

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

**METAL OKSİT (MO) NANOPARTİKÜL (NP) ÜRETİMİ VE BAZI FİZİKSEL
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FATİH ERGÜL

TEZ DANIŐMANI
DOÇ. DR. SİNAN TEMEL

İKİNCİ TEZ DANIŐMANI
DOÇ. DR. FATMA ÖZGE GÖKMEN

BİLECİK, 2025

10707904

T.C.
BİLECİK ŐEHY EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

**METAL OKSİT (MO) NANOPARTİKÜL (NP) ÜRETİMİ VE BAZI FİZİKSEL
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FATİH ERĐÜL

TEZ DANIŐMANI

DOĐ. DR. SİNAN TEMEL

İKİNCİ TEZ DANIŐMANI

DOĐ. DR. FATMA ÖZGE GÖKMEN

BİLECİK, 2025

10707904

BEYAN

“Metal Oksit (MO) Nanopartikül (NP) Üretimi Ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi” adlı yüksek lisans tezinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.	
DESTEK ALINMIŞTIR	DESTEK ALINMAMIŞTIR
Destek alındı ise;	
Destekleyen kurum;	
Desteğin Türü	Proje Numarası
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)	
2- TÜBİTAK	
Diğer;.....	
ETİK KURUL onayı var ise;	
ETİK KURUL karar tarih/sayı:/.....

Öğrenci Adı ve Soyadı

FATİH ERGÜL

Tarih

.....

İmza

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında bilgi ve deneyimleriyle beni yönlendiren, akademik gelişimime büyük katkı sağlayan danışman hocam Doç. Dr. Sinan TEMEL'e en derin teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen, akademik ve kişisel anlamda beni teşvik eden Doç. Dr. Fatma Özge GÖKMEN'e teşekkür etmek isterim.

Bu süreçte bana destek olan sevgili aileme, özellikle kızım Talia ERGÜL'e teşekkür ederim. Varlığı, her zaman en büyük motivasyon kaynağım olmuş ve zorluklar karşısında bana hep güç vermiştir. Ayrıca, her koşulda yanımda olan kıymetli anneme, babama ve beni hep destekleyen kardeşlerime minnettarlığımı ifade etmek isterim.

Her zaman hayallerinin peşinden git diyen canım annem Talia ERGÜL'e...

Fatih ERGÜL

2025

ÖZET
METAL OKSİT (MO) NANOPARTİKÜL (NP) ÜRETİMİ VE BAZI FİZİKSEL
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Metal oksitler birçok elektriksel alan uygulamalarında kullanıldığı gibi, sağlıktan çevreye ve enerjiye çok çeşitli uygulama alanı vardır. Bu çeşitlilik bilim insanlarının ilgisini çekmiştir. Özellikle geçiş metallerinin kullanıldığı nano boyutlu metal oksitler farklı üretim yöntemleri ile laboratuvar veya endüstriyel ölçekli üretilmektedir. Nano boyutta malzemelerin inanılmaz derecede farklı özellikleri kompozit dünyasında çığır açmaktadır. Bu tez çalışmasında farklı uygulama alanlarında kullanılması amacıyla metal oksit nanopartiküllerinin üretilmesi amaçlanmıştır. İki farklı yaklaşımla geçiş metali nanopartikülleri elde edilmesi hedeflenmiştir. Bunlardan ilki sol-gel yöntemi diğer ise kimyasal birlikte çökeltme yöntemidir. Her iki yöntemde kolay uygulanabilir, maliyeti düşük ve nanopartikül özelliklerini her aşamasında kontrol etme olanağı tanınması gibi avantajları sebebi ile tercih edilmiştir. Elde edilen malzemelerin yapısal ve yüzeysel özellikleri incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Sol-gel, Nanopartikül, Metal-oksit, Geçiş metalleri

ABSTRACT
METAL OXIDE (MO) NANOPARTICLE (NP) PRODUCTION AND
INVESTIGATION OF SOME PHYSICAL PROPERTIES

Metal oxides are used in many electrical fields and have a wide range of applications from health to the environment and energy. This diversity has attracted the attention of scientists. Nano-sized metal oxides, especially transition metals, are produced on a laboratory or industrial scale with different production methods. The incredibly different properties of nano-sized materials are revolutionizing the world of composites. This study aims to produce metal oxide nanoparticles to be used in different application areas. Two different approaches were used to obtain transition metal nanoparticles. The first one is the solgel method and the other one is the chemical co-precipitation method. Both methods were preferred due to their advantages such as easy application, low cost, and the ability to control the nanoparticle properties at every stage. The structural and morphological properties of the materials to be obtained were investigated.

Keywords: Sol-gel, Nanoparticle, Metal-oxide, Transitions Metals

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	viii
KISALTMALAR LİSTESİ VE SİMGELER LİSTESİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. MATERYAL YÖNTEM	4
2.1. Metal Oksitler.....	4
2.2. Metal Oksit Nanopartikül	4
2.2.1. CoO Nanopartiküller	5
2.2.2. NiO Nanopartiküller	6
2.3. Nanoteknoloji	7
2.4. Nanopartikül Üretim Yöntemleri	9
2.4.1. Sol-Gel Yöntemi.....	10
2.4.2. Kimyasal Birlikte Çökeltme Yöntemi	11
2.4.3. Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi (CVD).....	12
2.4.4. Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi (PVD)	13
2.4.5. Darbeli Lazer Biriktirme Yöntemi (PLD)	14
2.5. Nanopartikül Karakterizasyon Yöntemleri	15
2.5.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	15
2.5.2. Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM).....	17
2.5.3. X- Işını Difraksiyon Spektroskopisi (XRD)	18
2.5.4. Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR).....	19

2.5.5. Zetasizer Nano Boyut Ölçümü	20
3. LİTERATÜR ÖZETİ.....	21
4. DENEYSEL YÖNTEM.....	23
4.1. CoO Nanopartikül Sentezi.....	23
4.2. NiO Nanopartikül Sentezi	24
5. DENEY SONUÇLARI	26
6. SONUÇ, TARTIŞMA ve ÖNERİLER.....	35
KAYNAKÇA.....	37

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2. 1. Kobalt oksit bileşiğinin kristal yapısı	6
Şekil 2. 2. NiO nanopartiküllerin atomik gösterimi	7
Şekil 2. 3. Sol-jel tekniği ile ince film kaplamasının şematik gösterimi	11
Şekil 2. 4. Birlikte çökeltme yöntemi	12
Şekil 2. 5. Kimyasal buhar biriktirme mekanizması	13
Şekil 2. 6. Katodik ark PVD sistemi	14
Şekil 2. 7. Darbeli lazer biriktirme yöntemi sistemi	15
Şekil 2. 8. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) sistemi.....	16
Şekil 2. 9. Geçirimli elektron mikroskobu (TEM) sistemi	18
Şekil 2. 10. X- Işını difraksiyon spektroskopisi (XRD) sistemi	19
Şekil 2. 11. Fourier dönüşümü kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)	20
Şekil 2. 12. Zetasizer cihazı	20
Şekil 4. 1. CoO nanopartikül.....	24
Şekil 4. 2. NiO nanopartikül	25
Şekil 5. 1. Kobalt (II) nitrat [Co(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O] tuzunun XRD spektrumu.....	26
Şekil 5. 2. Sentez sonucu elde edilen CoO nanopartiküllerin XRD spektrumu.....	27
Şekil 5. 3. 98-017-3830 referans numaralı kübik yapıda CoO yapısı.....	27
Şekil 5. 4. Nikel (II) nitrat [Ni(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O] tuzunun XRD spektrumu.	28
Şekil 5. 5. Sentez sonucu elde edilen NiO nanopartiküllerin XRD spektrumu.	28
Şekil 5. 6. 98-005-3930 referans numaralı kübik yapıda CoO yapısı.....	29

Şekil 5. 7. CoO'e ait FESEM görüntüsü.....	30
Şekil 5. 8. NiO'e ait FESEM görüntüsü.....	31
Şekil 5. 9. CoO nano partiküllere ait FTIR spektrumu.....	32
Şekil 5. 10. NiO nano partiküllere ait FTIR spektrumu.....	33
Şekil 5. 11. CoO'e ait Zetasizer nano partikül boyut dağılımı.....	34
Şekil 5. 12. NiO'e ait Zetasizer nano partikül boyut dağılımı	34

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2. 1. CoO fiziksel özellikleri	5
Tablo 2. 2. NiO nanopartikülün fizikokimyasal özellikleri.....	7
Tablo 2. 3. Nanoteknolojinin uygulama alanları	8
Tablo 2. 4. Nanopartikül üretim yöntemleri	9
Tablo 5. 1. Ortalama tane boyutu değerleri	29
Tablo 5. 2. CoO EDX sonuçları.	30
Tablo 5. 3. NiO EDX sonuçları.	31
Tablo 5. 4. Metal oksitlerin nano boyut dağılımı değerleri.	34

KISALTMALAR LİSTESİ VE SİMGELER LİSTESİ

mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
μl	: Mikrolitre
μm	: Mikrometre
K	: Kelvin
M	: Molar
Ω	: Ohm
cm	: Santimetre
$^{\circ}$C	: Santigrat derece
D	: Tane boyutu
d	: Düzlemler arası mesafe
g	: Gram
λ	: Dalga boyu
XRD	: X-Işını Kırınımı
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
TEM	: Geçirimli Elektron Mikroskobu
FTIR	: Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi
XPS	: X-Işını Foto elektron Spektroskopisi

1. GİRİŞ

Nanoteknolojinin hızlı gelişimi, metal bazlı nanoparçacıkların (MNP'ler) muazzam üretimine yol açmaktadır. MNP'lerin toprak ve su iyileştirme, tarımsal amaçlar, kozmetikler, boyalar ve farmasötikler vb. gibi geniş uygulamaları vardır (Tiwari vd., 2022). Metal oksit NP'lerin yüzeyindeki atom sayısı, NP'lerin boyutunun küçülmesiyle artar, bu da reaktivitelerini artırır ve topaklanma eğilimiyle sonuçlanır. NP'lerin daha küçük boyutuyla ilişkili dezavantajlar, uygun fiziksel, kimyasal veya biyolojik yöntemler kullanılarak yüzeylerinin modifiye edilmesiyle aşılabilir (Kumar vd., 2022). Yüzey modifikasyonu, kontrollü aglomerasyon ile stabilitelerini artırmak için NP'lerin yüzeyine inorganik bir kabuk veya organik moleküllerin kaplanmasıyla yapılabilir (Kumar vd., 2022).

Günümüzde, başta metal ve metal oksit nanopartiküller olmak üzere çeşitli nanopartiküller ve bunların olası uygulamaları üzerine araştırmalar ortaya çıkmaktadır. Bu uygulamalardan biri, potansiyometrik sensörlerin analitik parametrelerini iyileştirmek için bunların kullanılmasıdır (Pietrzak vd., 2022). Günümüzde nanopartikül elde etmek için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bunlar kolayca fiziksel (fiziksel buhar fazı biriktirme, mekanik öğütme, püskürtme, lazer ablasyon), kimyasal (kimyasal buhar fazı biriktirme, kimyasal indirgeme, elektrosentez) ve biyolojik (bakteri, mantar, yosun kullanılarak biyolojik sentez) yöntemler olarak ayrılabilir. Bununla birlikte, başlangıç malzemesinin türüne bağlı olarak, hepsi iki yöntem grubuna atanabilir: aşağıdan yukarıya yaklaşım (küçük boyutlardaki basit maddelerden nanoyapılar oluşturmak) ve yukarıdan aşağıya yaklaşım (esas olarak mekanik yöntemler aracılığıyla ayrışma sonucunda makroskopik malzemedan nanoparçacıklar elde etmek) (Khan vd., 2019). Çeşitli morfolojilere sahip MO nanopartikülleri (NP'ler) enerji depolama makineleri, sensörler, kaplamalar, yağlama, elektrokimya, çevresel iyileştirme ve benzeri geniş kapsamlı uygulamalar için araştırılmıştır (Qumar vd., 2022). Adsorban özelliklerini kullanım bu alanların en önemlilerinden biridir. Moleküllerin boyutu kütleden nano ölçeğe düştüğünde, yüzey-hacim oranında üstel bir artışa neden olur. Boyutu en aza indirerek ve etkileşim için organik moleküllerin yüzeylerine aktif kenarlar ekleyerek, yüzey enerjisi veya adsorban kompozitler geliştirilir. Bununla birlikte, nanomateryaller, organik kirleticileri sudan uzaklaştırmak için daha hacimli muadillerine kıyasla önemli adsorpsiyon kabiliyeti sergiler. Ayrıca, MO NP'ler, tek başlarına veya nanokompozitler halinde, organik kirleticileri hızlı ve verimli bir şekilde gidermek için tasarlanmış son derece seçici adsor- bentler olarak yakın zamanda benzersiz bir perspektif ortaya koymuştur (Qumar vd., 2022). Ayrıca, geçiş metal

oksitleri (TMO'lar) ve nanokompozitleri organik kirleticileri yok etmek için güçlü bir fotokatalitik reaksiyona sahiptir. Doğru yapı, kristal ve yüzey aidiyetine sahip MO bazlı nanokompozitler, büyük bant aralığı enerjili (Eg) yarı iletkenler olarak işlev görür ve organik kirleticilerin bozunması için toksik olmama ve suda kararlılık gibi olumlu nitelikler sergiler.

Metal-oksit nanopartikül üretim yöntemleri arasında; birlikte çökeltme işlemi, hidrotermal işlem, mikrodalga ışınlama, darbeli lazer biriktirme, katı hal reaksiyon işlemi, sol-jel işlemi, sprey piroliz tekniği, çözelti yakma, mekanik bilyalı öğütme ve mikrodalga destekli solvo-termal yöntemler yer almaktadır (Saleem vd., 2022). Sol-jel işleminin homojen olmayan bileşimde ince manyetik nanopartiküller sağlar, ayrıca daha iyi bir kontrol oranını olanaklı hale getirir. Basit bir hazırlama tekniğidir. Diğer bir yöntem ise, kimyasal birlikte çökeltme işlemidir. Nanopartiküllerin (NP'ler) büyük ölçekli hazırlanması, basit laboratuvar ekipmanı ve kendi içinde basitlik, düşük maliyet, dopant konsantrasyonunun etkili ve kolay ayarlanması gibi olağanüstü avantajları nedeniyle daha fazla dikkat çekmiştir (Saleem vd., 2022; Khorsand vd., 2016). Nano boyutta metal oksitlerin üretimi arasında, çökeltme yönteminin basit, ekonomik ve ölçeklenebilir olduğu, çünkü NP'lerin boyutu, şekli, kristal yapısı ve yüzey reaktivitesi gibi içsel özelliklerinin sentez sırasında kontrol edilebildiği bildirilmektedir (Natsuki, 2015; Tran vd., 2018). Metal oksitler, özellikle geçiş metalleri, manyetik, optik, elektrik, katalizör ve çeşitli alanlarda potansiyel uygulama gibi çekici özelliklere sahiptir (Vara ve Dave, 2019). Metal oksitlerin on yıllardır katalizör olarak sıklıkla çalışıldığı da incelenen literatürlerde görülmüştür (Reid vd., 2007; Chaturvedi ve Dave, 2012). Oksit nanoparçacıkları, yanma hızlarını artıran herhangi bir yığılma göstermezler. Mikro ve nanometre boyutundaki partikül (metal) oksitler arasındaki karşılaştırmada, katalizörün katalitik verimliliği nanometre aralığında keskin bir şekilde artmıştır (Boldyrev, 2006; Vara ve Dave, 2019). Nano boyuttaki metal oksitlerin bir diğer yaygın kullanım alanı da adsorpsiyon prosesleri içerisinde geliştirilmiş yeni nesil adsorban olarak kullanımınıdır (Kumar vd., 2022). Atık sulardan ağır metal iyonlarını uzaklaştırmak için kullanılan membran filtrasyonu, kimyasal çökeltme, adsorpsiyon, iyon değişimi ve birlikte çökeltme gibi çeşitli yöntemler arasında adsorpsiyon en etkili ve güvenli yöntem olarak kabul edilmektedir (Kadirvelu, 2001; Maheshwari ve Gupta, 2016). Geleneksel olarak, tarımsal yan ürünler, meyve atıkları, aktif karbon ve modifiye biyopolimerler gibi birçok doğal ve ticari adsorban, suyun iyileştirilmesi için adsorban olarak kullanılmıştır. Ancak, yüksek üretim maliyetleri, düşük adsorpsiyon kapasiteleri ve adsorpsiyon sonrası bertarafına ilişkin sınırlı bilgi nedeniyle kullanımları sınırlıdır (Hua vd., 2012). Bu nedenle, atık sulardan ağır metal iyonlarını uzaklaştırmak için alternatif bir adsorban malzeme bulmaya ihtiyaç vardır.

Son yıllarda, nanopartiküllerin küçük boyutları, geniş yüzey alanları ve daha yüksek aktif bölgeleri nedeniyle mükemmel bir adsorban olduğu bildirilmiştir (Pradhan vd., 2017).

Bu tez çalışmasının özgün değeri, geçiş metalleri kullanılarak elde edilen metal oksit nanopartiküllerinin aynı akademik çıktı da bir arada kıyaslanabilir olmasıdır. Literatüre bakıldığında, katkılamların benzer yöntemler ile reaksiyon edilip kendi içinde karşılaştırılması mevcuttur. Bu tez çalışmasında aynı metodlar farklı metal öncülerine uygulanıp katkılamanın gerçekleştirilmesi ve üretimi amaçlanmış olup üretimi sağlanmıştır.

2. MATERYAL YÖNTEM

2.1. Metal Oksitler

Metaller, doğada genellikle kararsız yapıdadır. Bu nedenle metaller, kararlı yapıya sahip olmak amacıyla oksijen ile tepkimeye girerek metal oksit bileşenine dönüşürler. Metal oksitler, günümüzde en yaygın kullanılan bileşiklerin başında gelmektedir ve birçok farklı kimyasal ve atomik bileşimlere sahiptir. Metal oksitlerin fiziksel yapısı çoğunlukla, katı, kristalin ve metalik özellik göstermektedir. Fakat genellikle oda sıcaklığında metal oksitler kırılğan yapıda bulunmaktadır. Metal oksitler birçok farklı özelliği yapısında bulundurmaktadır. Bunlara; yüksek ve kimyasal mukavemet, faz geçirgenliği, yüksek kararlılık, farklı kristal bileşimler, yüksek kaynama ve erime, optik ve elektriksel özellikler örnek verilebilir.

Metal oksitler fiziksel yapılarına göre, metal ya da geçiş metali içeren bileşikler olarak iki grupta incelenirler. Yapısında metal bulunan metal oksitlere, Silisyum Dioksit (SiO_2) ve Magnezyum Oksit (MgO) örnek olarak verilebilir. Yapısında geçiş metali bulunan metal oksitlere ise Titanyum Monoksit (TiO), Krom Dioksit (CrO_2), Bakır Oksit (CuO), Kobalt Oksit (CoO) ve Nikel Oksit (NiO) bileşikleri örnek verilebilir.

Metal oksitler diğer bileşenlerden farklı olarak yüksek işlevsellik özelliği gösterdiği bilinmektedir (Pal, 2020). Bu nedenle başta malzeme biliminde, kimya alanında ve aynı zamanda endüstriyel uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır.

2.2. Metal Oksit Nanopartikül

Nanopartiküller, fiziksel ve kimyasal yapılarına dikkat edilerek 100 nanometre boyutundan küçük olacak şekilde sentezlenmektedir (Wang vd., 2009). Nanopartiküllerin sahip olduğu avantajlı yapısından dolayı günümüzde, endüstriyel ve bilimsel çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Nanopartiküllerin kuantum etkisi ve yüzey alanı partiküllerin boyutuna bağlı olarak değişmekte ve elektrik, optik ve manyetik alanları partiküllerin boyutu küçüldükçe daha reaktif hal kazanmaktadır (Lanone ve Boczkowski, 2006; Choi vd., 2011; Warheit, 2018). Günümüzde birçok farklı alanda nanopartiküller kullanılsa da metal ve metal oksit temelli nanopartiküller sıklıkla kullanılan partiküllerin başında gelmektedir.

Metal oksit nanopartiküller, metal elementlerinin oksijen ile birleşerek oluşturduğu bileşiklerin nanometre ölçeğindeki parçacıklarını ifade etmektedir. Metal oksit nanopartiküller, genellikle 1 ila 100 nanometre arasında bir boyuta sahiptir. Metal oksit nanopartiküller, geniş bir uygulama yelpazesine sahip olup, çeşitli endüstriyel, tıbbi ve bilimsel alanlarda kullanılmaktadır (Vance vd., 2015).

2.2.1. CoO Nanopartiküller

Metal oksit nanopartikülleri nano boyutta, kimyasal kararlılığa ve geniş yüzey alanına sahip olmaları sebebiyle araştırmacılar tarafından sıklıkla tercih edilmektedir (Sethuraman vd., 2018). Geçiş metali oksitleri içerisinde Kobalt Oksitler (CoO) p tipi bir yarı iletken olup, 1.2 eV ile 1.7 eV arasında bir bant aralığına sahiptir (Kaur vd., 2006). Tablo 2.1’ de fizikokimyasal özellikleri sunulmuştur. Şekil 2.1’de ise CoO nanopartiküllerin atomik gösterimini temsil etmektedir. Kırmızı toplar oksijeni (O) elementini kahverengi toplar ise kobalt (Co) elementini ifade etmektedir.

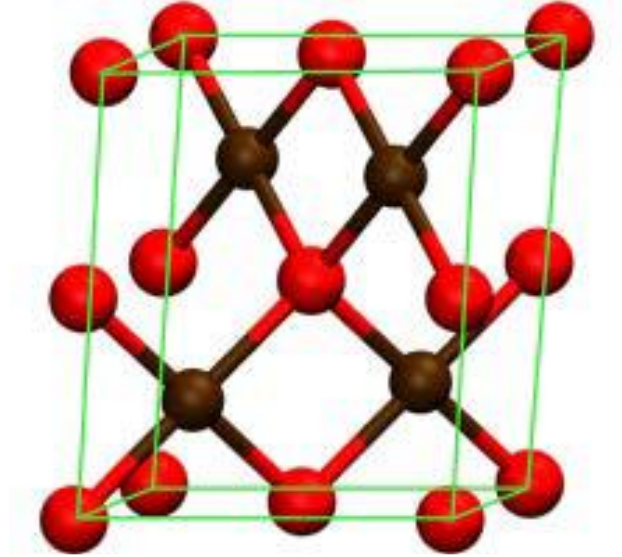
CoO nanopartiküller, nano yapılarının kolaylıkla optimize edilmesi, mükemmel katalitik özellik göstermesi ve maliyetinin düşük olması nedeniyle günümüzde sıklıkla kullanılmaktadır. Aynı zamanda yüksek elektriksel ve termal iletkenliğe sahip olmasından dolayı metal oksit nanopartikülleri içerisinde en yaygın kullanılan nano malzemedir (Tuncsoy, 2020).

CoO nanopartikülleri sahip olduğu yüksek hacim ve yüzey oranları nedeniyle birçok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Örnek olarak manyetik depolama işlemleri (Wang vd., 2007), lityum iyonu temelli elektrotlar (Xu vd., 2011) ve güneş pilleri (Sahay vd., 2012) verilebilir.

Tablo 2. 1. CoO fiziksel özellikleri

IUPAC Numarası	Cobalt(II)Oxide
Molar Kütle	79.545 g mol ⁻¹
Kaynama Noktası	1326 °C
Erime Noktası	2000 °C
Yoğunluk	6.31 g /cm ⁻³

Kaynak: (Yoon vd., 2000)

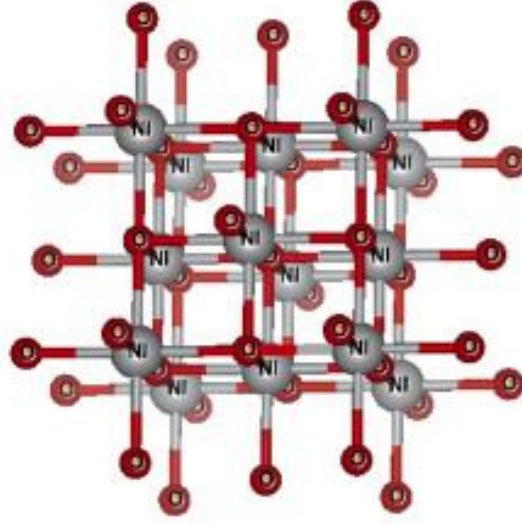


Şekil 2. 1. Kobalt oksit bileşiğinin kristal yapısı
Kaynak: (Gattinoni ve Michalies, 2015)

2.2.2. NiO Nanopartiküller

Demir grubu metallere olan nikel (Ni), sahip olduğu manyetik yapısından dolayı oldukça geniş kullanım alanına sahiptir. Günümüzde NiO nano partiküller; nano çubuk, nano tüp ve nano prizma gibi çeşitli formlarda üretilmektedir (Ati vd., 2013). NiO nanopartikülleri genellikle iletken, katalitik ve manyetik malzemelerin üretiminde ve geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Örneğin; katı oksit yakıt pillerinde ve optik sensörlerde anot katmanı olarak kullanılmaktadır (Karaduman, 2017). Şekil 2.2’de NiO nanopartiküllerin atomik gösterimi bulunmaktadır. Tablo 2.2’de ise NiO nanopartiküllerin fizikokimyasal özellikleri özet şeklinde sunulmuştur.

NiO nanopartiküllerin birçok farklı üretim yöntemi bulunmaktadır. Bunlar; mekanik öğütme, piroliz, hidrazin yöntemi, nikel tuzların kimyasal redüksiyonu, sonokimyasal yöntem ve son olarak elektrokimyasal çöktürme yöntemleridir (Alonso vd., 2011; Ramsden, 2009).



Şekil 2. 2. NiO nanopartiküllerin atomik gösterimi
Kaynak: (Goel vd., 2020)

Tablo 2. 2. NiO nanopartikülün fizikokimyasal özellikleri

IUPAC Numarası	Nickel(2+); Oxygen(2-)
Molar Kütle	74.69 g mol ⁻¹
Erime Noktası	1955°C
Kaynama Noktası	--
Yoğunluk	6.67 g cm ⁻³

Kaynak: (Goel vd., 2020)

2.3. Nanoteknoloji

Nanoteknoloji, günümüzde yeni sayılabilecek bir çalışma alanı olup nanomateryal (NM) ve nanopartikül (NP) adlı malzemeleri, üreten ve geliştiren bir bilim dalıdır (Baranowsko-Wojcik vd., 2020; Yin vd., 2020). Bu bilim dalı, nano boyutta olmayan malzemeleri veya kimyasalları nano ölçekte sentezleyerek, malzemeye istenilen yeni özellikler kazandırmayı amaçlamaktadır. Bir malzemedan istenilen özellikler genellikle malzemenin kullanım alanına göre değişmektedir. Fakat çoğunlukla araştırmacılar bir malzemed; ultraviyole koruma, çok küçük ebat, antimikrobiyal etki, esneklik, çok büyük yüzey alanı ve iletkenlik gibi özelliklerin olmasını istemektedir (Ahamed, 2021).

Nanoteknolojinin uygulama alanlarını ve içerisinde bulunan uygulama teknikleri Tablo 2.3'deki gibi özetlenebilir.

Tablo 2. 3. Nanoteknolojinin uygulama alanları

Uygulama Teknikleri	Uygulama Alanları
Yaş Uygulama Teknikleri	Biyo-meteryallerde nanoteknoloji
	Biyo-analitikler
	Nanoteşhis ve nanoterapi
	Farmasotikler ve kozmetik
Kuru Uygulama Teknikleri	Çevresel koruma ve iyileştirme
	Sensör tabanlı uygulamalar
	Tekstil ve gıda sektörü
Kompütasyonel Teknikler	Fotonik uygulamalar
	Optimizasyon ve öngörülebilirlik uygulamaları

Kaynak: (Chavali ve Nikolova, 2019)

Avrupa Komisyonu tarafından açıklanan tanıma göre, nanopartiküller 1 ile 100 nm arasındaki atomik yapılardır. NP'ler fizikokimyasal yapılarına göre üç gruba ayrılmaktadırlar. Bunlar; organik, inorganik ve karbon grubudur. Organik esaslı nanopartiküllere dendrimer ve lipozom örnek verilebilir. Karbon esaslı nanopartikül yapılara ise grafen ve fulleren örnek gösterilebilir. Son olarak inorganik esaslı nanopartiküller ise metal ve metal oksit olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Metalik nanopartiküllere kadmiyum ve alüminyum örnek verilirken metal oksit nanopartiküllerine ise demir oksit ve silikon dioksit örnek verilebilir (Rodriguez-Garraus vd., 2020; Uyanıkgil ve Salmanoğlu, 2020).

2.4. Nanopartikül Üretim Yöntemleri

Tablo 2.4'te nanopartikül üretim yöntemleri özet şekilde sunulmuştur.

Tablo 2. 4. Nanopartikül üretim yöntemleri

Yöntem Türü	Üretim Yöntemleri
Fiziksel Yöntemler	Kimyasal buhar biriktirme (CVD)
	Fiziksel buhar biriktirme (PVD)
	Moleküler demet epitaksi (MBE)
	Darbeli lazer biriktirme (PLD)
	Atomik katman biriktirme (ALD)
Kimyasal Yöntemler	Birlikte çöktürme
	Sol-gel yöntemi
	Kimyasal indirgeme
	Sono ve fotokimyasal
	Elektrokimyasal
	Mikroemülsiyon
	Solvotermal
	Levha/kaplama
Biyolojik Yöntemler	Biyomoleküller
	Maya köpüğü ve algler
	Bitkiler
	Bakteriler ve mantarlar
Diğer Yöntemler	Seri-nano işleme
	Parçalara ayırma (Nano öğütme, elektro erezyon ile işleme)
	Litografi (Optik, UV, X-ışınları, lazer)

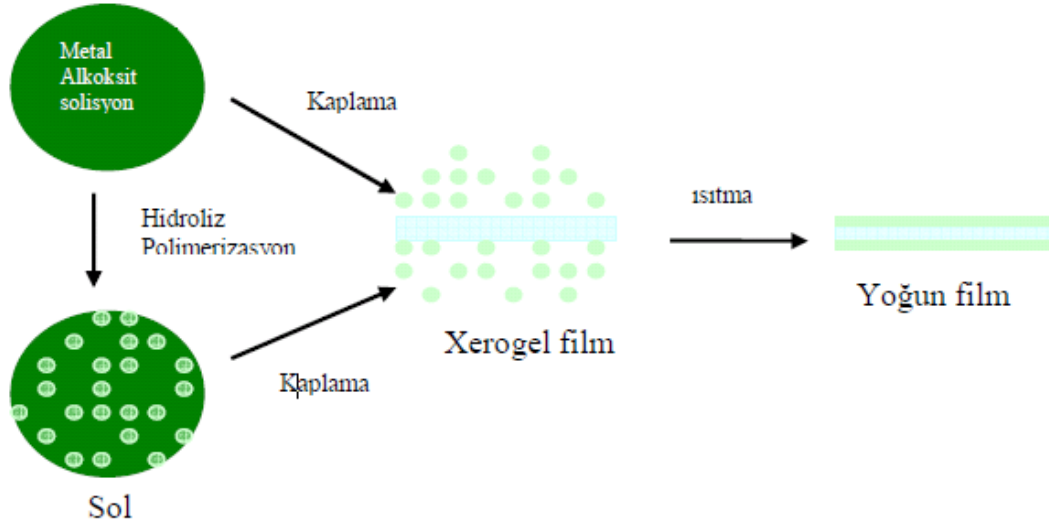
Kaynak: (Chavali ve Nikolova, 2019)

2.4.1. Sol-Gel Yöntemi

Sol-jel tekniği, seramik ve cam malzemelerin üretiminde oldukça etkili bir yöntemdir. Genel olarak bu süreç, sıvı fazdan (sol) katı faza (jel) geçişi içerir. Bu yöntemle birçok farklı cam ve seramik malzeme üretimi mümkündür; bunlar arasında saf ve küresel biçimli tozlar, ince film kaplamalar, seramik lifler, mikro gözenekli inorganik zarlar, monolitik seramik ve camlar ile aşırı gözenekli aerojel malzemeleri yer alır. “Sol” elde etmek için başlangıç malzemeleri genellikle inorganik metal tuzları veya metal bazlı inorganik bileşenlerdir. Tipik bir sol-jel sürecinde, ana malzeme, çözücü içinde çözülüp bir dizi hidroliz ve polimerizasyon tepkimesiyle kolloidal bir yapı olan "sol" haline dönüşür.

Kolloidal yapılar, homojen ve heterojen yapılar arasında bir konumda yer alır. Çözülen parçacıklar çok küçük olmasa da çözücünün içinden ayrılmaz ve çökme meydana gelmez. "Sol" üzerinde gerçekleşen işlemler sonucunda çeşitli seramik malzeme formları üretmek mümkündür. İnce filmler, bir alt tabaka üzerine "sol"un döndürme, püskürtme veya daldırma kaplama yöntemleri ile uygulanarak elde edilir. "Sol", alt tabaka üzerine kaplandığında ıslak jel (xerojel) haline dönüşecektir. Ardından sıcaklık uygulanması ve kurutma ile yoğun jel formuna geçerek ince film meydana getirir.

Sol-jel yönteminin birçok avantajı mevcuttur. Kullanılan alet ve malzemeler oldukça basittir. Bu yöntemle elde edilen kaplamaların kalınlığı, yüzeyin her bölgesinde homojendir ve saf kaplamalar sağlanır. Enerji tasarrufu sağlar, hazırlanan ortamla etkileşime girmez ve her türlü geometrik şekle sahip malzemeler üzerine uygulanabilir. Ancak, bu avantajların yanı sıra bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlar arasında malzeme maliyetinin yüksek olması ve kaplama sırasında malzeme kaybının fazla olması sayılabilir. Ayrıca, kullanılan kimyasallar sağlık açısından zararlı olabilir (Toygun ve ark. 2013).

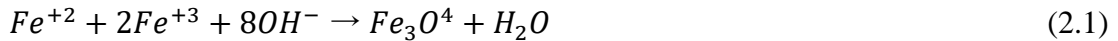


Şekil 2. 3. Sol-jel tekniği ile ince film kaplamasının şematik gösterimi

Kaynak: (Toygun ve ark. 2013)

2.4.2. Kimyasal Birlikte Çökeltme Yöntemi

Birlikte çökeltme yöntemi, Fe_3O_4 veya $\gamma-Fe_2O_3$ manyetik nanopartiküller sentezlemek için en etkili ve zahmetsiz kimyasal yaklaşımdır. Bu işlem, Fe^{2+} ve Fe^{3+} iyonlarının oda sıcaklığı veya artırılmış sıcaklıklarda bazik çözeltilerle 1:2 mol oranında stokiometrik karışımı aracılığıyla çöktürülmesidir (Wu ve diğerleri, 2008). Bu süreçte, Fe_3O_4 nanopartiküllerinin çökmesi için pH değerinin 8 ile 14 arasında olması beklenmektedir. Nanoparçacık sentezine dair reaksiyon kinetiği ise aşağıdaki gibi tanımlanır (Thakur ve diğerleri, 2015).

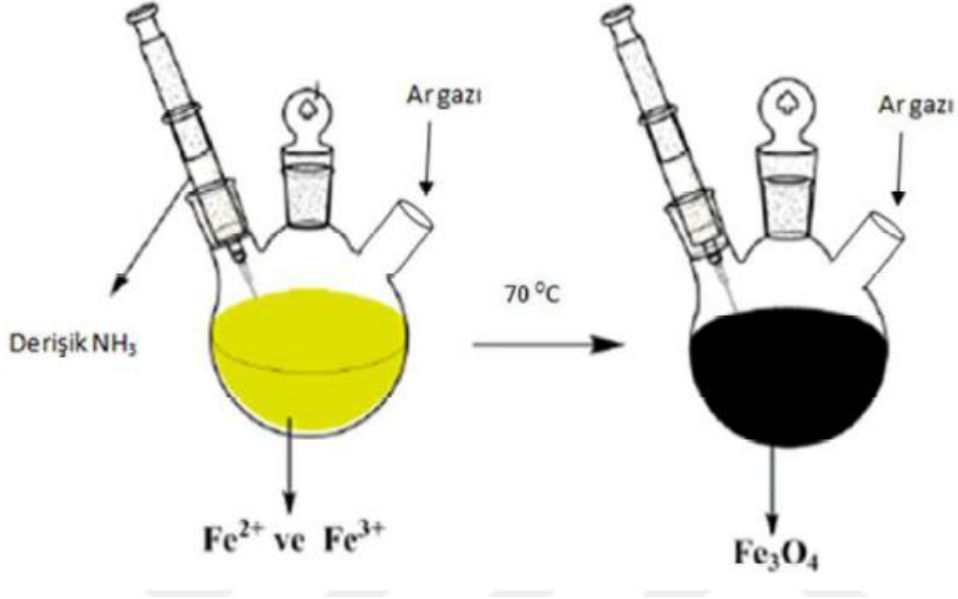


Nanopartiküllerin şekli ve boyutu, kullanılan tuz türüne (klorürler, sülfatlar, nitratlar, perkloratlar vb.), Fe^{2+} ve Fe^{3+} iyonlarının oranına, reaksiyon sıcaklığına, pH değerine, ortamın iyonik mukavemetine ve diğer reaksiyon parametrelerine (örneğin karıştırma oranı, bazik çözeltinin düşme hızı) bağlıdır. Bu yöntemde, istenilen özellikleri elde etmek için reaksiyon koşulları değiştirilerek ayarlamalar yapılabilir (Bhateria, 2019).

Bu teknik, demir oksit nanopartiküllerin kimyasal ve fiziksel özelliklerini etkileyebilir. Fe_3O_4 nanopartiküller, çevresel şartlar altında çok da kararlı bir yapı sergilemez. Hava ile temas ettiğinde kolayca oksitlenerek maghemite ($\gamma-Fe_2O_3$) dönüşebilir veya asidik bir ortamda çözünme sürecine girebilir.



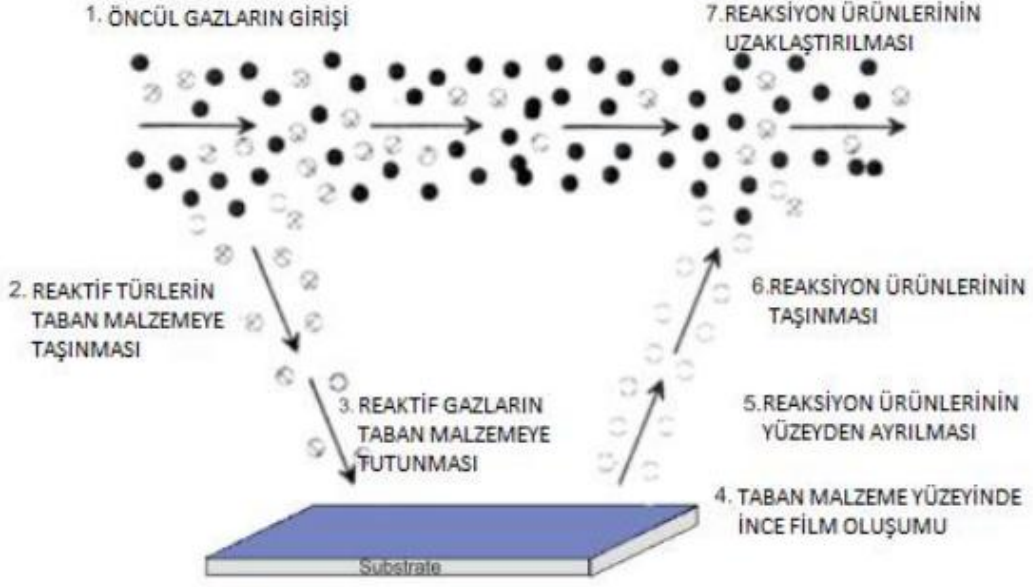
Bu oksidasyonu engellemek amacıyla sentez, anaerobik (oksijensiz) koşullar altında gerçekleştirilir. Bu bağlamda, $\gamma-Fe_2O_3$ nanopartiküller, Fe_3O_4 nanopartiküllerinin oksidasyonu ile üretilebilir. $\gamma-Fe_2O_3$ nanopartiküller, kimyasal stabiliteleri nedeniyle alkali veya asidik ortamlarda, oksidasyon bu partiküller için kritik bir faktör değildir (Thakur ve ark., 2015). Şekil 2.4'te birlikte çökeltme yöntemi gösterilmiştir (Gündoğdu, 2016).



Şekil 2. 4. Birlikte çökeltme yöntemi

2.4.3. Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi (CVD)

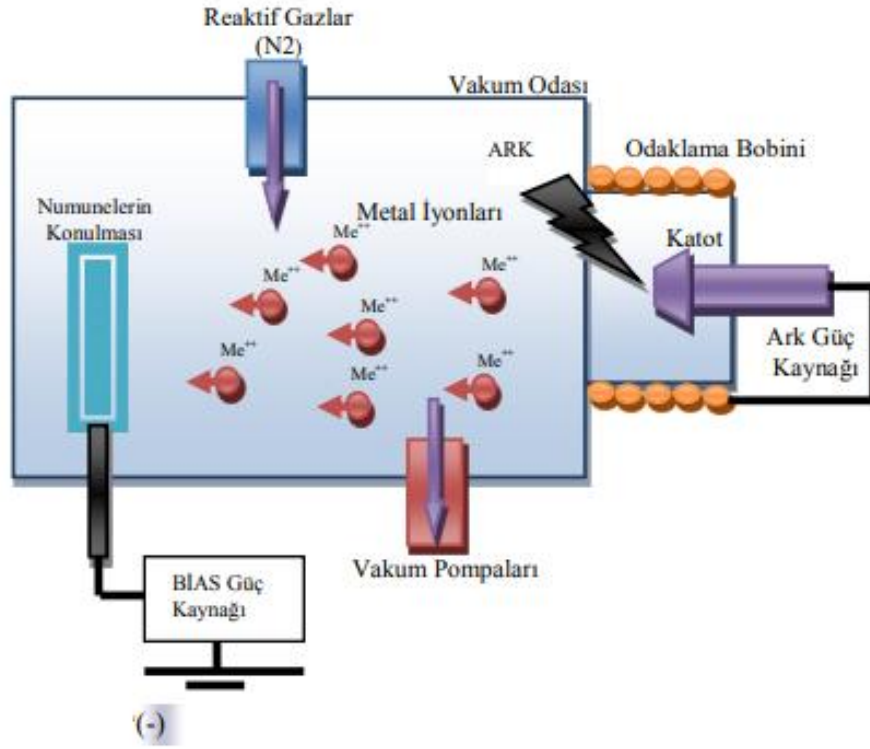
Kapalı bir ortamda katı fazdan gaz fazına geçen kimyasal bir bileşik, taşıyıcı gaz yardımıyla taşınarak alt tabaka malzemesi üzerine difüzyon ile birikir; bu süreç kimyasal buhar biriktirme (KBB) yöntemi olarak adlandırılır. Kaplama kalınlığı genellikle 10 mikrometreden daha ince olmaktadır. Malzemenin türüne göre sıcaklık genelde 1100°C'ye kadar çıkabilir. İstenilen malzeme kalınlığına bağlı olarak işlem süresi değişiklik gösterir. Kaplama parametrelerinin değiştirilmesi ile malzemenin stokiyometrisi, kristal yapısı ve morfolojisi kontrol edilebilir.



Şekil 2. 5. Kimyasal buhar biriktirme mekanizması
Kaynak: (Zou vd., 2010)

2.4.4. Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi (PVD)

Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) yöntemi, yüksek vakum ortamında gerçekleştirilen ve kaplama malzemesinin buharlaştırılarak ya da sıçratılarak atom veya iyon seviyesinde biriktirilmesine dayanan bir tekniktir. Bu işlem sırasında metal bazlı sert kaplamalar oluşturulurken, üretilen kısmen iyonize metal buharı belirli gazlarla reaksiyona girerek ince bir film meydana getirir. PVD'nin en yaygın kullanılan yöntemleri püskürtme ve katodik ark teknikleridir. Püskürtme işleminde, metal bir hedef enerjik gaz iyonlarıyla bombardımana tabi tutularak buhar elde edilirken, katodik ark yönteminde ise malzeme, tekrarlayan vakum ark deşarjlarıyla buharlaştırılır. Düşük taban malzeme sıcaklıkları ve refrakter kaplama malzemelerinin kullanımı nedeniyle PVD kaplamalarda yüksek iç gerilmeler oluşabilir. Ayrıca, yüksek enerjili iyon bombardımanı iç gerilmeyi artırabilir. Refrakter malzemelerin kaplanması için oldukça uygun bir yöntem olan bu teknik, tüm uygulamalarında yüksek vakum koşullarında gerçekleştirilir (Aytaç ve Malayoğlu, 2018).

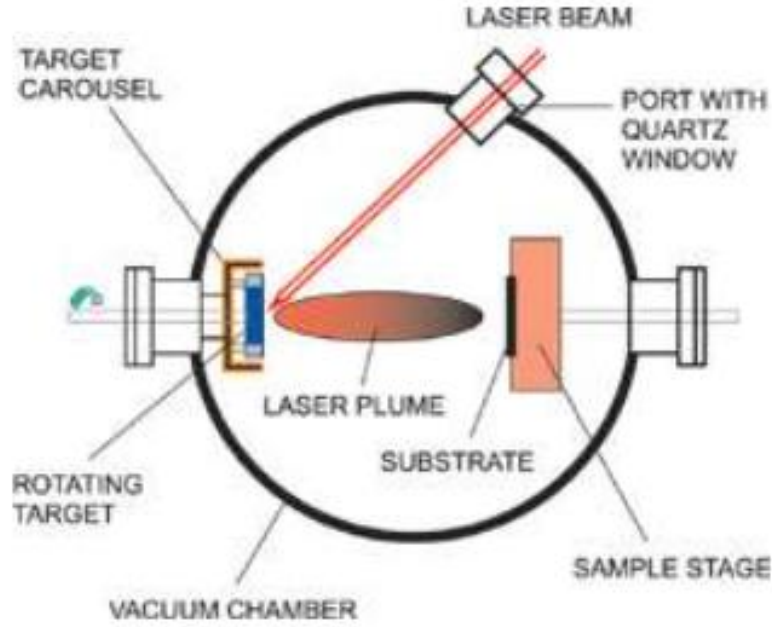


Şekil 2. 6. Katodik ark PVD sistemi
Kaynak: Aytaç ve Malayoğlu, 2018.

2.4.5. Darbeli Lazer Biriktirme Yöntemi (PLD)

Darbeli Lazer Biriktirme (PLD) sistemi temel olarak; lazer kaynağı, hedef malzeme ve alttaşın yer aldığı vakum odası, lazer ışınının hedefe yönlendirilmesini ve odaklanmasını sağlayan optik bileşenler ile kaplama sürecinin kontrolünü gerçekleştiren yazılım ve çeşitli kontrol elemanlarından (sensörler, kontrol vanaları vb.) oluşmaktadır. PLD tekniği kullanılarak ince film kaplama süreci; lazerin hedef malzeme ile etkileşimi, plazma oluşumu, plazmanın alttaş ile etkileşimi ve alttaş yüzeyinde ince film büyütülmesi gibi aşamalardan meydana gelir. Optik bileşenler sayesinde lazer ışını hedef malzemeye odaklanır ve bu etkileşim sonucunda hedef malzeme uyarılarak iyon, atom, molekül ve elektron içeren bir plazma meydana gelir. Vakum ortamında genişleyen plazma, belirli bir yörünge boyunca ilerleyerek önceden ısıtılmış alttaş yüzeyine ulaşır ve burada ince bir film tabakası oluşturmaya başlar. Bu süreç tekrarlandıkça film kalınlığı artarak kaplama tamamlanır. PLD yöntemiyle oldukça yoğun ve ince kaplamalar üretilebildiği için, tabakaların birbirinden ayrılma ihtimali azalır ve kaplama ile alttaş arasındaki yapışma kuvveti güçlenir. Bu durum, aşınma direncini artırırken aynı

zamanda iyon salınımını da engeller. Ayrıca, PLD yöntemi sitokimyasal yapıyı koruyarak hedef malzeme olan HAp ile nihai kaplama arasında herhangi bir bileşim farklılığının oluşmasını önler (Ekmekçi ve Yurtcan, 2020).



Şekil 2. 7. Darbeli lazer biriktirme yöntemi sistemi
Kaynak: (Ekmekçi ve Yurtcan, 2020)

2.5. Nanopartikül Karakterizasyon Yöntemleri

2.5.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), bir örneği yüksek çözünürlükte görüntülemek için elektronları kullanan bir mikroskop türüdür. SEM, yüzeylerin üç boyutlu yapısını ve morfolojisini incelemek için özellikle etkilidir. İşleyiş prensibi şu şekildedir:

Elektron Işını: SEM, bir elektron tabancası kullanarak yüksek enerjili elektronları örneğin üzerine gönderir. Bu elektronlar, örneğin yüzeyiyle etkileşime girerek çeşitli sinyaller oluşturur.

Sinyal Üretimi: Elektronlar örneğin yüzeyine çarptığında, yüzeyden çeşitli türde sinyaller (bileşen analizi için X-ışınları, yüzey topografyasını gösteren geri saçılan elektronlar, vb.) yayılır. Bu sinyaller, örneğin özelliklerine ve yapısına dair bilgi verir.

Görüntüleme: Geri saçılan elektronlar ve diğer sinyaller, dedektörler tarafından toplanır ve işlenerek bir görüntü oluşturulur. SEM, yüksek çözünürlük ve büyük büyütme oranları ile detaylı görüntüler sağlar.

Yüzey Topografyası: SEM, yüzey topografyasını, yapısını ve bileşimini incelemek için sıklıkla kullanılır. Örneğin, malzeme bilimi, biyoloji, nanoteknoloji ve elektronik alanlarında yaygın bir şekilde uygulanmaktadır.

SEM'in avantajları arasında yüksek çözünürlük, derinlik alanı ve örneklerin üç boyutlu görünümünü sağlama yeteneği bulunur. Bununla birlikte, örneklerin genellikle vakumda incelenmesi gerektiği için, bu teknik bazı örneklerin incelenmesinde sınırlamalar getirebilir.



Şekil 2. 8. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) sistemi

2.5.2. Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM)

Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM), atomik düzeyde ayrıntılı görüntüler elde etmek için elektronları kullanan bir mikroskop türüdür. TEM, özellikle malzeme bilimi, biyoloji ve nanoteknoloji gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. TEM'in çalışma prensibi ve özellikleri şu şekildedir:

Elektron Kaynağı: TEM, bir elektron tabancası ile yüksek enerjili elektronlar üretir. Bu elektronlar, ince bir örneği geçerek onun iç yapısını incelemek için kullanılır.

Örnek Hazırlığı: TEM örnekleri genellikle çok ince, 100 nanometreden daha az kalınlıkta olmalıdır. Bu, elektronların örneği geçebilmesi için gereklidir. Örneklerin hazırlanması, özel kesme veya inceleme teknikleri ile gerçekleştirilir.

Işınlama ve Geçirme: Elektronlar, örneğin içine gönderildiğinde, bazıları örneği geçerken etkileşime girer ve farklı sinyaller (örneğin, elastik ve inelastik saçılma) üretir. Geçen elektronlar, görüntü oluşturmak için dedektörler tarafından toplanır.

Görüntüleme: TEM, elde edilen verileri işleyerek yüksek çözünürlüklü ve detaylı iki boyutlu görüntüler oluşturur. Bu görüntüler, atomik yapıyı ve malzeme içindeki fazları gösterir.

Özellikler ve Uygulamalar: TEM, çok yüksek çözünürlük (atomik düzeyde) sunarak malzemelerin yapısını, kristal yapısını, boşlukları ve faz sınırlarını incelemek için kullanılır. Aynı zamanda, elementlerin dağılımını belirlemek için enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDX) gibi tekniklerle birleştirilebilir.

TEM'in avantajları arasında yüksek çözünürlük ve detaylı iç yapısal bilgi elde etme yeteneği bulunmaktadır. Ancak, örneklerin çok ince olması gerektiği ve vakum koşullarında çalışması gerektiği için, bazı sınırlamaları da vardır. Bu nedenle, TEM kullanımını belirli bir uzmanlık ve dikkat gerektirir.



Şekil 2. 9. Geçirimli elektron mikroskobu (TEM) sistemi

2.5.3. X- Işını Difraksiyon Spektroskopisi (XRD)

X-Işını Difraksiyon Spektroskopisi (XRD), kristal yapıların analizi için kullanılan bir tekniktir ve malzemelerin kristal düzenini, fazlarını ve kristal boyutlarını belirlemek için X-ışınlarını kullanır. XRD, bir X-ışını kaynağından üretilen X-ışınlarının örnek malzeme üzerinde difraksiyon olgusuna neden olması prensibine dayanır; bu difraksiyon, Bragg yasasına göre belirli açılarda gerçekleşir. Elde edilen XRD spektrumu, belirli pikler ve yoğunluklar içerir ve bu pikler, malzemenin kristal düzlemleri arasındaki mesafeleri ile faz içeriğini gösterir. Böylece, XRD, malzemenin hangi kristal fazda olduğunu belirlemenin yanı sıra, kristal boyutu ve iç gerilme hakkında bilgi sağlama yeteneğine sahiptir. Malzeme bilimi, biyoloji, ilaç endüstrisi ve jeoloji gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılan XRD, yalnızca kristalize olmuş malzemeler için geçerlidir ve amorf malzemeler hakkında bilgi vermez.



Şekil 2. 10. X- Işını difraksiyon spektroskopisi (XRD) sistemi

2.5.4. Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)

Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR), moleküllerin kimyasal yapısını ve fonksiyonel gruplarını belirlemek için kullanılan güçlü bir analitik tekniktir. FTIR, bir örneğe kızılötesi ışık göndererek, örneğin moleküllerinin titreşimsel ve rotasyonel hareketlerini inceleyerek çalışır. Kızılötesi ışık, örnekteki moleküllerin belirli dalga boylarında emilimini tetikler; bu emilim, moleküllerin kimyasal bağları ve yapılarına özgü bilgileri yansıtır. Elde edilen spektrum, dalga boyuna karşı emilim yoğunluğunu gösterir ve her bir pik, belirli bir fonksiyonel grup veya bağın varlığını temsil eder. FTIR, organik ve inorganik bileşenlerin analizi, polimerlerin karakterizasyonu ve biyolojik örneklerin incelenmesi gibi geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Avantajları arasında hızlı analiz, yüksek hassasiyet ve çok az örnek miktarı gerektirmesi bulunur. Bununla birlikte, FTIR'ın sınırlamaları, özellikle su gibi yüksek yoğunluklu çözücülerle etkileşimde bulunurken spektrumların karmaşıklaşabilmesidir.



Şekil 2. 11. Fourier dönüşümü kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)

2.5.5. Zetasizer Nano Boyut Ölçümü

Zetasizer, nano partiküllerin boyut dağılımını, yükünü ve aglomerasyon özelliklerini ölçmek için yaygın olarak kullanılan bir cihazdır. Bu cihaz, özellikle kolloidal sistemlerde ve biyomoleküllerde yapılan araştırmalarda önemli bir rol oynamaktadır. Zetasizer, dinamik ışık saçılması (DLS) ve elektroforetik mobilite ölçümleri gibi teknikleri kullanarak numunelerin fiziksel özelliklerini analiz eder.



Şekil 2. 12. Zetasizer cihazı

3. LİTERATÜR ÖZETİ

Metal oksit nanopartiküllerin literatürde üretildiği ve özelliklerinin incelendiği bazı çalışmalar şu şekildedir: Brinker vd., 1990 yılında Sol-jel, hidrotermal sentez ve mikroemülsiyon teknikleriyle nanopartiküllerin yüksek kontrol ve homojen partikül boyutu dağılımı sağladıklarını göstermişlerdir (Brinker ve Scherer, 1990).

Saleem vd., 2022 yılında, elektronik cihaz uygulamaları için ZnO nanoparçacıklarını Nikel (Ni) ve Kobalt (Co) katkılayıcılar ile birlikte kullanmıştır. Elde edilen malzemenin yapısal, optik, morfolojik ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. ZnO nanopartiküller kimyasal birlikte çökeltme yöntemi ile sentezlenmiştir. Ni ve Co katkılı ZnO fazları XRD analizi ile gözlemlenmiştir. Yapıların kafes bozulmaları metal katkılamanın bir sonucu olarak yorumlanmıştır. Optik özellikler UV-Vis. spektroskopisi ile gözlemlenmiştir. ZnO nanopartiküllerinin bant aralığı değerinin metal (Ni, Co) katkısı konsantrasyonunun artmasıyla 5,23 eV'den 5,05 eV'ye düştüğü tespit edilmiştir (Saleem vd., 2022).

Tanwar ve Kaur, 2022 yılında, polietilen glikol bazlı faz değişim malzemelerinin üretimi ve metal oksit nanopartiküllerinin termal, yanıcılık ve UV özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Üretilen malzemeler solvent döküm yöntemiyle elde edilmişlerdir. Faz değişim davranışları ve termal kararlılıkları DSC ve TGA analizleri ile belirlenmiştir. Optimize edilmiş PEG/PVA bileşimine değişen nano TiO₂ (NTO) partikül yüklerinin eklenmesi, gizli ısı depolama kapasiteleri gibi faz değişim parametrelerini sırasıyla 65,59 J/g'dan 73,02 J/g'a ve aşırı soğutma derecesini 18,93'ten 17,03'e önemli ölçüde iyileştirmiştir. Nanokompozitlerde NTO partiküllerinin varlığının, filmler boyunca UV geçirgenliğini başarılı bir şekilde azaltmada etkili olduğu kanıtlanmıştır. Metal oksit dolgu maddesi aynı zamanda faz değiştirici malzemelerin alev geciktirici davranışını da geliştirmiştir (Tanwar ve Kaur, 2022).

Sandhiran vd., 2022 yılında, Oksijen için yüksek performanslı elektrokatalizör olarak rGO nanosheets üzerine tutturulmuş CuO-NiO ikili geçiş metal oksit nanoparçacık indirgeme reaksiyonu gerçekleştirmişlerdir. CuO-NiO/rGO nanokompozitleri basit, uygun maliyetli birlikte çökeltme yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır. CuO, NiO nanoparçacıklarının ve CuO-NiO, CuO-NiO/rGO nanokompozitlerinin elektrokimyasal özellikleri incelenmiştir. CuO-NiO/rGO nanokompozitlerinin sonuçları, hazırlanan diğer malzemelerle (CuO, NiO ve CuO-NiO) karşılaştırıldığında yüksek akım yoğunluğu ($2,9 \times 10^{-4}$ mA cm⁻²), daha düşük Tafel eğimi (72 mV dec⁻¹) ve düşük hidrojen peroksit verimi (%15) ortaya koymuştur (Sandhiran vd., 2022).

Qamar vd., 2022 yılında, 3d (Fe, Co, Ni, Mn ve Cr) metal katkılı çinko oksit nanopartiküllerin tasarımını ve geliştirilmiş fotokatalitik ve antibakteriyel özelliklerinin incelenmesini raporlamışlardır. Geçiş metali (Fe, Cr, Ni, Co ve Mn) katkılı ZnO nanoparçacıkları (TM-ZN NPs) kimyasal birlikte çöktürme yöntemi ile sentezlenmiştir. TM-ZN NP'ler, ZN NP'lere göre daha fazla fotokatalitik ve antibakteriyel aktivite göstermiştir. Özellikle, Mn katkılı ZnO nanopartikülleri (MnZN NP'ler) Gram-negatif ve Gram-pozitif suşlara karşı en yüksek bakterisidal etkinliği ve güneş ışığı ışınları altında maksimum MB fotokatalitik bozunmayı (120 dakikada %98) sergilemiştir (Qamar vd., 2022).

Vara ve Dave, 2019 yılında yaptıkları çalışmada, metal oksit nanopartikülleri katalizör olarak kullanmışlardır. Sentezlenen CuZnO, CoZnO ve NiZnO nanopartikülleri için birlikte çöktürme yöntemi kullanılmış ve XRD, FTIR ve SEM ile karakterize edilmiştir. İyi bir katalitik verimlilik gösterdikleri bildirilmiştir (Vara ve Dave, 2019).

Kumar vd., 2022 yılında, geliştirilmiş Cu^{+2} adsorpsiyon kapasitesine sahip fonksiyonelleştirilmiş Cu bazlı metal oksit nanopartiküller ve bunların moleküler yerleştirme ile ekotoksosite değerlendirmesi yapmışlardır. Sentezlenen NP'ler, sulu bir çözeltilerden çoklu ağır metal iyonlarını adsorbe etme kabiliyetleri açısından taranmıştır. Elde edilen sonuçlar, NP'lerin kullanılan standarda kıyasla protein hedeflerine karşı düşük afinite sergilediğini göstermiştir. Bu durum, NP'lerin toprak mikroplarının işlevselliği üzerinde daha az etkiye sahip olduğunu ve dolayısıyla toprak mikro çevresine atılmalarının güvenli olduğunu göstermektedir (Kumar vd., 2022).

Pietrzak vd., 2022 yılında, potasyum iyonlarına duyarlı iyon seçici elektrotlarda katı temas olarak metal oksit nanopartikülleri kullanmışlardır. Sensörlerin temel analitik parametreleri potansiyometrik yöntemler kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca, sensörlerin elektriksel özelliklerini araştırmak için elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) yöntemi de kullanılmıştır (Pietrzak vd., 2022).

Lee ve arkadaşlarının 2022 yılında gerçekleştirdiği çalışmada, metal oksit nanopartiküllerinin (MO-NP) çeşitli sentez yöntemleriyle üretilebilen ve hem akademik hem de endüstriyel alanlarda geniş bir kullanım potansiyeline sahip nanomalzemeler olduğu belirtilmiştir. Gelecekte, biyouyumluluk, çevresel sürdürülebilirlik ve verimli üretim tekniklerine yönelik araştırmaların ilerlemesiyle, MO-NP'lerin daha güvenli ve yaygın bir şekilde kullanılmasının mümkün olacağı öngörülmektedir (Lee et al., 2022).

4. DENEYSEL YÖNTEM

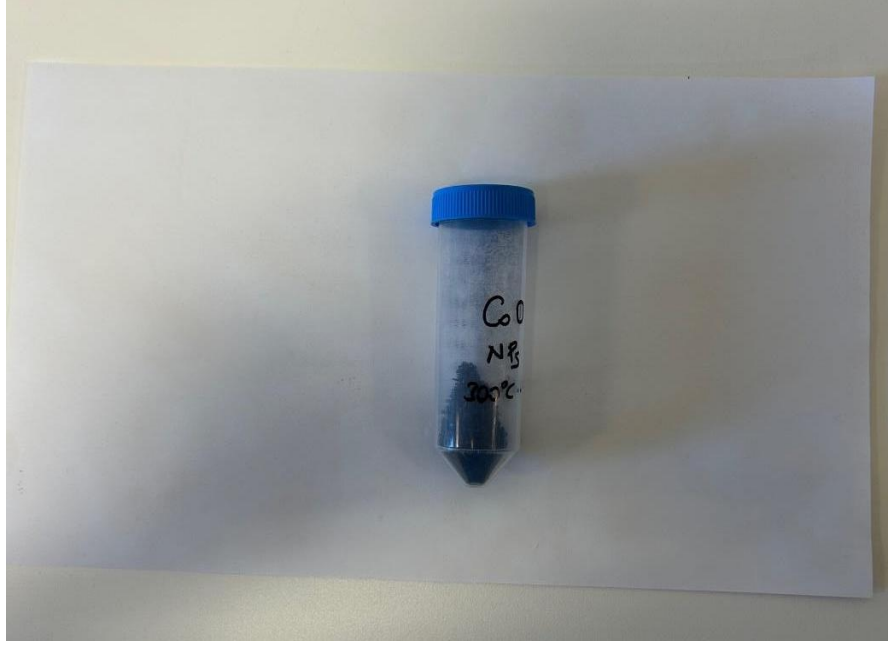
Kimyasal birlikte çökelme yöntemi ile indirgenerek CoO ve NiO nano partiküller üretilmiştir. Bu yöntem ile farklı sıcaklık, ağırlık, reaksiyon süresi ve ilaveten konsantrasyon miktarı parametreleri her iki metal oksit numunesi için optimize edilmiştir. Yapılan çalışmalarda, gözleme dayalı olarak (çökelme, karakterizasyon için whatman süzgeç kâğıdında yeterli miktarda numune elde edilememesi, tavlama sıcaklığı nedeniyle karakterizasyona yeterli numunenin krozede kalmaması, vb.) en iyi parametreler seçilmiş ve karakterizasyonlar gerçekleştirilmiştir.

Birlikte çökelme yöntemi ile indirgenerek elde edilen CoO ve NiO nanopartikülleri eşit reaksiyon şartlarında sabit tutulmuştur. Yapısal ve yüzey karakterizasyonları eşit koşullarda kıyaslanmıştır. Elde edilen metal oksit nano parçacıkların yapısal ve yüzey özelliklerinin yanında partikül boyut dağılım sonuçları da incelenmiştir.

4.1. CoO Nanopartikül Sentezi

Kobalt (II) nitrat $[\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ 'ın sodyum hidroksit (NaOH) ile sulu ortamda indirgenerek çökeltilmesiyle CoO nanopartikülleri, elde edilmiştir. Bu amaçla, 0.5 M kobalt (II) nitrat çözeltisi hazırlanmıştır.

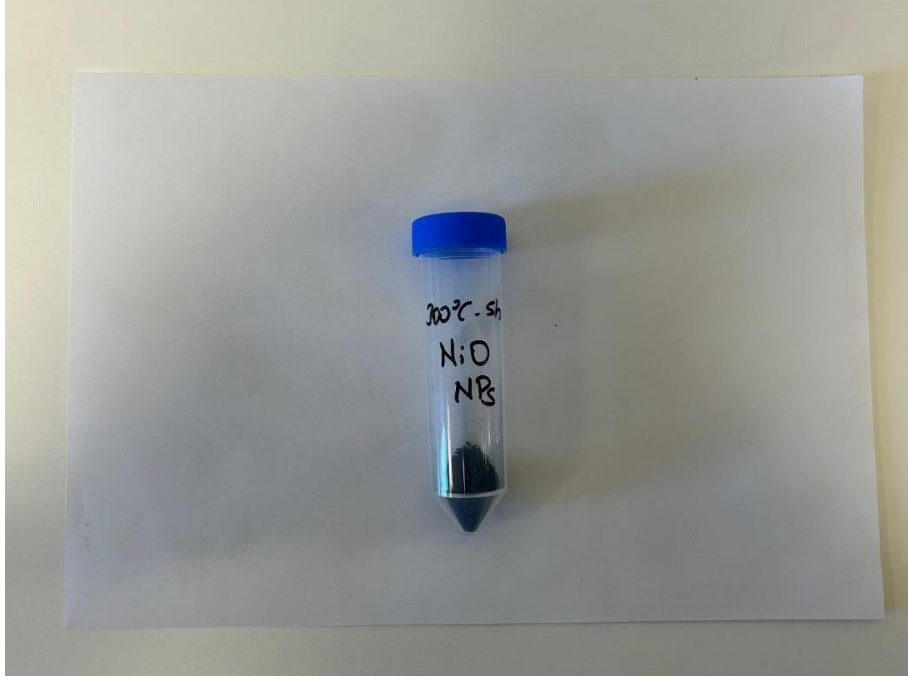
Bu çözelti 6 saat 70°C 'de karıştırılmıştır. Karışıma 0.1 M NaOH çözeltisi damla damla ilave edilerek çökelti elde edilmiştir. Elde edilen çökelti Whatman süzgeç kağıdı ile süzülmüştür. Süzüntü su ve etanol ile 3 kez yıkanmıştır. Yıkamadan sonra süzüntü etüvde 24 saat 60°C 'de kurutulmuştur. Kurutulan örnek 300°C 'de 5 saat süreyle hava ortamında tavlansak CoO nanopartiküller elde edilmiştir. Şekil 4.1'de indirgenerek çökeltme yöntemi ile sentezlenen CoO nanopartikül örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 4. 1. CoO nanopartikül

4.2. NiO Nanopartikül Sentezi

Nikel (II) nitrat [$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$]'ın sodyum hidroksit (NaOH) ile sulu ortamda indirgenerek çökeltilmesiyle NiO nanopartikülleri, elde edilmiştir. Bu amaçla, 0.5 M nikel (II) nitrat çözeltisi hazırlanmıştır. Bu çözelti 6 saat 70°C 'de karıştırılmıştır. Karışıma 0.1 M NaOH çözeltisi damla damla ilave edilerek çökelti elde edilmiştir. Elde edilen çökelti Whatman süzgeç kağıdı ile süzülmüştür. Süzüntü su ve etanol ile 3 kez yıkanmıştır. Yıkamadan sonra süzüntü etüvde 24 saat 60°C 'de kurutulmuştur. Kurutulan örnek 300°C 'de 5 saat süreyle hava ortamında tavlansak NiO nanopartiküller elde edilmiştir. Aşağıda verilen Şekil 4.2'te sentezlenen NiO nanopartikül örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 4. 2. NiO nanopartikül

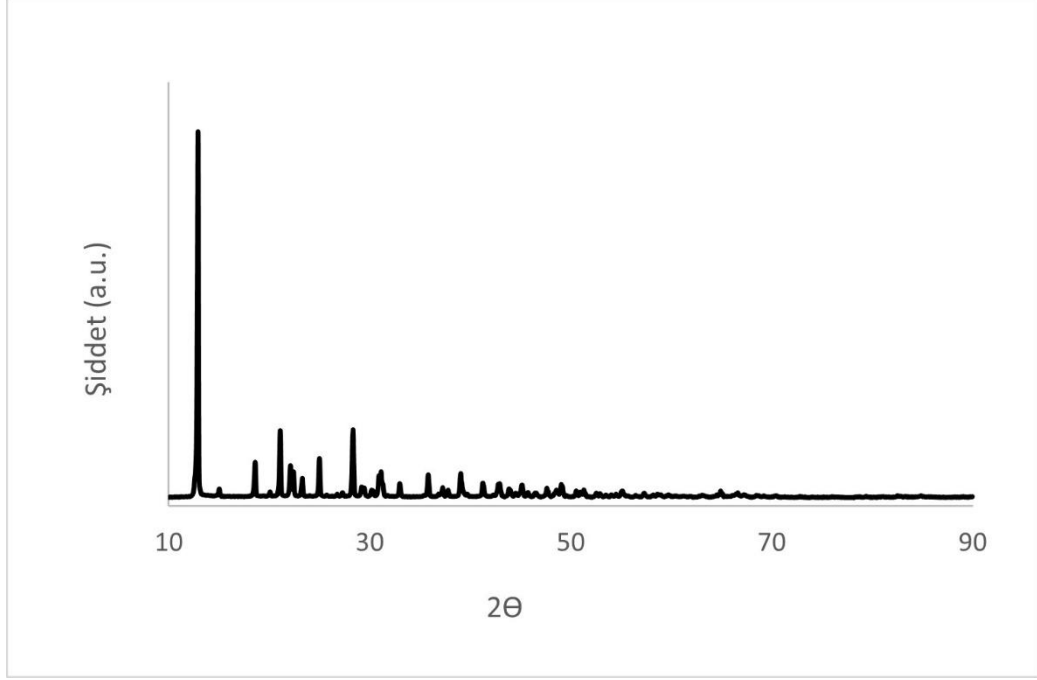
4.3. Karakterizasyon

Yapısal ve yüzeysel analizler sırasıyla XRD ve FESEM cihazları ile yapılmıştır. XRD cihazı Panalytical Empeyan ve FESEM cihazı SUPRA 40VP, Carl Zeiss model/marka ile gerçekleştirilmiştir. XRD analizi 2-theta açısı 10 - 90° aralığında gerçekleştirilmiştir. FESEM görüntüleri 15 kV ve 15 kX büyültmelerde elde edilmiştir.

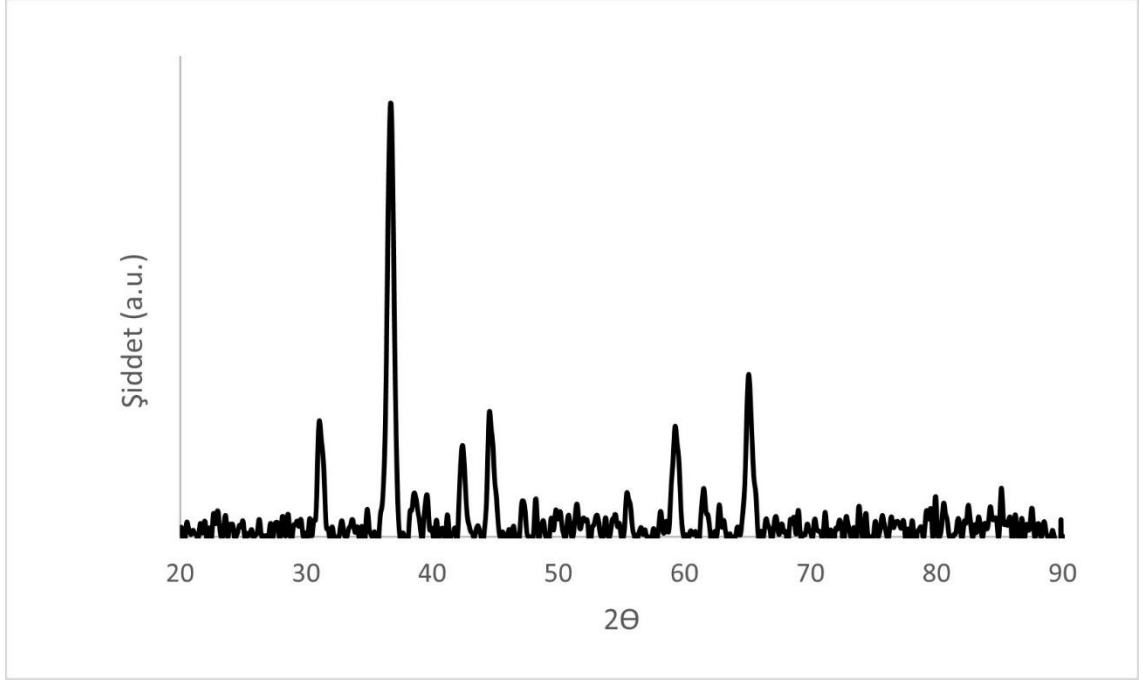
EDX analizi ile elementel dağılım sonuçları elde edilmiştir. FT-IR analizleri Perkin Elmer Spectra 100 cihazında yapılmıştır. Malvern Zetasizer 2000 zeta potansiyeli ölçüm cihazında nano boyut partikül dağılımı gösterilmiştir.

5. DENEY SONUÇLARI

Şekil 5.1’de CoO nanopartikül üretimi için kullandığımız Kobalt (II) nitrat $[\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ tuzunun XRD spektrumu verilmiştir. Şekil 5.2’de ise sentez sonucu elde ettiğimiz CoO nanopartiküllerin XRD spektrumu görünmektedir.

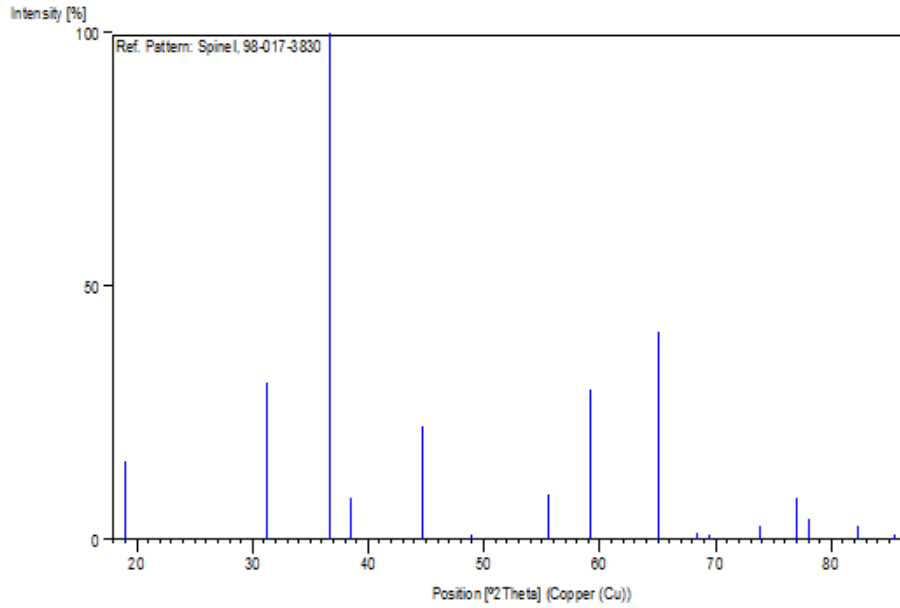


Şekil 5. 1. Kobalt (II) nitrat $[\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ tuzunun XRD spektrumu.



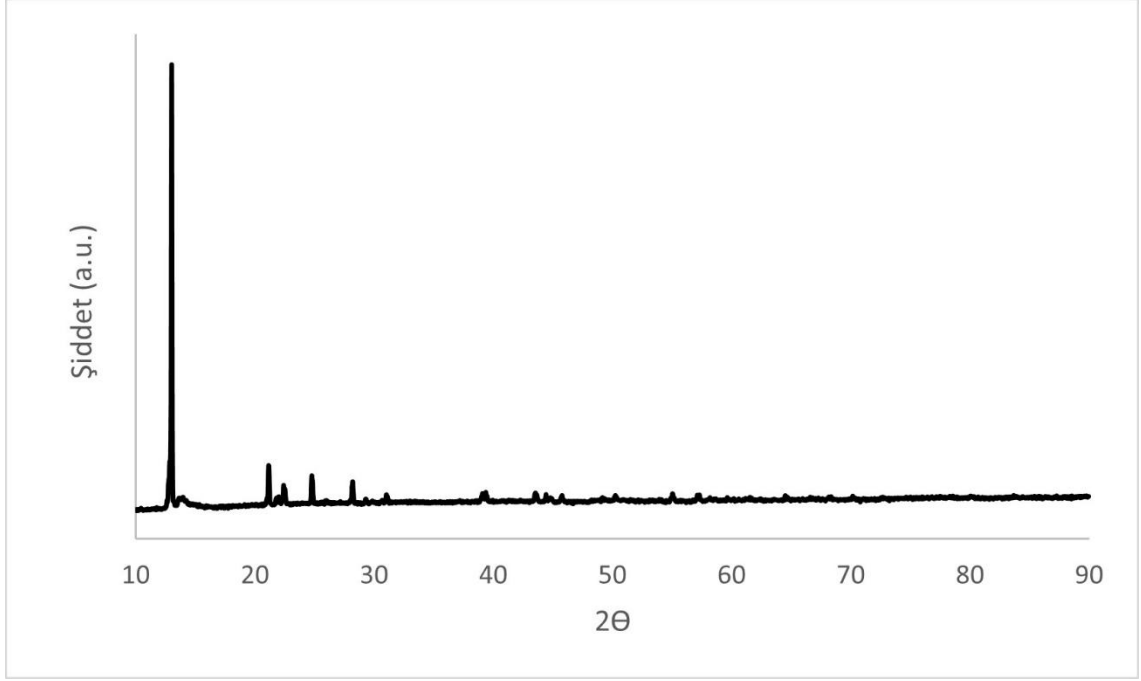
Şekil 5. 2. Sentez sonucu elde edilen CoO nanopartiküllerin XRD spektrumu.

Spektrumlardan görüldüğü gibi Kobalt (II) nitrat [$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$] tuzu kullanılarak başlatılan sentez sonucunda saf CoO nanopartikül elde edilmiştir. CoO nanopartiküllerin spektrumunda yer alan tüm piklerin, Şekil 5.3’de verilen 98-017-3830 referans numaralı kübik yapıda CoO yapısının ASTM kartı ile birebir uyumlu olduğu görülmektedir.

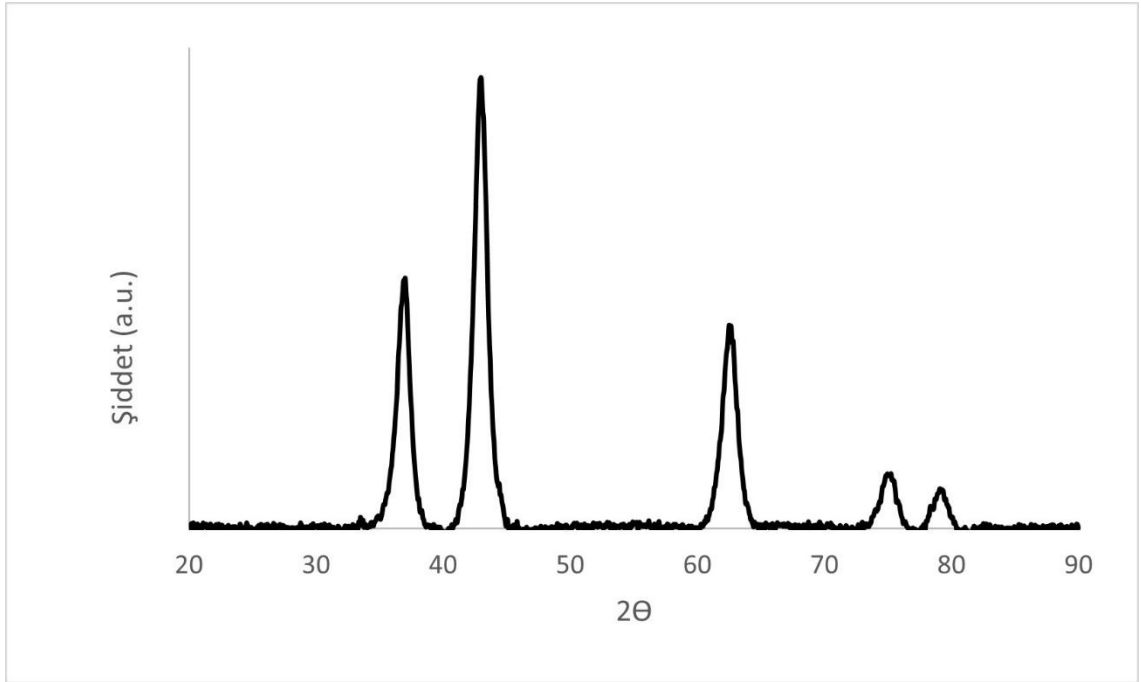


Şekil 5. 3. 98-017-3830 referans numaralı kübik yapıda CoO yapısı.

Şekil 5.4’de NiO nanopartikül üretimi için kullandığımız Nikel (II) nitrat $[\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ tuzunun XRD spektrumu verilmiştir. Şekil 5.5’de ise sentez sonucu elde ettiğimiz NiO nanopartiküllerin XRD spektrumu görünmektedir.

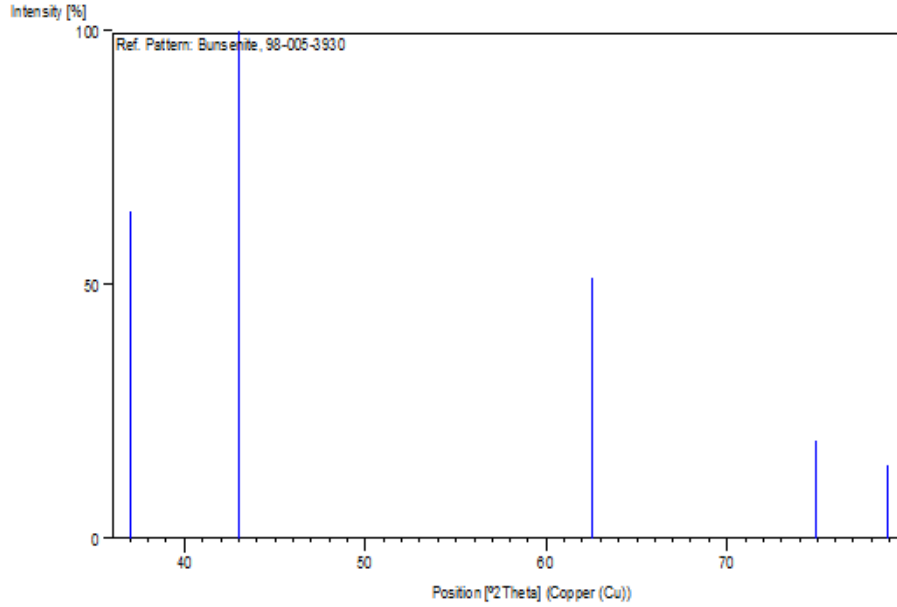


Şekil 5. 4. Nikel (II) nitrat $[\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ tuzunun XRD spektrumu.



Şekil 5. 5. Sentez sonucu elde edilen NiO nanopartiküllerin XRD spektrumu.

Spektrumlarından görüldüğü gibi Nikel (II) nitrat $[\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ tuzu kullanılarak başlatılan sentez sonucunda saf NiO nanopartikül elde edilmiştir. NiO nanopartiküllerin spektrumunda yer alan tüm piklerin, Şekil 5.6’da verilen 98-005-3930 referans numaralı kübik yapıda NiO yapısının ASTM kartı ile birebir uyumlu olduğu görülmektedir.



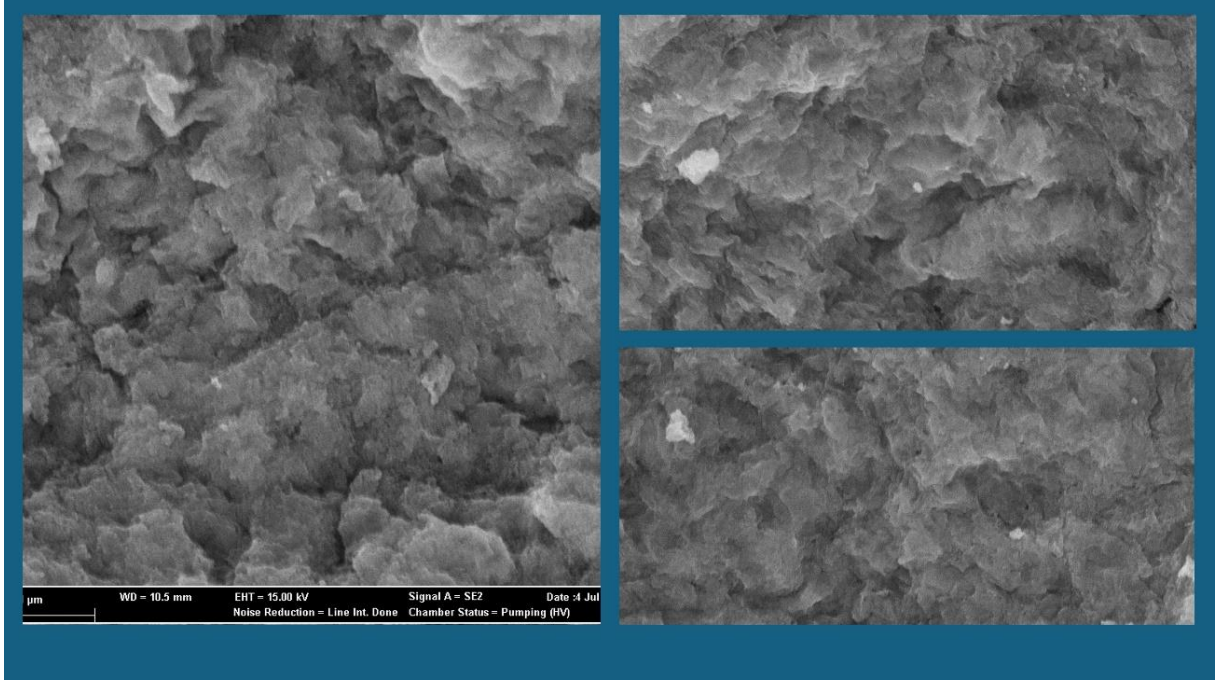
Şekil 5. 6. 98-005-3930 referans numaralı kübik yapıda CoO yapısı.

Tablo 5. 1. Ortalama tane boyutu değerleri

Yapı	Ortalama Tane Boyutu (nm)
CoO	436
NiO	261

Tablo 5.1’de ise XRD spektrumundan alınan veriler ile Debye-Scherrer Formülü kullanılarak hesaplanan ortalama tane boyutu değerleri verilmiştir. Tablodan görüleceği gibi hem CoO hem de NiO partiküller nano yapıdadır. Yapısal analiz sonuçlarına göre CoO ve NiO nanopartikül üretiminin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği görülmektedir.

Şekil 5.7’de CoO’e ait 15 kX büyütme FESEM görüntüsü verilmiştir. Tablo 5.2’de ise CoO EDX sonuçları listelenmiştir.



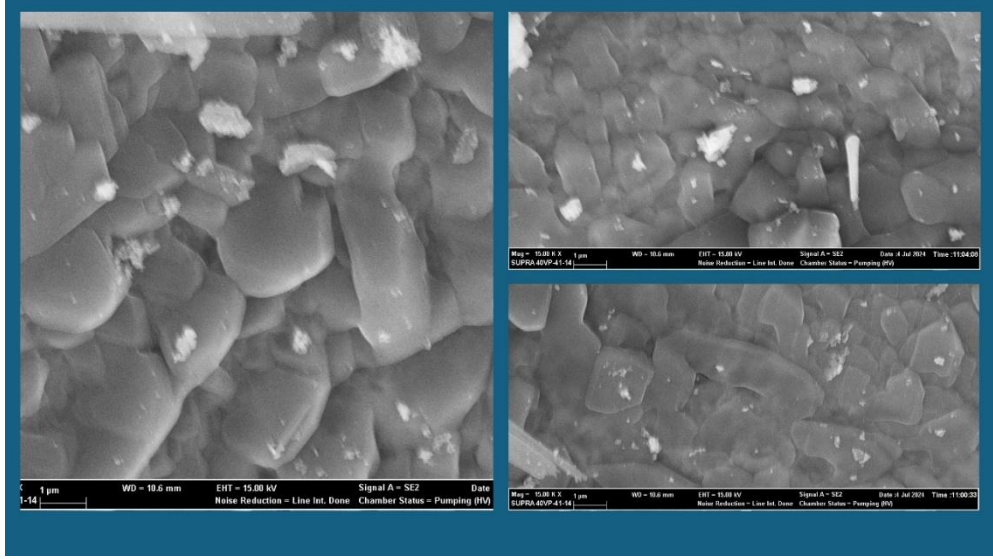
Şekil 5. 7. CoO’e ait FESEM görüntüsü.

Tablo 5. 2. CoO EDX sonuçları.

Element	Atomik Yüzde (at.%)
Co	57,07
O	42.93

FESEM görüntülerinden görüleceği gibi elde edilen CoO homojen yapıdadır. EDX sonuçları da yapıda herhangi bir safsızlık olmadığını teyit etmiştir. Görüntülerden hesaplanan ortalama tane boyutu değerleri de XRD sonuçlarını desteklemektedir. Sentez sonucu saf ve homojen yapıda CoO nanopartikül yapısı elde edilmiştir.

Şekil 5.8’de NiO’e ait 15 kX büyütme FESEM görüntüsü verilmiştir. Tablo 5.3’de ise NiO EDX sonuçları listelenmiştir.

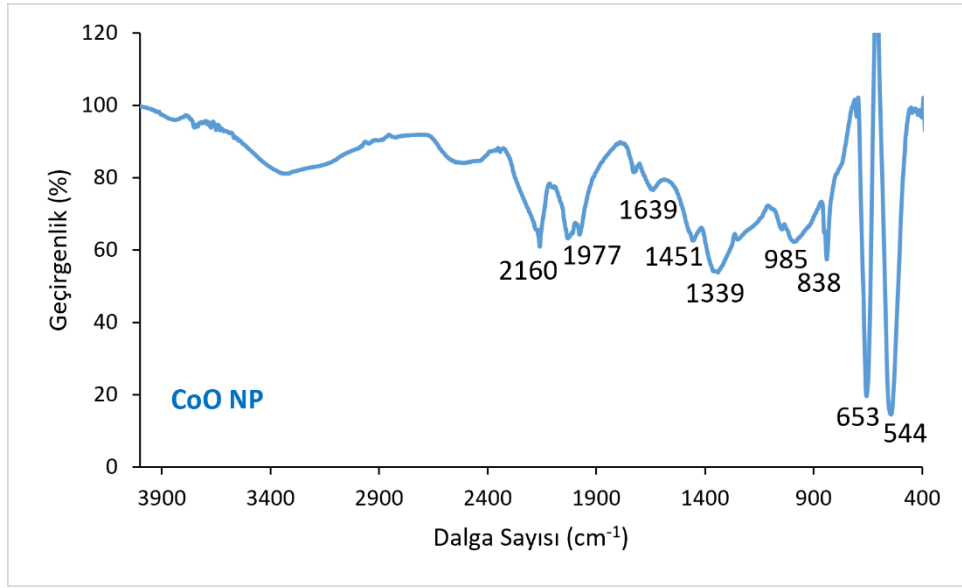


Şekil 5. 8. NiO’e ait FESEM görüntüsü.

Tablo 5. 3. NiO EDX sonuçları.

Element	Atomik Yüzde (at.%)
Ni	51,81
O	48.19

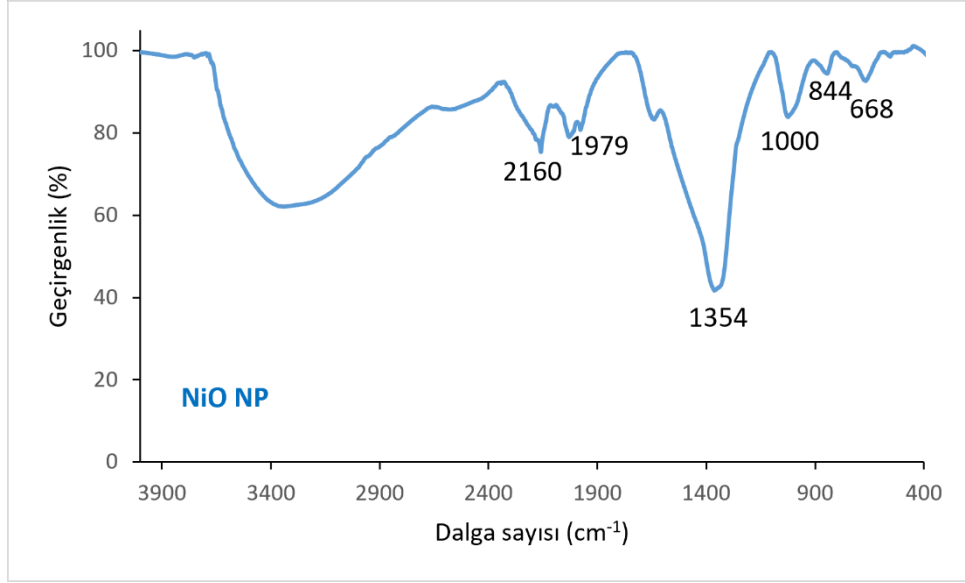
FESEM görüntülerinden görüleceği gibi elde edilen NiO homojen yapıdadır. EDX sonuçları da yapıda herhangi bir safsızlık olmadığını teyit etmiştir. Görüntülerden hesaplanan ortalama tane boyutu değerleri de XRD sonuçlarını desteklemektedir. Sentez sonucu saf ve homojen yapıda NiO nanopartikül yapısı elde edilmiştir.



Şekil 5. 9. CoO nano partiküllere ait FTIR spektrumu.

CoO NP'lerin FT-IR spektrumu Şekil 5.9'da gösterilmiştir. CoO NP'lerin FT-IR pikleri 544 cm^{-1} ve 653 cm^{-1} Co-O gerilme titreşimlerinde (Okla ve ark., 2022). Yaklaşık 3400 cm^{-1} 'deki pikler nem içeriğinin O-H titreşimlerine karşılık gelmektedir (Cheng ve ark., 2021). 1977 cm^{-1} ve 2160 cm^{-1} 'deki pik C-H bükülme titreşimine atfedilir (Zhou ve ark., 2022).

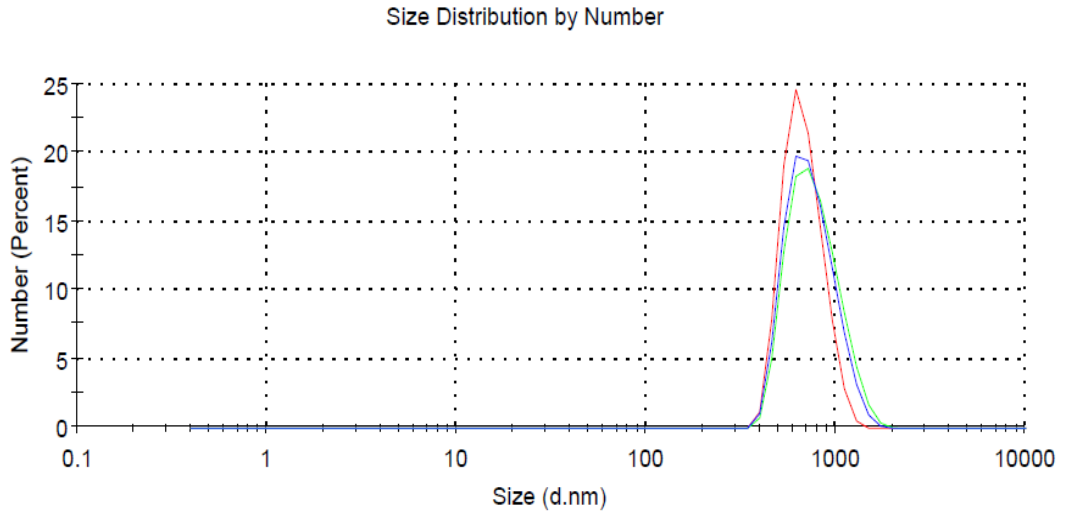
Literatürde 653 cm^{-1} piki Co-O'ya karşılık gelmektedir (Rafeeq ve ark., 2021). 1339 cm^{-1} , 1452 cm^{-1} ve 1639 cm^{-1} 'deki pikler, adsorbe edilen suyun OH'sinin H-OH gerilme ve bükülme titreşimlerine atfedilir. 3000'den 3600 cm^{-1} 'ye kadar olan geniş pik OH grubunu ve interstisyel su molekülünü temsil etmektedir (Manzoor ve ark., 2024; Amusa ve ark., 2020).



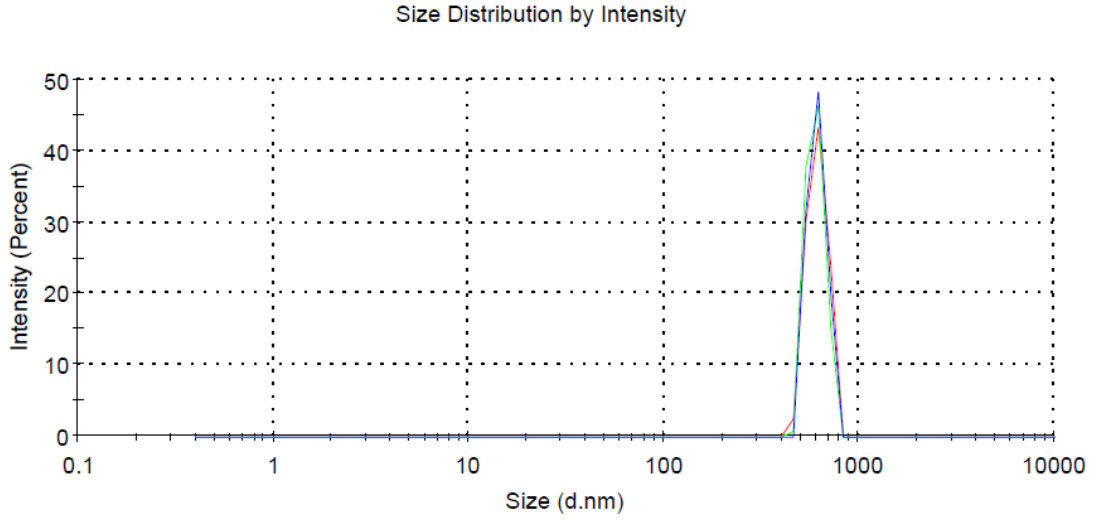
Şekil 5. 10. NiO nano partiküllere ait FTIR spektrumu.

NiO NP'lerinin bağ yapılarını değerlendirmek için FTIR analizi yapılmıştır. FTIR spektrumları, Şekil 5.10'da gösterildiği gibi ayırt edici absorpsiyon piklerini ortaya çıkarmıştır. 668 cm^{-1} 'deki absorpsiyon bandı, NiO'nun nanopartikül yapısını destekleyen Ni-O germe titreşim modunu işaret etmektedir (Ariaeenejad ve ark., 2024; Ahmad ve ark., 2024). O-H germe titreşimlerine karşılık gelen 3427 cm^{-1} 'de geniş bir absorpsiyon piki ve H-O-H bükülme titreşimleriyle ilgili 1570 cm^{-1} 'de belirgin bir pikin varlığı görülmektedir. Bu pikler ortamdaki nem emilimine atfedilebilir. Ayrıca, öncüldeki hidroksil gruplarının varlığı bu bantlardan ve C=O germe titreşimlerine atfedilebilecek 844 cm^{-1} ve 1000 cm^{-1} 'deki belirgin bir absorpsiyondan elde edilmiştir (Ariaeenejad ve ark., 2024; Ahmad ve ark., 2024). 1354 cm^{-1} spektrumundaki absorpsiyon desenleri O-C=O germe titreşimleri ve C-O gerilmesinden kaynaklanmaktadır.

Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de sırasıyla CoO ve NiO'ye ait Zetasizer cihazından alınan nano partikül boyut dağılımı grafikleri gösterilmiştir. Tablo 5.4'de ise metal oksitlerin ortalama boyut dağılım değerleri verilmiştir. Bu değerler elde edilen metal oksitlerin nano partiküllerden oluştuğunu ispatlamıştır.



Şekil 5. 11. CoO'e ait Zetasizer nano partikül boyut dağılımı.



Şekil 5. 12. NiO'e ait Zetasizer nano partikül boyut dağılımı

Tablo 5. 4. Metal oksitlerin nano boyut dağılımı değerleri.

Metal Oksit	Partikül Boyut (nm)
CoO	648
NiO	503

6. SONUÇ, TARTIŞMA ve ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında CoO ve NiO nanopartiküller sulu ortamda indirgenerek birlikte çökeltilme yöntemiyle sentezlenmiştir. Bu yöntem ile farklı sıcaklık, ağırlık, reaksiyon süresi ve ilaveten konsantrasyon miktarı parametreleri her iki metal oksit numunesi için optimize edilmiştir. Yapılan çalışmalarda, gözleme dayalı olarak en iyi parametreler seçilmiş ve karakterizasyonlar gerçekleştirilmiştir. Birlikte çökelme yöntemi ile indirgenerek elde edilen CoO ve NiO nanopartikülleri eşit reaksiyon şartlarında sabit tutulmuştur. Yapısal ve yüzey karakterizasyonları eşit koşullarda kıyaslanmıştır. Elde edilen nanopartiküllerin yapısal ve yüzeysel özellikleri incelenmiş ve başarılı bir sentez olup olmadığı araştırılmıştır. Kobalt (II) nitrat [Co(NO₃)₂·6H₂O] tuzu kullanılarak başlatılan sentez sonucunda saf CoO nanopartikül ve Nikel (II) nitrat [Ni(NO₃)₂·6H₂O] tuzu kullanılarak başlatılan sentez sonucunda saf NiO nanopartikül elde edilmiştir. CoO nanopartiküllerin spektrumunda yer alan tüm piklerin, kübik yapıda CoO yapısının, NiO nanopartiküllerin spektrumunda yer alan tüm piklerin, kübik yapıda NiO yapısının ASTM kartı ile birebir uyumlu olduğu görülmektedir. XRD spektrumundan alınan veriler ile Debye-Scherrer Formülü kullanılarak hesaplanan ortalama tane boyutu değerleri hem CoO hem de NiO partiküller nano yapıda olduğunu göstermiştir. Yapısal analiz sonuçlarına göre CoO ve NiO nanopartikül üretiminin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği görülmektedir. FESEM görüntülerinden görüleceği gibi elde edilen CoO ve NiO homojen yapıdadır. EDX sonuçları da bu yapılarda herhangi bir safsızlık olmadığını teyit etmiştir. Görüntülerden hesaplanan ortalama tane boyutu değerleri de XRD sonuçlarını desteklemektedir. Yüzeysel analiz bulguları da sentez sonucu saf ve homojen yapıda CoO ve NiO nanopartikül yapılarının elde edildiğini göstermiştir. FT-IR analiz spektrumları incelendiğinde CoO NP'lerin FT-IR pikleri 544 cm⁻¹ ve 653 cm⁻¹ Co-O gerilme titreşimlerinde yer almaktadır. NiO NP'lerin FT-IR spektrumunda yer alan 668 cm⁻¹'deki absorpsiyon bandı, NiO'nun nanopartikül yapısını destekleyen Ni-O germe titreşim modunu işaret etmektedir. FT-IR analiz sonuçları da başarılı bir sentez gerçekleştirdiğimizi ortaya koymaktadır. Zetasizer cihazından alınan nano partikül boyut dağılımı değerleri de elde edilen metal oksitlerin nano partiküllerden oluştuğunu ispatlamıştır.

Tez çalışması devamında yapılacak çalışmalarda, elde edilen nanopartiküllerin ikili ve Grafen katkılanarak üçlü sentezleri de gerçekleştirilecektir. Bu ikili ve üçlü elde edilecek örnekler, yüksek yüksek sıcaklıkta ($\approx 1200^{\circ}\text{C}$) sinterleme yöntemiyle, inert atmosferde ısıtılarak

işleme tabi tutularak XPS ve TEM analizleri gerçekleştirilecek ve uygulama alanları incelenecektir.

KAYNAKÇA

- Ahamed, A., Liang, L., Lee, M. Y., Bobacka, J., & Lisak, G.** (2021). Too small to matter? Physicochemical transformation and toxicity of engineered nTiO₂, nSiO₂, nZnO, carbon nanotubes, and nAg. *Journal of Hazardous Materials*, 404, 124107.
- Alonso, F., Riente, P., & Yus, M.** (2011). Nickel nanoparticles in hydrogen transfer reductions: Characterization and nature of the catalyst. *Applied Catalysis*, 379-391.
- Ati, A. A., Othaman, Z., & Samavati, A.** (2013). Influence of cobalt on structural and magnetic properties of nickel ferrite nanoparticles. *Journal of Molecular Structure*, 177-182.
- Aytaç, A., & Malayoğlu, U.** (2018). Fiziksel buhar biriktirme yöntemlerinden PVD ve JVD/DVD ince film kaplamaların karşılaştırılması ve DVD kaplama teknolojisinin endüstriyel uygulamaları üzerine kavramsal, akademik ve teorik bir analiz. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 17(1), 131-164.
- Baranowska-Wójcik, E., Szwajgier, D., Oleszczuk, P., & Winiarska-Mieczan, A.** (2020). Effects of titanium dioxide nanoparticles exposure on human health—a review. *Biological trace element research*, 193, 118-129.
- Bhateria, R.** (2019). A Review on Nanotechnological Application of Magnetic Iron Oxides For Heavy Metal Removal. *Journal of Water Process Engineering*, 31: 100-845.
- Brinker, C. J., & Scherer, G. W.** (1990). Sol-Gel Science: The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing. *Academic Press*.
- Chavali, M. S., & Nikolova, M. P. (2019). Metal oxide nanoparticles and their applications in nanotechnology. *SN applied sciences*, 1(6), 607.
- Chaturvedi S., Dave P.N.** (2012). Nano-metal oxide: potential catalyst on thermal decomposition of ammonium perchlorate, *J. Exp. Nanosci.* 7, 205–231.
- Ekmekçi, S., & Yurtcan, M. T.** (2020). Darbeli Lazer Biriktirme (PLD) ile Ti-6Al-4V Üzerine Hidroksiapatitin (HAp) İnce Filmlerinin Hazırlanması. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9(1), 598-605.
- Gattinoni, C., & Michaelides, A.** (2015). Atomistic details of oxide surfaces and surface oxidation: the example of copper and its oxides. *Surface Science Reports*, 70(3), 424-447.
- Goel, R., Jha, R., & Ravikant, C.** (2020). Investigating the structural, electrochemical, and optical properties of p-type spherical nickel oxide (NiO) nanoparticles. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 144, 109488.
- Gündoğdu, M.** (2016). Demir Oksit Nanopartiküller ile Metal İyonlarının Sulardan Uzaklaştırılması, Önderleştirilmesi ve Tayini. Hacettepe Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Ankara, 191s.

Hua, M., Zhang, S., Pan, B., Zhang, W., Lv, L., Zhang, Q. (2012). Heavy metal removal from water/wastewater by nanosized metal oxides: a review. *J. Hazard Mater.* 211 (212), 317–331.

Karaduman, E. (2017). Kobalt-nikel nanopartiküllerinin ve karbon içerikli nanokompozitlerinin sentezi ve incelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomühendislik Ana Bilim Dalı*, Yüksek Lisans Tezi.

Kaur, M., Muthe, K. P., Despande, S. K., Choudhury, S., Singh, J. B., Verma, N., ... & Yakhmi, J. V. (2006). Growth and branching of CuO nanowires by thermal oxidation of copper. *Journal of Crystal Growth*, 289(2), 670-675.

Khan I., Saeed K., Khan I. (2022). Nanoparticles: properties, applications and toxicities, *Arab, J. Chem.* 12, 908–931.

Kumar A.K, Yeshwanth M., Kumar K.B., Panwar J., Gupta S. (2022). Functionalized Cu-based metal oxide nanoparticles with enhanced Cd²⁺ adsorption capacity and their ecotoxicity assessment by molecular docking, *Journal of Environmental Management*, 307, 114523.

Lee, J., et al. (2022). *Advanced Materials Research*, 34(2), 210-225.

Maheshwari, U., Gupta, S. (2016). Performance evaluation of activated neem bark for the removal of Zn(II) and Cu(II) along with other metal ions from aqueous solution and synthetic pulp & paper industry effluent using fixed-bed reactor. *Process Saf. Environ. Protect.* 102, 547–557.

Manjunath, A., Irfan, M., Anushree, K. P., Vinutha, K. M., & Yamunarani, N. (2016). Synthesis and Characterization of CuO Nanoparticles and CuO Doped PVA Nanocomposites. *Advances in Materials Physics and Chemistry*, 06(10).

Pal, D. (2020). Synthesis of metal oxide nanoparticles-A general overview. *Indian J.* (59), 1513–1528.

Pietrzak K., Krstulovic N., Blazeka D., Car J., Malinowski S., Wardak C. (2022). Metal oxide nanoparticles as solid contact in ion-selective electrodes sensitive to potassium ions, *Talanta* 243, 123335.

Pradhan, S.K., Panwar, J., Gupta, S. (2017). Enhanced heavy metal removal using silveryttrium oxide nanocomposites as novel adsorbent system. *J. Environ. Chem. Eng.* 5, 5801–5814.

Rodriguez-Garraus, A., Azqueta, A., Vettorazzi, A., & Lopez de Cerain, A. (2020). Genotoxicity of silver nanoparticles. *Nanomaterials*, 10(2), 251.

Qamar M.A., Javed M., Shahid S. (2022), Designing and investigation of enhanced photocatalytic and antibacterial properties of 3d (Fe, Co, Ni, Mn and Cr) metal-doped zinc oxide nanoparticles, *Optical Materials*, 126, 112211.

Qumar U., Hassan J.Z., Bhatti R. A., Raza A., Nazir G., Nabgan W., Ikram M. (2022). *Journal of Materials Science & Technology* 131, 122–166.

Sahay, R., Sundaramurthy, J., Kumar, P. S., Thavasi, V., Mhaisalkar, S. G., & Ramakrishna, S. (2012). Synthesis and characterization of CuO nanofibers, and investigation for its suitability as blocking layer in ZnO NPs based dye sensitized solar cell and as photocatalyst in organic dye degradation. *Journal of Solid State Chemistry*, 186, 261-267.

Saleem S., Jameel M.H., Akhtar N., Nazir N., Ali A., Zaman A., Rehman A., Butt S., Sultana F., Mushtaq M., Zeng J.H., Amami M., Althubeiti K. (2022). Modification in structural, optical, morphological, and electrical properties of zinc oxide (ZnO) nanoparticles (NPs) by metal (Ni, Co) dopants for electronic device applications, *Arabian Journal of Chemistry*, 15, 103518.

Sandhiran N., Ganapathy S., Manoharan Y., Ganguly D., Kumar M., Ramanujam K., Balachandran S. (2022), CuO–NiO binary transition metal oxide nanoparticle anchored on rGO nanosheets as high-performance electrocatalyst for the oxygen reduction reaction, *Environmental Research* 211,112992.

Sethuraman, R. G., Venkatachalam, T., & Kirupha, S. D. (2018). Fabrication and characterization of Zn doped CuO nanofiber using newly designed nanofiber generator for the photodegradation of methylene blue from textile effluent. *Materials Science-Poland*, 36(3), 520-529.

Tanwar S., Kaur R. (2022), Fabrication and investigation on influence of metal oxide nanoparticles on thermal, flammability and UV characteristics of polyethylene glycol based phase change materials, *Journal of Energy Storage* 54,105318

Thakur, S., Rai, R., And Sharma, S. (2015), Structural Characterization and Magnetic Study of NiFe_xO₄ Synthesized by Co-Precipitation Method. *Materials Letters*, 139: 368–72.

Tiwari E., Singh N., Khandelwal N., Ganie Z.A., Choudhary A., Monikh F.A., Darbha G.K. (2022). Impact of nanoplastic debris on the stability and transport of metal oxide nanoparticles: role of varying soil solution chemistry, *Chemosphere* 308, 136091.

Tran, Q.H., Nguyen, V.Q., Le, A.-T. (2018). Corrigendum: silver nanoparticles: synthesis, properties, toxicology, applications and perspectives. *Adv. Nat. Sci. Nanosci. Nanotechnol.* 9, 049501.

Tuncsoy, B. (2020). Bakır oksit nanopartiküllerinin *Galleria mellonella* larvaları üzerine immün ve metabolik etkileri. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 10(1), 53-60.

Toygun, Ş., Köneçoğlu, G., Kalpaklı, Y. (2013). General principles of sol – gel, *Journal of Engineering and Natural Sciences Sigma* 31 456-476.

Uyanıkgil, E. Ö. Ç., & Salmanoğlu, D. (2020). Metalik nanopartiküllerin hedeflendirilmesi. *Ege Tıp Dergisi*, 59(1), 71-81.

Vance, M. E., Kuiken, T., Vejerano, E. P., McGinnis, S. P., Hochella Jr, M. F., Rejeski, D., & Hull, M. S. (2015). Nanotechnology in the real world: Redeveloping the nanomaterial consumer products inventory. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 6(1), 1769-1780.

Vara J.A., Dave P.N. (2019). Metal oxide nanoparticles as catalyst for thermal behavior of AN based composite solid propellant, *Chemical Physics Letters* 730, 600–607.

Wang, S. Q., Zhang, J. Y., & Chen, C. H. (2007). Dandelion-like hollow microspheres of CuO as anode material for lithium-ion batteries. *Scripta Materialia*, 57(4), 337-340.

Wang, F., Gao, F., Lan, M., Yuan, H., Huang, Y., & Liu, J. (2009). Oxidative stress contributes to silica nanoparticle-induced cytotoxicity in human embryonic kidney cells. *Toxicology In Vitro*, 23(5), 808-815.

Warheit, D. B. (2018). Hazard and risk assessment strategies for nanoparticle exposures: how far have we come in the past 10 years? *F1000Research*, 7.

WU, W., HE, Q., and JIANG, C. (2008). Magnetic Iron Oxide Nanoparticles: Synthesis and Surface Functionalization Strategies. *Nanoscale Research Letters*, 3 (11): 397–415.

Xu, M., Wang, F., Zhao, M., Yang, S., Sun, Z., & Song, X. (2011). Synthesis of copper oxide nanostructures via a composite-Hydroxide-mediated approach: Morphology control and the electrochemical performances as anode material for lithium ion batteries. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 44(2), 506-510.

Zou, C. W., Wang, H. J., Li, M., Yu, Y. F., Liu, C. S., Guo, L. P., & Fu, D. J. (2010). Characterization and properties of TiN-containing amorphous Ti-Si-N nanocomposite coatings prepared by arc assisted middle frequency magnetron sputtering. *Vacuum* 84(6): 817–822.

Yin, I. X., Zhang, J., Zhao, I. S., Mei, M. L., Li, Q., & Chu, C. H. (2020). The antibacterial mechanism of silver nanoparticles and its application in dentistry. *International journal of nanomedicine*, 2555-2562.

Yoon, K. H., Choi, W. J., & Kang, D. H. (2000). Photoelectrochemical properties of copper oxide thin films coated on an n-Si substrate. *Thin solid films*, 372(1-2), 250-256.