif adsorban olarak dikkat çekmektedir [98].

$\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nano partikülü ise hazırlanma aşamaları ise şu şekildedir. Ergani bölgesinde bulunan Demir Mangan cevheri bünyesinde var olan fakat serbest halde bulunmayan $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ sipinal yapı formundaki kimyasal yöntemle yapıdan koparılıp mıknatıs ile toplanarak yapıdan ayrılması sağlanmıştır. Bu bileşik saf su ile yıkanmış daha sonra 0,2M H_2SO_4 ile ısıtılarak çözelti berrak kalıncaya kadar işleme devam edilmiş ve saf su ile tekrar yıkanıp 1200 C de kurutularak kullanılmış olduğumuz $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanopartikülü elde edilmiştir.



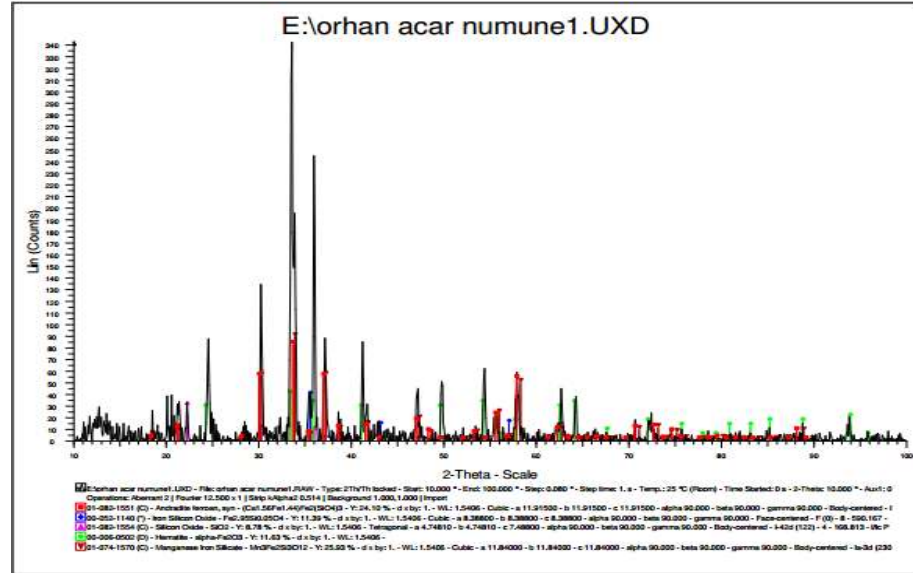
Şekil 3.2 $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanopartikülünün sem görüntüleri

$\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanoparçacıklarının SEM görüntüsü. Görüntü 30 kV ivme voltajında, 50.000× büyütmede elde edilmiştir. Ortalama parçacık boyutunun yaklaşık 113–115 nm aralığında olduğu belirlenmiştir. Nanoparçacıkların küresel ve homojen bir morfolojiye sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 3.3 $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanoparçacıklarının EDS spektrumu.

EDS analizi sonucunda Mn, Fe, Si ve O elementlerine ait karakteristik pikler gözlenmiştir. Bu sonuç, sentezlenen nanoparçacıkların beklenen kimyasal bileşime sahip olduğunu doğrulamaktadır. Ayrıca düşük oranda Ca sinyali, kullanılan kimyasallar veya ortamdan kaynaklanan safsızlık olabileceğini göstermektedir. SEM görüntüsünde gözlenen nanoparçacıkların elementel bileşimi, EDS analizi ile doğrulanmış ve Mn, Fe, Si ve O elementlerinden oluştuğu belirlenmiştir.”



Şekil 3.4 XRD (X-Işını Kırınımı) Sonucu – $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ Nanoparçacıkları

Yukarıdaki difraktogram, sentezlenen $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanoparçacıklarının kristal yapısını doğrulamak amacıyla XRD analiziyle elde edilmiştir. Grafikte 2θ

değerlerinde gözlenen karakteristik pikler, Fe, Mn, Si ve O elementlerinden oluşan olivin yapılı $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ kristal fazına karşılık gelmektedir.

20°–40° aralığında belirgin olan pikler, silika ve demir oksit fazlarını,

40°–60° aralığındaki keskin pikler ise $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ 'nin kristalin doğasını göstermektedir.

Piklerin dar ve yüksek yoğunluklu olması, nanoparçacıkların yüksek kristalliniteye sahip olduğunu kanıtlamaktadır.

Element	Wt %	Atomic %	Error %	Net Int.	Net Error %	K Ratio	Z	R	A	F
O K	39.61	64.82	13.21	20.16	6.10	0.1556	1.1016	0.9290	0.3567	1.0000
Si K	13.97	13.02	14.35	21.68	8.27	0.0583	1.0228	0.9836	0.4051	1.0076
Ca K	1.95	1.27	61.38	4.49	59.31	0.0185	0.9789	1.0251	0.8845	1.0933
Mn K	4.47	2.13	28.12	7.37	26.87	0.0427	0.8689	1.0529	0.9985	1.1026
Fe K	40.00	18.75	6.56	57.38	5.68	0.3672	0.8847	1.0578	1.0049	1.0328

Şekil 3.5 $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanoparçacıklarının EDX spektrumu ve elementel bileşim tablosu

EDX analizi sonucunda $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanoparçacıklarının yapısında bulunan elementler belirlenmiştir. Başlıca elementler olarak Fe (%40,00), O (%39,61), Si (%13,97) ve Mn (%4,47) tespit edilmiştir. Bu oranlar sentezlenen $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ yapısını doğrulamaktadır. Düşük oranda Ca (%1,95) ise muhtemelen ortamdan kaynaklanan safsızlık olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, sentezlenen nanoparçacıkların hedeflenen bileşime uygun olduğunu göstermektedir.

3.3.2 Kullanılan çözeltilerin hazırlanması

Bu deney kapsamında, $2500 \mu\text{g L}^{-1}$ derişiminde bir tellür stok çözeltisi hazırlanmıştır. Bunun için belirli miktarda tellür standardı, uygun hacimde bidistile su içerisinde çözülmüştür. Bu adım, ölçüm doğruluğu ve tekrarlanabilirliği sağlamak amacıyla dikkatli biçimde gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan stok çözeltiden, bidistile su kullanılarak sırasıyla 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 ve $900 \mu\text{g L}^{-1}$ derişimlerinde seyreltme çözeltileri hazırlanmıştır. Seyreltme işlemleri, hassas pipetleme teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiş ve her bir çözeltinin hacmi titizlikle ayarlanmıştır. Çözeltilerin pH değerlerinin 3 ile 10 aralığında olması sağlanmıştır.

Bunun için farklı tampon çözeltiler kullanılmış ve her bir çözeltinin pH değeri, kalibre edilmiş pH metre (Mettler Toledo) yardımıyla ölçülmüştür. Bu işlem, deneysel ortamın kararlılığını sağlamak ve analitik hataları en aza indirmek için büyük önem taşımaktadır. Hazırlanan standart çözeltiler, ilerleyen aşamalarda tellür derişiminin tayini amacıyla çeşitli analitik yöntemlerle örneğin spektrofotometrik veya voltametrik tekniklerle analiz edilmiştir. Her aşamada, ölçüm hassasiyetini artırmak ve güvenilir sonuçlar elde etmek için laboratuvar koşulları kontrol altında tutulmuştur. Standart çözeltilerin hazırlanmasında ve seyreltme işlemlerinde izlenen bu titiz yaklaşım, elde edilen deneysel verilerin tekrarlanabilirliği ve bilimsel geçerliliği açısından kritik öneme sahiptir.

3.4 Tellür İçin Mikro Ekstraksiyon Deneyleri

3.4.1 pH deneyleri

Tellür çözeltisinin analizinde izlenen adımlar ve uygulanan yöntemler ayrıntılı biçimde aşağıda açıklanmıştır. Öncelikle belirli miktarda tellür standardı, belirli hacimde bidistile su ile karıştırılarak $2500 \mu\text{g L}^{-1}$ derişiminde bir stok çözelti hazırlanmıştır. Bu stok çözeltinin pH değeri, 3 ile 10 arasındaki aralıkta hazırlanan tampon çözeltilerle ayarlanmıştır. Hazırlanan çözeltiden 30 mL alınarak her birine 0,05 g manyetik nanoparçacık eklenmiştir. Karışım, nanoparçacıkların homojen dağılmasını sağlamak amacıyla yaklaşık 15 saniye süreyle elle çalkalanmıştır. Ardından çözelti, mıknatıs yardımıyla tutularak içindeki MNP'ler çözelti fazından ayrılmıştır. Bu işlem, nanoparçacıkların etkin bir biçimde uzaklaştırılmasını ve çözeltinin berraklaştırılmasını sağlamıştır. MNP'lerin ayrılmasından sonra üst faza 0,5 mL derişik HNO_3 eklenmiş; bu aşama, çözeltideki metal iyonlarının MNP yüzeyinden desorpsiyonunu ve tekrar çözelti fazına geçmesini sağlamıştır. Daha sonra mıknatıs yardımıyla MNP'ler yeniden ayrılarak uzaklaştırılmıştır. Elde edilen saf çözeltiler, Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi ile analiz edilmiştir. Bu yöntem, çözeltideki metal iyonlarının derişimini yüksek doğrulukla belirlemeye olanak tanımaktadır. Analizler sonucunda tellür için en uygun pH aralığı tespit edilmiştir. Bu pH değerleri, ölçümün hassasiyetini ve doğruluğunu artıran en uygun koşulları göstermektedir.

3.4.2 İlave edilen tampon miktarı deneyleri

Bu çalışmada, MNP'ler kullanılarak tellür tayini için en uygun pH aralığının belirlenmesine yönelik işlem basamakları ayrıntılandırılmıştır. Öncelikle deney ortamı hazırlanmış ve her bir falkon tüpüne 50 mg MNP eklenmiştir. Ardından 30 mL'lik hacimlerde hazırlanan $2500 \mu\text{g L}^{-1}$ tellür standart çözeltileri bu tüplere tek tek ilave edilmiştir. Hedeflenen pH değerlerini sağlamak üzere önceden belirlenen derişimlerde tampon çözeltileri ilave edilmiş ve karışımlar nanoparçacıkların tüm örnekle etkili biçimde temas etmesi için yaklaşık 15 saniye süreyle elle çalkalanmıştır. İşlem sonrasında tüpler mıkmatısla tutulup MNP'ler çözelti fazından hızlıca ayrılmıştır. Üst faza 0.5 mL derişik HNO_3 eklenerek MNP yüzeyine bağlanmış metal türlerinin tekrar çözelti fazına geçmesi (desorpsiyon) sağlanmıştır. Gerekli durumlarda mıkmatısl uygulaması tekrarlanarak MNP'ler tamamen uzaklaştırılmıştır. Elde edilen arıtılmış çözeltilerde metal tayinleri Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerden hesaplanan yanıtlar kullanılarak tellür için optimum pH koşulları belirlenmiş; bulgular Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de sunulmuştur. Belirlenen bu koşullar, yöntemin doğruluk ve hassasiyetini artırarak güvenilir sonuçlar elde edilmesine olanak tanımaktadır. Tüm aşamaların titizlikle yürütülmesi, deneyin başarısı ve tekrarlanabilirliği açısından kritik öneme sahiptir.

3.4.3 MNP miktarı deneyleri

Bu deneyde, manyetik nanoparçacıkların farklı miktarlarda kullanılmasıyla tellür giderim veriminin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, 25, 50, 100, 150, 200, 250, 300 ve 400 mg olmak üzere değişen miktarlarda MNP'ler ayrı falkon tüplerine yerleştirilmiştir. Her bir tüpe $2500 \mu\text{g L}^{-1}$ derişiminde tellür çözeltisi eklenmiş ve karışımların homojenleşmesi amacıyla yaklaşık 15 saniye boyunca elle çalkalanmıştır. Çalkalama işleminin ardından, tüpler mıkmatısl yardımıyla tutulmuş ve MNP'ler çözelti fazından ayrılarak üstteki sıvı dikkatlice uzaklaştırılmıştır. Daha sonra MNP'lerin üzerine 0,5 mL derişik HNO_3 eklenmiş; bu adım, nanoparçacık yüzeyinde tutunan metal iyonlarının çözeltiye geri kazandırılmasını (desorpsiyon) sağlamıştır. Mıkmatısl yardımıyla nanoparçacıklar yeniden tutulmuş ve geriye kalan sıvı kısım analiz için ayrılmıştır. Elde edilen çözeltilerdeki metal derişimleri Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi ile ölçülmüştür. Bu ölçümler sonucunda, MNP miktarının tellür giderimi üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Deney sonuçlarına ait grafiksel veriler

Şekil 4.9 ve 4.10’da gösterilmiştir. Ancak, metinde bu şekillere ilişkin açıklamalar veya verilerin yorumları yer almadığından, sonuçların değerlendirilmesi eksik kalmıştır. Bu şekillerin açıklamaları ve deney bulgularına ilişkin ayrıntılar sunulduğunda, MNP miktarının optimum değerinin belirlenmesi ve tellür giderim veriminin daha kapsamlı bir şekilde yorumlanması mümkün olacaktır.

3.4.4 Çalkalama şekli deneyleri

Tellür tayininde optimum pH, tampon hacmi ve MNP miktarı belirlendikten sonra, bu sabit koşullar altında farklı çalkalama yöntemlerinin etkisi araştırılmıştır. Bu aşamada, karıştırma işlemi için elle çalkalama, mekanik çalkalayıcı (shaker), sonikat, rotatör ve vorteks gibi çeşitli sistemler kullanılmıştır. Her bir yöntemde, numuneler 60 saniye boyunca karıştırılarak MNP’lerin çözeltiyle etkin temas etmesi sağlanmıştır. Karıştırma süresi tamamlandıktan sonra, her numune aynı ayırma protokolüne tabi tutulmuştur. Yani, mıknatıs yardımıyla nanoparçacıklar çözelti fazından ayrılmış, üst faz elde edilerek analize uygun hale getirilmiştir. Bu aşamanın temel amacı, farklı karıştırma tekniklerinin tellür adsorpsiyonu ve desorpsiyonu üzerindeki etkisini incelemektir. Elde edilen çözeltiler, Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçları Şekil 4.11 ve 4.12’de gösterilmiştir. Ancak, mevcut metinde bu şekillere ilişkin bulguların yorumu veya sonuçların karşılaştırmalı değerlendirmesi yer almamaktadır. Bu nedenle, hangi çalkalama yönteminin en yüksek verimi sağladığı ya da analitik doğruluğu artırdığı konusunda net bir çıkarım yapılamamaktadır. Şekillere ait açıklamaların ve deneysel verilerin eklenmesi durumunda, optimum karıştırma tekniği daha kapsamlı biçimde değerlendirilebilir.

3.4.5. Zaman Deneyleri

Tellür tayininde farklı manyetik nanoparçacıkların (MNP) kullanıldığı çalışmalarda, temas süresinin analiz verimleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda, her bir metal çözeltisi ayrı ayrı MNP’lerin üzerine eklenmiş ve daha önce belirlenen optimum karıştırma yöntemi uygulanmıştır. Deneyler, 15, 30, 45, 60, 90 ve 120 saniyelik temas sürelerinde yürütülmüştür. Böylece, nanoparçacıkların tellür iyonlarını adsorbe etme etkinliğinin zamanla nasıl değiştiği incelenmiştir. Belirlenen sürelerin sonunda, çözeltilerdeki MNP’ler mıknatıs yardımıyla çöktürülmüş ve üst faz dikkatlice

ayrılmıştır. Bu aşama, adsorpsiyon ve desorpsiyon işlemlerinin tamamlanmasını ve analize hazır numunelerin elde edilmesini sağlamıştır. Ardından, elde edilen sıvı fazlar Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi (AAS) ile analiz edilmiştir. Bu ölçümler sonucunda, farklı temas sürelerinin tellür giderim verimi üzerindeki etkileri değerlendirilmiş ve optimum süre değerleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara ait grafiksel veriler Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te sunulmuştur. Ancak, mevcut metinde bu şekillerin ayrıntılı yorumları veya sonuçların karşılaştırmalı analizi yer almadığından, hangi zaman aralığının en yüksek adsorpsiyon verimini sağladığı tam olarak belirtilmemektedir. Bu grafiklerin açıklamaları eklendiğinde, deneyin kinetik davranışına ilişkin daha kapsamlı bir değerlendirme yapılabilecektir.

3.4.6 Sıcaklık deneyleri

Sıcaklığın tellür adsorpsiyonu üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, eşit miktarda manyetik nanoparçacık (MNP) içeren farklı falkon tüplerine her bir metal çözeltisinden 30 mL eklenmiştir. Deneylerde çalkalamalı su banyosu kullanılmış ve sıcaklık 30 °C, 40 °C, 50 °C ve 60 °C olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu aşamada, sıcaklığın MNP yüzeyine metal iyonlarının tutunma verimi üzerindeki rolü araştırılmıştır. Belirlenen sıcaklıklarda çalkalama işlemi tamamlandıktan sonra, mikroekstraksiyon prosedürü uygulanarak süzüntüler elde edilmiştir. Bu süzüntüler, MNP'lerden ayrıldıktan sonra analiz için hazırlanmıştır. Son aşamada, çözeltilerdeki metal derişimleri Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi (AAS) aracılığıyla ölçülmüştür. Elde edilen veriler, farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen çalkalama işleminin tellür tutulumu üzerindeki etkisini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu bulgular, sıcaklığın adsorpsiyon süreçlerinde önemli bir parametre olduğunu ve uygun sıcaklık seçiminin yöntemin duyarlılığını artırabileceğini göstermektedir.

3.4.7 Eluent miktarı deneyleri

Tellür tayini için daha önce optimize edilen tüm parametreler sabit tutulmuş ve ekstraksiyon sonrasında kullanılan eluent (HNO_3) miktarının etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, eluent hacmi sırasıyla 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.50 ve 2.00 mL olacak şekilde değiştirilerek mikroekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Her bir deneyde, miknatıs yardımıyla MNP'ler çözelti fazından ayrılmış ve elde edilen üst faz analiz için toplanmıştır. Deneyin temel amacı, farklı miktarlarda eklenen eluentin tellür

iyonlarının desorpsiyon verimi üzerindeki etkisini incelemektir. Eluent hacmi, MNP yüzeyine tutunan metal iyonlarının çözeltide yeniden serbest hale geçmesini sağladığından, optimum miktarın doğru belirlenmesi yöntemin doğruluğu açısından kritik öneme sahiptir. Elde edilen süzüntüler, Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi (AAS) kullanılarak analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda, eluent miktarındaki değişimlerin metal ekstraksiyonu verimine etkisi değerlendirilmiş ve tellür için en uygun HNO_3 hacmi belirlenmiştir. Böylece, yöntemin hem duyarlılığı hem de geri kazanım oranı açısından optimum koşullar tanımlanmıştır.

3.4.8 LOD ve LOQ deneyleri

Bu bölümde, tellür tayininde kullanılan mikroekstraksiyon yöntemine ait limit değerlerin (LOD ve LOQ) belirlenme süreci açıklanmaktadır. Analitik bir yöntemin tespit limiti (LOD), ölçülebilen en düşük analit derişimini temsil eder. Bu çalışmada LOD değerini belirlemek amacıyla yöntem, on adet paralel kör örneğe uygulanmış; her bir kör numunenin sinyal değerleri kullanılarak standart sapma hesaplanmış ve bu değer üç katı kalibrasyon eğrisinin eğimine bölünerek LOD değeri elde edilmiştir. Benzer şekilde LOQ (tayin limiti) değeri, standart sapmanın on katının eğime bölünmesi ile hesaplanmıştır. Bu yaklaşım analitik duyarlılığın sayısal olarak değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Belirlenen LOD ve LOQ değerlerinin doğruluğunu teyit etmek amacıyla aynı hesaplamalar hem oleik asitle modifiye edilmiş manyetik nanoparçacıklar (OAMNP) hem de $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ manyetik nanoparçacıkları için uygulanmıştır. Ayrıca hesaplamalar hem klasik FAAS hem de yarıklı kuvars tüp destekli FAAS (SQT-FAAS) sistemlerinde karşılaştırmalı olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen analitik parametreler (LOD, LOQ, R^2 ve geri kazanım değerleri) Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.4'te sunulmuştur. Bu veriler, OAMNP tabanlı sistemin $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanoparçacıklarına göre daha düşük tespit limitlerine sahip olduğunu ve SQT aparatının FAAS sistemine entegrasyonunun duyarlılığı belirgin şekilde artırdığını doğrulamaktadır.

3.4.9 Gerçek örneklerden analit iyonlarının geri kazanım çalışmaları

Geliştirilen analitik yöntemin doğruluğunu değerlendirmek amacıyla soğuk çay örnekleri üzerinde geri kazanım çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu uygulama, yöntemin gerçek örnek matrislerinde de güvenilir sonuç verip vermediğini test etmek

açısından kritik bir aşamadır. Her bir soğuk çay örneğine belirli miktarda tellür standardı eklenmiş ve numuneler analize uygun hale getirilmiştir. Hazırlanan örnekler üzerinde hem oleik asit kaplı manyetik demir oksit nanoparçacıklar (OAMNP) hem de $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ manyetik nanoparçacıkları kullanılarak SPME işlemi üç paralel deneme ile uygulanmıştır. Tekrarlı uygulamalar yöntemin tekrarlanabilirliğini istatistiksel olarak değerlendirmeyi sağlamıştır. Ekstraksiyon sonrası elde edilen üst faz örnekleri Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi (AAS) ile analiz edilmiştir. Elde edilen geri kazanım değerlerinin %92–108 aralığında olduğu belirlenmiş olup, yöntem matris etkilerinden önemli ölçüde etkilenmemiştir. Bu sonuçlar, her iki nanoparçacık sisteminin de soğuk çay örneklerinde tellür tayini için uygulanabilir olduğunu, ancak analitik performans açısından OAMNP tabanlı sistemin daha yüksek duyarlılık sunduğunu göstermektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

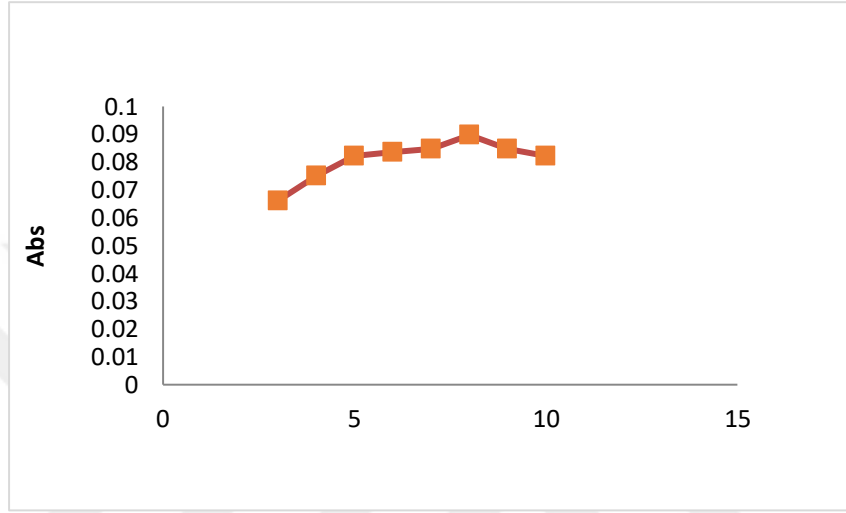
Ağır metal çözeltilerinin mikroekstraksiyonu amacıyla oleik asit ile modifiye edilmiş manyetik nanoparçacıklar kullanılarak tellür standart çözeltisi üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, pH, tampon hacmi, çalkalama türü, temas süresi, sıcaklık, eluent miktarı ve MNP miktarı gibi çeşitli parametrelerin, nanoparçacıkların metal iyonlarını adsorplama kapasitesi üzerindeki etkileri sistematik biçimde incelenmiştir. Analitik ölçümlerde, yarıklı kuvars tüp destekli atomik absorpsiyon spektrofotometresi kullanılarak yöntemin hassasiyeti artırılmıştır. Bu teknik, MNP'lerin tellür iyonlarıyla etkileşimini daha yüksek duyarlılıkla gözlemlemeye ve analitik performansını değerlendirmeye olanak tanımıştır. Buna ek olarak, metal tayininde girişim etkileri de araştırılmış ve geliştirilen yöntemin özgüllüğü test edilmiştir. Metot daha sonra gerçek örneklerle uygulanarak, laboratuvar koşullarında elde edilen optimizasyon sonuçlarının pratikteki geçerliliği değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular grafiksel olarak sunulmuş, böylece deneysel verilerin yorumlanması ve karşılaştırılması kolaylaştırılmıştır. Bu çalışma, çevresel numunelerde ağır metal izlenmesi için hassas, güvenilir ve uygulanabilir bir analitik yöntem geliştirilmesine önemli katkı sağlamaktadır.

4.1 Mikro Ekstraksiyona pH Etkisi

4.1.1 Tellürün yüzey modifikasyonlu demir oksit manyetik nanopartiküller için pH etkisi

Mikroekstraksiyon sürecinde pH değişiminin adsorpsiyon verimi üzerindeki etkisi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Çalışmada, pH değerinin artışıyla birlikte metal iyonlarının nanoparçacık yüzeyine tutunma eğiliminde meydana gelen değişim değerlendirilmiş ve tellür için en uygun pH koşulunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Şekil 4.1'deki sonuçlara göre, pH değerinin artışıyla adsorpsiyon veriminde belirgin bir değişim gözlenmiş, optimum tutunmanın pH 8 civarında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu bulgu, çözeltinin asidik veya bazik olmasının adsorpsiyon mekanizması üzerinde doğrudan etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Düşük pH değerlerinde, çözeltideki yüksek hidrojen iyonu derişimi, metal iyonlarıyla rekabet ederek nanoparçacık yüzeyindeki aktif bölgelerin protonlanmasına yol açar. Bu durum, metal iyonlarının yüzeye bağlanmasını engelleyerek adsorpsiyon veriminin azalmasına neden olur. Buna karşılık, yüksek pH aralıklarında ise çözeltideki hidroksil iyonları

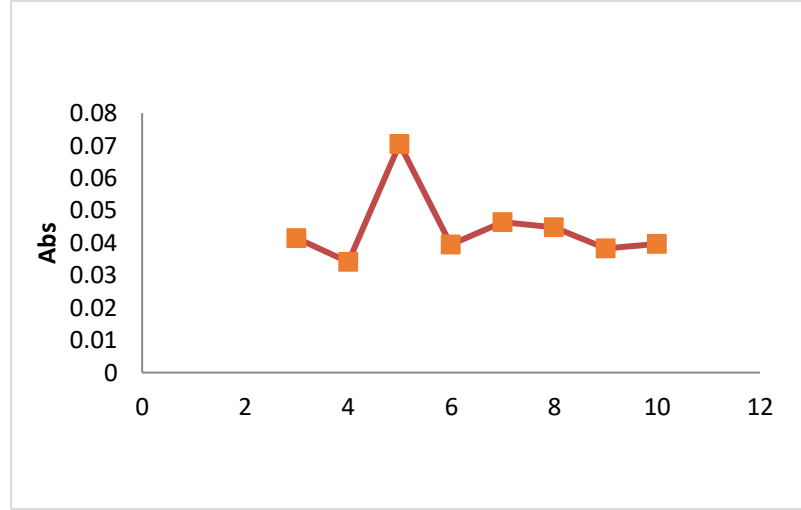
metal iyonlarıyla kompleks oluşturabilir; bu da metalin çözeltide kalmasına ve tutunmanın yine azalmasına yol açar. Dolayısıyla, pH'nın doğru aralıkta tutulması, metal iyonlarının yüzeye elektrostatik olarak etkileşimini optimize eder. Elde edilen bulgular, mikroekstraksiyon sürecinde pH'nın kritik bir parametre olduğunu ve adsorpsiyonun etkinliği üzerinde belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir.



Şekil 4.1 Te elementinin farklı pH' larda MNP yüzeyinde tutulumu.

4.1.2 Tellürün $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanopartikülü için pH etkisi

Hazırlanan tellür çözeltisinin oda sıcaklığında ölçülen pH değeri 6,98 olarak belirlenmiştir. Deneylerde pH değerinin değiştirilmesiyle mikroekstraksiyon verimindeki değişim incelendiğinde, tellürün adsorpsiyon davranışının asidik ortamlara doğru kaydığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.2). Yapılan çalışmalar sonucunda, tellür için en yüksek tutunma veriminin pH 5 civarında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu durum, çözeltinin hafif asidik koşullarda nanoparçacık yüzeyi ile daha güçlü etkileşim oluşturduğunu ve bu pH değerinin tellür adsorpsiyonu açısından optimum koşul olduğunu göstermektedir.

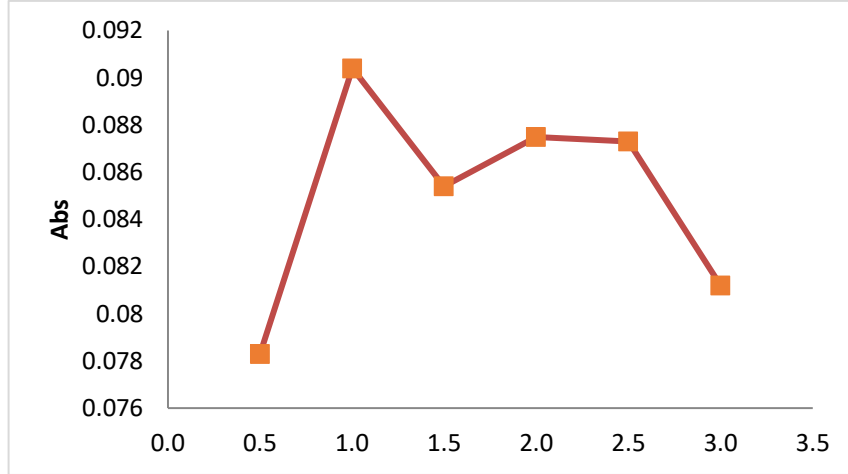


Şekil 4.2 Te metalinin farklı pH' larda yüzey $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ Nanopartikülünde tutulumu.

4.2 Mikro Ekstraksiyona Tampon Miktarının Etkisi

4.2.1 Tellürün yüzey modifikasyonlu demir oksit manyetik nanopartiküller için tampon miktarının etkisi

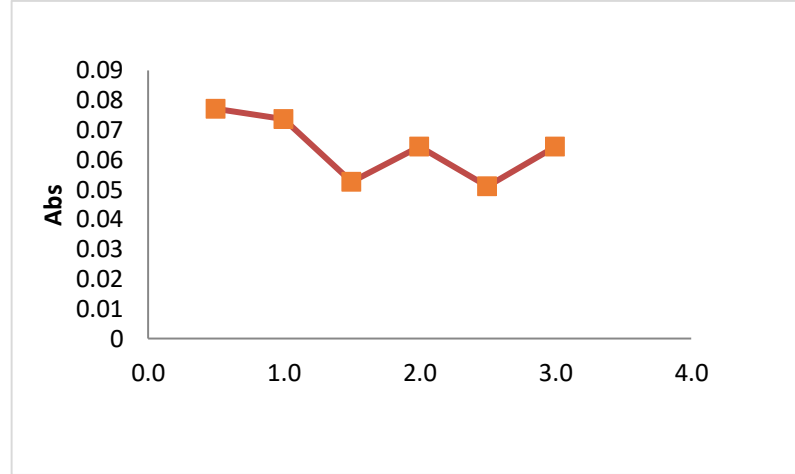
Tampon miktarının adsorpsiyon verimine olan etkisi araştırılmıştır. Şekil 4.3'teki verilere göre, tampon hacminin artırılmasıyla birlikte adsorpsiyon oranının başlangıçta yükseldiği, belirli bir noktadan sonra ise azalmaya başladığı görülmektedir. Bu eğilim, tampon miktarının metal iyonlarının tutulma verimi üzerinde doğrudan etkili bir parametre olduğunu göstermektedir. Tampon miktarındaki artış, çözeltinin iyonik dengesini değiştirerek metal iyonlarının nanoparçacık yüzeyine bağlanma davranışını etkiler. Özellikle optimum pH koşullarında, fazla tampon iyonlarının varlığı hidrojen iyonları ile metal iyonları arasında bir rekabete neden olabilir. Bu durum, aktif yüzey bölgelerinde metal iyonlarının adsorpsiyonunu kısmen engelleyebilir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, tellür için en yüksek adsorpsiyon veriminin 1,0 mL tampon miktarında elde edildiği belirlenmiştir. Bu sonuç, tampon miktarının mikroekstraksiyon verimliliğini optimize etmek açısından kritik bir değişken olduğunu ortaya koymaktadır. Genel olarak, bu bulgular tampon miktarının dikkatli bir şekilde ayarlanmasının, mikroekstraksiyon yöntemlerinde hem adsorpsiyon etkinliğini hem de analitik doğruluğu önemli ölçüde artırabileceğini göstermektedir. Bu tür optimizasyon çalışmaları, geliştirilen analitik yöntemlerin güvenilirliğini ve tekrarlanabilirliğini güçlendiren temel adımlardır.



Şekil 4.3 MNP' nin farklı tampon miktarlardaki Te tutulumu.

4.2.2 Tellürün $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanopartikülü için tampon miktarının etkisi

Tampon miktarının değişiminin mikroekstraksiyon verimi üzerindeki etkisi tellür için ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, tampon miktarı arttıkça adsorpsiyonun azaldığını göstermektedir (Şekil 4.4). Bu eğilim, sistemdeki iyon dengesinin metal iyonlarının nanoparçacık yüzeyine bağlanma davranışını doğrudan etkilediğini ortaya koymaktadır. Tampon miktarının fazla olması, çözeltideki iyon yoğunluğunu artırarak hidrojen iyonlarının metal iyonlarıyla aktif yüzey bölgeleri için rekabet etmesine yol açabilir. Bu rekabet, metal iyonlarının nanoparçacık yüzeyine etkin şekilde bağlanmasını kısıtlayarak adsorpsiyon veriminin düşmesine neden olur. Diğer yandan, çok az tampon eklenmesi de çözeltinin pH dengesini koruyamayıp sistem kararlılığını azaltabilir. Dolayısıyla, tampon miktarının ne fazla ne de yetersiz olmaması gerekir; optimum denge bu iki durum arasında sağlanmalıdır. Yapılan çalışmalar sonucunda, tellür için en yüksek adsorpsiyonun 0,5 mL tampon miktarında gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu bulgu, mikroekstraksiyon sürecinde tampon miktarının dikkatle ayarlanması, hem metal iyonlarının etkin tutulmasını hem de yöntemin genel duyarlılığını artırdığını göstermektedir. Sonuç olarak, uygun tampon miktarının seçimi, sistemin kimyasal dengesini koruyarak tellür adsorpsiyonunun maksimum düzeyde gerçekleşmesini sağlayan önemli bir parametre olarak değerlendirilmektedir. Bu tür optimizasyonlar, analitik yöntemlerin hem doğruluğunu hem de uygulama güvenilirliğini güçlendiren temel adımlardır.



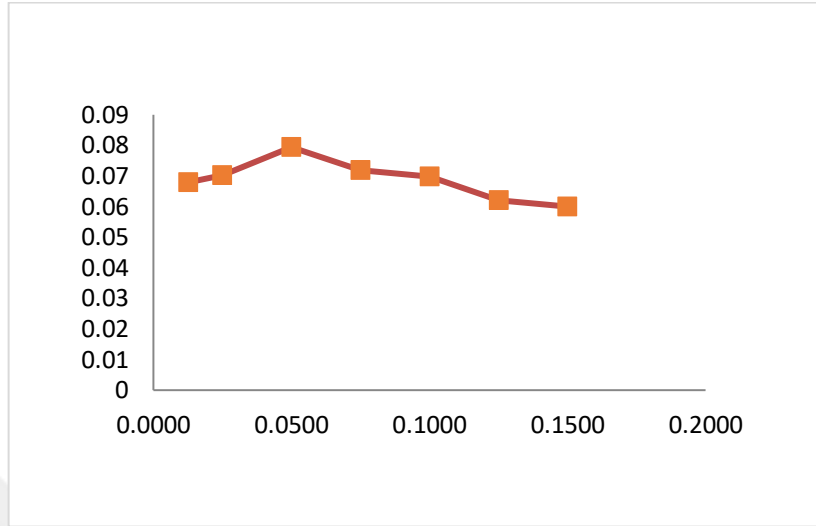
Şekil 4.4 $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanopartikülünün farklı tampon miktarlardaki Te tutulumu

4.3 Manyetik Nano Partikül Miktarının Mikro Ekstraksiyona Etkisi

4.3.1 Tellürün yüzey modifikasyonlu demir oksit manyetik nanopartiküller için manyetik nano partikül miktarının etkisi

Manyetik nanoparçacık miktarının tellür iyonlarının adsorpsiyon verimi üzerindeki etkisi ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Şekil 4.5'te sunulan sonuçlara göre, kullanılan MNP miktarının artmasıyla birlikte adsorpsiyon veriminin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu bulgu, sistemdeki adsorban miktarının metal iyonlarının tutulma davranışını doğrudan etkileyen temel bir parametre olduğunu göstermektedir. MNP miktarındaki artış, çözeltide mevcut toplam yüzey alanını artırsa da, aynı zamanda partiküller arasındaki etkileşimleri güçlendirerek yüzeylerin birbirine yapışmasına (aglomerasyon) neden olabilir. Bu durum, etkin yüzey alanının azalmasına ve metal iyonlarının yüzeyde bağlanabileceği aktif bölgelerin sınırlanmasına yol açmaktadır. Ayrıca, adsorban miktarının fazla olması, sistemdeki iyonik dengeyi değiştirerek çözeltideki metal iyonlarının yüzeye geçişini zorlaştırabilir. Deneysel veriler, tellür için optimum MNP miktarının 0,05 g olduğunu ortaya koymuştur. Bu miktar, nanoparçacıkların yüzey özellikleri ile çözeltideki tellür iyonlarının etkileşimi açısından en uygun koşulları sağlamaktadır. Daha yüksek miktarlarda nanoparçacık kullanımı ise adsorpsiyon kapasitesinde düşüşe yol açmaktadır. MNP miktarının doğru şekilde optimize edilmesi, mikroekstraksiyon sürecinin verimliliğini doğrudan etkileyen önemli bir değişkendir. Bu optimizasyon, hem laboratuvar ölçekli çalışmalar hem de çevresel numunelerde ağır metal giderimi gibi uygulamalarda yüksek seçicilik

ve etkinlik sağlayan adsorpsiyon sistemlerinin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

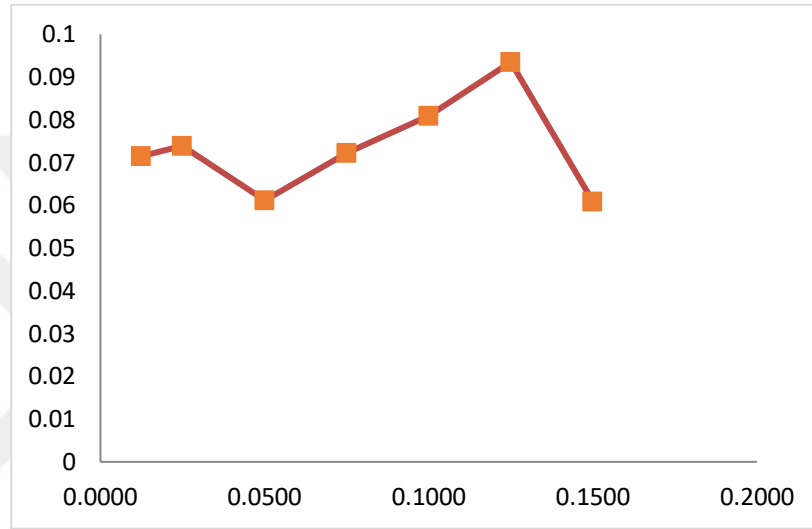


şekil 4.5 Farklı MNP miktarlarına karşı Te metalinin tutulumu

4.3.2 Tellürün $MnFe_2(SiO_4)_2$ nanopartikülü için manyetik nano partikül miktarının etkisi

şekil 4.6’da, oda sıcaklığında ve optimum pH koşullarında tellür iyonlarının farklı manyetik nanoparçacık miktarlarıyla adsorpsiyon verimleri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Elde edilen veriler, adsorban miktarının artışıyla birlikte adsorpsiyonun belirli bir noktaya kadar yükseldiğini, ardından ise düşüş eğilimine girdiğini açıkça ortaya koymaktadır. Bu durum, sistemde kullanılan MNP miktarının, zltideki metal iyonlarının yüzeye bağlanma verimini doğrudan etkileyen kritik bir parametre olduğunu göstermektedir. Başlangıçta, MNP miktarının artmasıyla birlikte toplam yüzey alanı genişlediğinden, adsorpsiyon için daha fazla aktif bölge oluşmakta ve bu da tellür iyonlarının nanoparçacık yüzeylerine daha etkin biçimde tutunmasını sağlamaktadır. Ancak belirli bir eşik değerinden sonra, fazla miktarda nanoparçacığın sistemde bulunması partiküller arası çarpışmaları artırmakta ve aglomerasyon (yığınlaşma) eğilimine yol açmaktadır. Bu durum, etkin yüzey alanının azalmasına ve dolayısıyla metal iyonlarının adsorpsiyon kapasitesinde düşüşe neden olmaktadır. Ayrıca, aşırı miktarda MNP varlığı, zlti içindeki dengeyi bozarak metal iyonlarının aktif yüzeylere ulaşımını da sınırlayabilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, tellür için optimum MNP miktarının 0,125 g olduğu belirlenmiştir. Bu

miktarda, adsorpsiyon verimi maksimum düzeye ulaşmış ve sistem dengesi en uygun şekilde sağlanmıştır. Daha yüksek MNP miktarlarında ise adsorpsiyon oranında belirgin bir azalma gözlenmiştir. MNP miktarının dikkatli biçimde optimize edilmesi, mikroekstraksiyon sürecinde yüksek adsorpsiyon kapasitesi, duyarlılık ve tekrarlanabilirlik elde etmek açısından büyük önem taşımaktadır. Bu tür optimizasyon çalışmaları, hem laboratuvar hem de çevresel analizlerde kullanılan adsorpsiyon temelli yöntemlerin performansını artırmaya yönelik temel bir aşama niteliğindedir.



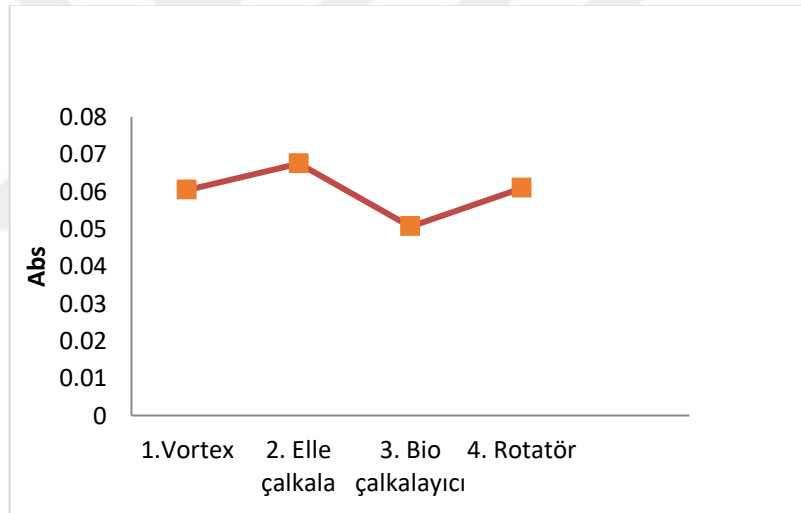
Şekil 4.6 Farklı $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanopartikül miktarlarına karşı Tellür tutulumu

4.4 Çalkalama Şekli ve Çalkalama Süresinin Mikro Ekstraksiyona Etkisi

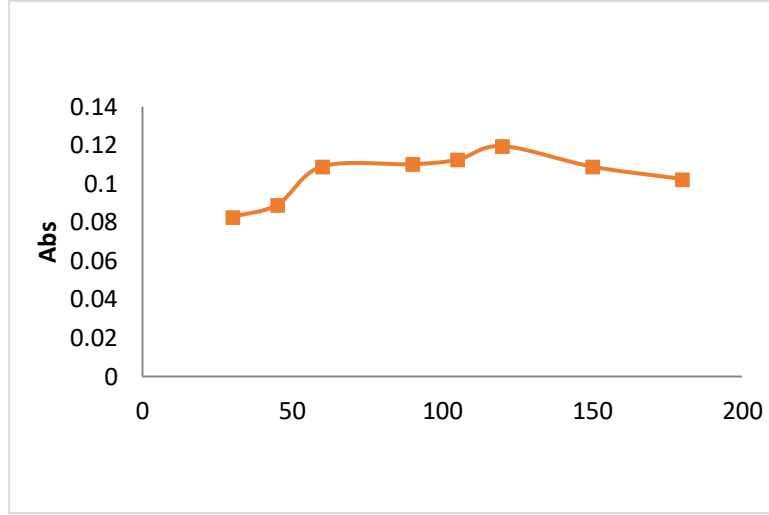
4.4.1 Tellürün yüzey modifikasyonlu demir oksit manyetik nanopartiküller için çalkalama şekli ve çalkalama süresi

Bu çalışmada, dört farklı çalkalama tekniğinin ve bu tekniklerde uygulanan farklı temas sürelerinin tellür iyonlarının manyetik nanoparçacıklar üzerindeki adsorpsiyon verimine etkisi araştırılmıştır. Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de, kullanılan çalkalayıcı türleri ve sürelerinin adsorpsiyon süreci üzerindeki etkilerini gösteren grafikler yer almaktadır. Elde edilen deneysel sonuçlar, adsorpsiyon veriminin çalkalama süresiyle birlikte başlangıçta arttığını, belirli bir noktada maksimum seviyeye ulaştıktan sonra ise azalma eğilimi gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu durum, sistemde adsorpsiyonun zamana bağlı olarak dengeye ulaşma süreci ile yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Başlangıçta artan temas süresi, metal iyonlarının nanoparçacık yüzeyine difüzyonunu kolaylaştırarak daha yüksek adsorpsiyon oranı sağlamaktadır.

Ancak, belirli bir süreyi aşan karışırtırmalarda yüzeydeki aktif bölgelerin doygunluğa ulaşması ve yeniden denge oluşumu nedeniyle adsorpsiyon kapasitesinde azalma meydana gelmektedir. Farklı çalkalama sistemlerinin yarattığı mekanik etki de adsorpsiyon kinetiğini önemli ölçüde etkilemektedir. Çalışmada değerlendirilen yöntemler arasında, “hand shake” (elle çalkalama) yönteminin 120 saniyelik sürede en yüksek adsorpsiyon verimini sağladığı belirlenmiştir. Bu sonuç, elle çalkalamanın MNP’lerin çözeltide homojen dağılmasını ve metal iyonlarıyla daha etkin temas kurmasını kolaylaştırdığını göstermektedir. Çalkalama yöntemi ve süresinin optimize edilmesi, mikroekstraksiyon tabanlı adsorpsiyon çalışmalarında reaksiyon kinetiği, denge zamanı ve adsorpsiyon kapasitesi üzerinde doğrudan etkili parametrelerdir. Bu tür optimizasyonlar, yöntemin hem laboratuvar koşullarında hem de çevresel numune analizlerinde daha kontrollü, tekrarlanabilir ve yüksek verimli sonuçlar elde etmesini sağlamaktadır.



Şekil 4.7 MNP’ nin farklı çalkalayıcılardaki Te tutulumu



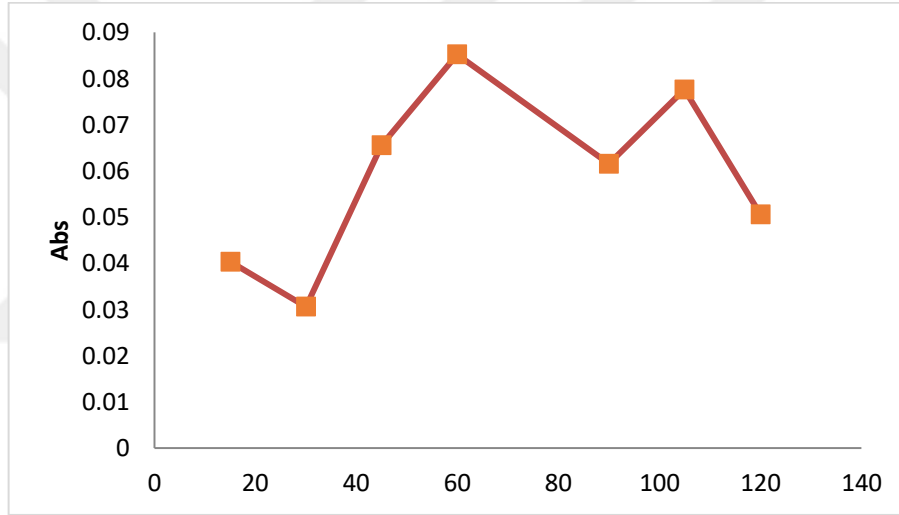
Şekil 4.8 Te tutulumuna çalkalama süresinin etkisi

4.4.2 Tellürün $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanopartikülü için çalkalama şekli ve çalkalama süresi

Dört farklı çalkalayıcı türünün ve her birinde uygulanan farklı temas sürelerinin tellür iyonlarının manyetik nanoparçacıklara adsorpsiyonu üzerindeki etkileri ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da, farklı çalkalayıcı sistemleri ve sürelerde Te iyonlarının MNP yüzeyine tutunma davranışını gösteren grafikler sunulmaktadır. Deneysel veriler, çalkalama süresi uzadıkça adsorpsiyon oranının başlangıçta arttığını, ardından belirli bir noktada dengeye ulaştığını ve bu noktadan sonra kademeli bir azalma gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu eğilim, metal iyonlarının nanoparçacık yüzeyiyle etkileşiminin kinetik sınırlara bağlı olduğunu ve aşırı karıştırmanın sistemdeki adsorpsiyon dengesini olumsuz yönde etkileyebileceğini göstermektedir. Çalkalayıcı türünün, çözeltideki akış dinamiğini ve nanoparçacıkların dağılma etkinliğini belirlemesi nedeniyle adsorpsiyon sürecinde önemli bir rol oynadığı görülmüştür. Uygulanan yöntemler arasında, rotatör tipi çalkalayıcının 105 saniyelik süre sonunda en yüksek Te tutulumu sağladığı belirlenmiştir. Bu durum, rotatörün karıştırma sırasında çözeltide daha homojen bir akış ve kontrollü bir türbülans oluşturarak MNP yüzeyine iyon taşınımını kolaylaştırdığını göstermektedir.



Şekil 4.9 $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanopartikülü için farklı çalkalayıcılardaki Te tutulumu.



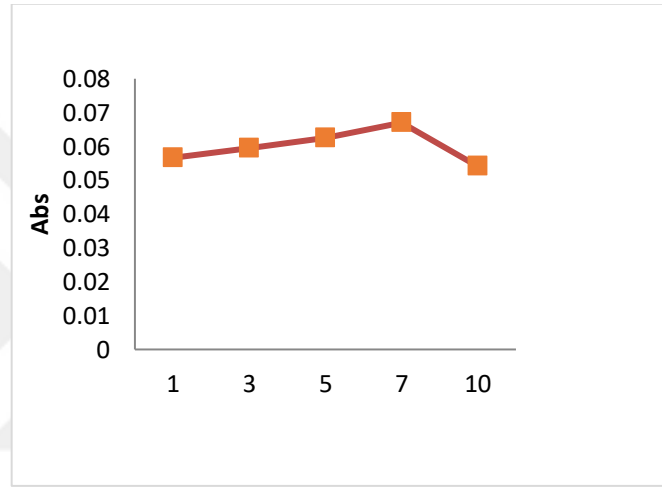
Şekil 4.10 $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanopartikülü Te tutulumuna çalkalama süresinin etkisi.

4.5 Mikro Ekstraksiyona Eluent Miktarının Etkisi

4.5.1 Tellürün yüzey modifikasyonlu demir oksit manyetik nanopartiküller için eluent miktarı

Şekil 4.11’de verilen grafikte, asit derişiminin tellür iyonlarının adsorpsiyonuna etkisi gösterilmektedir. Görüldüğü üzere, asit derişimi 1 M’den 7 M’ye kadar arttıkça absorbans değerlerinde düzenli bir artış meydana gelmiş, 7 M derişiminde maksimum adsorpsiyon ($\text{Abs} \approx 0,0670$) gözlenmiştir. Ancak bu noktadan sonra, özellikle 10 M derişiminde absorbans değerinin 0,0541’e düşmesi, yüksek asit konsantrasyonlarının adsorpsiyon sürecini olumsuz etkilediğini ortaya koymaktadır. Bu eğilim, yüksek asit derişimlerinde ortamda bulunan aşırı H^+ iyonlarının nanoparçacık yüzeyindeki aktif bölgelere bağlanarak metal iyonlarıyla rekabet etmesinden kaynaklanmaktadır.

Böylece, tellür iyonlarının yüzeye tutunma olasılığı azalmakta ve adsorpsiyon kapasitesi düşmektedir. Buna karşın, düşük ve orta düzey asit derişimlerinde, çözeltideki iyon dengesi daha kararlı olduğundan adsorpsiyon verimi artış göstermektedir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, tellür için optimum asit derişimi 7 M olarak belirlenmiştir. Bu derişimde, analitin manyetik nanoparçacık yüzeyine maksimum düzeyde tutunduğu ve eluent etkinliğinin en yüksek olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, uygun asit derişiminin seçimi, hem geri kazanım oranını artırmakta hem de mikroekstraksiyon sürecinin genel verimliliğini önemli ölçüde etkilemektedir.



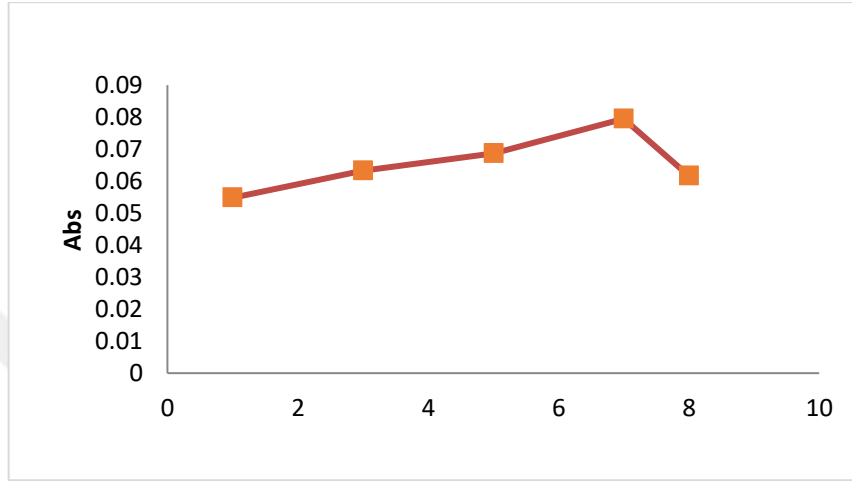
Şekil 4.11 Te tutulumuna eluent derişiminin etkisi.

4.5.2 Tellürün $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanopartikülü için eluent miktarı

Şekil 4.12’de verilen grafikte, asit (eluent) derişiminin tellür iyonlarının geri kazanım verimine etkisi gösterilmektedir. Grafikten de görüldüğü üzere, asit derişimi başlangıçta arttıkça adsorpsiyon verimi yükselmiş, belirli bir noktada maksimum düzeye ulaştıktan sonra ise düşüş eğilimi göstermiştir. Bu durum, eluent derişiminin mikroekstraksiyon sürecindeki etkinliği açısından kritik bir parametre olduğunu ortaya koymaktadır.

Düşük asit derişimlerinde, ortamda yeterli proton bulunmadığından analitin manyetik nanoparçacık yüzeyinden tamamen desorbe olması sınırlı kalır. Derişim arttıkça, çözeltideki proton yoğunluğu artar ve metal iyonlarının yüzeyden ayrılması kolaylaşır; bu da absorbans değerlerinde yükselişe yol açar. Ancak asit derişimi çok yüksek seviyelere ulaştığında, ortamın aşırı seyreltik hale gelmesi nedeniyle adsorpsiyon dengesinde bozulma meydana gelir. Bu durumda, analit iyonlarının MNP yüzeyine

yeniden bağlanma olasılığı azalır ve gözlenen adsorpsiyon verimi düşer. Deneysel bulgulara göre, Te iyonlarının zenginleştirilmesi için optimum eluent derişimi 7 M civarında elde edilmiştir. Bu derişimde, MNP yüzeyinde tutulan analitlerin en etkin şekilde çözülerek geri kazanıldığı ve sistemin denge koşullarına en uygun şekilde ulaştığı belirlenmiştir.



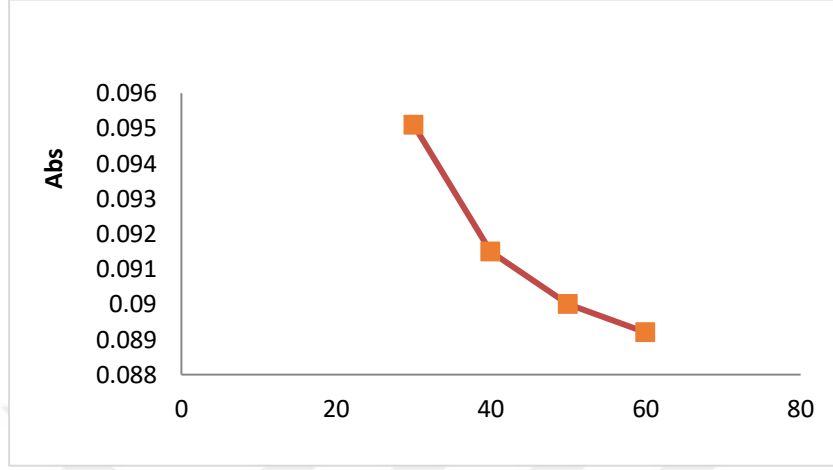
Şekil 4.12 MnFe₂(SiO₄)₂ nanopartikülü ile Te tutulumuna eluent miktarının etkisi.

4.6 Mikro Ekstraksiyona Sıcaklık ve Temas Süresinin Etkisi

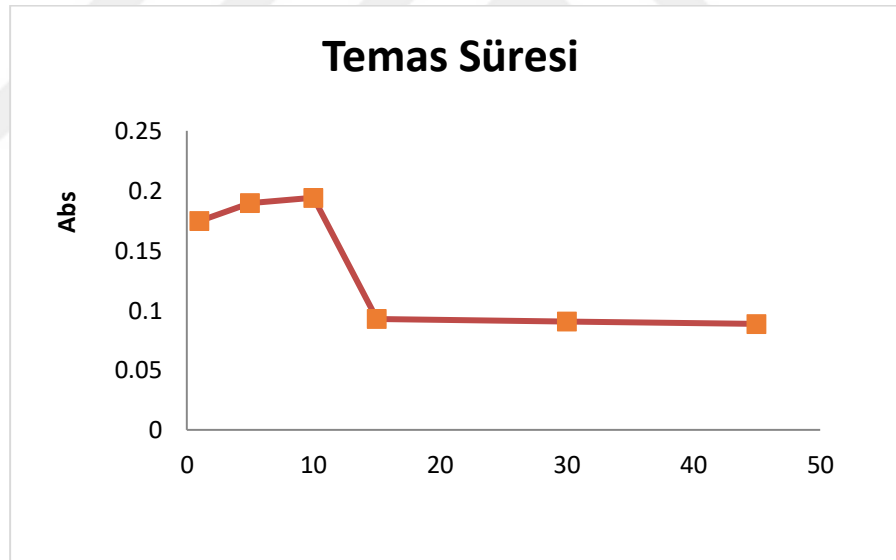
Farklı sıcaklık koşullarında ve temas sürelerinde tellür iyonlarının manyetik nanoparçacıklar ile adsorpsiyon davranışı ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te, sıcaklık değişiminin ve temas süresinin Te iyonlarının MNP yüzeyine tutunma verimi üzerindeki etkilerini gösteren grafikler sunulmaktadır.

Elde edilen deneysel bulgular, sıcaklık arttıkça adsorpsiyon veriminin de yükseldiğini göstermektedir. Bu artış, sistemin kinetik enerjisinin artmasıyla metal iyonlarının nanoparçacık yüzeyine difüzyonunun kolaylaşmasından kaynaklanmaktadır. Ancak, belirli bir sıcaklık değerinden sonra, sistemdeki fazla termal enerji adsorpsiyon dengesini bozarak tutulum veriminin azalmasına neden olabilmektedir. Ayrıca, adsorpsiyon süresinin de sıcaklığa bağlı olarak önemli bir rol oynadığı görülmüştür. Başlangıçta temas süresinin artışıyla adsorpsiyon verimi yükselmekte, daha sonra sistem dengeye ulaştığında bu artış yavaşlamaktadır. Denge süresinin aşılması durumunda ise, yüzeydeki aktif bölgelerin doygunluğa ulaşması ve iyonların çözeltide yeniden dağılması nedeniyle adsorpsiyon miktarında azalma gözlenmektedir. Deneysel sonuçlar, tellür için optimum adsorpsiyon sıcaklığının 60 °C olduğunu

ortaya koymuştur. Bu sıcaklıkta, dengeye ulaşma süresi yaklaşık 5 dakika olarak belirlenmiştir. Bu bulgu, ısı etkisinin adsorpsiyon kinetiği ve yüzey etkileşimleri üzerinde belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir.



Şekil 4.13 Te tutulmasına sıcaklığın etkisi



Şekil 4.14 Te tutulumuna sıcaklık temas süresi etkisi

4.7 Limit of Detection (LOD) ve Limit of Quantitation (LOQ)

Manyetik nanoparçacıklar kullanılarak gerçekleştirilen katı faz mikroekstraksiyon yöntemi ile tellür tayini optimize edilmiştir. Deneylerde, 0,5 g MNP tartılarak ayrı ayrı 50 mL’lik falkon tüplerine yerleştirilmiş ve her tüpe farklı konsantrasyonlarda stok tellür çözeltisi ilave edilmiştir. Ekstraksiyon işlemlerinin tamamlanmasının ardından,

çözeltilerdeki tellür miktarları Atomik Absorpsiyon Spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir.

Bu deneylerin devamında, geliştirilen yöntemin analitik duyarlılığını değerlendirmek amacıyla tespit limiti ve tayin limiti çalışmaları yapılmıştır. LOD, dedektörün güvenilir biçimde algılayabildiği en düşük analit derişimini; LOQ ise analitin nicel olarak belirlenebildiği en düşük derişimi ifade eder. Bu parametrelerin belirlenmesi, yöntemin duyarlılık, kararlılık ve tekrarlanabilirlik düzeyinin değerlendirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Farklı konsantrasyonlarda yapılan deneylerden elde edilen absorbans değerleri kullanılarak kalibrasyon eğrileri oluşturulmuş, bu eğrilerin eğimleri yardımıyla LOD ve LOQ değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.2 ve 4.4). Elde edilen sonuçlar, geliştirilen yöntemin klasik yöntemlerle karşılaştırıldığında önemli ölçüde daha yüksek hassasiyet sağladığını göstermektedir.

$$\text{LOD} = \frac{3 \times \text{SD (standart sapma)}}{m \text{ (eğim)}} \quad (4.7)$$

$$\text{LOQ} = \frac{10 \times \text{SD (standart sapma)}}{m \text{ (eğim)}} \quad (4.7)$$

Aynı yöntem bu kez atomik absorpsiyon cihazına yarıklı quars tüp takılarak uygulandı. Bu kez elde edilen sonuçların daha hassas olduğu gözlemlendi.

Çizelge 4.1 Tellürün Yüzey Modifikasyonlu Demir Oksit Manyetik Nanopartiküller ile sıvı faz mikro ekstraksiyonuna ilişkin parametreler.

Parameter	Value
pH ve tampon miktarı	pH 8.0 (1.0 mL)
MNP miktarı	50.0 mg
Çalkalama şekli ve süresi	Hand shake – 120 saniye
Eluent türü ve miktarı	HNO ₃ – 2.0 mL
Sıcaklık ve temas süresi	30 °C (10 dk)
FAAS numune akış hızı	7.6 mL/dk
FAAS asetilen akış hızı	45.0 L/h
SQT yükseklik	1.0 mm

Çizelge 4.2 Tellürün Yüzey Modifikasyonlu Demir Oksit Manyetik Nanopartiküller ile sıvı faz mikro ekstraksiyonuna ilişkin değerleri.

Metod	LOD µg L ⁻¹	LOQ µg L ⁻¹	%RSD µg L ⁻¹	Menzil µg L ⁻¹	Algılama gücünde artış
FAAS	1,6	5,28	3,5	1-10	----
SQT-FAAS	0,9	3,00	2,8	1-10	1,78
MNP-FAAS	0,04	0,13	2,1	0,2-5	40
MNP-SQT-FAAS	0,021	0,07	4,3	0,05-1	76,20

Çizelge 4.3 Tellürün $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ Nanopartikülü ile sıvı faz mikro ekstraksiyonuna ilişkin parametreler

Parameter	Value
pH ve tampon miktarı	pH 5.0 (0.5 mL)
MNP miktarı	125.0 mg
Çalkalama şekli ve süresi	Vortex (105 saniye)
Eluent miktarı	HNO_3 – 0,75 mL
FAAS numune akış hızı	7.6 mL/dk
FAAS asetilen akış hızı	45.0 L/h
SQT yükseklik	1.0 mm

Çizelge 4.4 Tellürün $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ Nanopartikülü ile sıvı faz mikro ekstraksiyonuna ilişkin değerleri.

	LOD, $\mu\text{g L}^{-1}$	LOQ, $\mu\text{g L}^{-1}$	R^2
FAAS	0,29707	0,99025	0,9969
SQT-FAAS	0,03264	0,10899	0,9972
$\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ -SPME-FAAS	14,99667	49,98887	0,9930
$\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ -SPME-SQT-FAAS	7,73305	24,77683	0,9985

4.8 İnterfer Etkiler

Sıvı faz mikroekstraksiyon yöntemi kullanılarak tellür iyonlarının manyetik nanoparçacıklar aracılığıyla uzaklaştırılmasında diğer elementlerin olası girişim etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, önceki aşamalarda belirlenen optimum deney koşulları temel alınarak çeşitli metal iyonlarıyla karşılaştırmalı deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, Ag (gümüş), Fe (demir), Ni (nikel), Zn (çinko) gibi

ağır metallerin yanı sıra, Na (sodyum), K (potasyum), Ca (kalsiyum) ve Mg (magnezyum) gibi alkali ve toprak alkali metallerin tellür adsorpsiyonu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Her bir metal iyonu, farklı derişimlerde ve sabit hacimde hazırlanmış tellür çözeltileriyle birlikte mikroekstraksiyon işlemine tabi tutulmuştur. Tüm deneylerde, daha önce optimize edilmiş pH, tampon miktarı, MNP miktarı, sıcaklık ve eluent derişimi sabit tutulmuştur. Ekstraksiyon işlemlerinin ardından çözeltiler manyetik ayırma yoluyla MNP'lerden ayrılmış ve ortamda adsorplanmadan kalan metal iyonlarının denge derişimleri (C_e) belirlenmiştir. Elde edilen bu değerler kullanılarak, adsorplanan metal miktarları (q_e) hesaplanmış ve her bir metal için interferans eğrileri oluşturulmuştur (Çizelge 4.5). Sonuçlar, bazı metallerin çözeltide tellür iyonlarıyla rekabet ederek adsorpsiyon verimini etkileyebildiğini göstermiştir. Özellikle yüksek derişimlerde bulunan ağır metallerin, MNP yüzeyindeki aktif bölgeler için tellür iyonlarıyla yarışarak tutunma kapasitesini azalttığı belirlenmiştir. Buna karşın, alkali ve toprak alkali metallere ait iyonların etkisinin sınırlı olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.5 Geri kazanıma matriks iyonlarının etkisi

Karışan iyon	Eklendi	Konsantrasyon (mg/L)	Recovery,(%)
K^+	KNO_3	3000	94 ± 2
Na^+	$NaNO_3$	3000	105 ± 1
Ca^{2+}	$Ca(NO_3)_2$	500	96 ± 3
Mg^{2+}	$Mg(NO_3)_2$	50	98 ± 1
Cu^{2+}	Copper standard for AAS	10	98 ± 2
Zn^{2+}	Zinc standard for AAS	10	92 ± 1
Ni^{2+}	Nickel standard for AAS	50	96 ± 2
Fe^{3+}	Iron standard for AAS	100	102 ± 4
NH_4^+	NH_4NO_3	1000	99 ± 1
CO_3^{2-}	Na_2CO_3	1000	97 ± 3
F^-	NaF	1000	99 ± 2
Cl^-	$NaCl$	3000	101 ± 1

4.9 Gerçek Numunelere Uygulama

4.9.1 Yüzey modifikasyonlu demir oksit manyetik nanopartiküller için gerçek numunelere uygulamaları

Üç farklı markaya ait soğuk çay örneklerinde tellür (Te) tayini yapılmış ve sonuçlar Çizelge 4.6’da sunulmuştur. A, B ve C olarak adlandırılan markalara ait numuneler, daha önce optimize edilmiş OAMNP–SPME–SQT–FAAS yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçları, her üç çay markasında da doğal halde tellürün tespit sınırının (LOD) altında kaldığını göstermektedir. Bu bulgu, içeceklerde tellürün doğal olarak bulunmadığını veya mevcut miktarın cihazın algılama kapasitesinin çok altında olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle numunelerde tellürün doğrudan tespiti mümkün olmamıştır. Yöntemin doğruluk ve geri kazanım performansının değerlendirilmesi amacıyla numunelere sırasıyla 250, 500 ve 1000 µg/L seviyelerinde standart tellür çözeltisi ilave edilmiş ve analizler üç paralel ölçümle gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler Çizelge 4.6’da özetlenmiştir

Çizelge 4.6 Tellürün Yüzey Modifikasyonlu Demir Oksit Manyetik Nanopartiküllerin gerçek numunelere uygulanması

Numune Adı	Added (mg/L)	Ölçülen (mg/kg)	Recovery (%)
Soğuk Çay 1	--	T.E	
	0.25	0.27±0.09	108
	0.5	0.49±0.14	98
	1	1.05±0.21	105
Soğuk Çay 2	--	T.E	
	0.25	0.23±0.04	92
	0.5	0.51±0.09	102
	1	1.07±0.21	107
Soğuk Çay 3	--	T.E	
	0.25	0.26±0.02	104
	0.5	0.47±0.14	94
	1	0.98±0.21	98

4.9.2 MnFe₂(SiO₄)₂ nanopartikülü için gerçek numunelere uygulamaları

MnFe₂(SiO₄)₂ manyetik nanoparçacıklarının kullanıldığı mikroekstraksiyon yönteminin, farklı markalardaki soğuk çay örneklerine uygulanabilirliği incelenmiştir. Çalışmada A, B ve C markalı üç farklı ticari soğuk çay örneği analiz edilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.6’da sunulmuştur. Analiz sonuçları, üç çay markasında da tellür elementinin tespit sınırının altında kaldığını göstermektedir. Bu durum, incelenen içeceklerde tellürün doğal konsantrasyonunun cihaz algılama limitinin oldukça altında olduğunu veya matriks etkileri nedeniyle sinyalin bastırıldığını düşündürmektedir. Dolayısıyla, hiçbir örnekte tellürün doğrudan tespiti mümkün olmamıştır.

Numunelere belirli miktarlarda (250, 500 ve 1000 µg/L) standart tellür çözeltisi ilave edilerek yapılan geri kazanım çalışmaları sonucunda, geri kazanım oranlarının %92–108 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu oranlar, yöntemin doğruluk ve tekrarlanabilirlik açısından güvenilir olduğunu göstermektedir.

Gerçek numuneler üzerinde gerçekleştirilen analizlerde, MnFe₂(SiO₄)₂ nanoparçacıkları ile elde edilen sonuçlar, OAMNP (oleik asit ile modifiye edilmiş manyetik nanoparçacıklar) kullanılarak yapılan çalışmalara göre nispeten daha düşük adsorpsiyon verimi göstermiştir. Bu farkın temel nedeni, iki nanoparçacığın yüzey kimyası, fonksiyonel grupları ve yüzey aktif alanları arasındaki farklılıktan kaynaklanmaktadır. OAMNP’ler yüzeylerinde yer alan hidrofobik oleik asit zincirleri sayesinde daha kararlı bir dispersiyon oluşturur ve çözelti ortamında metal iyonlarıyla daha güçlü elektrostatik etkileşimler kurabilir.

Buna karşın, MnFe₂(SiO₄)₂ nanoparçacıkları oksit esaslı yapıları nedeniyle daha sınırlı yüzey yük dağılımına sahiptir ve çözeltideki iyonik rekabetten daha fazla etkilenmektedir. Bu durum özellikle düşük konsantrasyonlarda adsorpsiyon kapasitesinin azalmasına yol açmaktadır. Ayrıca OAMNP’lerin yüzeyinde bulunan karboksil grupları metal iyonlarının kompleksleşmesini kolaylaştırarak seçiciliği artırmaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sanayi ve endüstriyel üretim süreçlerinin hızla gelişmesi, nanoteknolojiyi modern bilimin en dinamik araştırma alanlarından biri haline getirmiştir. Nanopartiküllerin çeşitli teknolojik ve çevresel uygulamalarda kullanımı giderek artarken, özellikle enerji üretiminde yaygın olarak kullanılan kömür ve linyit kaynaklı atıklar, çevre kirliliği açısından önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Bu bağlamda yapılan bu çalışma, hem bu tür atıkların yeniden değerlendirilmesine katkı sağlamakta hem de çevresel örneklerde eser miktarda bulunan tellür (Te) elementinin analizi için yüksek duyarlılıklı yöntemlerin geliştirilmesini amaçlamaktadır.

Manyetik nanoparçacık sentezi: Demir(III) klorür heksahidrat ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ve amonyum demir(II) sülfat heksahidrat ($(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) karışımından sentezlenen manyetik nanoparçacıklar oleik asit ile yüzey modifikasyonuna tabi tutulmuştur. Elde edilen nanoparçacıkların çözünürlüğünün oldukça düşük olduğu belirlenmiş ve bu özellik, katı faz mikroekstraksiyon (SPME) sürecinde yüksek kararlılık sağlamıştır.

pH etkisi: pH optimizasyonu sonucunda, OAMNP (oleik asit modifiyeli manyetik nanoparçacık) kullanılarak yapılan analizlerde optimum pH değeri 8, $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanoparçacıkları için ise pH 5 olarak belirlenmiştir. Her iki adsorban da bu pH değerlerinde maksimum adsorpsiyon kapasitesi göstermiştir.

Tampon hacmi: OAMNP'ler için optimum tampon miktarı 1.0 mL, $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanoparçacıkları için ise 0.5 mL olarak saptanmıştır.

Adsorban miktarı: OAMNP'lerde 0.05 g, $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanoparçacıklarında ise 0.125 g adsorbanın yeterli olduğu belirlenmiştir. Bu fark, $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ 'nin yüzey alanının nispeten daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

Çalkalama şekli ve süresi: OAMNP'ler için optimum çalkalama yöntemi elle karıştırma (hand shake) olup, denge süresi 120 saniye olarak belirlenmiştir. $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ için en iyi sonuçlar rotatör ile 105 saniyede elde edilmiştir.

Sıcaklık etkisi: OAMNP sisteminde optimum sıcaklık 30 °C ve denge süresi 1 dakika, $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ sisteminde ise optimum sıcaklık 60 °C ve denge süresi 5 dakika olarak tespit edilmiştir.

Eluent miktarı: OAMNP'ler için optimum eluent hacmi 2.0 mL, $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanoparçacıkları için ise 0.75 mL olarak belirlenmiştir.

LOD ve LOQ değerleri: Her iki sistem için yapılan duyarlılık testleri sonucunda, OAMNP–SQT–FAAS yöntemi ile LOD = 0.02 µg/L ve LOQ = 0.07 µg/L elde edilmiştir. $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanoparçacıklarıyla yapılan çalışmalarda ise bu değerler sırasıyla LOD = 7.733 µg/L ve LOQ = 24.777 µg/L olarak belirlenmiştir. Buna göre OAMNP sistemi, $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ sistemine kıyasla yaklaşık 387 kat daha düşük LOD sağlamıştır ($7.733 / 0.02 \approx 387$). Ayrıca SQT aparatının FAAS sistemine eklenmesi, klasik FAAS'a göre ölçüm duyarlılığını yaklaşık 9.1 kat artırmıştır.

Gerçek numune uygulamaları: Üç farklı markaya ait soğuk çay örneklerinde yapılan analizlerde tellür doğal olarak tespit edilememiştir. Ancak standart ekleme yöntemiyle yapılan geri kazanım çalışmaları sonucunda, tüm örneklerde %92–108 aralığında geri kazanım elde edilmiştir. Bu bulgu, yöntemin hem doğruluk hem de tekrarlanabilirlik açısından güvenilir olduğunu göstermektedir.

Yapılan çalışmalar, OAMNP tabanlı sistemin $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanoparçacıklarına göre belirgin biçimde üstün performans sergilediğini ortaya koymuştur. OAMNP'lerin yüzeyinde bulunan karboksil ve hidroksil grupları, metal iyonlarının yüzeyle elektrostatik etkileşimini güçlendirerek daha yüksek adsorpsiyon kapasitesi sağlamaktadır. Buna karşın, $\text{MnFe}_2(\text{SiO}_4)_2$ nanoparçacıkları daha inert bir yüzey yapısına sahip olduğundan, iyon değişim ve kompleksleşme süreçleri sınırlı kalmaktadır.

Ayrıca OAMNP'lerin dispersiyon kararlılığı ve manyetik geri kazanım hızı daha yüksek olup, bu özellikler adsorpsiyon ve desorpsiyon süreçlerinin daha verimli gerçekleşmesini sağlamaktadır. Bu nedenlerle, OAMNP tabanlı sistemin hem LOD/LOQ değerleri hem de geri kazanım oranları bakımından daha avantajlı olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma, çevresel ve gıda kaynaklı numunelerde eser miktardaki tellürün belirlenmesine yönelik yüksek duyarlılıklı, güvenilir ve ekonomik bir analiz yöntemi

geliştirmiştir. Oleik asit modifiyeli MNP'lerin üstün adsorpsiyon kapasitesi ve düşük tespit limitleri, yöntemin çevresel izleme çalışmalarında kullanılabilirliğini artırmaktadır.

Ayrıca, SQT aparatının FAAS sistemine entegrasyonu, literatürde bildirilen sonuçlarla da uyumlu olarak, klasik FAAS yöntemine kıyasla yaklaşık altı ila dokuz kat daha yüksek duyarlılık sağlamıştır. Sonuç olarak, geliştirilen OAMNP–SQT–FAAS yöntemi, tellürün iz düzeyde tespitinde yüksek doğruluk, tekrarlanabilirlik ve seçicilik sunan yenilikçi bir yaklaşımdır ve gelecekte hem çevresel hem de endüstriyel analizlerde güvenle uygulanabilecek bir potansiyele sahiptir.

Bu tezde ortaya konulan deneysel bulgular ve analitik performans değerlendirmeleri, geliştirilen yöntemin çevresel örneklerde tellür tayini için güçlü bir alternatif oluşturduğunu göstermiş ve bu sonuçlar, çalışmanın bilimsel nitelik kazanmasını sağlayan yayınla da desteklenerek literatüre aktarılmıştır [99].

KAYNAKLAR

- [1] G. Özbolat ve T. U. L. İ. Abdullah, “Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri,” Arşiv Kaynak Tarama Dergisi, cilt 25, sayı 4, s. 502-521, 2016.
- [2] O. K. C. U. Melih, E. Tozlu, A. M. Kumlay ve M. Pehlivan, “Ağır metallerin bitkiler üzerine etkileri,” Alinteri Journal of Agriculture Science, cilt 17, sayı 2, s. 14-26, 2009.
- [3] A. Boğa, “Ağır metallerin özellikleri ve etki yolları,” Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı, Adana, cilt 16, s. 218, 2007.
- [4] F. Yılmaz, “Yeşil metaller ve gelişmeler,” 2022.
- [5] D. L. Anderson, “Chemical composition of the mantle,” Journal of Geophysical Research: Solid Earth, cilt 88, s. B41-B52, 1983.
- [6] <https://en.wikipedia.org/wiki/Tellurium> (Erişim tarihi: 16 Mayıs 2024)
- [7] C. S. Anderson, “Selenium and tellurium,” Metals and Minerals: US Geological Survey Minerals Yearbook-2015, s. 65-1, 2017.
- [8] “Tellurium,” Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Tellurium> (Erişim tarihi: 23 Mayıs 2024)
- [9] G. W. Leddicotte, The Radiochemistry of Tellurium, Oak Ridge National Laboratory, ABD, No. NAS-NS-3038, 1961.
- [10] H. Demircioğlu, S. Vural ve İ. Boz, “Periyodik tabloda elementlerin yerini bulmada farklı bir bakış açısı,” Journal of Gifted Education and Creativity, cilt 3, sayı 1, s. 43-50, 2016.
- [11] D. A. John ve R. D. Taylor, “Porfir bakır ve molibden yataklarının yan ürünleri,” içinde Cevher Yataklarındaki Nadir Toprak ve Kritik Elementler, P. L. Verplanck ve M. W. Hitzman, Eds., 2016.
- [12] E. Drexler, Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology, Anchor Books, 1987.
- [13] J. F. Mongillo (Ed.), Nanoteknoloji 101, Bloomsbury Yayıncılık, ABD, 2007.
- [14] K. E. Drexler, Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation, John Wiley & Sons, 1992.
- [15] G. Binnig ve H. Rohrer, “Scanning tunneling microscopy,” Surface Science, cilt 126, s. 236-244, 1983.
- [16] S. K. Prasad, Modern Concepts in Nanotechnology, cilt 5, Discovery Publishing House, 2008.
- [17] R. J. Narayan, P. N. Kumta, Ch. Sfeir, D.-H. Lee, D. Choi ve D. Olton, “Nanostructured ceramics in medical devices: applications and prospects,” JOM, cilt 56, sayı 10, s. 38-43, 2004.
- [18] H. Cho, E. Pinkhassik, V. David, J. Stuart ve K. Hasty, “Detection of early cartilage damage using targeted nanosomes in a post-traumatic osteoarthritis mouse

model,” Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine, cilt 11, sayı 4, s. 939–946, 2015.

[19] F. Ş. Gökdemir, M. Gündoğdu, S. Muftareviç, A. Sunar ve F. Eyidoğan, “Nanopartiküllerin tarımsal bilimlerdeki önemi ve kullanım alanları,” Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi, cilt 49, sayı 1, s. 11-17, 2023.

[20] S. Bayda, M. Adeel, T. Tuccinardi, M. Cordani ve F. Rizzolio, “Nanobilim ve nanoteknolojinin tarihi: kimyasal-fiziksel uygulamalardan nanotıbb’a,” Molecules, cilt 25, sayı 1, s. 112, 2019.

[21] J. Gribbin ve M. Gribbin, Richard Feynman: Bilimde Bir Hayat, 1997.

[22] D. Chemie-Schule, “Rotierende Struktur von C60: Ein Fußball als Modell für das C60-Fullerenmolekül,”

[23] “Fulleren,” Wikipedia. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Fulleren> (Erişim tarihi: 26 Haziran 2024)

[24] “Fulleren,” Wikipedia. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Fulleren#:~:text=Fullerenler%2C...> (Erişim tarihi: 26 Haziran 2024)

[25] O. Bueno, “Nanoteknoloji üzerine Drexler–Smalley tartışması: iş yerinde kıyaslanamazlık mı?” içinde Nanoteknoloji Zorlukları: Felsefe, Etik ve Toplum için Çıkarımlar, s. 29–48, 2006.

[26] A. Ravindran, P. Chandran ve S. S. Khan, “Biyofonksiyonelleştirilmiş gümüş nanopartiküller: gelişmeler ve beklentiler,” Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, cilt 105, s. 342–352, 2013.

[27] R. A. Much, K. Winkelmann ve M. Hugerat, Kimya Eğitimcileri için Nanokimya, Kraliyet Kimya Derneği, 2022.

[28] “Nano,” Wikipedia. Erişim adresi: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Nano-> (Erişim tarihi: 22 Temmuz 2024)

[29] “Nanometre,” Wikipedia. Erişim adresi: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Nanometre> (Erişim tarihi: 22 Temmuz 2024)

[30] “Nanoteknoloji,” Wikipedia. Erişim adresi: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Nanoteknoloji> (Erişim tarihi: 22 Temmuz 2024)

[31] B. Çelik, E. Akkaya, S. Bakirdere ve F. Aydın, “Determination of indium using vortex assisted solid phase microextraction based on oleic acid coated magnetic nanoparticles combined with slotted quartz tube-flame atomic absorption spectrometry,” Microchemical Journal, cilt 141, s. 7–11, 2018.

[32] Y. Wyser ve diğ., “Outlook and challenges of nanotechnologies for food packaging,” Packaging Technology and Science, cilt 29, sayı 12, s. 615–648, 2016.

[33] H. Hasbullah ve diğ., “Su ve atık su arıtımında nanomühendislik malzemeleri,” içinde Water and Wastewater Treatment Using Nanotechnology, s. 303–335, Elsevier, 2019.

[34] R. Kitture ve S. Ghosh, “Hybrid nanostructures for in vivo imaging,” içinde Hybrid Nanostructures for Cancer Theranostics, s. 173–208, Elsevier, 2019.

- [35] M. M. Azim ve U. Mohsin, “Graphene oxide/transition metal oxide as a promising nanomaterial for hydrogen storage,” içinde *Graphene-Based Nanotechnologies for Energy and Environmental Applications*, s. 121–144, Elsevier, 2019.
- [36] B. Huber ve J. Burfeindt, “Nanotechnology in cosmetics,” içinde *Nanocosmetics: From Ideas to Products*, s. 17–25, 2019.
- [37] V. Nagarajan, T. J. Chiome ve S. Sudan, “Surface modification of metallic nanoparticles,” içinde *Surface Modification of Nanoparticles for Targeted Drug Delivery*, s. 237–244, 2019.
- [38] A. Abdolmaleki, A. Asadi, K. Gurushankar, T. K. Shayan ve F. A. Sarvestani, “Importance of nano medicine and new drug therapies for cancer,” *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, cilt 11, sayı 3, s. 450, 2021.
- [39] L. F. Fraceto, V. L. S. de Castro, R. Grillo, D. Ávila, H. C. Oliveira ve R. Lima, *Nanopesticides*, Springer, 2020.
- [40] Y. Wang, “Gold nanomaterial-enabled optical neural stimulation,” içinde *Neural Interface Engineering: Linking the Physical World and the Nervous System*, s. 337–346, 2020.
- [41] T. J. Mohammed ve M. K. Al-Shibly, “Therapeutic effect of biosynthesis of selenium nanoparticles on enhancing apoptosis induction and cell lines arrest in MCF-7 breast cancer cell lines,” *Journal of Nanostructures*, cilt 13, sayı 3, s. 796–805, 2023.
- [42] M. Bodzek, “Remediation of nano- and microplastics in water environment using nanomaterials,” *Desalination and Water Treatment*, cilt 316, s. 557–573, 2023.
- [43] W. T. J. Ong ve K. L. Nyam, “Kanser teşhisi ve kanser tedavisi için gümüş nanopartiküller,” içinde *Drug Delivery Using Silver Nanoparticles*, s. 109–127, Academic Press, 2024.
- [44] T. O. Odedele ve H. D. Ibrahim, “Modelling toxicity behaviour of engineered nanomaterials using computational intelligence approach,” *Proc. SPE International Conference and Exhibition on Health, Safety, Security, Environment, and Social Responsibility*, Nisan 2018.
- [45] M. Kaushik, S. Khurana, K. Mehra, N. Yadav, S. Mishra ve S. Kukreti, “Emerging trends in advanced nanomaterials based electrochemical genosensors,” *Current Pharmaceutical Design*, cilt 24, sayı 31, s. 3697–3709, 2018.
- [46] İ. Ocsoy, D. Taşdemir, S. Mazıcıoğlu ve W. Tan, “Bitkilerde nanoteknoloji,” içinde *Bitki Genetiği ve Moleküler Biyoloji*, s. 263–275, 2018.
- [47] M. Rai ve K. A. Abd-Elsalam (Eds.), *Nanomycotoxicology: Treating Mycotoxins in the Nano Way*, Academic Press, 2019.
- [48] Q. He, H. Luo, L. Chen, J. Dong, K. Chen ve Y. Ning, “Nanographite-based fluorescent biosensor for detecting microRNA using duplex-specific nuclease-assisted recycling,” *Luminescence*, cilt 35, sayı 3, s. 347–354, 2020.
- [49] Y. Tchoue ve diğ., “Nöronal ve kardiyak ağlarla nanometre ölçeğindeki arayüzlerde değerlendirmeler ve son gelişmeler,” *Applied Physics Reviews*, cilt 8, sayı 4, 2021.

- [50] B. Beltekin, C. Aydoğan, S. Alharthi ve Z. El Rassi, “Monolithic column based capillary- and nano-liquid chromatography applied to protein separation,” içinde *Biophysics at the Nanoscale*, s. 151–166, Academic Press, 2024.
- [51] F. Dilnawaz ve S. Acharya, “Nanoparticle-based CRISPR/Cas delivery: an emerging tactic for cancer therapy,” *Current Medicinal Chemistry*, cilt 30, sayı 31, s. 3562–3581, 2023.
- [52] “Nanoteknoloji nedir? Nanoteknoloji kullanım alanları ve örnekleri,” Kolektif House KoMag. <https://kolektifhouse.co/komag/nanoteknoloji-nedir-nanoteknoloji-kullanim-alanlari-ve-ornekleri> (Erişim tarihi: 14 Şubat 2025)
- [53] V. Kumar, V. Garg, H. Dureja ve C. Ling, “Nanomedicine-based approaches for delivery of herbal compounds,” *Traditional Medicine Research*, cilt 7, sayı 5, s. 48, 2022.
- [54] F. R. Formiga ve P. Severino (Ed.ler), *Applications of Nanobiotechnology for Neglected Tropical Diseases*, Academic Press, 2021.
- [55] A. Sameen, A. Sahar, S. Khan, T. Tariq ve B. Ishfaq, “Shelf life of foods through nanosensors application,” içinde *Nanotechnology Interventions in Food Packaging and Shelf Life*, s. 173–202, CRC Press, 2022.
- [56] I. Bashir, Q. Ayaz, H. Sidiq, A. Zehra ve S. M. Wani, “Nanotechnology derived antimicrobial packaging,” içinde *Nanotechnology Interventions in Food Packaging and Shelf Life*, s. 85–104, CRC Press, 2022.
- [57] F. Sabir ve diğ., “İlaç dağıtımında fonksiyonelleştirilmiş nanopartiküller: entegre sinir yolları aracılığıyla doğrudan burundan beyine ilaç dağıtımını geliştirme stratejileri,” içinde A. Thakur, P. Thakur ve S. P. Khurana (Ed.ler), *Synthesis and Applications of Nanoparticles*, Springer, Singapur, 2022, doi: 10.1007/978-981-16-6819-7_21.
- [58] P. Sambangi, V. Srinivas ve S. Gopalakrishnan, “Nanobiyolojiye özel referansla sürdürülebilir tarım için bitki mikrobiyomu,” içinde S. Chhabra, R. Prasad, N. R. Maddela ve N. Tuteja (Ed.ler), *Plant Microbiome for Plant Productivity and Sustainable Agriculture (Microorganisms for Sustainability, cilt 37)*, Springer, Singapur, 2023, doi: 10.1007/978-981-19-5029-2_4.
- [59] A. I. Khaleel, A. S. Mohmed, D. K. Al-Taey ve Z. N. Kamaluddin, “Green synthesis of ZnO nanoparticles using *Myrtus communis* L. extract and their insecticidal activity against *Myzus persicae* (Sulzer),” *Biopesticides International*, cilt 19, sayı 2, 2023.
- [60] L. Singh, R. K. Sadawarti, S. K. Singh ve A. A. Mirza, “Performance of nanozinc oxide and iron oxide on growth, flowering and yield of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch) cv. Winter Dawn,” *Journal of Food Chemistry & Nanotechnology*, cilt 9, ek sayı S1, s. S277–S284, 2023.
- [61] A. K. Mishra, L. Rani, R. Singh, H. K. Dewangan, P. K. Sahoo ve V. Kumar, “Anti-inflamatuar tedavide nanoinformatik ve nanoteknoloji: bir inceleme,” *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, makale no. 105446, 2024.

- [62] K. A. Abd-Elsalam, "Next-generation fungicides based on nanohybrids: A preliminary review," içinde Nanohybrid Fungicides, s. 3–23, 2024.
- [63] S. Schobesberger ve diğ., "Application of a biomimetic nanoparticle-based mock virus to determine SARS-CoV-2 neutralizing antibody levels in blood samples using a lateral flow assay," Analytical Chemistry, cilt 96, sayı 7, s. 2900–2907, 2024.
- [64] S. Sun ve H. Zeng, "Size-controlled synthesis of magnetite nanoparticles," Journal of the American Chemical Society, cilt 124, sayı 28, s. 8204–8205, 2002.
- [65] Z. Wu, W. Li, M. Zhang ve K. Tao, "Advances in chemical synthesis and application of metal–metalloid amorphous alloy nanoparticulate catalysts," Frontiers of Chemical Engineering in China, cilt 1, s. 87–95, 2007.
- [66] N. Enomoto, T. Koyano ve Z. E. Nakagawa, "Küresel silika sentezinde ultrasonun etkisi," Ultrasonics Sonochemistry, cilt 3, sayı 2, s. S105–S109, 1996.
- [67] V. Chhabra, P. Ayyub, S. Chattopadhyay ve A. N. Maitra, "Preparation of acicular γ -Fe₂O₃ particles from a microemulsion-mediated reaction," Materials Letters, cilt 20, s. 21–26, 2006.
- [68] H. Sakallıoğlu, "Manyetik nanopartiküller üzerine desteklenmiş Schiff bazı türevi metal komplekslerinin sentezleri ve katalitik etkinliklerinin incelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya ABD, 2013.
- [69] Y. Şener ve B. Deviren, "Silindirik Ising nanotüp sisteminin dinamik manyetik histeresis davranışları ve dinamik faz diyagramları," Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, 2023.
- [70] N. Koçak, "Yüksek sıcaklık uygulamaları için süperalaşımlara alternatif AlCoCrFeNiV yüksek entropi alaşımlarının geliştirilmesi," Yüksek Lisans Tezi, 2023.
- [71] N. S. Nzeh, P. Patricia, D. Okanigbe, S. Adeosun ve A. Adeleke, "Physical beneficiation of heavy minerals – Part 2: A state-of-the-art literature review on gravity concentration techniques," Heliyon, 2023.
- [72] R. J. Harrison, R. E. Dunin-Borkowski, T. Kasama, E. T. Simpson ve J. M. Feinberg, "Rocks and minerals: Magnetic properties of rocks and minerals," içinde Treatise on Geophysics, cilt 2.20, s. 579–630, 2007.
- [73] "Ekstraksiyon," Vikipedi. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Ekstraksiyon> (Erişim tarihi: 9 Mart 2025)
- [74] H. Genççelep, "Ekstraksiyon," ders notu, Ondokuz Mayıs Üniversitesi. <https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/hgenccelep/135872/Ekstraksiyon.doc> (Erişim tarihi: 12 Mart 2025)
- [75] T. Dedebaş, T. D. Capar, L. Ekici ve H. Yalçın, "Yağlı tohumlarda ultrasonik-destekli ekstraksiyon yöntemi ve avantajları," Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, sayı 21, s. 313–322, 2021.
- [76] T. Başaran ve T. İ. Ennil Bektaş, "Tıbbî ve aromatik bir bitkinin (Sinir otu) ekstraksiyon yöntemi ile toplam fenol içeriğinin belirlenmesi." (Yayın bilgisi eksik).

- [77] L. Mochalov, A. Logunov, A. Vorotyntsev, V. Vorotyntsev ve A. Mashin, "Purification of tellurium through thermal decomposition of plasma prepared tellurium hydride," *Separation and Purification Technology*, cilt 204, s. 276–280, 2018.
- [78] T. Kron, C. Hansen ve E. Werner, "Renal excretion of tellurium after peroral administration of tellurium in different forms to healthy human volunteers," *Journal of Trace Elements and Electrolytes in Health and Disease*, cilt 5, sayı 4, s. 239–244, 1991.
- [79] A. A. González-Ibarra, F. Nava-Alonso, G. I. Dávila-Pulido, F. R. Carrillo-Pedroza ve A. M. Rodríguez-Flores, "Dissolution behavior of elemental tellurium and tellurium dioxide in alkaline cyanide solutions," *Hydrometallurgy*, cilt 203, makale 105702, 2021.
- [80] T. Chivers ve R. S. Laitinen, "Selenium- and tellurium-halogen reagents," *Physical Sciences Reviews*, cilt 3, sayı 12, makale 20180060, 2018.
- [81] Y. F. Guo, N. Zhang, D. C. Li, F. M. Tang ve T. L. Deng, "Tellurium recovery from the unique tellurium ores," *Advanced Materials Research*, cilt 549, s. 1060–1063, 2012.
- [82] Y. F. Guo, T. L. Deng, N. Zhang ve M. X. Liao, "Tellurium extraction from the unique independent tellurium ores in China by bioleaching," *Advanced Materials Research*, cilt 343, s. 625–630, 2012.
- [83] N. Khan ve diğ., "Radiation shielding performance of tellurium–thallium and tellurium–lead oxide glass systems," *Radiation Physics and Chemistry*, cilt 217, makale 111517, 2024.
- [84] T. Misawa ve diğ., "Elevated level of urinary tellurium is a potential risk for increase of blood pressure in humans and mice," *Environment International*, makale 108735, 2024.
- [85] P. V. Sciammarella ve diğ., "Photoinduced growth of the crystalline phase of tellurium on a 1T'-MoTe₂ matrix," *Journal of Applied Physics*, cilt 135, sayı 2, 2024.
- [86] T. Castelo-Grande ve diğ., "Economic and accessible portable homemade magnetic hyperthermia system: Influence of the shape, characteristics and type of nanoparticles in its effectiveness," *Materials*, cilt 17, sayı 10, makale 2279, 2024.
- [87] D. F. Vanzan ve diğ., "Evaluation of silybin nanoparticles against liver damage in murine Schistosomiasis mansoni infection," *Pharmaceutics*, cilt 16, sayı 5, makale 618, 2024.
- [88] R. Jha, H. Harlow, M. Benamara ve R. A. Mayanovic, "On the structural and molecular properties of PEO and PEO-PPG functionalized chitosan nanoparticles for drug delivery," *Bioengineering*, cilt 11, sayı 4, makale 372, 2024.
- [89] D. Xie ve diğ., "Convenient and highly efficient adsorption of diosmetin from lemon peel by magnetic surface molecularly imprinted polymers," *Journal of Materials Science & Technology*, 2024.
- [90] J. Alfaro Chacón ve diğ., "Anodized TiO₂ nanotubes sensitized with selenium-doped CdS nanoparticles for solar water splitting," *Energies*, cilt 17, sayı 7, makale 1592, 2024.

- [91] A. Hussain, F. Parveen, A. Saxena ve M. Ashfaq, “A review of nanotechnology in enzyme cascade to address challenges in pre-treating biomass,” *International Journal of Biological Macromolecules*, makale 132466, 2024.
- [92] S. Pandit, N. Yadav, P. Sharma, A. Prakash ve A. Kuila, “Life cycle assessment and techno-economic analysis of nanotechnology-based wastewater treatment: Status, challenges and future perspectives,” *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, makale 105567, 2024.
- [93] L. M. Liz-Marzán ve diğ., “Celebrating a Nobel Prize to the ‘Discovery of Quantum Dots, an essential milestone in nanoscience’,” *ACS Nano*, cilt 17, sayı 20, s. 19474–19475, 2023.
- [94] H. Yang ve diğ., “Magnetic iron oxide nanoparticles: An emerging threat for the environment and human health,” *Journal of Environmental Sciences*, 2024.
- [95] R. Mastria ve diğ., “In-plane aligned colloidal 2D WS₂ nanoflakes for solution-processable thin films with high planar conductivity,” *Scientific Reports*, cilt 9, makale 9002, 2019.
- [96] L. Li, S. J. Yu, R. G. Zheng, Q. C. Li, R. Liu ve J. F. Liu, “Removal of arsenic from water using silver nanoparticles supported on a polymeric anion exchanger and Fe–Ce mixed oxide,” *Journal of Environmental Sciences*, cilt 151, s. 540–549, 2025.
- [97] “Oleic acid,” Wikipedia. Erişim adresi: https://en.wikipedia.org/wiki/Oleic_acid (Erişim tarihi: 18 Nisan 2025)
- [98] N. R. Jannah ve D. Onggo, “Synthesis of Fe₃O₄ nanoparticles for colour removal of printing ink solution,” içinde *Journal of Physics: Conference Series*, cilt 1245, no. 1, 012040, IOP Publishing, Ağustos 2019.
- [99] F. Ötünç, B. Ziyadanoğulları ve F. Aydın, “A new method for the determination of tellurium using slotted quartz tube-flame atomic absorption spectrophotometry with modified magnetic nanoparticles,” *Polish Journal of Environmental Studies*, cilt 34, sayı 3, 2025, doi: 10.15244/pjoes/205818.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyad, Ad

ÖTÜNÇ, Fatma

Web sayfası

(Research Gate, Academia, vs.)

Eğitim Bilgileri

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Harran Üniversitesi	2020
Lisans	Siirt Üniversitesi	2012
Lise	Kız Lisesi	2005

İş Deneyimi

Dönem (Yıl)	Şirket, Kurum	Görev
2013-	Milli Eğitim Bakanlığı	Öğretmen

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

- Ötünç, F., Ziyadanoğulları, B., & Aydın, F. A New Method for the Determination of Tellurium Using Slotted Quartz Tube-Flame Atomic Absorption Spectrophotometry with Modified Magnetic Nanoparticles. Polish Journal of Environmental Studies. <https://doi.org/10.15244/pjoes/205818>
- Ötünç, F. (2025). Kadın, depresyon ve anksiyete. In Y. K. Haspolat, V. Kavak & D. Orbatu (Eds.), Kadın Ruh Sağlığı (p. 83). Ankara: Orient Yayınları.
- Ötünç, F. (2025). Vücuda gerekli mineraller. In D. Ayyıldız, Y. K. Haspolat & V. Kavak (Eds.), Yetişkinlerde Sağlık ve Beslenme (s. 24). Ankara: Orient Yayınları. ISBN: 978-625-5976-19-2.
- Ötünç, F. (2023). Temizlik ve hijyen ürünlerinde zararlı kimyasallar. In Y. K. Haspolat, S. Ertuğrul & C. Uysal (Eds.), Yaşama Ait Temel Bilgiler – Cilt 2 (s. 33). Ankara: Orient Yayınları. ISBN: 978-625-6598-14-0.

Özel İlgiler

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	Fatma ÖTÜNÇ
Öğrenci No	20803501
Ana Bilim Dalı	Kimya Ana Bilim Dalı
Program Türü	Proje ☐ Yüksek Lisans ☐ Doktora ☒
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Prof. Dr. Berrin ZİYADANOĞULLARI
Tez Başlığı	Farklı Nanopartikül Kullanılarak Çevre Örneklerinde Tellür Analizinde Yeni Bir Yöntem Geliştirilmesi
RAPOR BİLGİLERİ	
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Sonrası
Sayfa Sayısı	121
Raporlama Tarihi	24/11/2025
Benzerlik Oranı (%)	24

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 121 sayfalık kısmına ilişkin, 24/11/2025 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından turnitin isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 24 olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

- ☐Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç
☐Kaynaklar hariç
☐Alıntılar hariç/dâhil
☒Diğer (Her şey dahil)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Tez benzerlik oranı üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir, gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı: Fatma ÖTÜNÇ

Tarih:

İmza:

Danışman Adı, Soyadı: Prof. Dr.

İmza:

Berrin ZİYADANOĞULLARI

Tarih:

Ana Bilim Dalı Başkanı Adı,

İmza:

Soyadı: Prof. Dr. Berrin

ZİYADANOĞULLARI