



**ÇÖZELTİ PLAZMASI SİSTEMİ İLE METAL OKSİT
NANOPARÇACIK ÜRETİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Arzu MALKONDU

Danışman

Doç. Dr. Mehmet ÖZKAN

FİZİK ANABİLİM DALI

Ağustos 2024

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇÖZELTİ PLAZMASI SİSTEMİ İLE METAL OKSİT
NANOPARÇACIK ÜRETİMİ

Arzu MALKONDU

Danışman

Doç. Dr. Mehmet ÖZKAN

FİZİK ANABİLİM DALI

Ağustos 2024

TEZ ONAY SAYFASI

Arzu MALKONDU tarafından hazırlanan “Çözelti Plazması Yöntemi ile Metal Oksit Nanoparçacık Üretimi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 05/08/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Mehmet ÖZKAN

Başkan : Doç. Dr. Mehmet ÖZKAN
Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Zehra Nur ÖZER
Afyon Kocatepe Üniversitesi Afyon Meslek Yüksek Okulu

Üye : Doç. Dr. Ali Özhan AKYÜZ
Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bucak Emin Gülmez Teknik
Bilimler Meslek Yüksek Okulu

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

.....
Prof. Dr. Bekir YALÇIN
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

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

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

beyan ederim.

05/08/2024

Arzu MALKONDU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇÖZELTİ PLAZMASI SİSTEMİ İLE METAL OKSİT NANOPARÇACIK ÜRETİMİ

Arzu MALKONDU

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mehmet ÖZKAN

Bu çalışmada çözelti plazma sistemi ile metalik oksit nanoparçacık sentezi yapılmıştır. Metalik oksit olarak son zamanlarda popülerbolan bakı oksit (CuO) ve demir oksit (Fe_3O_4) seçilmiştir. Çözelti için ise bakır ve demir tuzları ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, FeSO_4) kullanılmıştır. İlk olarak her iki tuzdan 1 M lık stok çözelti oluşturularak çalışma için 50 mM lık 100 mL lik çalışma çözeltileri kullanılmıştır. Elektrot olarak 1mm kalınlığında tungsten tel kullanılırken güç kaynağı olarak PEKURİS marka 4KV Darbeli DC güç kaynağı kullanılmıştır. Çalışma frekansı 25 kHz olup puls genişliği 2mikro saniye olarak belirlenmiştir. Deney sonucunda elde edilen numunelerin FSEM ve EDX analizleri yapılarak nanoparçacıkların boyut ve elementer analizi yapılmıştır. Aynı zamanda numunelerin XRD ölçümleri yapılarak kristal yönelimleri tayin edilerek tanecik boyutu belirlenmiştir.

2024, x + 55 sayfa

Anahtar Kelimeler: Plazma, Demir oksit, Bakır oksit, Çözelti, Nanoparçacık, Tuz.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

METAL OXIDE NANOPARTICLES PRODUCTION WITH SOLUTION PLASMA SYSTEM

Arzu MALKONDU

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

Supervisor: Doç.Dr. Mehmet ÖZKAN

In this study, metallic oxide nanoparticles were synthesized with a solution plasma system. Copper oxide (CuO) and iron oxide (Fe₃O₄), which have become popular recently, were chosen as metallic oxides. Copper and iron salts were used for the solution (Cu(NO₃)₂, FeSO₄). First, a 1 M stock solution of both salts was created and 100 mL working solutions of 50 mM were used for the study. While 1mm thick tungsten wire was used as the electrode, PEKURIS brand 4KV Pulsed DC power supply was used as the power source. The operating frequency is 25 kHz and the pulse width is determined as 2 microseconds. FSEM and EDX analyzes of the samples obtained as a result of the experiment were performed and the size and elemental analysis of the nanoparticles were performed. At the same time, XRD measurements of the samples were made, crystal orientations were determined and particle size was determined.

2024, x + 55 pages

Keywords: Plasma, Iron oxide, Copper oxide, Solution, Nanoparticle, Salt.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÖZKAN, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen, öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma, eşime ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Arzu MALKONDU
Afyonkarahisar 2024

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
RESİMLERLER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Nanoparçacık Tarihçesi.....	5
1.1.1 Nanoteknoloji Nedir?.....	5
1.1.2 Nanoteknolojinin Tarihçesi.....	6
1.2 Nanoparçacık Sentezleme Yöntemleri.....	7
1.2.1 Top Down (Yukarıdan Aşağıya Yaklaşım)	8
1.2.2 Mekanik Aşındırma	8
1.2.3 Elektro Patlama.....	8
1.2.4 Bottom-up yaklaşımı (Aşağıdan Yukarıya Yaklaşımı)	9
1.2.5 Sol-Jel yöntemi	13
1.3 Demiroksitin Özellikleri.....	14
1.3.1 Demir Oksit Tozunun Sentezi.....	16
1.3.2 Demir Oksit Tozu Uygulamaları	17
1.3.3 Demir Oksit Türleri	18
1.3.4 Nanoteknoloji ve Demir Oksit Nanopartiküller.....	18
1.3.5 Demir Oksit Nanopartikül Sentezi.....	19
1.3.6 Demir Oksit Nanopartiküllerin Özellikleri	19
1.3.7 Demir Oksit Nanopartiküllerin Uygulamaları	19
1.3.8 Manyetik Özellikler	19
1.3.9 Manyetik Nanopartiküller.....	20
1.3.10 Demir Oksitlerin Renk Özellikleri.....	20
1.3.11 Renk Değişimi Mekanizmaları	21
1.3.12 Katalitik Özellikler ve Reaksiyonlar.....	21
1.3.13 Demir Oksitlerin Katalitik Aktivitesi	21

1.3.14 Yükseltgenme ve İndirgeme Tepkimeleri.....	22
1.3.15 Demir Oksitlerin Çevresel Etkileri	22
1.3.16 Ağır Metal Adsorpsiyonu	22
1.3.17 Biyolojik ve Tıbbi Kullanımlar.....	23
1.3.18 Demir Oksit Nanopartiküllerin Biyomedikal Kullanımları	23
1.3.19 Endüstriyel Uygulamalar	24
1.3.20 Yüzey Kaplama ve Pigmentler	25
1.4 Bakır Oksitin Özellikleri	26
1.4.1 Bakıroksitin Özellikleri.....	26
1.4.2 Bakır oksit Kullanımı ve Sentezi	27
1.4.5 Bakır oksit uygulamaları:.....	28
1.4.6 Üretim yöntemleri :.....	28
1.4.7 Tehlikeler ve güvenlik hakkında bilgi.:	30
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	31
2.1 Plazma	31
2.2 Çözelti plazma yöntemi (ÇPY)	32
3. MATERYAL ve METOT	35
3.1 Deney Sistemi	35
3.1.1 0-4kV DC Darbe Güç Kaynağı.....	36
3.1.2 Reaksiyon Kabı.....	36
3.1.3 PH metre ve Termometre.....	37
3.2 Deney Aşaması.....	37
3.2.1 1.Deney Aşaması (Bakır Oksit) ve parametreler	38
3.2.2 2.Deney Aşaması (Demir Oksit) ve parametreler.....	38
4. BULGULAR	40
4.1 Deneysel Bulgular:	40
4.1.1 (CuO) 1.Deney.....	40
4.1.2 Cu(NO ₃) ₂ 2.Deney	41
4.1.3 Cu(NO ₃) ₂ 3.Deney	42
4.1.4 Cu(NO ₃) ₂ 4.Deney	42
4.1.5 Cu(NO ₃) ₂ 5.Deney	43
4.1.6 FeO 1.Deney :	44
4.1.7 FeO 2.Deney	44
4.1.8 FeO 3. Deney	45

4.1.9 FeO 4. Deney	45
4.1.10 FeO 5. Deney	46
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	48
6. KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ.....	55



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

M	Molar
mM	Milimolar
nm	Nanometre

Kısaltmalar

CVD	Kimyasal Buhar Depolama
ÇPY	Çözeltili Plazma Yöntemi
MBE	Moleküler Işın Demeti
PHD	Fiziksel Buhar Biriktirme

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Maddenin dört hali.....	1
Şekil 1.2 Çözelti plazması modeli.....	4
Şekil 1.3 Gümüş Nanoparçacık Sentezi Deney Düzeneği.....	4
Şekil 1.4 Nanoteknolojinin uygulandığı alanlar.....	6
Şekil 1.5 Nanoteknolojinin ortaya çıkışından günümüze tarihsel gelişimi.....	7
Şekil 1.6 Partikül üretiminde kullanılan başlıca yöntemler.....	7
Şekil 1.7 Mekanik aşındırma ile parçacıkların küçültülmesi.....	8
Şekil 1.8 Soy gaz yönteminin şematik bir temsili	9
Şekil 1.9 Yöntemde parçacıklar için bir büyüme mekanizması	10
Şekil 1.10 Alev sentezinde kullanılan sistemin şematik gösterimi.....	11
Şekil 1.11 Gösterimde alev sentezi yöntemi kullanıldı.....	12
Şekil 1.12 CVC yönteminin nanopartiküllerin ana aşamalarını üretmek için kullanımı	12
Şekil 1.13 Sol-jel teknolojisi ve bu teknolojiyle üretilebilecek malzemelerin gösterimi	13
Şekil 1.14 Sol-jel prosesi partikül üretim aşamalarını temsil etmektedir.....	14
Şekil 2.1 Maddenin halleri.....	31
Şekil 2.2 Nanopartikül oluşumunun bir mekanizması vardır.....	33
Şekil 2.3 Çözelti Plazması Modeli	34
Şekil 3.1 Bakır Oksit Nanoparçacık Sentezi için deney sisteminin şematik görüntüsü.....	35
Şekil 3.2 Demir Oksit Nanoparçacık Sentezi için deney sisteminin şematik görüntüsü	36
Şekil 4.1 Deney Sonunda elde edilen CuO nanoparçacıklar için XRD analizi.....	41
Şekil 4.2 5.Deneyde Sentezlenen CuO nanoparçacık EDX analiz.....	43
Şekil 4.3 Sentezlenen FeO nanoparçacık EDX analizi.....	46
Şekil 4.4 Sentezlenen FeO nanoparçacık XRD analizi.....	47

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1 Demir Oksitlerin Katalitik Rolü.....	22
Çizelge 1.2 Demir Oksit uygulama alanları.....	24
Çizelge 3.1 Çözelti plazma sürecinde gerçekleşen reaksiyonlar (Baboo 2018)...	33
Çizelge 3.2 Bakır Oksit Deney parametreleri.....	38
Çizelge 3.3 Demir Oksit Deney parametreleri.....	39



RESİMLERLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 1.1	Doğal plazma örnekleri yıldırım ve Güneş'in ipliksi plazma yapısı...	2
Resim 2.1	Doğal plazmalara örnek.....	32
Resim 3.1	0-4 kV DC Puls Güç Kaynağı.....	36
Resim 3.2	Deney esnasında reaksiyon kabının fotoğrafı.....	37
Resim 3.3	Deney esnasında kullanılan PH metre ve termometre cihazı.....	37
Resim 4.1	1. Deney CuO Nanoparçacıkların SEM Görüntüsü.....	40
Resim 4.2	2. Deney Cu(NO ₃) ₂ Nanoparçacıkların SEM Görüntüsü.....	41
Resim 4.3	3. Deney Cu(NO ₃) ₂ Nanoparçacıkların SEM Görüntüsü.....	42
Resim 4.4	4. Deney Cu(NO ₃) ₂ Nanoparçacıkların SEM Görüntüsü.....	42
Resim 4.5	5. Deney Cu(NO ₃) ₂ Nanoparçacıkların SEM Görüntüsü	43
Resim 4.6	1. Deney FeO Nanoparçacıkların SEM Görüntüsü	44
Resim 4.7	2. Deney FeO Nanoparçacıkların SEM Görüntüsü	44
Resim 4.8	3. Deney FeO Nanoparçacıkların SEM Görüntüsü	45
Resim 4.9	4. Deney FeO Nanoparçacıkların SEM Görüntüsü	45
Resim 4.10	5. Deney FeO Nanoparçacıkların SEM Görüntüsü	46

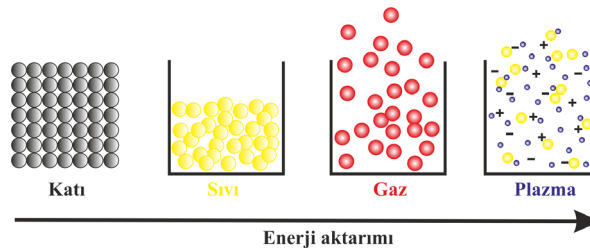
1. GİRİŞ

Yüksek sıcaklıklarda ve enerji seviyelerinde oluşan halin özelliklerini ve davranışını plazma fiziği yardımıyla anlamak mümkündür. Güneşin içinde plazma adı verilen bir madde üreten birçok yıldız vardır. Elektrik alanlarının etkisi altında plazma karmaşık davranışlar sergiler. Nükleer füzyon çalışmaları ve uzay araştırmaları plazma fiziğinin uygulamalarından sadece birkaçıdır. Maddenin dördüncü hali, sürekli hareket eden ve etkileşim halinde olan yüklü parçacık topluluklarını inceleyen bilimin dördüncü dalı olarak biliniyor. Maddenin atomlarının iyonize olduğu ve daha sonra ayrıldığı bir durum vardır (Baboo 2018).

1830'larda, Michael Faraday ve arkadaşları, maddenin dördüncü durumu olan plazmayı ilk inceledi. Deneyleri için yüksek voltajlı DC elektrik deşarj tüpü kullandılar. Daha sonra Crookes, düşük basınçlı gazla dolu bir tüpte elektrik deşarjını inceledi ve 1879'da iyonize gazın maddenin dördüncü durumu olduğu sonucuna vardı (Fernandez 2012).

"Plazma" terimi ilk olarak Amerikalı kimyager Irving Langmuir tarafından kullanıldı. "Plazma" adını seçti çünkü kan plazmasında bulunan iyonların, nötronların, fotonların ve radikallerin karmaşık karışımına benziyordu (Misra 2016).

Doğru miktarda basınç ve doğrudan akım veya alternatif akım kullanarak bir laboratuvarındaki gaz moleküllerine çok fazla enerji verdiğinizde, gaz moleküllerini iyonlaştırarak plazma oluşturabilirsiniz (Zhang 2017).

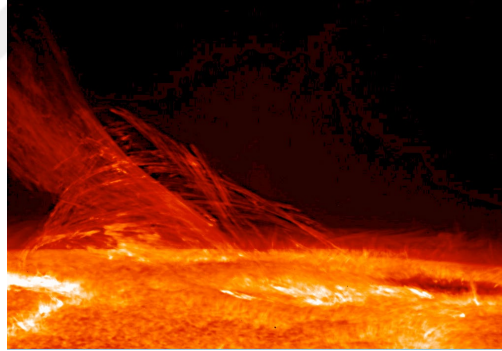


Şekil 1.1 Maddenin dört hali

Bir atom iyonlaştığında pozitif yüklü bir iyon oluşur. Gaz yeterince ısıtıldığında serbest elektron ve stronsiyum bulutları oluşmaya başlar. Bu süreçte bazı atomlar nötrdür.

Elektronların ve nötr atomların karışımına plazma denir. Serbest radikal parçacıkları plazmadadır. İyonize olmayan parçacıklara radikal parçacıklar denir. Yüklü parçacıklar kendi başlarına hareket ederler ama tamamı yüksüzdür. Parçacıkların kolektif bir hareketi vardır (Chu 2007) (Feizollahi 2021).

Maddenin birçok örneği var. Neon lambalar ve floresan lambalar buna örnektir. Evrenin büyük bir kısmı plazma halindedir. Doğal plazmalar atmosferin iyonosfer katmanını, Güneş'i, kuzey ışıklarını, yıldırımları ve yıldızları içerir. Güneşin yüzey sıcaklığı 5. 000 K ila 70. 000 K arasında değişebilir. İyonosferin sıcaklığı 1160 K ve elektron yoğunluğu 106 cm³tür. Evrendeki tüm madde ve enerjinin sıcak bir noktada yoğunlaşması gerekirdi. Evren sıcak maddeden oluşuyordu. Evren genişleyip soğuduğunda plazmanın bir kısmı gaza, suya ve en sonunda da katıya dönüştü. Evrenin büyük bir kısmının plazmada olması bu bakış açısını değiştirmiştir. Plazma olmayan evrende %1 soğuk gezegen bulunur (Feizollahi 2021).



Resim 1.1 Doğal plazma örnekleri yıldırım ve Güneş'in iplikli plazma yapısı

Bunun yanında laboratuvar ortamında yapay yollarla maddenin enerji içeriği değiştirilerek de plazma üretilmektedir (Baboo 2018).

Endüstride uygulanan enerjinin sıcaklık ve basınç aralığı tarafından yapay olarak elde edilen plazma türleri seyreltme faktöründen çok enerji ile üretilebilir. Elektronların plazmadaki sıklığı ve sıcaklığı ayrıca kullanılan enerji kaynağı türü ve miktarıyla belirlenmektedir. Bu nedenle, yapay olarak üretilmiş plazma sistemleri genellikle enerji dağılımı arasında ayrılabilir; Termal plazma soğuk plazmadır (Hullmann 2006).

Bazı gazlara vakum altında ve oda sıcaklığında elektrik akımı veya elektromanyetik radyasyon uygulanması sonucu oluşan işleme soğuk plazma adı verilmektedir (Fernandez 2012).

Soğuk plazmalar elektrikli gaz deşarj plazmalarına benzer. Elektrikli gaz deşarj tüpü, gazlarda elektrik deşarjı oluşturmak için kullanılan en yaygın sistemdir. Vakum ve gaz depolama sistemi ile vakumlanıp daha sonra istenilen basınçta istenilen gazla doldurulabilen bu sistem, iki paralel düzlemlili plaka tipi metal elektrotlu bir cam tüpten (genellikle pyrex cam) oluşur. Vakum ve gaz depolama sistemi bir vakum pompası, valf sistemleri, manometreler ve gaz silindirlerinden oluşur (Lines 2008).

Sistemin basitliği ve atmosferik basınçlı plazmaların ekonomik olması, onları teknolojik kullanımlar için daha ideal kılmaktadır (Scenıhr 2006).

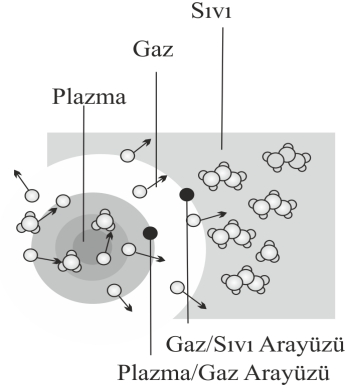
Çeşitli proses parametreleri ve çevre koşulları soğuk atmosferik plazmayı etkiler. Tıpta, yüzey işlemede, enerjide, yarı iletken teknolojisinde, uzay ve uçak teknolojisinde, plazma teknolojisinden yararlanılmaktadır (Ralph 1996).

Mikroelektronik teknolojisi, malzeme işleme, yüzey görüntüsü, elektron ve iyon ışınlama baskısı, Yarı iletken çip üretimi, korozyon önleyici kaplama, ambalaj malzemelerinin geçirgenlik özelliklerinin iyileştirilmesi, gıda maddelerindeki ambalaj malzemeleri plazmaların kullanılabileceği uygulamalardan sadece birkaçıdır (Gabriel 2004).

Plazma iyonize olmuş gaz olarak tanımlandığından genellikle gaz fazındaki plazma araştırılır. Plazmalar katı ve sıvı formda da bulunurlar. Sıvı fazdaki plazma genellikle bir elektrik deşarjla üretilir. Gaz fazındaki plazma ile aynı şekilde parçalanmaya ve reaktif türlerin oluşmasına yol açabilir (Van Heeren 2005).

Çözelti plazması , çözeltinin ayrıntılı yapısı hakkında henüz kesin bir bilgiye sahip olunmamaktadır. Fakat Şekil 3 te gösterilen bir model, çözelti plazmasının genel yapısını göstermektedir. Plazma merkezde yer alır ve sıvı faz ile çevrelenmiş bir gaz fazı tarafından sınırlanmıştır. İki ana arayüz gaz ve sıvıdır. Çözelti plazması, yoğunlaşmış

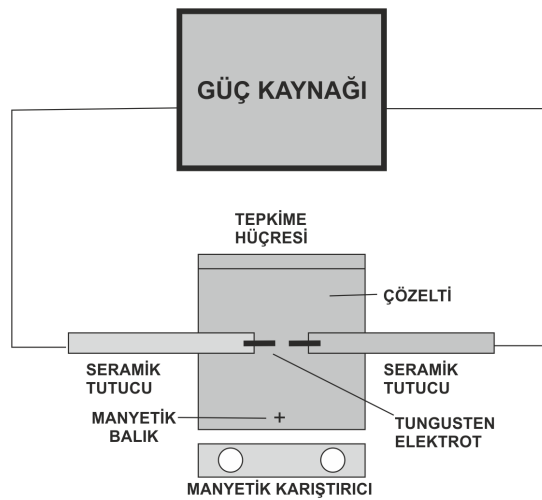
halde olması sebebiyle özel özelliklere sahiptir ve hızlı reaksiyonlara olanak sağlayabilir. Bu benzersiz özellikler ve yeni reaksiyon kinetiği, çözelti plazması üzerinde fizik ve kimya açısından temel çalışmalar yapılmasını sağlar (Kaihong 2006).



Şekil 1.2 Çözelti plazması modeli

SP , sıvı faz deşarjında güç kaynağı kullanılarak harici elektrik alanları tarafından indüklenen ve son yirmi yıldan bu yana geliştirilen plazmadır. Elektrotlar arasındaki sıvıda plazma üretildiğinde, ikincil elektronlar serbest bırakılır ve plazmayı sürekli olarak sürdürür. Önceki çalışmalara göre, SP sistemlerinde plazma oluşturmak için çeşitli güç kaynakları (örneğin, AC, DC ve bipolar darbeli DC) ve elektrot konfigürasyonları kullanılabilir (Bushan 2010).

Çözelti plazması yöntemi ile nanoparçacık sentezi çalışmaları yapılmakta ve gelecek vadetmektedir.



Şekil 1.3 Gümüş Nanoparçacık Sentezi Deney Düzenegi (M. Özkan , A.Sakarya 2019)

1.1 Nanoparçacık Tarihçesi

1.1.1 Nanoteknoloji Nedir?

1 nanometre ile 100 nanometre arasındaki boyutlarda çalışarak yeni fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklere sahip yapılar elde etmek mümkündür. Nanobilim ve nanoteknolojinin hedefleri arasında, belli bir işlevi olan yapıların malzemelerini ve kendilerini kontrollü bir şekilde üretebilmek yer alır. Bu alanda çalışmaların odak noktası nano ölçekte aygıtlar yapabilmektir. Ayrıca nanobilim ve nanoteknoloji sayesinde, bu yapıları günlük hayatta kullanılabilir hale getirmek de amaçlanmaktadır (Claudio 2002).

Malzemenin boyutuna bağlı olarak farklı özellikler gösteren malzemeler vardır. Cihazların malzeme özellikleri ve çalışma prensipleri geleneksel model ve teorilere dayanmaktadır. Geleneksel teoriler ve modeller, malzeme boyutları küçültüldüğünde özellikleri açıklamakta yeterli olmamaktadır. Kalıntılar orada. Daha küçük parçacıklar, daha büyük olanlara kıyasla yeni özelliklere sahiptir. Malzemenin yüzey alanının artması bu özelliklerin nedenlerinden biri olabilir. Nanoteknolojinin gelişmesi ve birçok alanda uygulanması malzemenin üstün ve yeni özelliklerine bağlıdır (Koch 2003).

Nanomalzemelerin temelini boyutları 1-100 nm aralığında olan parçacıklar oluşturur (Kumar 2007).

Nanoparçacıklar fiziksel , kimyasal , morfolojik özelliklerine göre sınıflandırılır. Nanoparçacık türlerinden biri metal nanopartiküllerdir. Metalik nanopartiküller nano boyutlu metaller, metal oksitler , metal sülfürler veya metal fosfatlar olabilir (M. Ishtiaq 2019).

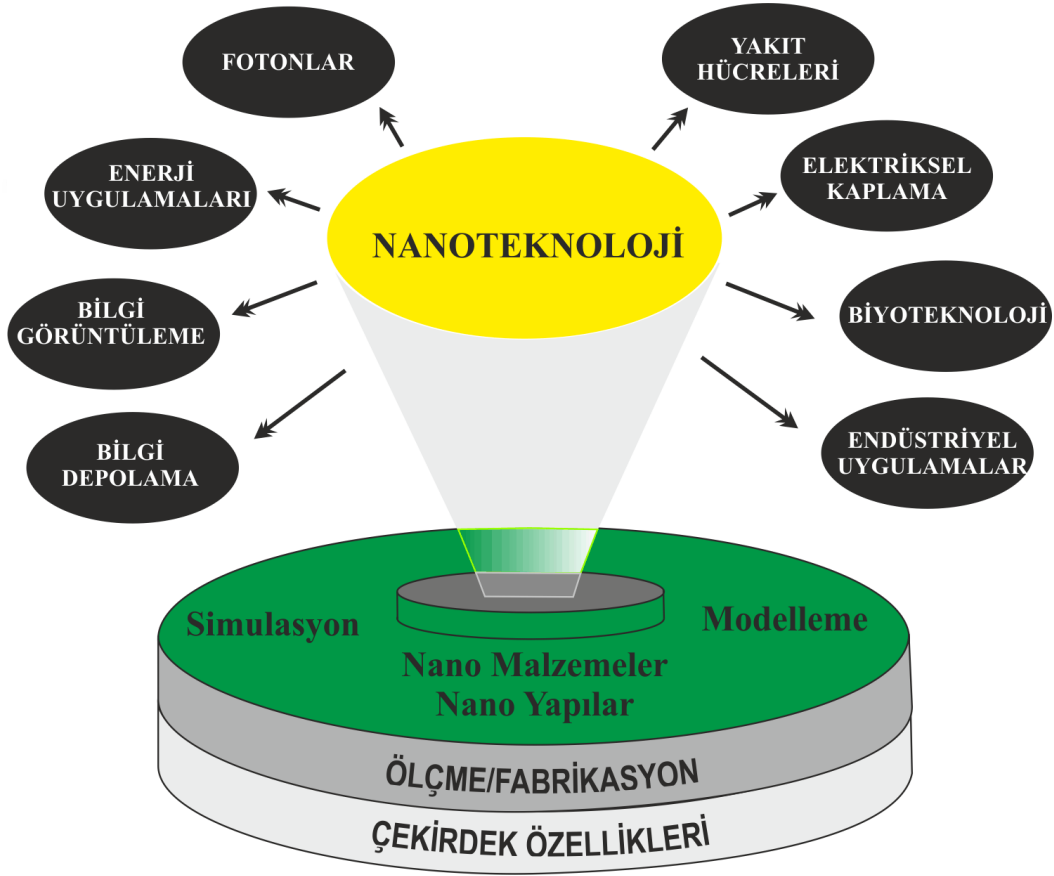
Bu alanda çok çeşitli çalışmalar yapılmış ve farklı metal ve metal oksit nanopartikülleri sentezlenmiştir. Sıcaklık, pH ve substratın konsantrasyonu, nanopartiküllerin boyutunu, şeklini ve boyutunu büyük ölçüde etkiler (NI Hulkoti 2014).

Ana amaçlar řu şekilde verilebilir.

- Küçük parçacıkların fiziksel özelliklerini anlamak önemlidir.
- Küçük yapıların imalatı ve analizi.

- Daha küçük cihazların geliştirilmesi.
- Hassas cihazların geliştirilmesi.
- Mekanik, optik, elektriksel, termal ve kimyasal açıdan farklı özelliklere sahip malzemeler geliştirmek.
- Teknolojide yeni uygulama alanları geliştirilmektedir (Ates 2015).

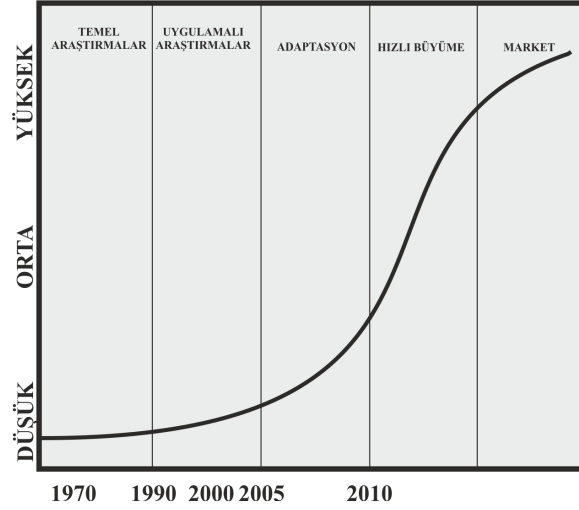
Şekil 1.4 de nanoteknolojinin kullanım alanları bulunmaktadır.



Şekil 1.4 Nanoteknolojinin uygulandığı alanlar

1.1.2 Nanoteknolojinin Tarihçesi

Nanoteknoloji ile ilgili çalışmalar 1960 lı yıllarda başlayıp günümüze kadar hızla gelişimini sürdürmektedir. Nanoteknoloji gelişimiyle hayatımızın pek çok alanına dahil olmuştur. Kullandığımız kıyafet ve eşyalardaki kumaşlardan , ilaçlar , kullandığımız otomobillerden teknolojik aletlerin gücüne kadar varlığını göstermektedir (Ebin 2008).

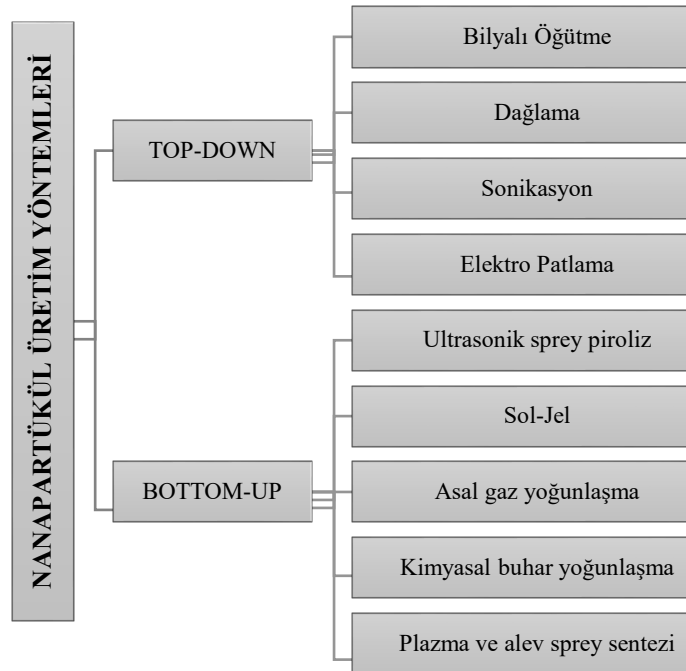


Şekil 1.5 Nanoteknolojinin ortaya çıkışından günümüze tarihsel gelişimi

1.2 Nanoparçacık Sentezleme Yöntemleri

Yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya üretime yönelik iki yaklaşımdır. Yukarıdan aşağıya üretim yaklaşımı, malzemeyi küçük parçacıklara ayırmak için mekanik ve/veya kimyasal işlemler kullanır. Aşağıdan yukarıya yaklaşım, kimyasal reaksiyonlar yoluyla parçacıkların oluşumuna yönelik yöntemleri içerir (Maribel 2008).

Şekilde 1.6 da Nanoparçacık üretim yöntemleri verilmiştir.



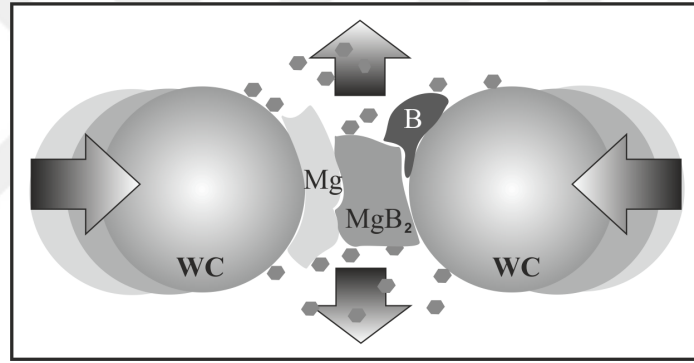
Şekil 1.6 Partikül üretiminde kullanılan başlıca yöntemler.

1.2.1 Top Down (Yukarıdan Aşağıya Yaklaşım)

Yukarıdan aşağıya yaklaşım, makinelerden ve kimyasal malzemelerden yapı elde etme yöntemlerini ifade eder. Yukarıdan aşağıya yaklaşımın içerdiği yöntemlerde amaç, belirli bir hacimdeki malzemeye kimyasal veya mekanik işlemlerle enerji verilerek malzemeyi küçük parçacıklara ayırmaktır. Yukarıdan aşağıya yaklaşımın yöntemi şekilde gösterilmiştir (Virender 2008).

1.2.2 Mekanik Aşındırma

Boyut küçültme, mekanik öğütücü ile numune arasındaki çarpışmayla elde edilir. Şekilde gösterilen işlemler vardır (Shi 2008).



Şekil 1.7 Mekanik aşındırma ile parçacıkların küçültülmesi

Parçacıklar topların arasına sıkışır. Öğütme ortamında toz bulutu var. Sürecin ilk aşamasında bir yığın oluşturulur. Düzensiz parçacıklar, parçacıkların birbirinden kırılması ve kaydırılmasıyla oluşur. Sıkıştırmanın ikinci aşamasında parçacıklar plastik ve elastiktir. Üçüncü aşamada daha fazla sorun var. Parçacıklar öğütme teknikleriyle elde edilebilir (Tsai 2004).

1.2.3 Elektro Patlama

Bu yöntemin temeli, gaz ortamında ince bir metal tel içerisinde akım oluşturulması prensibidir. Tel, yüksek akımların oluşmasıyla 20 000 ila 30 000 °C sıcaklığa ulaşabilir. Bu sıcaklıklarda telin direnci neredeyse sıfıra ulaştığında akım akışı durur. Tel sıvıya

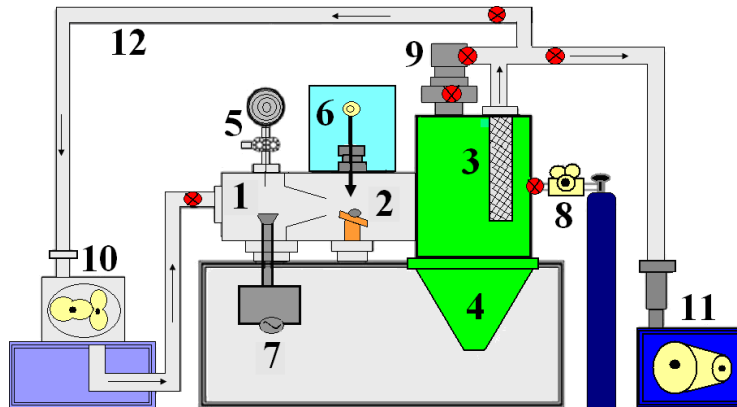
dönüştü. Metal aşırı ısınmış ve iyonize gaz ortamında bir şok dalgası yaratmıştır. İdeal koşullar sağlandığında metal tellerden 100 nm boyutunda metalik tozlar elde edilebilmektedir (Gürmen S. 2006).

Bu şekilde elde edilen tozlar metalürjik ve kimyasal olarak daha fazla reaksiyona girme kolaylığına sahiptir. Ayrıca yapıları gereği mikron altı küresel yapılara dönüşebilirler (Vandana 2005).

1.2.4 Bottom-up yaklaşımı (Aşağıdan Yukarıya Yaklaşımı)

Nanopartikül üretiminde aşağıdan yukarıya yaklaşım önemli bir yöntemdir. Aşağıdan yukarıya yöntem organik malzemelerde görülebilir. Bu yaklaşımdaki sistemler oldukça iyi kendini yenileme ve üretim ortamlarına sahiptir. Çözeltiler nanopartiküllerin oluşumunda başlangıç malzemesi olarak kullanılır. Aşağıdan yukarıya yaklaşımda kullanılan ana yöntemler sol-jel, kimyasal Buhar biriktirme, plazma veya alev sentezidir (Vandana 2005). Bu yöntemler hakkında pek çok bilgi vardır.

- | | |
|--|---------------------------|
| 1. Buharlaştırma Kaynağı, | 7. Güç Kaynağı, |
| 2. Lazer Ablasyon Hedefi, | 8. Asal Gaz Silindiri, |
| 3. Paslanmaz Çelik Filtre, | 9. Turbo Pompa, |
| 4. Partiküllerin Toplanması İçin Huni, | 10. Havalandırma Kaynağı, |
| 5. Tel Besleme Ünitesi, | 11. Mekanik Pompa |
| 6. Lazer Kaynağı, | 12. Gaz Dolaşım Hattı |

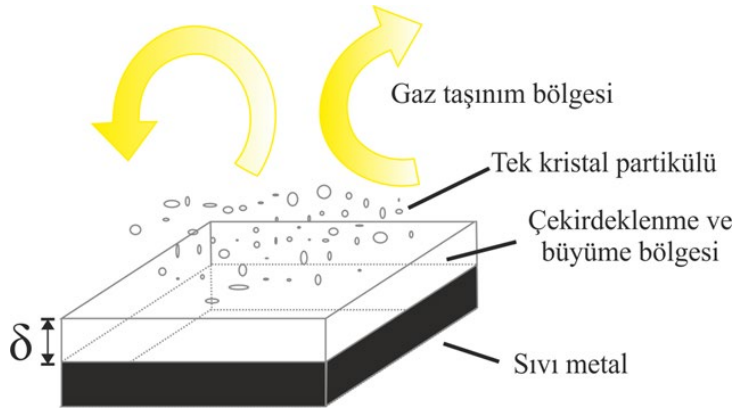


Şekil 1.8 Soy gaz yönteminin şematik bir temsili vardır.

1.2.4.1 Asal gaz yoğunlaştırma yöntemi

Soy gaz yoğunlaşması nanopartikül üretiminin çok popüler bir yöntemidir. Bu yöntemin çalışma prensibi başlangıç maddesinin temiz bir atmosferde buharlaştırılmasına dayanmaktadır. Atomların yoğunlaşması ve nanopartiküllere dönüşmesi sürecini, ortaya çıkan nanopartiküllerin bir toplayıcıda toplanması takip eder. Şekil 1.8'de sistem gösterilmektedir. Sistemi etkileyen ana parametreler gaz basıncı, inert gaz tipi, sıcaklık ve gaz akışıdır.

Tel formundaki malzeme rezistanslı ısıtma kazanına beslenir ve kaynaktan gerekli buharlaşma sıcaklığı elde edilir. Teknedeki teller eriyor. Uçucu metallerin uzaklaştırılması için kaynaktan sisteme taşıyıcı gaz gönderilir. Helyum, diğer soy gazlara göre daha yüksek ısıl iletkenliğe sahip olduğundan taşıyıcı gaz olarak tercih edilir. Parçacık büyüme süreci çekirdeklenme, pıhtılaşma ve aglomerasyonu içerir. Sistemin bu adımların gerçekleştiği farklı bölümleri vardır (Ward 2006). Buharlaşma ilerledikçe sıcak buharlaştırıcıda çekirdeklenme ve büyüme başlar. Parçacıkların çarpışması ve topaklaşması nedeniyle daha büyük parçacıklar oluşur (Türker 2002). Tohumların büyüme mekanizması Şekil 1.9'da gösterilmektedir.

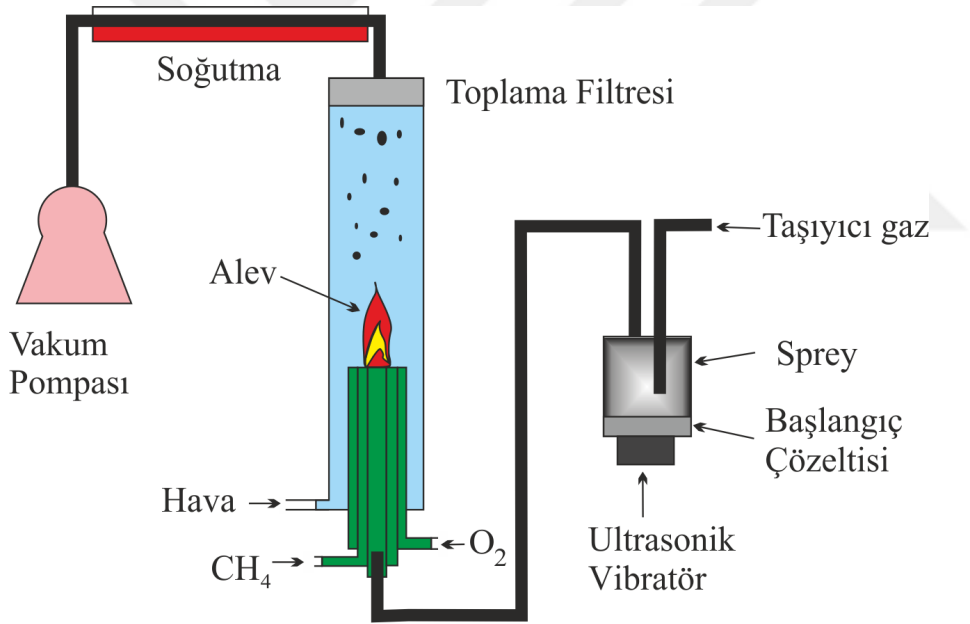


Şekil 1.9 Yöntemde parçacıklar için bir büyüme mekanizması vardır.

Şekil 1. 9'da soy gaz yoğunlaştırma yönteminin çalışma prensibinde gaz taşıma bölgesi, çekirdeklenme bölgesi ve büyüme bölgesi şematik olarak gösterilmektedir (Ceylan 2007).

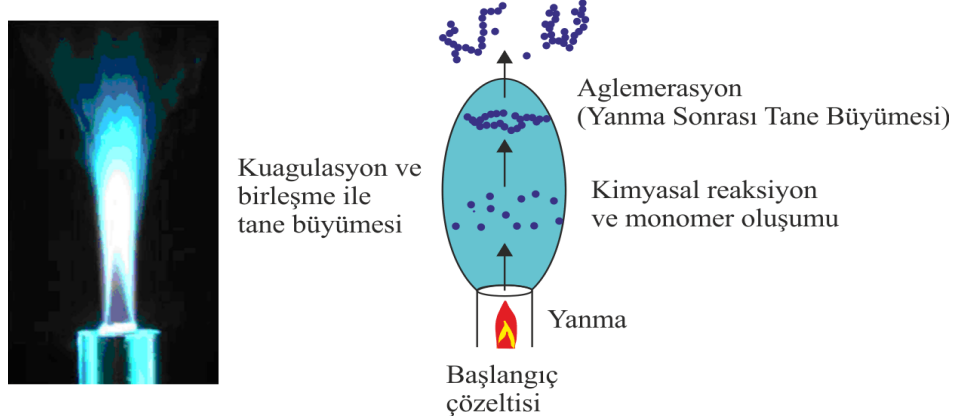
1.2.4.2 Alev sentezi

Alev sentezi yöntemi diğer üretim yöntemlerine göre çok az enerji gerektirir. Yakıtın bir kısmı ısı kaynağı olarak kullanılırken geri kalanı reaktan olarak kullanılır. Alev sentezinde kullanılan reaktör diğer reaktör türlerine göre esnektir. Bu sistemde pek çok parametrenin kontrol edilmesi gerekmektedir. Sıcaklık, kimyasal ortam ve zaman ana parametrelerdir (Randy 2003). Parametreleri kontrol etmek için yakıt tipinin ve oksitleyici akış hızının değiştirilmesi gereklidir. Çözeltinin konsantrasyonu parçacık boyutunu etkiler. Çok bileşenli sistemler oluşturmak için çözeltiye farklı tuzlar eklenebilir (Y.2005). Sistem bir spray jeneratörü, brülör, kuvars reaktörü, partikül toplama filtresi ve vakum pompasından oluşur. Şekil 1.10'da sistem şemasını göstermektedir.



Şekil 1.10 Alev sentezinde kullanılan sistemin şematik gösterimi

Alev sentezi yoluyla parçacık oluşturma süreci bir sıvıyla başlar. Sıvı öncüsü sisteme enjekte edildiğinde ince bir spray yapısı oluşur. Nozulun ortasındaki spreyi buharlaştırmak için küçük bir ateş halkası kullanılır. Sıvı buharlaştığında gaz fazında bir reaksiyon meydana gelir (Tok 2001). Parçacıklar buhar yoğunlaşması ile toplanır. Şekil 1. 11'de bu yöntemle tohum üretimi gösterilmektedir.



Şekil 1.11 Gösterimde alev sentezi yöntemi kullanıldı.

1.2.4.3 Kimyasal buhar yoğunlaştırma yöntemi

Nanopartiküllerin üretiminde kimyasal sentez yöntemleri her zamankinden daha önemli. Çoğu malzeme türü kimyasal buhar yoğunlaştırma yöntemine uygulanabilir. Topaklanmayan parçacıklar ucuz ve kolay ulaşılabilir malzemelerden üretilebilir. Ortaya çıkan parçacıkların boyut ve şekil gibi önemli özellikleri belirli parametrelerden etkilenir (Wang 2003). Katkılı ve kaplamalı yüzeyler CVC prosesi kullanılarak üretilebilir (Hahn 1997).

Sisteme taşıyıcı gaz verildiğinde ham maddeden ürüne kadar sürekli bir süreç meydana gelir. CVC yöntemi, başlangıç malzemelerinden nanopartiküller elde etmek için kullanılabilir. Şekil 1.12'te gösterilen aşamalara buharlaşma, piroliz/homojen çekirdeklenme, kristalleşme ve aglomerasyon adı verilir (Hahn 1997).

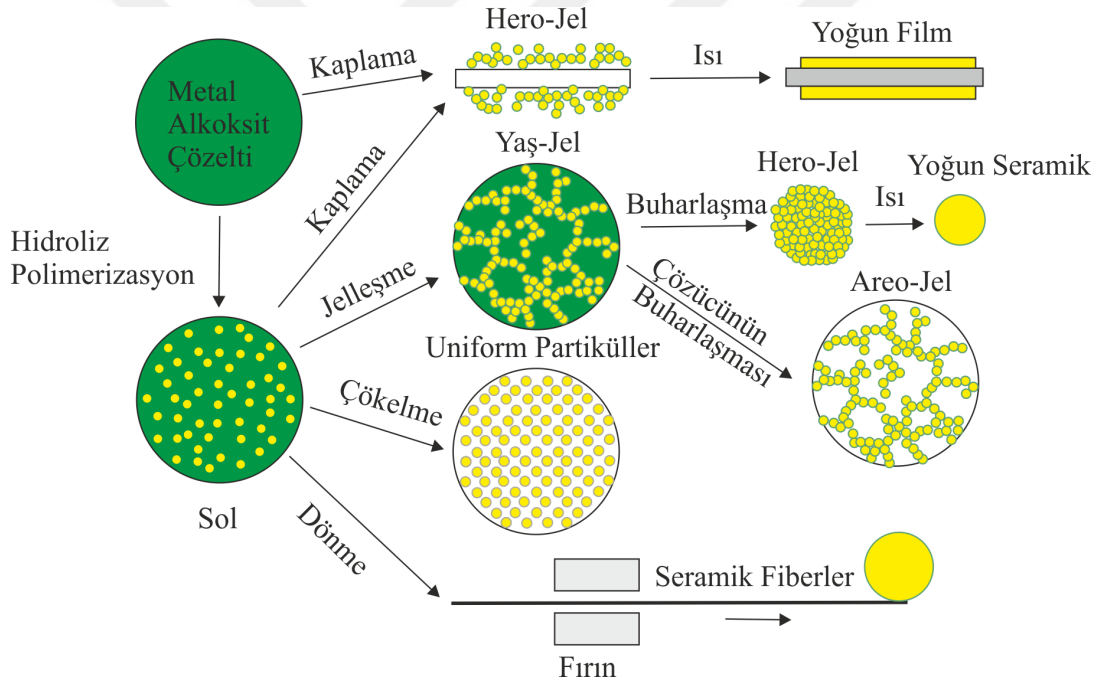
CVC yöntemini kullanarak nanopartiküllerin başlangıç malzemelerinden ürünlere kadar yapılmasına yönelik adımlar Şekil 1.13'te gösterilmektedir (Sadeghzadeh-Attar 2007).



Şekil 1.12 CVC yöntemi nanopartiküllerin ana aşamalarını üretmek için kullanılır.

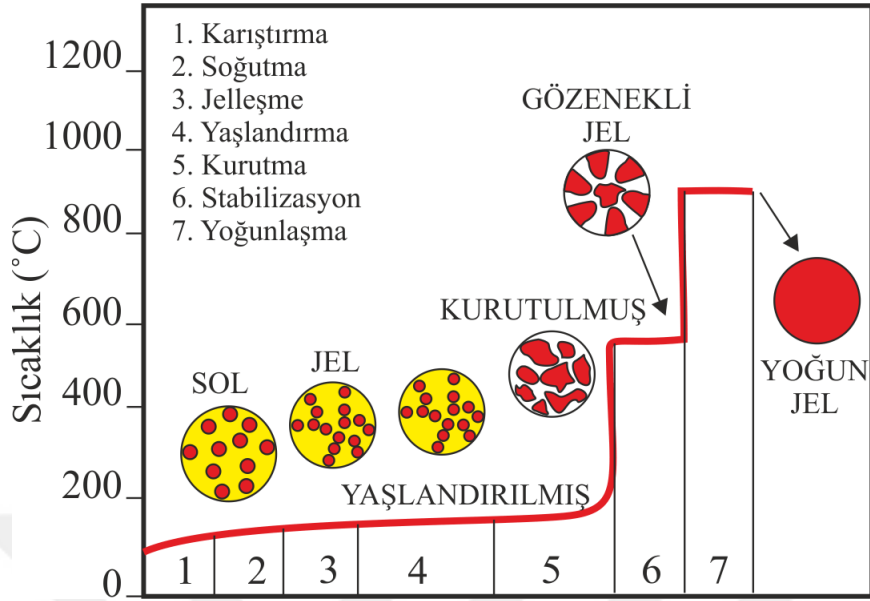
1.2.5 Sol-Jel yöntemi

Sol-jel yöntemi metal alkoksitlerin ve inorganik tuzların reaksiyonlarına dayanmaktadır. Sol-jel yöntemi oldukça pahalı ve emek yoğun bir yöntemdir ancak bu yöntemin öne çıkan avantajları, nanopartikül üretiminde öncelik verilmesinde büyük rol oynamaktadır. Minerallerden ve kimyasallardan istenilen boyut ve şekildeki malzemeleri kontrollü, tekdüze bir şekilde üretebilme yeteneğinin geliştirilmesi, faydalarından biri olarak sıralanmaktadır. Sistemin en büyük dezavantajı elde edilen ürün sayısının girdi ürünlerine göre çok az olması, yani verimliliğin çok düşük olmasıdır (Chu 2007). Sol-jel yöntemi yoğun malzeme, elyaf ve ince film yüzey kaplama üretiminde popülerdir. Bu malzemelerin üretimine yönelik sol-jel yönteminin şeması Şekil 1.13 de gösterilmiştir.



Şekil 1.13 Sol-jel teknolojisi ve bu teknolojiyle üretilebilecek malzemelerin gösterimi

Resimde görülen toprağın sıvı fazında birkaç yüz nanometre çapında asılı duruyor. Katı makromoleküller, yeni bir faz haline geldiğinde jelin sıvı fazına gömülür. Jelin kurutulması ve düşük sıcaklıklara maruz bırakılmasıyla gözenekli katı matris yapıları oluşturulur (Chen 2009). Sol-jel yöntemini kullanarak tohum oluşturma adımları Şekil 1.14’de sunulmaktadır.



Şekil 1.14 Sol-jel prosesi partikül üretim aşamalarını temsil etmektedir.

Sol-jel üretim yönteminin ana adımları Şekil 1.14'de gösterilmektedir. Aşamalar kurutma, soğutma, jelleşme, yaşlandırma, kurutma, stabilizasyon ve son olarak yoğunlaşmayı içerir (Brinker 1990).

1.3 Demiroksitin Özellikleri

Demir oksit, demir ve oksijenin birleşimiyle oluşan kimyasal bileşiktir. Doğada bol miktarda bulunur ve kırmızımsı-kahverengi renkleriyle tanınır (Coşkun 2024). İşte demir oksitin özellikleri ve uygulamaları:

1. Renk:
 - Demir oksitler, kırmızı, kahverengi veya siyah renklere sahiptir.
2. Manyetik Özellikler:
 - Fe_3O_4 (mıknatıslı demir oksit), manyetik özelliklere sahiptirken, FeO ve Fe_2O_3 manyetik değildir.
3. Dayanıklılık:
 - Demir oksitler genellikle oldukça dayanıklıdır ve çeşitli koşullara karşı dirençlidirler.
4. Yüksek Sıcaklıklarda İstikrar:

- Yüksek sıcaklıklarda dahi kimyasal ve fiziksel olarak istikrarlıdır.

5. Uygulamalar:

- Boya ve Pigmentler: Kırmızı, kahverengi ve sarı pigmentler olarak yaygın bir şekilde kullanılır.
- Seramikler: Seramik endüstrisinde renklendirici ajan olarak kullanılırlar.
- Manyetik Malzemeler: Özellikle Fe_3O_4 , manyetik malzemelerin üretiminde kullanılır.
- Yapı Malzemeleri: Beton ve tuğla gibi yapı malzemelerinin renklendirilmesinde kullanılır.
- Elektronik ve Elektrik: Yarı iletken cihazlarda, manyetik sensörlerde ve diğer elektronik uygulamalarda kullanılabilir.

Bu özellikler ve uygulamalar demir oksidin birçok endüstriyel uygulamaya sahip olduğunu göstermektedir (Çelik 2023). Doğada demir (III) ile oksijen arasındaki reaksiyondan kaynaklanan yaklaşık 16 farklı demir oksit türü vardır. En iyi bilinenleri, alfa demir oksit (α - Fe_2O_3) olarak da bilinen hematit, gama demir oksit (γ - Fe_2O_3) olarak da bilinen maghemit ve manyetittir (Fe_3O_4). Demir oksitler hem uygun maliyetli hem de yaygın olarak bulunabilmesi nedeniyle birçok alanda kullanılmaktadır. Pek çok biyolojik ve jeolojik süreçte, özellikle katalizör ve pigment olarak değerli ajanlar oldukları kanıtlanmıştır. Endüstriyel, ticari ve teknolojik kullanımlarının yanı sıra bilimsel araştırmalarda da popüler maddelerdir (Sulak 2021). Bu çok yönlülük, araştırmacıları ince demir oksit kristalleri ve tozları üretmeye teşvik ediyor. Bu parçacıkların bir kısmı ferromanyetik özelliklerinden dolayı yarı iletken, manyetik ve süper manyetik özelliklere sahiptir.

Demir oksit, manyetik özellikler gösterebilen ferromanyetik bileşiklere aittir. Manyetik alana yerleştirildiklerinde bu manyetik özellikleri sergileyebilirler. Kontrollü kristal boyutu ve yapısıyla üretildiğinde bu manyetik özellik birçok uygulama için paha biçilmezdir. İnce demir oksit parçacıkları, manyetik özellikleri ve düşük toksisiteleri nedeniyle manyetik rezonans görüntüleme (MRI) gibi tıbbi uygulamalarda popülerdir. Büyük miktarlarda demir oksitin kullanımı ve reaksiyonu çok önemlidir. Ancak makro ve nano ölçekte boyut olarak küçüldüklerinde bazen alev alabiliyorlar. Bir yarı iletken

olarak demir oksit, artan sıcaklıkla direnci azalan bir maddenin özelliklerine sahiptir. Bu özellik, α -Fe₂O₃'ün bazı sensörlerde kullanılmasını mümkün kılmaktadır. İdeal demir oksit tozu elde etmek için çeşitli üretim yöntemleri geliştirilmiştir (Bal 2022).

İyonik oksitler yüzey reaktiviteleri ve yüksek manyetik özelliklerinden dolayı en yaygın metal oksitler arasındadır. Bu, çevre dostu özellikleri sayesinde modern sürdürülebilir kimyanın önemli bir bileşeni olarak kabul edilir. Özellikle, α -Fe₂O₃ -13°C'nin altındaki sıcaklıklarda antiferromanyetik özellikler ve -13°C ile 600°C arasında zayıf ferromanyetik özellikler sergiler. Bu oksidin hazırlanmasında sıvı fazda çökeltme ve termal ayrıştırma gibi yöntemler tercih edilmektedir. g-Fe₂O₃, yüksek sıcaklıklarda α -Fe₂O₃'ün geçiş formu olan gama formunda bulunur. Bu form ferromanyetik özellikler sergilerken, 10 nm'den küçük parçacıklar süperparamanyetik özellikler sergiler. g-Fe₂O₃ üretmek için termal indirgeme yöntemi kullanılır. Aynı zamanda bu madde Fe₃O₄'ün kontrollü oksidasyonu ile elde edilir. Ek olarak demir oksalatın termal ayrışmasıyla g-Fe₂O₃ parçacıkları üretilebilir (Taşar 2023a).

1.3.1 Demir Oksit Tozunun Sentezi

Demir oksit tozunu sentezlemek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu işlemler, nanokristalin demir oksit tozu elde etmek için ferrik klorürün hidroklorik asit ile 100°C'de hidrolizini içerir. Ayrıca tetrabütilamonyum bromür, etilen glikol ve demir klorürün 450°C'de 3 saat süreyle reaksiyonu ile üç boyutlu çiçek benzeri nanoyapılı demir oksit üretilebilmektedir. Sol-jel yöntemi kullanılarak etilen glikol, monometil eter ve demir nitrat gibi reaktiflerin 400 ila 700 °C arasındaki sıcaklıklarda inkübe edilmesiyle α -Fe₂O₃ elde edildi. Demir oksit parçacıkları, yüzey aktif madde setil-trimetilamonyum bromür kullanılarak demir oksalat nanoçubuklar üretilerek ve bunların 500°C'de ayrıştırılmasıyla elde edilebilir. K₃[(Fe(CN)₆], mikroskobik bir çivi yapısına sahip α -Fe₂O₃ üretmek için hidrotermal olarak sterilize edilir. Bazı yöntemler, birincil reaktifler olarak pahalı metal komplekslerinin kullanılmasını gerektirebilir. Baş, zor sentetik prosedürleri, nadir malzemeleri ve Organik çözücülerin sık kullanımı, bu sınırlamaların üstesinden gelmek için daha çevre dostu sentetik yöntemlerin geliştirilmesi açısından önemlidir (Taşar 2023b).

1.3.2 Demir Oksit Tozu Uygulamaları

Demir oksit çok çeşitli kullanım alanlarına sahip bir maddedir ve özellikle çelik endüstrisinde ana hammadde olarak popülerdir. Ayrıca birçok uygulama alanı vardır:

- Endüstriyel ve kozmetik kullanımlar
- Tıp ve dişçilik uygulamaları
- Veri kaydetme:
- Enerji uygulamaları

Ancak demir oksidin bu alanda kullanılması bazı teknik zorluklarla karşı karşıyadır: Birincisi, foto-uyarılmış yük taşıyıcılarının kısa bir difüzyon uzunluğuna (2-4 nm) sahip olması nedeniyle verimlilik sınırlıdır. Bu, enerji taşıma sürecini sınırlar. Ek olarak reaksiyonun başlaması için önemli miktarda başlangıç enerjisi (aşırı potansiyel) gereklidir. Hızlı şarj rekombinasyonu, demir oksidin su oksidasyon performansını olumsuz yönde etkileyebilir. Bu zorlukların üstesinden gelmek için birçok araştırma yapılıyor. Bu çalışmalar, yüzey işlevselleştirme (yani yüzey özelliklerinin değiştirilmesi) ve farklı kristal yapıları sahip demir oksitlerin (örneğin β -Fe) kullanılması gibi yöntemlere odaklanmaktadır. Bu yöntemler sudaki demir oksit oksidasyonunun etkinliğini arttırmayı amaçlamaktadır. Özetle demir oksit birçok alanda önemli bir maddedir ve özellikle enerji üretimi ve depolanmasında onu daha etkili hale getirmek için araştırmalar devam etmektedir (Keklikcioğlu 2021, Demir, bolluğu, olağanüstü kimyasal ve elektronik özellikleri ve birçok elementle yüksek reaktivitesi nedeniyle cevherlerde ve inorganik minerallerde önemli bir demir oksit kaynağıdır. Demir oksit, erişim kolaylığı ve uygun fiyatı nedeniyle dünya çapında birçok uygulamaya sahiptir. Endüstri, tıp, bilim ve teknoloji gibi pek çok alan demir oksitin bu çeşitliliğinden faydalanmaktadır.

Demir oksit: Endüstrideki kullanımları ve önemi Demir oksit, çeşitli kimyasal bileşimi ve özellikleri sayesinde bilimde ve endüstride birçok uygulamaya sahiptir. Esas olarak demir (Fe(II)) ve demir (Fe(III)) oksidasyon durumuna göre sınıflandırılır. Demir oksitin mineralojide yaygın formları: Bunlar wüstit, manyetit ve hematit gibi demir içeren minerallerdir. Bu minerallerin tümü doğal olarak elde edilir ve çeşitli endüstriyel işlemler yoluyla sentetik olarak üretilir (Gümüş 2018). Demir oksitlerin kullandığı

koordinasyon geometrisi tipik olarak oktahedral veya tetrahedraldir. Doğal olarak oluşan demir oksitler karakteristik parlak renklerinden dolayı renklendirici olarak da kullanılmaktadır. Kırmızı demir oksit en iyi bilinen şeklidir ancak siyah, sarı, yeşil ve kahverengi gibi birçok farklı renk varyasyonu da vardır. Demir oksitler renklendirici özelliklerinin yanı sıra değiştirilebilir yüzeyleri sayesinde katalizör olarak da kullanılabilir (Yalcin 2021). Teknolojinin gelişmesiyle birlikte demir oksitin kullanım alanı genişlemiştir; Özellikle nanoteknoloji alanında büyük ilgi görüyor. Nanopartikül formundaki demir oksitler, süperparamanyetik özelliklerinden dolayı biyomedikal teknolojide ve yüzey kaplamalarında önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca çevre temizliği, su filtrasyonu gibi işlemlerde de etken madde olarak kullanılırlar. Bu çok yönlü uygulamalarla demir oksit endüstride ve çevrede önemli bir bileşen haline geldi (Tecim 2016).

1.3.3 Demir Oksit Türleri

FeO: Demir(II) oksit olarak da bilinir ve wüstit olarak da bilinir. Rengi koyu ve metalik yapıdadır (Sarıtay 2023).

Fe₂O₃: Hematit olarak adlandırılır ve doğal olarak şeyl ve kireçtaşıda bulunur. Kırmızı-kahverengi rengiyle bilinir (Kartal 2016).

Fe₃O₄: Hem demir (II) hem de demir (III) oksit içeren karışık bir oksittir ve manyetit olarak adlandırılır. Manyetik özellikleriyle bilinir ve rengi siyah veya koyu kahverengidir. Bu tür demir oksitler doğada yaygın olarak bulunur ve birçok farklı endüstriyel proseste temel bileşenler olarak karşımıza çıkar (Kartal 2016).

1.3.4 Nanoteknoloji ve Demir Oksit Nanopartiküller

Demir oksit nanopartikülleri nanoteknolojinin ana konularından biri olup, bilimsel enstitüler tarafından yürütülen doktora çalışmalarında düzenli olarak incelenmektedir. Fe₃O₄ formülüyle de bilinen manyetik özelliklere sahip bu nanopartiküllerin birçok farklı alanda potansiyel uygulamaları vardı (Tecim 2016).

1.3.5 Demir Oksit Nanopartikül Sentezi

Demir oksit nanoparçacıklarının sentezlenmesine yönelik yöntemler farklı işlemleri içerebilir. Sentezlenen nanopartiküller genellikle kararlı bir dağılıma ve düzenli boyuta sahip olmanın yanı sıra topaklanma eğiliminde olmayan bir yapıya sahiptir. İki yaygın yöntem termal ayrışma ve birlikte çöktürmedir. Termal ayrıştırma yöntemiyle kararlı ve düzgün boyutlu nanopartiküller elde edilse de, birlikte çöktürme yöntemiyle hidrofilik Fe_3O_4 nanopartikülleri üretilebilmektedir (Yalcin 2021).

1.3.6 Demir Oksit Nanopartiküllerin Özellikleri

Demir oksit nanoparçacıklarının sentezlenmesine yönelik yöntemler farklı işlemleri içerebilir. Sentezlenen nanopartiküller genellikle kararlı bir dağılıma ve düzenli boyuta sahip olmanın yanı sıra topaklanma eğiliminde olmayan bir yapıya sahiptir. İki yaygın yöntem termal ayrışma ve birlikte çöktürmedir. Termal ayrıştırma yöntemiyle kararlı ve düzgün boyutlu nanopartiküller elde edilse de, birlikte çöktürme yöntemiyle hidrofilik Fe_3O_4 nanopartikülleri üretilebilmektedir (Doğru 2023).

1.3.7 Demir Oksit Nanopartiküllerin Uygulamaları

Bu alan demir oksit nanopartiküllerinin çeşitli uygulamalarını kapsamaktadır. Bu maddeler adsorbsiyon yetenekleri sayesinde çevre temizliğinde sıklıkla popüler olup, endüstriyel atık suların filtrelenmesinde etkin rol oynar. Çevredeki kirleticileri uzaklaştırmak için kullanılırlar. Ayrıca antikanser ajanları olarak da kabul edilen demir oksit nanopartiküllerinin biyomedikal uygulamalarına yönelik yoğun araştırmalar devam etmektedir. Örneğin, manyetik nanopartiküller, kanser teşhisinde de önemli bir rol oynayan manyetik rezonans görüntüleme (MRI) için kontrast madde görevi görebilir (Gümüş 2018).

1.3.8 Manyetik Özellikler

Demir oksit nanomalzemeleri, Fe_3O_4 formülüyle tanımlanan ve manyetit olarak da bilinen özel bir demir minerali türü olan demir oksit nanopartiküllerinin manyetik özellikleriyle bilinir. Bu özellikleri onları çeşitli teknolojik ve biyomedikal uygulamalarda değerli kılmıştır (Keklikcioğlu 2021).

1.3.9 Manyetik Nanopartiküller

Demir oksit (Fe_3O_4) güçlü manyetik özelliklere sahip bir mineraldir ve manyetik rezonans görüntüleme (MRI) gibi alanlarda kullanılır. Manyetik nanopartiküller bu mineralin nano boyutlu parçacıklarıdır ve süperparamanyetizma gibi benzersiz manyetik davranışlara sahip olabilirler. Fe_3O_4 yapısında demir iyonları ferromanyetik etkileşimler sergileyerek malzemenin kolektif bir manyetik alan oluşturmasını sağlar. Bu etkileşimler şu şekilde sınıflandırılabilir: Mıknatıslanmanın sıcaklıkla değişmesi: Sıcaklık arttıkça tane boyutunun artabileceği ve manyetik doyma değerinin (M_s) değişebileceği görülmektedir. Örneğin yapılan bir çalışmanın sonucuna göre sıcaklık arttığında M_s değeri 74,4 emu/g'dan 92,6 emu/g'a çıkabilmektedir (Taşar 2023a).

Süperparamanyetik özellikler: Demir oksit nanopartikülleri boyutlarına bağlı olarak süperparamanyetik özellikler sergileyebilir. Bu, nanopartiküllerin uygulanan bir harici manyetik alana hızlı bir şekilde tepki verdiği anlamına gelir, ancak bu alan kaldırıldığında mıknatıslanma sıfıra döner. Bu özellik, MRI gibi görüntüleme tekniklerinde önemlidir çünkü bu nanopartiküller bir kontrast maddesi olarak kullanılabilir (Sulak 2021).

Ferromanyetizma ve spin yapısı: Manyetit, omurga yapısının ferromanyetizması ile ayırt edilir. Bu yapı, farklı dönüş düzenlemelerine sahip birden fazla demir iyonunun varlığına dayanır ve malzemenin genel manyetik özelliklerini etkiler. Manyetik ölçümler ve karakterizasyon teknikleri, bu nanopartiküllerin manyetik özelliklerini anlamak için gerekli araçlardır. Nanopartiküllerin yapısal ve manyetik özellikleri çeşitli yöntemler kullanılarak belirlenebilmektedir (Çelik 2023).

1.3.10 Demir Oksitlerin Renk Özellikleri

Demir oksit, çeşitlilik ve renk değişim mekanizması açısından ilginç özelliklere sahip bir maddedir. Bu bileşikler katı halde bulunur ve özellikle cam yapımında ve pigment üretimi uygulamalarında popülerdir (Coşkun 2024).

1.3.11 Renk Değişimi Mekanizmaları

Demir oksidin renk çeşitliliği, demir iyonunun (Fe) oksidasyon durumuna ve kristal yapısına bağlıdır. FeO (wüstit), Fe₂O₃ (hematit) ve Fe₃O₄ (manyetit) dahil olmak üzere farklı bileşikler farklı renklere sahiptir. Hematit, doğada yaygın ve önemli bir demir cevheri şeklindedir; Koyu kırmızıdan mor ve siyaha kadar değişen renklerde gelir. FeO genellikle siyah veya koyu gri renktedir. Bu oksitler özellikle boyalarda kullanılabilecek dayanıklı ve ucuz pigmentler sağlar. Bu oksitler renklerinin yanı sıra farklı sıcaklık ve basınç koşullarında reaksiyona girmeleri nedeniyle de dikkat çekmektedir (Taşar 2023b).

Demir oksit, minenin renk ve doku özelliklerini etkileyen önemli bir mineraldir. Sırdaki demir oksitin miktarı ve türü, son sıranın renk değişimini belirler. Kullanılan oksit türüne bağlı olarak sıranın rengi sarıdan kırmızıya, kahverengiden yeşile ve hatta siyaha kadar değişebilir. Bu, sıranın estetik görünümünde önemli bir rol oynar ve çömlekçiler bu dönüştürücü yeteneği sıklıkla yaratıcı bir araç olarak kullanırlar (Keklikcioğlu 2021).

1.3.12 Katalitik Özellikler ve Reaksiyonlar

Demir oksit (FeO, Fe₂O₃) kimyasal reaksiyonlarda katalizör olarak yaygın olarak kullanılır. Fe(III) ve Fe(II) iyonları özellikle zengin değerlik modifikasyonları ve yüzey katalitik özellikleriyle bilinir (Yılmaz 2023).

1.3.13 Demir Oksitlerin Katalitik Aktivitesi

Fe(III) oksit: Oksidasyon reaksiyonlarında etkili bir katalizördür. Fe(III) iyonlarının reaktifleri adsorbe etme ve aktive etme yeteneğinin yüksek olduğu görülmektedir (Kılınç 2021).

Fe(II) oksit: çeşitli indirgeme reaksiyonlarında önemli bir rol oynar. Bu iyonların geçiş metalleri arasında elektron transferini sağlama yetenekleri olağanüstüdür (Kartal 2016).

1.3.14 Yükseltgenme ve İndirgeme Tepkimeleri

Demir oksidin katalitik eğilimi oksidasyon ve redüksiyon reaksiyonlarını içerir. Örneğin Fe(II) içeren bir demir oksit, organik alkollerin aldehitlere oksidasyonu gibi reaksiyonları katalize edebilir (Tecim 2016).

Çizelge 1.1 Demir Oksitlerin Katalitik Rolü

OKSİT TÜRÜ	REAKSİYON TİPİ	NOT
Fe(III) Oksit	Oksidasyon	Yüksek adsorpsiyon kabiliyeti
Fe(II) Oksit	İndirgeme	Elektron transferinde aktif

Reaktörde gerçekleştirilen reaksiyonlar genellikle Fe(II) ve Fe(III) iyonlarının varlığında, özellikle sulu ortamda ve genellikle hidrojen peroksit gibi oksijen türlerinin varlığında gerçekleşir (Kılınç 2021).

Fe(III) ve Fe(II) içeren demir oksitler, su katalitik oksidasyonu gibi temiz enerji uygulamalarında da önemlidir. Demir oksit ve manganez oksit nanomateryalleri, fotokatalitik su ayrıştırmasında kullanılarak hidrojen üretiminde aktif bir katalitik rol oynamaktadır. Bu bağlamda nanokompozitlerin morfolojik ve yapısal özellikleri katalitik aktiviteyi doğrudan etkilemektedir (Yılmaz 2023).

1.3.15 Demir Oksitlerin Çevresel Etkileri

Demir oksitler, özellikle ağır metallerin adsorpsiyonunda çevre temizleme işlemlerinde kullanılarak kirliliğin azaltılmasında etkin rol oynamaktadır (Doğru 2023).

1.3.16 Ağır Metal Adsorpsiyonu

Demir oksitler, yüzeylerinin yüksek adsorpsiyon kapasitesinden dolayı su kaynaklarından ağır metallerin uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır. Bu maddeler, ağır metalleri çözüldükten etkili bir şekilde adsorbe edebilir, yani onları yüzeye çekebilir. Adsorpsiyon işlemi sırasında ağır metaller demir oksit yüzeyine bağlanır ve böylece su kaynağından uzaklaştırılır (Çakır 2023).

Adsorpsiyon kapasitesi: Demir oksit, moleküler düzeyde güçlü bir adsorpsiyon kapasitesine sahiptir ve çeşitli ağır metalleri (kurşun, arsenik, kadmiyum gibi) etkili bir şekilde yakalayabilir. Kullanım alanı: Demir oksit filtreler, atık su arıtma tesislerinde ve endüstriyel proseslerde ağır metallerin ortamdan uzaklaştırılması amacıyla popülerdir (Coşkun 2024).

Çevresel yönetim: Demir oksit, ağır metallerle yoğun şekilde kirlenmiş bölgelerdeki toprak ve su kaynaklarını iyileştirmek için önemli bir yönetim aracı olarak kabul edilir (Çelik 2023).

Demir oksidin adsorpsiyon kapasitesi, kirlilik kontrolünde ve çevre sağlığının korunmasında stratejik öneme sahiptir. Bu özellikleri sayesinde demir oksit çevre mühendisliğinde önemli bir unsur gibi görünmektedir (Sulak 2021).

1.3.17 Biyolojik ve Tıbbi Kullanımlar

Demir oksit, özellikle nanopartiküller halindeki uygulamaları nedeniyle biyomedikal alanda giderek daha fazla ilgi çekmektedir. Bu parçacıklar biyomedikal alanda çeşitli işlevleri yerine getirir (Bal 2022).

1.3.18 Demir Oksit Nanopartiküllerin Biyomedikal Kullanımları

Demir oksit nanopartikülleri (IONP'ler), manyetik rezonans görüntülemenin (MRI), ilaç dağıtım sistemlerinin ve hedefe yönelik kanser tedavilerinin geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılır. Manyetik rezonans görüntüleme (MRI) alanında, demir oksit

nanopartikülleri kontrast maddeleri olarak popülerdir. Aslında bu parçacıklar vücuttaki belirli hedeflere yönlendirilerek görüntü kalitesi iyileştirilebilir (Taşar 2023a).

İlaç dağıtım sistemleri arasında IONP, ilaçları doğrudan tümör dokusuna iletebilir. Bu, ilacın tümör dışındaki sağlıklı dokuya verdiği zararı en aza indirir ve etkinliğini maksimuma çıkarır. Demir oksit nanopartiküllerinin yüzey modifikasyonu, bu taşıma fonksiyonunu artıran önemli bir faktördür, çünkü bu işlem nanopartiküllerin hücrelere alımını ve hücrelere ilaç salınımını kolaylaştırır (Taşar 2023b).

Kanser karşıtı uygulamalar açısından IONP'ler aynı zamanda terapötik ajanlar olarak da görev yapabilir. Özellikle hipertermi uygulamalarında demir oksit nanopartikülleri kullanılarak tümör hücreleri hedefli bir şekilde ısıtılarak kanser hücreleri öldürülebilmektedir. Bu yöntem, IONP'lerin manyetik özelliklerinden faydalanarak tümörün lokal olarak ısıtılmasına ve çevre dokulara zarar verme riskinin azaltılmasına dayanır (Keklikcioğlu 2021).

1.3.19 Endüstriyel Uygulamalar

Demir oksit birçok endüstride kullanılmaktadır. Sentetik amonyak üretiminde katalizör olarak kullanılması özellikle önemlidir. Boya sanayinde pigment olarak ve metal parlatma malzemesi olarak da kullanılır (Çakır 2023).

Endüstriyel atık su arıtımında ağır metalleri adsorbe etmek için genellikle Fe_3O_4 nanopartikülleri kullanılır. Bu nanopartiküller arsenik, bakır, nikel, çinko, kurşun ve kadmiyum gibi çeşitli ağır metalleri etkili bir şekilde giderir (Gümüş 2018).

Çizelge 1.2 Demir Oksit uygulama alanları

UYGULAMA ALANLARI	AÇIKLAMA
Ağır Metal Adsorpsiyonu	Fe_3O_4 nanoparçacıkları ile suyun arındırılması
Katalizör Kullanımı	Amonyak üretiminde işlevsellik
Boya Endüstrisi	Pigment olarak kullanım

Demir oksit ayrıca çeşitli elektronik ve manyetik cihazlardaki kullanımlarıyla da bilinmektedir. Nanopartikül teknolojisi sayesinde manyetik veri depolama ve ileri elektronik uygulamalara katkı sağlamaktadır (Aydoğan 2022).

Demir oksit, yüksek sıcaklık dayanımı ve kimyasal stabilitesi nedeniyle de popülerdir. İnşaat sektöründe çelik üretiminde kullanılan demir cevherinin işlenmesi, çelik sektörünün temelini oluşturmakta ve Türkiye ekonomisinin lokomotif görevini görmektedir (Yılmaz 2023).

Bu bileşiklerin çevresel etkilerini en aza indirmek için sürdürülebilir yaklaşımlar ve bilinçli tüketim stratejileri önem kazanmaktadır. Bu nedenle demir oksit ve türevlerinin kullanımının çevre koruma ve sürdürülebilirlik standartları çerçevesinde gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Sarıtış 2023).

1.3.20 Yüzey Kaplama ve Pigmentler

Demir oksit birçok uygulamada kullanılır. FeO ve Fe_2O_3 bu maddelerin bazılarıdır ve belirli renklerin elde edilmesinde önemli rol oynarlar, Tecim 2016).

1.3.20.1 Demir Oksit Bazlı Pigmentler

Demir oksit pigmentleri iki ana kategoriye ayrılabilir: • Doğal demir oksit pigmentleri: Yer kabuğundaki çeşitli minerallerden elde edilen bu pigmentler genellikle daha az canlı renklere ve farklı iklim koşullarına daha fazla dirence sahiptir. • Sentetik demir oksit pigmentleri: Stabilitate ve renk yoğunluğu açısından daha iyi kontrol edilen sentetik pigmentler genellikle yüksek kapsama alanına sahiptir ve geniş bir renk seçeneği yelpazesi sunar (Kartal 2016).

Bu pigmentler çeşitli yüzey kaplamalarında kullanılır ve aşağıdaki faydaları sağlar:

Renk haslığı: Demir oksit pigmentleri solmaya karşı oldukça dayanıklıdır ve canlı renkler sağlar. Koruyucu özellikleri: Pigmentler yüzey kaplamalarında kullanıldığında çeşitli

çevresel faktörlere karşı koruma sağlayabilir. Örneğin Fe_2O_3 içeren kaplamalar antioksidan özelliğe sahiptir ve bu sayede metal yüzeylerin korozyonunu önler.

Termal stabilite: Demir oksit pigmentleri yüksek sıcaklıklara maruz kalan uygulamalar için uygundur. Pigmentlerin asıl kullanım amacı renk oluşturmak olsa da insanlar sıklıkla bu pigmentlerin doğal ve sentetik formlarını da bir arada kullanırlar (Kartal 2016). Bu kombinasyon estetik ve fonksiyonel faydaları en üst düzeye çıkarır. Fe_2O_3 içeren pigmentler, kapsamları ve renk canlılıkları nedeniyle özellikle popülerdir ve tipik olarak kırmızı, sarı ve turuncu renktedir (Coşkun 2024).

1.4 Bakır Oksitin Özellikleri

İki kararlı bakır oksitten biri, kopro oksitle birlikte Cu_2O kimyasal formülüne sahiptir. Bu malzeme monoklinik bir yapıya sahiptir (Tunçsoy 2019a).

Mineral oksit bakır, bakır madenlerinde malakit ve kalkopirit bakırla birlikte bulunabilir (Tunçsoy 2019b).

Mineral asitlerde çözündüğünde bakır sülfat, bakır nitrat ve bakır klorür oluşturur. Bakır oksidin indirgenmesi hidrojen gazı, karbon monoksit veya kok ile yapılabilir (Karabulut 2024).

1.4.1 Bakıroksitin Özellikleri

- Erime noktası 1326 °C'dir.
- Yoğunluk 6,315 g/cm³
- Kırılma İndeksi 2,63'tür.
- Depolama alanında bir derece. -40 °C ila +30 °C.
- Kahverengiden Siyaha renk seçeneğidir.
- Özgül Ağırlık 6,349 g/cm³ 'tür.
- Sıcaklık 50 G/L, H₂O, 20 °C idi.
- Su çözünmez.

- Kararlı. İndirgeyici ajanlarla bağdaşmaz (ACAR 2021).

1.4.2 Bakır oksit Kullanımı ve Sentezi

Mavi-yeşil pigmentasyon bakır(II) oksit kullanılarak elde edilir. Madencilikten üretilen doğal olarak oluşan bir bileşik olarak diğer bakır uygulamalarının öncüsü olarak da kullanılır. Bu özelliğiyle ahşap yapılarda çürüme önleyici madde olarak kullanılır. Bazen hayvan yemi olarak kullanılır, ancak bakırın biyoyararlanımı diğer birçok bileşikten daha düşük olduğundan doğru şekilde kullanılmaz. Diğer kullanımlar arasında süper iletkenlerin hazırlanması, pil üretimi ve çeşitli endüstriyel işlemler için katalizör olarak yer alır (Tunçsoy 2021).

Siyah monoklinik kristal veya su ve alkolde çözünmeyen siyah ila kahverengi-siyah amorf toz (Kerli 2021).

Cam, seramik, porselen ve yapay taşların renklendirilmesinde, pillerde ve elektrotlarda, zehirli boyalarda, bronz için kaynak tozlarında, suni ipek üretiminde ve yağlardan kükürtün uzaklaştırılmasında kullanılır. Ayrıca çeşitli bakır bileşiklerinin yapımında da kullanılır. Bakır doğada paramelakonit mineralleri halinde bulunur. Her ikisi de triklinik kristallerdir, ancak paramelakonit tetrahedral kristallerden yapılmıştır (Canlı 2020).

Kullanım alanları;

- Bakır oksidi cam, porselen renklendiriciler, yağ kükürt giderme maddesi, hidrojenasyon maddesi, organik katalizör sentezi ve diğer şeyler için kullanmak mümkündür.
- Azot tayini için analitik reaktif olarak kullanılır.
- Renklendirici maddeler, boya kırıksık önleyici maddeler ve optik cam cilası için birçok endüstride kullanılır. Boyaların, organik katalizör taşıyıcıların ve bakır bileşiklerinin üretiminde kullanılır. Yapay ipek ve yağ kükürt giderme maddeleri kullanılarak üretilir. Yapay değerli taşların hammaddesi olarak kullanılır.
- Cam ve porselen pigmentleri, kükürt giderme maddeleri, katalizörler ve ayrıca suni ipek endüstrisinde kullanılır.

- Karbon bileşiklerinin belirlenmesinde kullanılır.
- Analitik reaktifler, oksidanlar, katalizörler ve petrol kükürt gidericileri olarak kullanılır.
- Renklendirici maddeler, kırışık önleyici boyalar ve optik cam cilası bakır oksitten yapılabilir. Boyaların, organik katalizör taşıyıcıların ve bakır bileşiklerinin üretiminde kullanılır. Yapay ipek ve yağ kükürt giderme maddeleri de kullanılarak üretilmektedir. Değerli taşların hammaddesi olarak kullanılır.
- Mavi yeşil pigmentlerde, yapay değerli taşlarda, renkli camlarda, seramik sırlarda, yağ kükürt giderme maddelerinde ve organik sentez katalizörlerinde karbonun belirlenmesinin yanı sıra gaz analizinde de kullanılır (Yesilay 2018).

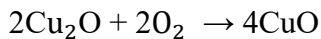
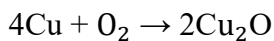
1.4.5 Bakır oksit uygulamaları:

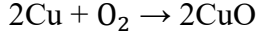
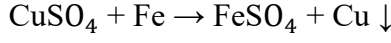
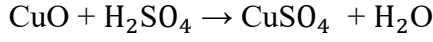
- Birçok alanda geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir.
- Katalizör, taşıyıcı ve aktif madde olarak kullanılır.
- Cam ve porselen renklendiricilerin yanı sıra organik katalizörler, yağ kükürt giderme maddeleri ve hidrojen sentezleme maddeleri için kullanılır.
- Yapay değerli taşlar ve diğer bakır oksitler yapılabilir.
- Rayon üretiminde gaz analizi ve organik bileşiklerin belirlenmesi kullanılmaktadır.
- Bir roket itici yanma hızı katalizörüdür (Çavuşoğlu 2019).

1.4.6 Üretim yöntemleri :

1.4.6.1 Bakır tozu oksidasyon yöntemi.

Reaksiyon denklemi:

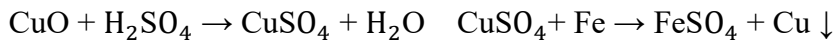


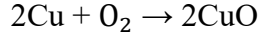


Bakır külü ve bakır cürufunun ham maddelerini kavurun ve ardından suyu ve organik yabancı maddeleri gidermek üzere ilk oksidasyon için bunları gazla ısıtın. Birincil oksitler doğal olarak soğutulur, toz haline getirilir ve daha sonra ham bakır oksitler elde etmek için ikincil oksidasyona tabi tutulur. Reaktöre ham bakır oksitler eklenirse sıvının bağl yoğunluğu iki katına çıkar ve pH değeri 2 ila 3 olur. Üretilen bakır sülfat çözeltisinin berrak hale gelmesini bekledikten sonra, bakırın yerine ısıtma ve karıştırma koşulları altında demir talaşı ekleyin ve ardından sülfatı ve demiri çıkarmak için karışımı sıcak suyla yıkayın. Bakır, ayrıştırılıp kurutulduktan sonra 450 °C'de 8 saat kavrulur. Ham ürünler soğutulur ve ezilir. Nihai bakır oksit tozları ayırma yoluyla elde edilir (Ercioğlu 2022).

1.4.6.2 Bakır tozu oksitleme yöntemi:

Bakır külü ve bakır cürufunun ham maddelerini kavurun ve ardından suyu ve organik yabancı maddeleri gidermek üzere ilk oksidasyon için bunları gazla ısıtın. Birincil oksitler toz haline getirilir ve daha sonra ham bakır oksitler elde etmek için ikincil oksidasyona tabi tutulur. Sıvının bağl yoğunluğu iki katına çıktığında pH değeri 2 ila 3 olur. Bakır sülfat çözeltisi berraklaşana kadar bekledikten sonra, bakırı değiştirmek için ısıtma ve karıştırma koşulları altında demir talaşlarını ekleyin ve ardından karışımı sıcak suyla yıkayarak uzaklaştırın. sülfat ve demir. Bakır kuruduktan sonra 450 °C de 8 saat kavrulur. Ürünler soğutulur ve ezilir. Oksidasyondan sonra nihai bakır oksit tozları elde edilir (Genç 2009).





1.4.7 Tehlikeler ve güvenlik hakkında bilgi.:

- Toksik maddelerin bir kategorisi vardır.
- Toksisite sınıflandırması çok yüksektir.
- Tehlikeli özellikler: Alevlenebilirlik.
- Yangında bakır içeren zehirli dumanlar üretilebilir.
- Depolama ve taşıma özellikleri.
- Depo kuru ve iyi havalandırılmış olmalıdır.
- Yangın söndürme maddesi su, karbondioksit, kuru toz ve kumdur.

Kullanılıyor. İşyeri operasyonları arasında kaynak yapma, sert lehimleme, lehimleme, kesme ve metalleştirme yer alır ancak bunlarla sınırlı değildir. Yüksek sıcaklıklarda oluşan metal dumanlarının sağlık açısından farklı etkileri vardır (Baturay 2022).

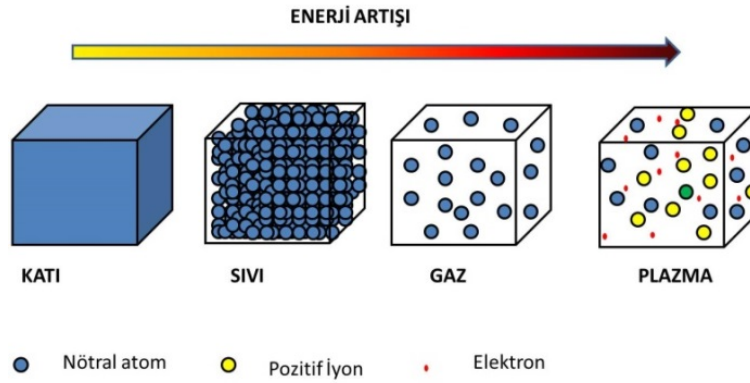
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Plazma

Katı, sıvı ve gaz formları doğadaki en yaygın maddelerdir. 1929 yılında Amerikalı kimyager Irving Langmuir, basınçlı laboratuvar ortamında elektrik deşarjlarının oluşturduğu yüklü parçacık bulutunu tanımlamaya çalıştı. Doğal maddelere katı, gaz ve sıvı fazların yanı sıra dördüncü bir faz da eklenir. Nötr bir yük dağılımı ile rastgele yönlerde hareket eden yüklü parçacıklardan oluşan bir gaz bulutu düşünebiliriz. Bir katıya verilen enerji sayesinde onu önce sıvıya, sonra da gaz fazına dönüştürebiliriz. Maddeye verilen enerji miktarını arttırsak son aşamaya geliriz. Sıralama Şekil 2. 1'de gösterilmektedir. Doğal plazma laboratuvar koşullarında üretilir (Bushan 2010).

Laboratuvarda bir gazdan elektrik akımı geçirilerek ve yüksek güçlü radyo dalgaları veya mikrodalgalar kullanılarak elde edilebilir. Teknolojinin birçok alanında plazma kullanılıyor. Optoelektronik cihazlarda, fotovoltaiik hücrelerde, ince film üretiminde, yüzey işlemlerinde, kimya endüstrisinde ve tıpta kullanılır (Ceylan 2007).

Plazmanın teknolojiye kullanımı 2000'li yıllarda başladı. Bu teknoloji giderek daha fazla kullanılıyor. Yüzyılın başlarında teknolojik uygulama alanları vardı. Sağlık ve gıda sektörleri sterilizasyon için atmosferik basınç sistemlerini kullanmaya başladı (Baboo 2018).



Şekil 2.1 Maddenin halleri



GÜNEŞ



NEBULA



YILDIRIM & ŞİMŞEK



KUZEY IŞIKLARI

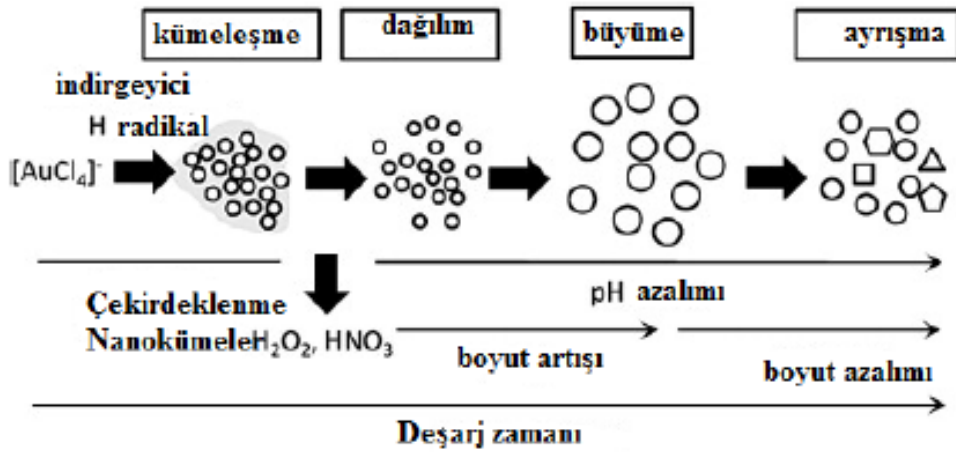
Resim 2.1 Doğal plazmalara örnek

2.2 Çözeltili plazma yöntemi (ÇPY)

Yönteme sıvı faz, gaz fazı ve katı faz dahildir. Sıvı faz plazması, çözeltinin atmosferik basınç altında boşaltılmasıyla elde edilebilir. Plazmadaki molekülün yoğunluğu sıvı fazda daha yüksek olduğundan, düşük sıcaklıklarda reaksiyon daha hızlı olacaktır (Lee J.-S. 2004).

Düşük basınçlı Plazma yöntemlerine göre birçok avantajı vardır. Sanayi sektörü bundan dolayı önem kazanmıştır (Chen 2009).

Sulu bir çözeltide elektrik deşarjı ile oluşturulan nanopartiküllerin sentezi sırasında, başlangıçtaki $AuCl_4$ azaltılır ve deşarj işlemi sırasında eş zamanlı olarak nanopartiküller sentezlenir. Bu işlem sırasında nanopartikülleri oluşturacak nükleer reaksiyon sürekli olarak gerçekleşir. Ortaya çıkan nanopartiküller 1 nm'den küçük nanokümelerden oluşur. Deşarj süresi arttıkça çözeltinin pH değeri düşer, nanopartiküller çözülür ve boyutları küçülür. Bu nedenle $AuCl_4$ iyonunun indirgenme hızı azalır. $AuCl_4$ iyonundan türetilen çözünebilir anizotropik (yönelime bağlı) altın nanopartikülleri düşük oranda büyürken, küresel nanopartiküller çürümeye devam ediyor (Ebin 2008).



Şekil 2.2 Nanopartikül oluşumunun bir mekanizması vardır.

İndirgeyici madde kullanmaya gerek yoktur. Hızlı oluşumu nedeniyle, indirgeyici ajanlar eklenmeden hidrojen radikallerinin ve altın iyonunun indirgenmesiyle parçacıkların sentezinin çok verimli bir süreç olduğu gösterilmiştir (Virender 2008).

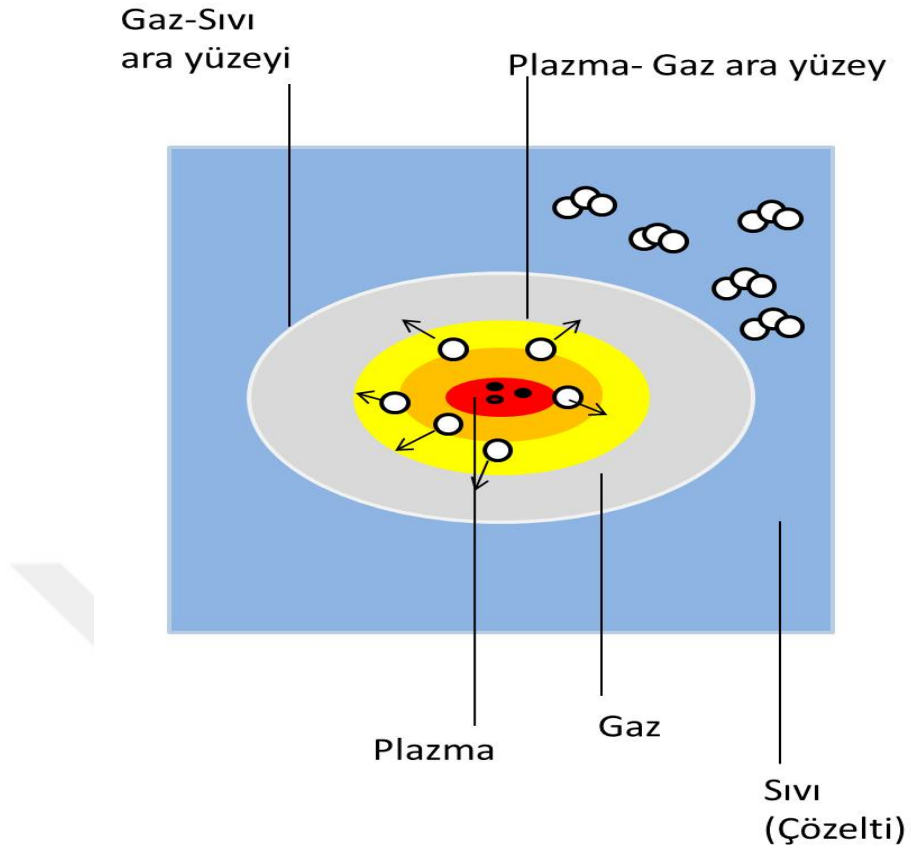
Çözelti boşaltma işlemi sırasında oluşan aktif maddeler arasında H^- , O^{2-} , OH^- , HO_2 , yüksek enerjili elektronlar, UV ışınları ve şok dalgaları bulunur (Heo 2011).

Çizelge 3.1 Çözelti plazma sürecinde gerçekleşen reaksiyonlar (Baboo 2018).

Plazma Faz	Sıvı Faz
$H_2O \rightarrow H^* + OH^*$	$H^* + H_2O \rightarrow H^* + OH^* + O^*$
$2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$	$OH^* + O^* + H^* + [-C-C-O-C-C-] \rightarrow$ küçük organik bileşik
$2OH^* \rightarrow H_2O_2$	
$H_2O \rightarrow H^* + OH^*$	

Sıvı faz plazma tekniklerinden biri de çözelti tekniğidir. Deşarj, termal olmayan sıvı faz ile gaz fazı arasındaki elektron ve iyon değişimiyle dengelenir (Tong 2012).

Çözeltinin merkezi çevresinde gaz fazı, dışında ise sıvı fazı bulunur. İki ana arayüz gaz ve sıvıdır. Bu bir Şekil 2.3 de gösterilmiştir (Ateş 2015).



Şekil 2.3 Çözelti Plazması Modeli

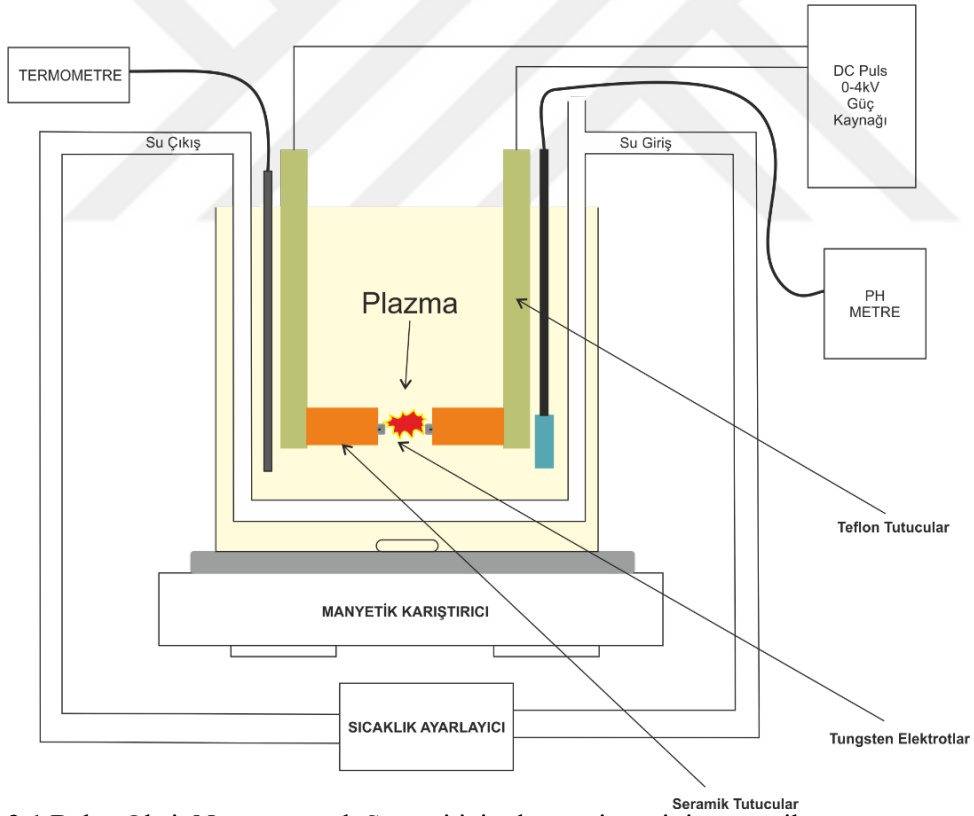
3. MATERYAL ve METOT

3.1 Deney Sistemi

Sistem beş ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar;

- 0-4kV DC darbe güç kaynağı kullanılır.
- Reaksiyon kabı.
- Optik emisyon spektrometresi bulunmaktadır.
- PH metre.
- Termometre bulunmaktadır.

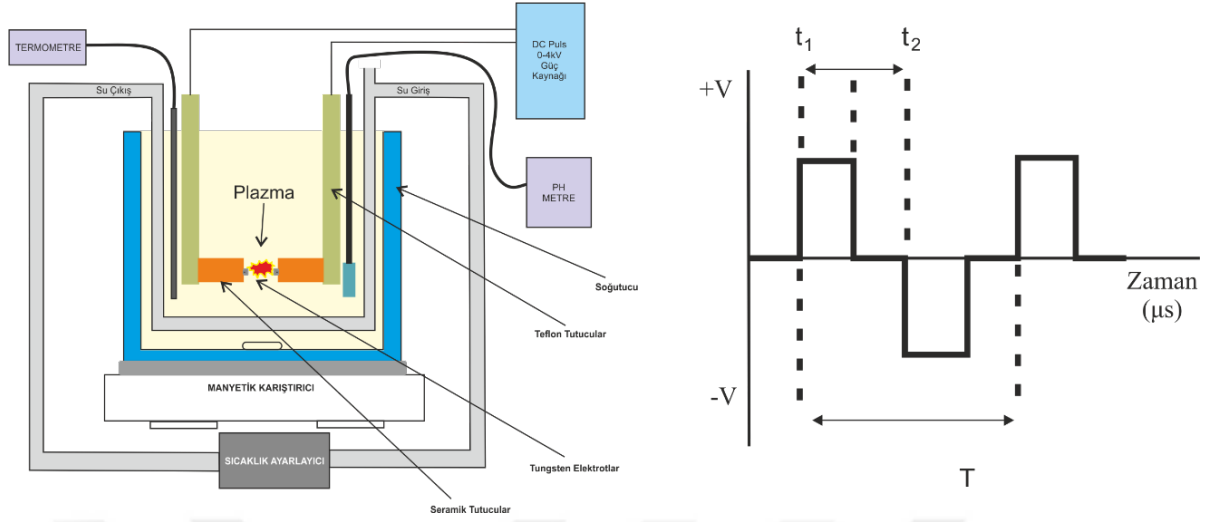
Bakır oksit nanoparçacık sentezinde kullanılan deney sisteminin şematik görüntüsü Şekil 3.1’de dir.



Şekil 3.1 Bakır Oksit Nanoparçacık Sentezi için deney sisteminin şematik görüntüsü

İkinci deney düzeneğimizde demir oksit nanoparçacık sentezinde ise deney düzeneğimizde ufak değişiklikler yapıldı. Bu sistemimize sağıtucular eklemek zorunda kaldık çünkü sıcaklık üst derecelere ulaştığından deney verilerini etkilediğini

düşünüyoruz.



Şekil 3.2 Demir oksit parçacıklarının yapımına yönelik deneysel bir sistem mevcuttur.

3.1.1 0-4kV DC Darbe Güç Kaynağı

Deneyde kullanılan güç kaynağı 0 ila 4 kV aralığındadır. Güç kaynağının darbe genişliği 0 ila 10 sn ve Frekans Aralığı 0 ila 30 sn'dir. Test sırasında deşarjdan önce uygulanan voltajı ölçmek için bir multimetreye bağlı bir yardımcı devre kullanıldı. İstenilen seviye, voltaj, darbe genişliği ve Frekans kullanılarak ayarlanabilir. Resim 3.1'de bir güç kaynağının resmi bulunmaktadır.

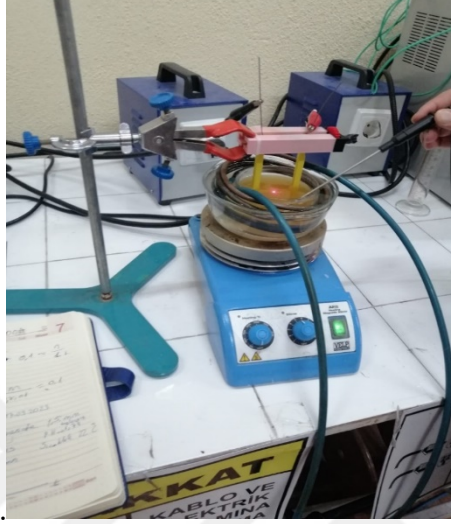


Resim 3.1 0-4 kV DC Darbe Güç Kaynağı

3.1.2 Reaksiyon Kabı

Sentezlenecek metal nanopartiküllere uyarlanmış bir çözelti 150 veya 100 litrelik bir kaba

konulur ve üzerine iki adet 1 mm kalınlığında tungsten (W) elektrotlu seramik kaplı silindirik bir çubuk bağlanır. Milimetre kadardı. bireysel Çözelti kabı tüm kimyasal ve fiziksel reaksiyonların gerçekleştiği yerdir. DC güç kaynağının voltajı tungsten elektrotlara gönderilerek çözeltiden elektriksel deşarj oluşturularak çözeltide kimyasal indirgeme gerçekleştirildi. Reaktörün şeması Şekil 3. 2 de gösterilmektedir.



Resim 3.2 Deneyde reaksiyon kabı kullanılıyor.

3.1.3 PH metre ve Termometre

Çalışma sırasında çözeltinin çalışma sıcaklığını ve PH değerini ölçmek için kullanılır.



Resim 3.3 Deney esnasında kullanılan PH metre ve termometre cihazı

3.2 Deney Aşaması

DC güç kaynağından uygulanan voltaj ve çalışma süresi açısından iki parametreden biri sabitse beş deneme yapılacaktır. Her şeyden önce sentez ;

3.2.1 1.Deney Aşaması (Bakır Oksit) ve parametreler

Bakır oksit nanoparçacık üretimi için 0,1 molarlık bakır sülfat çözeltisi hazırlandı. Bu 0,1 molarlık bakır sülfat çözeltisinden 100 ml kap içerisinde 50 ml ağırlık çalışma çözeltileri hazırlandı. Çalışma çözeltilerinde 5 tane farklı parametrelerden oluşan deneyler yapıldı. Biz bu deneydeki parametrelerde zamanı ve gerilimi değiştirerek gerçekleştirdik. 2 kV gerilim altında 1.,2. ve 3. deneylerde 15,30,45 dakika 4. ve 5. deneylerde ise 3 kV gerilim altında 15,30 dakikalık sürelerde çalışma yapıldı. Çalışma parametreleri Tablo 2'de gösterilmektedir. Her bir deneyi en az 10 tekrar yapılarak bulgular ortaya çıkarmıştır.

Çizelge 3.2 Bakır Oksit Deney parametreleri

	1.Deney	2.Deney	3.Deney	4.Deney	5.Deney
Voltaj aralığı	2 kV	2 kV	2 kV	3 kV	3 kV
Numune alma süreleri	15 dk	30 dk	45 dk	15 dk	30 dk
İki elektrot arasında mesafe	0,5 mm	0,5 mm	0,5mm	0,5 mm	0,5 mm
Elektrot kalınlığı	1mm	1mm	1mm	1 mm	1 mm
İlk Sıcaklık	70 °C	50 °C	62 °C	79,9 °C	80 °C
Kapdaki Çözelti	0,1 mM	0,1m M	0,1m M	0,1 mM	0,1 mM

Deneye başlamadan önce ve her 10 dakikada bir, bazik çözeltiden 2 ml numune alınmış ve analiz için saklanmıştır.

3.2.2 2.Deney Aşaması (Demir Oksit) ve parametreler

Demir oksit nanoparçacık üretimi için 1 molarlık demir sülfat çözeltisi hazırlandı. Bu 1 molarlık demir sülfat çözeltisinden 100 ml kap içerisinde 50 ml ağırlık çalışma çözeltileri hazırlandı. Çalışma çözeltilerinde 5 tane farklı parametrelerden oluşan deneyler yapıldı. Biz bu deneydeki parametrelerde d mesafelerini yani elektrotlar arası mesafeyi değiştirdik. 2 kV gerilim altında 1.,2. ve 3. deneylerde 60 dakika 4. ve 5. deneylerde ise 120 dakikalık sürelerde çalışma yapıldı. Çalışma parametreleri Tablo 2'de

gösterilmektedir. Her bir deneyi en az 10 tekrar yapılarak bulgular ortaya çıkarmıştır.

Çizelge 3.3 Demir Oksit Deney parametreleri

	1.Deney	2.Deney	3.Deney	4.Deney	5.Deney
Voltaj aralığı	2 kV	2 kV	2 kV	2 kV	2 kV
Numune alma süreleri	60 dk	60 dk	60 dk	120 dk	120 dk
Elektrotlar arası mesafe	1,5 mm	1 mm	0.5mm	2 mm	1 mm
Elektrot kalınlığı	1mm	1mm	1mm	1 mm	1 mm
Sıcaklık	30 °C	20 °C	30 °C	25 °C	25 °C
PH Başlangıç	1,78	1,8	1,8	1,8	1,8
Kapdaki Çözelti	50mM	50mM	50mM	100mM	100mM

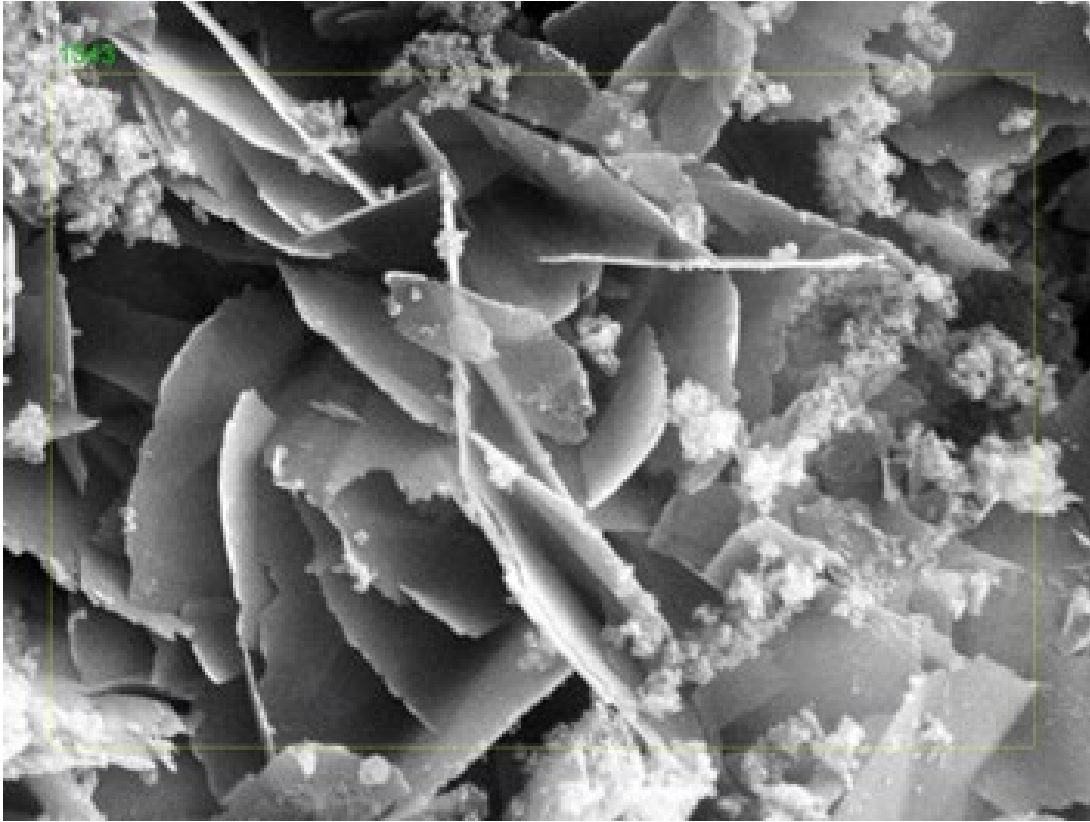
Deneye başlamadan önce ve her 10 dakikada bir, bazik çözeltiden 2 ml numune alınmış ve analiz için saklanmıştır.

4. BULGULAR

4.1 Deneysel Bulgular:

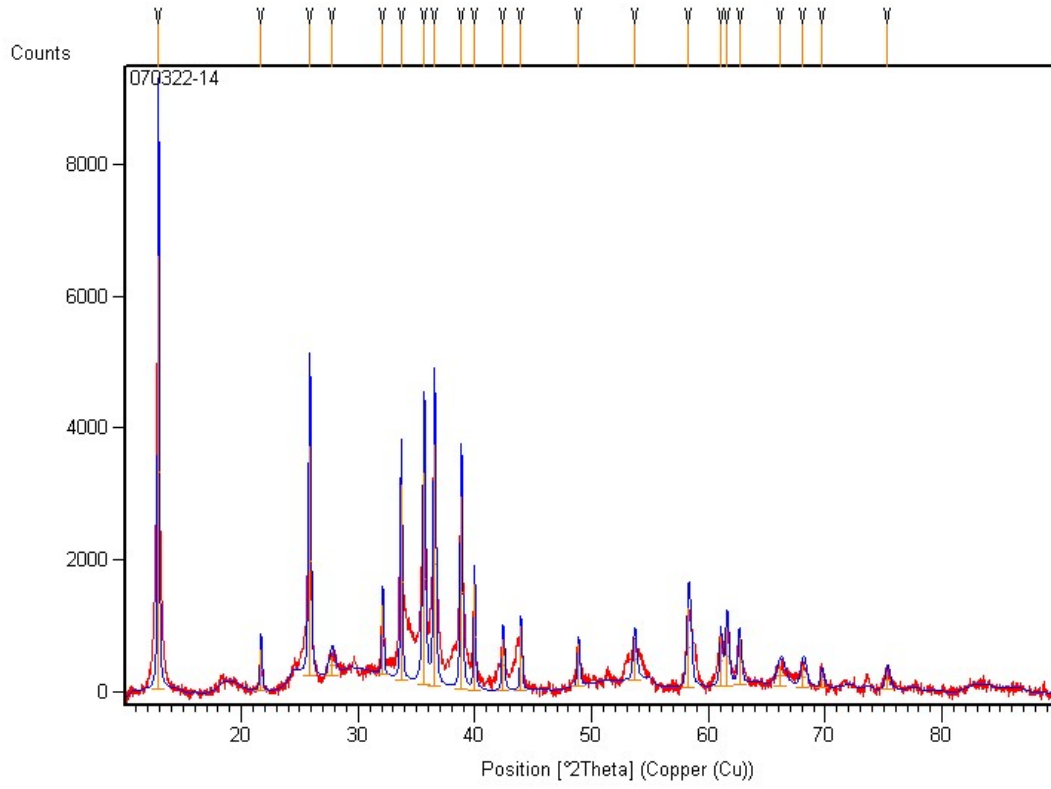
Başlangıçta numuneler alındı ve her beş dakikada bir UV-spektrofotometre ile absorbans değerleri ölçüldü. Numuneler her beş dakikada bir alındı. Bunları analizler için sakladık.

4.1.1 (CuO) 1.Deney



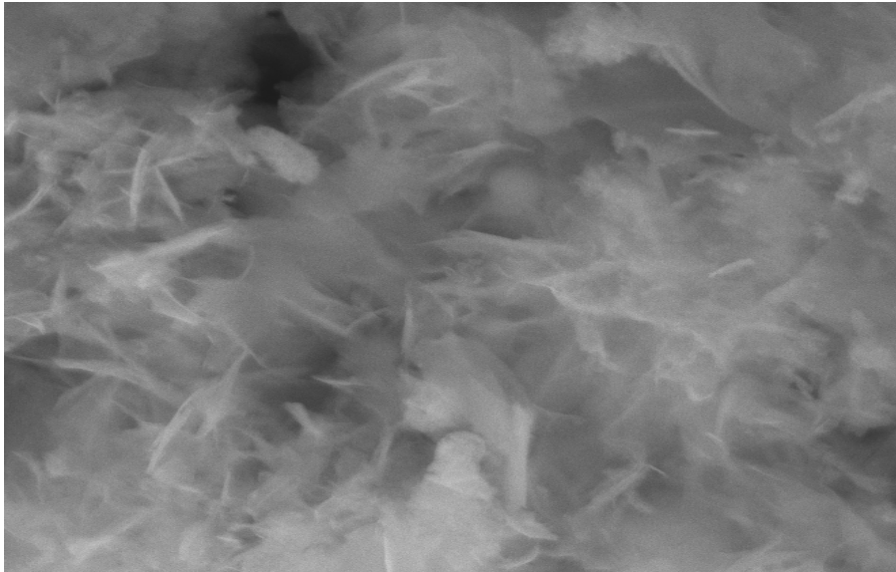
Resim 4.1 1. Deney CuO Nanoparçacıkların SEM Görüntüsü

Cu nanoparçacık sentezi için bakır nitrat ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ tuzu sulu gövde özütünden sentezlenen gümüş nano kompozitlerin enerji dağıtıcı X-ışını (EDX) spektrumu. EL = Element; AN = Atom Numarası; Seri = karakteristik X-ışını çizgileri; unn. C [wt.%] = elementin ağırlık yüzdesi cinsinden normalleştirilmemiş konsantrasyonu; norm. C [wt.%] = elementin ağırlık yüzdesi cinsinden normalleştirilmiş konsantrasyonu; C Atom. [at.%] atom ağırlığı yüzdesi; C Hata (1 Sigma) [wt.%) = 1 sigma seviyesinde ağırlık yüzdesi konsantrasyonundaki hatayı göstermektedir.



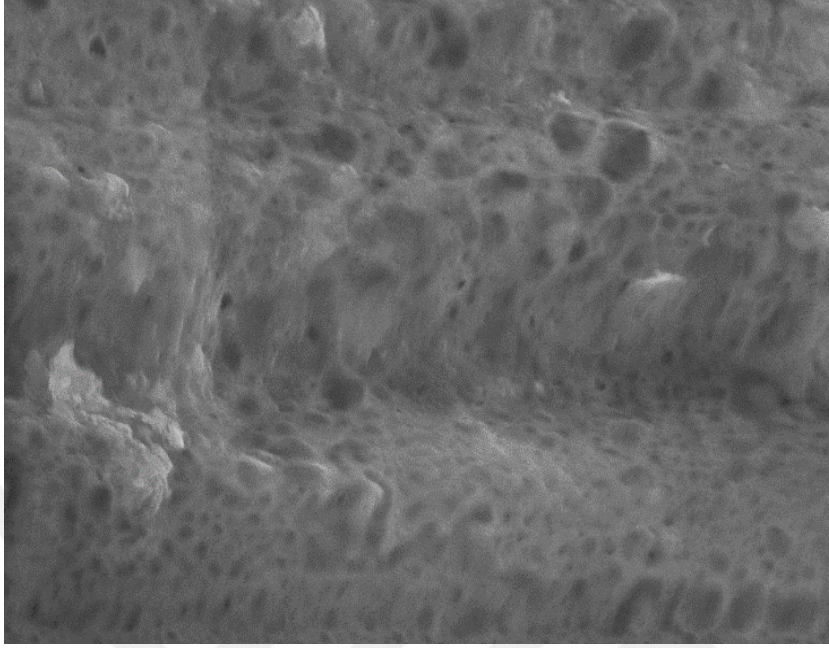
Şekil 4.1 Deney Sonunda elde edilen CuO nanoparçacıklar için XRD analizi

4.1.2 Cu(NO₃)₂ 2.Deney



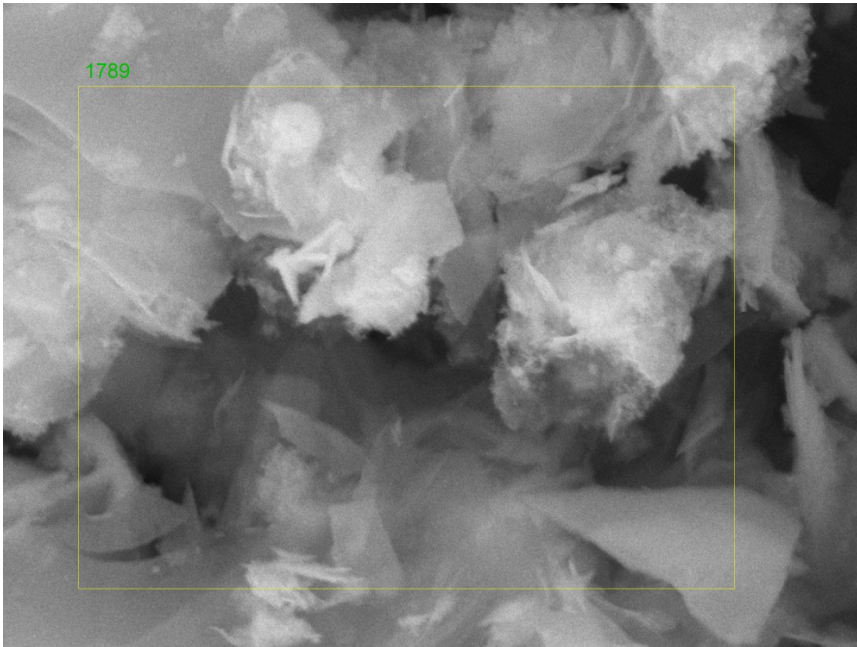
Resim 4.2 2. Deney CuO Nanoparçacıkların SEM Görüntüsü

4.1.3 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 3.Deney



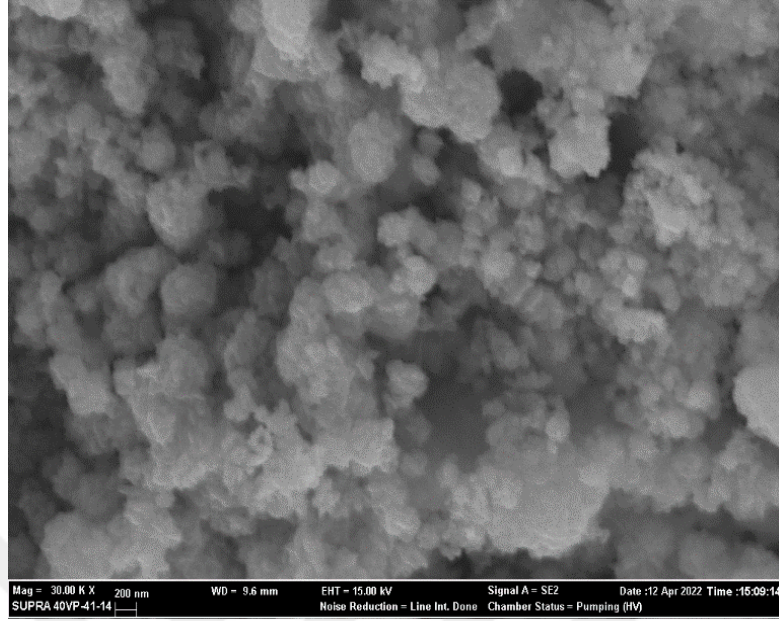
Resim 4.3 3. Deney $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ Nanoparçacıkların SEM Görüntüsü

4.1.4 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 4.Deney



Resim 4.4 4. Deney $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ Nanoparçacıkların SEM Görüntüsü

4.1.5 Cu(NO₃)₂ 5.Deney

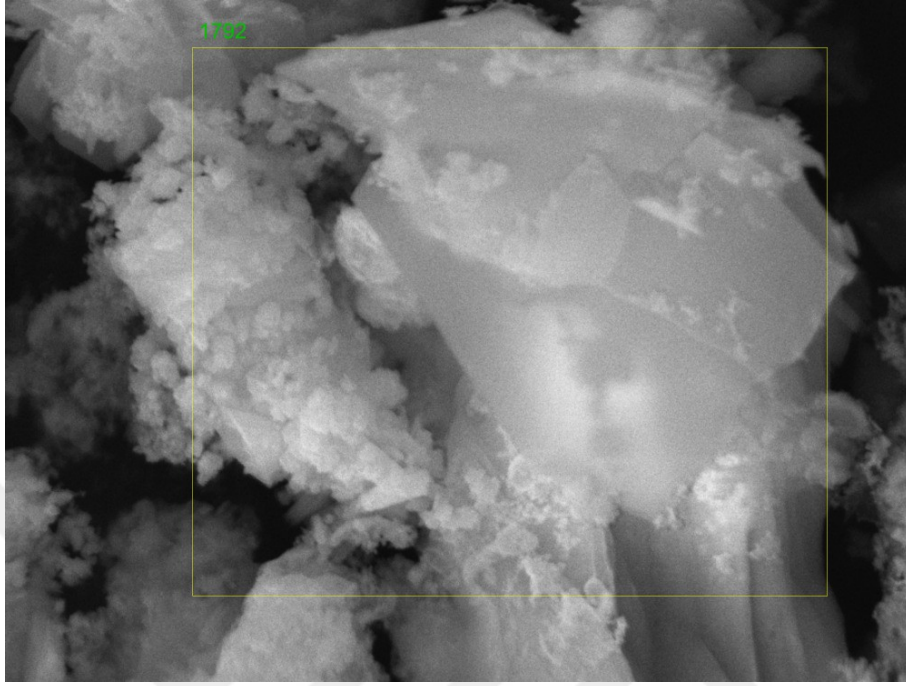


Resim 4.5 5. Deney Cu(NO₃)₂ Nanoparçacıkların SEM Görüntüsü



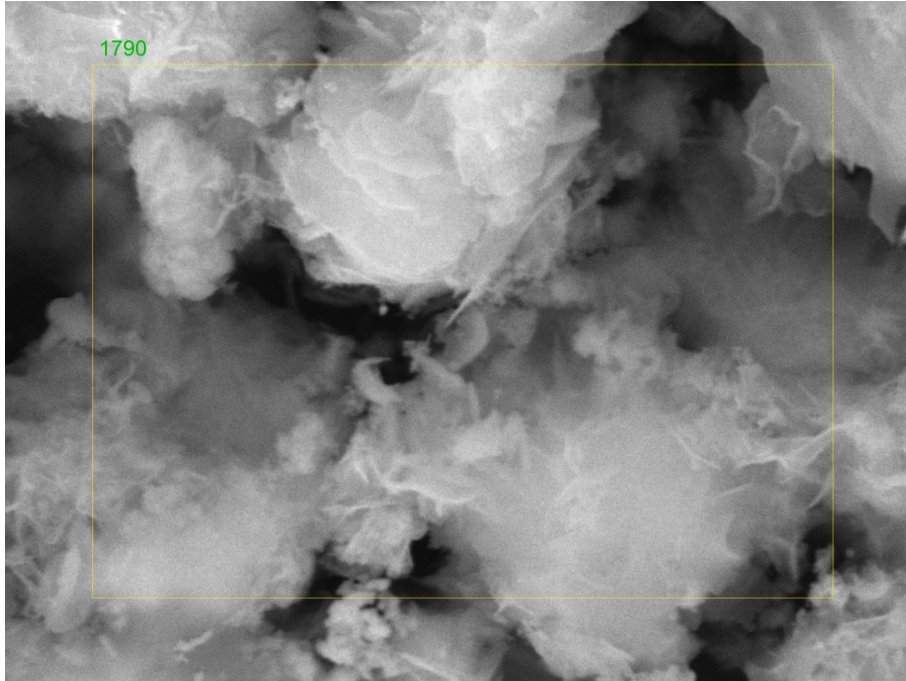
Şekil 4.2 5. Deneyde Sentezlenen CuO nanoparçacık EDX analizi

4.1.6 FeO 1.Deney :



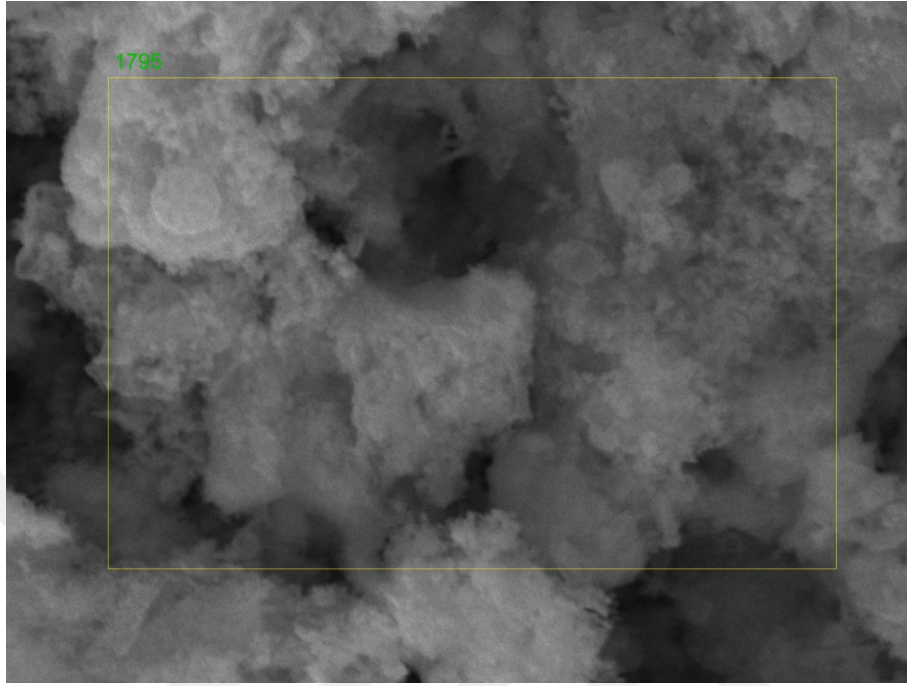
Resim 4.6 1. Deney FeO Nanoparçacıkların SEM Görüntüsü

4.1.7 FeO 2.Deney



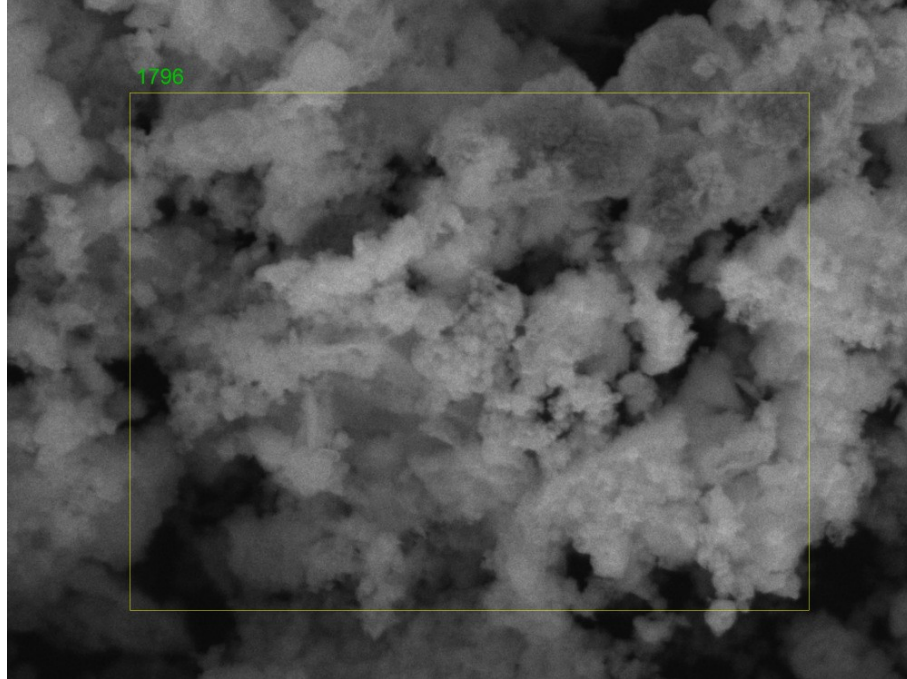
Resim 4.7 2. Deney FeO Nanoparçacıkların SEM Görüntüsü

4.1.8 FeO 3. Deney



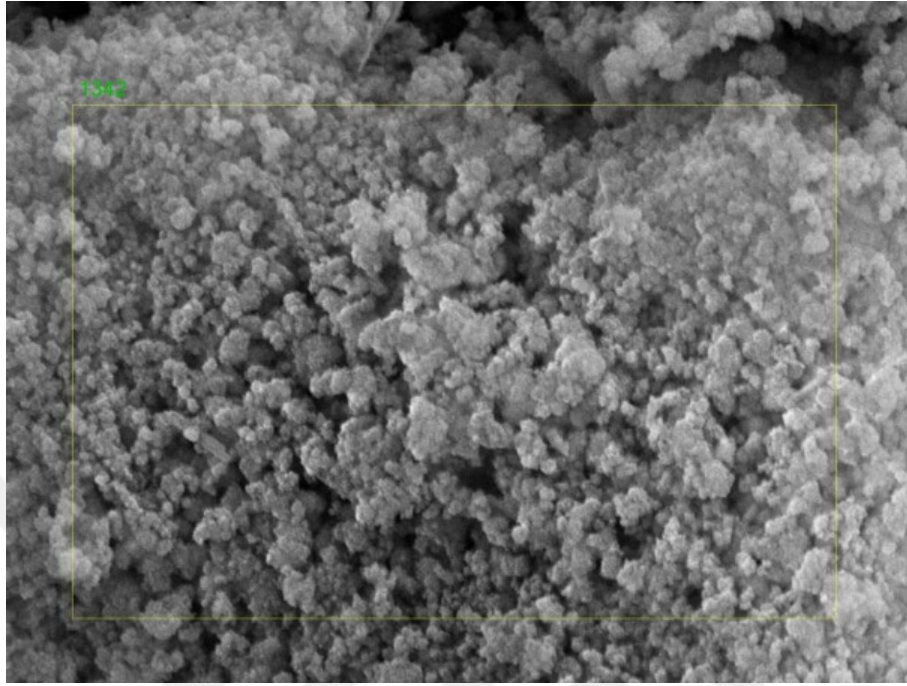
Resim 4.8 3. Deney FeO Nanoparçacıkların SEM Görüntüsü

4.1.9 FeO 4. Deney

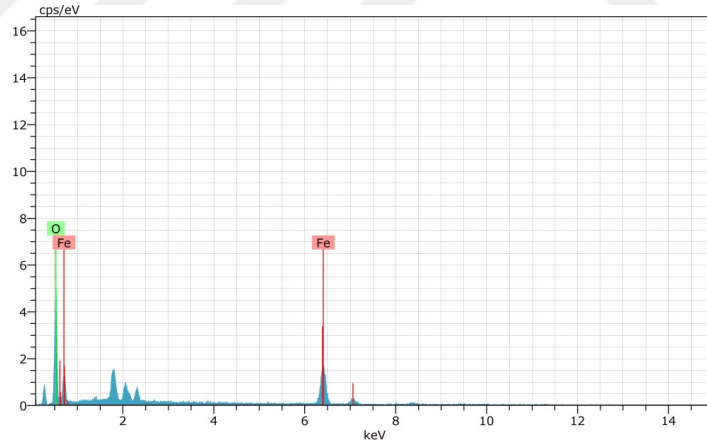


Resim 4.9 4. Deney FeO Nanoparçacıkların SEM Görüntüsü

4.1.10 FeO 5. Deney



Resim 4.10 5. Deney FeO Nanoparçacıkların SEM Görüntüsü



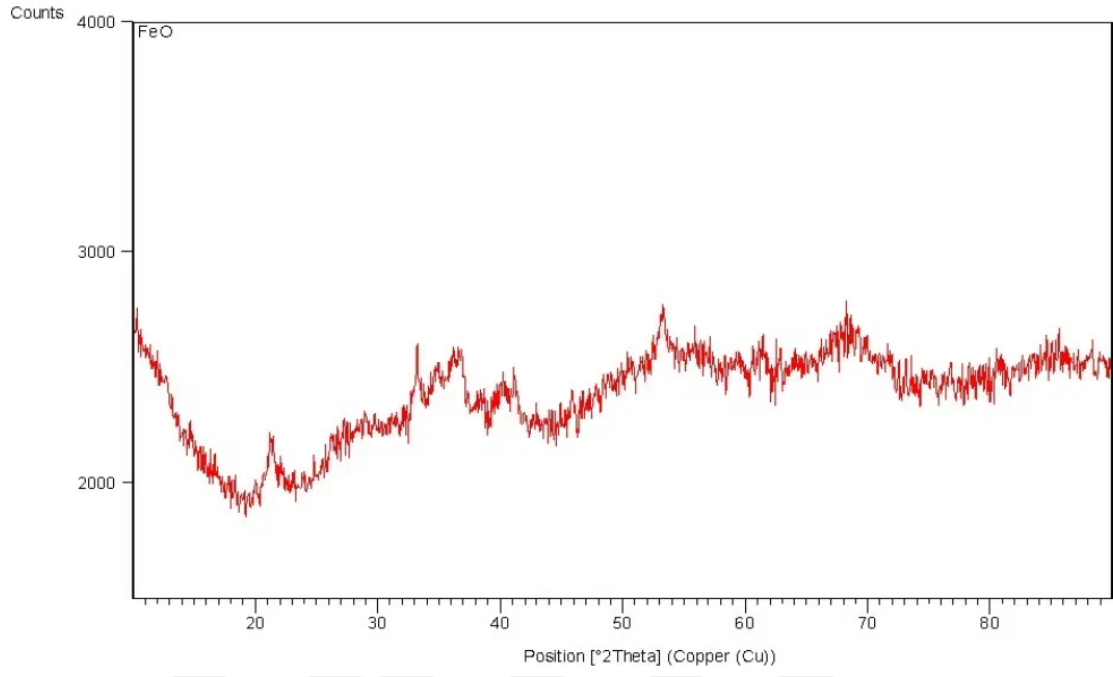
Spectrum: 1342

unn. C norm. C Atom. C Error (1 Sigma)

Element Series

	[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[wt.%]
Iron K-series	36.16	67.12	36.90	1.25
Oxygen K-series	17.71	32.88	63.10	2.81
Total:	53.87	100.00	100.00	

Şekil 4.3 Sentezlenen FeO nanoparçacık EDX analizi



Şekil 4.4 Sentezlenen FeO nanoparçacık XRD analizi

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada çözelti plazma sistemi ile metalik oksit nano parçacık sentezlenmeye çalışılmıştır. Çalışma esnasında sıcaklığı sabit tutabilmek için düzeneğe bir soğutma sistemi eklenmiştir. Metal oksit olarak son zamanlarda oldukça popüler olan bakır oksit (CuO) ve demir oksit (Fe₃O₄) düşünülmüştür. Çalışma çözeltisi için bakır ve demir tuzları kullanılmıştır. CuO nanoparçacık sentezi için bakır nitrat Cu(NO₃)₂ tuzu kullanılırken Fe₃O₄ için demir sülfat (FeSO₄) tuzları kullanılmıştır. Deneyler sonunda her iki çözeltiden elde edilen nanoparçacık tozlarının analizlerine bakıldığında;

XRD sonuçlarına göre elde edilen piklerin ve kristal yönelimlerinin literatürdeki sonuçlarla uyumlu olduğunu göstermiştir. Her iki nanoparçacık için de alınan XRD sonuçlarında bu parçacıklara ait olmayan piklerinde gözlemlendiği görülmüştür. Bunun sebebi olarak çözelti içerisindeki reaksiyonun ortamdaki bileşikleri tamamen parçalayamamış olması olarak düşünülmüştür. Deney süresinin artırılması yada elde edilen ürünlerin tavlama bu durumu ortadan kaldıracabileceği düşünülmüştür..

SEM ve EDX sonuçları incelendiğinde ise sürenin uzun tutulması oluşan parçacık miktarının ve kalitesinin daha iyi olmasını sağladığı gözlenirken elektrotlar arası mesafenin her bileşik için farklılık gösterdiği anlaşılmıştır. CuO 0.5mm elektrot arası mesafede daha iyi elde edilirken Fe₃O₄ daha fazla elektrot mesafesinde daha iyi sonuç vermektedir. Ayrıca sistemin soğutularak sıcaklığın oda sıcaklığında tutulması plazma reaksiyonlarının daha iyi gerçekleşmesini sağlamaktadır. Aksi durumda sıcaklığın etkisi ile farklı reaksiyon türleri de gerçekleşebilmektedir.

Sonuç olarak bu çalışma sonucunda çözelti plazma sistemi ile metalik oksit nanoparçacık sentezinin mümkün olabileceğini göstermenin yanında demir oksit ve bakır oksit nanoparçacık sentezi için bazı parametrelerin belirlenmesini gerçekleştirmiş olduk.

6. KAYNAKLAR

- Acar M, Ertugrul M, 2021, Cu-MWCNT Kompozitlerinin Yapısal Özellikleri, Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 14(2), 434–441.
- Aydogan T, Şenberber Dumanlı F T, Möröydor Derun E, 2021, Effect of lemon peel extract concentration on nano scale Fe/Fe₃O₄ synthesis, Journal of Polytechnic, 25(4).
- Bal A, Özen H Ç, Tural B, Ertaş E, 2021, The effects of different concentrations of foliar applied chitosan, iron oxide and chitosan-coated iron oxide nanoparticles on the secondary metabolites of *Hypericum triquetrifolium* Turra, During full bloom, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 25(4).
- Baturay Ş, Candan İ, 2022, Spin Kaplama Yöntemi ile Üretilen Ag Katkılı CuO İnce Filmlerin Yapısal Optik ve Morfolojik Özellikleri, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 27(3), 489–501.
- Çakır A, Arianpour F, 2023, Çelik Üretiminde ortaya Çıkan atık Demir oksit'in aventurin sırlarında yeniden kullanımı, Uluslararası Mühendislik Arastırma ve Gelistirme Dergisi.
- Canlı E G, 2020, Bakır Oksit Nanopartikülü Etkisinde Kalan Memelilerde (*Rattus norvegicus* var. *albinos*) Bazı Metabolik Tepkilerin İncelenmesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 23(2), 304–315.
- Çavuşoğlu H, 2019, Gümüş Katkılı Bakır(II) Oksit İnce Filmlerin Yüzey Aktif Madde Yardımıyla Sırlar Metoduyla Büyütülmesi, European Journal of Science and Technology, 412–419.
- Çelik S Ö, Nesli G, Kaykioğlu G, 2023, Demir Oksit ile Hümkik Asit Adsorpsiyonu, International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences, 1(1), 487–492.
- Coşkun A F, Tümer M, Merkit Z Y, Toplan H Ö, Toplan N, 2024, Torna talaşı Atıklarından Demir Oksit Esaslı Aerojel Tozu Üretimi Ve Karakterizasyonu, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi.
- Doğru Mert B, 2023, Green synthesis and characterization of Fe₂O₃ nanoparticles, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 28(3), 1059–1067.

- Ercioğlu Akdoğan N, Ubay E, 2022, Metalik-Benek dokulu sanatsal seramik sırların geliştirilmesi: Yüzey aşınma Özelliklerinin İncelenmesi, *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 8(4), 722–735.
- Gümüş D, Gümüş F, 2018, Adsorption of methyl orange onto iron oxide coated zeolite/potassium permanganate coated zeolite, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(1), 43–54.
- Karabulut K, 2024, Evaluation of heat transfer and flow structures in combined jet flow channels with copper oxide-water and Diamond-water, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 12(1), 199–218.
- Kartal L, Kılıç Y, Kartal Şireli G, Timur S, 2016, Orta frekans indüksiyon yöntemi ile nano-metal ve nano-metal oksit partikül sentezinin incelenmesi, *Sakarya University Journal of Science*, 20(2), 371.
- Keklikcioğlu O, 2021, Grafen-Demir Oksit Hibrit Nanoakışkanı Kullanılan Bir Isı Değiştirici Borusunun Entropi Üretim Analizi, *European Journal of Science and TechnolAtes*, H, 2015, Nano Parçacıklar ve Nano Teller. *GU J Sci Part:C*, 3(1), 437-442.
- Kerli S, Kavgacı M, 2021, Bakır oksit ince filmlere bor katkısının metil mavisi üzerindeki fotokatalitik etkisinin araştırılması, *Journal of Boron*.
- Kilinç C, 2021, Manyetik Nanoakışkanın Termosifon Tipi Isı Borusunun Performansına Etkisi, *Journal of Polytechnic*, 24(3).
- Saritaş S, 2023, Investigation of copper-iron oxide thin film grown by Co-sputtering, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(3), 625–633.
- Sulak M, 2021, Ege Bölgesinde Yetişen Antiviral *M. parviflora* L (Ebegümece) Bitkisi Kullanılarak Demir oksit (γ -Fe₂O₃) Nanopartiküllerin Sentezi ve Antibakteriyel Özelliklerinin İncelenmesi, *Journal of the Institute of Science and Technology*, 2937–2946.
- Taşar N, 2023a, Demir oksit (Fe₂O₃) nanopartikülünün *Allium tuncelianum* (Tunceli Sarımsağı) kök ucu hücrelerindeki mitotik etkisi, *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 24(2), 170–178.
- Taşar N, 2023b, Demir oksit (Fe₂O₃) nanopartikülünün *Allium tuncelianum* (Tunceli Sarımsağı) kök ucu hücrelerindeki mitotik etkisi, *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 24(2), 170–178.

- Barbaros S, Tecim T, Genç R, 2016, Magnetic nanoparticle embedded stimuli responsive hydrogels as anti-inflammatory drug carriers, *Deu Muhendislik Fakultesi Fen ve Muhendislik*, 18(52), 31–31.
- Tunçsoy B, 2021, Model Organizma *Galleria mellonella* L.'da Bakır Nanopartiküllerinin Oksidatif Stres Üzerine Etkilerinin Değerlendirilmesi, *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 6(2), 278–284.
- Tunçsoy M, 2019a, Influence of copper oxide nanoparticles on some serum parameters of *Clarias gariepinus*, *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 4(3), 387–392.
- Tunçsoy M, 2019b, Influence of copper oxide nanoparticles on some serum parameters of *Clarias gariepinus*, *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 4(3), 387–392.
- Yalcin B, Güneş M, Cığerci İ H, Kaya B, 2021, Demir (III) oksit (Fe_2O_3) nanopartiküllerinin genotoksitesinin *Drosophila* hemositlerinde KOMET yöntemi ile araştırılması, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*.
- Yesilay S, 2018, Mermer Atığı İlavesi İle Mat Sır Bileşimlerinin Üretimi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(3), 123–131.
- Yilmaz U, Pehlivanlı B, Erkan A, Kiliçli V, 2023, Nitrokarbürleme ve Son Oksidasyon Proseslerinin AISI 4140 Çeliğinin Mikroyapı ve Yüzey Özellikleri Üzerine Etkisi, *Politeknik Dergisi*, 26(4), 1405–1412.
- Ates H, 2015, Nano Parçacıklar ve Nano Teller, *GU J Sci Part:C*, 3(1), 437-442.
- Bushan B, 2010, *Handbook of Nanotechnology*, Third Edition, ISBN: 978-3-642-02524-2.
- Ebin B, 2008, Demir Nanopartiküllerinin Ultrasonik Sprey Piroliz Ve Hidrojen Redüksiyonu Yöntemi İle Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Baboo R A, 2018, Study on plasma chemistry for human health & waste management, *International Journal of Research and Analytical Reviews*, 5(1), 194-197.
- Brinker C J, 1990, *Sol-Gel Science The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing* New York, Academic Pres.

- Ceylan A A, 2007, Inert gas condensation of evaporated Ni and laser ablated CoO, *Journal Of Applied Physics*, 101, 294-302.
- Chen Q S, 2009, Progress on Nanoceramics by Sol Gel Process, *Key Engineering Materials*, 391, 79-95.
- Claudio L D, 2002, Nanoparticles from Mechanical Attrition Synthesis, Functionalization and Surface Treatment of Nanoparticles, M.I. Barton, American Scientific Publishers.
- Feizollahi E, Misra N N, Roopesh M S, 2021, Factors influencing the antimicrobial efficacy of Dielectric Barrier Discharge (DBD) Atmospheric Cold Plasma (ACP) in food processing applications, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(4), 666–689.
- Fernández A T A, 2012, The Inactivation of Salmonella by Cold Atmospheric Plasma Treatment, *Food Research International*, 45: 678-684.
- Gabriel A S, 2004, Introduction to Nanotechnology and Its Applications to Medicine, *Surg Neurol Silva*, 216–220.
- Gürmen S S S, 2006, Preparation and characterization of cobalt (Co) and silver (Ag) nanoparticles synthesized by ultrasonic spray pyrolysis (USP, *Materials research bulletin*, 41, 1882-1890.
- H H, 1997, Gas Phase Synthesis Of Nanocrystalline Materials, *Nanostructured Materials*, 9, 3-12.
- Hullmann A, 2006, The economic development of nanotechnology - An indicators based analysis European Commission, DG Research, Unit “Nano S&T - Convergent Science and Technologies” Version.
- Kaihong Q W, 2006, Self-cleaning cotton, *J. Mater. Chem*, 16, 4567 – 4574.
- Koch C C, 2003, Top-Down Synthesis of Nanostructured Materials: Mechanical and Thermal Processing Methods, *Rev.Adv.Mater.Sci*, 5, b91-99.
- Ateş H, 2015, Nano Parçacıklar Ve Nano Teller, *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 3(1), 437-442.
- Lee J S, 2004, Hollow nanoparticles of b-iron oxide synthesized by chemical vapor condensation, *Journal of Nanoparticle Research*, 6, 627–631.
- Ishtiaq M M A, 2019, İyonik sıvı bazlı kolloidal nanopartiküller: Organik sentezdeki uygulamalar, *Nanopartiküller İlaç Dağıtımı Teşhis Uygulaması*, 279 – 299.

- M G L, 2008, Nanomaterials for practical functional uses, *Journal of Alloys and Compounds*, 449, 242-245.
- Maribel G G, 2008, Synthesis Of Silver Nanoparticles By Chemical Reduction Method and Their Antibacterial Activity, *Engineering And Technology*, 33, 2070-3740.
- Misra N S, 2016, Cold plasma in food and agriculture: Fundamentals and applications, Academic Press, Elsevier, 361, London, United Kingdom.
- NI Hulkoti T T, 2014, Mikroplar-A incelemesi kullanılarak nanopartiküllerin biyosentezi, *Colloids Surfaces B Biointerfaces*, 474 - 483.
- PK C, 2007, Enhancement of Surface Properties of Biomaterials Using Plasma-Based Technologies, *Surface and Coatings Technology*, 201: 8076–8082.
- Ralph C M, 1996, Nanotechnology and Medicine, *Advances in Anti-Aging Medicine*, 277-286.
- Sadeghzadeh-Attar A S, 2007, Template-based growth of TiO₂ nanorods by sol-gel process, *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*, 10, 36-39.
- Scenlhr, 2006, The appropriateness of existing methodologies to assess the potential risks associated with engineered and adventitious products of nanotechnologies, *Committee Opinion*, 58-59.
- Shi X W, 2008, Synthesis of nano Ag powder by template and spray pyrolysis technology, *Materials Chemistry and Physics*, 112, 1110-1113.
- Starkl W W, 2002, Flame Synthesis of Vanadia/ Titania Nano-particles for NO Removal, *Particle & Particle Systems Characterization*, 19, 306 - 311.
- Tok A B, 2001, Flame Synthesis of Nanoparticles, *Chemical Engineering Research & Design*, 82, 1444- 1452.
- Tsai S C, 2004, Ultrasonic Spray Pyrolysis For Nanoparticles Synthesis, *Journal Of Materials Science*, 39, 3647 – 3657.
- Türker M, 2002, Asal Gaz Yoğunlaştırma Metodu ile Nano boyutlu Ag Tozlarının "Üretimi ve Özelliklerinin Değerlendirilmesi, *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, 26, 147-154.
- Van Heeren H, 2005, Nanotechnology Aerospace Applications, *Nanotechnology and Lifestyle*, 4-1 – 4-4.
- Vandana S P, 2005, Nanometre scale surface modification in a needle–plate exploding

- system, *J. Phys.: Condens. Matter*, 17, 5327-5334.
- Virender K S, 2008, Lin Silver nanoparticles: Green synthesis and their antimicrobial activities, *Advances in Colloid and Interface Science*, 145, 83–96.
- Wang Z C, 2003, Characterization of Fe–Co alloyed nanoparticles synthesized by chemical vapor condensation, *Materials Letters*, 57, 3560–3564.
- Ward M B, 2006, Mn nanoparticles produced by inert gas condensation, *Journal of Physics: Conference Series*, 26, 296–299.
- Y Q X, 2005, Flame Synthesis of Y₂O₃:Eu Nanophosphors using Ethanol as Precursor Solvents. *Journal of Materials Research*, 20, 2960-2968.
- Zhang H M, 2017, Non-thermal plasma technology for organic contaminated soil remediation: A review, *Chemical Engineering Journal*, 313, 157-170.