

T.C.  
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇUBUK FORMUNDAKİ ZnO FİLMLEİN SENTEZİ VE  
KARAKTERİZASYONU: Na, K, Ca İYON KATKISININ  
ETKİSİ

Hatice Kübra BÖLÜKBAŞI ÇIPLAK

Danışman

Prof. Dr. Ali Ercan EKİNCİ

FİZİK  
ANABİLİM DALI

ERZİNCAN

2019

Her Hakkı Saklıdır.

## Kabul ve Onay Sayfası

Prof. Dr. Ali Ercan EKİNCİ danışmanlığında, Hatice Kübra BÖLÜKBAŞI ÇIPLAK tarafından hazırlanan bu çalışma 19/11/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Ali Ercan EKİNCİ

İmza:

Üye : Doç. Dr. Demet İSKENDEROĞLU

İmza:

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Sibel MORKOÇ  
KARADENİZ

İmza:

Yukarıdaki sonuç Enstitü Yönetim Kurulunun 22 / 11 / 2019 tarih ve 48 / 5 ..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

  
**Prof. Dr. Mustafa Fatih ERTUGAY**  
Enstitü Müdürü

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, şekil ve tabloların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

### Bilimsel Etięe Uygunluk Sayfası

“ÇUBUK FORMUNDAKİ ZnO FİMLERİN SENTEZİ VE KARAKTERİZASYONU: Na, K, Ca İYON KATKISININ ETKİSİ” isimli “Yüksek Lisans” tezim tarafımda intihal tespit programı ile incelenmiştir. Buna göre tezimde bilimsel etik ihlali ve intihal olarak nitelendirilebilecek herhangi bir durum olmadığını taahhüt ederim.

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir biçimde elde edildiğini; aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi beyan ederim. 19/11/2019

**Hatice Kübra BÖLÜKBAŞI ÇIPLAK**



## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ÇUBUK FORMUNDAKİ ZnO FİMLERİN SENTEZİ VE KARAKTERİZASYONU: Na, K, Ca İYON KATKISININ ETKİSİ

Hatice Kübra BÖLÜKBAŞI ÇIPLAK

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali Ercan EKİNCİ

Bu tez çalışmasında; Çinko Oksit (ZnO) yapılar kolay ve hızlı bir sentezleme tekniği olan Kimyasal Banyo Biriktirme (CBD) tekniği ile sentezlenmiş, Na, K, Ca katkısının yapı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. ZnO filmlerin XRD, SEM, XPS, UV-Vis analiz sonuçları ile kristal yapısı, morfolojisi, elemental bileşimi, optik özellikleri ortaya konulmuştur. Ayrıca ZnO yapıların hidrofobik-hidrofilik doğası ile fotokatalitik özellikleri araştırılmıştır. Sonuçlara göre, çinko iyonunun, iyonik çapına yakın değere sahip olan sodyum iyonu başarılı bir şekilde yapıya katkılanmıştır. Ayrıca, sodyum katkısı ile yapının enerji bant aralığı kayda değer miktarda artmıştır. Potasyum iyonu katkısı ise K<sub>2</sub>O oluşumuna sebep olmuştur. Bununla birlikte, kullanılan teknik ile kalsiyum iyonunun yapıya katkılanmadığı görülmüştür.

**2019, 49 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Kimyasal Banyo Biriktirme Tekniği, Kalsiyum Katkısı, Potasyum Katkısı, Sodyum Katkısı, ZnO çubuklar

## ABSTRACT

Master Thesis

### **SYNTHESIS and CHARACTERIZATION of ZnO FILMS in ROD-FORM: THE EFFECT of Na, K, Ca ION DOPING**

Hatice Kübra BÖLÜKBAŞI ÇIPLAK

Erzincan Binali Yıldırım University  
Institute of Natural and Applied Sciences  
Department of Physics

Supervisor: Prof. Dr. Ali Ercan EKİNCİ

In this thesis; Zinc Oxide (ZnO) structures were synthesized by Chemical Bath Deposition (CBD) technique. It is an easy and fast synthesis technique. The effect of Na, K, Ca doping on the ZnO structure was investigated. The crystal structure, morphology, elemental composition and optical properties of ZnO films were determined by XRD, SEM, XPS, UV-Vis analyses. In addition, hydrophobic-hydrophilic nature and photocatalytic properties of the ZnO structures were investigated. According to the results, the sodium ion which has a close value to the ionic diameter of the zinc ion was successfully doped to the structure. In addition, the energy bandgap of the structure increased significantly with doping of the sodium. The addition of potassium ion resulted in the formation of  $K_2O$ . However, with the technique used, calcium could not be doped in the structure.

**2019, 49 pages**

**Key Words:** Chemical Bath Deposition Technique, Calcium doping, Potassium doping, Sodium doping, ZnO rods

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmaları boyunca değerli bilgilerini benimle paylaşan kıymetli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ali Ercan EKİNCİ'ye teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında büyük desteğini gördüğüm deneylerim ve ölçümlerim sırasında benden yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Sibel MORKOÇ KARADENİZ 'e teşekkür ederim.

Aynı labaratuarda çalışmaktan keyif aldığım çalışma arkadaşlarım Yaşar ERDOĞAN, Çiğdem EDEN ve Merve TURAN'a her türlü yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili Gülay KAĞAN ve eşi Ömer Faruk KAĞAN'a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca hedeflerime ulaşmam kosununda bana sonsuz destek sağlayan değerli anneme babama ve aileme, teşekkür ederim.

Hayatın tüm olumsuzluklarına rağmen her daim benim yanımda olan sevgili eşime Ali ÇIPLAK'a teşekkür ederim.

Hatice Kübra BÖLÜKBAŞI ÇIPLAK

Kasım, 2019

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>viii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KURAMSAL TEMELLER</b> .....	<b>3</b>
2.1. Nanoteknoloji .....	<b>3</b>
2.2. Nanobilim .....	<b>4</b>
2.3. Nanoparçacıklar ve Nanoyapılar .....	<b>5</b>
2.4. Metal Oksit Nanoyapılar.....	<b>6</b>
2.5. İnce Filmlerin Özellikleri .....	<b>7</b>
2.5.1. İnce film .....	<b>7</b>
2.6. İnce Film Büyütme Teknikleri .....	<b>8</b>
2.6.1. Kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemi .....	<b>8</b>
2.6.2. Fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi .....	<b>11</b>
2.6.3. Elektrokimyasal kaplama (ECD) yöntemi .....	<b>12</b>
2.6.4. Kimyasal banyo biriktirme (CBD) yöntemi .....	<b>13</b>
2.7. Fotokatalizör .....	<b>14</b>
2.8. Hidrofilik ve Hidrofobik Yüzeyler .....	<b>14</b>
2.9. ZnO'nun Yapısı ve Özellikleri .....	<b>15</b>
2.10. ZnO'nun Kristal Yapısı .....	<b>16</b>
2.11. ZnO' nun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	<b>18</b>
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	<b>20</b>
3.1. ZnO yapıların sentezi.....	<b>20</b>
3.2. ZnO Yapıların Karakterizasyonu.....	<b>23</b>
3.2.1. X-ışını kırınım (XRD) ölçümleri .....	<b>23</b>

3.2.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDS) analizleri .....	24
3.2.3. Ultraviyole –görünür spektrofotometre (Uv-vis) analizleri.....	25
3.2.4. Temas açısı ölçümleri .....	26
3.2.5. X ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) ölçümleri.....	27
3.2.6. Fotokatalitik ölçümler .....	28
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI .....</b>	<b>29</b>
4.1. ZnO yapıların Yapısal ve Morfolojik Özellikleri .....	<b>29</b>
4.2. ZnO Yapıların Optik ve Fotokatalitik Özellikleri .....	<b>37</b>
4.3. ZnO Yapıların Temas Açısı Ölçümleri.....	<b>41</b>
<b>5. SONUÇLAR.....</b>	<b>44</b>
KAYNAKLAR.....	45
EKLER .....	49
EK- 1. Tez Çalışması Süresince Yapılan Akademik Çalışmalar.....	<b>49</b>
ÖZGEÇMİŞ.....	50



## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2. 1. Nanomalzemelerle boyut karşılaştırması (Kartal, 2013) .....	3
Şekil 2. 2. Farklı yapıların boyutlarının gösterimi (Kartal, 2013) .....	4
Şekil 2. 3. Kimyasal buhar yoğunlaştırma yöntemi (Ebin, 2008).....	9
Şekil 2. 4. Kimyasal buhar biriktirme sistemi (Yuan vd., 2007) .....	10
Şekil 2. 5. PVD sistemi (Aytaç ve Malayoğlu, 2018).....	11
Şekil 2. 6. Standart ECD kaplama düzeneği (Taktakoğlu ve Kavak, 2016).....	12
Şekil 2. 7. CBD metodu (Sönmezoğlu, 2012).....	13
Şekil 2. 8. Tek kristal ZnO heksagonal kristal örgüsü (Sheppard, 2002) .....	16
Şekil 2. 9. ZnO'nun kristal yapısı (Özgür, 2005).....	17
Şekil 2. 10. ZnO'nun kristal yapısı (Kara, 2008).....	18
Şekil 3. 1. Bandelin sonorex marka ultrasonik banyo.....	20
Şekil 3. 2. Wise Stir model hassas terazive Nüve FN 400 marka (altlıkları kurutma ve sentezleme) .....	21
Şekil 3. 3. ZnO yapıları sentezleme şeması .....	22
Şekil 3. 4. ZnO yapıların tavlama için kullanılan Protherm marka kül fırın .....	23
Şekil 3. 5. EÜTAM bünyesindeki Panalytical Empyrean marka X-Işını Difraksiyon cihazı.....	24
Şekil 3. 6. EÜTAM bünyesindeki FEI Quanta FEG 450 model taramalı elektron mikroskopu .....	25
Şekil 3. 7. EÜTAM bünyesinde TETRA T80+ Model UV/Vis spektrofotometre .....	26
Şekil 3. 8. EÜTAM bünyesinde Attension marka temas açısı ölçüm cihazı .....	27
Şekil 3. 9. DAYTAM bünyesinde bulunan Specs Flex model XPS cihazı .....	27
Şekil 3. 10. EÜTAM bünyesinde bulunan LZC-4X marka yüksek yoğunluklu Uv-Vis lambası.....	28
Şekil 4. 1. ZnO yapıların XRD spektrumları .....	30
Şekil 4. 2. ZnO yapıların SEM görüntüleri .....	34
Şekil 4. 3. Katkısız ZnO yapıların EDS spektrumu .....	35
Şekil 4. 4. Na katkılı ZnO yapıların EDS spektrumu.....	35
Şekil 4. 5. K katkılı ZnO yapıların EDS spektrumu .....	35
Şekil 4. 6. ZnO yapıların XPS spektrumları .....	37
Şekil 4. 7. ZnO yapıların Soğurma spektrumları .....	39
Şekil 4. 8. ZnO yapıların ve $(\alpha h\nu)^2 - (h\nu)$ diyagramları .....	39
Şekil 4. 9. Rhodamine B'nin ZnO katalizör eşliğinde UV-A ışığı altında bozunma ve absorpsiyon şiddetindeki değişim grafiği .....	41
Şekil 4. 10. Katkısız ZnO yapıların temas açısı ölçümleri.....	42
Şekil 4. 11. Na katkılı ZnO yapıların temas açısı ölçümleri .....	42
Şekil 4. 12. K katkılı ZnO yapıların temas açısı ölçümleri.....	43

## TABLolar LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 3. 1. ZnO yapılar için çalışma koşulları.....	22
Tablo 4. 1. Katkısız ZnO yapıların XRD ile ölçülen parametreleri.....	31
Tablo 4. 2. Na katkılı ZnO yapıların XRD ile ölçülen parametreleri .....	32
Tablo 4. 3. K katkılı ZnO yapıların XRD ile ölçülen parametreleri .....	32
Tablo 4. 4. Katkısız ve Na, K katkılı ZnO yapıların hesaplanan örgü parametreleri ve kristal boyutu.....	33



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$\text{\AA}$	Angstrom
A	Amper
%	Yüzde
nm	Nanometre
Ca	Kalsiyum
M	Molar
mL	Mililitre
Na	Sodyum
K	Potasyum
$\text{KNO}_3$	Potasyum Nitrat
$\text{NaNO}_3$	Sodyum Nitrat
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	Kalsiyum Nitrat
ZnO	Çinko Oksit
eV	Elektron Volt
g/mol	Gram/mol

## Kısaltmalar

<i>CBD</i>	Kimyasal banyo biriktirme
<i>CVD</i>	Kimyasal buhar biriktirme
<i>EDS</i>	X-Işını spektrometrisi
<i>EDX</i>	X-Işını enerji dağılımı
<i>KNO<sub>3</sub></i>	Potasyum nitrat
<i>PVD</i>	Fiziksel buhar biriktirme
<i>PVD</i>	Fiziksel buhar biriktirme
<i>SEM</i>	Taramalı elektron mikroskobu
<i>Uv-vis</i>	Ultraviyole görünür spektrofotometresi
<i>XPS</i>	X Işını fotoelektron spektroskopisi
<i>XRD</i>	X-Işını kırınımı difraktometresi
<i>Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub></i>	Çinko nitrat
<i>ZnO</i>	Çinko oksit

## 1. GİRİŞ

Yarıiletken malzemelerin çok ufak hacimlerde olması, daha fazla işlevi yerine getiren küçük, çabuk, ucuz ve pasif olmayan elektronik devre elemanlarının yapımını basitleştirmesine sebep olur ve böylece ileri teknoloji daha yüksek seviyelere ulaşabilir. Bu sebeple nanoçubuklar, nanoteller gibi nanoyapılar cihaz uygulamaları için benzersiz elektronik, optoelektronik özellikleri ile daha çok dikkat çekici hale gelmiştir (Kara, 2008). Özellikle güneş pili, LED, fotorezistör, fotoalgılayıcı, fotodedektör, transistör gibi birçok katıhal cihazların imal edilmesi amacıyla nanoyapılar kullanılmaktadır (Akbaş, 2015). Teknolojide kullanılan yarıiletken ince filmlerin elde edilmesi için kullanılan teknikler ise genellikle fiziksel ve kimyasal teknikler olarak sınıflandırılır. Tekniklerin herbir alt tekniğinin değişik nitelikleri olup birinin getirdiği sınırlamalar diğerini kapsamaz. Bu sebeple cihaz imal edilmesinde arzu edilen özellikte olması için, imal edilen filmin uygun depolama tekniği ile sentezlenmesine dikkat edilmelidir. Biriktirme teknikleri göz önüne alındığında, üretilen filmlerin kararlılığı ve yeniden denenebilirliği homojen bir tabaka oluşturması çok önemlidir (Özcan, 2016). ZnO (Çinko Oksit), geniş bant aralığına sahip n-tipi bir yarıiletken olup, optoelektronik ve elektronik cihaz uygulamaları için nanokemerler, nanotüpler, nanoçubuklar gibi nano yapılar olarak sentezlenebilmektedir (Uzun, 2012).

Çağımızda pek çok depolama yöntemi ile ZnO yapılar üretilmektedir (Aytaç ve Malayoğlu, 2018). Sol-gel tekniği, püskürtme tekniği, CVD tekniği, solvo-hidrotermal teknik gibi sentezleme teknikleri ZnO sentezlemede kullanılan tekniklerden birkaçıdır (Gürmen ve Ebin, 2008). Bununla birlikte, literatürde bu yöntemlerin çoğunun uzun reaksiyon süresi, yüksek sıcaklık ve toksik maddeler gibi ağır koşullar içerdiği bildirilmiştir (Yaylacı, 2018).

Yöntemler arasında Kimyasal Banyo Biriktirme (CBD) tekniği, ZnO'nun sentezi için kullanılan basit, ekonomik ve etkili bir yöntemdir (Morkoç Karadeniz vd., 2016).

Bu yöntemle, belli sıcaklık ve pH değerindeki çözeltide kimyasal reaksiyon kontrol edilerek altlık üzerine ince film sentezlenebilmektedir (Sönmezoğlu, 2012). Nano boyutta yapıya madde katılama işlemi, ZnO nanoyapıların fiziksel özelliklerini geliştirmek ve değiştirmek için iyi bir yoldur. Literatürde, katkılamanın elektrik

iletkenliği, ışık geçirgenliği gibi ZnO'nun birçok özelliğini iyileştirdiği ve alkali grup metallerin de yapıya başarılı bir şekilde katkılıandığı bildirilmiştir (Yuan vd., 2007).

Bu çalışmada, herhangi bir çekirdek tabaka olmaksızın optik cam üzerine tek adımda ve hızlı bir şekilde CBD tekniği ile ZnO yapılar sentezlenmiş ve yapı üzerinde alkali metallere olan Na ve K ile toprak alkali metal olan Ca elementlerinin tek tek katkısının etkisi araştırılmıştır.

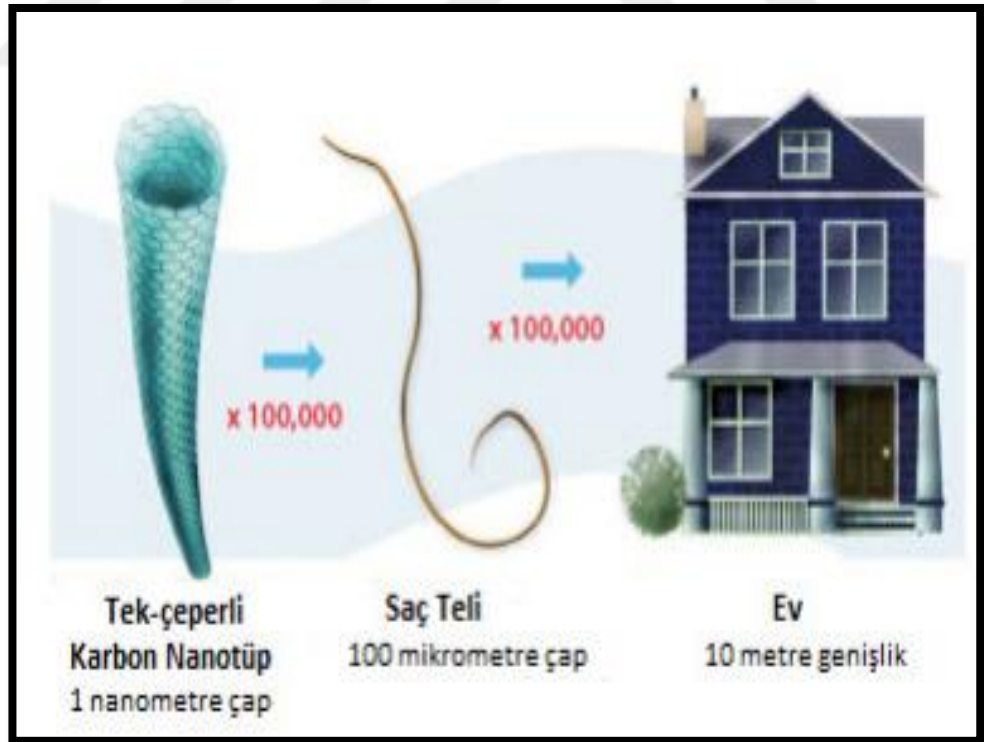


## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. Nanoteknoloji

Nanoteknolojinin meydana gelişi, geliştirilmesi, ilerlemesi ile beraber nanobilim ve nanoteknolojiye ait farklı bütün tanımlamalar neticesinde oluşan ortak bakış açısı; nanobilim ve nanoteknolojinin atomik ve moleküler düzeyde iş görür olduğu doğrultusundadır. Nanoteknoloji, yunanca cüce manasına gelen “Nano” ve “Teknologia” sözcüklerinden meydana gelmiştir. Fizikte “Nano” sözcüğü bir niceliğin milyarda biri anlamına gelir. 1 nm kavramı, beş ile altı atomun bir arada sıralanmasıyla meydana gelen yapıya karşılık olarak ifade edilebilir ve nanometre ölçeğindeki boyutlarla ilgili olan teknolojiye nanoteknoloji denir (Özer, 2008).

Parçacıkların büyüklüğü nano boyutlara doğru geriledikçe, maddenin yüzey alanında artış meydana gelmekte ve böylece yapı mükemmel elektronik, optik, termal, manyetik ve fotokatalitik özelliklere sahip olmaktadır (Levent, 2013).

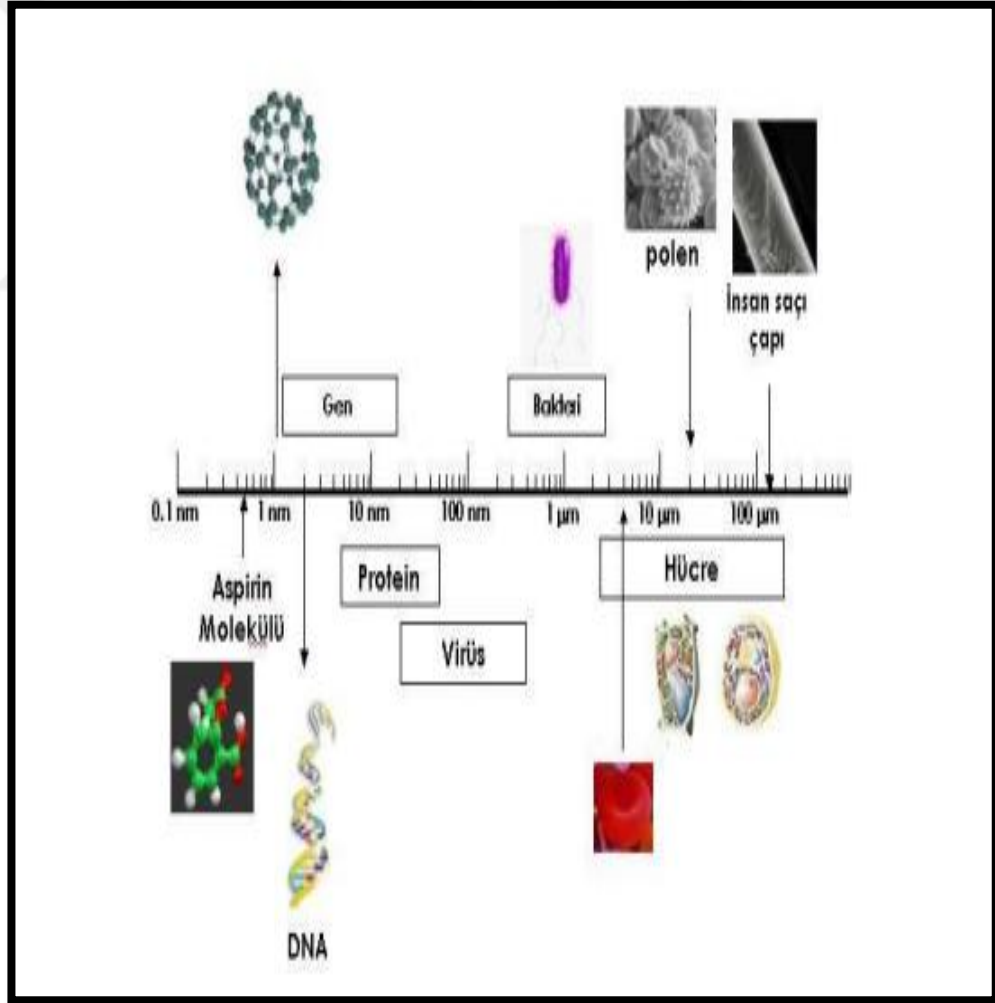


Şekil 2. 1. Nanomalzemelerle boyut karşılaştırması (Kartal, 2013)

Nanoteknoloji, maddeyi atomik ve moleküler mertebede inceleme olanağı verir ve bu noktada kapsamlı çalışmalar amaçlayan disiplinlerarası bir araştırma gerektirir. Nanoteknoloji, insanlığa arzu ettiği nitelikteki olağanüstü malzemeleri üretme imkânı sağlamıştır. Günümüzde endüstriyel ve bilimsel alanlarda yenilik yapan nanoteknoloji; ulaşım, iletişim, sanayi, uzay, sağlık ve benzeri pekçok dalda hızla yaşantımızda olmaya ve yön vermeye devam etmektedir (Özcan, 2016).

## 2.2. Nanobilim

Nanobilim, “Malzemelerin atomik, moleküler ve makromoleküler düzeyinde manipülasyonu ve fenomenleri ile ilgili yapılan araştırmalar ve faaliyetler” olarak tanımlanmaktadır (Tütünoğlu, 2013).



Şekil 2. 2. Farklı yapıların boyutlarının gösterimi (Kartal, 2013)



Nanomalzemeleri alışılmış malzemelerden farklı kılan en önemli özellik, tanecik yapılarının boyutu yani büyüklüğüdür. (Özcan, 2016).

Kullanım sahası kapsamlı olup manyetik depolama cihazları, elektronik bölümler, biyolojik seperasyon, demir manyetik sıvılar, ilaç taşınımı, güneş enerjisi transformasyonu, sensör yürütülmesinde yoğun bir biçimde rastlanılmaktadır (Bulun, 2010).

### **2.3. Nanoparçacıklar ve Nanoyapılar**

Üstün özellikleri ile nanomalzemeler, ilerleyen ve gelişen modern teknoloji uygulamalarında yer alarak geleneksel teknolojinin yanıtlayamadığı yerde sayan sektörlerde ümit verici hale gelmiştir (Huang vd., 2012).

Nanoparçacıkların önemli olmasının sebepleri arasında elektronik yapısının boyuta bağlılığı, kuantum boyut tesirleri, yüzey atomlarının farklı özellikleri, yüksek yüzey hacim oranı ve manyetik, optik, elektrik, erime noktası, dayanıklılık gibi fiziksel özelliklerin bulk yapıya göre büyük ölçüde farklılık göstermesidir (Sheppard, 2002).

Aynı zamanda nanoparçacıkların gösterdiği sıra dışı özellikler, ileri aktiviteli tepkime hızlandırıcıları, süperiletkenler ve ilaç taşıyıcılar gibi ürünlerin imal edilmesinin yolunu açmıştır (Gürmen ve Ebin, 2008).

Bunların dışında, maddelerin nanoboyut düzeyinde denetlenebilir nanotaşıyıcılar, sensörler ve yüksek yoğunluklu doneleri depolama gözenekler gibi kendine mahsus fonksiyonelliğe ait küçültülmüş cihazlar meydana gelmesine müsaade etmektedir (Özdemir, 2006).

Gerek sahip oldukları emsalsiz nitelikleri gerekse zaman ilerledikçe küçülen ve ileri teknolojinin gereksinimi olan çok fazla vasıflara sahip nano boyutlu parçacıklar, gelişen teknoloji gereçlerinin olmazsa olmaz hammaddeleri olmuş, alışılmışın dışında uygulamaları ile çok farklı sektörlerle hizmet vermeye başlamışlardır (Gürmen ve Ebin, 2008).

Nanomalzeme niteliğindeki oluşumlar olan nanoyapılar ise nanokristaller, nanoparçacıklar, nanoteller, nanotüpler, nanoçubuklar, nano ince filmler olarak gruplandırılabilir (Gençer, 2019; Kim vd., 2012). Bunlar arasında kullanım sahası ve elverişliliği ile nanoteknolojide hızlı bir şekilde ilerleme kateden en kapsamlı paya sahip olan, nanoparçacıklardır (Kartal, 2013).

Nanoparçacık uygulamalarına birkaç örnek verilebilir;

- ✓ Nikel tozları, katalitik tepkimelerinde, manyetik veriler, optik, elektrikli depo edilebilir piller, biyomedikal, elektronik, biyokimyasal ve buna benzer çok fazla sahada potansiyel uygulama alanları mevcuttur (Tütünoğlu, 2013 ).
- ✓ Altın nanoparçacıkları metal olarak elektrokimya, tıp ve nano maddelerin araç ve gereçlerin imal edilmesinde kullanılmakla beraber metal oksitlerin içine eklenerek metal oksit nanoparçacıkların niteliklerini sağlamaktadır (Kartal, 2015).
- ✓ Bakır nanoparçacıklar, fenolün moleküler oksijen ile oksidasyon benzeri doğal birleşim tepkimelerinde, tepkiyi hızlandırıcı olarak bulunmakta ve hidrasyon ve dehidrasyon reaksiyonlarında ZnO'nun katalitik etkisini ve farkındalığını artırmaktadır. İyi iletkenlik özelliği sebebiyle mürekkep püskürtme, baskı teknolojisinde yer alabilecek bir maddedir (Gençer, 2009). Ayrıca bakır nanoparçacıkları farklı kirleticiler (nitratlar, ağır metaller, boyalar, klorlu organik kirleticiler) sebebiyle kirlenen yeraltı sularını arındırmak içinde yararlanılabilir (Huangvd., 2012).

Nanoyapılı ürünlerin ve aygıtların dizayn edilmesi, hazırlanması ve iş görür halde kullanımının dâhil olması ile nanoteknoloji dalındaki gelişmelerin artması kaçınılmaz hale gelmiştir (Kartal, 2013).

#### **2.4. Metal Oksit Nanoyapılar**

Metal oksit yapıların, elektronik malzemelerde, ileri teknoloji ürünlerinden olan bilgisayar çiplerinin üretiminde, kullanım süresi uzun olan implant malzemelerde, çok fazla duyarlılığa sahip sensörlerde ve teknolojide daha pekçok uygulamada kullanıldığı bilinmektedir (Kartal, 2013).

Metallerin çok farklı oksit bileşikler meydana getirebilme yeteneğine sahip olması sonucu, değişik elektronik yapısı olan metal oksit nanoyapılar iletken, yarıiletken ya da yalıtkan nitelik gösterebilmektedir ve benzersiz kimyasal, fiziksel, mekanik özelliklerinden ötürü kapsamlı bir uygulama alanına sahip olabilmektedir (Kartal, 2013).

Metal Oksit Nanoyapıların kullanıldığı birkaç örnek uygulama şunlardır;

- ✓ Metal Oksit nanoparçacıklar fotokatalitik özelliklerinden ötürü kendi başına temizleme uygulamalarında, bakteri tutmayan malzeme kaplamalarında, hava temizleme uygulamalarında ve güneş pilleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Kara, 2008).
- ✓ Ender metallerin oksitler üzerinde yapılan araştırmalar ise ilerleyen süre içinde bu yapıların da katalizör, elektrik ve manyetik uygulamalarında daha fazla kullanılacağını göstermektedir (Whang vd., 2012).
- ✓ Örneğin, amorf ve kristal yapıdaki demir oksit nanoparçacıklar; manyetik sıvılar, güneş enerjisi değişimi, manyetik depolama cihazları, elektronik cihazlar, geniş yüzey alanları sebebiyle gaz hapsedmede, sensör ve elektrot maddeler olarak kullanılmaktadır (Bulun, 2010).
- ✓ p-tipi yarı iletken malzeme olan bakır oksit (CuO) nanoparçacıklar ise; hidrokarbonları karbondioksit ve suya çevrilebilen aktif bir homojen olamayan katalizör ve elektronik cihaz imal edilmesinde kapsamlı uygulama alanına sahiptir (Gençer, 2009).
- ✓ Çinko oksit nanoyapıların da fotokatalitik uygulamalarda önemli yer tuttuğu ve katkılama ile fotokatalitik özelliğinin iyileştiği (Köroğlu, 2012) literatürde bildirilmiştir.

## **2.5. İnce Filmlerin Özellikleri**

### **2.5.1. İnce film**

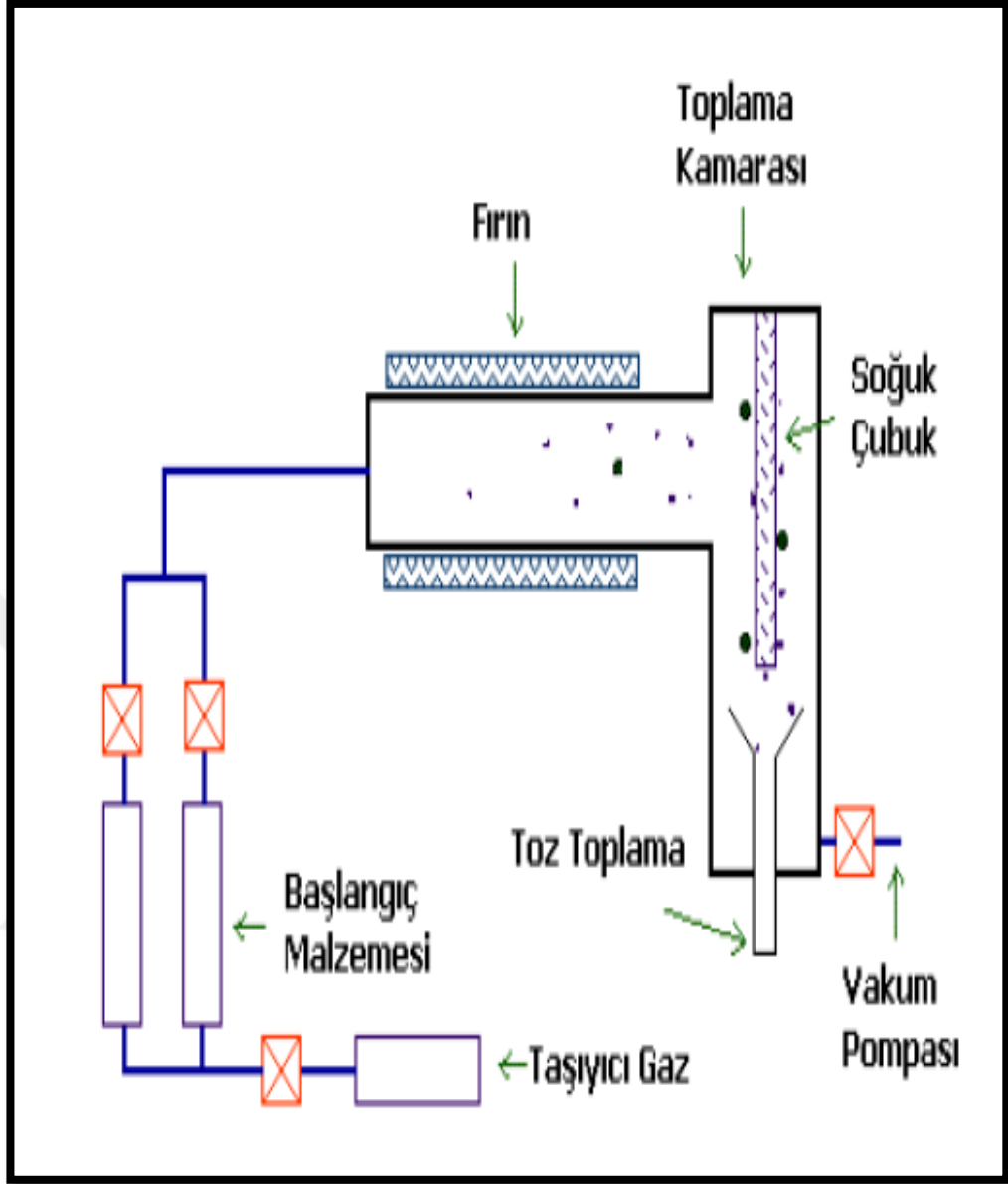
İnce film, nanometre ölçeklerinden başlayıp mikrometre boyutları kadar olan kalınlıklara ait malzemelerin katmanlarına verilen addır. İnce filmler eser miktarda malzeme kullanarak lüzumlu fonksiyonları yerine getirebilecek modelleri imal etme

fırsatı sağlamaktadır. İnce film teknolojisi çok kapsamlı ve aynı zamanda ufak devre sistemleri üretme şansı vermesi sebebiyle geliştirilmiştir. Elektronik, haberleşme, enerji, optik, tekstil gibi çok fazla bilimsel ve endüstriyel sahada karşımıza çıkmaktadır. İnce film teknolojisinin ilerlemesi ile beraber çok fazla alışılmışın dışında ürün gelişimini sağlamıştır. Bunların başında taşınır bilgisayarlar, aydınlatma aletler (LED'ler), ileri çözünürlüklü ekranlar, hafıza ve bellekler, iletişim aletleri, görüntü ve ses kaydeden cihazlar gelmektedir. İnce film teknolojisinin imkân verdiği farklı ürünler işlevsel yüzeyler olup yansıtıcı yansıtma yüzeyler, su geçirmez-leke tutmaz kumaşlar v.b. uygulamalar mevcuttur. Temiz ve kullandıkça tükenmeyen enerji arayışları sınırında ince film teknolojisi, ince film güneş pillerini karşımıza çıkarmaktadır. İnce film teknolojisi yalnızca aktif malzeme elde etmek olmasa da muhafaza edici, soğurucu katman büyütme, elektriksel bağlantı ve pasivasyon gibi hedeflere ulaşılmaktadır ve imal etme sahaları her boyutta kontrol edilebilir (Sönmezoğlu, 2012).

## **2.6. İnce Film Büyütme Teknikleri**

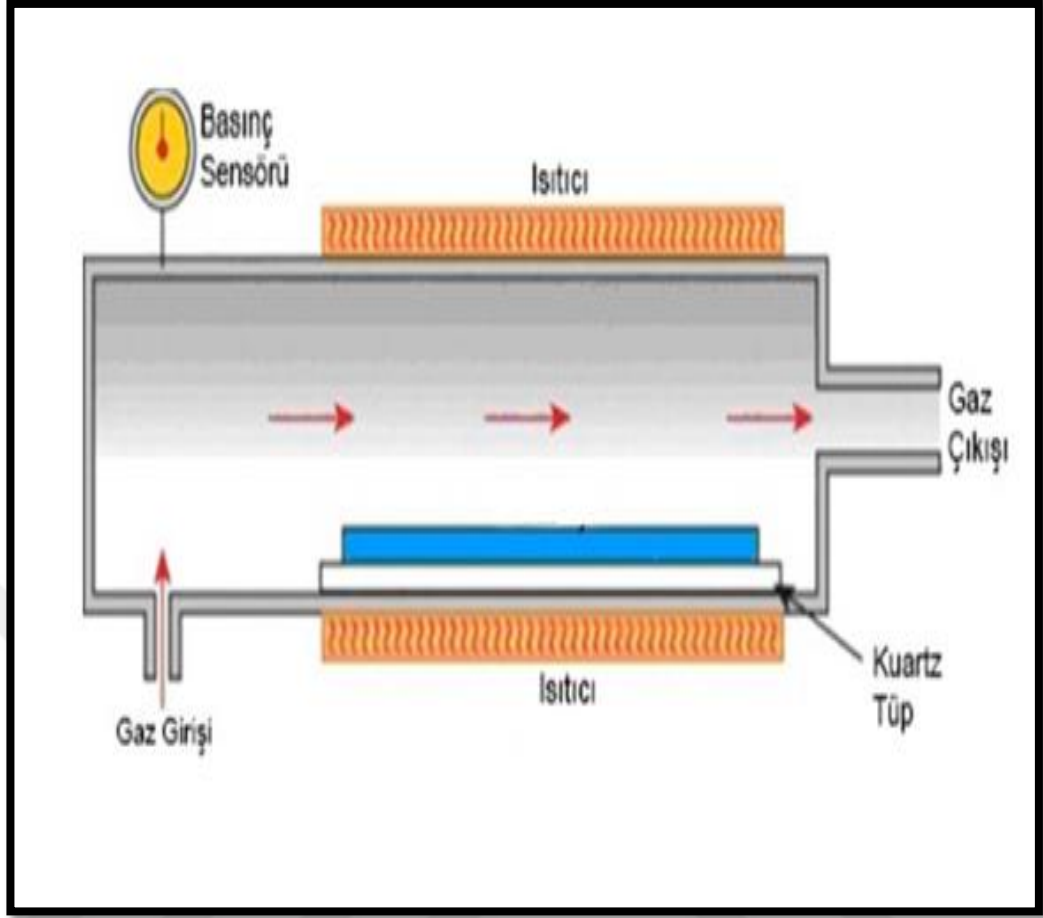
### **2.6.1. Kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemi**

Kimyasal buhar yoğunlaştırma tekniğinin temeli 1994'de Almanya'da atılmış olup yüksek miktarda nanopartikül hazırlamak için mükemmel bir yöntemdir. Öncelikle istenilen maddenin basit bir şekilde elde edilebilmesinden ve çok farklı olabilmesinden ötürü bu yöntemle 30 nm altında çok ufak ölçülerde her çeşit nanopartikül katkısız, saf, topaklanma olmadan hazırlanabilir (Kim, 2004).



**Şekil 2. 3.** Kimyasal buhar yoğunlaştırma yöntemi (Ebin, 2008)

Kimyasal buhar biriktirme yönteminde elde edilen parçacıklarının ölçütleri, morfolojisi ve kristalleşme özellikleri üzerinde ilk maddenin belirli bir düzen içinde olması, deney sıcaklığı, reaktör geometrisi, taşıyıcı gazın karakteristik yapısı, reaksiyon platformu, meydana gelen buharın reaksiyon sahasında bulunma süresi ve buhar konsantrasyonu gibi parametrelerinin önemi büyüktür (Sheppard, 2002).



**Şekil 2. 4.** Kimyasal buhar biriktirme sistemi (Yuan vd., 2007)

Kimyasal reaksiyon genellikle enerji alan reaksiyonlardır. Bu sebeple içeride olmayan ısı enerjisi, elektriksel enerji, ışık enerjisi gibi enerji uygulanmasıyla kimyasal reaksiyonlar ortaya çıkar (Yuan vd., 2007).

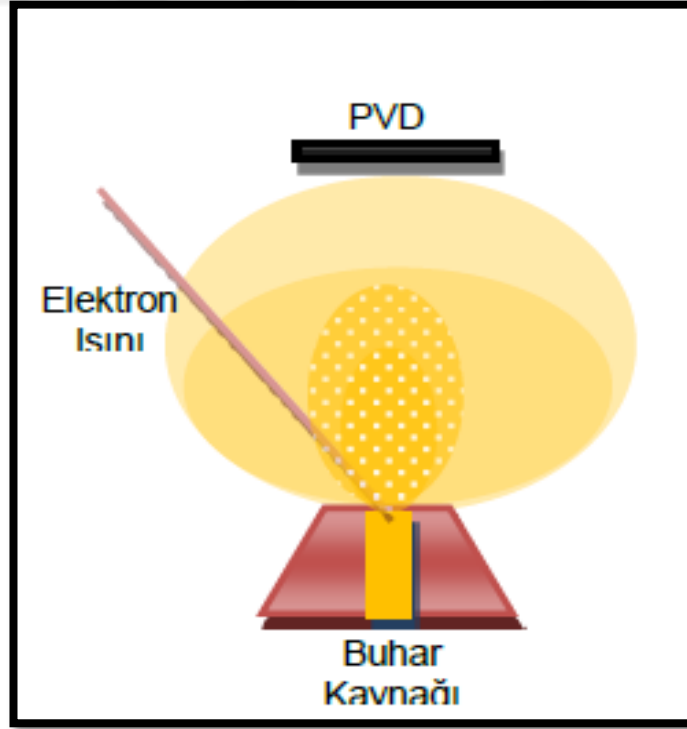
Kimyasal buhar biriktirme yöntemlerinde gaz fazdaki ilk malzeme elverişli şartlarda tepkimeye katılarak numune olarak katı film haline dönüştürülür. Kimyasal buhar biriktirme (CVD) arzu edinilen maddenin ince film şeklinde kaplanmasını kimyasal reaksiyonlar sistemiyle oluşan bir kaplama tekniğidir. Genellikle bu tür gazlar gaz tüplerinde üst üste sıkıştırılmış gazlar olarak bulunurlar. Belli durumlarda ise bu gazlar, sıvı halinde olan kimyasalların buharları ile taşıyıcı gazların birleşmesiyle meydana gelen buharlardır. Kimyasal buhar biriktirme yönteminde kaplama yüzeyde ve kimyasal tepkime ile birlikte oluşur. Bu nedenle çok büyük boşluklar meydana gelmez ve filmin özelliğini yükseltir.

CVD tekniğinin yararları (Kartal, 2013);

- ✓ Çoğunlukla, az vakum gerektiren düzenekler olması gerekir böylelikle karmaşık olmayan sistemler hazırlanır.
- ✓ Hızlı bir şekilde tekrar kullanımı olasıdır.
- ✓ Mükemmel ve düşük safsızlıklar barındıran tabakalar kolaylıkla büyütülebilirler.
- ✓ CVD kimyasal tepkimeler gerçekleştiğinden ötürü belirli bir baraj enerjisinin üstünde olması beklenir. Enerjisi eşik enerjisinin üzerinde ise moleküller kimyasal tepkimede oluşup yüzeyler kaplanabilirler.

### 2.6.2. Fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi

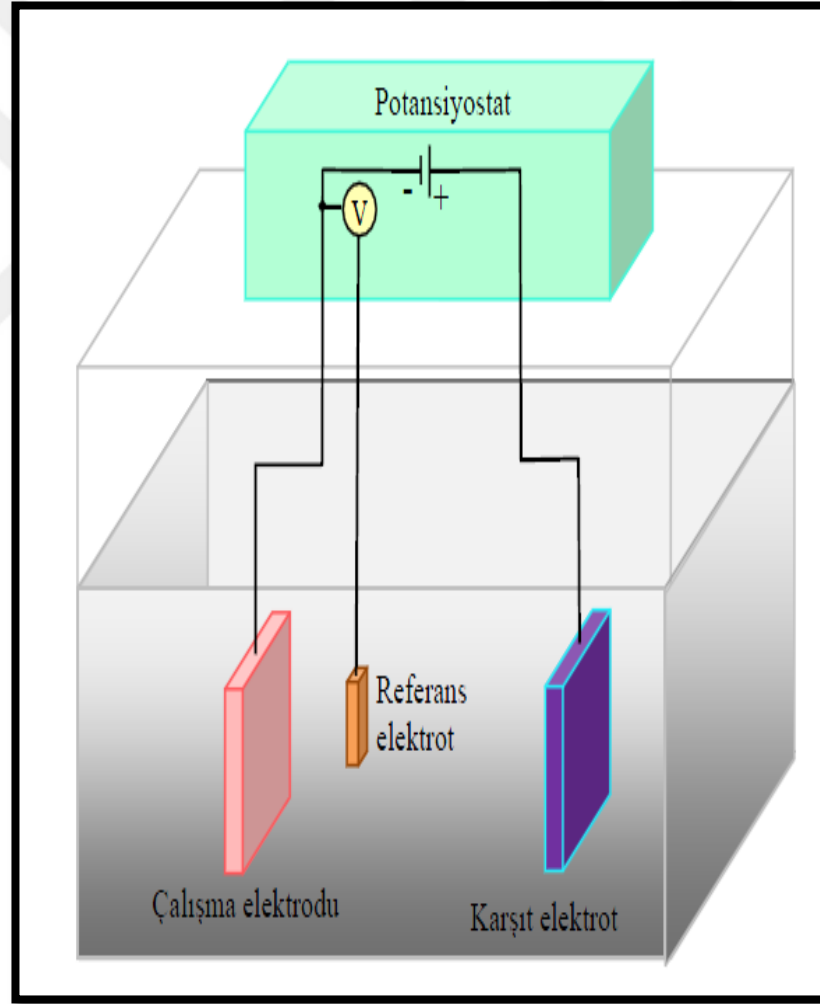
Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) tekniği vakum ortamında kaplanacak malzemenin buharlaştırılması veya atomik moleküler biçimde ayrılıp örnek üstüne kaplanması esasına dayanan bir tekniktir. PVD tekniğiyle kaplanacak maddeler vakum ortamında elektron demeti, iyon demeti ile veya sıcak olarak buharlaştırılır ve kaynak üzerine yerleştirilerek örnek üzerine kaplanır (Yaylacı, 2010).



Şekil 2. 5. PVD sistemi (Aytaç ve Malayoğlu, 2018)

### 2.6.3. Elektrokimyasal kaplama (ECD) yöntemi

Adından da anlaşılacağı üzere bu teknikte elektrik enerjisi yardımıyla kimyasal bir tepkime sonucunda sentezleme işlemi gerçekleşir. Bu teknik “elektroliz ile kaplama” veya “electroplating” olarak da adlandırılabilir. Çoğunlukla metal veya iletken yüzeylere metal kaplamak istenildiği zaman tercih edilen bir metottür. Ayrıca yöntemde metal iyonları barındıran sıvılar ihtiva eden katoda tabi olan iletken, yüzey elektrik alanının etkisiyle metal iyonlarıyla beraber istenilen kaplama olur. Çözeltinin iyon istikrarını oluşturmak sebebiyle anot tarafına kaplanan metalin katı hali tutunabilir (Taktakoğlu ve Kavak, 2016).



Şekil 2. 6. Standart ECD kaplama düzeneği (Taktakoğlu ve Kavak, 2016)



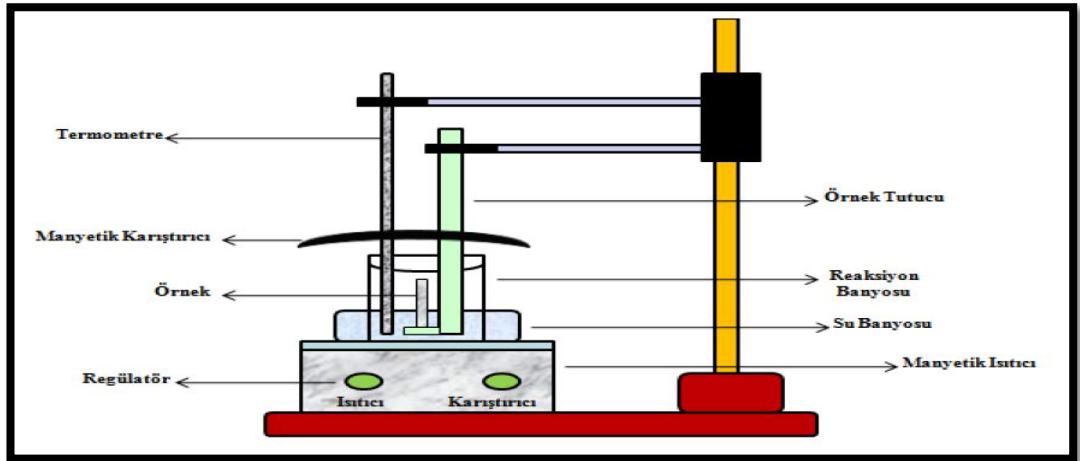
#### 2.6.4. Kimyasal banyo biriktirme (CBD) yöntemi

CBD metodu çözeltideki filmi oluşturacak iyonların reaksiyonunun yavaşlatılması prensibine dayanmaktadır. Temizlenmiş cam alt tabanlar, hazırlanmış çözelti içerisinde belli sürelerde daldırılarak camın yüzeyinde ince filmler oluşturulur. İnce filmi hazırlamak için kullanılan teknikler arasında CBD metodu, maliyeti oldukça düşük ve karmaşık olmayan basit olan bir yöntemdir (Ateş ve Bahçe, 2015).

CBD yönteminde film niteliğine, kalitesine ve filmin kalınlığına tesiri olan parametreleri sırasıyla, çözeltinin pH değeri, sıcaklığı, reaksiyon süresi, çözücü konsantrasyonu kullanılan katalizörlerin yapısı ve konsantrasyonu, tavlama sıcaklığı ve süresi, kurutma ve kurutma atmosferi gibi sıralayabiliriz.

CBD yönteminin diğer yöntemlere göre avantajları aşağıdaki gibi sayılabilir (Sönmezoğlu, 2012) ;

- ✓ Düşük sıcaklık ve atmosfer basıncında uygulanabilir.
- ✓ Fiyatı yüksek deney elemanlarına ve takımlarına ihtiyacı yoktur.
- ✓ Hızlı ve kolay bir tekniktir.
- ✓ Karmaşık olmayan tehlikesiz bir tekniktir.
- ✓ Makro genişlikteki yüzeylere yarıiletken film kaplamak için uygundur.



Şekil 2. 7. CBD metodu (Sönmezoğlu, 2012)

## 2.7. Fotokatalizör

Fotokataliz, yüzeyin üstüne doğal ışık veya yapay ışık düşürüldüğünde yüzeyle bağlantı kuran atmosferdeki su maddelerinin oksijen köklerinden ayrılması sonucunda yüzeyde kalmasıdır (Herrmann vd., 1999).

Işık ile beraber tepkime oluşmasına yarayan maddelere fotokatalizör denir. Kimyasal bir reaksiyonu hızlandıran madde ile fotonların ışık enerjisinin elektrokimyasal enerjiye aktarılması sonucunda fotokatalitik tepkimeler oluşur. Fotokatalizin esas işlevi aktivasyon enerjisini hafifleterek tepkimenin gücünü arttırmasıdır. Genel olarak fotokataliz kirli sulardaki zararlı maddeleri yok edilebilmesi, istenmeyen kokuların kaybolması, renk veren maddelerin temizlenmesi, bakterilerinden arındırılmasında kullanılır. Ayrıca iç hava kalitesini yükseltmek için inşaat alanında da kullanılabilir. Günümüzde ucuz ve en etkili olarak bilenen fotokataliz maddesi titanyum dioksittir. Çok tercih edilmesinin sebebi titanyum dioksitin yarı iletken bir metal olmasıdır. Çevremizde karşılaştığımız neredeyse bütün beyaz renkli maddeler titanyum dioksitin farklı şekilleridir (Fujishima vd., 2000).

Çeşitli amaçlar içinde kullanılan titanyum dioksit; ucuzluğu, çevreye zararlı etkilerinin olmaması, kolay elde edilebilirliği açısından tercih sebebi olan bir fotokatalitik maddedir (Herrmann vd., 1999).

Çubuk, tüp, tel, kemer gibi morfolojiye sahip bir boyutlu ZnO yapılar yüksek interaktif yüzey alanına sahip olduklarından oldukça iyi fotokatalitik performans göstermektedirler (Udom vd., 2013).

## 2.8. Hidrofilik ve Hidrofobik Yüzeyler

Malzemenin hidrofobik-hidrofilik doğası su ile etkileşim içine giren yüzeyler suyla meydana getirdikleri değme açıları göz önünde bulundurularak adlandırılır. Polar grubuna ait olan moleküller su ile birlikte hidrojen bağına meydana getirerek suyun yapısına katılır, bu tür maddelere hidrofilik yani suyu seven madde denir. Su taneciği yüzeyde yayılmakta ise bu yüzeye hidrofobik yüzey denir (Batıgöç, 2010).

Hidrofobik moleküller su içerisine konulduğunda, su molekülleri arasındaki hidrojen bağları kırılır ve su molekülleri her bir hidrofobun etrafını sarar. Buna karşın, hidrofob ve su molekülleri birbirleri ile etkileşime girmezler. Apolar molekül su içerisinde serbest şekilde dağılım gösteremez. Bu tür maddeye hidrofobik yani suyu sevmeyen madde denir. Su taneciği yayılmak yerine küresel bir biçimde kalıyorsa bu yüzeylere hidrofobik yüzey denir (Şahin, 2013).

Yüzey gerilimi, yüzey enerjisinden meydana gelir. Değme açısına etki eden en önemli etken katının yüzey enerjisi ve pürüzsüz olmamasıdır. Kristal yapıdaki bir atom her tarafına çekme kuvveti etki ettiği zaman kararlı bir biçimde olduğu konumu veya yerini muhafaza edebilir. Fakat bu durum yüzey atomları için geçerli olamaz. Yüzey atomunda, içindeki tek atoma çekme kuvvetinin yarısını hisseder ve bu yüzden yüzeyden kopma eğilimi gösterir bu da yüzey gerilimi yaratır. Yüzey gerilimi düştükçe temas açısı da düşer. Hidrofilik ve hidrofobik özelliklerin artması yüzey pürüzlülüğünün artmasındandır. Pürüzlülük olmaksızın hidrofobik bir yüzeyde oluşabilecek maksimum değme açısı 120 derecenin üstüne çıkmaz. Hava sıkışmasını sağladığı için pürüzlülük, yüzey ile su damlası arasındaki etkileşme miktarında az olur. Bu sebeple yüzeylerdeki değme açısı hidrofobik artış gösterir (Özgür, 2007).

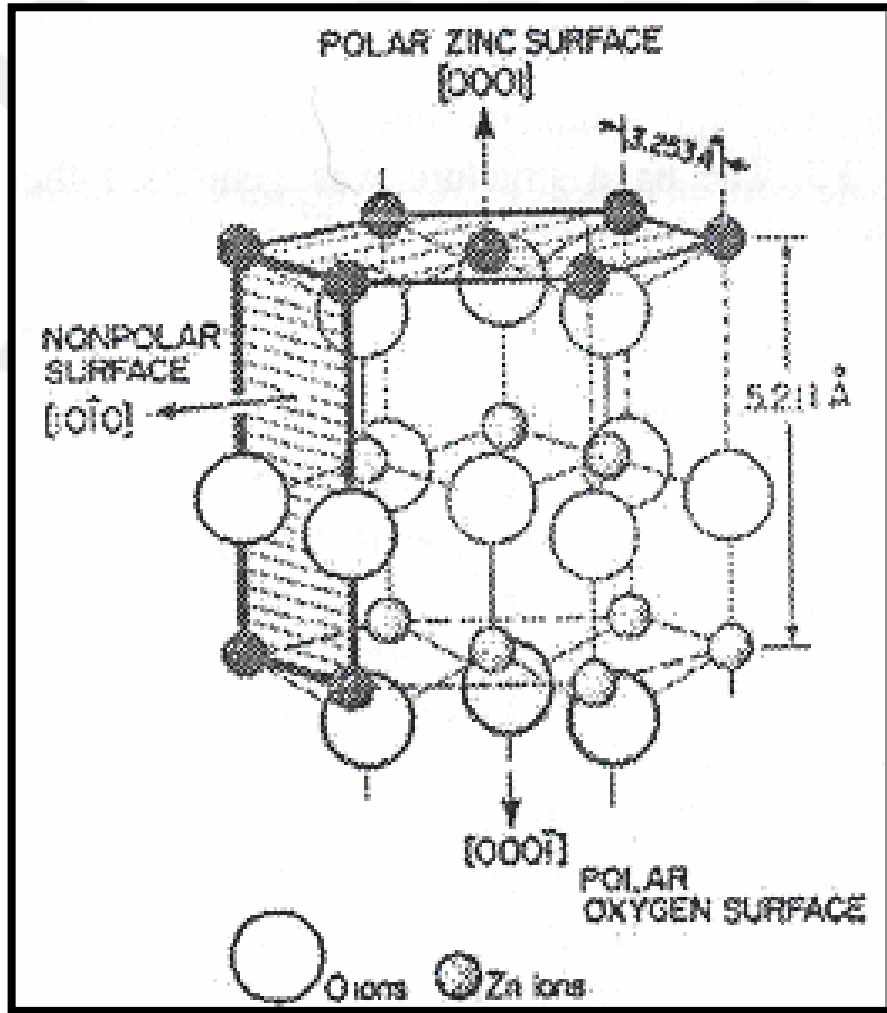
## **2.9. ZnO'nun Yapısı ve Özellikleri**

Alman kimyager Cramer Cadmia'nın 18. Yüzyılında, metal çinkonun yansımasından ısı ve ışık oluşturduğunu, bunun sonucunda oksitlenme oluştuğunu bulmuştur. 1781'de Courtois Fransa'da beyaz çinkoyu imal etmiş, ancak 1840 yılına kadar uzanan süre içerisinde sanayide yararlanılan bir madde olmuştur. Sülfür gazından etkilenmemesi (siyahlaşmaması), toksik malzeme bulundurmaması ve mükemmel şekilde saklanabilir olması sebebiyle kurşun oksidin yerine tercih edilmiştir. Farklı bilimsel sahalarda tercih edilen çinko oksit, çok işlevsel bir malzeme olmuştur. Çinko oksit bileşiğiyle oluşturulan filmler yüksek elektriksel iletkenlik ve yüksek geçirgenliğe sahiptir, aynı zamanda görünür bölgedeki yansımaları sebebiyle, metal oksit yarıiletkenleri içinde en fazla kabul gören bir maddedir. Çağımızda sunduğu bütün bu fonksiyonları ve nitelikleri sayesinde ZnO yarıiletken ince filmler çok fazla sahada yer bulmaktadır. Günümüzde kadmiyum oksit, kalay oksit ve indiyum oksit benzeri farklı metal oksitler

filmler arasında en işlevsel ve en kullanışlı olanı çinko oksit (ZnO) malzemelerdir. ZnO, fotovoltaik uygulamalar, güneş ısı kolektörleri, güneş pilleri, gaz sensörleri, saydam elektrotlar gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır (Bulun, 2010).

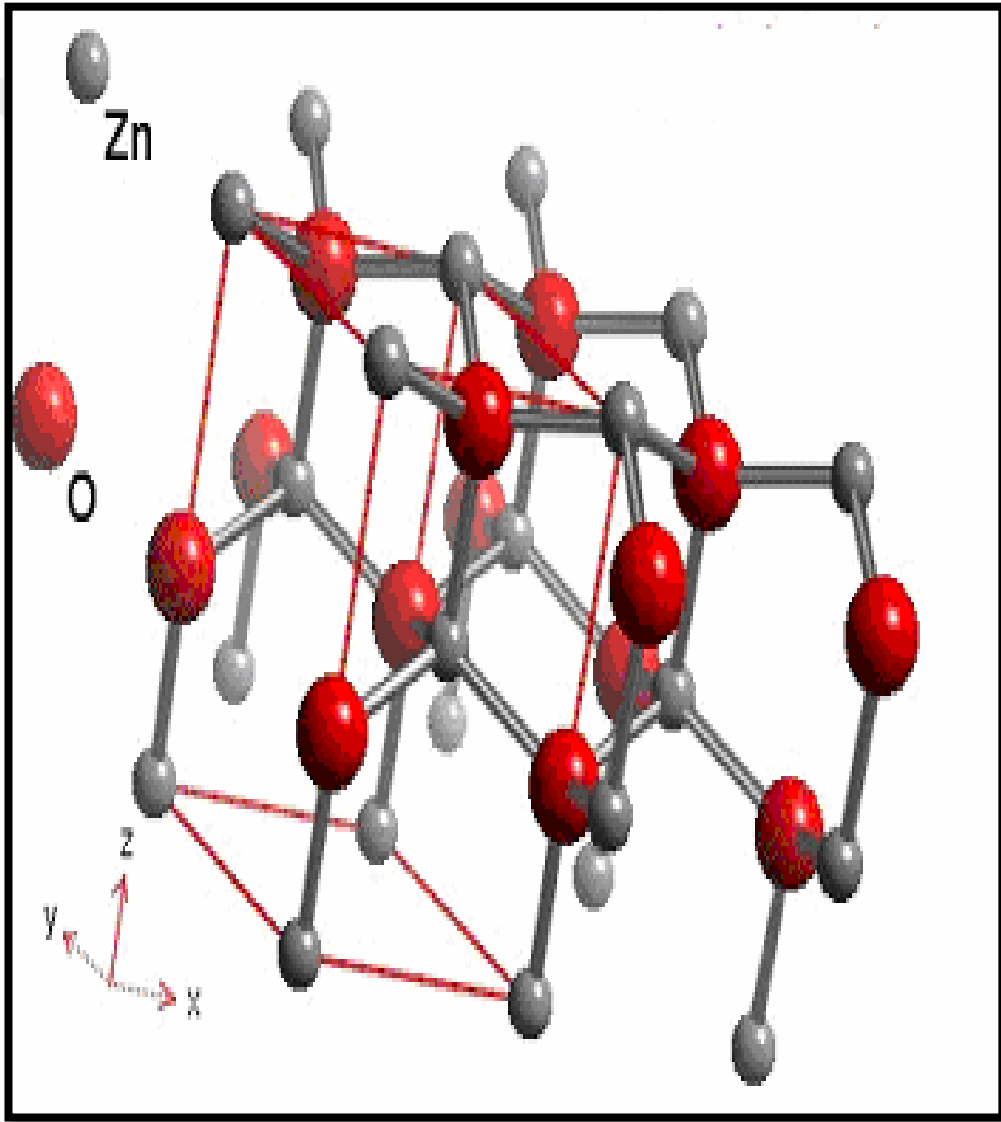
## 2.10. ZnO'nun Kristal Yapısı

ZnO iki farklı kristal yapıya sahiptir. Genellikle ince film formunda (wurtzite) hexagonal kristal yapısında elde edilirken yer bilimcileri tarafından bilindik yüksek basınçta elde edilen kaya tuzu yapısında vardır. ZnO'nun hegzagonal (wurtzite) kristal örgüsü Şekil 2.8'de verilmiştir (Özdemir, 2006).

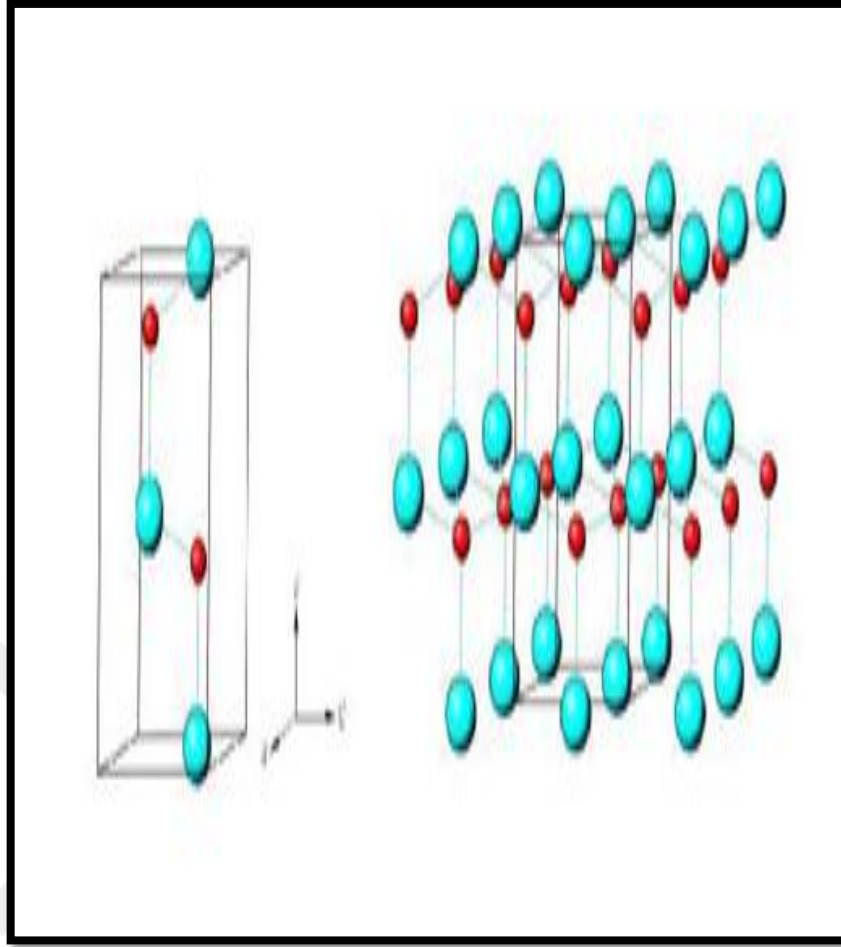


Şekil 2. 8. Tek kristal ZnO heksagonal kristal örgüsü (Sheppard, 2002)

II-VI grubuna ait bileşiklerin çoğu kübik, zinc-blende (çinko sülfür) ve wurtzite kristal özelliğine sahiptir. Çinko ve oksijenin bir araya gelmesiyle oluşan II-VI grubuna ait olan ZnO, her bir çinko atomunun çevresinde 4 tane oksijen atomunun bulunması ile meydana gelen tetrahedral bir yapıya sahiptir. Tetrahedral yapıyı meydana getiren bağlar bilindik  $sp^3$  kovalent bağlarıdır. İyonik özellik gösteren ZnO kristalinin birim hücresi ise iki çinko (Zn) katyonu ile iki oksijen (O) anyonundan meydana gelir. ZnO filmi wurtzite kristal yapıda c eksenine boyunca (0001) doğrultusunda sentezlenir (Bulun, 2010).



Şekil 2. 9. ZnO'nun kristal yapısı (Özgür, 2005).



**Şekil 2. 10.** ZnO'nun kristal yapısı (Kara, 2008).

Şekil 2.10'da ufak koyu renkli küreler  $O^{-2}$ , büyük açık renkli küreler ise  $Zn^{+2}$  iyonlarını ifade eder (Kara, 2008).

### **2.11. ZnO'nun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri**

Katkısız saf ZnO normal koşullarda oda sıcaklığında beyaz renkte görülmektedir. ZnO farklı sıcaklıklarda ısıtıldığında sarı, yeşil, kahverengi ve kırmızı olmak üzere değişik renkler alabilmektedir. Oluşan renk değişikliklerinin kristal yapıdaki % 0,02-0,03 arasındaki boşluklardan kaynaklandığı bilinmektedir (Özgür, 2005).

Ergime özelliğine sahip olmayan ZnO dejenere olma özelliğinden dolayı değişme yani bozulma sıcaklığı yaklaşık olarak  $1975 \pm 25$  C'dir ve bir miktar buharlaşma özelliği ise 1300 C'nin üstünde oluşur (Toplan, 1998). ZnO'nun 1458 C'nin

üstünde buhar basıncı yükselir ve 1500 C'de buhar basıncı 12 mmHg ve 1700 C'de 760 mmHg'ya kadar yaklaşır (Toplan, 1998).

ZnO genel olarak suda çözünmez. Bununla birlikte 25 C'de 0,005 gr/lt kadar küçük bir değerde çözünebileceği bilinmektedir. ZnO'nun sulu amonyaktaki çözünürlüğü ise 0,28 gr/lt'dir. ZnO hem baz hem de asit içinde çözüldüğünden amfoterdir (Toplan, 1998).

n-tipi yarıiletken metal oksit olan ZnO'nun elektronik yapısında boş bir 4s bandı bulunmaktadır ve yasak enerji bant aralığı yaklaşık olarak 3,3 eV'tur (Bulun, 2010).



### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. ZnO yapıların sentezi

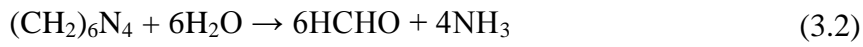
Bu çalışmada, cam altlıklar üzerine herhangi bir çekirdek tabaka olmaksızın katkısız ve sırasıyla %10 mol oranında Na, K, Ca katkılı ZnO mikro-nano çubuk diziler, Kimyasal Banyo Biriktirme yöntemi ile sentezlenmiştir. Sulu Banyo Çözeltisi olarak Çinko Nitrat Hekzahidrat ( $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ) ve Hexametilentetramin ( $(CH_2)_6N_4$ ) kullanılmıştır. Katkılama tuzu olarak ise Potasyum Nitrat ( $KNO_3$ ), Kalsiyum Nitrat ( $Ca(NO_3)_2$ ) ve Sodyum Nitrat ( $NaNO_3$ ) kullanılmıştır. Cam altlıklar sentezleme öncesi sırayla; 15 dk Aseton, 15 dk 2-Propanol, 15 dk deiyonize su ile ultrasonik banyo içerisinde temizlenmiş ve sonrasında 70-80 C’de kurutulmuştur.



Şekil 3. 1. Bandelin sonorex marka ultrasonik banyo



Her bir solüsyon başlangıçta 0,1:0,1 molaritede,  $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ : HMT'nin eşit hacimde eklendiği ve toplamda 40 ml olarak hazırlanmış ve molar oranda tek tek, %10 Na, K ve Ca metalleri katkılandırılmıştır. Solüsyonlar homojen bir dağılım sağlamak için 20 dk manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Cam altlıklar yaklaşık  $45^0$  açıyla film oluşturulacak yüzey alt kısma gelecek şekilde çözelti içeresine yerleştirilerek konveksiyonel fırın içerisinde  $100\text{ C}^{\circ}$ 'de, 4 saat süreyle ZnO yapılar sentezlenmiştir. ZnO yapı oluşurken aşağıdaki reaksiyonlar meydana gelmektedir;

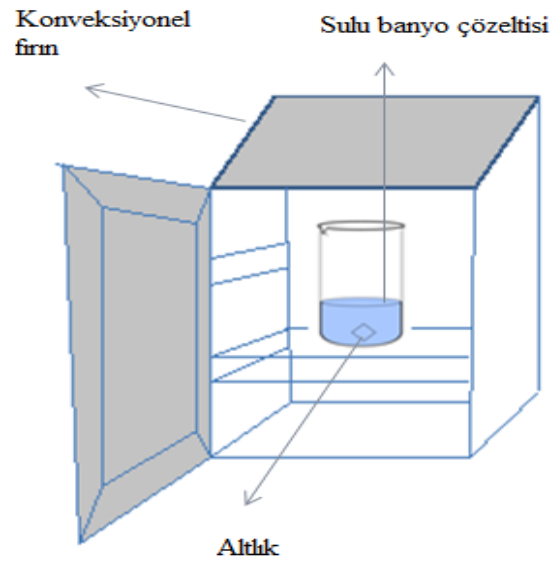


**Şekil 3. 2.** Wise Stir model hassas terazive Nüve FN 400 marka (altlıkları kurutma ve sentezleme)

Deney parametreleri Tablo 3.1’de verilmiştir. ZnO yapıların üretim şeması da Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

**Tablo 3. 1.** ZnO yapılar için çalışma koşulları

Molarite (M)	Sıcaklık(C)	Katkılama % Değeri (Molar)	Katkılanan Madde	Süre saat
0,1-0,1	100	%10	Ca	4
0,1-0,1	100	%10	Na	4
0,1-0,1	100	%10	K	4
0,1-0,1	100	Katkısız	Katkısız	4



**Şekil 3. 3.** ZnO yapıları sentezleme şeması

ZnO yapılar çekirdek tabaka oluşturmaksızın cam altlık üzerine sentezlendiğinden, kristal yapıyı iyileştirmek amacıyla 400 C'de 2 saat hava ortamında tavlama işlemine tabi tutulmuştur.



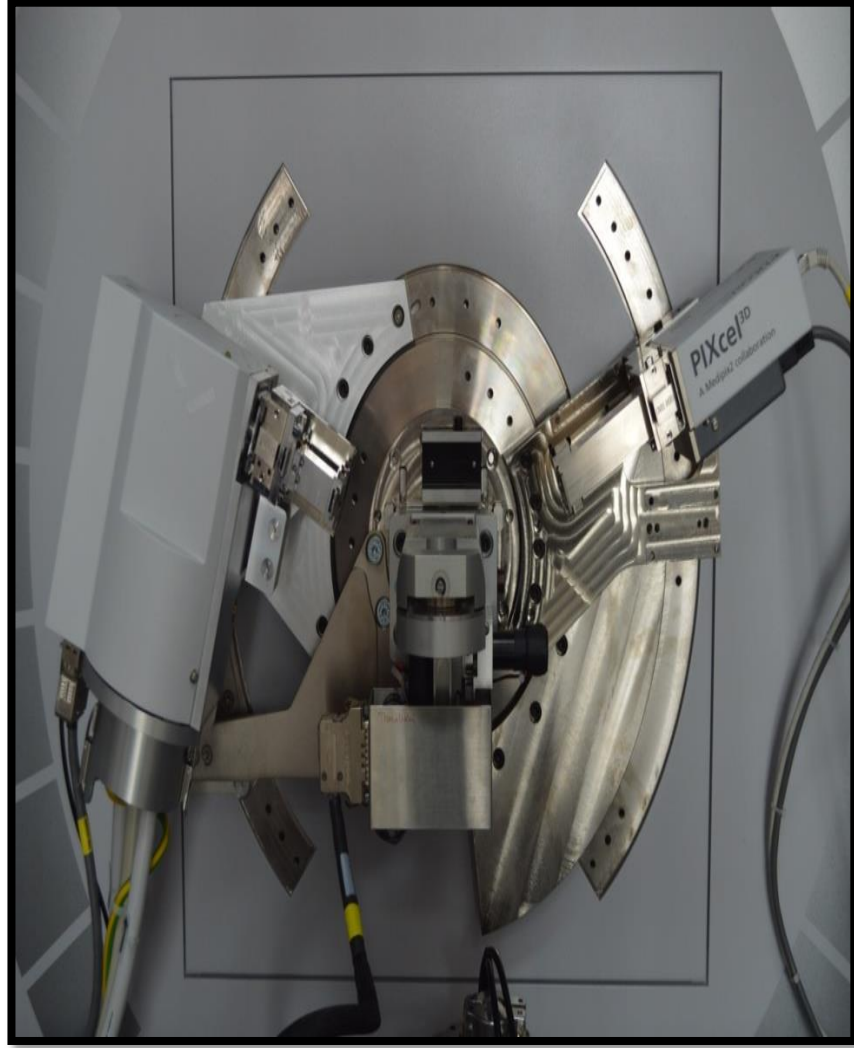
**Şekil 3. 4.** ZnO yapıların tavlama için kullanılan Protherm marka kül fırın

Sentezlenen katkılı ve katkısız yapıların yapısal, yüzeysel, optik ve fotokatalitik özellikleri araştırılmıştır.

### **3.2. ZnO Yapıların Karakterizasyonu**

#### **3.2.1. X-ışını kırınım (XRD) ölçümleri**

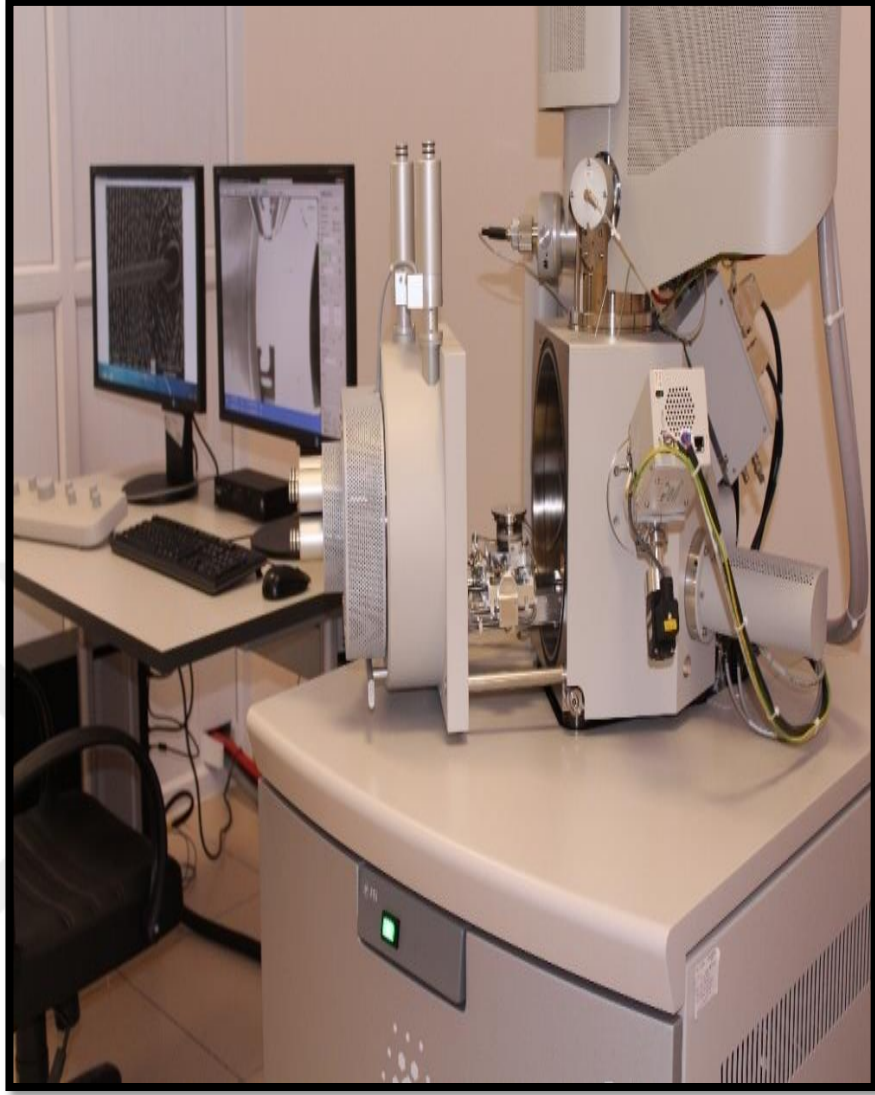
ZnO yapıların XRD analizi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Temel Bilimler Uygulama ve Araştırma Merkezi (EÜTAM) bünyesinde bulunan Panalytical Empyrean marka/model X-ray diffractometer cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 3. 5.** EÜTAM bünyesindeki Panalytical Empyrean marka X-Işını Difraksiyon cihazı

### **3.2.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDS) analizleri**

ZnO yapıların SEM ve EDS yüzey morfolojisi ve yapı analizi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Temel Bilimler Uygulama ve Araştırma Merkezi Bünyesinde bulunan FEI marka Quanta FEG 450 model Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 3. 6.** EÜTAM bünyesindeki FEI Quanta FEG 450 model taramalı elektron mikroskobu

### **3.2.3. Ultraviole –görünür spektrofotometre (Uv-vis) analizleri**

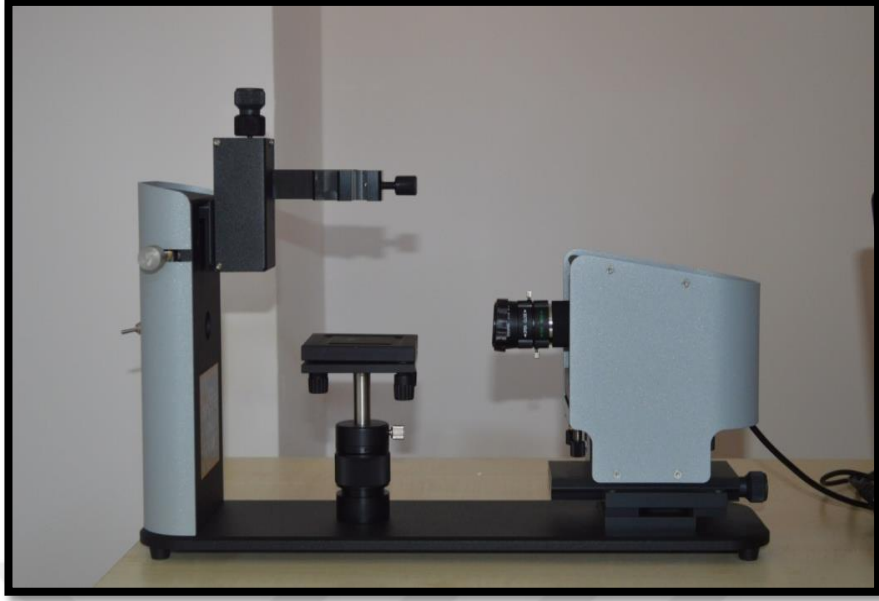
ZnO yapıların optiksel analizler ve fotokataliz ölçümler Fen-Edebiyat Fakültesi AR-GE laboratuvarları bünyesinde bulunan TETRA T80+ model UV/Vis Spektrofotometre ile gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 3. 7.** EÜTAM bünyesinde TETRA T80+ Model UV/Vis spektrofotometre

#### **3.2.4. Temas açısı ölçümleri**

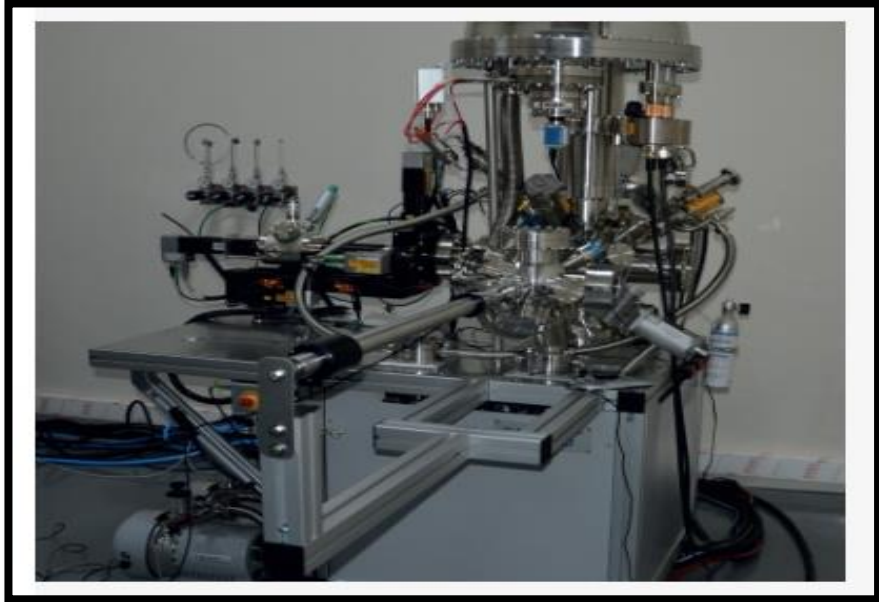
ZnO yapıların temas açısı ölçüm analizi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Temel Bilimler Uygulama ve Araştırma Merkezi Bünyesinde bulunan Attension marka Thetalite model temas açısı ölçüm cihazı kullanılarak yapılmıştır.



**Şekil 3. 8.** EÜTAM bünyesinde Attension marka temas açısı ölçüm cihazı

### **3.2.5. X ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) ölçümleri**

ZnO yapıların XPS analizleri Atatürk Üniversitesi Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (DAYTAM) bünyesinde bulunan Specs-Flex marka/model X-ışını Fotolektron (XPS) cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 3. 9.** DAYTAM bünyesinde bulunan Specs Flex model XPS cihazı



### 3.2.6. Fotokatalitik ölçümler

ZnO yapıların fotokatalitik ölçümleri Temel Bilimler Uygulama ve Araştırma Merkezi EÜTAM bünyesinde bulunan Luzchem, LZC-4X marka model Fotodedektör (350 nm dalgaboyunda UVA lamba) ve TETRA T80+ model Uv/ Vis Spektrofotometre kullanılarak yapılmıştır.



**Şekil 3. 10.** EÜTAM bünyesinde bulunan LZC-4X marka yüksek yoğunluklu Uv-Vis lambası



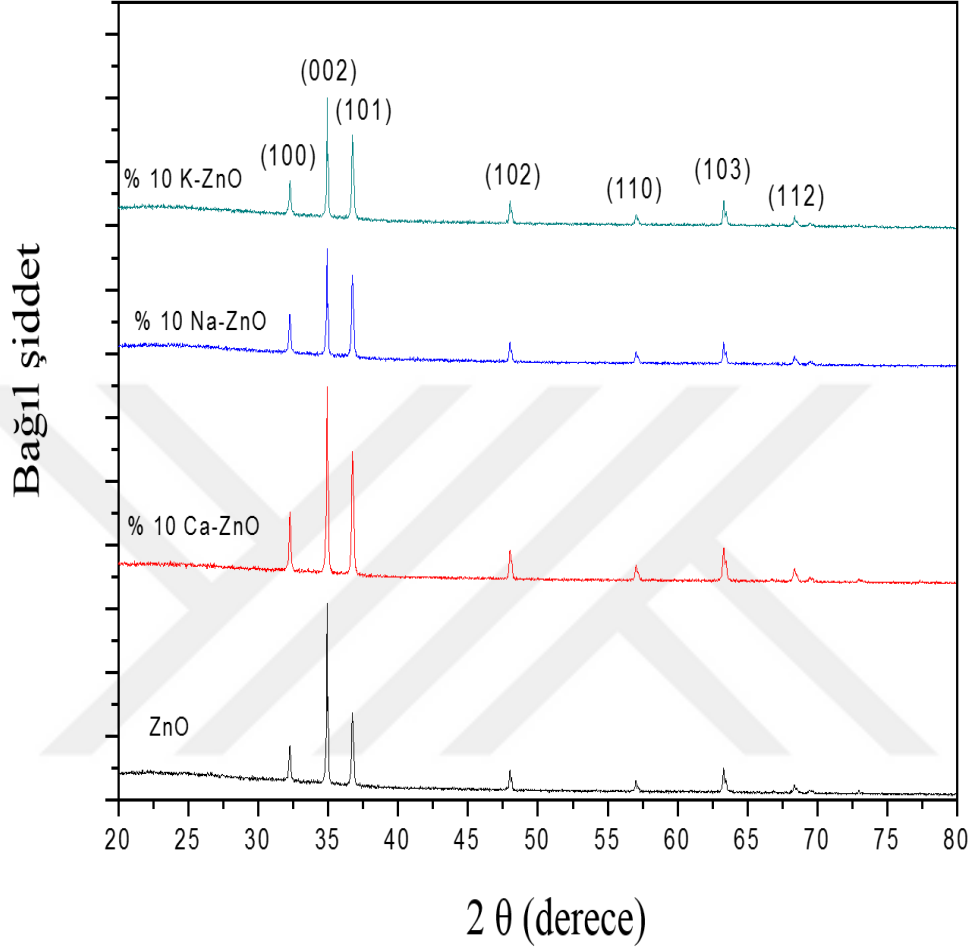
## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1. ZnO yapıların Yapısal ve Morfolojik Özellikleri

Malzemenin kristal yapısı hakkında bilgi veren X-ışını kırınım deseni, yapıya farklı bir madde katkılanması ile mevcut iyonun yerine iyonik yarıçapı farklı olan yabancı bir iyon gelmesinden dolayı birtakım değişiklikler göstermektedir. XRD pik şiddetlerindeki değişim, kırınım açısındaki kayma gibi etmenler, yapıya madde katkılanması ile değişmektedir. Mevcut iyonun yerine geçen veya kristal kusur noktalarını seçen ve böylece katkısız filmin saçılma etkisini kapatan herhangi bir katkı elementi, filmin X-ışını kırınım pik şiddetinin artmasına veya azalmasına sebep olabilir. Bununla birlikte yapıya metal katkılanması ile XRD pik pozisyonunda da (kırınım açısında) bir miktar kayma meydana gelebilmektedir. İyonik yarıçap, iyonik kristal yapısındaki iyonun yarıçapıdır. Bragg yasasından bilindiği üzere X-ışını örneklerinin difraksiyon durumu, örgü parametresi ile doğrudan orantılıdır. Kristal örneklerin her bir düzleminden gelen şiddet, her bir örgünün yapısı hakkında bilgi verir. Katkılanmayla birlikte iyonik yarıçaptaki değişim ile doğru orantılı olarak  $d$  değeri ve  $a$ ,  $c$  örgü parametrelerinin değişmesi mümkündür. İyonik yarıçaptaki artış ile birlikte örgü parametrelerinde artış meydana gelebilir.

Şekil 4.1’de katkısız ve tek tek Na, K, Ca katkılı ZnO çubuk dizilerinin X-ışını kırınım desenleri gösterilmektedir. Tüm sentezlenen filmler wurtzite kristal yapıya sahiptir (Morkoç Karadeniz vd., 2016). ZnO, II-VI grup kordinasyonuna sahip bir bileşiktir ve iyonik yarıçapı  $0,74 \text{ \AA}$ ’dur, bununla birlikte  $\text{Zn}^{+2}$  iyonu yerine geçecek olan  $\text{Na}^+$  iyonu için bu değer  $1,02 \text{ \AA}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  iyonu için  $1 \text{ \AA}$  ve  $\text{K}^+$  iyonu için  $1,38 \text{ \AA}$ ’dur. Na ve K katkılı ZnO yapılarda, katkısız yapıya göre XRD pik şiddeti azalmıştır ve maksimum pik pozisyonunda küçük bir miktar kayma meydana gelmiştir. Özellikle Na katkılı yapılarda wurtzite yapının maksimum pik şiddeti oldukça düşmüştür. Böylece iyonik çap olarak Zn’ye yakın değere sahip Na iyonlarının yüzeye iyi katkılanmış olduğu sonucuna varılabilir. Yüksek iyonik çapa sahip K iyonunun katkılanması ile kusurlu bölgelere gelen K sayısı arttığından pik şiddeti düşmüş ve maksimum şiddete sahip pik pozisyonunda bir miktar kayma meydana gelmiştir. Ca katkılı yapıların XRD spektrumunda katkısız yapılara göre belirgin bir değişiklik olmamıştır. Sonuç olarak, kullanılan teknik ve

parametrelerde, toprak alkali metal olan kalsiyum elementinin  $Ca^{+2}$  iyonu olarak yapıya katkısı gerçekleşmemiştir. XPS ölçümleri de bu sonucu desteklemiştir.



**Şekil 4. 1.** ZnO yapıların XRD spektrumları

Tablo 4.1, Tablo 4.2, Tablo 4.3’de ZnO yapıların ölçülen XRD parametrelerini vermektedir. 32,2, 34,8, 36,7, 47,9, 57,0, 63,2 ve 68,3 kırınım açlarına ( $2\theta$ ) karşılık gelen XRD pikleri, wurtzite ZnO yapının (100), (002), (101), (102), (110), (103) ve (112) düzlemlerinden gelen piklerle uyumludur (JCPDS No. 36-1451). Katkısız, Na ve K katkılı ZnO yapıların maksimum şiddetteki piklerine karşılık gelen düzlemler için hegzagonal kristal yapısına sahip wurtzite sistemin a ve c örgü parametreleri ve Scherrer denkleminde yararlanılarak D parçacık boyutu hesaplanabilmektedir;

$$\frac{1}{d^2} = \left[ \frac{4}{3} \times \frac{h^2+hk+k^2}{a^2} \right] + \frac{l^2}{c^2} \quad (5.1)$$

$$D = \frac{0.9 \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (5.2)$$

Burada  $\lambda$ , x- ışını dalgaboyu,  $\beta$ , yarı maksimum pik genişliği ve  $K$ , kristal biçimine bağlı bir sabit (genelde 0,9 alınır) ve  $\theta$ , Bragg açısıdır. Hesaplanan değerler Tablo 4.4'de verilmiştir.

**Tablo 4. 1.** Katkısız ZnO yapıların XRD ile ölçülen parametreleri

Kırınım Açısı [°2Th.]	Pik Yüksekliği [cts]	Yarı Maksimum Pik Genişliği [°2Th.]	d-Mesafesi [Å]	Bağlı Yoğunluk [%]
32,224(2)	918(35)	0,116(8)	2,77569	19,21
34,8963(4)	4779(59)	0,079(2)	2,56901	100,00
36,7143(9)	1891(38)	0,120(4)	2,44586	39,56
47,993(2)	598(22)	0,104(4)	1,89412	12,51
57,005(3)	303(17)	0,124(8)	1,61421	6,34
63,284(2)	696(19)	0,123(5)	1,46834	14,56
68,342(4)	231(13)	0,13(1)	1,37147	4,84

**Tablo 4. 2.** Na katkılı ZnO yapıların XRD ile ölçülen parametreleri

<b>Kırınım Açısı [°2Th.]</b>	<b>Pik Yüksekliği [cts]</b>	<b>Yarı Maksimum Pik Genişliği [°2Th.]</b>	<b>d-Mesafesi [Å]</b>	<b>Bağlı Yoğunluk [%]</b>
32,227(1)	968(34)	0,126(7)	2,77547	35,92
34,8928(6)	2695(46)	0,091(2)	2,56926	100,00
36,7120(8)	2122(38)	0,125(3)	2,44601	78,74
47,993(2)	550(22)	0,113(6)	1,89411	20,40
57,013(3)	337(17)	0,131(9)	1,61400	12,51
63,287(2)	612(18)	0,125(4)	1,46826	22,69
68,353(4)	225(12)	0,167(8)	1,37126	8,37

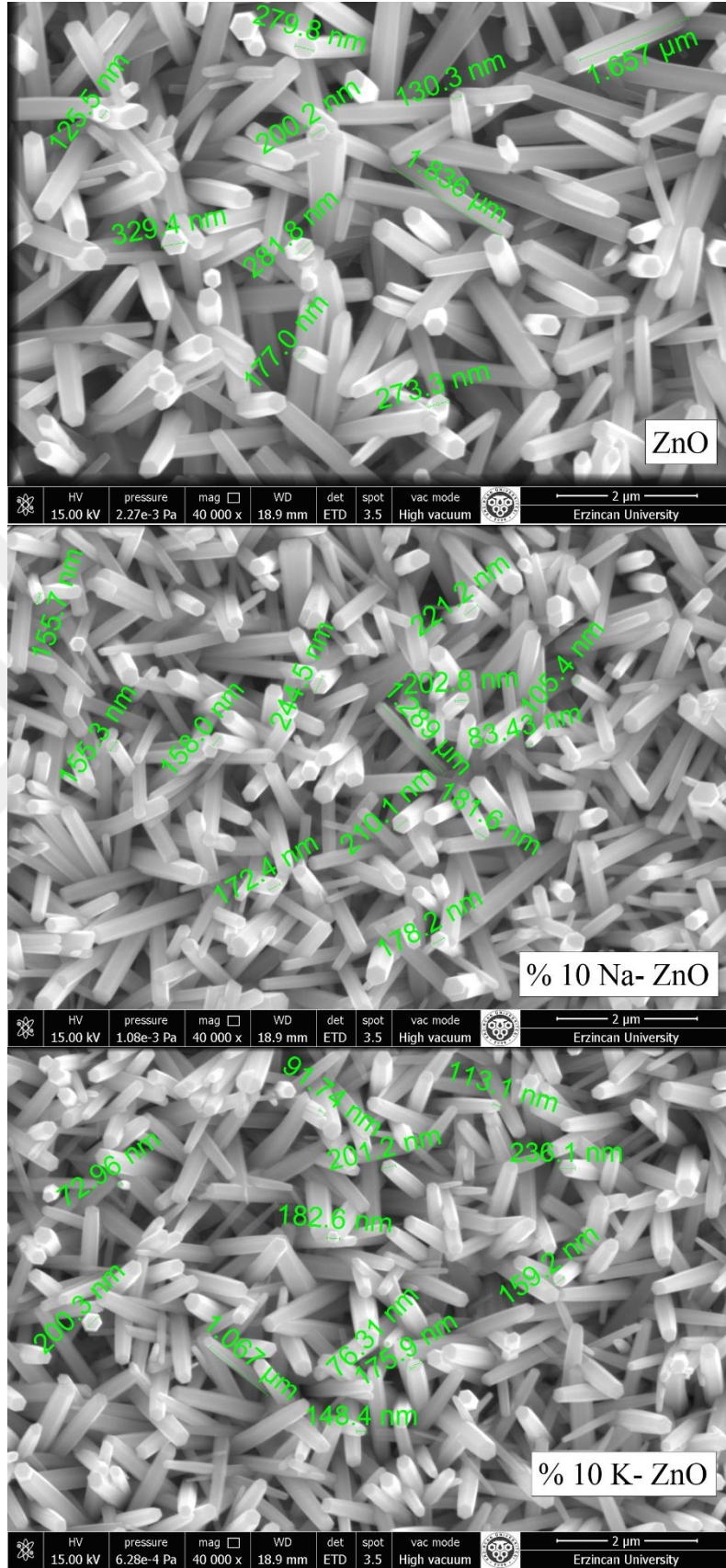
**Tablo 4. 3.** K katkılı ZnO yapıların XRD ile ölçülen parametreleri

<b>Kırınım Açısı [°2Th.]</b>	<b>Pik Yüksekliği [cts]</b>	<b>Yarı Maksimum Pik Genişliği [°2Th.]</b>	<b>d-Mesafesi [Å]</b>	<b>Bağlı Yoğunluk [%]</b>
32,2406	849,42	0,1087	2,77430	27,07
34,9107	3137,88	0,0788	2,56798	100,00
36,7246	2197,66	0,1134	2,44520	70,04
48,0073	640,03	0,1078	1,89358	20,40
57,0153	311,71	0,1338	1,61395	9,93
63,2959	737,78	0,1219	1,46808	23,51
68,3621	245,41	0,1521	1,37110	7,82

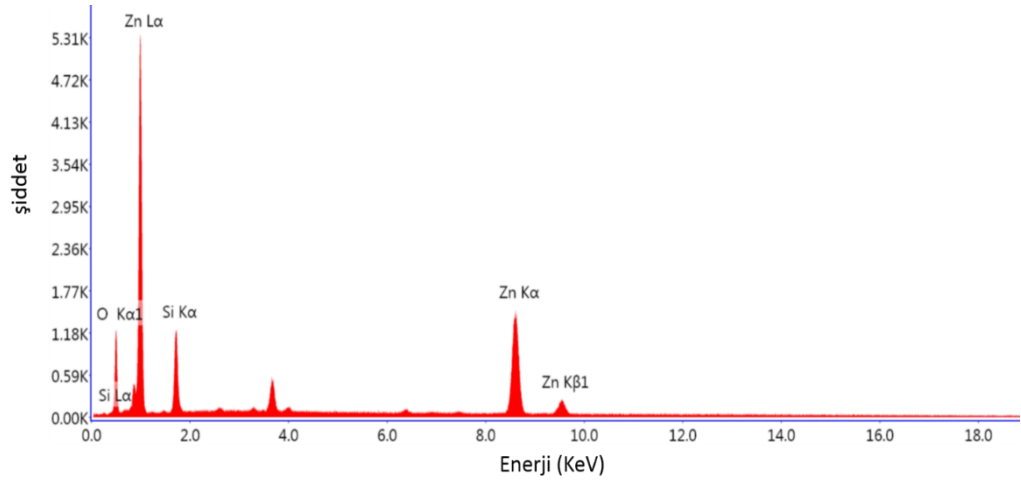
**Tablo 4. 4.** Katkısız ve Na, K katkılı ZnO yapıların hesaplanan örgü parametreleri ve kristal boyutu

Örnek	a[Å]	c[Å]	D(nm)
ZnO	3,2050	5,1380	110
% 10 Na-ZnO	3,2048	5,1385	96
% 10 K-ZnO	3,2034	5,1359	110

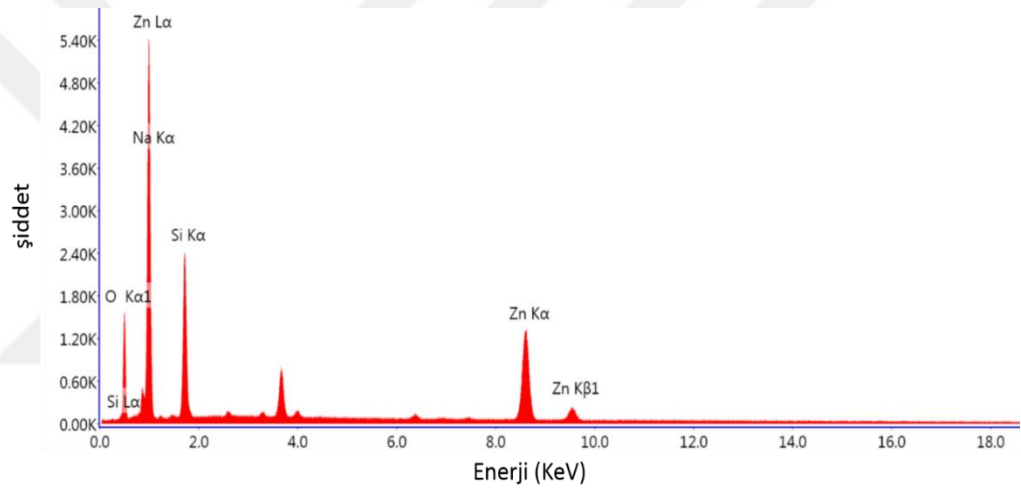
Katkısız, Na ve K katkılı ZnO yapıların yüzey morfolojisi Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Her bir yapının, amorf cam altlık üzerine sentezlenmesinden dolayı düzensiz dağılıma sahip mikron (100 nm üzerinde çapa sahip) ve nano (100 nm’den küçük çapa sahip) boyutta çubukların oluştuğu görülmektedir. ZnO nanoçubukların boyutu K katkılama ile belirgin bir değişiklik göstermezken, Na katkılama ile çubukların çap boyutlarında bir miktar azalma olmuştur. Katkısız yapı için tahmini ortalama çubuk boyutu 200-250 nm iken, bu değer Na katkılı çubuklar için 150-200 nm aralığındadır. Katkısız, Na ve K katkılı ZnO yapıların EDS spektrumları Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5’de verilmiştir. Katkısız, Na ve K katkılı yapıların spektrumlarının altlık malzemeden gelen silisyum, çinko, oksijen elementlerini ve katkılanan maddeyi içerdiği görülmektedir.



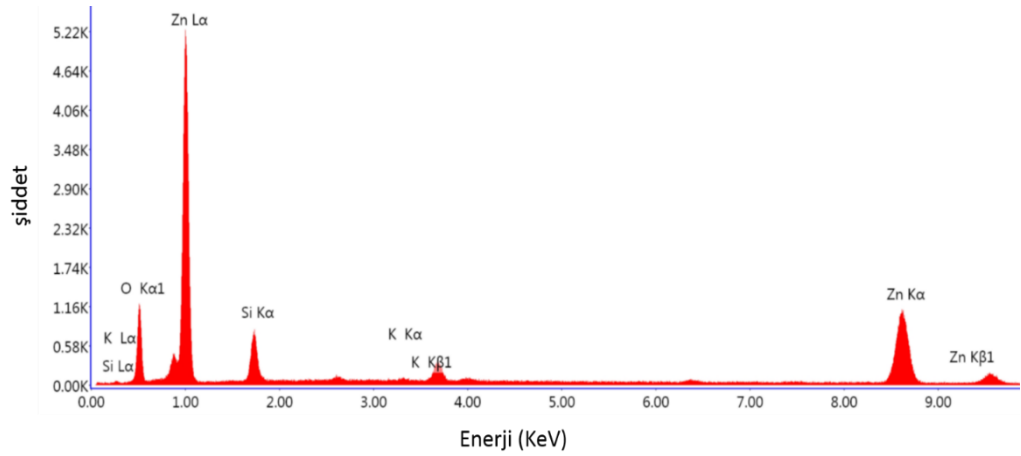
Şekil 4. 2. ZnO yapıların SEM görüntüleri



Şekil 4. 3. Katkısız ZnO yapıların EDS spektrumu



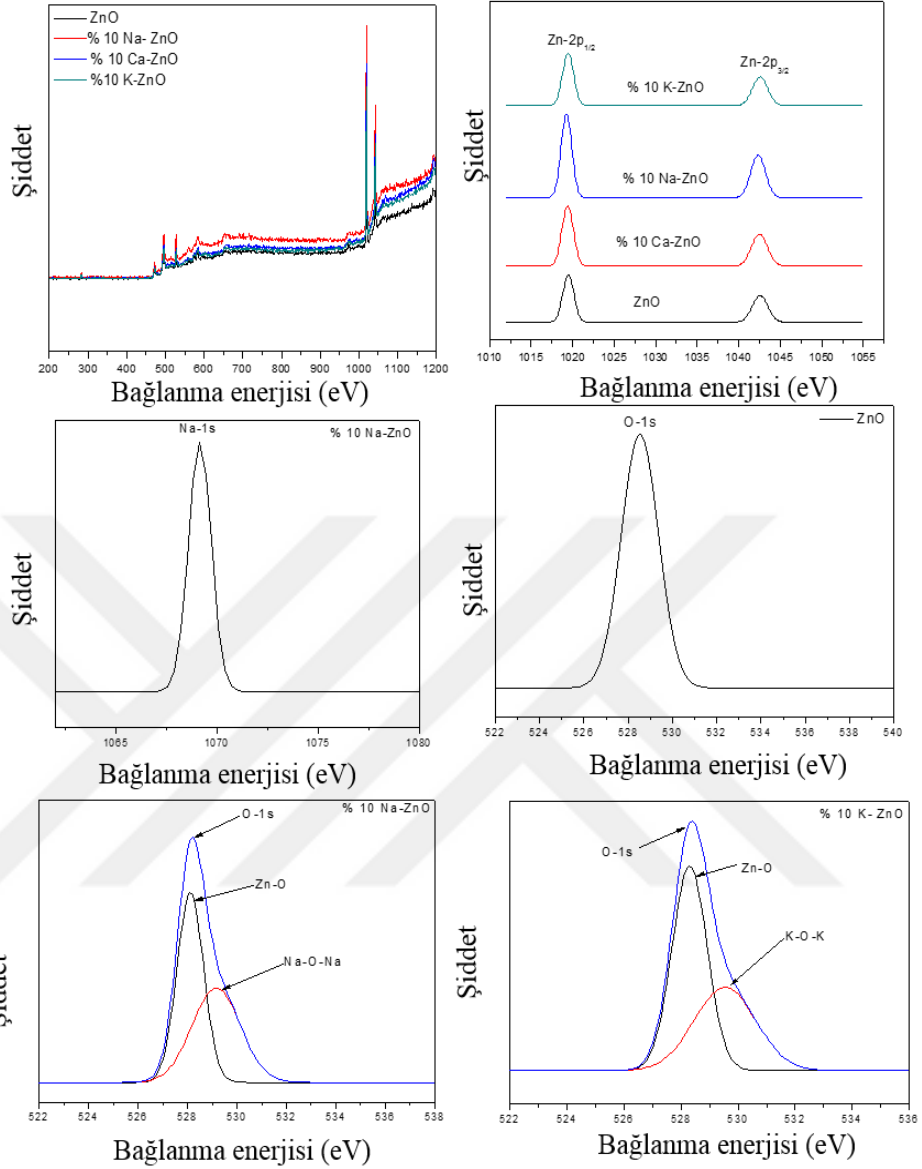
Şekil 4. 4. Na katkılı ZnO yapıların EDS spektrumu



Şekil 4. 5. K katkılı ZnO yapıların EDS spektrumu

Katkısız, Na ve K katkılı ZnO çubukların XPS ölçümleri Şekil 4.6'da verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi %10 Na katkılı yapıda Zn, O ve Na elementlerinin Zn 2p<sub>1/2</sub>, Zn 2p<sub>3/2</sub>, O 1s ve Na 1s pikleri sırasıyla 1019 eV, 1042 eV 528,5 eV ve 1068,8 eV'de literatürle uyumlu olarak ortaya çıkmıştır (Tüzemen vd., 2011; Saaedi vd., 2016). Bu sonuç Na iyonunun yapıya iyi bir şekilde katkılındığının bir kanıtıdır. Bununla birlikte %10 Ca katkılı yapılar için herhangi bir spektrum elde edilememesi ZnO'ya katkısının uygulanan deney parametrelerinde gerçekleşmediğini kanıtlamaktadır. Şekilde %10 Na ve K katkılı yapılarda oksijen pikleri Gauss fonksiyonu kullanılarak fit edilmiş ve 528,5 eV'deki ana pike, ek olarak 529,1 eV ve 529,5 eV'de elde edilen omuz pikleri sırasıyla ZnO, Na<sub>2</sub>O ve K<sub>2</sub>O'nun oksijen atomlarına atfedilmiştir. %10 K katkılı ZnO yapıda, K elementi için belirgin bir pik gözlenemezken oksijen spektrumundaki omuz piki yapının K<sub>2</sub>O olarak oluşabileceğini göstermektedir.





Şekil 4. 6. ZnO yapıların XPS spektrumları

#### 4.2. ZnO Yapıların Optik ve Fotokatalitik Özellikleri

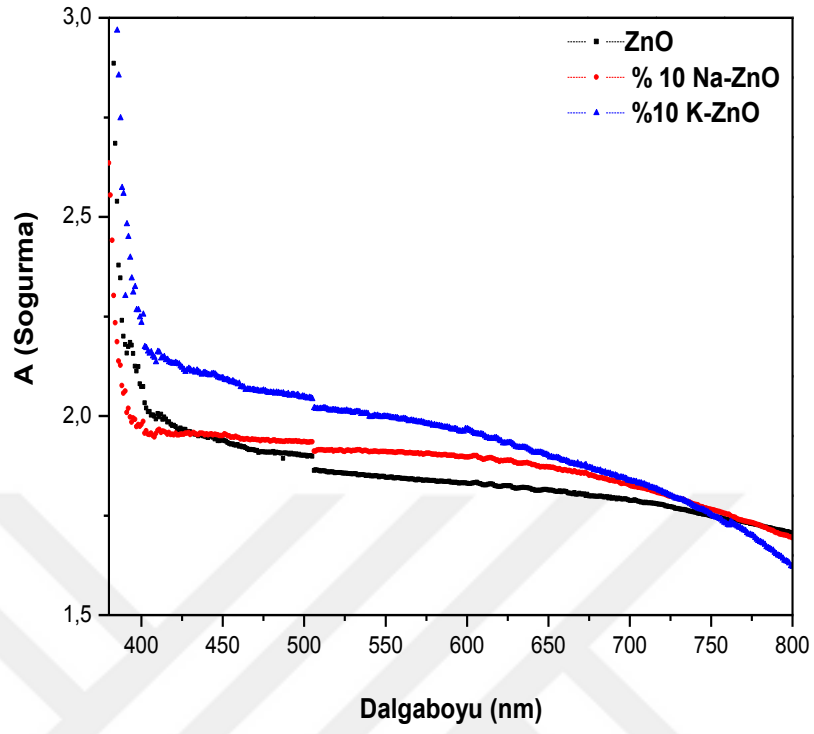
Katkısız, Na ve K katkılı ZnO çubukların 380-800 nm görünür dalgaboyu aralığında elde edilmiş soğurma spektrumları Şekil 4.7'de görülmektedir. Filmlerin hepsi yüksek soğurmaya sahiptir. Bu sonuç, ZnO çubuk dizilerinin yüzey boyunca cam altlığı kapattığı ve kalın filmler oluşturduğunu göstermektedir. ZnO, 3,2 eV'lik direkt enerji bant aralığına sahip wurtzite kristal yapıda bir yarıiletkenidir (Kayhan, 2011). Soğurma

spektrumları kullanılarak Tauc denklemleri yardımıyla yapıların optiksel enerji bant değerleri ( $E_g$ ) hesaplanabilmektedir;

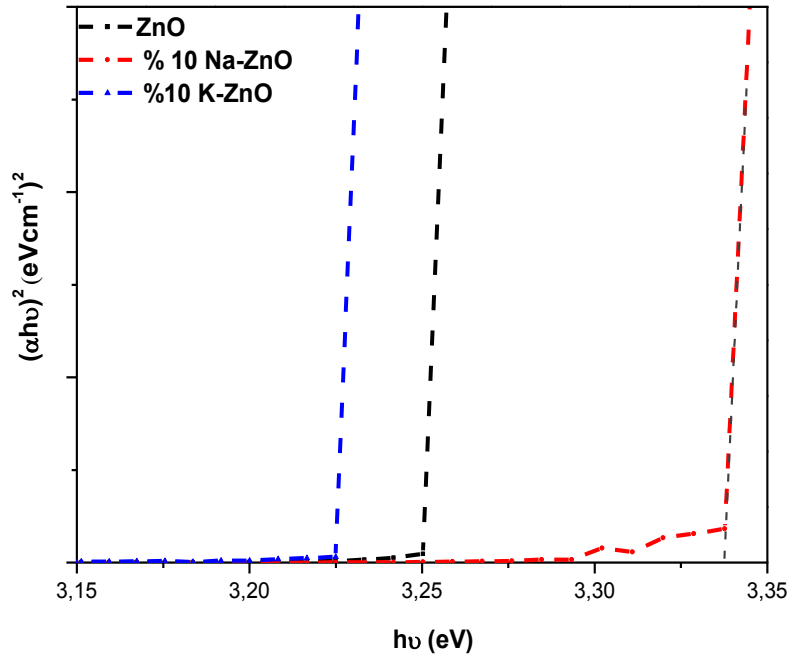
$$\alpha hv = A(hv - E_g)^n \quad (5.3)$$

Burada  $(hv)$  is foton enerjisidir.  $(\alpha hv)^{1/n} - (hv)$  grafiği çizildiğinde doğrusal kısmın x-eksenini kestiği noktaya gelen enerji değeri  $E_g$ 'yi verir. Burada  $n$  katsayısı direkt geçişler için 1/2, indirekt geçişler için 2 alınır. ZnO direkt geçişlere izin verdiğinden  $n=1/2$  alınır ve grafik  $(\alpha hv)^2 - (hv)$  şeklini alır.

Katkısız, Na ve K katkılı ZnO yapıların enerji bant diyagramları Şekil 4.8'de verilmiştir. Katkısız yapıların  $E_g$  değeri 3,25 eV olarak hesaplanmıştır. Na ve K katkılama ile  $E_g$  değeri sırasıyla 3,34 eV ve 3,23 eV olarak bulunmuştur. K katkılı yapılar için  $E_g$ 'de kayda değer bir değişiklik olmazken Na katkılama ile  $E_g$  değerinde belirgin bir artış meydana gelmiştir. Bu değişim Burstein-Moss etkisi ile açıklanabilir; oda sıcaklığındaki Zn atom noktalarında ve oksijen boşluklarında katkılı elementin artışıyla artan taşıyıcı konsantrasyonuna bağlı olarak enerji bant aralığında maviye kayma meydana gelmesi söz konusu olmakta ve soğurma artarak yüksek bant aralığı değerleri ortaya çıkmaktadır (GuoHeng vd., 2013).

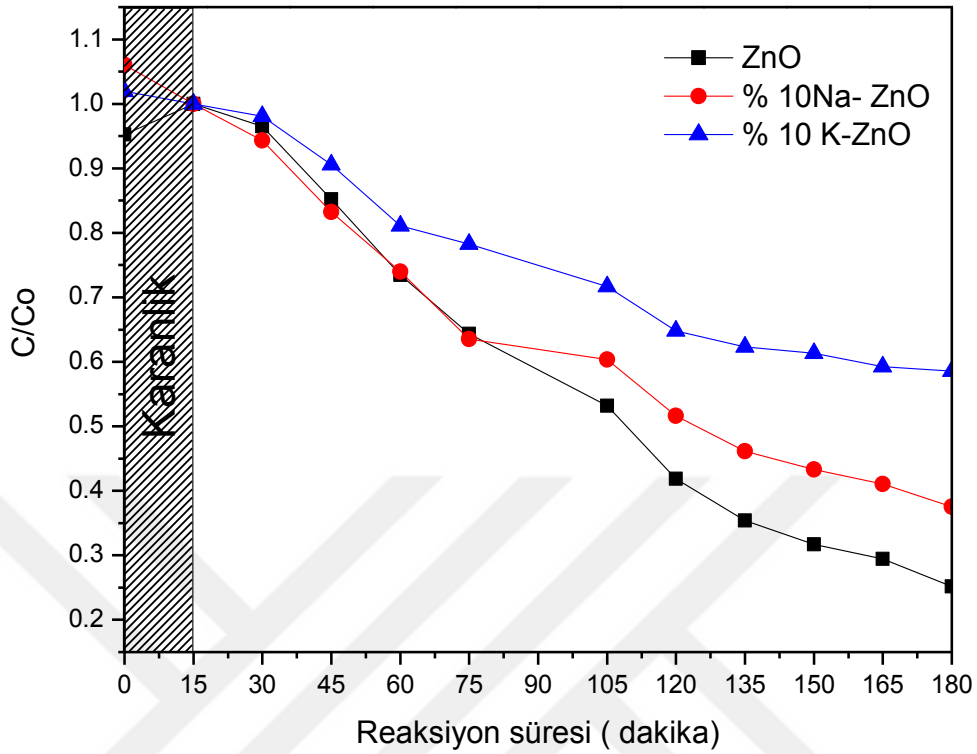


Şekil 4. 7. ZnO yapıların soğurma spektrumları



Şekil 4. 8. ZnO yapıların ve  $(\alpha h\nu)^2 - (h\nu)$  diyagramları

Katkısız, Na ve K katkılı ZnO çubukların fotokatalizör olarak kullanıldığı Rhodamine B'nin UV-A ışığı altında zamana göre giderimini veren spektrum Şekil 4,9'da görülmektedir. Katkısız, Na ve K katkılı ZnO yapıların fotokataliz ölçümleri, Luzchem-LZC-4X fotodedektör cihazı ile 350 nm dalga boyuna sahip UVA lambası aydınlatmasında, Rhodamine B'nin fotodegradasyonu gerçekleştirilerek elde edilmiştir. 6 mg/L'lik RhB'nin 50 ml sulu çözeltisi 15 dakika karanlıkta bekletilerek ilk ölçüm alınmıştır. Daha sonra filmler sulu çözelti içine daldırılarak 555 nm'de Rhodamine B'nin fotodegradasyonu UV-Vis spektrofotometre cihazı ile 180 dk boyunca aralıklı ölçülen soğurma değerlerinden yararlanarak belirlenmiştir. Fotokataliz ölçümler için kullanılan ışığın dalga boyu önemli bir parametre olduğundan yarı iletken malzemelerde yüzey reaksiyonlarının gerçekleşebilmesi için yüksek enerjili ve düşük dalga boylu UV-A aydınlatması ile deneyler gerçekleştirilmiştir (Aksoy, 2016). Şekil 4.8'de görüldüğü gibi en iyi fotokatalitik özelliği katkısız ZnO yapı göstermiştir. % 10 Na katkılı ZnO yapı başlangıçta katkısız ZnO yapı ile hemen hemen aynı fotodegradasyon oluştursa da, ilerleyen zamanlarda katkısız yapının, Na katkılı yapıya göre daha hızlı boyanın derişimin azalttığı açıktır. %10 K katkılı yapı ise çok daha az fotokatalitik özellik göstermiştir. 180 dakikalık aydınlanma zamanı sonrasında katkısız ZnO fotokatalizör, boyanın % 77'sini parçalarken, bu değer %10 Na katkılı ZnO fotokatalizör için % 63 ve % 10 K katkılı ZnO fotokatalizör için % 41'dir.

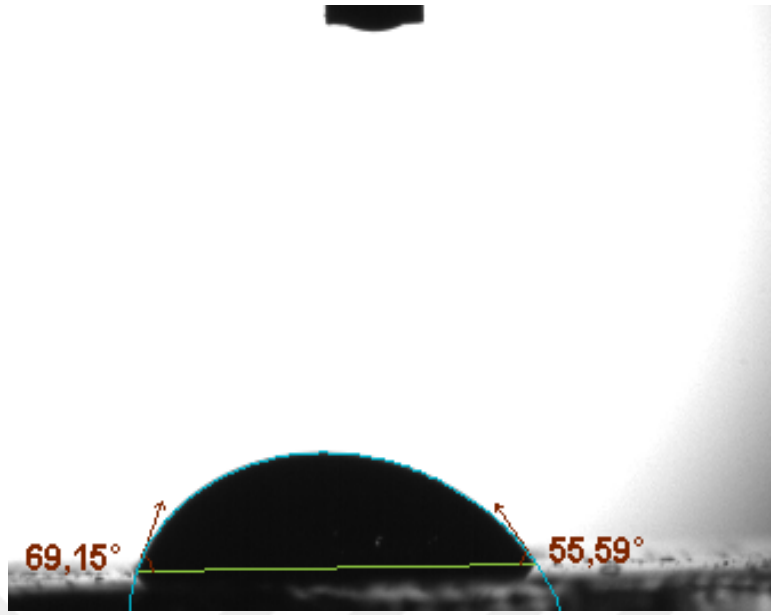


**Şekil 4. 9.** Rhodamine B'nin ZnO katalizör eşliğinde UV-A ışığı altında bozunma ve absorpsiyon şiddetindeki değişim grafiği

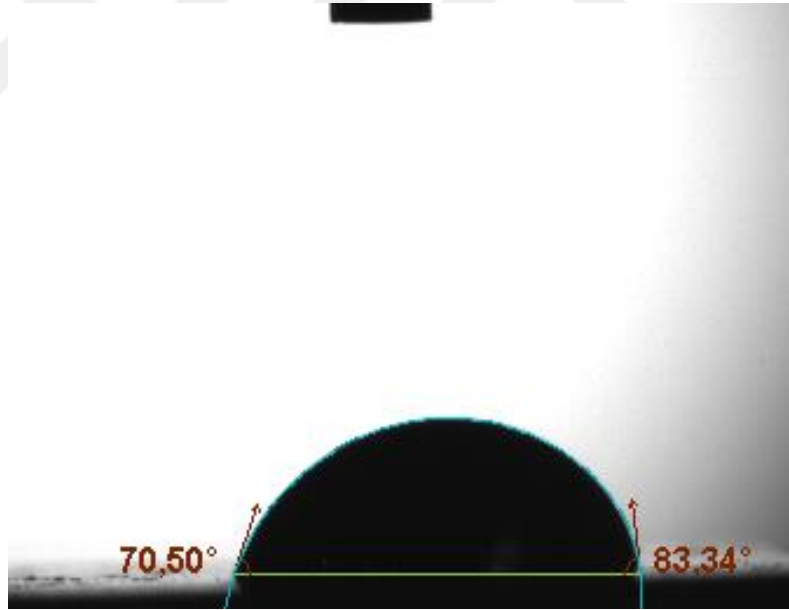
### 4.3. ZnO Yapıların Temas Açısı Ölçümleri

Hidrofilik malzemeler (su temas açısı (WCA <math><90^\circ</math>) mikro ve nano yüzeyler haline getirildiğinde hidrofobik (WCA >math>>90^\circ</math>) ve hatta süper hidrofobik yapıya (WCA >math>>150^\circ</math>) dönüştürülebilirler (Myint vd., 2013). Bazen yüksek hidrofilik (WCA <math><10^\circ</math>) kaplamalarda istenilebilir (Kenanakis vd., 2008). Normal şartlarda ZnO yapıların genellikle hidrofilik olduğu bilinmekle birlikte (Min vd., 2007) yüksek hidrofilik yapıya sahip ZnO filmlerin iyi fotokataliz özellikleri gösterdiği literatürde bildirilmiştir.

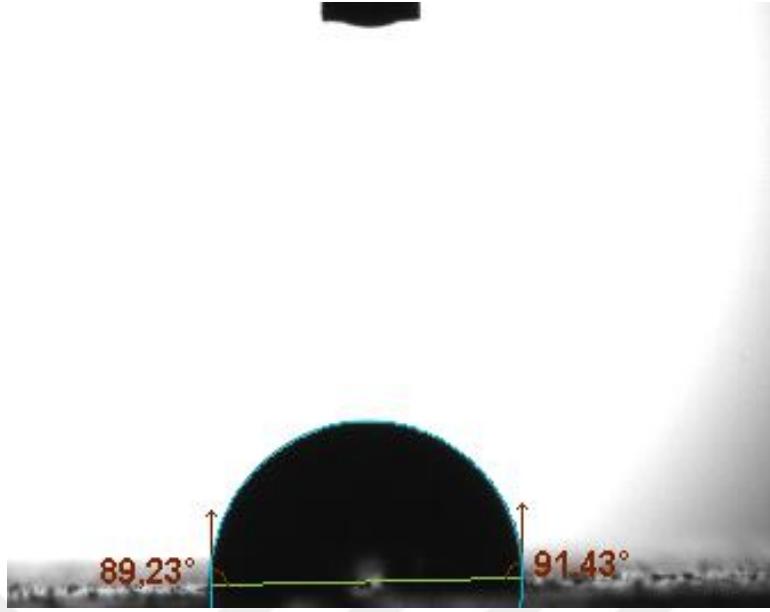
Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12'de katkısız, Na ve K katkılı ZnO çubukların hidrofilik-hidrofobik doğasını gösteren temas açısı ölçümleri görülmektedir. Filmlerin hepsi hidrofilik doğaya sahipken alkali metal katkılama ile temas açısı değerinin arttığı görülmektedir. Maksimum temas açısına sahip K katkılı yapılar hidrofilik-hidrofobik sınırında temas açısına sahiptir.



Şekil 4. 10. Katkısız ZnO yapıların temas açısı ölçümleri



Şekil 4. 11. Na katkılı ZnO yapıların temas açısı ölçümleri



**Şekil 4. 12.** K katkılı ZnO yapıların temas açısı ölçümleri

## 5. SONUÇLAR

Özet olarak bu tezde, kolay ve ekonomik bir teknik olan CBD tekniği ile çekirdek tabaka olmaksızın tek adımda ZnO çubuk dizileri sentezlenmesi ve Na, K, Ca katkısının ZnO yapının özellikleri üzerindeki etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. ZnO yapıya iyonik çapı Zn iyonuna yakın değere sahip olan Na iyonu başarıyla katılırken, Ca katkısının varlığı XRD ve XPS ölçümlerinde elde edilememiştir. Zn iyonuna göre oldukça yüksek iyonik çapa sahip K iyonu ise XRD spektrumlarında şiddet ve kırınım açısı ile katkısız yapıya göre farklılıklar göstermiştir. Ayrıca XPS sonuçlarında K<sub>2</sub>O olduğu düşünülen oksijen omuz piki elde edilmiştir. ZnO yapıların yüzey morfolojisi ortalama çap boyutları birbirine yakın çubuk dizilerinden oluşmaktadır. Na katkısı ile çubuk çapı bir miktar azalmıştır. Katkısız ve K katkılı çubuk dizileri ortalama 110 nm kristal boyutuna sahipken, Na katkılı çubuk dizilerinin ortalama kristal boyutu 96 nm olarak hesaplanmıştır. Na katkısı ile yapının enerji bant aralığı bariz miktarda artarken, K katkısı ile küçük bir miktar azalma göstermiştir. Na katkılı ve katkısız ZnO yapı, Rhodamine B içinde ilk 75 dakika yakın fotokatalitik özellik gösterirken, sonraki 125 dakikada katkısız yapı daha iyi fotokatalitik performans göstermiştir. K katkılı yapılar diğerlerine göre daha düşük fotokatalitik performans göstermiştir. Tüm yapılar hidrofilik doğaya sahiptir. Bununla birlikte, K katkılı yapıların su ile temas açısı (WCA) diğerlerine göre daha yüksektir.

Sonuç olarak, bir konveksiyonel fırında basit bir kimyasal yöntemle ve uygulanan parametrelerde, Na iyonu ZnO yapısına başarıyla katılmıştır ve Na katkısı ile enerji bant aralığı artmıştır. Böylece, Na katkılı ZnO çubuk dizileri, genişleyen bant aralığı ile birçok potansiyel uygulamada, katkısız ZnO çubuk dizilerine göre daha yüksek performans sergileyebilir.



## KAYNAKLAR

Akbaş, A. M. (2015) “Çinko Oksit (ZnO) İnce Filmlerin Sentezlenmesi ve Fotovoltaik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi*, Ankara, 7-44.

Aksoy, M. (2016 ) “Sünger Benzeri Ağ Yapılı ZnO Fotokatalizör Malzeme Üretimi ve Fotokatalitik Verimin Model Bir Herbisit Üzerinde Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Teknik Üniversitesi*, Gebze, 1-43.

Ateş, H. ve Bahçe, E. (2015) “Nano Malzemeler için Üretim Yöntemleri”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2), 483-499.

Ayhan, A. (2004) “Yeni Bir Teknolojik Çağın Kapısı Aralanırken Nanoteknoloji”, *İpek Yolu Dergisi*, 194, 14-20.

Aytaç, A. ve Malayoğlu, U. (2018) “Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemlerinden İnce Film Kaplamaların Karşılaştırılması”, *The Journal of Defense Sciences*, (17), 1303-6831, 2148- 1776.

Bekir, E. (2011) “Hidrotermal Yöntemle Sentezlenen Nano Metal Oksitlerin Fotokatalitik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 5-67.

Bulun, G. (2010) “3d-GEÇİŞ Metali Ni katkılı Zn1-Xnixo ve 4f-lântanit Gd Katkılı Zn1-Xgdxo Bileşiklerinin Yapısal Ve Manyetik Özellikleri”, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 1-110.

Dickinson, M. and Scott T. (2010) “The Application Of Zero Valent Iron Nanoparticles For The Remediation Of a Uranium-Contaminated Waste Effluent” *Journal of Hazardous Materials*, 178, 171–179.

Ebin, B. (2008) “Demir Nano Partiküllerinin Ultrasonik Sprey Piroliz ve Hidrojen Redüksiyonu Yöntemi ile Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 10-25.

Eren, O. (2006) ”Aliminyum Katkılı ZnO İnce Filmlerin Bazı Fiziksel Özellikleri”,Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 15-33.

Fujishima, A., Rao, T., N. and Tryk, D. A. (2000) “Titanium dioxide Photocatalysis”, *Photochem Photobiol Photochem Reviews*, 1, 1-21.

Gençer, Ö. (2009) “Bakır ve Bakır Oksit Nanopartiküllerinin Ultrasonik Sprey Piroliz (USP) Yöntemi İle Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 12-25.

Guo, M., Dia, P. and Cai, S. (2007) “Highly hydrophilic and superhydrophobic ZnO nanorod array films”, *Thin Solid Films*, (515) , 7162–7166.

Gürmen, S. ve Ebin, B. (2008) “Nano Partiküller ve Üretim Yöntemleri “Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 21-35.

Herrmann, J. M. (1999) “Fundamentals and Applications to the Removal of Various Types of Aqueous Pollutants”, *Heterogeneous Photocatalysis*, 53, 115-129.

Huang, C., Shang Lien L. and Lien H.L. (2012) “Zero-Valent Copper Nanoparticles For Effective Dechlorination Of Dichloromethane Using Sodium Borohydride As A Reductant”, *Chemical Engineering Journal*, 95- 100.

İkbal, I. (2009) “Alev Sentezi ile Nano-Borik Asit Üretimi”,Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 11-26.

İstif, İ. (1995) ”Elektrohidrolik Bir Servosistemin Simülasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 21-38.

İstif, İ. (2003) ”Oransal Valf ve Hidrolik Silindirden Oluşan Bir Sistemin Tanılanması ve Konum Kontrolü”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 12-35.

Kara, K. (2008) “Atmalı Filtreli Katodik Vakum Ark Depolama Yöntemi ile P-tipi ZnO (çinko oksit) Üretimi ve Yapısal Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 1-39.

Kartal, C. (2015) ”Bakır Oksit Nanoyapılarının Upd Temeline Dayanan Elektrokimyasal Bir Yöntemle Atomik Seviye Kontrollü Sentezi ve Karakterizasyonu“, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 20-38.

Kartal, L. (2013) “İndüktif Enerji Kaynaklı Ultrasonik Sprey Piroлиз Sisteminde Nano-Metal, Nano-Metal Oksit ve Nano-Metal /Metal Oksit Karışık Tozları Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-56.

Kayhan, B. (2011 ) “Ni-Katkılı ZnO Nanokristal Filimlerin Elektriksel İletim Özelliklerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ahi Evran Üniversitesi*, Kırşehir, 10-70.

Kenanakis, G., Stratakis, E., Vlachou, K., Vernardou, D., Koudoumas, E. and Katsarakis, N. (2008) “Light-induced reversible hydrophilicity of ZnO structures grown by aqueous chemical growth”, *Applied Surface Science*, (254), 5695-5699.

Kim, J. C. and Kim B. K. (2004) “Synthesis Of Nanosized Tungsten Carbide Powder by The Chemical Vapor Deposition Process”, *Scripta Materialia*, 969-972.

Kim, Y. S., Linh L. T., Park E.S. and Chin S., (2012) “Antibacterial Performance of TiO<sub>2</sub> Ultrafine Nanopowder Synthesized by aChemical Vapor Condensation Method Effect of Synthesis Temperature and Precursor Vapor Concentration”, *Powder Technology*, 215-216, 195–199.

Köroğlu, M. (2012) "Ultrasonik Sprey Piroliz ve Hidrojen Redüksiyonu Yöntemi ile (Usp – Hr) Nano Yapılı Gümüş – Bakır Alaşım Partiküllerinin Üretimi", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-56.

Li, G., Hong Liu, H., Zhao, H. and Gao, Y. (2011) "Chemical Assembly of TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> Ag Nanoparticles on Silk Fiber to Produce Multifunctional Fabrics", *Journal of Colloid and Interface Science*, 307-315.

Li, Z., Huang, X., Liu, J., Li, Y. and Li, G. (2008) "Morphology Control and Transition of ZnO Nanorod Arrays", *Simple Hydrothermal Method Materials Letters*, 10-11, 1503-1506.

Morkoç Karadeniz, S., Çirak, B., Kiliç, T., Çirak, Ç., İnal, M., Turgut, Z., Ekinci, A.E. ve Ertuğrul, M. (2016) "A Comparative Study on Structural and Optical Properties of ZnO Micro-Nanorod Arrays Grown on Seed Layers Using Chemical Bath Deposition and Spin Coating Methods", *Electronic And Optical Materials*, 22(4), 4-37.

Myint, T. Z., Kumar, N. S., Hornyak, G. L. and Dutta, J. (2013) "Hydrophobic/hydrophilic switching on zinc oxide micro-textured surface", *Applied Surface Science*, (264), 344-348.

Özbayraktar, L. N. (2006) "Atmalı Plazma Katodik Ark Yöntemiyle Elde Edilmiş ZnO (Çinko Oksit) İnce Filmlerde Fotoiletkenlik", Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 33-92.

Özcan, G. (2016) "Farklı Alttabanlar Üzerinde Cds Yarıiletken İnce Filmlerin Elde Edilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin, 5-36.

Özdemir, M. D. (2006) "Atmalı Plazma Katodik Ark Yöntemi ile Elde Edilen ZnO İnce Filmlerin Optik ve Yapısal Özellikleri", Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 20-46.

Özgür, Ü. (2005) "Comprehensive Review Of ZnO materials And Devices", *Journal of Applied Physics*, 98, 2-103.

Saaedi, A., Yousefi, R., Jamali-Sheini, F., Khorsand Zak, A., Cheraghizade, M., Mahmoudian, M.R., Baghchesara, M.A., Dezaki, A.S. (2016) "XPS studies and photocurrent applications of alkali-metals-doped ZnO nanoparticles under visible illumination conditions", *Physica E*, 79, 113–118.

Sheppard, C. J. (2002) "Structural and Optical Characterization of  $\alpha$  Si H and ZnO Rand", *Afrikaans University Faculty of Science*, Mgister Scientiae in Physics, 95.

Sönmezoglu, S. (2012) "İnce Film Üretim Teknikleri", *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(5), 389-401.

Taktakoğlu, R. ve Kavak, H. (2016) “Elektrokimyasal Yöntemle ZnO İnce Film Üretimi Ve Karakterizasyonu”, *Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 34-3, 3-7.

Toplan, H. Ö. (1998) “Kimyasal Yöntemle Üretilen Düşük Voltajlı Varistörlerin Mikro yapısal ve Elektriksel Özelliklerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri*, Sakarya, 11-27.

Tütünoğlu, Ç. (2013) “Nanoteknolojik Prosesler ile Nikel Tozu Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 23-31.

Tüzemen, E.Ş., Şahin, H., Kara, K., Elagöz, S., Debajeet, B., Esen, R. (2011) “XRD, XPS, and optical characterizations of Al-doped ZnO film grown on GaAs substrate”, *Turkish Journal of Physics*, 38,111–117.

Udom, I., Ram, M.K., Stefanakos, E.K., Hepp, A.F., and Goswami, D.Y. (2013) “One dimensional-ZnO nanostructures: Synthesis, properties and environmental applications” *Materials Science in Semiconductor Processing*, 16-6, 2070-2083.

Uzun, Ş. (2012) “Sol-Gel Yöntemiyle Büyütülen İndiyum Katkılı Çinko Oksit Filmlerin Elektriksel ve Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 2-39.

Whang, T. J., Hsieh M. T. and Chen H., (2012) “Visible-light Photocatalytic Degradation of Methylene Blue With Laser-induced Ag/ZnO Nanoparticles”, *Applied Surface Science*, 258, 2796– 2801.

Yaylacı, E. (2018) “Canci, U., CBD Yöntemiyle Hazırlanmış Katkılı ve Katkısız CdS İnce Filmlerin Elektriksel ve Optik Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Teknik Üniversitesi İleri Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze, 12-29.

Yazıcı, E. (2009) “Ultrasonik Sprey Piroliz Tekniği İle Küresel Gümüş NanoPartiküllerinin Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 12-25.

Yıldırım, E. (2013) “ZnSe Yarıiletken İnce Filmlerinin Karakterizasyonu ultrasonik”,Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin, 21-110.

Yuan, G., Jiang H., Lin C. and Liao S. (2007) “Shape and size controlled electrochemical synthesis of cupric oxide nanocrystals”, *Journal of Crystal*, 303, 400–406.

## **EKLER**

### **EK- 1. Tez Çalışması Süresince Yapılan Akademik Çalışmalar**

**Bölükbaşı Çıplak, H. K.,** Morkoç Karadeniz, S. and Ekinci, A. E. (2019) “Kolay Kimyasal Yöntemle Sentezlenen ZnO Mikro ve Nano Çubukların Yapısal, Morfolojik Optik ve Fotokatalitik Özelliklerinin Araştırılması”, *3<sup>rd</sup> International Congress of Applied Sciences*, 1.



## ÖZGEÇMİŞ

Hatice Kübra BÖLÜKBAŞI ÇIPLAK 31 Temmuz 1988 yılında Malatya’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Malatya’da tamamladı. 2009 yılında Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünden mezun oldu. 2014 yılında Erzincan Üniversitesi’nde tezli yüksek lisans eğitimine başladı.

