



**T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MANYETİK NANOPARTİKÜLLERİN BİRLİKTE
ÇÖKELME YÖNTEMİ İLE SENTEZİ VE
KARAKTERİZASYONU**

TUĞBA AKBEN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

KAHRAMANMARAŞ 2020

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MANYETİK NANOPARTİKÜLLERİN BİRLİKTE
ÇÖKELME YÖNTEMİ İLE SENTEZİ VE
KARAKTERİZASYONU

TUĞBA AKBEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

KAHRAMANMARAŞ 2020

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

TUĞBA AKBEN



Bu çalışma KSÜ Bilimsel Araştırma Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: 2019/4-13 YLS

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

MANYETİK NANOPARTİKÜLLERİN BİRLİKTE ÇÖKELME YÖNTEMİ İLE SENTEZİ VE KARAKTERİZASYONU

(Yüksek lisans tezi)

TUĞBA AKBEN

ÖZET

Optik, elektronik, kimyasal, mekanik, biyoteknoloji ve biyotıp gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmakta olan manyetik nanopartiküller benzersiz özellikleri nedeniyle araştırmacılar, bilim adamları ve mühendisler için ilgi çeken malzemelerdir. Biyoteknoloji ve biyotıp alanlarında; manyetik rezonans görüntülemeye (MRI), ilaç taşıyıcısı olarak, ilaç salınımında, kanser tedavisinde ve hyperthermia tedavisinde kullanılmaktadırlar. Manyetik nanopartikül sentezi için birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan birisi olan birlikte çökeltme yöntemi düşük maliyetli, daha az zaman alan ve endüstriyel uygulamalar için kolayca ölçeklendirilebilen yöntemdir. Ayrıca, yüksek reaksiyon sıcaklığı ve basıncı, tehlikeli çözücüler ve reaktiflerin kullanımını önleyen çevre dostu bir yöntemdir. Bununla birlikte, tanecik boyutu ve manyetik özelliklerin birlikte çökeltme ile kontrolü hala sınırlıdır.

Bu çalışmada, manyetik nanopartiküller oda sıcaklığında veya 70°C’ de birlikte çökeltme yöntemi ile sentezlenmiştir. Çözeltilerin pH değeri, katalizör olarak kullanılan NaOH veya bis(2-hydroxypropyl)-amine (DIPA) miktarı değiştirilerek ayarlanmıştır. Çözeltilerin pH değerine bağlı olarak sentezlenen partiküllerdeki yapısal ve morfolojik değişiklikler araştırılmıştır. Partiküllerin havayla temasını kesip okside olmasını önlemek ve biyoyumluluğunu sağlamak için oleik asit veya lorik asitle kaplama yapılmıştır. Demir oksitin manyetik bileşiği olan manyetit (oleik asitle kaplanmış), mangan ferrit ($MnFe_2O_4$), kobalt ferrit ($CoFe_2O_4$), magnezyum ferrit ($MgFe_2O_4$), baryum hekzaferrit ($BaFe_{12}O_{19}$) partikülleri üretilmiştir. Sentezlenen partiküllerin yapıları ve morfolojileri; X-ışını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskopisi (SEM) ve Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ile karakterize edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Birlikte çökeltme yöntemi, Ferrit, Lorik asit, Oleik asit, Manyetik nanopartiküller, Manyetit

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 07 / 2020

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Beril Özçelik
Sayfa sayısı: 71

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF MAGNETIC NANOPARTICLES BY CO-PRECIIPITATION METHOD

(M.Sc. THESIS)

TUĞBA AKBEN

ABSTRACT

Magnetic nanoparticles, which are used in various fields such as optical, electronic, chemical, mechanical, biotechnology and biomedicine, are interesting materials for researchers, scientists and engineers due to their unique properties. In the fields of biotechnology and biomedicine; magnetic resonance imaging (MRI), drug delivery, drug release, cancer treatment and hyperthermia treatment. Many methods are used for the synthesis of magnetic nanoparticles. One of these, co-precipitation is a low cost, less time consuming and easily scalable method for industrial applications. Furthermore, the high reaction temperature and pressure is an environmentally friendly method that prevents the use of hazardous solvents and reagents. However, the control of particle size and magnetic properties by co-precipitation is still limited.

In this study, magnetic nanoparticles were synthesized at room temperature or at 70°C by co-precipitation. The pH of the solution was adjusted by changing the amount of NaOH or bis (2-hydroxypropyl) -amine (DIPA) used as the catalyst. Structural and morphological changes in particles synthesized depending on the pH of the solution were investigated. Coating with oleic acid or lauric acid is applied to prevent the particles from oxidizing and oxidizing with air and to ensure their biocompatibility. Magnetite (coated with oleic acid), which is the magnetic compound of iron oxide, manganese ferrite ($MnFe_2O_4$), cobalt ferrite ($CoFe_2O_4$), magnesium ferrite ($MgFe_2O_4$), barium hexaferrite ($BaFe_{12}O_{19}$) particles were produced. Structure and morphology of synthesized particles; It was characterized by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR).

Keywords: Co-precipitation, Ferrite, Lauric acid, Oleic acid, Magnetic nanoparticles, Magnetite

Kahramanmaraş Sütçü İmam University
Institute for Graduate Studies in Science and Technology
Department of Mechanical Engineering, 07 / 2020

Supervisor: Ass. Prof. Beril ÖZÇELİK
Page number: 71

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince bilgi ve birikimlerinden faydalandığım, tez çalışmamın tüm safhalarında bilimsel desteğinin yanı sıra anlayış ve sabrını esirgemeyen, çalışmamın etkin bir şekilde ilerleyişi için fedakârlıklardan kaçınmayan, kendisiyle çalışmaktan onur duyduğum tez danışmanım Sayın hocam **Dr. Öğr. Üyesi Beril ÖZÇELİK**'e sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam için maddi destek sağlayan Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Başkanlığı'na (**BAP**) (Proje no: 2019/4-13 YLS) teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen, her koşulda yanımda olan çok değerli eşim ve aileme sonsuz teşekkür ederim.

Tuğba AKBEN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Nanoteknolojinin Kronolojik Gelişimi	1
1.2. Nanoteknolojinin Kullanım Alanları	2
2. LİTERATÜR ÖZETİ	4
2.1. Nanomalzemeler	4
2.2. Nanopartiküller	5
2.3. Nanopartiküllerin Sınıflandırılması	7
2.3.1. Karbon bazlı nanopartiküller	7
2.3.2. Metal nanopartiküller.....	7
2.3.3. Seramik nanopartiküller.....	7
2.3.4. Yarı iletken nanopartiküller	8
2.3.5. Polimerik nanopartiküller	8
2.3.6. Lipit bazlı nanopartiküller	8
2.4. Nanopartiküllerin Sentezi	8
2.4.1. Birlikte çökelme yöntemi	11
2.4.2. Termal ayrışma yöntemi	11
2.4.3. Sol-jel yöntemi.....	12
2.4.4. Mikrohetorejen sistemler yöntemi	13

2.4.5. Kimyasal buhar yoğunlaştırma yöntemi	13
2.4.6. Hidrojen redüksiyonu yöntemi	14
2.5. Nanopartiküllerin Güncel ve Gelişmekte Olan Uygulamaları.....	15
2.5.1. İlaç uygulamaları	16
2.5.2. İmalat ve malzeme uygulamaları.....	17
2.5.3. Çevresel uygulamalar	18
2.5.4. Elektronikteki uygulamalar	18
2.5.5. Enerji alanındaki uygulamalar	20
2.5.6. Mekanik endüstrideki uygulamalar	23
2.6. Manyetik Nanopartiküller.....	23
2.7. Manyetik Nanopartikül Çeşitleri	26
2.7.1. Demir oksit nanopartikülleri.....	26
2.7.1.1 Manyetit	26
2.7.2. Spinel yapıda ferrimagnetler: $MnFe_2O_4$, $CoFe_2O_4$, $MgFe_2O_4$ ve $BaFe_{12}O_{19}$..	27
3. MALZEME VE METOT	29
3.1. Partikül Sentezi	29
3.1.1. Demir oksit partiküllerinin sentezi	29
3.1.1.1. Oleik asit kullanılarak sentezlenen demir oksit partikülleri	29
3.1.1.2. Lorik asit kullanılarak sentezlenen demir oksit partikülleri	34
3.1.2. Ferrit partiküllerinin sentezi	36
3.1.2.1. $MnFe_2O_4$ partiküllerinin sentezi	37
3.1.2.2. $CoFe_2O_4$ partiküllerinin sentezi	39
3.1.2.3. $MgFe_2O_4$ partiküllerinin sentezi	41
3.1.2.4. $BaFe_{12}O_{19}$ partiküllerinin sentezi.....	45
3.2. Partikül Karakterizasyonu.....	46
4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR	48
4.1. Demir Oksit Partiküllerinin Deneysel Sonuçları	48
4.1.1. Oleik asit kullanılarak sentezlenen demir oksit partikülleri	48
4.1.2. Lorik asit kullanılarak sentezlenen demir oksit partikülleri	51
4.2. Ferrit Partiküllerinin Deneysel Sonuçları	54
4.2.1. Sentezlenen $MnFe_2O_4$ partikülleri	54

4.2.2. Sentezlenen CoFe_2O_4 partikülleri	56
4.2.3. Sentezlenen MgFe_2O_4 partikülleri	58
4.2.4. Sentezlenen $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ partikülleri.....	59
5. GENEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	61
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ.....	71



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Nanoteknolojinin kullanım alanları.....	3
Şekil 2.1 Nanomalzemelere ait elektron mikroskobu görüntüleri.....	4
Şekil 2.2 Altın nanoçubuklar (a), altın çekirdek- silika kabuk nanopartiküller (b) ve iç boşluklu platin nanopartiküller (c)	4
Şekil 2.3 Quantum etkisi	6
Şekil 2.4 Yüzey plazma rezonansı.....	6
Şekil 2.5 Fe_3O_4 nanoparçacıklarının histerezis eğrisi.....	6
Şekil 2.6 Nanopartikül sentezinde kullanılan yaklaşımlar	8
Şekil 2.7 Yukarıdan aşağı ve aşağıdan yukarı yaklaşımı.	9
Şekil 2.8 Yukarıdan aşağı yaklaşımında kullanılan sistematik cihazlar.....	10
Şekil 2.9 Sol-jel yöntemi.	12
Şekil 2.10 Mikroheterojen sisteme ait akış diyagramı.	13
Şekil 2.11 Kimyasal buhar yoğunlaştırma yöntemi.	14
Şekil 2.12 Hidrojen redüksiyonu yöntemi.....	15
Şekil 2.13 Nanotransistör	19
Şekil 2.14 Kağıt pil.....	19
Şekil 2.15 İlaç dağıtımında kullanılan nano robotlar	20
Şekil 2.16 Su bölme.....	22
Şekil 2.17 CO_2 indirgemesinden enerji üretimi yaklaşımları.....	22
Şekil 2.18 Piezoelektrik aktüatörler.....	23
Şekil 2.19 Manyetizasyon eğrisi ve histerezis	24
Şekil 2.20 Manyetik partiküllerin boyut değişikliğine bağlı olarak manyetik alana verdiği cevap	25
Şekil 2.21 Fe_3O_4 nanopartiküllerinin uygulama alanları	27
Şekil 3.1 Hassas terazi	30
Şekil 3.2 Mekanik karıştırıcıda karıştırma	30
Şekil 3.3 Siyah çökelti oluşumu ve üç saat karıştırma	31

Şekil 3.4 Miknatis yardımıyla partiküllerin çökmesi	31
Şekil 3.5 Turnusol kağıdı ile pH ölçümü.....	31
Şekil 3.6 Filtre kağıdı ile partikül süzülmesi.....	32
Şekil 3.7 Demir tuzu çözeltisi (a), NaOH damlatma (b), Lorik asit çözelti eldesi (c).	34
Şekil 3.8 pH ölçümü (masa tipi pH metre).....	35
Şekil 3.9 Fırında kurutma.	35
Şekil 3.10 Mekanik karıştırıcıda karıştırma	37
Şekil 3.11 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ sulu bileşiklerinin ve oleik asitin birlikte karıştırılması, NaOH eklenerek karıştırılması.	38
Şekil 3.12 pH ölçümü.	38
Şekil 3.13 Mekanik karıştırıcıda karıştırma.	40
Şekil 3.14 DIPA'nın uygun miktardaki saf suda çözündürülmesi.	42
Şekil 3.15 Mekanik karıştırıcıda karıştırma	42
Şekil 3.16 Tüm karışımların 70°C'de 1 veya 2 saat karıştırılması	43
Şekil 3.17 Baryum nitratın uygun miktardaki saf suda çözündürülmesi.....	45
Şekil 3.18 Ultrasonik banyo.	47
Şekil 3.19 Altın kaplama.	47
Şekil 3.20 Altın kaplama öncesi ve sonrası.....	47
Şekil 4.1 pH 7, pH 11, pH 12, pH 13, pH 14 çözeltilerinden sentezlenen nanopartiküllerin XRD grafiği.	49
Şekil 4.2 pH 11 (a) ve pH 13 (b) çözeltilerinden sentezlenen manyetit partiküllerin SEM görüntüleri.	50
Şekil 4.3 Oleik asit bağ yapısı.	50
Şekil 4.4 Uyg. 9 (a), Uyg. 10 (b), Uyg. 11 (c), Uyg.12 (d)' den sentezlenen oleik asit ile kaplanmış manyetit nanopartiküllerinin FTIR spektrumları.	51
Şekil 4.5 Uygulama 2, 3, 4, 5, 6, 7 çözeltilerinden sentezlenen partiküllerin XRD grafiği	52
Şekil 4.6 Uygulama 2 (a), 4 (b), 6 (c), 7 (d) çözeltilerinden sentezlenen partiküllerin SEM görüntüleri	53
Şekil 4.7 500°C, 700°C ve 900°C de 1 saat kalsine etme	53

Şekil 4.8 900°C de kalsine edilen partiküllerin XRD grafiği, (●) Hematit (Fe_2O_3), (◆) Fe.	54
Şekil 4.9 Sentezlenen MnFe_2O_4 partiküllerinin XRD grafiği (●) MnFe_2O_4	56
Şekil 4.10 Sentezlenen CoFe_2O_4 partiküllerinin XRD grafiği (●) CoFe_2O_4	57
Şekil 4.11 Sentezlenen MgFe_2O_4 partiküllerinin XRD grafiği (●) MgFe_2O_4	59
Şekil 4.12 Sentezlenen $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ partiküllerinin XRD grafiği (●) $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$	60



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Nanomalzeme çeşitleri	5
Çizelge 2.2 Nanopartikül sentezinde aşağıdan yukarı ve yukarıdan aşağı yaklaşımları.....	9
Çizelge 2.3 Partikül üretim yöntemlerinden bazılarının avantajları ve dezavantajları	15
Çizelge 2.4 Nanopartiküllerin uygulama alanları.....	16
Çizelge 2.5 Geçiş metalleri ve metal oksitlerin manyetik özellikleri.....	26
Çizelge 3.1 Oleik asit kullanılarak sentezlenen demir oksit partikülleri.....	33
Çizelge 3.2 Lorik asit kullanılarak sentezlenen demir oksit partikülleri.....	36
Çizelge 3.3 Sentezlenen $MnFe_2O_4$ partikülleri.....	39
Çizelge 3.4 Sentezlenen $CoFe_2O_4$ partikülleri	41
Çizelge 3.5 Sentezlenen $MgFe_2O_4$ partikülleri.....	44
Çizelge 3.6 Sentezlenen $BaFe_{12}O_{19}$ partikülleri	46
Çizelge 4.1 Oleik asit kullanılarak sentezlenen demir oksit partiküllerinin manyetikliği ..	48
Çizelge 4.2 Lorik asit kullanılarak sentezlenen demir oksit partiküllerinin manyetikliği ..	52
Çizelge 4.3 Sentezlenen $MnFe_2O_4$ partiküllerinin manyetikliği	55
Çizelge 4.4 Sentezlenen $CoFe_2O_4$ partiküllerinin manyetikliği	57
Çizelge 4.5 Sentezlenen $MgFe_2O_4$ partiküllerinin manyetikliği	58
Çizelge 4.6 Sentezlenen $BaFe_{12}O_{19}$ partiküllerinin manyetikliği.....	60

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat derece
g	: Gram
mL	: Mililitre
mol	: mol
M	: Molarite
Fe₃O₄	: Manyetit
γ-Fe₂O₃	: Maghemit
NaOH	: Sodyum hidroksit
C₆H₁₅NO₂	: Bis(2-hydroxypropyl)-amine (DIPA, $\geq 98\%$)
XRD	: X-ışını difraktometresi
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
FTIR	: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
VSM	: Titreşimli örnek manyetometre
C₁₂H₂₄O₂	: Lorik asit
C₁₈H₃₄O₂	: Oleik asit
pH	: Potansiyel hidrojen
FeCl₃.6H₂O	: Demir (III) klorür heksahidrat
FeCl₂.4H₂O	: Demir (II) klorür tetrahidrat
Mn(NO₃)₂.4H₂O	: Mangan (II) nitrat tetrahidrat
MnFe₂O₄	: Mangan ferrit
Co(NO₃)₂.6H₂O	: Kobalt (II) nitrat heksahidrat
CoFe₂O₄	: Kobalt ferrit
Mg(NO₃)₂.6H₂O	: Magnezyum (II) nitrat heksahidrat
MgFe₂O₄	: Magnezyum ferrit
Ba(NO₃)₂	: Baryum nitrat
BaFe₁₂O₁₉	: Baryum hekzaferrit

ZnO	: Çinko oksit
UV	: Ultraviyole
nm	: nanometre
Au	: Altın
Ag	: Gümüş
TiO₂	: Titanyumdioksit
C₆₀	: buckyball
Ni	: Nikel
Al₂O₃	: Alüminyum oksit (Alümina)
C₂H₅OH	: Etil alkol (Etanol)
Mr	: Kalıcı manyetizasyon
Ms	: Koersivite
Hot plate	: Sıcak plaka

1.GİRİŞ

“Nanoteknoloji, geçen yüzyıldan beri bilinen bir araştırma alanıdır. Nanoteknoloji, Nobel ödüllü Richard P. Feynman tarafından, 1959'daki Dipte Bol Oda Var dersinde sunulduğundan beri, nanoteknoloji alanında çeşitli devrimci gelişmeler yaşanmıştır [1]. Kuantum elektrodinamiği dalında Nobel Fizik Ödülü alan Richard Feynman nanoteknolojinin başlangıcı sayılan konuşmasında aşağıda konulara değinmiştir [2]:

- 24 ciltlik Britannica ansiklopedisini bir toplu iğne başına neden yazmayalım?
- Küçük ölçekte bilgi,
- Daha iyi elektron mikroskobu,
- Fevkalade biyolojik yapılar,
- Bilgisayarı minyatürleştirme,
- Buharlaştırma yolu ile minyatürleştirme,
- Sürtünme sorunları,
- Yüzlerce minik el,
- Atomları yeniden organize etme,
- Küçük bir dünyada atomlar.”

1.1. Nanoteknolojinin Kronolojik Gelişimi [2]

- “1959: Richard Feynman meşhur konuşmasını yapmıştır.
- 1974: Aviram ve Seiden ilk moleküler elektronik aygıt için patent almıştır.
- 1981: G. K. Binnig ve H. Rohrer atomları tek tek görüntüleyebilmek için STM’yi icat etmişlerdir.
- 1985: R. Curl Jr., H. Kroto R. Smalley Karbon 60’ ı keşfetmişlerdir.
- 1986: G. K . Binnig, C. F. Quate, C. Gerber AFM’yi icat etmişlerdir.
- 1986:K. E. Drexler ‘Engines of Creation’ kitabını yayınlamıştır (moleküler nanoteknolojinin fikri).
- 1987: İletkenliğin kuantum özelliği ilk defa gözlenmiştir.
- 1987: T. A. Fulton ve G. J. Dolan ilk defa tek elektron transistörü yapmışlardır.
- 1988:W. De Grado ve ekibi ilk defa suni protein yapmışlardır.

- 1989: IBM (Zurich)'de 35 Xe atomundan IBM yazısı yazılmıştır.
 - 1991: Lijima çok duvarlı karbon nanotüpleri keşfetmiştir.
 - 1993: Lijima ve Berhune tek duvarlı karbon nanotüpleri keşfetmişlerdir.
 - 1993: Rice Üniversitesi'nde (ABD) ilk 'nanoteknoloji' laboratuvarı kurulmuştur.
 - 1997: N. Seeman ilk defa DNA molekülü kullanarak nanomekanik aygıt yapmıştır.
 - 1997: İlk defa nanotüp kullanarak elektrik akımı ölçülmüştür.
 - 1998: C. Dekker ve ekibi TUBEFET yapmıştır.
 - 1999: M. Reed ve J. M. Tour ilk defa tek organik molekül ile elektronik anahtar yapmışlardır.
 - 2000: ABD'de ilk defa nanoteknoloji araştırmaları için 422 Milyon \$ kaynak ayrılmıştır.
 - 2001: İlk defa nanotüplerden transistör ve mantık devreleri yapılmıştır.
 - 2001: ZnO nanotel laseri yapılmıştır.
 - 2002: Süperörgü nanoteller yapılmıştır.
 - 2005: İlk dört tekerlekli nano araba modeli hareket ettirilmiştir.
 - 2008 ve sonrası: Tel-Aviv Üniversitesi'nde ICTAF (Teknoloji için Disiplinlerarası Analiz ve Tahmin Etme Merkezi) tarafından nanobiyoteknoloji için hazırlanan raporun sonuçları aşağıda belirtildiği şekildedir:
- 2008: Hücre içi analizler için nanoajanlar yapılacak
- 2013: Hücre içi manipülasyon için nanoaraçlar yapılacak
- 2015: Yapay sistemlerin kendi kendini onarabilmesi
- 2018: İnsan organlarının iç yapılanmasının tanımlanması
- 2021: Vücudun içinde nanomakineler.”

1.2. Nanoteknolojinin Kullanım Alanları

Nanoteknoloji, maddeyi atomik ve moleküler seviyelerde kontrol eder [3]. Nanoteknoloji, birçok alanda performans arttırıcı etkileri ve önemli yararlarından dolayı çok farklı bilim dallarında kullanılmaktadır.

Nanoteknolojinin kullanımı genişlemektedir. Günümüzde elektronik, malzeme, fizik, kimya gibi alanlarda kullanımının yanında, biyoteknoloji ve biyotıp alanında da çok önemli gelişmelere olanak sunmaya başlamıştır. Sınırlı sayıda uygulamaları olan bu teknoloji gelişmekte olan bir teknolojidir ve gelecek için çok daha geniş alanlara yayılacağı açıktır. Nanoteknolojiyle üretilebilecek küçük boyutlu aygıtlar belki de vücudumuzda dolaşacak, uzman gibi tedavi sağlayacaklardır. Nanoteknolojiyle üretilen malzemelerin fiziksel özelliklerinin de iyice anlaşılmasıyla yeni bir malzeme dünyası ile bağlantı kurulabilir. Nanomalzemelerin üretimi ile antimikrobiyal çoraplar; kir tutmaz, kırıxmaz, su tutmaz, zararlı UV ışınlarını geçirmez kumaşlar; kendi kendini temizleyen nanoboyalar; dayanıklı ulaşım araçları; paslanmayan eşyalar üretilebilecektir. Bu teknoloji ile kullanılabilir su kaynakları da kendisini yenileyebilecektir. Belki de yakın bir tarihte insan vücudunda dolaşp, tedavi sağlayabilecek bilgisayarlar da bu şekilde üretilebilir. Nanoteknolojiye, günümüzün anahtar teknolojisi denilebilir [4].



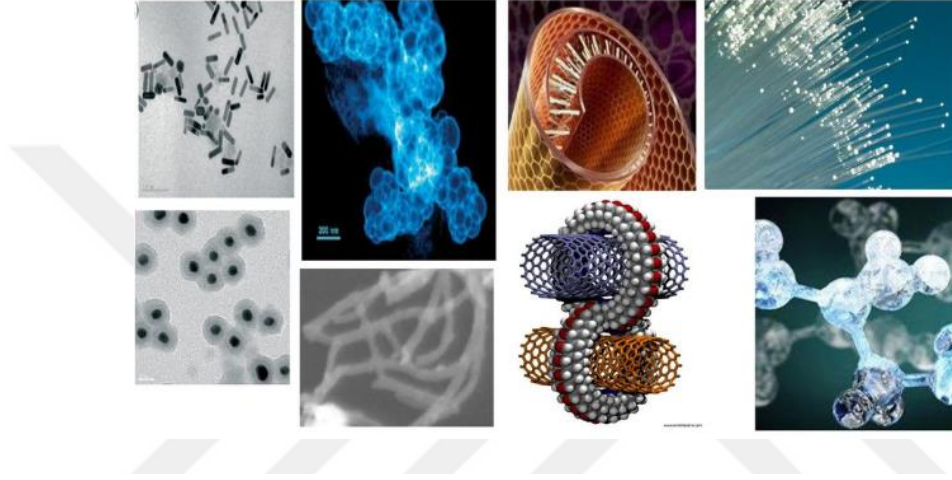
Şekil 1.1 Nanoteknolojinin kullanım alanları [4]

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Nanomalzemeler

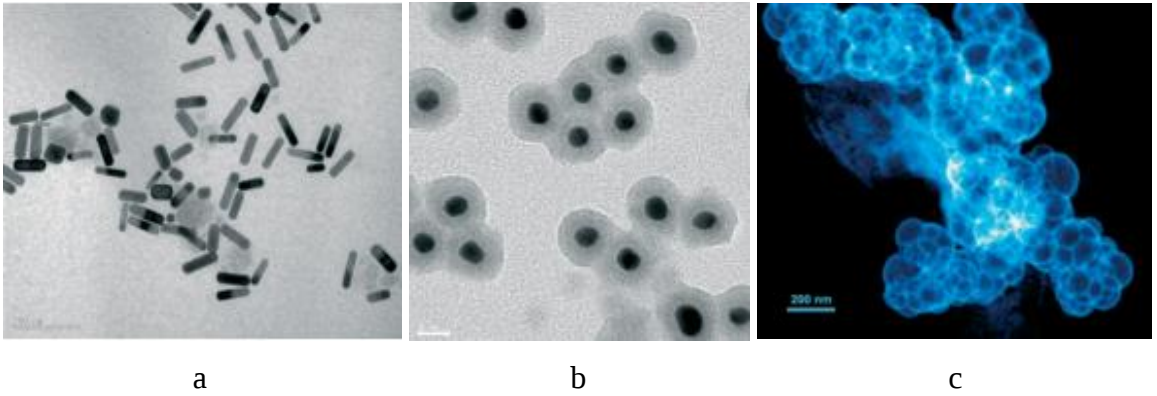
100 nanometrenin altında bir boyut içeren malzemelere nanomalzemeler denilmektedir.

Nanoteknoloji kullanılarak, nano ölçekli düzeyde çeşitli türlerde malzemeler üretilmiştir. Nanomalzemelere ait elektron mikroskobu görüntüleri Şekil 2.1’ de gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Nanomalzemelere ait elektron mikroskobu görüntüleri [5]

Nano boyutlu malzeme olarak tanımlanan yapılar; nanokristaller, nanopartiküller, nanotüpler, nanoteller, nano çubuklar veya nano ince filmler gibi farklı sınıflara ayrılmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Altın nanoçubuklar (a), altın çekirdek-silika kabuk nanopartikülleri (b), iç boşluklu platin nanopartikülleri (c) [6]

Özelliklerine, şekillerine veya boyutlarına bağlı olarak farklı sınıflara ayrılabilen nanomalzemeler; kendilerine göre avantajlara ve dezavantajlara sahiptirler. Boyutlarına göre sınıflandırılan nanomalzeme çeşitleri Çizelge 2.1’ de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1 Nanomalzeme çeşitleri [7]

Malzemeler	Boyut (yaklaşık)	Örnekler
Nanokristaller, kuantum noktalar	1-10 nm	Metaller, yarı iletkenler, manyetik materyaller
Nanopartiküller	1-100 nm	Metaller, seramik oksitler
Nanoteller	1-100 nm	Metaller, yarı iletkenler, oksitler, nitritler
Nanotüpler	1-100 nm	Karbon
Nano gözenekli katılar	0.5-10 nm (gözenek yarıçapı)	Zeolitler, alümina
İki boyutlu nanopartiküller	Birkaç nm ² -µ ²	Metaller, yarı iletkenler, manyetik materyaller
İnce filmler	1-1000 nm	Yarı iletkenler

2.2. Nanopartiküller

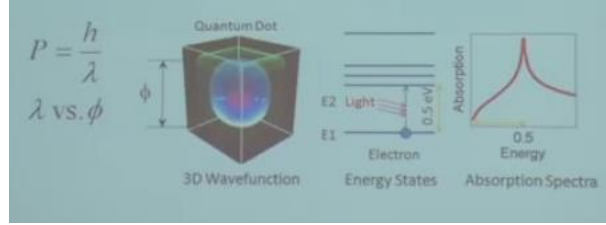
Nanopartiküller, 100 nm'den küçük bir boyutu olan partiküllü maddeleri içeren geniş bir malzeme sınıfıdır [8].

Nanopartiküller basit moleküllerin kendisi değildir ve bu nedenle üç katmandan oluşur:

- Çeşitli küçük moleküller, metal iyonları, yüzey aktif cisimleri ve polimerlerle işlevselleştirilebilen yüzey katmanı,
- Her yönden çekirdekten kimyasal olarak farklı olan kabuk tabakası ve
- Esasen nanopartiküllerin merkezi kısmı olan ve genellikle nanopartiküllerin kendisini ifade eden çekirdek [9].

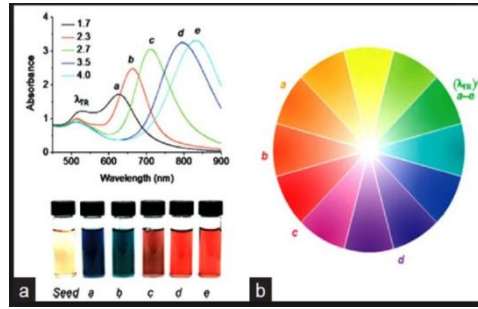
Nanoyapılı malzemeler, geleneksel kaba taneli (hacimsel yapılı) malzemelerden çok daha farklı ve üstün olarak kabul edilen özellikler sergilemektedirler [6]. Bunlar:

- Geniş yüzey alanı: Malzeme büyük bir yapıdan çok küçük boyuta dönüştürülür, bağ yapmamış atomlar yapıya yüzey enerjisi kazandırır, dolayısıyla malzemenin enerjisi artar.
- Quantum etkisi: Partiküller çok küçüldüğü zaman quantum mekaniğine girer, bu etkiden dolayı çok değişik özellikler sergilemeye başlarlar (Şekil 2.3).



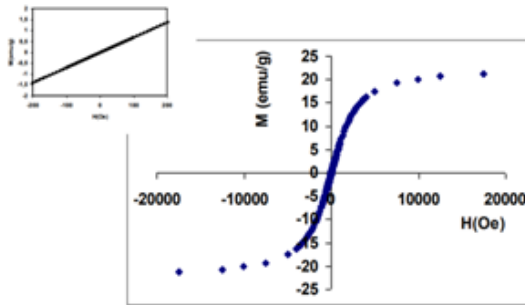
Şekil 2.3 Quantum etkisi [10]

- Yüzey plazma rezonansı: Malzeme boyuta bağlı olarak değişik dalga boylarında ışık absorbe edebilir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Yüzey plazma rezonansı

- Üstün manyetik özellikler: Büyük kütleli parçalar manyetik alan içinde histerezis bir davranış gösterir; fakat nano boyuta inince bu histerezis eğri kaybolup normal bir çizgi üzerinde harekete başlar, artık nanopartikül süperparamanyetik bir davranış göstermeye başlar (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Fe_3O_4 nanoparçacıklarının histerezis eğrisi [11]

- Nano boyuta inilince erime sıcaklığı önce azalır, sonra kaybolma seviyelerine ulaşır, bunda yüzey etkisi önemli bir faktördür.
- Nanopartiküller sinterleme sıcaklıklarını önemli ölçüde azaltırlar.
- Nanopartiküller malzemeye yüksek dayanım kazandırır.

2.3. Nanopartiküllerin Sınıflandırılması

Nanopartiküller, morfolojilerine, boyutlarına ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak geniş çapta çeşitli kategorilere ayrılır. Fiziksel ve kimyasal özelliklere dayanarak, iyi bilinen nanopartikül sınıflarının bazıları aşağıda verilmiştir [1].

2.3.1. Karbon bazlı nanopartiküller

Elektriksel iletkenlikleri, yüksek mukavemetli yapısı, elektron ilgisi ve çok yönlülüğü nedeniyle dikkate değer bir ticari ilgi yaratmışlardır [12].

2.3.2. Metal nanopartiküller

Metal nanopartiküllerin boyut ve şekil kontrollü sentezi günümüzün en gelişmiş önemli malzemelerindendir [13]. Bu nanopartiküller yüzey plazma rezonansı özelliği nedeniyle eşsiz optoelektrik özelliklere sahiptir. Gelişmiş optik özellikleri nedeniyle, metal nanopartiküller birçok araştırma alanında uygulama bulmuştur. Örneğin altın nanopartikül kaplama, yüksek kalitede SEM görüntülerinin elde edilmesine yardımcı olan elektronik akışı geliştirmek için ve SEM örnekleme için yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.3.3. Seramik nanopartiküller

Seramik nanopartiküller, ısı ve art arda soğutma yoluyla sentezlenen inorganik metalik olmayan katı maddelerdir. Bunlar şekilsiz, çok kristalli, yoğun, gözenekli veya oyuk biçimlerde bulunabilir [14].

Seramik nanopartiküller, kataliz, fotokataliz, boyaların fotodegradasyonu (ışık etkisiyle bozunma) ve görüntüleme uygulamaları gibi alanlarda kullanılmasından dolayı araştırmacılar için büyük dikkat çekmektedir. Seramik nanopartiküller diğer uygulama alanlarına kıyasla biyomedikal alanda daha çok kullanılmaktadır. Biyomedikal alanında; seramik nanopartiküllerinin ilaçlar, genler, proteinler, görüntüleme ajanları vb. için mükemmel taşıyıcılar olduğu düşünülmektedir. Seramik nanopartiküller, bakteriyel enfeksiyonlar, glokom (göz tansiyonu) vb. birçok hastalığa karşı ve en yaygın olarak kansere karşı ilaç dağıtım sistemleri olarak başarıyla kullanılmıştır [15].

2.3.4. Yarı iletken nanopartiküller

Yarı iletken malzemeler metaller ve metal olmayan malzemeler arasında özelliklere sahiptir ve bu nedenle literatürde bu özellik nedeniyle çeşitli kullanım yerleri bulmuştur [16, 17]. Fotokataliz, foto optik ve elektronik cihazlarda çok önemli malzemelerdir [18].

2.3.5. Polimerik nanopartiküller

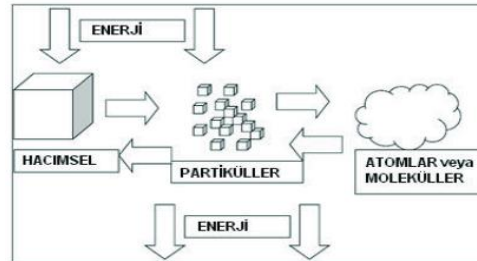
Bunlar normalde organik bazlı nanopartiküllerdir. Yıllar boyunca, terapötik (tedavi edici) ajanların tümörlere verilmesi için enjekte edilebilir polimerik nanopartiküller geliştirilmiştir [19]. Polimerik nanopartiküller, fonksiyonlarını ve spesifik hücrelerle etkileşimlerini kontrol etmek için çeşitli molekül tipleriyle dekore edilmiştir [20].

2.3.6. Lipit bazlı nanopartiküller

Bu nanopartiküller lipit kısımları içerir ve birçok biyomedikal uygulamada etkili bir şekilde kullanılır. Lipit nanoteknolojisi [21], ilaç taşıyıcıları ve dağıtımı [22] ve kanser terapisinde RNA salımı [23] gibi çeşitli uygulamalar için lipit nanopartiküllerinin tasarlanması ve sentezlenmesine odaklanan özel bir alandır.

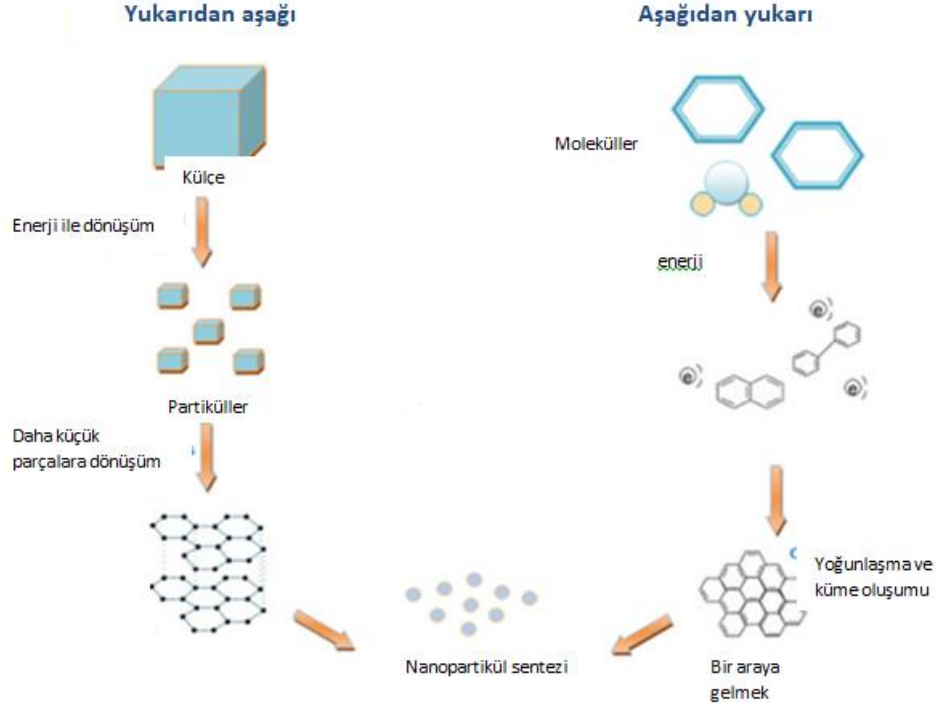
2.4. Nanopartiküllerin Sentezi

Nanopartiküllerin sentezi çeşitli yöntemlerle olabilir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Nanopartikül sentezinde kullanılan yaklaşımlar [6]

Ancak bu yöntemler genel olarak yukarıdan aşağı (Top-down) ve aşağıdan yukarı (Bottom-up) yaklaşımı olarak iki sınıfa ayrılır (Şekil 2.7). Her iki yaklaşımın da avantajları ve dezavantajları vardır.



Şekil 2.7 Yukarıdan aşağı ve aşağıdan yukarı yaklaşımı [24]

Aşağıdan yukarı ve yukarıdan aşağı yaklaşımı kullanılarak nanopartikül sentezinde kullanılan yöntemler Çizelge 2.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.2 Nanopartikül sentezinde aşağıdan yukarı ve yukarıdan aşağı yaklaşımları

Nanopartiküllerin Sentezi	
Aşağıdan Yukarı Yaklaşımı	Yukarıdan Aşağı Yaklaşımı
Döndürme	Mekanik freze
Şablon desteği sentezi	Kimyasal aşınma
Plazma veya alev püskürtme sentezi	Püskürtme
Lazer pirolizi	Lazer ablasyonu
Atomik veya moleküler yoğunlaşma	Elektro-patlama

Üretim yöntemleri büyük külçelerin parçalanması şeklinde olabilir, buna “yukarıdan aşağı yaklaşımı” ismi verilir. Bu külçeler teknolojik bir takım yöntemlerle parçalanarak toza dönüştürülür, büyük bir endüstridir, kullanılan sistematik cihazlar büyük çaplıdır. Yukarıdan aşağı yaklaşımına dahil olan yöntemlerde hacimsel malzemeye dışarıdan mekaniksel ve/veya kimyasal işlemler ile enerji verilmesi sonucunda malzemenin nano boyuta kadar inebilecek küçük parçalara ayrılması esas alınmaktadır. Yukarıdan aşağı

yaklaşımı partikül üretiminde 3 mikrona kadar verimlidir, 3 mikronun altında çok verimli değildir (Şekil 2.8). Üretim hızları gr/saat mertebelerinde yani çok düşüktür.



Şekil 2.8 Yukarıdan aşağı yaklaşımında kullanılan sistematik cihazlar [10]

Nanoyapıların yüzeylerinde gözlenen kusurlar ve kristallerin hasarı, nanopartiküllerin sentezlenmesi için yukarıdan aşağıya yaklaşımda en büyük zorluktur. Bu nedenle genelde aşağıdan yukarı yaklaşımı tercih edilir. Küçük atomların bir araya getirilerek inşa edilmesi şeklinde olan üretim yöntemine de “aşağıdan yukarı yaklaşımı” denir.

Partikül üretiminde kullanılan yöntemlerin yukarıda açıklanan ayırım dışında fiziksel veya kimyasal temelli olarak da iki ayrı sınıflandırılması mümkündür. Mekanik enerjinin kullanıldığı gibi fiziksel özelliklerin ön plana çıktığı yöntemler fiziksel ve kimyasal reaksiyonların gerçekleştiği yöntemler ise kimyasal temelli olarak kabul edilmektedir [25].

Nanomalzemeleri elde edebilmek için günümüzde kullanılan geleneksel üretim teknolojilerinden farklı üretim yöntemleri kullanılmaktadır. Bu amaçla günümüzde nanoteknolojik alanda kullanılmak üzere farklı üretim yöntemleri geliştirilmiştir. Geliştirilen bu farklı üretim yöntemleri sayesinde yeni fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklere sahip yapılar elde edilmektedir. Bu özellikler artan güç / sertlik, üstün nitelikli manyetik özellikler, yüksek yayılım, düşük yoğunluk, düşük termal iletkenlik, artan özgül ısı, yüksek elektrik direnci, daha yüksek ısıl genleşme katsayısı olarak belirtilebilir.

Pek çok yöntemle nanopartikül sentezi yapılabilmektedir, bunlardan bazıları: birlikte çökelme (co-precipitation) yöntemi [26], termal ayrışma yöntemi [27], sol-jel yöntemi [28], mikroheterojen sistemler yöntemi, kimyasal buhar yoğunlaştırma yöntemi ve hidrojen redüksiyonu yöntemidir.

2.4.1. Birlikte çökelme yöntemi

Oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilebilen birlikte çökelme yöntemi uygun oranlarda karıştırılan metal iyonlarının bazik ortamda güçlü karıştırıcı ile çöktürülmesini ifade eder. Birlikte çökelme yöntemi, çeşitli iyonik türler içeren bir katının, bir çözelti fazından ayrılmasını içerir. İdeal bir durum, bütün katyonların kantitatif (nicel çözümleme) ve eş zamanlı olarak çökmesidir (tamamen çökeltilerdeki bileşenlerin ayrıştırılması olmadan). Bununla birlikte, bu, birden fazla metal iyonu içeren çözeltilerin çoğunda çok nadir görülen bir durumdur. Çözelti öncü oksitlerin atomik seviyede iki veya üç metal iyonu ile metal iyonlarına homojen bir şekilde çökertilmesi neredeyse imkansızdır. Bu sorun, katyonları çözülmez yapan çöktürücü ajanların katılmasıyla azaltılabilir [29].

Birlikte çökelme yöntemi düşük maliyetlidir, daha az zaman alır ve endüstriyel uygulamalar için kolayca ölçeklenebilir. Ek olarak, yüksek reaksiyon sıcaklığı ve basıncı, tehlikeli çözücüler ve reaktiflerin kullanılmasını önleyen çevre dostu bir yöntemdir [30]. Bununla birlikte, partikül boyutunun ve manyetik özelliklerin birlikte çökmeyle kontrolü hala sınırlıdır. Birlikte çökelme yöntemi sırasında, reaksiyona birkaç eleman katılır. Bu nedenle; istenen boyut, şekil ve kompozisyonu elde etmek için proses ve parametreler dikkatlice kontrol edilmelidir. Çözelti pH'ı, reaksiyon sıcaklığı, karıştırma hızı, çözünen konsantrasyonu ve yüzey aktif madde konsantrasyonu gibi işlem koşulları dikkatli bir şekilde kontrol edilirse, istenen şekil ve boyutlarda partiküller üretilir [31].

2.4.2. Termal ayrışma yöntemi

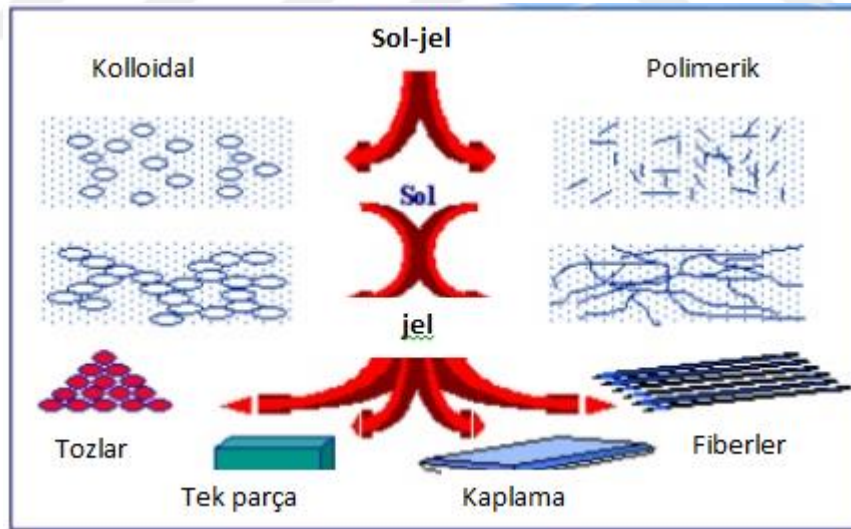
Termal ayrışma stabil monodispersiyonlu (homojen ve kararlı karışım) nanopartikülleri sentezlemek için yenilikçi bir yöntemdir. Geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında hızlı gelişen, daha net ve ekonomik bir araştırma alanıdır. Aynı zamanda monodispers (tek dağılım) metal nanopartikülleri sentezlemenin en kolay yollarından biridir. Ek olarak, nanoteknoloji araştırmalarında kontrollü bir nanometrik boyut ve şekil elde etmenin en büyük zorluklarına cevap vermektedir. Kontrollü nanometrik boyut elde etmek için dikkate alınması gereken diğer faktörler sentez süresi,

sıcaklık, reaktanların konsantrasyonları, stabilizatörler, yüzey aktif cisimleri ve yüzey aktif cisimlerinin tipleridir. Termal ayrışma yöntemi hammadde gerektirmeyen kolay bir yöntemdir. Termal ayrışma, az miktarda nanopartikül üreten biyolojik yöntemin aksine, büyük miktarda nanoparçacıkların bir kez üretilmesine izin verebilen bir yöntemdir. Termal ayrışma demir oksitlerin sentezlenmesi için en uygun yöntemlerden birisidir ve organik bazlı bir yöntemdir. Termal ayrışma, nanopartiküllerin morfolojisi, büyüklüğü ve monodispersiyonunun daha iyi ayarlanmasını sağlar. Bununla birlikte, pahalı, tehlikeli reaktiflerin/solventlerin ve yüksek reaksiyon sıcaklıklarının kullanılması, daha yeşil teknolojik uygulamalar için hala önemli dezavantajlardır [32].

2.4.3. Sol-jel yöntemi

Sol-jel işleminin endüstriyel uygulamaları 21. yüzyılın ortalarında Schott Glaswerke tarafından camlara kaplama üretimi ile ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, sol-jel bilimi daha sonra geliştirilmiş, 1981'den beri binlerce makale yayınlanmış ve sol-jel kimyası malzeme bilimi alanında yeni fırsatlar açmıştır [33].

İşlem, bir sıvı içinde 'sol' oluşumunu ve daha sonra bir ağ oluşturmak için sol parçacıkların bağlanmasını içerir (Şekil 2.9).

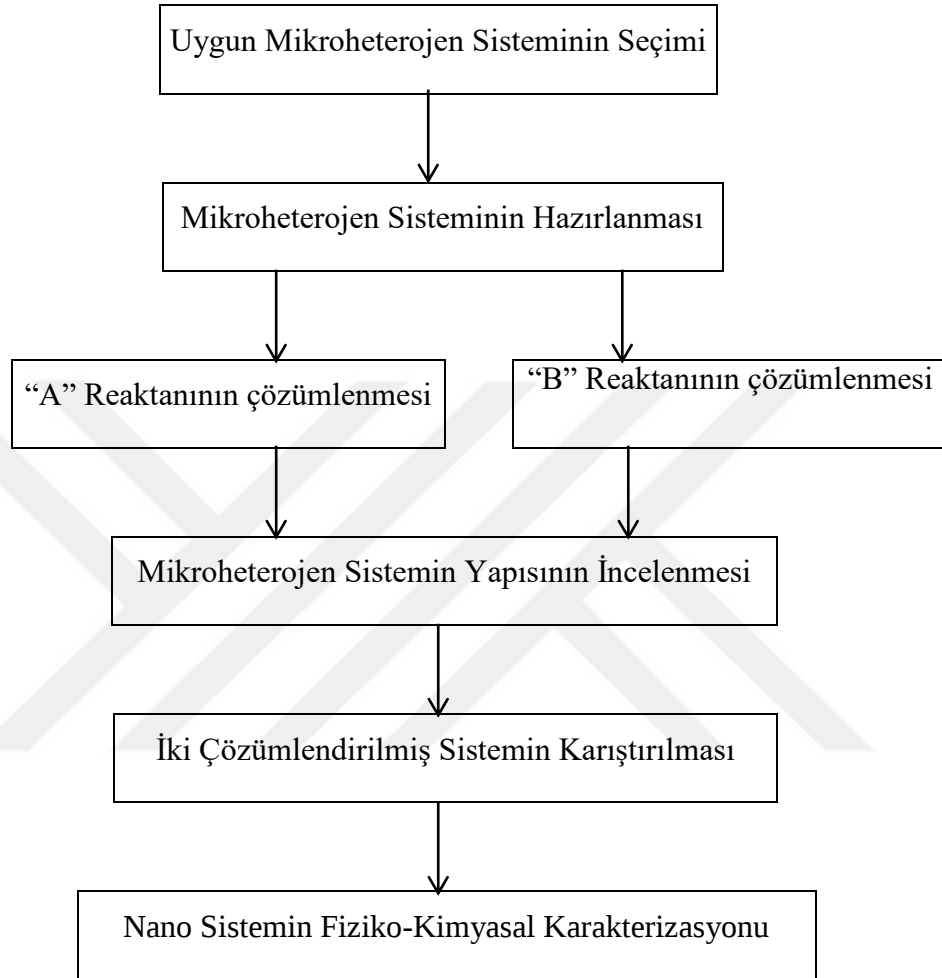


Şekil 2.9 Sol-jel yöntemi [34]

Düşük maliyetli bir kimyasal sentez işlemine dayalı yöntemdir, çok bileşenli malzemeler (cam, seramik, film, elyaf, kompozit malzemeler) dahil olmak üzere çok çeşitli nanomalzemelerin imalatında kullanılması mümkündür. Sentez adımlarındaki ilerlemelerle ölçeklendirilebilir hale getirilebilen çok yönlü bir nanofabrikasyon yöntemidir. Kolayca ölçeklendirilemez, genellikle sentezi ve sonraki kurutma adımlarını kontrol etmek zordur.

2.4.4. Mikroheterojen sistemler yöntemi

Nanopartiküllerin mikroheterojen sistemler yöntemi ile sentezlenmesi birbiri ardına gerçekleşen adımlar sonucunda olur. Mikroheterojen sisteme ait akış diyagramı Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Mikroheterojen sisteme ait akış diyagramı [6]

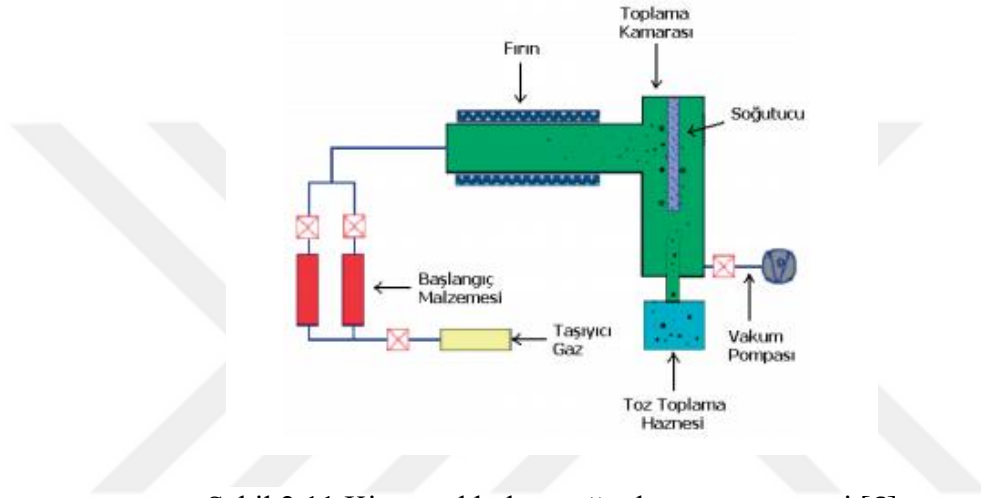
Mikroheterojen sistemi yönteminin en önemli adımları istenen nanomalzemeye göre uygun mikroheterojen sistemin seçilmesi, reaktanların çözülmesinden sonra yapılarının incelenmesi, karıştırma işlemi ve zaman bağımlılığından ortaya çıkan sistemin fiziko-kimyasal özelliklerinin karakterizasyonudur. Bu yöntem, metalik nanopartiküllerin ve demir içeren manyetik nanopartiküllerin sentezlenmesi için elverişlidir. Buna en genel örnek olarak manyetik $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ nanopartiküllerinin mikroheterojen sistem ailesinde bulunan sıvı kristaller içerisinde üretilmesi verilebilir [6].

2.4.5. Kimyasal buhar yoğunlaştırma yöntemi

Temel olarak gaz fazındaki malzemenin ısı parçalanması ile partiküle dönüşümüne dayanan yöntem ilk olarak 1994'de Almanya'da geliştirilmiş olup, yüksek miktarda

nanopartikül üretimi için ideal bir yöntemdir. Yöntemin en büyük avantajı farklı kimyasal içerikli başlangıç malzemelerinin ticari olarak kolaylıkla temin edilmesinden dolayı neredeyse her çeşit malzemenin geniş bir kimyasal bileşimde üretiminin mümkün olmasıdır. Bu yönteminde üretilen partikülün boyutu, morfolojisi ve kristalinetisi (materyal hacminin kristal yüzdesi) üzerine başlıca taşıyıcı gazın akış hızı, başlangıç malzemesinin kompozisyonu, işlem sıcaklığı, taşıyıcı gazın cinsi ve reaktör geometrisi etki etmektedir [6].

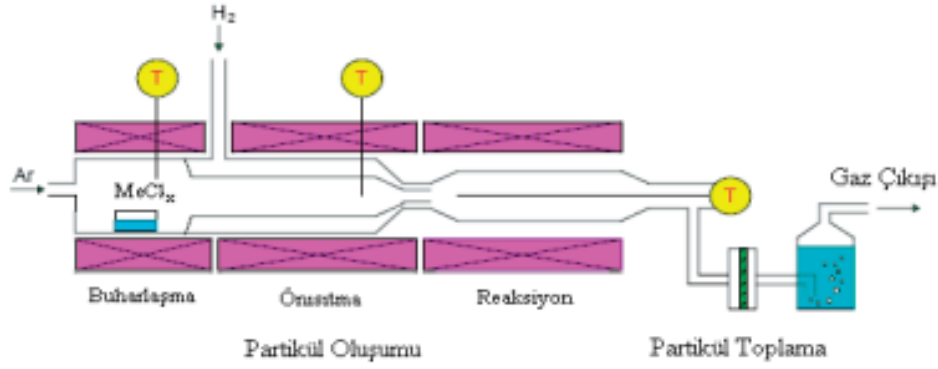
Kimyasal buhar yoğunlaştırma yönteminin aşamaları Şekil 2.11’de gösterilmiştir.



Şekil 2.11 Kimyasal buhar yoğunlaştırma yöntemi [6]

2.4.6. Hidrojen redüksiyonu yöntemi

Şekil 2.12’de görüldüğü gibi partikül oluşumu, partikül toplama ve gaz çıkışı aşamalarından oluşan hidrojen redüksiyon yöntemi gaz fazında redüksiyon ile metalik nanopartiküllerin üretimini gerçekleştiren bir yöntem olup, yapılan çalışmalar incelendiğinde özellikle demir grubu metal (Fe, Ni ve Co) nanopartiküllerinin laboratuvar ölçekli sentezlenmesinde kullanıldığı görülmektedir [6].



Şekil 2.12 Hidrojen redüksiyonu yöntemi [6]

Yukarıda açıklanan partikül üretim yöntemlerinden bazılarının avantajları ve dezavantajları Çizelge 2.3’ te belirtilmiştir.

Çizelge 2.3 Partikül üretim yöntemlerinden bazılarının avantajları ve dezavantajları [11]

Metodlar	Sentez	Reaksiyon Sıcaklığı (°C)	Reaksiyon periyodu	Çözücü	Yüzey aktif ajan	Boyut dağılımı	Yüzey kontrolü	Ürün miktarı
Birlikte çökeltme yöntemi	Basit, çevre şartlarında	20-90	dakikalar	Su	Gerekli, Reaksiyon esnasında yada reaksiyondan sonra	farklı	İyi değil	Yüksek
Termal parçalanma	Komplike, inert atmosferde	100-320	saatler, günler	Organik çözücü	Gerekli, Reaksiyon esnasında	aynı	Çok iyi	Yüksek
Mikroemülsiyon	Komplike, Çevre şartlarında	0-50	saatler	Organik çözücü	Gerekli, Reaksiyon esnasında	farklı	İyi	düşük
Hidrotermal sentez	Basit, yüksek basınçta	220	saatler, günler	Su ethanol	Gerekli, Reaksiyon esnasında	aynı	Çok iyi	orta

2.5. Nanopartiküllerin Güncel ve Gelişmekte Olan Uygulamaları

Nanopartiküller çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadırlar.

Nanopartiküller tıbbi, ticari ve ekolojik sektörler içerisinde belirli uygulamalarda çok aranan benzersiz elektriksel, mekanik, optik ve görüntüleme özelliklerini indükleyen fizikokimyasal özellikler gösterir [35, 36, 37]. Benzersiz ve yeni fonksiyonel özellikler gösteren nanopartiküller, biyolojinin yanı sıra biyolojik olmayan yapıların karakterizasyonu, tasarımı ve mühendisliği üzerine odaklanır. Çizelge 2.4’te nanopartiküllerin uygulama alanları gösterilmiştir.

Çizelge 2.4 Nanopartiküllerin uygulama alanları

Elektronik, Optoelektronik ve Manyetik Uygulamalar	Biyomedikal, İlaç ve Kozmetik Uygulamalar	Enerji, Katalizör ve Yapısal Uygulamalar
Kimyasal, mekaniksel cilalama	Anti-mikrobiyeller	Otomotiv katalizatörü
Elektro-iletken kaplamalar	MRG kontrast ajanları	Seramik membranlar
Manyetik akışkan contalar	Ortopedi ve implantlar	Yakıt pilleri
Çoklu-tabakalı seramik kondansatörler	Koruyucu güneş kremleri	Çizilmeye dayanıklı kaplamalar
Optik fiberler	Termal spreyci kaplamalar	Yapısal seramikler
Kuantum optik aygıtlar		Güneş pilleri

Nanoteknolojinin potansiyel faydaları mikroelettronik, havacılık ve ilaç endüstrisi gibi alanlarda birçok üretici tarafından yüksek ve düşük seviyelerde belgelenmiştir ve pazarlanabilir ürünlerdir [38]. Bugüne kadar nanoteknoloji tüketici ürünleri arasında, en büyük kategoriden sağlık spor ürünleri, ardından elektronik ve bilgisayar kategorisinin yanı sıra ev ve bahçe kategorisi de bulunmaktadır. Nanoteknoloji, gıda işleme ve paketlenme de dahil olmak üzere birçok sektörde devrim olarak lanse edilmiştir.

Uygulama alanlarından bazı önemlileri aşağıdaki başlıklar altında açıklanmıştır.

2.5.1. İlaç uygulamaları

Nanopartiküller, ilaçların optimum dozaj aralığında verilme kabiliyetlerine, ilaçların terapötik etkinliğinin artmasına, zayıf yan etkilerin ve hasta uyumunun geliştirilmesine bağlı olarak bu alanda ilgi görmüştür [39]. Demir oksit olan Fe_3O_4 ve γ - Fe_2O_3 , insanlarda demir sıkıntısı tedavisi olarak ve MRI kontrast maddeleri olarak kullanılabilecek iki ABD gıda ve ilaç uygulaması (FDA) onaylı manyetik malzemedir. [40]. Biyolojik ve hücre görüntüleme uygulamaları için olduğu kadar foto termal terapötik uygulamalar için de etkili kontrast elde etmek için nanopartiküllerin seçimi optik özelliklerine dayanmaktadır. Geçtiğimiz yıllarda, etkili ilaç dağıtım cihazları biyolojik olarak parçalanabilen nanopartiküllerin geliştirilmesine büyük ilgi gösterilmiştir [41]. İlaç

dağıtım araştırmalarında, ilaçları hedef bölgeye etkili bir şekilde verebildikleri için çeşitli polimerler kullanılmıştır, böylece yan etkileri en aza indirirken terapötik yarar da arttırılmaktadır. Yarı iletken ve metalik nanopartiküllerin çoğu, yüzey plazma rezonansı ile arttırılmış ışık saçılımı ve absorpsiyonları nedeniyle kanser teşhisi ve tedavisi için büyük bir potansiyele sahiptir. Örneğin Au nanopartiküller, ışığı güçlü bir şekilde absorbe ederek, kanserin selektif lazer foto termal tedavisi için yararlanılabilecek lokalize ısıya verimli bir şekilde dönüştürür [42].

Nanopartiküllerin antineoplastik (sitotoksik, hücreye toksik şekilde etki edip hücreyi öldüren ya da fonksiyonunu durduran maddeler) etkisi de tümör büyümesini inhibe etmek için etkili bir şekilde kullanılır. Ag nanopartikülleri, yara pansumanlarında, kateterlerde (bir vücut boşluğuna, damarına veya kanalına sokulabilen bir tüptür) ve çeşitli ev eşyalarında antimikrobiyal aktivitelerinden dolayı giderek daha fazla kullanılmaktadır [43]. Antimikrobiyal ajanlar tekstil, ilaç, su dezenfeksiyonu ve gıda ambalajlarında son derece hayati öneme sahiptir. Bu nedenle, inorganik nanopartiküllerin antimikrobiyal özellikleri, biyolojik sistemler için nispeten toksik olan organik bileşiklere kıyasla daha güçlü etkiye sahiptir. [44]. Au ve Ag nanopartiküller, mikrobik türlerin seçici olarak üstesinden gelmek için çeşitli gruplarla işlevselleştirilir. TiO_2 , ZnO, $BiVO_4$ Cu ve Ni bazlı nanopartiküller uygun antibakteriyel etkinliklerinden dolayı bu amaç için kullanılmıştır [1, 45, 46, 47, 48].

2.5.2. İmalat ve malzeme uygulamaları

Nanoteknolojiyle ilgili en ilginç kısımlardan birisi nanometre boyutuna yaklaşıldığında malzemelerin özelliklerinin değişebilmesidir. Malzeme bilim adamları, bu değişen özellikleri anlamak ve kontrol etmek, yeni uygulamalar bulmak için çalışmaktadırlar.

Rice Üniversitesi'ndeki araştırmacılar, atomik olarak ince bor nitrür tabakalarının oksidasyonu önlemek için bir kaplama olarak kullanılabileceğini göstermişlerdir. Bu kaplamanın hafif olması, ancak jet motorları gibi zorlu ortamlarda çalışan parçaları kaplamak için kullanılabileceğini öngörmektedirler [49].

ArcelorMittal (Merkezi Lüksemburg şehrinde bulunan çok uluslu bir çelik üretim şirketidir), nanoparçacıklar içeren bir tür çelik üretmektedir. Bu malzeme daha ince ölçü, daha hafif kirişler ve plakalar yapmalarını sağlamaktadır. Bu çelik kirişler ve plakalar alüminyumla yaklaşık aynı ağırlıktadır, ancak daha düşük bir maliyetle

üretilebilmektedir. ArcelorMittal bu hafif çeliği otomobil üreticilerine pazarlamaktadır [49].

Araştırmacılar elmasla kaplanmış karbon nanotüplerden iplik üretmişlerdir. Bu malzemenin, yarıçap veya güneş enerjisi endüstrileri için silikon külçeleri gofret olarak kesmek gibi yüksek maliyetli malzemeleri keserken üretilen atığı azaltan ince testere bıçaklarında kullanılabileceğine inanmaktadırlar.

IMEC ve Nantero, karbon nanotüpleri kullanan bir bellek yongası geliştirmektedir. Bu bellek, nanotube tabanlı kalıcı rastgele erişim belleği için NRAM olarak etiketlenmiştir ve yüksek yoğunluklu flash belleklerin yerine kullanılması amaçlanmıştır [49].

Hewlett Packard, üretime memristor adı verilen bir bellek cihazı getirmek için Hynix Semiconductor ile birlikte çalışmaktadır. Memristor'lar titanyum dioksit ile kaplanmış nanoteller kullanırlar ve flash bellekten daha iyi bellek yoğunluğuna sahip olması beklenmektedir [49].

Organik boya molekülleri ve değerli metal nanopartiküllerinden oluşan rezonans enerji transferi sistemi, yakın zamanda biyo fotoniklere ve malzeme bilimine büyük ilgi göstermiştir [50]. Au ve Ag dahil olmak üzere metal nanopartiküller eşsiz plazma rezonansı özelliklerinden dolayı, kimyasal sensörler ve biyosensörler de dahil olmak üzere çok çeşitli uygulamalarda kullanılmıştır [1, 51].

2.5.3. Çevresel uygulamalar

Nanoteknolojinin çevresel uygulamalarının çoğu üç kategoriye ayrılır:

- Çevreye zarar vermeyen sürdürülebilir ürünler (örneğin, yeşil kimya veya kirliliğin önlenmesi).
- Tehlikeli maddelerle kirlenmiş malzemelerin düzeltilmesi ve
- Çevresel aşamalar için sensörler [52].

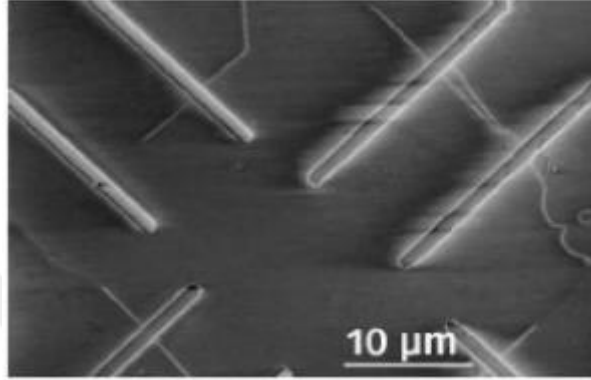
Çevresel etkileri olan pek çok nanoteknoloji uygulaması arasında, kirlenmiş yeraltı suyunun sıfır-valent demir içeren nanoparçacıklar kullanılarak düzeltilmesi, önemli faydaları olan, hızla ortaya çıkan bir teknolojinin en belirgin örneklerinden biridir [1, 52].

2.5.4. Elektronikteki uygulamalar

Nanoteknoloji, elektronik endüstrisi için bir araç takımı gibidir. Nanoteknoloji, entegre devrelerde kullanılan transistörlerin boyutunu azaltarak elektronik bileşenlerin

yeteneklerini geliştirmektedir, araştırmacılar inç kare başına bir terabayt bellek yoğunluğu öngörülen bir tür bellek geliştirmekte ve bu da belleğin yoğunluğunu artırmaktadır. Elektronik cihazlardaki ekranları iyileştirerek güç tüketimini, ekranların ağırlığını ve kalınlığını azaltmaktadır.

Bir nanotransistör, bir metrenin milyarda biri büyüklüğüne yakın nano ölçekte elektronik sinyal görevi gören transistördür.



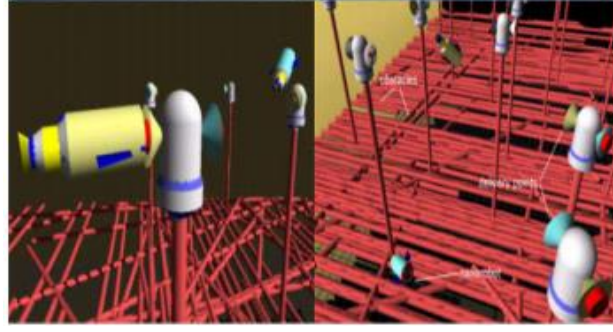
Şekil 2.13 Nanotransistör [53]

Bir kağıt pil, karbon nanotüp ve nano kompozit kağıdın birleştirilmesiyle oluşturulan esnek, ultra ince enerji depolama ve üretim cihazıdır.



Şekil 2.14 Kağıt pil [53]

Moleküler ürünlerin mühendisliğinin nano robotlar olarak adlandırılan robotik cihazlar tarafından yapılması gerekir. Bir nano robot aslında nano metrede kontrol edilebilir nano ölçek boyutlarından oluşan bir makinedir. Nano robotlar, tıp alanında büyük bir potansiyele sahiptir.



Şekil 2.15 İlaç dağıtımında kullanılan nano robotlar [53]

2.5.5. Enerji alanındaki uygulamalar

Son dönemlerde yapılan çalışmalar, yenilenebilir olmayan doğaları nedeniyle önümüzdeki yıllarda fosil yakıtların sınırlılığı ve kıtlığı konusunda bizi uyarmıştır. Bu nedenle, bilim adamları ucuz, kolayca ulaşılabilir kaynaklardan yenilenebilir enerji üretmek için araştırma stratejilerini değiştirmektedirler. Nanopartiküllerin geniş yüzey alanları, optik davranışları ve katalitik yapıları nedeniyle bu amaç için en iyi aday olduğu düşünülmektedir.

Enerji üretiminin verimliliğini artırmak veya enerji üretmek için yeni yöntemler geliştirmede nanoteknoloji çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır.

Araştırmacılar, nanoparçacıklar üzerinde yoğunlaşan güneş ışığının yüksek enerji verimliliği ile buhar üretebileceğini göstermişlerdir. " Güneş buhar cihazı " su arıtma veya diş aletlerini dezenfekte etme gibi uygulamalar için gelişmekte olan ülkelerde elektrik olmayan alanlarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Başka bir araştırma grubu, çalışan santrallerde kullanılmak üzere buhar üretmek için güneş ışığını kullanmayı amaçlayan nanoparçacıklar geliştirmektedir [54].

Yeni ampuller kırılmaz ve kompakt floresan ampullerden iki kat daha verimli olma avantajına sahiptir. Nano boyutlu yapılar kullanarak yüksek verimli LED'ler geliştirilmiştir. Geliştirilmekte olan bir başka fikir, geleneksel filamanı, atık kızılötesi radyasyonun bir kısmını görünür ışığa dönüştüren kristal malzeme ile sararak akkor ampulleri güncellemektir [54].

Yel değirmeni bıçakları yapmak için epoksi içeren karbon nanotüpler kullanılmaktadır. Nanotüp dolgulu epoksi kullanılarak daha güçlü ve düşük ağırlıklı bıçakların yapılması mümkündür. Ortaya çıkan daha uzun bıçaklar, her bir yel değirmeni tarafından üretilen elektrik miktarını artırır [54].

Araştırmacılar, hücrenin kenarları farklı sıcaklıklarda olduğunda elektrik üreten termo hücreler oluşturmak için nanotüp tabakalarını kullanmışlardır. Bu nanotüp levhaları , genellikle boşa harcanan ısıdan elektrik üretmek için arabanızın egzoz borusu gibi sıcak boruların etrafına sarılabilir [54].

Araştırmacılar, hidrojenin bir yakıt deposundaki grafen yüzeyine bağlanma enerjisini arttırmak için grafen tabakaları hazırlamışlardır, bu da daha yüksek miktarda hidrojen depolaması ve dolayısıyla daha hafif bir yakıt deposuyla sonuçlanmıştır. Diğer araştırmacılar, sodyum borohidrür nanopartiküllerinin hidrojeni etkili bir şekilde depolayabildiğini göstermiştir [54].

Araştırmacılar, giysilere dokunabilecek kadar esnek piezoelektrik nano fiberler geliştirmişlerdir. Fiberler, cep telefonunuzu ve diğer mobil elektronik cihazlarınızı çalıştırmak için normal hareketi elektriğe dönüştürebilir [54].

Araştırmacılar, sürtünmeyi önemli ölçüde azaltan inorganik buckyball'lar (Tamamen 60 karbon atomuyla meydana gelmiş bir tür moleküldür, C_{60}) kullanarak yağlayıcılar geliştirmişlerdir [54].

Rice Üniversitesi'ndeki araştırmacılar, şu anda elektrik iletim şebekesinde kullanılan kablolardan önemli ölçüde daha düşük direnç gösterecek karbon nanotüpler içeren teller geliştirmektedirler. Richard Smalley, elektrik dağıtım şebekesini kökten değiştirmek için nanoteknoloji kullanımını öngörmüştür [54].

Şirketler, geleneksel güneş pillerinden çok daha düşük maliyetle üretilen nanoteknoloji ile güneş pilleri geliştirmiştir [54].

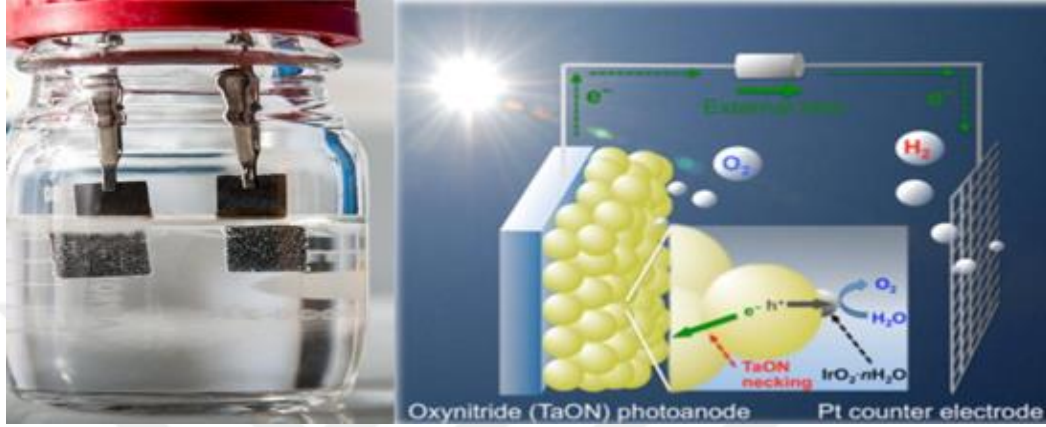
Şirketler şu anda nanomalzemeler kullanarak piller geliştirmektedir. Böyle bir pil, on yıllarca rafta oturduktan sonra yeni kadar iyi olacaktır. Başka bir pil, geleneksel pillerden çok daha hızlı şarj edilebilir [54].

Nanoteknoloji, yakıt hücrelerinde kullanılan katalizörlerin maliyetini azaltmak için kullanılmaktadır. Bu katalizörler, metanol gibi yakıttan hidrojen iyonları üretir. Nanoteknoloji, hidrojen iyonlarını oksijen gibi diğer gazlardan ayırmak için yakıt hücrelerinde kullanılan membranların verimliliğini artırmak için de kullanılmaktadır [54].

Nanoteknoloji, düşük dereceli hammaddelerden yakıt üretimini ekonomik hale getirerek dizel ve benzin gibi fosil yakıt eksikliğini giderebilir. Nanoteknoloji aynı

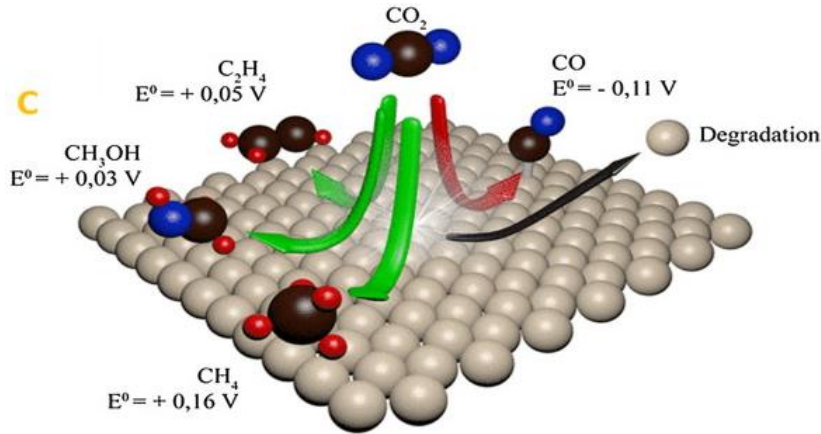
zamanda motorların kilometresini arttırmak ve normal hammaddelerden yakıt üretimini daha verimli hale getirmek için de kullanılabilir [54].

Özellikle fotokatalitik uygulamalarda, nanopartiküller fotoelektrokimyasal ve elektrokimyasal su bölmesinden (Şekil 2.16) enerji üretmek için yaygın olarak kullanılmaktadır [55, 56, 57].



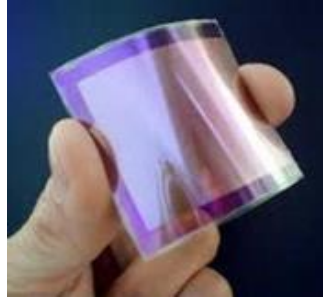
Şekil 2.16 Su bölme [1]

Su ayırmanın yanında, elektrokimyasal CO₂ yakıt öncüllerine (Şekil 2.17), güneş pillerine ve piezoelektrik jeneratörlerine indirgeme, enerji üretmek için gelişmiş seçenekler de sunmuştur [1, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64].



Şekil 2.17 CO₂ indirgemesinden enerji üretimi yaklaşımları [1]

Nanopartiküller, enerjiyi nano ölçekli düzeyde farklı formlara ayırmak için enerji depolama uygulamalarında da kullanılmaktadırlar [65, 66, 67, 68]. Son zamanlarda, enerji üretmek için sıra dışı bir yaklaşım olan piezoelektrik kullanarak (Şekil 2.18) mekanik enerjiyi elektriğe dönüştürebilen nano jeneratörler yaratılmıştır [1, 69].



Şekil 2.18 Piezoelektrik aktüatörler [1]

2.5.6. Mekanik endüstrideki uygulamalar

Nanopartiküller mekanik endüstrilerde özellikle kaplama, yağlayıcılar ve yapıştırıcı uygulamalarında birçok uygulama sunabilir. Ayrıca, bu özellik çeşitli amaçlar için mekanik olarak daha güçlü nano cihazlar elde etmek için yararlı olabilmektedir. Tribolojik özellikler (sürtünme, aşınma ve yağlama konularını inceleyen bilim ve teknoloji dalı), nanopartiküllerin mekanik kuvvetlerini arttırmak için metal ve polimer matrisine gömerek nano ölçekli düzeyde kontrol edilebilir. Çünkü yağlanmış temas bölgesindeki nanopartiküller çok düşük sürtünme ve aşınma sağlayabilir. Ek olarak, nanopartiküller düşük sürtünme ve aşınmayı da etkileyebilecek ve dolayısıyla yağlama etkisini artırabilecek iyi kayma ve delaminasyon özellikleri sunar [70]. Kaplama, tokluk ve aşınma direncini geliştirdiği için güçlü mekanik özelliklere yol açabilir. Alümina, Titania ve karbon bazlı nanopartiküller, kaplamalarda istenen mekanik özellikleri elde ettiklerini başarılı bir şekilde göstermiştir [71].

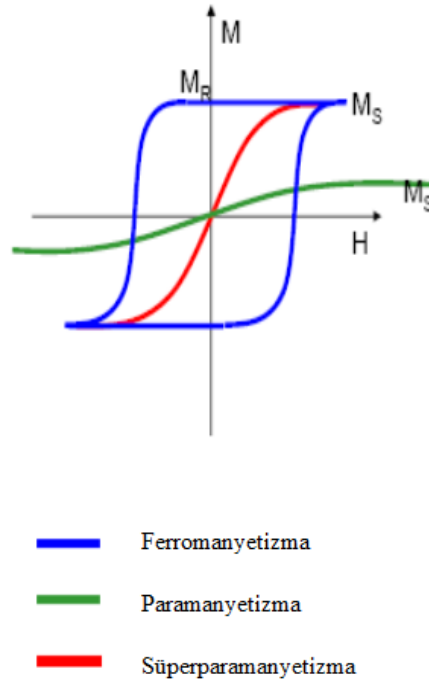
2.6. Manyetik Nanopartiküller

Bazı maddeler çok kolay mıknatıslanabilir, bu özelliklerine ferromanyetizma denilmektedir. Başlıca ferromanyetik elementler demir, nikel ve kobalttır. Ferromanyetik malzemeler zayıf manyetik alanda bile manyetik doygunluğa ulaşabilirler. Histerezis ferromanyetik malzemelere ait bir özelliktir. Bu malzemelere dışarıdan bir manyetik alan uygulandığında malzeme yapısında bazı değişimler meydana gelir ve manyetik alan kaldırılmasına rağmen malzeme manyetik özellik göstermeye devam etmektedir. Kritik sıcaklık (Curie sıcaklığı) adı verilen belli bir sıcaklık değerinde ferromanyetizma, paramanyetizmaya dönüşür.

Paramanyetik maddelere bir manyetik alan uygulanması halinde, üzerine manyetik moment doğrultusunu almaya zorlayacak biçimde bir kuvvet etkir. Manyetik alan kaldırıldığında da kalıcı manyetizasyon göstermezler. Fe, Ni, Co ve alaşımlarında görülür.

Eğer parçacık yeterince küçükse ve sıcaklık yeterince yüksekse parçacık süperparamanyetik hale gelir. Süperparamanyetizma durumunda kalıcı manyetizasyon (M_r) ve koersivite (M_s) değerleri sıfırdır. Manyetik alanda hemen mıknatıslanan süperparamanyetik partiküller, manyetik alan kaldırıldığı durumda manyetizasyonlarını kaybetmekte ve başlangıçtaki durumlarına geri dönmektedirler.

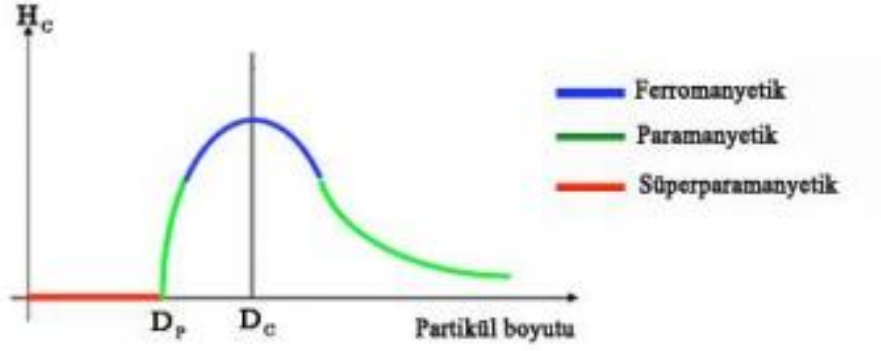
Ferromanyetik, paramanyetik ve süperparamanyetik malzemelerin manyetizasyon eğrisi Şekil 2.19’da gösterilmiştir.



Şekil 2.19 Manyetizasyon eğrisi ve histerezis [11]

Bir sıvı içerisinde süperparamanyetik dispersiyonlar oluşturan manyetik nanopartiküller 1’ den 100 nm’ ye değişen boyutlarda metal ve metal oksitlerden oluşmaktadır.

Manyetik nanopartiküllerinin sentezi için pek çok yöntem geliştirilmiş olmasına rağmen, bu nanopartiküllerin çeşitli alanlarda başarılı olması, partiküllerin farklı koşullar altında kararlılığını korumasına bağlıdır. Birçok uygulamada metaryale bağlı olarak 10-20 nm boyutlarında olan nanopartiküller en iyi performansı göstermektedirler. Manyetik partiküllerin boyut değişikliğine bağlı olarak manyetik alana verdiği cevap Şekil 2.20’de gösterilmiştir.



Şekil 2.20 Manyetik partiküllerin boyut değişikliğine bağlı olarak manyetik alana verdiği cevap [72]

Manyetik nanopartiküllerin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin belirlenip anlaşılması için pek çok çalışma yapılmıştır. Kuantum etkisi ve geniş yüzey alanından dolayı manyetik nanopartiküller süperparamanyetik özellik sergilemektedir [72]. Manyetik nanopartiküller, yüksek doygunluğa sahip oda sıcaklığında süperparamanyetik davranış yoluyla manyetik alana karşı tepkilerinden dolayı en çok çalışılan malzemelerdir [73].

Her nanopartikülün belli bir çalışma alanı vardır ve kritik sıcaklığın üzerinde manyetik nanopartiküller süperparamanyetik özellik sergilerler. Bu özelliklerinden dolayı sabit bir manyetik momente sahiptirler ve dışarıdan bir manyetik alan uygulandığında aynı yöne geçme eğilimindedirler. Bu özelliklerinden dolayı, süperparamanyetik nanopartiküller biyomedikal uygulamalar için oldukça önemlidir.

Nanopartiküllerin en önemli dezavantajı ise partiküllerin uzun sürede kararlılıklarını koruyamamalarıdır. Parçacık boyutunun kesin kontrolü, manyetik nanopartiküllerin sentezindeki ana zorluktur [74, 75]. Ayrıca metalik nanopartiküller reaktif oldukları için hava ile uzun süre temasa maruz kaldıklarında oksitlenebilirler. Bundan ötürü çoğu uygulamalarda manyetik nanopartiküller saf olarak sentezlendikten sonra aşınma ve oksitlenmeye karşı kararlı yapılarını korumak için yüzey aktif maddeler ve polimerler gibi organik malzemeler ya da silika ve karbon gibi inorganik tabakayla kaplanırlar. Manyetik nanopartiküllerin kararlılığı korunduktan sonra istenilen uygulamalara bağlı olarak çeşitli ligandlar ile foksiyonelleştirilebilir [76].

Manyetik nanopartiküller, benzersiz özellikleri nedeniyle araştırmacılar, bilim adamları ve mühendisler için ilginç malzemelerdir. Manyetik nanopartiküller; optik [64], elektronik [77], kimyasal, mekanik, biyoteknoloji ve biyotıp alanlarında

kullanılmaktadırlar. Biyoteknoloji ve biyotıp alanlarında; manyetik rezonans görüntülemeye (MRI), ilaç taşıyıcısı olarak, ilaç salınımında, kanser tedavisinde ve hyperthermia tedavisinde kullanılmaktadırlar.

2.7. Manyetik Nanopartikül Çeşitleri

Manyetik nanopartikül çeşitleri aşağıdaki gibidir [72]:

- Demir oksitler: Fe_3O_4 (manyetit) ve $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (maghemit)
- Toz metalleri: Fe ve Co,
- Spinel yapıda ferrimagnetler (ferritler): MnFe_2O_4 , CoFe_2O_4 , MgFe_2O_4 ve $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$
- Alaşımlar: CoPt_3 ve FePt

Çizelge 2.5’ te geçiş metal ve metal oksitlerin manyetik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.5 Geçiş metalleri ve metal oksitlerin manyetik özellikleri [78]

Malzemeler	Doygunluk Mıknatıslığı (Ms) (emu/cm^3) 298 K	Curie Sıcaklığı (K)
Ni	485	631
Co (Kübik)	1400-1422	1404
Fe (Kübik)	1700-1714	1043
Fe_2O_3	394	820-986
Fe_3O_4	480-500	858

2.7.1. Demir oksit nanopartikülleri

Nano boyuttaki demir oksit partikülleri yaklaşık 40 yıldır in vitro (hücre dışında, yapay ortamda) tanı çalışmalarında kullanılmaktadır [72]. Demir oksit nanopartiküller uygulamalarda en çok tercih edilen manyetik partiküller arasında yer almaktadır. Başta $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ve Fe_3O_4 olmak üzere birçok demir oksit partikülü yapılan çalışmalarda yer almaktadır.

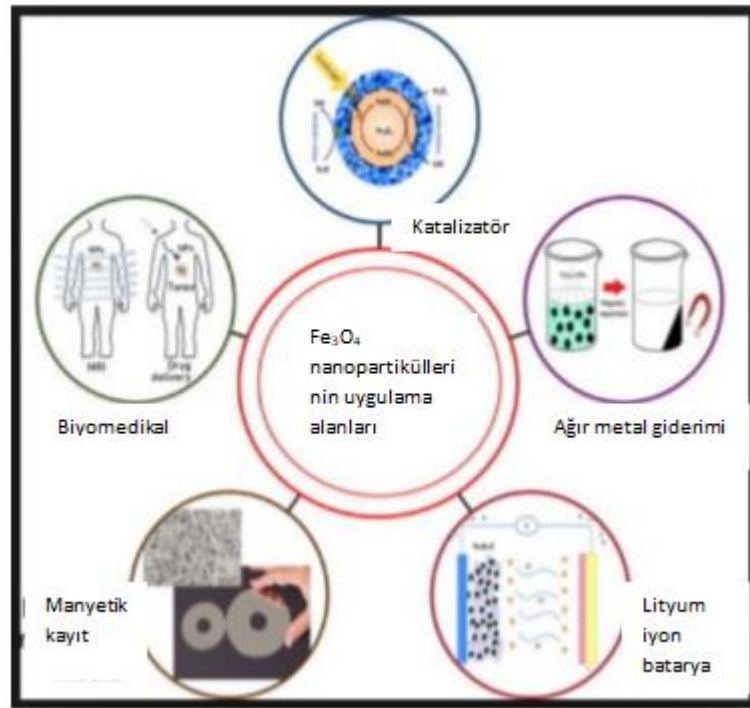
2.7.1.1. Manyetit (Fe_3O_4)

Manyetit nanopartikülleri, tıbbi ve endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu uygulamalardan dolayı, son 20 yılda manyetit nanopartikülleri üzerine birçok çalışma yapılmıştır.

Fe_3O_4 manyetik nanopartiküller süperparamanyetik olması, yüksek zorlama ve düşük Curie sıcaklığı özellikleri nedeniyle yoğun olarak araştırılmıştır. Manyetit nanoparçacıkların manyetik doyma değerleri deneysel olarak 30-50 emu / g aralığındadır.

[26]. Güçlü mıknatıslanma, iyi biyoyumluluk, yüksek dayanıklılık, düşük toksisite ve düşük fiyat gibi spesifik özelliklere sahip manyetit nanoparçacıkları çok çeşitli uygulamalarda kullanılır [79]. Bu karakterlere ek olarak, Fe_3O_4 manyetik nanopartiküller toksik değildir ve biyoyumludur. Biyosensörlerde [80] manyetik depolama aygıtlarında [81], manyetik rezonans görüntüleme, manyetik hedefli ilaç iletimi ve kontrast madde gibi tıbbi uygulamalarda [79, 82], ses hoparlörlerinde [83], ağır metal iyonlarının ayrılmasında [84], [85], bir conta olarak, manyetik mürekkepler, katalizörler [86] ve diğer birçok uygulamada kullanılmaktadırlar [87].

Fe_3O_4 nanopartiküllerinin uygulama alanları Şekil 2.21’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.21 Fe_3O_4 nanopartiküllerinin uygulama alanları

2.7.2. Spinel yapıda ferrimagnetler: MnFe_2O_4 , CoFe_2O_4 , MgFe_2O_4 ve $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$

Literatür taraması, altıgen ve spinel ferritlerin, mikrodalga cihazlarında, katalizörlerde, kalıcı mıknatıslar ve manyetik kayıt uygulamaları da dahil olmak üzere çeşitli alanlarda potansiyel uygulamalarından dolayı önemli ve artan bir ilgi kazandığını ortaya koymaktadır [88].

Yıllar boyunca, spinel tipi ferrit nanoparçacıkları [MFe_2O_4 , burada M (II) bir d-blok geçiş metalidir], nanometre büyüklüğü, geniş yüzey alanı/hacim oranı, süperparamanyetik davranış ve yüksek doygunluklu mıknatıslanma gibi üstün özellikleri nedeniyle nanobilim ve nanoteknolojinin ön saflarında yer almıştır. Bu nanomalzemeler sınıfı, biyomedikal,

çevresel iyileştirme, kataliz, ve yüksek yoğunluklu manyetik depolama gibi birçok araştırma alanında yeni ufuklar kazanmıştır. MFe_2O_4 nanopartikülleri, sentez işlemi sırasında tasarlanabilen spesifik fizikokimyasal ve manyetik özelliklere sahiptir [89].

Ferrit manyetik malzemeler, kristalografik yapılarına dayanarak altıgen, kübik ve ortorombik ferritler olarak sınıflandırılabilir. Hem kübik MFe_2O_4 ($M = Mn^{+2}, Ni^{+2}, Fe^{+2}, Co^{+2}$ veya Mg^{+2}) hem de ortorombik MFe_2O_4 ($M = Ba^{+2}$ veya Ca^{+2}) mikroelektronik uygulamaları için umut verici manyetik malzemelerdir. $MgFe_2O_4$ gibi kübik ferritler, iyi bilinen spinel yapılı manyetik malzemelerdir.

Manyetik olarak yumuşak davranış sergilerler ve kolayca mıknatıslanabilirler ve manyetikliği giderilebilirler. Genel olarak ortorombik $CaFe_2O_4$ nanoparçacık, oda sıcaklığında süperparamanyetiktir. Bununla birlikte ortorombik $BaFe_2O_4$, oda sıcaklığında zayıf ferromanyetizma gösterir [90].

Kobalt ferritin ($CoFe_2O_4$) manyetik spinel ferritlerine odaklanan farklı çalışmalar bu bileşiklerin, güçlü anizotropi, büyük doygunluk mıknatıslanma ve benzeri gibi ilginç özelliklere sahip olduğunu ortaya koymuştur [88].

Baryum hexaferrite ($BaFe_{12}O_{19}$), büyük teknik öneme sahip iyi bilinen bir kalıcı mıknatıs olup, son birkaç on yılda yoğun bir ilgi görmüştür. $BaFe_{12}O_{19}$ bileşiği, c eksen boyunca oldukça büyük kristal anizotropiye sahip altıgen bir yapıya sahiptir. Sonuç olarak, Baryum ferrit yüksek içsel zorlama (6700 Oe), büyük doygunluk mıknatıslanma (72 emu/g) ve yüksek Curie sıcaklığı (450°C) ve dalga emici özelliklere sahip malzemelerdir [91].

Öte yandan, bazı çalışmalar $BaFe_{12}O_{19}$ 'in düşük maliyet, mükemmel kimyasal stabilite, düşük yoğunluklu, yüksek manyeto-kristalin alan, yüksek elektrik direnci, yüksek doygunluklu mıknatıslanma ve yüksek manyetik zorlama dahil olmak üzere mükemmel özellikleri nedeniyle sert manyetik baryum hexaferritlerinin önemini vurgulamıştır.

Bununla birlikte, bildirilen çalışmalar ferritlerin tek başına mevcut teknolojik hedeflerle ilgili tüm gereklilikleri yerine getiremediğini vurgulamaktadır. Bu nedenle, gereksinimleri karşılamak için kompozitler ve nanokompozitler gibi karışık ferritlerin sentezlenmesi gerekmektedir [88].

3. MALZEME VE METOT

3.1. Partikül Sentezi

Partiküllerinin büyüklüğü ve şekli genellikle sentez usulüyle kontrol edilir.

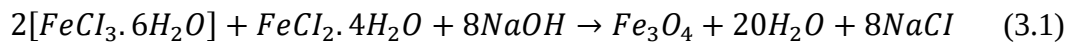
Birlikte çökelme, demir oksitleri (Fe_3O_4 veya $\gamma-Fe_2O_3$) sulu Fe^{+2} / Fe^{+3} tuz çözeltilerinden oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıklarda atıl atmosfer altında bir baz ilave ederek sentezlemenin kolay ve elverişli bir yoludur. Manyetik nanopartiküllerin büyüklüğü, şekli ve bileşimi, kullanılan tuzların türüne (örneğin kloritler, sülfatlar, nitratlar), Fe^{+2} / Fe^{+3} oranına, reaksiyon sıcaklığına, ortamın pH değerine ve iyonik kuvvetine bağlıdır. Bu yöntemde, aynı sentezleme koşulları sağlanırsa, sentezlenen manyetit partiküllerin kalitesi tamamen tekrarlanabilir.

3.1.1. Demir oksit partiküllerinin sentezi

Temel olarak belirli oranlarda $FeCl_3$ ve $FeCl_2$ tuzları, bazik ortamda farklı pH değerinde çözeltiler hazırlanarak demir oksit partikülleri sentezlenmiştir. Oksidasyonu önlemek ve biyouyumluluğu sağlamak için partiküller, oleik asit veya lorik asitle kaplanmıştır. Oleik asitle yapılan deneyler sonucunda manyetit nanopartikülleri üretilmiştir. Lorik asitle yapılan deneylerde partiküller; termodinamik olarak stabil bir malzeme formunu üretmek için dakikada $20^\circ C$ hızda $500^\circ C$, $700^\circ C$ ve $900^\circ C$ ye kadar ısıtılmıştır ve bu sıcaklıklarda 1 saat boyunca hava atmosferinde kalsine edilmiştir.

3.1.1.1. Oleik asit kullanılarak sentezlenen demir oksit partikülleri

Denklem 3.1' de verilen kimyasal tepkime esas alınarak deneysel uygulamaların kimyasal bileşimi belirlenmiştir.



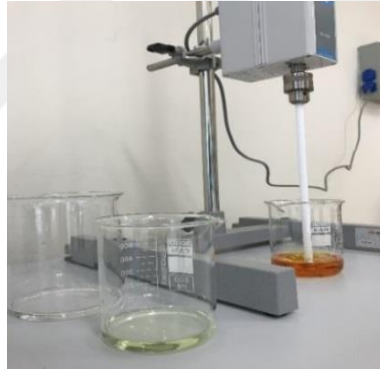
Yukarıdaki tepkimeye göre uygulamalarda kullanılacak çözeltinin kimyasal bileşimi oluşturulmuş, katalizör olarak kullanılan NaOH' in çözeltideki derişikliğinde değişiklikler yapılmıştır. Oluşacak partiküllerin havayla temasını kesip okside olmasını önlemek ve biyouyumluluğunu sağlamak için oleik asitle kaplama yapılmıştır. Oleik asitin çözeltiliye eklenme sırası demir tuzlarından sonra veya NaOH karışımından sonra olacak şekilde farklı uygulamalar yapılmıştır. Böylece NaOH' in çözeltiye hangi sırada eklenmesi gerektiğine karar verilmiş ve çözelti pH' ının sentezlenecek partiküllerin özelliklerine etkisi de incelenmiştir.

Bütün kimyasalların miktarını belirlemede hassas terazi kullanılmıştır.



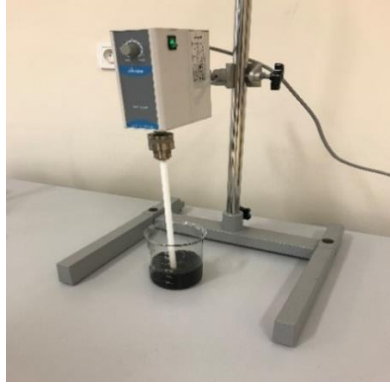
Şekil 3.1 Hassas terazi

Partikül sentezinde öncelikle $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ bileşikleri belirlenen miktarda saf suda ayrı ayrı 15 dk mekanik karıştırıcı (MS 3040) kullanılarak karıştırılıp çözülmüştür. İki demir tuzu çözeltisi mekanik karıştırıcı çalışır durumdayken birleştirilerek 30 dk karıştırılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Mekanik karıştırıcıda karıştırma

Uygulamaya bağlı olarak bu aşamada oleik asit uygun oranlarda eklenmiştir. Yine her uygulamada farklı olmak üzere değişik miktarlarda NaOH, mekanik karıştırıcı çalışır durumdayken çözeltiye damla damla eklenmiştir. Eş zamanlı olarak siyah veya kahverengi çökeltilerin oluştuğu gözlemlenmiş ve karıştırma 3 saat boyunca devam etmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Siyah çökelti oluşumu ve üç saat karıştırma

3 saat sonunda mekanik karıştırıcı kapatılmıştır, beherin alt tarafına yerleştirilen mıknatıs yardımıyla partiküllerin hızlı çökmesi sağlanmıştır. (Şekil 3.4)



Şekil 3.4 Mıknatıs yardımıyla partiküllerin çökmesi

Şekil 3.5’ te görüldüğü gibi her bir uygulamada çözeltinin pH’ ı turnusol kağıdı ile ölçülmüştür.



Şekil 3.5 Turnusol kağıdı ile pH ölçümü

Partiküllü çözelti birçok defa (en az 10 defa) saf su ile yıkanmış, son yıkamada etil alkol kullanılmıştır.

Partiküller filtre kağıdı kullanılarak süzölmüş ve kurutulmuştur. Kuruyan partiküller filtre kağıdı üzerinden spatula yardımı ile kazınmış ve şişelere aktarılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Filtre kağıdı ile partiköl süzölmesi

Sentezlenen partiköllerin kimyasal bileşimi tüm uygulamalar için Çizelge 3.1' de verilmiştir. Beklenildiği üzere NaOH miktarı arttıkça pH değeri de artmıştır.

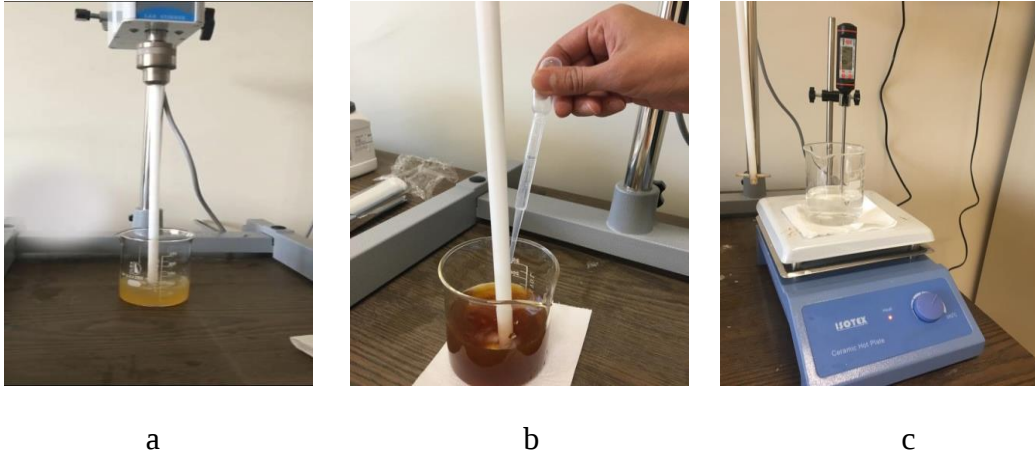
Çizelge 3.1 Oleik asit kullanılarak sentezlenen demir oksit partikülleri

Uygulama	$2(\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$	$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	NaOH	Oleik asit	pH
1	0,026 mol 100 ml saf su	0,012 mol 50 ml saf su	4,16 gr 50 ml saf su	Eklenmedi	5
2	0,026 mol 50 ml saf su	0,012 mol 40 ml saf su	4,16 gr 10 ml saf su	Eklenmedi	7
3	0,026 mol 50 ml saf su	0,012 mol 40 ml saf su	8,32 gr 10 ml saf su	0,3 ml Demir tuzundan sonra eklendi	14
4	0,016 mol 33,3 ml saf su	0,008 mol 26,6 ml saf su	2,75 gr 6,6 ml saf su	Eklenmedi	14
5	0,016 mol 50 ml saf su	0,008 mol 40 ml saf su	2,59 gr 10 ml saf su	0,18 ml Demir tuzundan sonra eklendi	5
6	0,016 mol 50 ml saf su	0,008 mol 40 ml saf su	4 gr 10 ml saf su	0,18 ml Demir tuzundan sonra eklendi	14
7	0,016 mol 50 ml saf su	0,008 mol 40 ml saf su	3,30 gr 10 ml saf su	0,18 ml Demir tuzundan sonra eklendi	14
8	0,016 mol 50 ml saf su	0,008 mol 40 ml saf su	2,70 gr 10 ml saf su	0,18 ml Demir tuzundan sonra eklendi	5
9	0,016 mol 50 ml saf su	0,008 mol 40 ml saf su	2,9 gr 10 ml saf su	0,18 ml Demir tuzundan sonra eklendi	13
10	0,016 mol 50 ml saf su	0,008 mol 40 ml saf su	2,8 gr 10 ml saf su	0,18 ml Demir tuzundan sonra eklendi	11
11	0,016 mol 50 ml saf su	0,008 mol 40 ml saf su	2,8 gr 10 ml saf su	0,18 ml NaOH' ten sonra eklendi	7
12	0,016 mol 50 ml saf su	0,008 mol 40 ml saf su	2,9 gr 10 ml saf su	0,18 ml NaOH' ten sonra eklendi	12

3.1.1.2. Lorik asit kullanılarak sentezlenen demir oksit partikülleri

Denklem 3.1 kimyasal tepkimesi esas alınarak uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

Partikül sentezinde, öncelikle $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, NaOH ve Lorik asit belirli oranlardaki saf sulara 15 dk mekanik karıştırıcıda ayrı ayrı karıştırılmıştır. Daha sonra $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ sulu çözeltileri birlikte 30 dk (Şekil 3.7 a), NaOH eklenerek 30 dk (Şekil 3.7 b), lorik asit eklenerek 3 saat (Şekil 3.7 c) karıştırılmıştır.



Şekil 3.7 Demir tuzu çözeltisi (a), NaOH damlatma (b), Lorik asit çözelti eldesi (c)

Demir oksitin havayla temasını kesip okside olmasını önlemek ve biyoyumluluğunu sağlamak için lorik asitle kaplama yapılmıştır. Lorik asit suda çözünmediği için çözeltinin içine karıştırmada birçok problemle karşılaşmıştır. Öncelikle spatulayla karıştırılma denense de başarılı olunamamıştır.

Daha sonra, lorik asit saf suda 70°C sıcaklıkta hot plate (Isotex/SH-4A) ile ısıtılmıştır. Isınır durumdayken mekanik karıştırıcıda 15 dk boyunca karıştırılıp çözdürülmüştür. Bu sırada demir tuzu ve NaOH karışımı 60°C sıcaklığa çıkarılmıştır. Lorik asit çözeltisi, demir tuzu ve NaOH çözeltisine pipet yardımı ile eklenmiştir. Oluşan son karışım Hot Plate çalışır durumdayken 30 dk boyunca mekanik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Daha sonra Hot Plate kapatılarak karışım 2.5 saat karıştırılmıştır. Elde edilen karışımın üstü streç ile kapatılıp beher altına mıknatıs yerleştirilerek bir gün bekletilerek partiküller çökeltilmiştir. Her bir çözeltinin pH' ı, pH metre (Hanna/HI 221) ile ölçülmüştür (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 pH ölçümü (masa tipi pH metre)

Bütün uygulamalar sonunda, çözeltiler saf su ile birçok defa (en az 10 defa) yıkanmıştır, son yıkamada etil alkol kullanılmıştır. Bütün çözeltiler fırında 50°C’de kurutulmuştur (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Fırında kurutma

Sentezlenen partiküllerinin tüm uygulamaları Çizelge 3.2’ de gösterilmiştir. Beklenildiği üzere NaOH miktarı arttıkça pH değeri de artmıştır.

Çizelge 3.2 Lorik asit kullanılarak sentezlenen demir oksit partikülleri

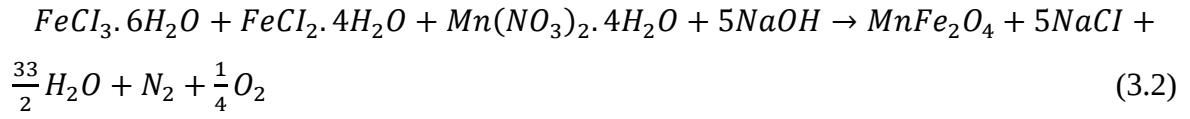
Uygulama	2(FeCl ₃ .6H ₂ O)	FeCl ₂ .4H ₂ O	NaOH	Lorik asit	pH
1	0.016 mol	0.008 mol	2.56 gr	2.77 gr	5,2
	50 ml saf su	50 ml saf su	10 ml saf su	10 ml saf su	
2	0.016 mol	0.008 mol	2.68 gr	2.31gr	8,83
	50 ml saf su	50 ml saf su	10,5 ml saf su	40 ml saf su	
3	0.016 mol	0.008 mol	2.81 gr	2.31gr	9,97
	50 ml saf su	50 ml saf su	11 ml saf su	40 ml saf su	
4	0.016 mol	0.008 mol	3.07 gr	2 gr	14,39
	50 ml saf su	50 ml saf su	12 ml saf su	35 ml saf su	
5	0.016 mol	0.008 mol	2.94 gr	2 gr	11,35
	50 ml saf su	50 ml saf su	11,5 ml saf su	35 ml saf su	
6	0.016 mol	0.008 mol	2.94 gr	1.5 gr	13,8
	50 ml saf su	50 ml saf su	11,5 ml saf su	70 ml saf su	
7	0.016 mol	0.008 mol	2.94 gr	1.5 gr	14,15
	50 ml saf su	50 ml saf su	11,5 ml saf su	70 ml saf su	

Uygulama 6 ve Uygulama 7' nin farkı sentez esnasında NaOH ve lorik asit ekleme sırasıdır. Uygulama 7' de önce lorik asit, sonra NaOH eklenmiştir.

3.1.2. Ferrit partiküllerinin sentezi

Belirli oranlarda FeCl₃ ve FeCl₂ tuzları ve MNO₃ (M=Co, Mg, Mn, Ba) bileşikleri kullanılarak ferrit nanopartiküller (MFe₂O₄ ve BaFe₁₂O₁₉) üretilmiştir. Oksidasyonu önlemek ve biyoyumluluğu sağlamak için partiküller oleik asitle kaplanmıştır. Burada literatürde bilinen geleneksel bazlar (sodyum hidroksit, amonyak ve tetraalkilamonyum hidroksitler) yerine bis (2-hydroxypropyl)-amine (DIPA, ≥98%) de çökeltme ajanı olarak kullanılmıştır [30]. Çözeltiler, çöktürücü madde ile karıştırıldıktan sonra, hidroksitlerin ferritlere dönüştürülmesi için 1 saat veya 2 saat 70°C'de ısıtarak karıştırma da yapılmış, partiküllerin oluşumunda sıcaklığın etkisi de incelenmiştir.

3.1.2.1. MnFe₂O₄ partiküllerinin sentezi



Denklem 3.2’ de verilen kimyasal tepkime esas alınarak mangan ferrit sentezi için uygulamaların kimyasal bileşimi belirlenmiştir. Denkleme eklenen NaOH miktarında değişiklik yapılarak pH ve manyetiklik üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir.

Partikül sentezinde, öncelikle FeCl₃·6H₂O, FeCl₂·4H₂O ve Mn(NO₃)₂·4H₂O uygun oranlardaki saf sularda çözdürülerek ayrı ayrı 15 dakika mekanik karıştırıcıda karıştırılmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Mekanik karıştırıcıda karıştırma

Daha sonra mekanik karıştırıcı çalışırken üçü birlikte 15 dakika, karışıma oleik asit eklenerek 15 dakika ve en sonunda uygun miktarda saf suda çözünmüş NaOH damla damla karışıma eklenip, 3 saat birlikte karıştırılmıştır (Şekil 3.11).



a

b

Şekil 3.11 a) $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ sulu bileşiklerinin ve oleik asitin birlikte karıştırılması, b) NaOH eklenerek karıştırılması

3 saat sonunda mekanik karıştırıcı kapatılmıştır, beherin alt tarafına yerleştirilen mıknatıs yardımıyla partiküllerin hızlı çökmesi sağlanmıştır.

Üzeri streç ile kapatılan beher mıknatıs üzerinde 24 saat bekletilmiş ve masa tipi pH metre (Adwa/AD8000) ile pH ölçümü yapılmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 pH ölçümü

Bütün uygulamalar sonunda, çözeltiler saf su ile birçok defa (en az 10 defa) karıştırılarak yıkanmıştır. Bütün çözeltiler fırında 60 °C’de kurutulmuştur.

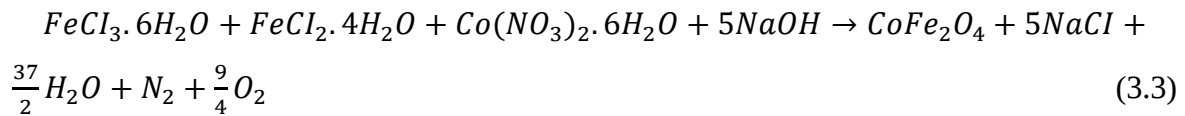
Kurutulan örnekler havanda iyice dövülerek partikül haline getirilmiştir.

Sentezlenen $MnFe_2O_4$ partiküllerinin tüm uygulamaları Çizelge 3.3’te gösterilmiştir. Beklenildiği üzere NaOH miktarı arttıkça pH değeri de artmıştır.

Çizelge 3.3 Sentezlenen $MnFe_2O_4$ partikülleri

Uygulama	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	$FeCl_2 \cdot 4H_2O$	$Mn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	Oleik asit	NaOH	Renk	pH
1	0,016 mol	0,016 mol	0,016 mol	0,36 ml	3,2 gr	Kahverengi	3,9
	40 ml saf su	40 ml saf su	40 ml safsu		15 ml saf su		
2	0,016 mol	0,016 mol	0,016 mol	0,30 ml	5 gr	Siyah	12,05
	40 ml saf su	40 ml saf su	40 ml safsu		15 ml saf su		
3	0,016 mol	0,016 mol	0,016 mol	0,30 ml	4,5 gr	Kahverengi	8,5
	40 ml saf su	40 ml saf su	40 ml safsu		15 ml saf su		
4	0,016 mol	0,016 mol	0,016 mol	0,30 ml	5,5 gr	Koyu	12,75
	40 ml saf su	40 ml saf su	40 ml safsu		15 ml saf su	kahverengi	
5	0,016 mol	0,016 mol	0,016 mol	0,30 ml	6 gr	Koyu	13,21
	40 ml saf su	40 ml saf su	40 ml safsu		15 ml saf su	kahverengi	
6	0,016 mol	0,016 mol	0,016 mol	0,30 ml	6,5 gr	Siyah	13,38
	40 ml saf su	40 ml saf su	40 ml safsu		15 ml saf su		
7	0,016 mol	0,016 mol	0,016 mol	0,30 ml	7 gr	Siyah	13,47
	40 ml saf su	40 ml saf su	40 ml safsu		15 ml saf su		
8	0,016 mol	0,016 mol	0,016 mol	0,30 ml	6,75 gr	Siyah	13,45
	40 ml saf su	40 ml saf su	40 ml safsu		15 ml saf su		

3.1.2.2. $CoFe_2O_4$ partiküllerinin sentezi



Denklem 3.3’ te verilen kimyasal tepkime esas alınarak kobalt ferrit sentezi için uygulamaların kimyasal bileşimi belirlenmiştir. Denkleme eklenen NaOH miktarında değişiklik yapılarak pH ve manyetiklik üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir.

Partikül sentezinde, öncelikle $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ uygun oranlardaki saf sularda çözdürülerek ayrı ayrı 15 dakika mekanik karıştırıcıda karıştırılmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Mekanik karıştırıcıda karıştırma

Daha sonra mekanik karıştırıcı çalışırken üçü birlikte 15 dakika, karışıma oleik asit eklenerek 15 dakika ve en sonunda uygun miktarda saf suda çözülmüş NaOH damla damla karışıma eklenmiş, 3 saat birlikte karıştırılmıştır.

Üzeri streç ile kapatılan beher mıknatıs üzerinde 24 saat bekletilmiş ve pH ölçümü yapılmıştır.

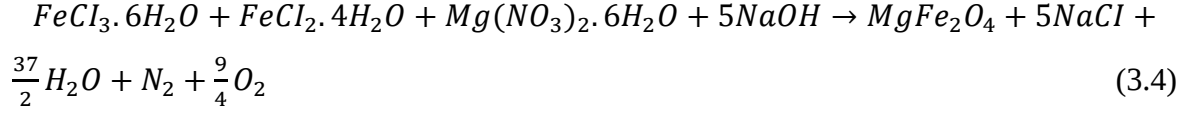
Bütün uygulamalar sonunda, çözeltiler saf su ile birçok defa (en az 10 defa) karıştırılarak yıkanmıştır. Bütün çözeltiler fırında $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de kurutulmuştur.

Kurutulan örnekler havanda iyice dövülerek partikül haline getirilmiştir.

Sentezlenen CoFe_2O_4 partiküllerinin tüm uygulamaları Çizelge 3.4'te gösterilmiştir. Beklenildiği üzere NaOH miktarı arttıkça pH değeri de artmıştır.

Çizelge 3.4 Sentezlenen CoFe_2O_4 partikülleri

Uygulama	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Oleik asit	NaOH	Renk	pH
1	0,016 mol	0,016 mol	0,016 mol	0,3 ml	3,2 gr	Kahverengi	5,17
	40 ml saf su	40 ml saf su	40 ml saf su		15 ml saf su		
2	0,016 mol	0,016 mol	0,016 mol	0,3 ml	6 gr	Siyah	13,27
	40 ml saf su	40 ml saf su	40 ml saf su		15 ml saf su		
3	0,016 mol	0,016 mol	0,016 mol	0,3 ml	5,5 gr	Kahverengi	13,09
	40 ml saf su	40 ml saf su	40 ml saf su		15 ml saf su		
4	0,016 mol	0,016 mol	0,016 mol	0,3 ml	6,5 gr	Siyah	13,5
	40 ml saf su	40 ml saf su	40 ml saf su		15 ml saf su		
5	0,016 mol	0,016 mol	0,016 mol	0,3 ml	7 gr	Siyah	13,59
	40 ml saf su	40 ml saf su	40 ml saf su		15 ml saf su		
6	0,016 mol	0,016 mol	0,016 mol	0,3 ml	7,5 gr	Siyah	13,7
	40 ml saf su	40 ml saf su	40 ml saf su		15 ml saf su		
7	0,016 mol	0,016 mol	0,016 mol	0,3 ml	8 gr	Siyah	13,76
	40 ml saf su	40 ml saf su	40 ml saf su		15 ml saf su		

3.1.2.3. MgFe_2O_4 partiküllerinin sentezi

Denklem 3.4’ te verilen kimyasal tepkime esas alınarak magnezyum ferrit sentezi için uygulamaların kimyasal bileşimi belirlenmiştir. Denkleme eklenen NaOH miktarında değişiklik yapılarak, çözelti pH’ının, oluşacak partiküllerin özellikleri üzerine etkisi incelenecektir. Aynı zamanda literatürde bilinen geleneksel bazlar yerine DIPA da çökteltme ajanı olarak kullanılmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 DIPA'nın uygun miktardaki saf suda çözündürülmesi

Literatür araştırmalarında CoFe_2O_4 ve MnFe_2O_4 sentezinde kullanılmış olduğu görülen DIPA [30]; çalışmamızda MgFe_2O_4 ve $\text{Ba}_{12}\text{O}_{19}$ sentezinde kullanılmıştır. Karşılaştırma için NaOH ve DIPA aynı deney koşulları altında hazırlanmıştır. Çözeltideki NaOH miktarının partiküllerin kimyasal bileşimi ve manyetik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Farklı kullanılacak çökeltilme ajanlarının da (DIPA) nanomalzemelerin kimyasal bileşimi ve manyetik özellikleri üzerindeki etkisi de değerlendirilmiştir. Bu çalışma, çökelme yöntemiyle geliştirilmiş özelliklere sahip manyetik nanopartiküllerin tasarımına ışık tutmaktadır.

Partikül sentezinde, öncelikle $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ uygun oranlardaki saf sularda çözündürülerek ayrı ayrı 15 dk mekanik karıştırıcıda karıştırılmıştır.



Şekil 3.15 Mekanik karıştırıcıda karıştırma

Daha sonra mekanik karıştırıcı çalışırken üçü birlikte 15 dk, karışıma oleik asit eklenerek 15 dk ve en sonunda uygun miktarda saf suda çözünmüş NaOH veya DIPA damla damla karışıma eklenmiş, 3 saat birlikte karıştırılmıştır. Literatür araştırmalarında hidroksitlerin ferritlere dönüşmesinde sıcaklığın etkisine rastlanılmıştır [92, 93, 94]. Bu nedenle, 3 saatlik birlikte karıştırma işleminde 70°C’de 1 veya 2 saat hot plate üzerinde ısıtılarak karıştırma da denenmiştir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16 Tüm karışımların 70°C’de 1 veya 2 saat karıştırılması

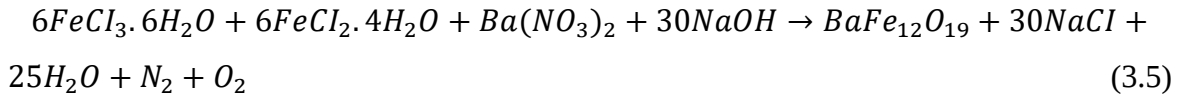
Üzeri streç ile kapatılan beher mıknatıs üzerinde 24 saat bekletilmiş ve pH ölçümü yapılmıştır.

Bütün uygulamalar sonunda, çözeltiler saf su ile birçok defa (en az 10 defa) karıştırılarak yıkanmıştır. Bütün çözeltiler fırında 60 °C’de kurutulmuştur. Kurutulan örnekler havanda iyice dövülerek partikül haline getirilmiştir. Sentezlenen $MgFe_2O_4$ partiküllerinin tüm uygulamaları Çizelge 3.5’ te gösterilmiştir.

Çizelge 3.5 Sentezlenen MgFe_2O_4 partikülleri

Uygulam a	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Oleik asit	NaOH	DIPA	Isıtma	Renk	pH
1	0,016 mol	0,016 mol	0,016 mol	0,3 ml	6 gr			Kahverengi	13,36
	40 ml saf su	40 ml saf su	40 ml saf su		15 ml saf su	-	-		
2	0,016 mol	0,016 mol	0,016 mol	0,3 ml	5 gr			Kahverengi	12,46
	40 ml saf su	40 ml saf su	40 ml saf su		15 ml saf su	-	-		
3	0,016 mol	0,016 mol	0,016 mol	0,3 ml	5 gr	-	70°C 1 sa	Koyu kahverengi	12,73
	40 ml saf su	40 ml saf su	40 ml saf su		15 ml saf su				
4	0,016 mol	0,016 mol	0,016 mol	0,3 ml	5 gr	-	70°C 2 sa	Koyu kahverengi	12,72
	40 ml saf su	40 ml saf su	40 ml saf su		15 ml saf su				
5	0,016 mol	0,016 mol	0,016 mol	0,4 ml	4,5 gr	-	70°C 1 sa	Kahverengi	9,16
	40 ml saf su	40 ml saf su	40 ml saf su		15 ml saf su				
6	0,032 mol	-	0,016 mol	0,4 ml	4,5 gr	-	70°C 2 sa	Kahverengi	8,8
	80 ml saf su		40 ml saf su		15 ml saf su				
7	0,032 mol	-	0,016 mol	0,3 ml	5,5 gr	-	70°C 2 sa	Kahverengi	12,57
	80 ml saf su		40 ml saf su		15 ml saf su				
8	0,016 mol	0,016 mol	0,016 mol	0,4 ml	-	20 gr	-	Kahverengi	9,98
	40 ml saf su	40 ml saf su	40 ml saf su			50 ml saf su			
9	0,016 mol	0,016 mol	0,016 mol	0,4 ml	-	30 gr	70°C 1 sa	Koyu kahverengi	9,44
	40 ml saf su	40 ml saf su	40 ml saf su			50 ml saf su			
10	0,016 mol	0,016 mol	0,016 mol	0,4 ml	-	35 gr	70°C 1 sa	Koyu kahverengi	9,67
	40 ml saf su	40 ml saf su	40 ml saf su			50 ml saf su			
11	0,016 mol	0,016 mol	0,016 mol	0,4 ml	-	45 gr	70°C 1 sa	Kahverengi	9,26
	40 ml saf su	40 ml saf su	40 ml saf su			50 ml saf su			
12	0,016 mol	0,016 mol	0,016 mol	0,4 ml	-	70 gr	70°C 1 sa	Kahverengi	9,40
	40 ml saf su	40 ml saf su	40 ml saf su			90 ml saf su			

3.1.2.4. BaFe₁₂O₁₉ partiküllerinin sentezi



Denklem 3.5' te verilen kimyasal tepkime esas alınarak baryum ferrit sentezi için uygulamaların kimyasal bileşimi belirlenmiştir. Denkleme eklenen NaOH miktarında değişiklik yapılarak pH ve manyetiklik üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Aynı zamanda DIPA da çökeltme ajanı olarak kullanılmıştır.

Partikül sentezinde, öncelikle FeCl₃.6H₂O, FeCl₂.4H₂O ve Ba(NO₃)₂ uygun oranlardaki saf sularda çözündürülerek ayrı ayrı 15 dk mekanik karıştırıcıda karıştırılmıştır (Şekl 3.17).



Şekil 3.17 Baryum nitratın uygun miktardaki saf suda çözündürülmesi

Daha sonra mekanik karıştırıcı çalışırken üçü birlikte 15 dk, karışıma oleik asit eklenerek 15 dk ve en sonunda uygun miktarda saf suda çözünmüş NaOH veya DIPA damla damla karışıma eklenmiş, 3 saat birlikte karıştırılmıştır. Bu 3 saatlik birlikte karıştırma işleminde 70°C'de 1 saat hot plate üzerinde ısıtılarak karıştırma da denenmiştir.

Sentezlenen BaFe₁₂O₁₉ partiküllerinin tüm uygulamaları Çizelge 3.6 'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 Sentezlenen BaFe₁₂O₁₉ partikülleri

Uyg ulam a	FeCl ₃ .6H ₂ O	6FeCl ₂ .4H ₂ O	Ba(NO ₃) ₂	Olei k asit	NaOH	DIPA	Isıtma	Renk	pH
1	0,03 mol	0,03 mol	0,005 mol	0,3 ml	12 gr	-	-	Kahverengi	13.79
	80 ml saf su	80 ml saf su	40 ml saf su		30 ml saf su				
2	0,03 mol	0,03 mol	0,005 mol	0,3 ml	10 gr	-	-	Kahverengi	13.64
	80 ml saf su	80 ml saf su	40 ml saf su		25 ml saf su				
3	0,03 mol	0,03 mol	0,005 mol	0,3 ml	8 gr	-	-	Kahverengi	13.27
	80 ml saf su	80 ml saf su	40 ml saf su		20 ml saf su				
4	0,03 mol	0,03 mol	0,005 mol	0,3 ml	-	30 gr	70°C	Siyah	9,10
	80 ml saf su	80 ml saf su	40 ml saf su			50 ml saf su	1 sa		

3.2. Partikül Karakterizasyonu

Fırında kurutulan karışımlar XRD analizi yapılmak üzere muhafaza edilmiştir.

Partiküllerin fazları, 40 kV ve 35 mA'da üretilen Cu-Ka radyasyonu ($\lambda = 0.154$ nm) ile çalışan Panalitık X'pert Powder PW3040 difraktometre kullanılarak, XRD analizi ile belirlenmiştir. Tarama, 1 s için 0,01'lik artışlarla 20° ile 70° arasındaki kırınım açılarında (2 θ) gerçekleştirilmiştir. Kırılma sinyali yoğunluğu tarama boyunca izlenmiş ve X'Pert High Skor Plus 2.2b yazılımı kullanılarak işlenmiştir.

SEM analizlerinde kullanılmak üzere belirli uygulamalardan bir miktar alınan partiküller ayrı şişelerde Şekil 3.18' de görülen ultrasonik banyoda öncelikle 12 saat bekletilmiş, alkolle bir defa yıkandıktan sonra tekrar 12 saat ultrasonik banyo kullanılmıştır. Bu işlem sayesinde partiküllerin yüzeyinde kalmış olabilecek kimyasallar daha kolay arındırılmıştır. Ultrasonik banyo sonrası alkol içindeki partiküller silikon plaka üzerine damlatılmıştır.



Şekil 3.18 Ultrasonik banyo

SEM’de görüntü almadan önce plakalar, altınla kaplanmıştır (Şekil 3.19).



Şekil 3.19 Altın kaplama

Altın kaplama öncesi ve sonrası görünüm Şekil 3.20’ dedir. Yüzey morfolojisi ve partikül boyutu, Zeiss EVO / LS10 marka SEM cihazı kullanılarak incelenmiştir.



Şekil 3.20 Altın kaplama öncesi ve sonrası

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

4.1. Demir Oksit Partiküllerinin Deneysel Sonuçları

4.1.1. Oleik Asit Kullanılarak Sentezlenen Demir Oksit Partikülleri

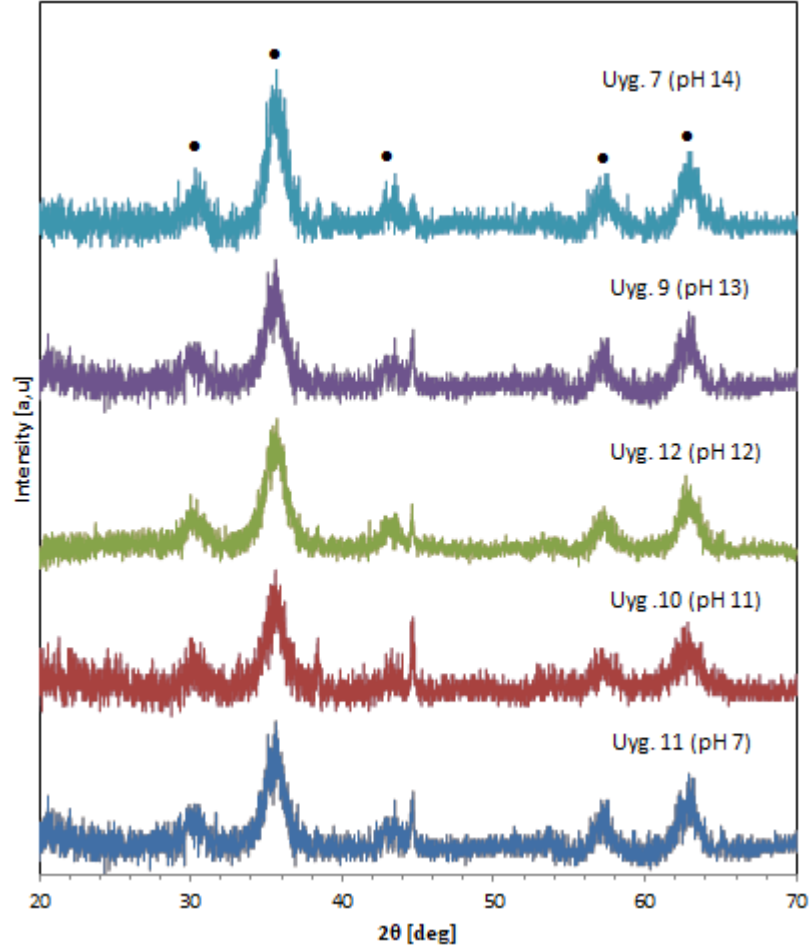
Ugulamalardan sentezlenen partiküllerin mıknatıs yardımıyla belirlenen manyetik özellikleri Çizelge 4.1’ de verilmiştir. Asidik çözeltilerden elde edilen partiküllerin (Uyg. 1, 5, 8) manyetik özellikte olmadığı artan pH ile birlikte manyetik özelliğin de iyileştiği gözlenmiştir.

Çizelge 4.1 Oleik asit kullanılarak sentezlenen demir oksit partiküllerinin manyetikliği

Uygulama	pH	Manyetiklik
1	5	manyetik değil
2	7	manyetik değil
3	14	manyetik
4	14	manyetik
5	5	manyetik değil
6	14	manyetik
7	14	manyetik
8	5	manyetik değil
9	13	manyetik
10	11	manyetik
11	7	manyetik
12	12	manyetik

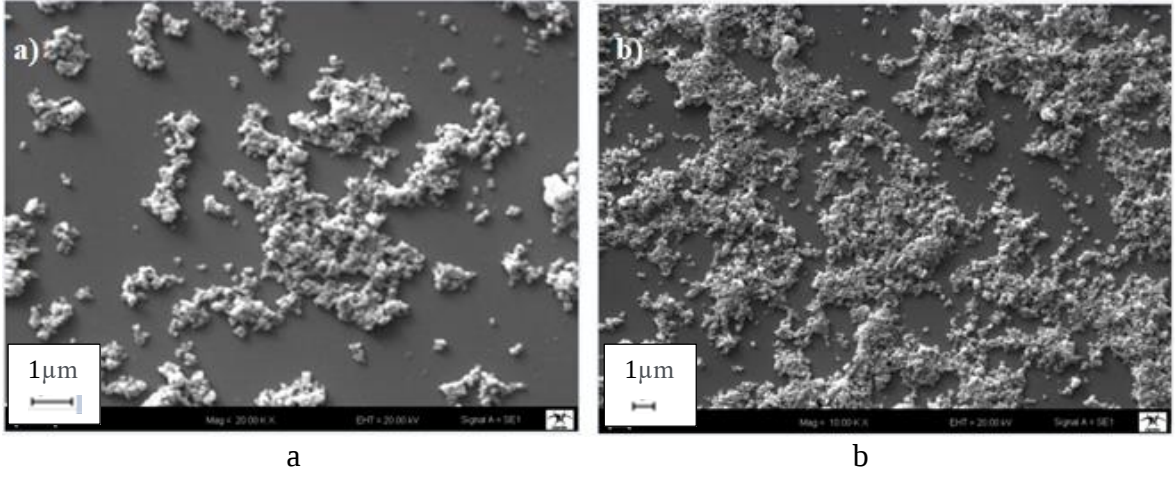
Öncelikle oleik asit eklenmeden manyetik partikül üretilip üretilmediğine bakılmıştır. Oleik asit eklenmeyen 1, 2 ve 4 numaralı uygulamaların pH’ ı 5-14 arasında değişse bile manyetik partikül üretilmemiştir. Oleik asitin eklenmemesi partikül üzerinde kaplama oluşmamasına, böylece oksitlenmesine neden olmuştur.

7, 9, 10, 11, 12 uygulamalarından sentezlenen demir tuzu çözeltilerinden hazırlanan partiküllerin XRD grafiği, Şekil 4.1' de verilmiştir. Farklı pH değerindeki çözeltilerden sentezlenen partiküllerde oluşan tek faz manyetittir. Manyetit dışındaki herhangi bir safsızlık bileşiğinin varlığı gözlenmemiştir.



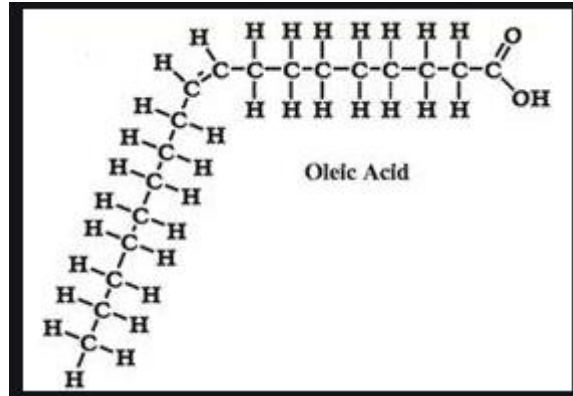
Şekil 4.1 pH 7, pH 11, pH 12, pH 13, pH 14 çözeltilerinden sentezlenen nanopartiküllerinin XRD grafiği, (●) Manyetit

Şekil 4.2 sırasıyla Uyg. 10 ve Uyg. 9 çözeltilerinden sentezlenen manyetit nanopartiküllerin SEM görüntülerini göstermektedir. Düzenli ve küresel şekilli manyetit nanopartikülleri başarıyla sentezlenmiştir. Partiküllerin boyutları 45 nm'den daha düşüktür. pH 13 çözeltisi ile elde edilen manyetit partiküllerinin ortalama çapı 34 nm'dir. Nanopartiküllerin boyutu, NaOH miktarı arttıkça yani nihai çözeltinin pH'ı arttıkça düşmektedir.



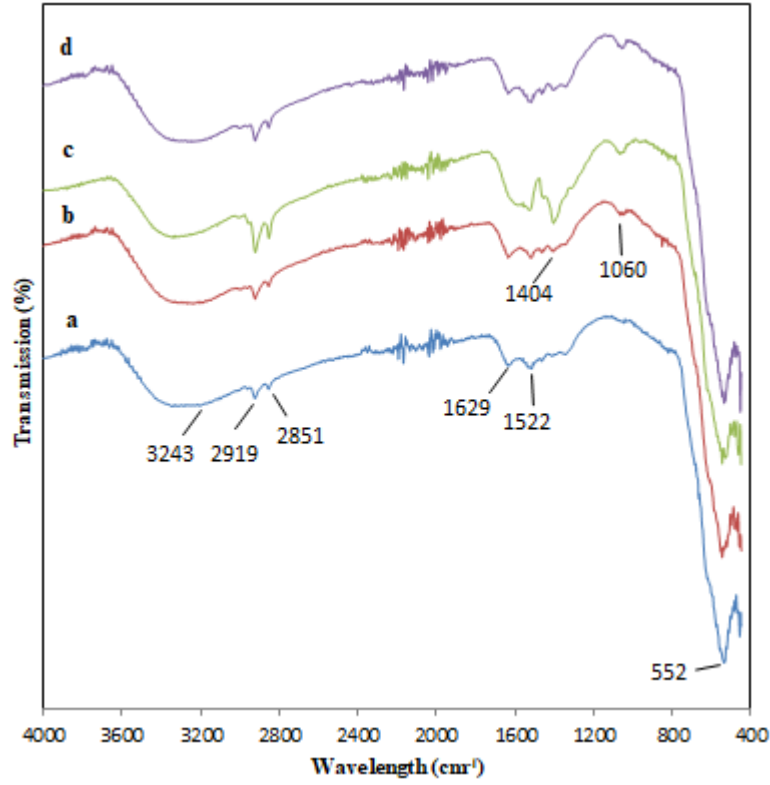
Şekil 4.2 pH 11 (a) ve pH 13 (b) çözeltilerinden sentezlenen manyetit partiküllerinin SEM görüntüleri

Oleik asit moleküllerinin manyetit nanopartiküllerine yüzey adsorpsiyonunu araştırmak için Fourier dönüşümü kızılötesi (FTIR) analizi yapılmıştır. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi, moleküllerin yapısındaki bağların tanımlanmasıyla mühendislik alanlarında sıkça başvurulan bir yöntemdir. Bu yöntemin temeli, molekül içi bağlar üzerine düşürülen kızılötesi ışınların, bağların titreşim ve dönme hareketleri ile soğurulmasına dayanır. Oleik asitin bağ yapısı Şekil 4.3’ te gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Oleik asit bağ yapısı [96]

Manyetik nanopartiküllerin yüzey işlevselliği, Şekil 4.4’ teki karakteristik piklerin ortaya çıkması nedeniyle FTIR ile doğrulanmıştır.



Şekil 4.4 Uyg. 9 (a), Uyg. 10 (b), Uyg. 11 (c), Uyg.12 (d)' den sentezlenen oleik asit ile kaplanmış manyetit nanopartiküllerinin FTIR spektrumları

Şekil 4.4' te görüldüğü gibi $3203\text{-}3313\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki geniş bant O-H titreşimlerine atfedilmiştir [97]. Oleik asit spektrumuna göre, sırasıyla $2917\text{-}2921\text{ cm}^{-1}$ de iki keskin bant ve 2851 cm^{-1} deki bant CH_2 germe titreşimlerine aittir [98, 99]. 1626 , 1629 ve 1632 cm^{-1} bantları $\text{C}=\text{C}$ 'ye atanan karakteristiktir [100]. 1519 , 1520 , 1527 cm^{-1} bantları, bir karboksilat grubunun (COO^-) germe titreşimlerinin karakteristiğidir [101]. 1404 cm^{-1} deki bant, oleik asidin CH_3 şemsiye moduna karşılık gelmiştir [101]. 1050 ve 1065 cm^{-1} tepe noktaları C-O titreşim bandı nedeniyle oluşmuştur [99]. $\text{Fe}^{+3}\text{-O}$ titreşimlerini yaklaşık $547\text{-}559\text{ cm}^{-1}$ tepe noktalarındaki bantlar teyit etmektedir [98].

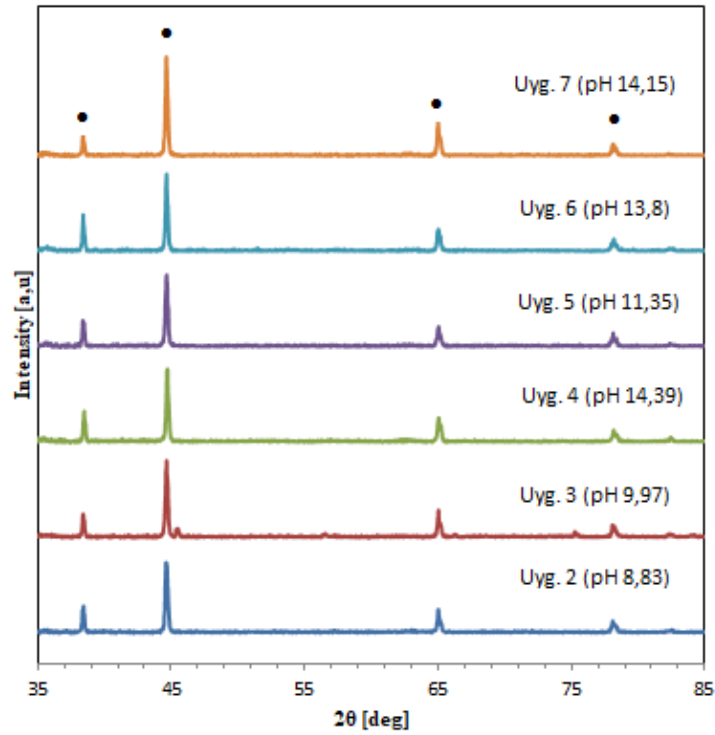
4.1.2. Lorik Asit Kullanılarak Sentezlenen Demir Oksit Partikülleri

Ugulamalardan sentezlenen partiküllerin renkleri ve mıknatıs yardımıyla belirlenen manyetik özellikleri Çizelge 4.2' de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Lorik asit kullanılarak sentezlenen demir oksit partiküllerinin manyetikliği

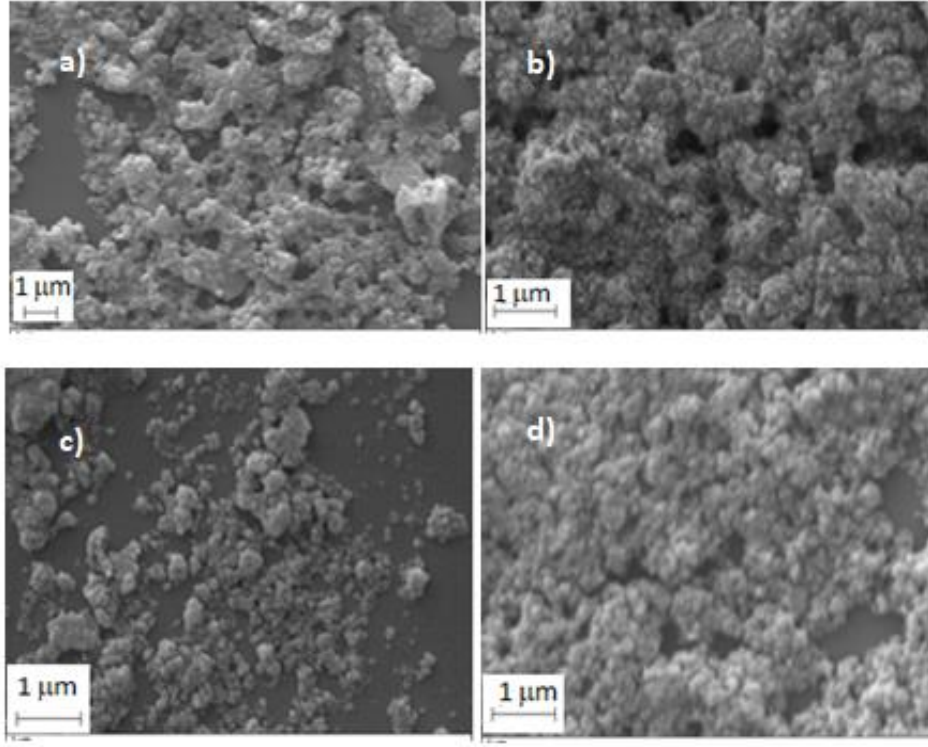
Uygulama	pH	Renk	Manyetiklik
1	5,2	kahverengi	Manyetik değil
2	8,83	kahverengi	manyetik
3	9,97	siyah	manyetik
4	14,39	siyah	manyetik
5	11,35	siyah	manyetik
6	13,8	siyah	manyetik
7	14,15	siyah	manyetik

Uygulama 2, 3, 4, 5, 6, 7 demir tuzu çözeltilerinden hazırlanan partiküllerin XRD grafiği, Şekil 4.5' te verilmiştir. Elde edilen partiküllerin, manyetik özellikte olduğu gözlemlenmiştir, ancak XRD pikleri demir oksitin manyetik bileşiği olan manyetit veya maghemite ait değildir, FeO bileşiğine aittir.



Şekil 4.5 Uygulama 2, 3, 4, 5, 6, 7 çözeltilerinden sentezlenen partiküllerin XRD grafiği

Şekil 4.6, sırasıyla uygulama 2, 4, 6, 7 çözeltilerinden sentezlenen nanopartiküllerin SEM görüntülerini göstermektedir. Partikül boyutlarının 100 nm'den küçük olduğu görülmektedir. Ayrıntılı boyut analizi yapılamamıştır. Çünkü kullanılan SEM'de yüksek büyütmeleme çıkılamamıştır.



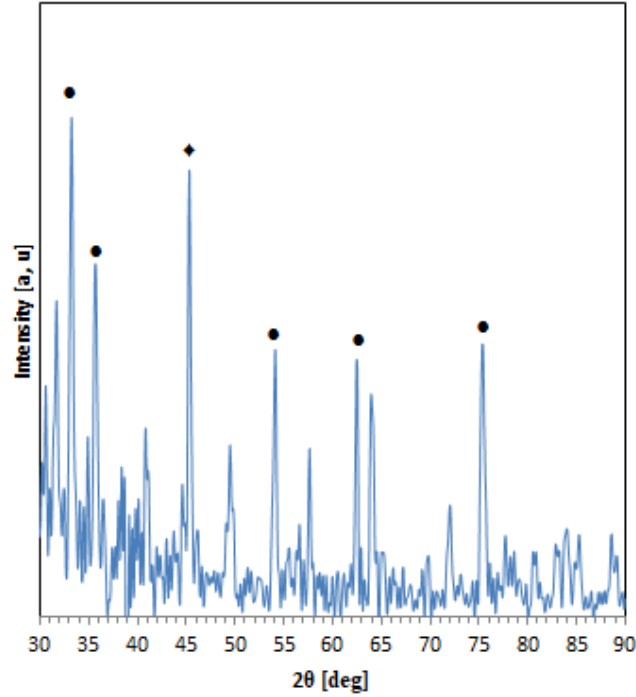
Şekil 4.6 Uygulama 2 (a), 4 (b), 6 (c), 7 (d) çözeltilerinden sentezlenen partiküllerin SEM görüntüleri

Kurutulmuş partiküller, termodinamik olarak stabil bir malzeme formunu üretmek için dakikada 20°C hızda 500°C, 700°C ve 900°C' ye kadar ısıtılmıştır ve bu sıcaklıkta 1 saat boyunca hava atmosferinde kalsine edilmiştir (Şekil 4.7) [95].



Şekil 4.7 500°C, 700°C ve 900°C de 1 saat kalsine etme

Kalsine sonrasında partiküllerin manyetik özelliklerini kaybettiği gözlenmiştir. 900°C’ de kalsine edilen partiküllerin XRD grafiği Şekil 4.8’ de verilmiştir. Yapıdaki hakim faz hematitdir (Fe_2O_3). Hematit dışında demir (Fe) pikine de rastlanmıştır.



Şekil 4.8 900°C de kalsine edilen partiküllerin XRD grafiği, (●) Hematit (Fe_2O_3), (◆) Fe

Sentez sonrasında oluşan manyetik partiküller, kalsine ortamında yani yüksek sıcaklıkta, oksijenli ortamda beklemeye bağlı olarak okside olmuştur.

4.2. Ferrit Partiküllerinin Deneysel Sonuçları

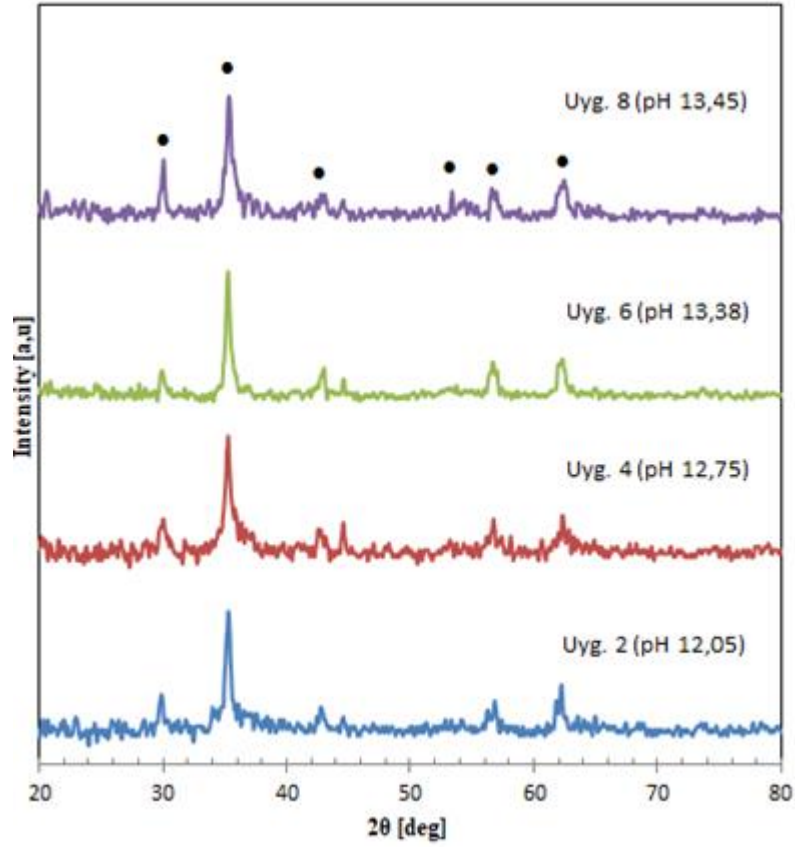
4.2.1. Sentezlenen MnFe_2O_4 Partikülleri

Ugulamalardan sentezlenen partiküllerin renkleri ve mıknatıs yardımıyla belirlenen manyetik özellikleri Çizelge 4.3’ te verilmiştir. MnFe_2O_4 partiküllerinin karakteristik rengi koyu kahverengi-siyahdır [102]. Asidik çözeltilerden elde edilen partiküllerin (Uyg.1) manyetik özellikte olmadığı, artan pH ile birlikte manyetik özelliğin de iyileştiği gözlenmiştir. Bundan dolayı deneyler bazik çözeltilerde gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.3 Sentezlenen MnFe_2O_4 partiküllerinin manyetikliği

Uygulama	pH	Renk	Manyetiklik
1	3,9	kahverengi	manyetik değil
2	12,05	siyah	manyetik
3	8,5	kahverengi	manyetik (zayıf)
4	12,75	koyu kahverengi	manyetik
5	13,21	koyu kahverengi	manyetik
6	13,38	siyah	manyetik
7	13,47	siyah	manyetik
8	13,45	siyah	manyetik

Uygulama 2, 4, 6 ve 8’ den sentezlenen MnFe_2O_4 partiküllerinin XRD grafiği Şekil 4.9’da sunulmuştur. Partiküller manyetik özellik gösterir ve grafikteki bütün pikler mangan ferrit (MnFe_2O_4) olarak indekslenir [30], bu da partiküllerin saflığını göstermektedir.



Şekil 4.9 Sentezlenen MnFe₂O₄ partiküllerinin XRD grafiği (●)MnFe₂O₄

4.2.2. Sentezlenen CoFe₂O₄ Partikülleri

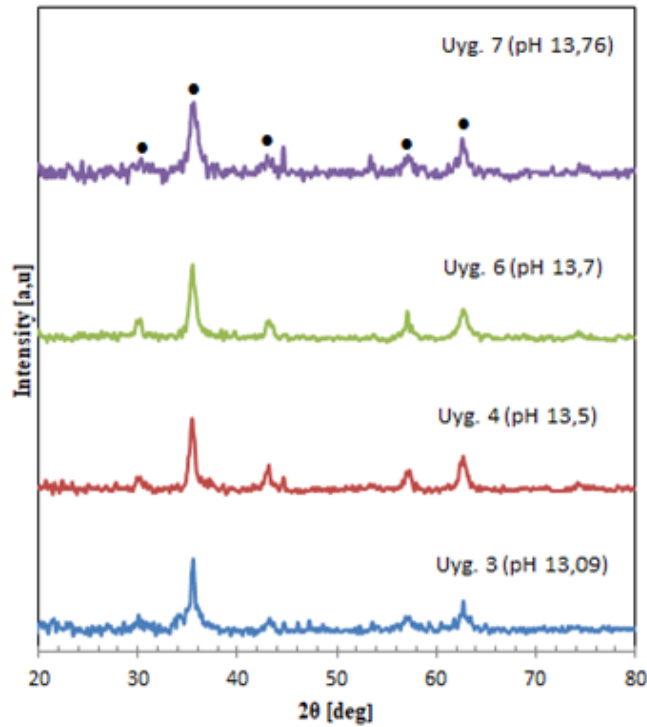
Ugulamalardan sentezlenen partiküllerin renkleri ve mıknatıs yardımıyla belirlenen manyetik özellikleri Çizelge 4.4' te verilmiştir. CoFe₂O₄ partiküllerinin karakteristik rengi kahverengi-siyahtır [103]. Asidik çözeltilerden elde edilen partiküllerin (Uyg.1) manyetik özellikte olmadığı, bazik çözeltilerden elde edilen partiküllerin manyetik özellikte olduğu görülmüştür. Artan pH ile birlikte partiküllerin manyetik özelliğinin de iyileştiği gözlenmiştir.

Çizelge 4.4 Sentezlenen CoFe_2O_4 partiküllerinin manyetikliği

Uygulama	pH	Renk	Manyetiklik
1	5,17	kahverengi	manyetik değil
2	13,27	siyah	manyetik
3	13,09	kahverengi	manyetik
4	13,5	siyah	manyetik
5	13,59	siyah	manyetik
6	13,7	siyah	manyetik
7	13,76	siyah	manyetik

Mıknatıs yardımıyla yapılan incelemede uygulama 2, 3, 4, 5, 6 ve 7' den sentezlenen partiküllerin, yani pH değeri 13 civarında olan çözeltilerden elde edilen partiküllerin manyetik özellik gösterdiği görülmüştür. Daha düşük pH değerlerinde manyetik özellikte partikül elde edilememiştir.

Uygulama 3, 4, 6 ve 7' den sentezlenen partiküllerinin XRD grafiği Şekil 4.10' da sunulmuştur. Grafikteki pikler kobalt ferritin (CoFe_2O_4) karakteristik piklerine aittir [30].



Şekil 4.10 Sentezlenen CoFe_2O_4 partiküllerinin XRD grafiği (●) CoFe_2O_4

4.2.3. Sentezlenen $MgFe_2O_4$ Partikülleri

Ugulamalardan sentezlenen partiküllerin renkleri ve mıknatıs yardımıyla belirlenen manyetik özellikleri Çizelge 4.5’ te verilmiştir. $MgFe_2O_4$ partiküllerinin karakteristik rengi koyu kahverengidir [104].

Çizelge 4.5 Sentezlenen $MgFe_2O_4$ partiküllerinin manyetikliği

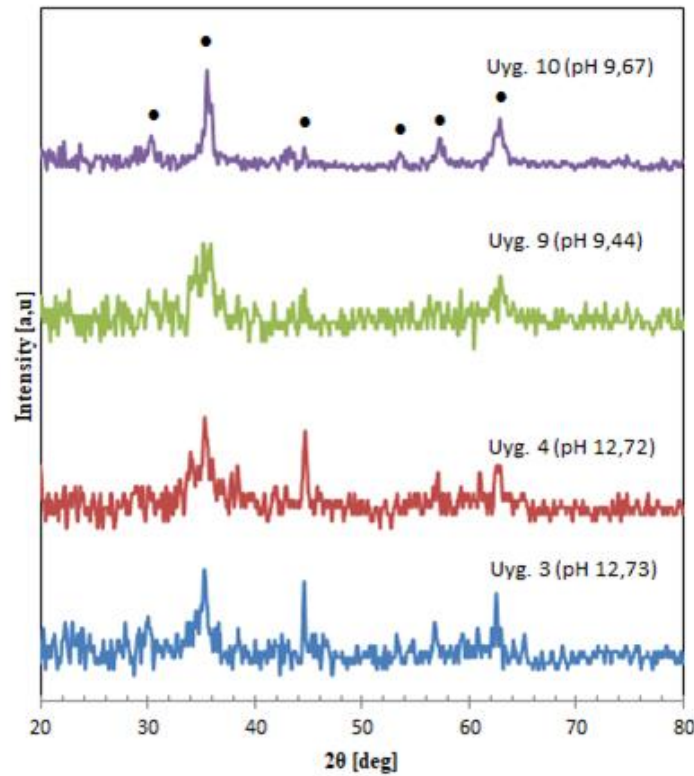
Uygulama	Isıtma	pH	Renk	Manyetiklik
1-N	-	13,36	kahverengi	manyetik (zayıf)
2-N	-	12,46	kahverengi	manyetik değil
3-N	70°C 1 sa	12,73	koyu kahverengi	manyetik
4-N	70°C 2 sa	12,72	koyu kahverengi	manyetik
5-N	70°C 1 sa	9,16	kahverengi	manyetik (zayıf)
6-N	70°C 2 sa	8,8	kahverengi	manyetik değil
7-N	70°C 2 sa	12,57	kahverengi	manyetik değil
8-D	-	9,98	kahverengi	manyetik değil
9-D	70°C 1 sa	9,44	koyu kahverengi	manyetik
10-D	70°C 1 sa	9,67	koyu kahverengi	manyetik
11-D	70°C 1 sa	9,26	kahverengi	manyetik (zayıf)
12-D	70°C 1 sa	9,4	kahverengi	manyetik değil

Uygulama 8 ve 9’ da DIPA çökteltme ajanı kullanılmıştır, pH değerleri yakın olmasına rağmen Uygulama 8 manyetik değil, Uygulama 9 manyettiktir. Uygulama 8’de ısıtma yapılmamış, Uygulama 9’ da 1 saat ısıtma yapmıştır. Böylece ısıtmanın manyetiklik üzerindeki olumlu etkisi gözlemlenmiştir.

Aynı deney koşulları altında ısıtma olmadan, 1 saat ısıtma ve 2 saat ısıtma uygulanarak karşılaştırma yapılmıştır (Uygulama 2, 3, 4). Örneğin Uygulama 2, 3 ve 4 tüm deney koşulları bakımından aynıdır, çökteltme ajanı olarak NaOH kullanılmıştır. Uygulama 2’de sentez esnasında ısıtma yapılmamış, manyetik etki gözlemlenmemiştir. Uygulama 3’

te ise 70°C’de 1 saat ısıtma yapılmış ve manyetik etki gözlemlenmiştir, yine Uygulama 4’ te ise 2 saat ısıtma yapılmış, manyetik etki gözlemlenmiştir. Böylece ısıtmanın manyetiklik üzerindeki olumlu etkisi gözlemlenmiştir. Bundan sonraki uygulamalarda optimum ısıtma sıcaklığı ve süresi araştırılabilir.

Uygulama 3, 4, 9 ve 10’ dan sentezlenen partiküllerinin XRD grafiği Şekil 4.11’ de sunulmuştur. Partiküller manyetik özellik gösterir ve grafikteki pikler magnezyum ferritin ($MgFe_2O_4$) karakteristik piklerine aittir [92].



Şekil 4.11 Sentezlenen $MgFe_2O_4$ partiküllerinin XRD grafiği (●) $MgFe_2O_4$

4.2.4. Sentezlenen $BaFe_{12}O_{19}$ Partikülleri

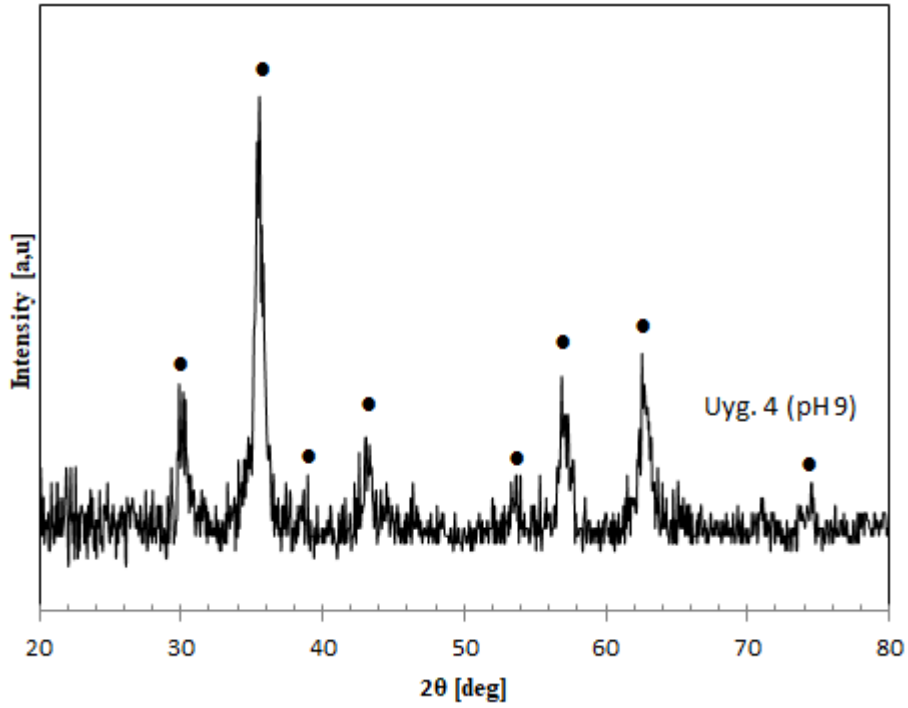
Ugulamalardan sentezlenen partiküllerin renkleri ve mıknatıs yardımıyla belirlenen manyetik özellikleri Çizelge 4.6’ da verilmiştir. $BaFe_{12}O_{19}$ partiküllerinin karakteristik rengi siyahtır [105].

$BaFe_{12}O_{19}$ partikülleri sentezinde NaOH kullanılan uygulamalarda (Uyg. 1, 2, 3) nihai sonuca ulaşılammış fakat DIPA kullanılan uygulamada (Uyg. 4) manyetik özellik gözlemlenmiştir. Bundan sonraki deneysel çalışmalarda NaOH ile yapılan uygulamalarda ısıtmanın manyetiklik üzerindeki etkisi araştırılabilir.

Çizelge 4.6 Sentezlenen $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ partiküllerinin manyetikliği

Uygulama	pH	Renk	Manyetiklik
1-N	13,79	kahverengi	manyetik değil
2-N	13,64	kahverengi	manyetik değil
3-N	13,27	kahverengi	manyetik değil
4-D	9,1	siyah	manyetik

Uygulama 4’ ten sentezlenen partiküllerin XRD grafiği Şekil 4.12’ de sunulmuştur. Partiküller manyetik özellik gösterir ve grafikteki pikler baryum hekzaferritin ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) karakteristik piklerine aittir [91].



Şekil 4.12 Sentezlenen $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ partiküllerinin XRD grafiği (●) $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$

5. GENEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma kapsamında düşük maliyetli, diğer sentez yöntemlerine göre daha az zaman alan ve endüstriyel uygulamalar için kolayca ölçeklenebilir olan çökelme yöntemi kullanılarak manyetik nanopartikül üretilmesi hedeflenmiştir.

Çökelme yöntemine uygun olarak yeni bir deney düzeneği kurulmuştur. Bu düzenek kullanılarak öncelikle demir oksit partikülleri üretilmiştir. Oksidasyonu önlemek ve biyoyumluluğu sağlamak için partiküller, oleik asit veya lorik asitle kaplanmıştır. Oleik asitle yapılan uygulamalarda demir oksitin manyetik bileşiği olan manyetit üretilmiştir. Lorik asitle yapılan uygulamalarda ise elde edilen partiküllerin, manyetik özellikte olduğu gözlemlenmiştir, ancak XRD pikleri demir oksitin manyetik bileşiği olan manyetit veya maghemite ait değildir, FeO bileşiğine aittir. Bu partiküller, termodinamik olarak stabil bir malzeme formunu üretmek için dakikada 20°C hızda 500°C, 700°C ve 900°C' ye kadar ısıtılmıştır ve bu sıcaklıkta 1 saat boyunca hava atmosferinde kalsine edilmiştir. Kalsine sonrasında partiküllerin manyetik özelliklerini kaybettiği gözlenmiştir. 900°C' de kalsine edilen partiküllerin XRD grafiği incelendiğinde yapısındaki hakim faz hematitdir (Fe₂O₃). Hematit dışında demir (Fe) pikine de rastlanmıştır.

Yine aynı deney düzeneği kullanılarak ferrit (MnFe₂O₄, CoFe₂O₄, MgFe₂O₄, BaFe₁₂O₁₉) üretilmiştir. Üretilen partiküller manyetik özelliktedir. Ferrit üretiminde literatürde bilinen geleneksel bazlar yerine DIPA da çökeltme ajanı olarak kullanılmıştır. DIPA ile yapılan uygulamalarda pH değeri 9 civarında olan çözelti ile MgFe₂O₄ ve BaFe₁₂O₁₉ partikülleri üretilmiştir. MgFe₂O₄ partiküllerinin üretiminde, sentez esnasında düşük sıcaklıktaki (70°C) çözeltide çalışmanın üretilen partiküllerin manyetik özellikleri üzerindeki olumlu etkisi olduğu gözlenmiştir.

Çalışmada elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Demir oksitin manyetik bileşiği olan manyetit (oda koşullarında oleik asit kullanılarak) sentezlenmiştir. Ancak lorik asit kullanımıyla aynı deney koşullarında sentez sonrasında kalsine işleminin yapılmış, sıcaklığın etkisiyle yapı okside olarak demir oksidin hematit (Fe₂O₃) bileşiği hakim faz olarak üretilmiştir.
- Oleik asit ve çökeltme ajanı olarak da NaOH kullanılarak oda koşullarında mangan ferrit (MnFe₂O₄) partikülleri üretilmiştir.

- Oleik asit ve çökeltme ajanı olarak da NaOH kullanılarak oda koşullarında kobalt ferrit (CoFe_2O_4) partikülleri üretilmiştir.
- Kaplama ajanı olarak oleik asit, çökeltme ajanı olarak da NaOH veya DIPA kullanılarak hem oda koşullarında hem de 70°C ' de 1 veya 2 saat ısıtma yapılarak magnezyum ferrit (MgFe_2O_4) partikülleri üretilmiştir.
- Kaplama ajanı olarak oleik asit, çökeltme ajanı olarak da DIPA kullanılarak 70°C ' de 1 saat ısıtma yapılarak baryum hekzaferrit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) partikülleri üretilmiştir.



KAYNAKLAR

- [1] Khan, İ., Saeed, K., Khan, I., (2019). *Nanoparticles: Properties, applications and toxicities*. Arabian Journal of Chemistry. s. 908-931.
- [2] <http://www.kuark.org/2011/05/nanoteknolojinin-tarihi/> (Erişim tarihi: 19.12.2019)
- [3] Kargozar, S., Mozafari, M., (2018). *Nanotechnology and Nanomedicine: Start small, think big*. Materials Today: Proceedings. S. 15492–15500.
- [4] <https://ahmetakgonul.weebly.com/kullan305m-alanlar305.html> (Erişim tarihi: 19.12.2019)
- [5] Nanomalzemelere ait elektron mikroskobu görüntüleri
https://www.google.com/search?q=Nanomalzemelere+ait+elektron+mikroskobu+g%C3%B6r%C3%BCnt%C3%BCleri&sxsrf=ACYBGNTqiISOBP1QTckbCUC2g3e6XXWRsg:1578994431394&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjn3L3R5ILnAhUlXKYKHATWBE4Q_AUoAXoECAwQAw&biw=1366&bih=625#imgsrc=gu_9Px5CNChUuM
(Erişim tarihi: 14.01.2020)
- [6] Gürmen, S., Ebin, B. *Nanopartiküller ve Üretim Yöntemler-1*. İ.T.Ü. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, s. 31-32.
- [7] Sarıbuğa S., (2014). *Manyetik Nanopartiküllerin Analitik İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 97s.
- [8] Laurent, S., Forge, D., Port, M., Roch, A., Robic, C., Elst, L. V., Muller, R.N., (2010). *Magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis, stabilization, vectorization, physicochemical characterizations, and biological applications*. Chem. Rev., 110, 2574–2574.
- [9] Shin, W.K., Cho, J., Kannan, A.G., Lee, Y.S., Kim, D.W., (2016). *Cross-linked 63secondary gel polymer electrolyte using mesoporous methacrylate-functionalized SiO₂ nanoparticles for lithium-ion polymer batteries*. Sci. Rep., 6, 26332.
- [10] <https://www.youtube.com/watch?v=1QeY87HlASU> (Erişim tarihi: 14.01.2019)
- [11] http://maycalistaylari.comu.edu.tr/lise1/sunumlar/danisman/Hakan_Kockar.pdf
(Erişim tarihi: 14.01.2019)
- [12] Astefanei, A., Núñez, O., Galceran, M.T., (2015). *Characterisation and determination of fullerenes: a critical review*. Anal. Chim. Acta, 882, 1-21.
- [13] Dreaden, E.C., Alkilany, A.M., Huang, X., Murphy, C.J., El-Sayed, M.A., (2012) *The golden age: gold nanoparticles for biomedicine*. Chem. Soc. Rev., 41, 2740-2779.
- [14] Sigmund, W., Yuh, J., Park, H., Maneeratana, V., Pyrgiotakis, G., Daga, A., Taylor, J., Nino, J.C., (2006). *Processing and structure relationships in electrospinning of ceramic fiber systems*. J. Am. Ceram. Soc., 89, 395-407.

- [15] Thomas, S., Harshita, B.S.P., Mishra, P., Talegaonkar, S., (2015) *Ceramic nanoparticles: fabrication methods and applications in drug deliver*. Curr. Pharm. Des., 21, 6165-6188.
- [16] S. Ali, I. Khan, S.A. Khan, M. Sohail, R. Ahmed, A. Rehman, M.S. UrAnsari, M.A. Mors, Electrocatalytic performance of Ni@Pt core–shell nanoparticles supported on carbon nanotubes for methanol oxidation reaction, *J. Electroanal. Chem.*, 795 (2017), 17-25.
- [17] Khan, I., Abdalla, A., Qurashi, A., (2017). *Synthesis of hierarchical WO₃ and Bi₂O₃/WO₃ nanocomposite for solar-driven water splitting applications*. Int. J. Hydrogen Energy, 42, 3431-3439.
- [18] Sun, S., (2000). *Monodisperse FePt nanoparticles and ferromagnetic FePt nanocrystal superlattices*. Science, 80 (287), 1989-1992.
- [19] Abd Ellah, N.H., Abouelmagd, S.A., (2016). *Surface functionalization of polymeric nanoparticles for tumor drug delivery: approaches and challenges*. Expert Opin. Drug Deliv., 1–14.
- [20] Abouelmagd, S.A., Meng, F., Kim, B.K., Hyun, H., Yeo, Y., (2016). *Tannic acid-mediated surface functionalization of polymeric nanoparticles*. ACS Biomater. Sci. Eng. 6b00497.
- [21] Mashaghi, S., Jadidi, T., Koenderink, G., Mashaghi, A., (2013). *Lipid nanotechnology*. Int. J. Mol. Sci., 14, 4242-4282.
- [22] Puri, A., Loomis, K., Smith, B., Lee, J.H., Yavlovich, A., Heldman, E., Blumenthal, R., (2009) *Lipid-based nanoparticles as pharmaceutical drug carriers: from concepts to clinical*, Crit. Rev. Ther. Drug Carrier Syst., 26, 523-580.
- [23] Gujrati, M., Malamas, A., Shin, T., Jin, E., Sun, Y., Lu, Z.R., (2014) *Multifunctional cationic lipid-based nanoparticles facilitate endosomal escape and reduction-triggered cytosolic siRNA release*, Mol. Pharm., 11, 2734-2744.
- [24] https://www.researchgate.net/figure/Example-of-top-down-and-bottom-up-strategies-for-synthesis-of-NPs-Based-on-18_fig1_319361710 (Erişim tarihi: 14.01.2019)
- [25] Wolfgang L. Bottom-up Methods for Making Nanotechnology Products. <http://www.azonano.com/details.asp?ArticleID=1079>. (Erişim tarihi: 17.12.2019)
- [26] Galindo, B.R., Valenzuela, A.O., Gracia-Cerda, L.A., Fernandez, R.O., Aquino, M.J., Ramos, G. et al. (2005). *Synthesis and magneto-structural study of Co_xFe_{3-x}O₄ nanoparticles*. J. Magn. Magn. Mater, 294, 33-36.
- [27] Zhou, W., Tang, K., Zeng, S., Qi, Y., (2008). *Room temperature synthesis of rod-like FeC₂O₄·2H₂O and its transition to maghemite, magnetite and hematite nanorods through controlled thermal decomposition*. Nanotechnology, 19 (6), 065602.

- [28] Sagrario, M.M., Gracia-Cerda, L. A., Torres-Lubian, J.R., (2005). *Preparation and characterization of cobalt ferrite by the polymerized complex method*. Mater Lett, 59, 1056-2060.
- [29] <https://www.sciencedirect.com/topics/physics-and-astronomy/coprecipitation> (Erişim tarihi: 17.12.2019)
- [30] Pereira, C., Pereira, A.M., Fernandes, C., Rocha, M., Mendes, R., Fernandez-Garca, M.P., Guedes, A., Tavares, P.B., Greneche, J.M., Araujo, J.P., Freire, C., (2012). *Superparamagnetic MFe_2O_4 ($M = Fe, Co, Mn$) Nanoparticles: Tuning the Particle Size and Magnetic Properties through a Novel One-Step Coprecipitation Route*. Chem. Mater, 24, 1496-1497.
- [31] Sun, J., Zhou, S., Hou, P., Yang, Y., Weng, J., Li, X., Li, M., (2006) *Synthesis and characterization of biocompatible Fe_3O_4 nanoparticles*. Wiley InterScience, 333-341.
- [32] <https://www.sciencedirect.com/topics/physics-and-astronomy/thermal-decomposition> (Erişim tarihi: 17.12.2019)
- [33] <https://www.sciencedirect.com/topics/physics-and-astronomy/sol-gel> (Erişim tarihi: 17.12.2019)
- [34] <https://www.slideshare.net/priyananda12/synthesis-of-nanoparticles-physicalchemical> (Erişim tarihi: 14.01.2019)
- [35] Dong, H., Wen, B., Melnik, R., (2014). *Relative importance of grain boundaries and size effects in thermal conductivity of nanocrystalline materials*. Sci. Rep., 4, 7037.
- [36] Ma, E. (2003). *Nanocrystalline materials: controlling plastic instability*. Nat. Mater., 2, 7-8.
- [37] Todescato, F., Fortunati, I., Minotto, A., Signorini, R., Jasieniak, J., Bozio, R., (2016). *Engineering of semiconductor nanocrystals for light emitting applications*. Materials, 9, 672.
- [38] Weiss, J., Takhistov, P., McClements, D.J., (2006). *Functional materials in food nanotechnology*. Food Sci., 71, R107-R116.
- [39] Alexis, F., Pridgen, E., Molnar, L.K., Farokhzad, O.C., (2008). *Factors affecting the clearance and biodistribution of polymeric nanoparticles*. Mol. Pharm., 5, 505-515.
- [40] Ognjanovic, M., Stankovic D.M., Ming, Y., Zhang, H., Jancar, B., Dojcinovic, B., Prijovic, Z., Antic, B., (2019). *Bifunctional $(Zn,Fe)_3O_4$ nanoparticles: Tuning their efficiency for potential application in reagentless glucose biosensors and magnetic hyperthermia*. Journal of Alloys and Compounds, V 777, 454-462.
- [41] Zhang, J., Saltzman, M., (2013). *Engineering biodegradable nanoparticles for drug and gene delivery*. Chem. Eng. Prog., 109, 25-30.
- [42] Prashant, K.J., Ivan, H.S., (2007). *Au NPs target cancer*. Nanotoday, 2, 19-29.

- [43] AshaRani, P.V., Mun, G.L.K., Hande, M.P., Valiyaveetil, S., (2009). *Cytotoxicity and genotoxicity of silver nanoparticles in human cells*. ACS Nano, 3, 279-290.
- [44] Hajipour, M.J., Fromm, K.M., Ashkarran, A.A., Jimenez de Aberasturi, D., de Larramendi, I.R., Rojo, T., Serpooshan, V., Parak, W.J., Mahmoudi, M., (2012). *Antibacterial properties of nanoparticles*. Trends Biotechnol., 30, 499-511.
- [45] Akhavan, O., Azimirad, R., Safa, S., Hasani, E., (2011). *CuO/Cu(OH)₂ hierarchical nanostructures as bactericidal photocatalysts*. J. Mater. Chem., 21, 9634.
- [46] Pant, H.R., Pant, B., Sharma, R.K., Amarjargal, A., Kim, H.J., Park, C.H., Tijing, L.D., Kim, C.S., (2013). *Antibacterial and photocatalytic properties of Ag/TiO₂/ZnO nano-flowers prepared by facile one-pot hydrothermal process*. Ceram. Int., 39, 1503-1510.
- [47] Qu, Z., Liu, P., Yang, X., Wang, F., Zhang, W., Fei, C., (2016). *Microstructure and characteristic of BiVO₄ prepared under different pH values: photocatalytic efficiency and antibacterial activity*. Materials, 9, 129.
- [48] Yin, Q., Wu, W., Qiao, R., Ke, X., Hu, Y., Li, Z., (2016). *Glucose-assisted transformation of Ni-doped-ZnO@carbon to a Ni-doped-ZnO@void@SiO₂ core-shell nanocomposite photocatalyst*. RSC Adv., 6, 38653-38661.
- [49] <https://www.understandingnano.com/nanotechnology-manufacturing.html> (Erişim tarihi: 14.01.2019)
- [50] Lei Y. M., Huang, W. X., Zhao, M., Chai, Y.Q., Yuan, R., Zhuo, Y., (2015). *Electrochemiluminescence resonance energy transfer system: mechanism and application in ratiometric aptasensor for lead ion*. Anal. Chem., 87, 7787-7794
- [51] Unser, S., Bruzas, I., He, J., Sagle, L., (2015). *Localized surface plasmon resonance biosensing: current challenges and approaches*. Sensors, 15, 15684-15716.
- [52] Tratnyek, P.G., Johnson, R.L., (2006). *Nanotechnologies for environmental cleanup*. Nano Today, 1, 44-48.
- [53] <https://pdfs.semanticscholar.org/32d5/0d806ab0a36403a8d2a7e8892376d71dbc7e.pdf> (Erişim tarihi: 14.01.2019)
- [54] <https://www.understandingnano.com/nanotechnology-energy.html> (Erişim tarihi: 14.01.2019)
- [55] Avasare, V., Zhang, Z., Avasare, D., Khan, I., Qurashi, A., (2015). *Room-temperature synthesis of TiO₂ nanospheres and their solar driven photoelectrochemical hydrogen production*. Int. J. Energy Res., 39, 1714-1719.
- [56] Mueller, N.C., Nowack, B., (2008). *Exposure modeling of engineered nanoparticles in the environment*. Environ. Sci. Technol., 42, 4447-4453.

- [57] Ning, F., Shao, M., Xu, S., Fu, Y., Zhang, R., Wei, M., Evans, D.G., Duan, X., (2016). *TiO₂/graphene/NiFe-layered double hydroxide nanorod array photoanodes for efficient photoelectrochemical water splitting*. Energy Environ. Sci., 9, 2633-2643.
- [58] Fang, X.Q., Liu, J.X., Gupta, V., (2013). *Fundamental formulations and recent achievements in piezoelectric nano-structures: a review*. Nanoscale, 5, 1716.
- [59] Gawande, M.B., Goswami, A., Felpin, F.X., Asefa, T., Huang, X., Silva, R., Zou, X., Zboril, R., Varma, R.S., (2016). *Cu and Cu-based nanoparticles: synthesis and applications in catalysis*. Chem. Rev., 116, 3722-3811.
- [60] Lei, Y.M., Huang, W.X., Zhao, M., Chai, Y.Q., Yuan, R., Zhuo, Y., (2015). *Electrochemiluminescence resonance energy transfer system: mechanism and application in ratiometric aptasensor for lead ion*. Anal. Chem., 87, 7787-7794.
- [61] Li, D., Baydoun, H., Verani, C.N., Brock, S.L., (2016). *Efficient water oxidation using CoMnP nanoparticles*. J. Am. Chem. Soc., 138, 4006-4009.
- [62] Nagarajan, P.K., Subramani, J., Suyambazhahan, S., Sathiyamurthy, R., (2014). *Nanofluids for solar collector applications: a review*. Energy Procedia, 61, 2416-2434.
- [63] Young, K.J., Martini, L.A., Milot, R.L., Snoeberger, R.C., Batista, V.S., Schmittenmaer, C.A., Crabtree, R.H., Brudvig, G.W., (2012). *Light-driven water oxidation for solar fuels*. Coord. Chem. Rev.
- [64] Zhou, Y., Dong, C.K., Han, L., Yang, J., Du, X.W., (2016). *Top-down preparation of active cobalt oxide catalyst*. ACS Catal., 6, 6699-6703.
- [65] Greeley, J., Markovic, N.M., (2012). *The road from animal electricity to green energy: combining experiment and theory in electrocatalysis*. Energy Environ. Sci., 5.
- [66] Liu, D., Li, C., Zhou, F., Zhang, T., Zhang, H., Li, X., Duan, G., Cai, W., Li, Y., (2015). *Rapid synthesis of monodisperse Au nanospheres through a laser irradiation – induced shape conversion, self-assembly and their electromagnetic coupling SERS enhancement*. Sci. Rep., 5, 7686.
- [67] Liu, J., Liu, Y., Liu, N., Han, Y., Zhang, X., Huang, H., Lifshitz, Y., Lee, S.T., Zhong, J., Kang, Z., (2015). *Metal-free efficient photocatalyst for stable visible water splitting via a two-electron pathway*. Science, 80 (347), 970-974.
- [68] Wang, D.W., Su, D., (2014). *Heterogeneous nanocarbon materials for oxygen reduction reaction*. Energy Environ. Sci., 7, 576.
- [69] Wang, Z., Pan, X., He, Y., Hu, Y., Gu, H., Wang, Y., Wang, Z., Pan, X., He, Y., Hu, Y., Gu, H., Wang, Y., (2015). *Piezoelectric nanowires in energy harvesting applications*. Adv. Mater. Sci. Eng., 1-21.
- [70] Guo, D., Xie, G., Luo, J., (2014). *Mechanical properties of nanoparticles: basics and applications*. J. Phys. D Appl. Phys., 47, s. 13001.

- [71] Kot, M., Major, L., Lackner, J.M., Chronowska-Przywara, K., Janusz, M., Rakowski W., (2016). *Mechanical and tribological properties of carbon-based graded coatings*. J. Nanomater., s. 1-14.
- [72] <http://libratez.cu.edu.tr/tezler/8950.pdf> (Erişim tarihi: 25.11.2019)
- [73] Gurumoorthy, M., Anbarasu, M., Parasuraman, K., Balamurugan, K., (2017). *Dependence of pH and temperature effect in the synthesis of Fe₃O₄*. International Journal of ChemTech Research, No.14, 381-389.
- [74] Lu, A.H., Salabas, E.L., Schüth, F., (2007). *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, 46, 1222-1244.
- [75] Vatta, L.L., Sanderson, R.D., Koch, K.R., (2006). *Pure Appl. Chem.*, 78, 1793-1801.
- [76] [http://www.nanott.hacettepe.edu.tr/nanobulten/18/Nanobulten18\[LQ\].pdf](http://www.nanott.hacettepe.edu.tr/nanobulten/18/Nanobulten18[LQ].pdf) (Erişim tarihi: 17.12.2019)
- [77] Gnanaprakash, G., Philip, J., Jayakumar, T., Raj. B., (2007). *Effect of Digestion Time and Alkali Addition Rate on Physical Properties of Magnetite Nanoparticles*. J. Phys. Chem. B., 111 (28), 978-7986.
- [78] <https://docplayer.biz.tr/6030817-Manyetik-nanopartikuller-kullanilarak-yuzeyde-guclendirilmis-raman-spektrometrisi-ile-immunoassay-sisteminin-gelistirilmesi-mustafa-ersin-pekdemir.html> (Erişim tarihi: 17.12.2019)
- [79] Cabrera, L., Gutierrez, S., Menendez, N., Morales, M., Herrasti, P., (2008). *Electrochim. Acta*, 53, 3436-3441.
- [80] Miller, M., Prinz, G., Cheng, S.F., Bounnak, S., (2002). *Appl. Phys. Lett.*, 81, 2211-2213.
- [81] Sun, S., Zeng, H., (2002). *J. Am. Chem. Soc.*, 124, 8204-8205.
- [82] Chen, F.H., Zhang, L.M., Chen, Q.T., Zhang, Y., Zhang, Z., (2010). *J. Chem. Commun.*, 46, 8633-8635.
- [83] Yazdani, F., Fattahi, B., Azizi, N., (2016). *J. Magn. Magn. Mater.*, 406, 207-211.
- [84] Karami, H., (2013). *Chem. Eng. J.*, 219, 209-216.
- [85] Mahdavian, A.R., Mirrahimi, M.A.S., (2010). *Chem. Eng. J.*, 159, 264-271.
- [86] Bukhtiyarova, G., Shuvaeva, M., Bayukov, O., Yakushkin, S., Martyanov, O., (2011). *J. Nanopart. Res.*, 13, 5527-5534.
- [87] Yazdani, F., Seddigh, M., (2016). *Magnetite nanoparticles synthesized by co-precipitation method: The effects of various iron anions on specifications*. Materials Chemistry and Physics, 318-323.

- [88] Davarpanah, A.M., Rahdar, A., Dastnae, M.A., Zeybek, O., Beyzaei, H., (2019). *(1-x)BaFe₁₂O₁₉/ xCoFe₂O₄ hard/soft magnetic nanocomposites: Synthesis, physical characterization, and antibacterial activities study*. Journal of Molecular Structure, 445-449.
- [89] Pereira, C., Pereira, A.M., Fernandes, C., Rocha, M., Mendes, R., Fernández-García, M.P., Guedes, A., Tavares, P.B., Grenèche, J.M., Araújo, J.P., Freire, C., (2012). *Superparamagnetic MFe₂O₄ (M = Fe, Co, Mn) Nanoparticles: Tuning the Particle Size and Magnetic Properties through a Novel One-Step Coprecipitation Route*. Chem. Mater., 24, 8, 1496-1504.
- [90] Wang, S.F., Li, Q., Zu, X.T., Xiang, X., Liu, W., Li, S., (2016). *Phase controlled synthesis of (Mg, Ca, Ba)-ferrite magnetic nanoparticles with high uniformity*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 464-475.
- [91] Hu, S.L., Liu, J., Yu, H.Y., Liu, Z.W., (2019). *Synthesis and properties of barium ferrite nano-powders by chemical co-precipitation method*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 473, 79-84.
- [92] Rahman, S., Nadeem, K., Anis-ur-Rehman, M., Mumtaz, M., Naeem, S., Letofsky-Papst, I., (2013). *Structural and magnetic properties of ZnMg-ferrite nanoparticles prepared using the co-precipitation method*. Ceramics International, 5235-5239.
- [93] Kusigerski, V., Illes, E., Blanusa, J., Gyergyek, S., Boskovic, M., Perovic, M., Spasojevic, V., (2019). *Improvement in magnetic behaviour of cobalt doped magnesium zinc nano-ferrites via co-precipitation route*. Journal of Alloys and Compounds, 569-581.
- [94] Liu, H., Li, A., Ding, X., Yang, F., Sun, K., (2019). *Magnetic induction heating properties of Mg_{1-x}Zn_xFe₂O₄ ferrites synthesized by co-precipitation method*. Solid State Sciences, 101-108.
- [95] Hu, S. L., Liu, J., Yu, H.Y., Liu, Z.W., (2019). *Synthesis and properties of barium ferrite nanopowders by chemical co-precipitation method*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 79-84.
- [96] https://www.google.com/search?q=oleic+acid+bond+structure&sxsrf=ALeKk02f2HXZnjJDPQFIQkerS0FclvLHnw:1586093259283&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=9e8R0X7YWZXCcM%253A%252CpxoOpkuAGz74AM%252C_&vet=1&usg=AI4_-kTlAHALCxGYGYg5XSDPIH0EWtA8uA&sa=X&ved=2ahUKEwIU_LlQsdHoAhV8RRUIHYSfCLcQ_h0wBH0ECACQDA#imgrc=9e8R0X7YWZXCcM (Erişim tarihi: 20.12.2019)
- [97] Wang, C. Y., Hong, J.M., Chen, G., Zhang, Y., Gu, N., (2010). *Facile method to 69econdary69d oleic acid-capped magnetite nanoparticles*. Chinese Chemical Letters, 179-182.

[98] Soares, P., Laia, C., Carvalho, A., Pereira, L., Coutinho, J., Ferreira, I., Novo, C., Borges, J., (2016). *Iron oxide nanoparticles stabilized with a blayer of oleic acid for magnetic hypetemia and MRI applications*. Applied Surface Science, 240-247.

[99] Baharuddin, A., Ang, B., Abu Hussein, N., Andriyana, A., Wong, Y., (2018). *Mechanisms of highly stabilize x-situ oleic acid-modified iron oxide nanoparticles functionalized with 4-pentynoic acid*. Materials Chemistry and Physics, 212-222.

[100] Rafiee, E., Ataei, A., Nadri, S., Joshaghani, M., Eavani, S., (2014). *Combination of palladium and oleic acid coated-magnetite particles: Characterization and using in Heck coupling reaction with magnetic recyclability*. Inorganica Chimica Acta, 302-309.

[101] Yang, K., Peng, H., Wen, Y., Li, N., (2010). *Re-examination of characteristic FTIR spectrum of 70econdary layer in bilayer oleic acid-coated Fe₃O₄ nanoparticles*. Applied Surface Science, 3093-3097.

[102] <https://www.americanelements.com/manganese-ferrite-12063-10-4> (Erişim tarihi: 18.07.2020)

[103] <https://www.americanelements.com/cobalt-ferrite-12052-28-7> (Erişim tarihi: 18.07.2020)

[104] <https://www.americanelements.com/magnesium-ferrite-12068-86-9> (Erişim tarihi: 18.07.2020)

[105] <https://www.americanelements.com/barium-ferrite-12047-11-9> (Erişim tarihi: 18.07.2020)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Tuğba AKBEN
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 06.02.1992 İspir/Erzurum
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (553) 933 23 89
e-posta : tugba.dongel06@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	SÜ/ Makine Mühendisliği Bölümü	2016
Lise	Çukurova Elektrik Anadolu Lisesi	2010

İş Denevimi

Yıl	Yer	Görev
2017-2019	Midaş Tekstil Sanayi ve Ticaret A.Ş	Makine Bakım Mühendisi Kalite Yönetim Temsilcisi
2018-	Martek Yapı Denetim Ltd. Şti.	Kontrol Mühendisliği

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Ozcelik B., Dongel T., Synthesis of Magnetic Nanoparticles, (2019). International Symposium on Advanced Engineering Technologies (ISADET), 514-516, Kahramanmaraş/Turkey.
2. Ozcelik B., Akben T., Synthesis of Magnetite Nanoparticles Coated With Lauric Acid, (2019).
3. Uluslararası GAP Matematik-Mühendislik-Fen ve Sağlık Bilimleri Kongresi, Harran Üniversitesi, 175, Şanlıurfa/Türkiye.

Hobiler

Kitap okumak, Voleybol oynamak, Yan flüt çalmak