

T.C.
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİMYASAL BANYO BİRİKTİRME TEKNİĞİ İLE FARKLI
PARAMETRELERDE BÜYÜTÜLEN ZnO NANOYAPILARIN
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Merve ÖZTURAN YEŞİLYURT

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Sibel MORKOÇ KARADENİZ

FİZİK ANABİLİM DALI

ERZİNCAN
2019
Her Hakkı Saklıdır.

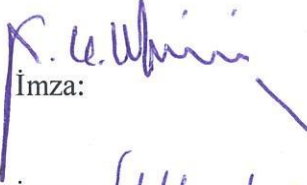
Kabul ve Onay Sayfası

Dr. Öğr. Üyesi Sibel MORKOÇ KARADENİZ danışmanlığında, Merve ÖZTURAN YEŞİLYURT tarafından hazırlanan bu çalışma 28/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Ali Ercan EKİNCİ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Sibel MORKOÇ KARADENİZ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Demet İSKENDEROĞLU

İmza: 

İmza: 

İmza: 

Yukarıdaki sonuç Enstitü Yönetim Kurulunun 06 / 09 / 2019 tarih ve 36 / ... 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 Etiğe Uygunluk Sayfası

“KİMYASAL BANYO BİRİKTİRME TEKNİğİ İLE FARKLI PARAMETRELERDE BÜYÜTÜLEN ZnO NANOYAPILARIN ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI” isimli “Yüksek Lisans” tezini 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.
28/08/2019

Merve ÖZTURAN
YEŞİLYURT

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KİMYASAL BANYO BİRİKTİRME TEKNİĞİ İLE FARKLI PARAMETRELERDE BÜYÜTÜLEN ZnO NANOYAPILARIN ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Merve ÖZTURAN YEŞİLYURT

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Sibel MORKOÇ KARADENİZ

Bu tezde, ZnO nanoyapılar basit ve ekonomik bir sentezleme tekniği olan Kimyasal Banyo Biriktirme tekniği ile herhangi bir çekirdek tabaka olmaksızın cam altlıklar üzerine sentezlenerek konsantrasyon ve sıcaklık parametrelerinin yapı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Elde edilen yapıların tümü wurtzite kristal yapısına sahiptir. Konsantrasyon ve sıcaklık parametrelerine bağlı olarak farklı morfolojilerde mikro-nanoçubuk ZnO yapılar ve mikro-nano çubuk, tüp ve tabakalı yapıların bir arada olduğu ZnO hibrit yapılar elde edilmiştir. Yapıların optiksel enerji bant aralığı 3,76–3,93 eV aralığında hesaplanmıştır. En iyi fotokatalitik performansı 200 C’ de sentezlenen yapılar vermiştir.

2019, 52 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Çubuk, Kimyasal Banyo Biriktirme, Tüp, Tabaka, ZnO

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF PROPERTIES OF ZnO NANOSTRUCTURES GROWTH BY CHEMICAL BATH DEPOSITION TECHNIQUE AT DIFFERENT PARAMETERS

Merve ÖZTURAN YEŞİLYURT

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

Supervisor: Assist Prof. Dr. Sibel MORKOÇ KARADENİZ

In this thesis, ZnO nanostructures were synthesized on unseeded glass substrates by a simple and economic Chemical Bath Deposition technique and it was investigated effect of the concentration and temperature parameters on the structures. All of the films have wurtzite crystal structure. The structures were obtained in the different morphologies such as unique micro-nano rod, tube and sheet hybrid forms depending on the parameters of concentration and temperature. The optical energy bands of the structures were calculated between 3,76 – 3,93 eV. The structures which is synthesized at 200 C indicated best photocatalytic performance.

2019, 52 Pages

Keywords: Chemical Bath Deposition, Rod, Sheet, Tube, ZnO

TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın gerekleőtirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaőan ve yardımlarını hibir zaman esirgemeyen, kendisine ne zaman danıősam bana kıymetli zamanını ayırıp; sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan, her sorun yaőadıęımda yanına çekinmeden gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen ve gelecekteki mesleki hayatımda da bana verdiği değerli bilgilerden faydalanacağımı düőündüęüm kıymetli ve danışman hoca statüsünü hakkıyla yerine getiren Dr. Öğr. Üyesi Sibel MORKOÇ KARADENİZ' e teőekkürü bir borç biliyor ve őükranlarımı sunuyorum.

Fizik Anabilim Dalı Baőkanı Prof. Dr. Ali Ercan EKİNCİ' ye çok değerli katkılarından dolayı en içten dileklerle teőekkürü ederim.

Çalıőmalarım boyunca yardımlarını hiç esirgemeyen kıymetli laboratuvar arkadaőlarıma ve değerli hocam Doç. Dr. ağrı ÇIRAK' a sonsuz teőekkürü ve saygılarımı sunarım. Ayrıca kıymetli zamanını benim hazırladığım yüksek lisans tezime ayırıp değerlendireceği için Dr. Öğr. Üyesi Demet İSKENDEROğLU' na teőekkürü borç bilirim.

Hayatımın her evresinde bana hep yol gösterici ve destek olan, engin bilgi ve deneyimlerini her daim benimle paylaőan çok kıymetli ablam Doç. Dr. Meryem ÖZTURAN SAğIRLI' ya, teőekkrlerin az kalacağı; tüm zorlukları her zaman benimle birlikte göğüsleyen, beni bugünlere getiren, hayattaki en büyük őansım değerli annem Mahinur ÖZTURAN ve babam Turan ÖZTURAN' a, desteğini yürekten hissettiğim sevgili eőim Yusuf YEŞİLYURT' a minnettarım.

Merve ÖZTURAN YEŞİLYURT

Ağustos, 2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	2
2.1. Nanoteknoloji ve Nanoyapılar	2
2.1.1. Nanoteller (Nanowires)	5
2.1.2. Nanoçubuklar (Nanorods)	6
2.1.3. Nanotabakalar (Nanosheets).....	6
2.1.4. Nanotüpler (Nanotubes)	7
2.2. Hidrofobik ve Hidrofilik Yüzeyler	8
2.3. Metal Oksit Nanoyapılar	9
2.4. ZnO Nanoyapılar ve Özellikleri	9
2.4.1. Yapısal özellikleri	10
2.4.2. Optik özellikleri	13
2.4.3. Elektrik özellikleri.....	13
2.4.4. Fotokatalizör Özellikleri.....	13
2.5. ZnO Sentezleme Teknikleri	14
3. MATERYAL ve YÖNTEM	22
3.1. ZnO Filmlerin Sentezi	22
3.2. ZnO Filmlerin Karakterizasyonu.....	25
3.2.1. X-ışını difraktometresi ile yapı analizi.....	25
3.2.2. Taramalı elektron mikroskobu ile yüzey analizi.....	26
3.2.3. Ultraviyole – görünür bölge spektroskopisi ile optik analiz.....	27
3.2.4. Temas açısı ölçüm cihazı ile temas açısı tayini	27
3.2.5. Fotodedektör ile fotokatalitik ölçümler	28
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	30

4.1. ZnO Filmlerin Özellikleri	30
5. SONUÇLAR.....	45
KAYNAKLAR.....	46
EKLER.....	52
Ek-1. Tez Çalışması Süresince Yapılan Akademik Çalışmalar	52
ÖZGEÇMİŞ.....	53



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Nanoyapıların jenarasyonu (Bhushan, 2017; Goddard vd., 2002).....	3
Şekil 2.2. Nanoyapıların sentezleme yaklaşımı (Chen vd., 2008).....	4
Şekil 2.3. Nanotel güneş hücrelerinin geometrisi (a) Tükenme bölgesinin n tipi bir çekirdek ile p tipi bir kabuk arasındaki yükleri ayıran elektriksel alanın, elektriksel alanını gösteren radyal çekirdek, kabuk, nanotel güneş hücresinin diyagramı (b) Nanotel dizili güneş pillerinde ışık emilimini artıran ve yük ayrılmasını artıran uzunluk ölçeklerinin şeması (Dasgupta vd., 2014).....	5
Şekil 2.4. ZnO nanoçubuk dizilerinin galvanik hücre esaslı büyütme işleminin şematik gösterimi (Zheng vd., 2013).....	6
Şekil 2.5. ZnO nanotabakaların SEM resmi (Ariyanto vd., 2009)	7
Şekil 2.6. ZnO nanotüplerin SEM resmi (Fu vd., 2019).....	8
Şekil 2.7. (a) Çinko oksidin kristal yapısı (wurtzite), (b) çinko blende (zincblende), (c) Kaya tuzu (Rocksalt) (Bhakat ve Singh, 2012).....	10
Şekil 2.8. Düzlemlerin altıgen simetride işaretlenmesi (Feng, 2012).....	12
Şekil 2.9. Sol-Gel yöntemiyle iki sentez örneğini gösteren genel bakış; (a) koloidal sol filmler; (b) bir koloidal soldan elde edilen toz bir jele dönüştürülür (Znaidi, 2010)	15
Şekil 2.10. Spray Pyrolysis tekniğinin şematik gösterimi (Turgut vd., 2013)	16
Şekil 2.11. Döndürmeli Kaplama tekniğinin şematik gösterimi (Verma vd., 2017)	16
Şekil 2.12. Hidrotermal Tekniğin şematik gösterimi (Ramsay vd., 2000)	17
Şekil 2.13. CVD tekniği şematik gösterimi (Kumar vd., 2013).....	18
Şekil 2.14. Magnetron rf sputtering sistemi şematik gösterimi (Lee vd., 2013)	18
Şekil 2.15. PLD kurulumunun şematik diyagramı (Allen vd., 2009).....	19
Şekil 2.16. VLS sistemi şematik diyagramı (Alvi vd., 2013)	20
Şekil 2.17. CBD tekniği şematik diyagramı (Sakaoğlu, 2014)	21
Şekil 3.1. WiseStir model hassas terazide Nüve FN 400 marka etüv (altlıkları kurutma ve sentezleme)	22
Şekil 3.2. ZnO yapıları sentezleme şeması (Sakaoğlu, 2016).....	23
Şekil 3.3. ZnO yapıları tavlama için kullanılan Protherm marka kül fırın (Demir, 2019)	24
Şekil 3.4. ZnO yapıların tavlama aşamasındaki sıcaklığın zamana bağlı değişimi	24
Şekil 3.5. Panalytical Empyrean marka X-Işını difraksiyon cihazı.....	25
Şekil 3.6. FEI Quanta FEG 450 model taramalı elektron mikroskobu.....	26
Şekil 3.7. TETRA T80 + Model Uv-Vis Spektrofotometre.....	27
Şekil 3.8. Attension marka temas açısı ölçüm cihazı	28

Şekil 3.9. Luzchem, LZC-4X marka model fotodedektör	29
Şekil 4.1. Farklı sıcaklıklarda sentezlenen ZnO filmlerin XRD spektrumları	31
Şekil 4.2. Farklı konsantrasyonlarda sentezlenen ZnO filmlerin XRD spektrumları	32
Şekil 4.3. Farklı sıcaklıklarda sentezlenen ZnO filmlerin SEM resimleri	34
Şekil 4.4. Farklı konsantrasyonlarda sentezlenen ZnO yapıların SEM resimleri	35
Şekil 4.5. Farklı sıcaklıklarda sentezlenen ZnO filmlerin görünür bölge soğurma spektrumları	36
Şekil 4.6. Farklı sıcaklıklarda sentezlenen ZnO filmlerin $(\alpha h\nu)^2-(h\nu)$ diyagramları	37
Şekil 4.7. Farklı konsantrasyonlarda sentezlenen ZnO filmlerin görünür bölge soğurma spektrumları	38
Şekil 4.8. Farklı konsantrasyonlarda sentezlenen ZnO filmlerin $(\alpha h\nu)^2-(h\nu)$ diyagramları	38
Şekil 4.9. Farklı sıcaklıklarda sentezlenen ZnO filmlerin su temas açısı (WCA) resimleri	40
Şekil 4.10. Farklı sıcaklıklarda sentezlenen ZnO film eşliğinde Rhodamine B'nin Uv-A ışığı altında giderimi	41
Şekil 4.11. Farklı konsantrasyonlarda sentezlenen ZnO filmlerin WCA resimleri	42
Şekil 4.12. Farklı konsantrasyonlarda sentezlenen ZnO film eşliğinde Rhodamine B'nin Uv-A ışığı altında giderimi	43

TABLolar LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Nanomalzemelerin boyutlarına göre kategorileri (Filipponi ve Sutherland, 2012)	3
Tablo 2.2. Üç boyutta yedi kristal sistemi ve bravais örgüleri (Aydoğan, 2011).....	11
Tablo 4.1. Sıcaklık değişimine bağlı sentezleme parametreleri	31
Tablo 4.2. Farklı sıcaklıklarda sentezlenen ZnO filmlerin (002) c-eksen yönelimi için XRD verilerinden hesaplanan değerler	31
Tablo 4.3. Konsantrasyon değişimine bağlı sentezleme parametreleri.....	32
Tablo 4.4. Farklı konsantrasyonlarda sentezlenen ZnO yapıların (002) c-eksen yönelimi için XRD verilerinden hesaplanan değerler	33
Tablo 4.5. Farklı sıcaklıklarda sentezlenen ZnO filmlerin WCA ölçümleri.....	41
Tablo 4.6. Farklı konsantrasyonlarda sentezlenen ZnO filmlerinWCA ölçümleri.....	43

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

α	Soğurma katsayısı
β	Yarı maksimum pik genişliği
δ	Dislokasyon yoğunluğu
ϑ	Bragg açısı
λ	X-ışını dalga boyu
A	Soğurma
CdO	Kadmiyum oksit
Cu_2O	Bakır oksit
D	Parçacık boyutu
E_g	Enerji bant değeri
eV	Elektron volt
GaN	Galyum nitrit
$h\nu$	Fotonun enerjisi
In_2O_3	İndium oksit
M	Molar
mL	Mililitre
nm	Nanometre
SnO_2	Kalay oksit
t	Kalınlık
TiO_2	Titanyum dioksit
$Zn(NO_3)_2$	Çinko nitrat
ZnO	Çinko oksit
ZnS	Çinko sülfür
$ZnSe$	Çinko selenür

Kısaltmalar

<i>APCVD</i>	Atmosfer basıncında kimyasal buhar biriktirme tekniği
<i>CBD</i>	Kimyasal banyo biriktirme tekniği
<i>CBE</i>	Kimyasal ışın epitaksi
<i>CVD</i>	Kimyasal buhar biriktirme tekniği
<i>HMT</i>	Hexamethylenetetramine
<i>ITO</i>	İndium kalay oksit
<i>LED</i>	Işık yayan diyot
<i>LPCVD</i>	Düşük basınçta kimyasal buhar biriktirme tekniği
<i>MOCVD</i>	Metal organik kimyasal buhar biriktirme
<i>PLD</i>	Darbeli lazer yığıma tekniği
<i>PVD</i>	Fiziksel buhar biriktirme tekniği
<i>RF</i>	Püskürtme tekniği
<i>RhB</i>	Rhodaime B
<i>SEM</i>	Taramalı elektron mikroskobu
<i>Uv-A</i>	Ultraviyole lamba
<i>Uv-Vis</i>	Ultraviyole görünür spektrofotometresi
<i>VB</i>	Valans bandı
<i>VLS</i>	Buhar-katı-sıvı tekniği
<i>VPE</i>	Buhar faz epitaksi
<i>Vrs</i>	Rocksalt yapı
<i>Vw</i>	Wurtzite yapı
<i>WCA</i>	Su temas açısı
<i>XRD</i>	X-Işını Kırınımı

1. GİRİŞ

II-IV grup yarıiletkenler arasında olan ZnO (Çinko Oksit) 3,3eV'lik büyük bant aralığı ile oldukça önemli bir n tipi yarıiletken malzemedir (Wang vd., 2011; Alver vd., 2012). Son yıllarda ZnO yapılar, UV emisyon, iletkenlik, piezoelektrik, fotokatalizör ve gaz sensör özellikleri dolayısıyla oldukça ilgi çekici hale gelmiştir (Wang vd., 2011). Bu özellikler ZnO'yu çoğu uygulamalar için istenilen materyal yapmaktadır. Nano ve mikro boyutta ZnO teller, tüpler, kemerler ve çubukların büyütülmesi ve özellikleri içeren çoğu araştırmada ZnO yapının çalışılmasının önemine değinilmektedir (Chen vd., 2008). Boyut ve şekil kontrol edilerek ZnO nanoyapıların sentezi, potansiyel kullanımlar açısından fiziksel ve kimyasal özelliklerin kontrolü için çok önemlidir (Wang vd., 2011).

Nano ve mikro yapıda çeşitli morfolojilere sahip ZnO yapılar hazırlamak için çeşitli metotlar mevcuttur. ZnO sentezi sol-jel işlemi, CVD tekniği (Kimyasal Buhar Biriktirme), Hidrotermal Sentez, mikrodalga ısı saçılması, elektrodepozisyon gibi çeşitli metodlarla oluşturulabilmektedir (Chen vd., 2008; Liu vd., 2011). Bununla birlikte ekonomik ve basit bir yöntem olan CBD (Kimyasal Banyo Biriktirme) tekniği ile de ZnO nanoyapılar hazırlamak mümkün olduğu literatürde bildirilmiştir (Yi vd., 2007; Wang vd., 2008).

Bu çalışmada, CBD tekniği ile farklı parametrelerde ZnO nanoyapılar farklı sıcaklıklarda sentezlenmiş ve özellikleri araştırılacaktır. Genel olarak CBD tekniği ile solüsyonun pH değeri, sıcaklığı, molar oranı ve altlık değiştirilerek büyüme parametrelerinin kontrolü ile sentezlenen yapılar değişebilmektedir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Nanoteknoloji ve Nanoyapılar

Nanoteknoloji, genellikle birkaç atom veya atom grubu ile tanımlanan, en az bir boyutu 1-100 nm aralığında olan, nanometre ölçeğinde şekil ve boyut kontrolüyle cihazların, sistemlerin, yapıların üretimi, uygulaması, karakterizasyonu ve dizaynıdır (Filipponi ve Sutherland, 2012).

Bulk yapılara göre oldukça üstün özellikler gösteren nanoyapılar, en az bir boyutu 1-100 nm aralığında olan modern bilim ve teknolojiye oldukça fazla kullanılan, daha hızlı, daha ekonomik ve daha az enerji harcayan entegre devrelerin üretimini sağlayan yapılardır (Xia vd., 2003).

Genellikle parçacık, tüp, tel, çubuk, tabaka gibi birçok geometrik morfolojide üretilen nanoyapılar, quantum etkisinden dolayı çeşitli karakteristik özelliklere sahip olmaktadır ve iki boyutlu quantum duvar, bir boyutlu quantum teller ile sıfır boyutlu quantum noktalar olarak ortaya çıkmaktadır (Wang vd., 2008).

İki tip nanomateryal vardır (Filipponi ve Sutherland, 2012);

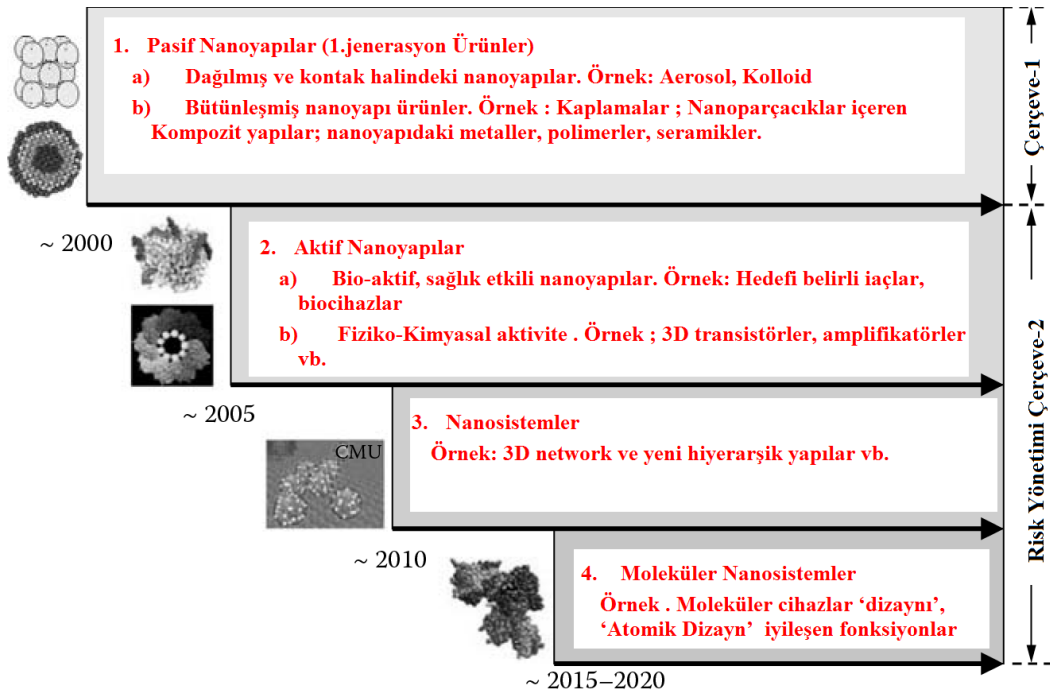
1. '*non-intentionally-made*' kasıtlı olarak yapılmayan kendiliğinden oluşan nanomaddeler ki bunlar çevrede doğal olarak oluşmuş (Protein, virüs, volkanik patlamalar sonucu oluşan nanoparçacıklar vs.) veya amaçsız insan aktiviteleri sonucu oluşmuş nanoparçacık ve maddelerdir (Dizel motor yanması sonucu oluşmuş nanoparçacıklar vs.).
2. '*intentionally-made*' kasıtlı olarak meydana getirilen nanomaddelerdir ki bunlar belirli fabrikasyon işlemleri sonucu üretirler.

Tablo 2.1. Nanomalzemelerin boyutlarına göre kategorileri (Filipponi ve Sutherland, 2012)

Nanomateriyal Boyutlar	Örnek
Üç boyutlu < 100 nm	Nanopartiküller, kuantum noktaları, nanokabuklar, mikrokapsüller
İki boyutlu < 100 nm	Nanotüpler, elyaf, nanoteller
Bir boyutlu < 100 nm	İnce filimler, katmanlar ve kaplamalar

Nanomaddeler küçük boyut etkisi, yüzey etkisi, quantum etkisi, mikroskobik quantum tünel etkisi gibi bulk maddeden farklı özelliklere sahiptir ve genellikle 3 formda sınıflandırılır. Bunlar; 0D (sıfır boyutlu), 1D (bir boyutlu) ve 2D (iki boyutlu) nano maddelerdir. Son zamanda kendiliğinden oluşmuş kompleks nanoyapılar (*self-assembly*) ile 1D ve 2D nanoyapıların (nanowire, nanorods, nanosheets gibi) birleşmesi ile oluşan 3D kompleks nanoyapıların sentezi de ilgi çeken araştırmalar arasındadır (Ma vd., 2015).

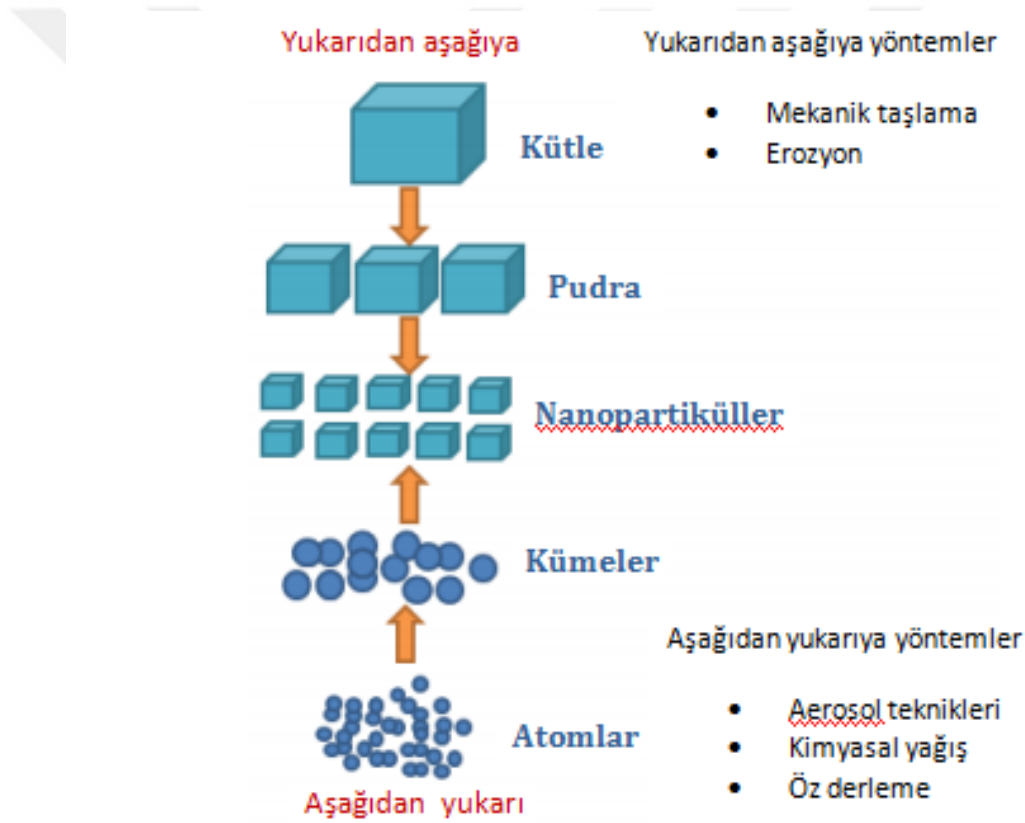
Nanoboyutta yeni ürünlerin sistematik kontrol ve üretim için nanoteknoloji Şekil 2.1' de verilen birbiri ardına gelen dört jenerasyonu içerir;



Şekil 2.1. Nanoyapıların jenerasyonu (Bhushan, 2017; Goddard vd., 2002)

Nanoyapıların fabrikasyonu ve nanomaddelerin sentezi için 2 yaklaşım vardır: yukarıdan aşağı ve aşağıdan yukarı (üstten alta, alttan üste) yaklaşımıdır. Yukarıdan aşağı yaklaşım; bulk malzemeyi nanoboyuta getirmek için dilimleme ya da ardışık kesme işlemini tercih eder, aşağıdan yukarı yaklaşım ise atom-atom, molekül-molekül ya da yığın-yığın olarak maddeyi inşa etmeyi tercih eder.

Örneğin milling yöntemi, nanoparçacık yapmak için klasik bir yukarıdan aşağı metodudur, buna karşın kolloidal dağılım yöntemi, nanoparçacık sentezlemede aşağıdan yukarı yaklaşım için iyi bir örnek teşkil eder ve her iki yaklaşım da nanoteknolojide önemli bir rol oynar (Chen vd., 2008).



Şekil 2.2. Nanoyapıların sentezleme yaklaşımı (Chen vd., 2008)

Nanoyapıların, elektrodepozisyon ve plazma elektroliz gibi elektrolit tabanlı tekniklerle ve hidroliz, hidrotermal, sol-gel (spin coating, spray pyrolysis vs.) gibi elektrolit içermeyen tekniklerle sentezlenebilmektedir (Aliofkhazraci ve Rouhaghdam, 2010).

Nanoçubuklar, nanoteller, nanotüpler ve nanotabakalar en çok sentezlenen ve teknolojide kullanım alanı bulunan nanoyapılar arasındadır.

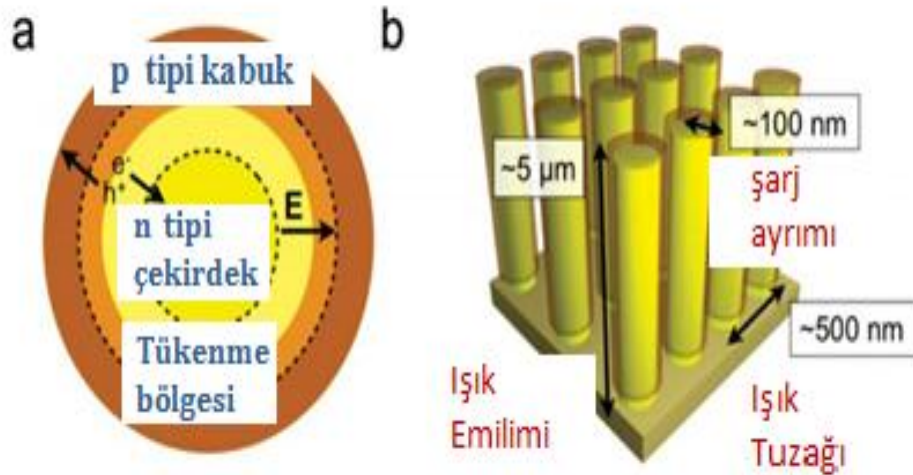
2.1.1. Nanoteller (Nanowires)

Nanoteller bir boyutta, anizotropik yapıda, çapları küçük olan ve büyük yüzey hacim oranına sahip yapılardır (Dresselhaus vd., 2007).

Bir boyutlu nano yapılar arasında yarıiletken nanotel yapılar elektronik cihazlara entegre olabilmeye kabiliyeti, düşük dalga boylu optiksel özellikleri, mekaniksel deformasyona yüksek dayanıklılık, doğadaki diğer mikroskobik ve nanoskobik sistemlerle arayüzey oluşturma kabiliyeti, yüksek yüzey-hacim oranı gibi oldukça eşsiz özelliklere sahiptir (Dasgupta vd., 2014).

3-D bulk kristallere göre üstün elektrik, optik ve manyetik özellikler gösterebilen küçük çaplarla sınırlandırılmış nanoteller, diğer düşük boyutlu sistemlerin aksine iki kuantum sınırlama yönüne ve elektrik iletimine izin veren bir serbest yöne sahiptir ki, bu durum nanotellerin tünelleme geçişleri yerine elektriksel iletkenlik uygulamalarında kullanılmasına daha çok kullanılmasına izin vermektedir (Dresselhaus vd., 2007).

Literatürde inorganik nanotellerin nanokristal ve karbon nanotüpler gibi sensör ve görüntüleme için kullanılabilen eşsiz manyetik, elektrik ve optik özelliklere sahip olduğu bildirilmiştir (Patolsky vd., 2006).

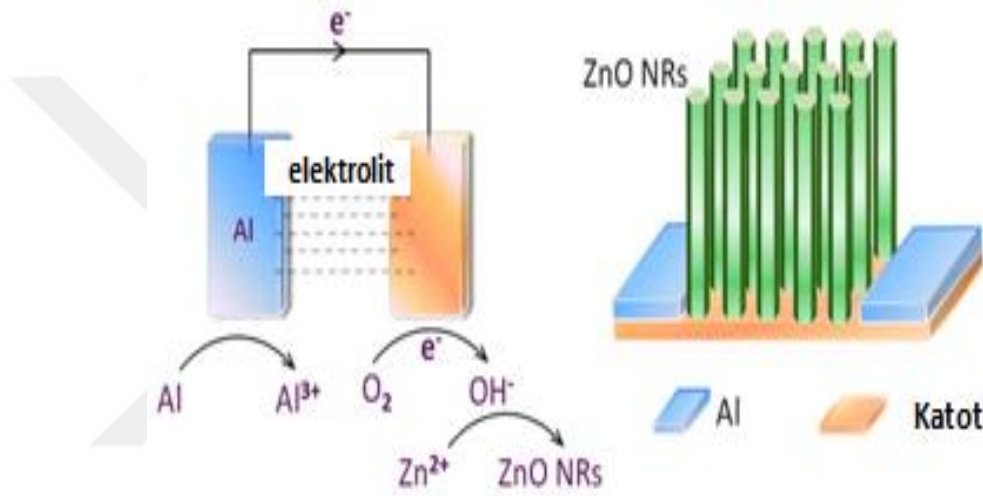


Şekil 2.3. Nanotel güneş hücrelerinin geometrisi (a) Tükenme bölgesinin n tipi bir çekirdek ile p tipi bir kabuk arasındaki yükleri ayıran elektriksel alanın, elektriksel alanını gösteren radyal çekirdek, kabuk, nanotel güneş hücresinin diyagramı (b) Nanotel dizili güneş pillerinde ışık emilimini artıran ve yük ayrılmasını artıran uzunluk ölçülerinin şeması (Dasgupta vd., 2014)

2.1.2. Nanoçubuklar (Nanorods)

Nanoçubuklar çapı 1-100 nm aralığında olan metal ya da yarıiletken madde olarak sentezlenebilen ve uzunluğun çapına oranı yaklaşık 3-5 katı kadar olan nanomateriyallerdir (Sadeghi, 2012).

Serbest dizilimli nanoçubuk veya nanotel yığınları bilgi depolama, katalizör, sensör, alan emisyon ve optoelektronik cihazlar gibi bir çok uygulama alanına sahiptir (Musselman vd., 2008).

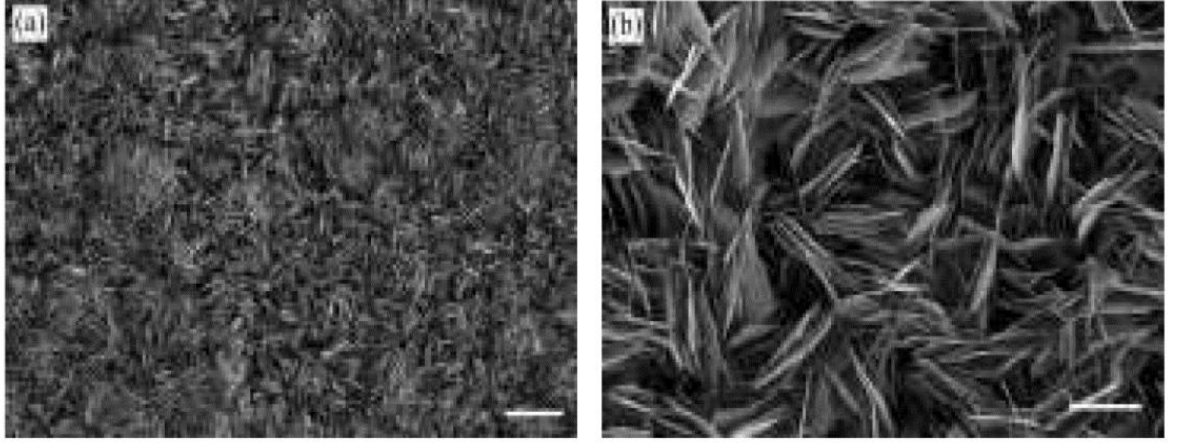


Şekil 2.4. ZnO nanoçubuk dizilerinin galvanik hücre esaslı büyütme işleminin şematik gösterimi (Zheng vd., 2013)

2.1.3. Nanotabakalar (Nanosheets)

Nanotabakalar nano ölçekte iki basamaklı kalınlığa sahip, yüksek en boy oranı (>106) olan, ayarlanabilir esneklik, yüksek geçirgenlik gibi eşsiz arayüzey ve mekaniksel özellikler gösteren yapılardır (Fujie ve Takeoka, 2014).

Enerji depolama, katalizör, lityum iyon pilleri gibi bir çok alanda kullanılan metal oksit nanotabakalar teknolojiye umut verici performans göstermektedir ve farklı koşullarda farklı kristal özelliklerinde ve boyutlarında kontrol edilebilir bir şekilde elde edilebilmektedir.

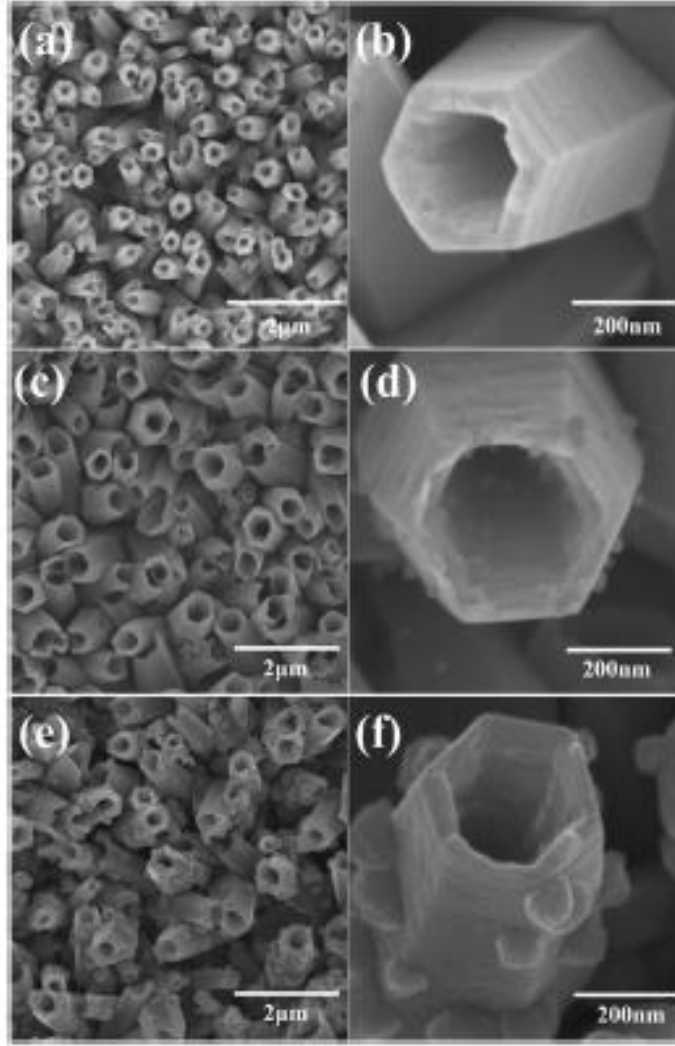


Şekil 2.5. ZnO nanotabakaların SEM resmi (Ariyanto vd., 2009)

2.1.4. Nanotüpler (Nanotubes)

Nanoboyutta ki maddelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri bulk maddeden farklıdır. Özellikle tüp geometrisine sahip nanomalzemeler düşük yoğunlukları, uzun mesafelerde hızlı elektron taşınımını kolaylaştıran bir boyutlu geometrisi, geniş spesifik gözenekli yüzey alanı, ışık emilimini ve saçılmasını önemli ölçüde artıran yüksek boy /çap oranı ile nanoteknolojide önemli bir yere sahiptir (Samadipakchin vd., 2017).

ZnO nanotüpler, hidrotermal sentezleme, buhar-faz büyütme, kimyasal-sıvı faz biriktirme ve elektrokimyasal metodlar gibi bir çok teknikle sentezlenebilmektedir (Kim vd., 2018).



Şekil 2.6. ZnO nanotüplerin SEM resmi (Fu vd., 2019)

2.2. Hidrofobik ve Hidrofilik Yüzeyler

Hidrofilik, suyu seven; hidrofobik ise suyu sevmeyen, sudan nefret eden demektir. Yüzeyler, suyla yaptıkları temas açısına göre, 90° den küçük açılarda, yani su damlası yüzeyde yayılma eğilimi gösteriyorsa hidrofilik yüzey; 90° den büyük açılarda, yani su damlası küresel bir şekilde durma eğilimi gösteriyorsa hidrofobik yüzey olarak adlandırılır (Özgür vd., 2007).

Temas açısını etkileyen en önemli faktörler ise katının yüzey enerjisi ve pürüzlülüğüdür ki, katı yüzeylerin serbest yüzey enerjisi düştükçe hidrofobik özellik artış gösterirken, yüzey pürüzlülüğünün artması ise, hidrofobik karakterin artmasına sebebiyet vermektedir (Özgür vd., 2007).

2.3. Metal Oksit Nanoyapılar

Metal oksitler kimya, fizik ve malzeme bilimi gibi çoğu alanda önemli role sahip olup, elektronik yapıları ile yapısal geometrilerinin sayısına göre metalik, yarıiletken ve yalıtkan karakter gösterebilmektedir (Fernandez-Garcia ve Rodriguez, 2011). Bununla birlikte elektronik, piezoelektrik, optoelektronik, manyetik, mekanik, termal, katalitik, fotokimyasal gibi eşsiz ve ayarlanabilir özellikleri olan nanomateryal tabanlı metal oksit yarıiletkenler, yakıt hücreler, ikincil pil maddesi, seramikler, kimyasal sensörler, gaz ve bio sensörler, solar hücreler, alkali ve lityum iyon pilleri, pyroelektrik, piezoelektrik, ferroelektrik, manyetik, süper kapasitörler, optiksel cihazlar, lazerler, yüksek HC süperiletkenler gibi çeşitli yüksek seviyedeki teknolojik uygulamalarda çokça kullanılmaktadır (Dar, 2015; Hussain, 2014).

Son yıllarda kolay kimyasal sentezleme ve muazzam uygulama potansiyeli ile devrim yaratan ZnO, TiO₂, CuO₂/Cu₂O, SnO₂, In₂O₃, CdO gibi yarıiletken metal oksit nanomaddeler, özellikle geçirgen iletken oksit olarak ve sensörler de fazlaca kullanılmakta olup, bunlar arasında ZnO ekonomik olması ve kolay elde etme özelliği ile ITO yerine kullanılabilir ideal alternatif materyal olarak düşünülmektedir (Bhakat ve Singh, 2012).

2.4. ZnO Nanoyapılar ve Özellikleri

Son yıllarda nanotel, nanoçubuk, nanotüp gibi nanoyapıdaki maddelerin sentezlenmesi ve uygulamaları elektronik, optik ve optoelektronik özelliklerinden dolayı oldukça fazla çalışılmaktadır ve bunlar arasında ZnO elektronik, optoelektronik, elektrokimyasal, elektromekaniksel endüstride çeşitli uygulamalarından dolayı çok önemli bir materyal haline gelmiştir (Dalvand, 2015).

3.37 eV' luk büyük bant Aralığı, 60 meV' lik büyük exciton bağlanma enerjisi ile önemli bir II-VI grup yarıiletken olan ZnO, güneş pilleri, gaz sensörler, UV sensörler, LED' ler, alan etkili transistörler, antibakteriyel etmenler, fotokatalizörler gibi birçok uygulama alanına sahiptir (Liu vd., 2015; Ma vd., 2015).

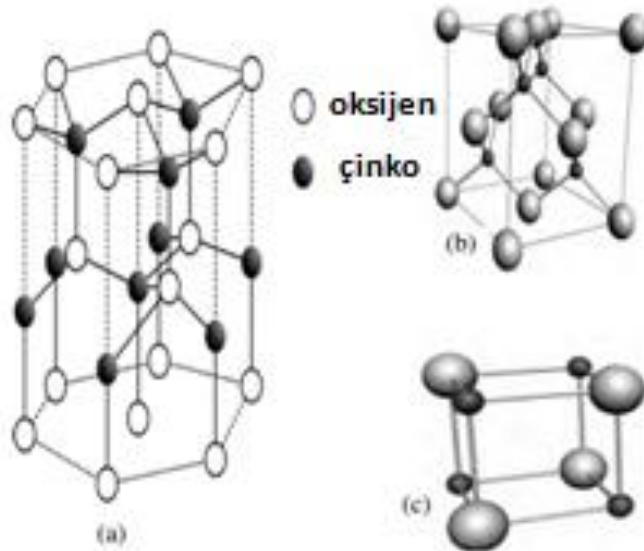
ZnO nanoyapılar, küreler, çubuklar, tabakalar, pramidler gibi çeşitli morfolojilerde sentezlenebilmektedir ve boyutu ile morfolojisi elektriksel optiksel ve katalitik özelliklerini güçlü bir şekilde etkilemektedir (Liu vd., 2015).

ZnO, genellikle hexagonal kristal sisteminin bir parçası olan wurtzite yapıya sahip olup (latis parametreleri $a=0,3296$ ve $c=0,52065$ nm) çeşitli morfolojideki ZnO nanoparçalar PLD (Darbeli lazer yığıma tekniği), sputtering, sol-gel, CVD, elektrokimyasal teknik, hidrotermal, solvotermal gibi birçok teknikle başarılı bir şekilde sentezlenebilmektedir (Dalvand, 2015; Ma vd., 2015).

Bu teknikler arasında Kimyasal Banyo Biriktirme Tekniği (CBD) oldukça kolay, karmaşık ekipman istemeyen, düşük sıcaklıklarda deneyleri gerçekleştirilebilen bir tekniktir (Yang vd., 2009).

2.4.1. Yapısal özellikleri

Birbirinin aynı olan atomik veya moleküler yapı taşlarının uzayda periyodik olarak tekrarlanması ile elde edilen yapılara *kristal*, aynı yönelime, aynı görünüme sahip olan noktalar topluluğuna *uzay örgüsü*, her bir örgü noktasında bir atom grubuna karşılık gelen yapılara *baz* denir ve uzay örgüsü ile bazın oluşturduğu yapının tümü *kristal yapısı* olarak adlandırılır (Düzgün, 2009).



Şekil 2.7. (a) Çinko oksidin kristal yapısı (wurtzite), (b) çinko blende (zincblende), (c) Kaya tuzu (Rocksalt) (Bhakat ve Singh, 2012)

Bilindiği üzere 7 kristal sistem ve 14 bravais örgüsü vardır ve bunların özellikleri aşağıdaki Tablo 2.2' de kısaca verilmektedir;

Tablo 2.2. Üç boyutta yedi kristal sistemi ve bravais örgüleri (Aydoğan, 2011)

Sistem	Eksen Uzunlukları ve Açılar	Bravais Örgüsü
Kübik	Birbirine dik üç eksen $a=b=c$, $\alpha=\beta=\theta=90^0$	1-Basit (P)
		2-Cisim merkezli (I)
		3-Yüzey merkezli (F)
Tetragonal	İkisi eşit olan birbirine dik üç eksen $a=c\neq b$, $\alpha=\beta=\theta=90^0$	4-Basit (P) 5-Taban merkezli (I)
Ortorombik	Birbirine dik eşit olmayan üç eksen $a\neq b\neq c$, $\alpha=\beta=\theta=90^0$	6-Basit (P)
		7-Taban merkezli (C)
		8-Cisim merkezli (I) 9-Yüzey merkezli (F)
Rombohedral (Trigonal)	Aralarındaki açılar birbirine eşit, üç eşit eksen $a=b=c$, $\alpha=\beta=\theta\neq 90^0$	10-Basit (P)
Hegzagonal (Altgen)	Aralarındaki açı 120^0 olan iki eşit eksen ve üçüncü eksen ilk ikisinin düzlemine dik $a=b\neq c$, $\alpha=\beta=90^0$, $\theta=120^0$	11-Basit (P)
Monoklinik	Birbirine eşit olmayan üç eksen, eksenlerden ikisi birbirine dik değil $a\neq b\neq c$, $\alpha=\theta=90^0\neq\beta$	12-Basit (P)
		13-Taban merkezli (C)
Triklinik	Birbirine eşit olmayan üç eksen aralarındaki açılar farklı ve hiç biri diğerine dik değil $a\neq b\neq c$, $\alpha\neq\beta\neq\theta\neq 90^0$	14-Basit (P)

ZnO, kovalent veya iyonik olabilen yarıiletkenler arasında sınırda bulunan iyoniklik gösteren bir II-VI yarıiletken bileşiktir ve normal şartlar altında, termodinamik olarak kararlı fazda wurtzite simetriye (hexagonal örgüye) sahipken farklı deneysel şartlarda zincblende ya da rocksalt olarak da kristallenebilmektedir (Morkoç ve Özgür, 2008).

ZnO'nun birim hücre yapısı, tetragonal köşelerde dört oksijen atomu ile çevrelenmiş her bir çinko atomu ya da tam tersi şeklide oluşan iki Zn^{+2} ve O^{-2} birbirine bağlı alt latislerinin kombinasyonudur ve çinko, oksijen atomlarının tetragonal dizilimi, c eksenine dik olarak çinko atomlarının (0001) wurtzite simetri yüzeyinden veya bunun tersi olarak oksijen atomlarının (0001) yüzeylerinden oluşur (Bhakat ve Singh, 2012).

Örgü parametreleri $a=0,3296$ ve $c=0,52065$ nm (space group $C6mc$) olan wurtzite ZnO ' nun diğer önemli karakteristiği polar yüzeyi olup en yaygın temel polar yüzeyi pozitif yüklü Zn (0001) ve negatif yüklü O (0001 $\bar{1}$) yüzeyidir (c eksenini boyunca rastgele polarizasyon-normal dipol moment ile birlikte ayırık yüzey enerjisi ile sonuçlanır) (Wang, 2004).

Wurtzite simetride düzlem-dışı bağlara göre daha yüksek elektron yoğunluğuna sahip düzlem-içi bağlar daha güçlüdür (Ashrafi ve Jagadish, 2007).

Safirde yaygın kristalografik düzlemler			Ortak düzlemler arasındaki açılar		
Plane name	Miller index	d spacing			
a	(11 $\bar{2}$ 0)	2.379 Å	(0001) \wedge (1 $\bar{1}$ 02)	c \wedge r	57° 35'
m	(10 $\bar{1}$ 0)	1.375 Å	(0001) \wedge (11 $\bar{2}$ 3)	c \wedge n	61° 11'
c	(0001)	2.165 Å	(0001) \wedge (10 $\bar{1}$ 1)	c \wedge s	72° 23'
r	(1 $\bar{1}$ 02)	1.740 Å	(0001) \wedge (11 $\bar{2}$ 1)	c \wedge	79° 37'
n	(11 $\bar{2}$ 3)	1.147 Å	(0001) \wedge (11 $\bar{2}$ 0)	c \wedge a	90° 00'
s	(10 $\bar{1}$ 1)	1.961 Å	(0001) \wedge (10 $\bar{1}$ 0)	c \wedge m	90° 00'
			(11 $\bar{2}$ 0) \wedge (10 $\bar{1}$ 0)	c \wedge m	30° 00'

Şekil 2.8. Düzlemlerin altıgen simetride işaretlenmesi (Feng, 2012)

Yarıiletken teknolojideki uygulamalar için tamamen kovalent uyumluluk gösteren Zincblend yapı, wurtzite yapıyla karşılaştırıldığında $\frac{c}{a}$ ' nin fonksiyonu olarak daha düşük iyonik karakter gösterir fakat wurtzite simetriye benzer olarak bu yapıda da her bir Zn ve O atomu 4 yakın komşu atomu sahiptir (Ashrafi ve Jagadish, 2007).

Kübik kristal sisteminin 6' lı kristal sınıfına ait Rocksalt yapının atomların herbiri 6 katlı koordinasyona yani 6 yakın komşuya sahiptir. Burada V_w ve V_{rs} sırası ile wurtzite ve rocksalt yapının primitif hücre hacimlerini vermektedir (Feng, 2012).

$$V_w = \frac{\sqrt{3}}{2} a^2 c, \quad V_{rs} = \frac{1}{4} a^3 \quad (2.1)$$

Wurtzite ZnO yapı ($P63mc$ w- ZnO), 3,4 eV'lik direk bant aralığı ile kimyasal bağ olarak yüksek iyonik karakter gösterirken, kübik rocksalt ZnO yapı ($Fm3m$ rs- ZnO), 11GPa' da yaklaşık olarak 2.7 eV' luk bir enerji bant aralığına sahip bir indirek yarıiletkenidir (Sokolov vd., 2010).

Diğer II–VI yarıiletkenlerine benzer olarak wurtzite ZnO dış hidrostatik bir basınç ile rocksalt (NaCl) yapıya dönüşebilmektedir (Morkoç ve Özgür, 2008).

2.4.2. Optik özellikleri

Son yıllarda, optik geçirgenliği ve iletkenliği yüksek olan geniş bant aralığına sahip ZnO yarıiletken maddeler, bu özellikleri ile saydam iletken oksit materyaller arasında en çok dikkat çeken malzemelerden biridir ve ışık yayan diyotlar, gaz sensörler, fotodedektörler gibi geniş teknolojik uygulama alanına sahiptir (Gençyılmaz vd., 2012; Sorar ve Tepehan, 2010).

Oda sıcaklığında yüksek direk bant aralığı ile optoelektronik uygulamalarda oldukça fazla kullanılan, 60 meV' lik GaN (25meV)' dan daha büyük güçlü exiton bağlanma enerjisi ve 25meV'lik termal enerjisine ile düşük uyarma enerjisi altında etkin exiton emisyonu sağlayabilen ZnO, mavi UV bölgesinde istenilen fotonik madde olarak kabul edilmektedir ve ZnO' nun optiksel geçişleri; optiksel *absorbsion*, *transmisyon*, *refleksiyon*, *fotoreflaksiyon*, *spektroskopik*, *elipsometri*, *fotolüminesans*, *kalorimetrik*, *lüminesans* gibi çeşitli deneysel tekniklerle çalışılabilmektedir (Yang, 2009).

2.4.3. Elektrik özellikleri

Stokiyometrideki sapmalardan dolayı n-tipi bir yarıiletken malzeme olan ZnO yapılarında, serbest yük taşıyıcılar oksijen boşlukları ve ara yerlerdeki (çatlaklardaki) çinko ile ilişkili olarak sığ donör seviyelerinden kaynaklanmaktadır (Hartnagel, 1995). ZnO filmlerin elektrik özellikleri depozisyon metodu, termal işlem vb. parametreler güçlü bir şekilde bağlıdır, ancak depozisyon tekniği ne olursa olsun, tüm katkısız ZnO iletken filmler uzun vadede kararsız bir elektrik özelliklere sahiptir (Hartnagel, 1995).

2.4.4. Fotokatalizör Özellikleri

ZnO benzeri yarı iletken malzemeler, literatürde fotokatalitik aktivite gösteren malzemelerin başında gelir (Gancheva vd., 2016; Di Mauro vd., 2017). Bant teorisi ile açıklanan elektronların değerlik bandından iletkenlik bandına geçmesine neden olan etki ışık ise bu tür maddelere “*fotokatalizör*” adı verilir ve fotokatalizörler olarak yarı iletken metal oksitler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Sayılkan, 2007).

Bir yarı iletkenin morfolojik ve yapısal özellikleri onun fotokatalitik özelliklerini etkiler ve son yıllarda ZnO nanoyapılar yüksek kristal kalitesine sahip bir şekilde

sentezlenebildiğinden dolayı fotokatalizör olarak oldukça önem kazanmıştır (Erten Ela, 2010).

Ayrıca ZnO; düşük maliyeti, kolay sentezlenebilmesi, saf ve nano boyutta kristal yapıya sahip olması, görünür ışık veya Uv ile aktif halde reaksiyona geçebilmesi ve oldukça geniş yüzey alanına sahip olması gibi özellikleriyle ile fotokatalizör olarak oldukça ilgi çekici bir yarıiletken malzemedir (Duyar, 2015).

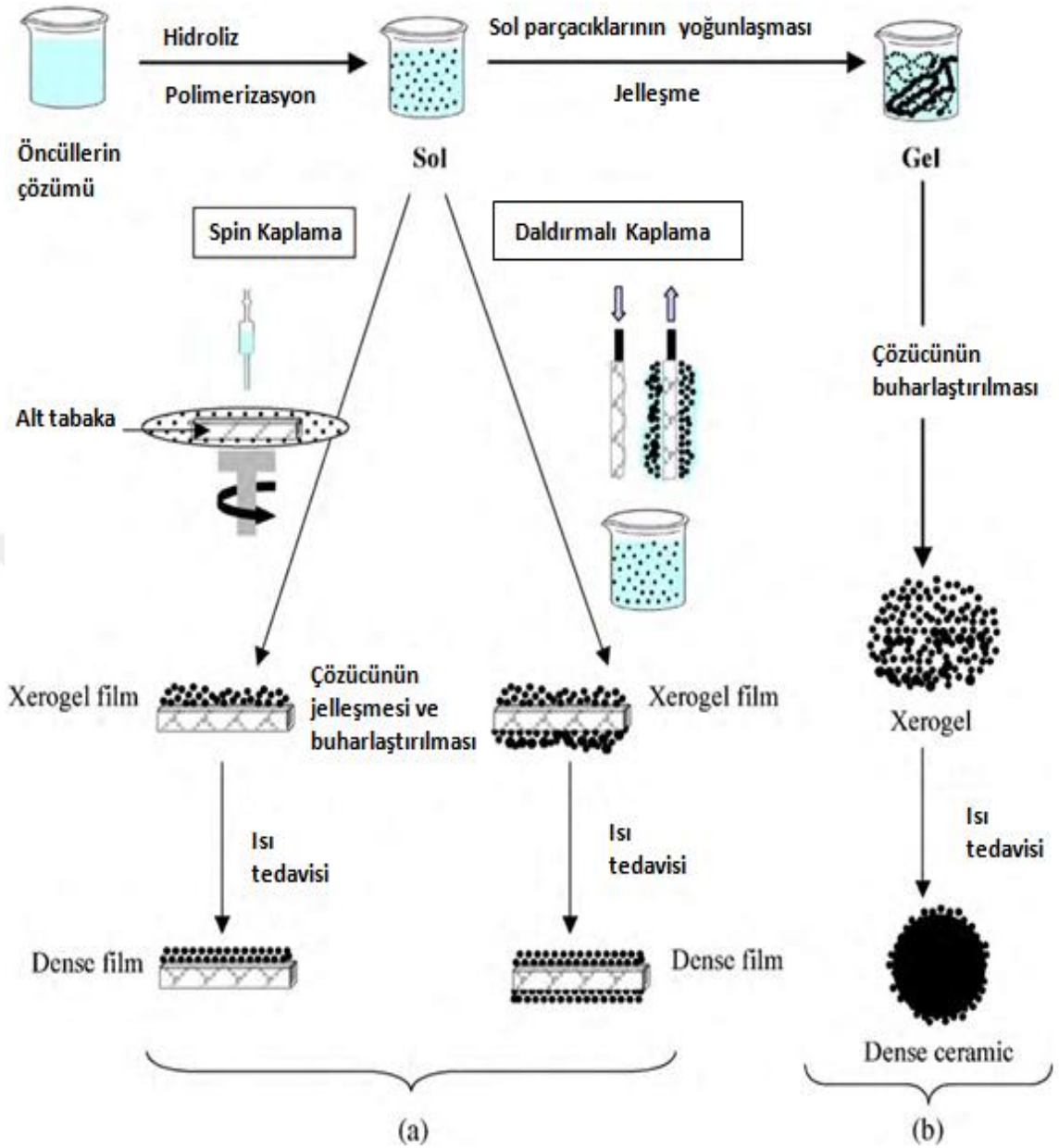
2.5. ZnO Sentezleme Teknikleri

Nanoyapıların sentezlenmesinde fiziksel ve kimyasal bir çok teknik kullanılabilir. Sentezleme işleminde fiziksel metotlar, kimyasal metotlara göre yıkama, kurutma, kalsinasyon gibi ıslak-kimyasal adımlar istememesinden ve yüksek saflıkta parçacıklar üretilebilme şansı vermesinden dolayı daha avantajlıdır (Ghaffarian vd., 2011).

Geçirgen iletken ZnO ince filmler sputtering, spray pyrolysis, CVD, Sol-Gel, PLD gibi çeşitli teknikler ile hazırlanabilmektedir ve ZnO filmlerin yapısal, elektronik geçiş, optiksel özellikleri hazırlama metodu ile depozisyon şartlarına bağlı olarak değişmektedir (Smirnov vd., 2010).

Bu teknikler arasında, solüsyonun hazırlanması, seçilen alt teknikle altlık üzerine hazırlanan sol' ün depozisyonu ve xerogel filmin ısı işlemi (burada xerogel normal basınçta kurutulan jeldir ve şayet jel superkritik şartlarda kurutulur ise aerogel adını alır) şeklinde kategorize edilebilen ve sıvı-yoğunlaşma-hidrolyz reaksiyonları ile bir oksit ağı içinde moleküler öncü solüsyonlarının transformasyonu temeline dayanan Sol-Gel işlemi, diğer geleneksel tekniklere göre çok düşük sıcaklıklarda solüsyondan katı madde üretilmeyi sağlayan bir tekniktir (Znaidi, 2010).

Sol-Gel işlemi ile ince film ya da powder (toz) numune hazırlamanın ana adımları Şekil 2.9' da verilmektedir;

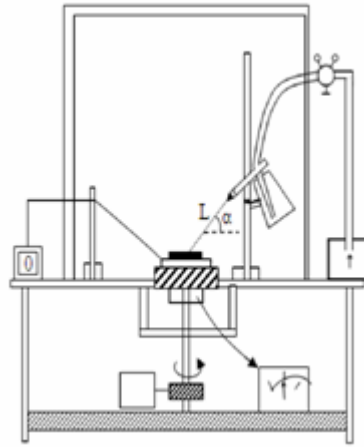


Şekil 2.9. Sol-Gel yöntemiyle iki sentez örneğini gösteren genel bakış; (a) koloidal sol filmler; (b) bir koloidal soldan elde edilen toz bir jele dönüştürülür (Znaidi, 2010)

Spray Pyrolysis tekniği Sol-Gel tekniğinin alt tekniği olarak verilebilir. Bu teknik nispeten kolay tekrarlanabilirliği olan, boyut kontrollü sağlayan, düşük fiyat etkisi olan, bazı metal oksit ile metal oksit üzerine metal sentezlenmesi için süreklilik sağlayan fiziksel bir tekniktir ve bu teknikle metal oksit nanoparçacıklar sentezlemek için metal asetat, nitrat ve klorür prekürsör solüsyonlar kullanılabilir (Ghaffarian vd., 2011).

Bu teknikte kaynak olarak kullanılan solüsyon sıcak altlık üzerine spray ile püskürtülerek, atomize olması sağlanır ve istenilen maddeler sıcak altlık yüzeyine ulaşırken diğerleri buharlaşır (Morkoç Karadeniz vd., 2014).

Diğer bir Sol-Gel alt teknik Döndürmeli kaplama (Spin Coating) tekniğidir. Bu teknik de teknolojik uygulamalarda kolay kullanımı, sentezlemede büyük yüzeyi imkanı, düşük fiyatı gibi avantajlara sahip bir tekniktir ve bu teknikle hem merkezci hem de viskoz kuvvetler ile solüsyonun altlık üzerine homojen dağılımı sağlanıp ince film büyütme işleminin gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır (Morkoç Karadeniz, 2011).



Şekil 2.10. Spray Pyrolysis tekniğinin şematik gösterimi (Turgut vd., 2013)

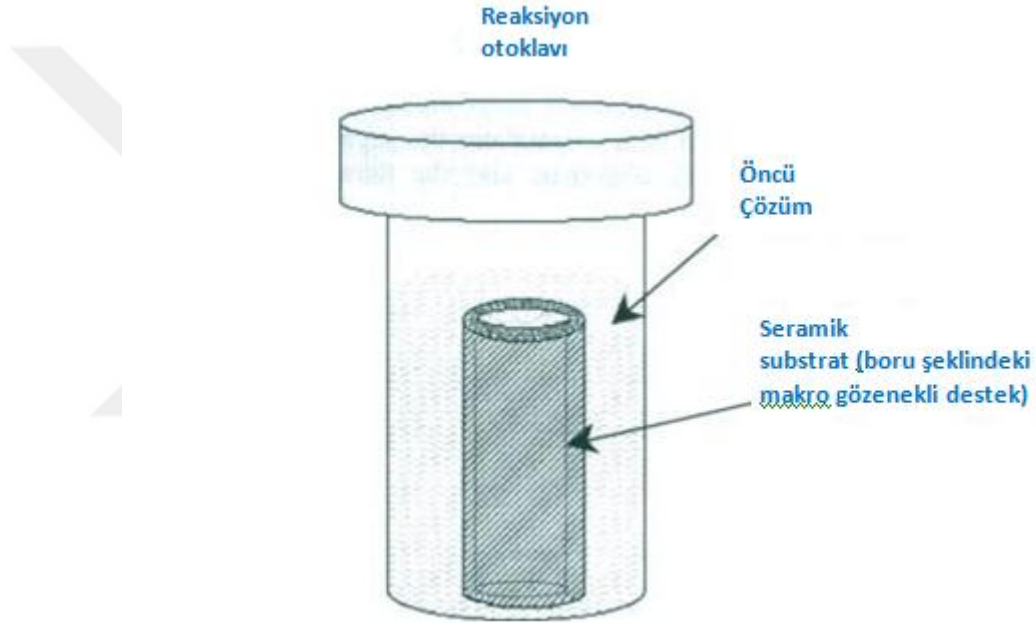


Şekil 2.11. Döndürmeli Kaplama tekniğinin şematik gösterimi (Verma vd., 2017)

ZnO sentezi için kullanılan diğer bir teknik Hidrotermal Tekniktir. Mikroelektronik ve plastik elektronik teknolojisinde etkili bir metot haline gelen Hidrotermal Teknik,

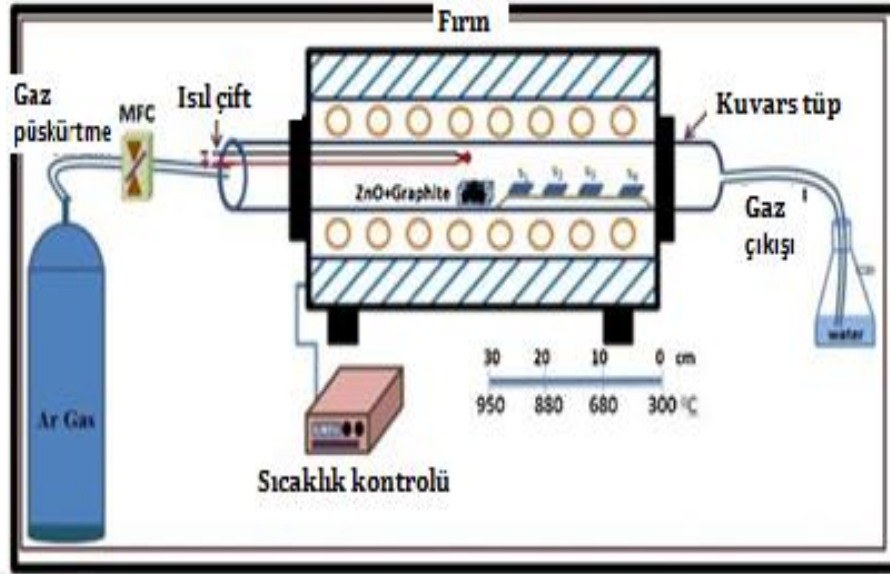
zaman ve prekürsör konsantrasyonu ile morfolojinin ve parçacık boyutunun kolay kontrolünü sağlayan, düşük reaksiyon sıcaklığı isteyen, katalizör istemeyen, düşük fiyat etkisi olan, büyük düzgün alan üretimi sağlayan, çevreye dost ve az tehlikeli bir sentezleme tekniğidir (Aneesh vd., 2007).

Hidrotermal terimi genellikle normal şartlarda nispeten çözünmeyen maddelerin yüksek sıcaklık ve basınç altında çözünmesini ve yeniden kristallenmesini sağlayan sulu çözeltilerin ve minerallerin heterojen reaksiyonunu ifade etmek için kullanılmaktadır (Byrappa ve Yoshimura, 2012).



Şekil 2.12. Hidrotermal Tekniğin şematik gösterimi (Ramsay vd., 2000)

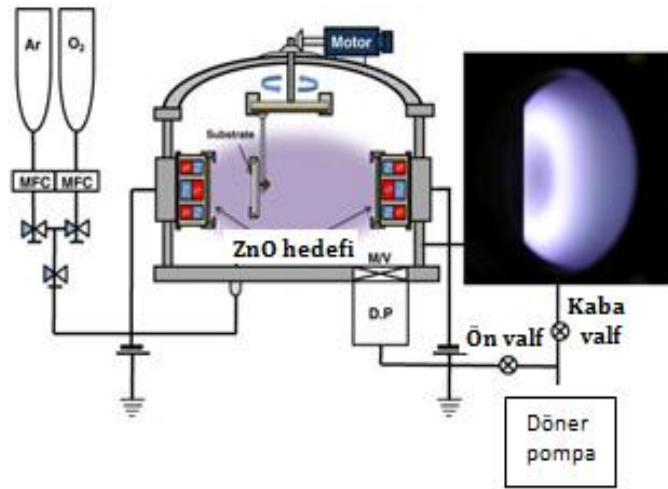
ZnO sentezlemek için bir diğer teknik CVD (Kimyasal Buhar Depozisyon) tekniğidir. CVD tekniği yüksek saflık ve yüksek performansta madde üretimini sağlayan bir tekniktir ve atmosfer basıncında APCVD, düşük basınçta LPCVD, buhar faz epitaksi olarak VPE, kimyasal ışın epitaksi CBE ve metal organik olarak MOCVD gibi bir çok alt tekniği mevcuttur (Wallace vd., 2015).



Şekil 2.13. CVD tekniği şematik gösterimi (Kumar vd., 2013)

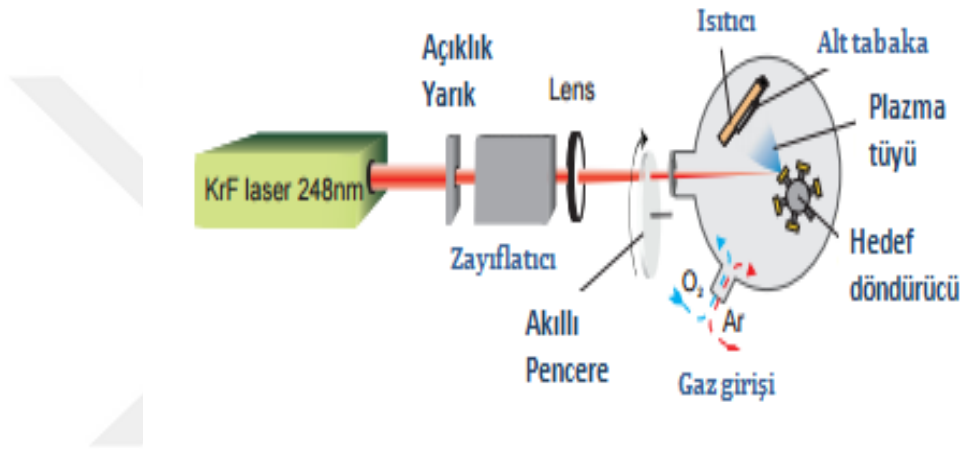
ZnO sentezlemede kullanılan diğer bir teknik olan PVD (Fiziksel Buhar Depozisyon tekniği) tekniğidir. Bu teknik PLD (Darbeli Lazer Tekniği) ve Sputtering (Sıçratma) tekniği gibi alt teknikler içerir. Sputtering düşük sıcaklıklarda sentezleme ve homojen yüzey etkisi gibi bir çok avantaja sahip bir teknik olup, genellikle rf gücü, basınç, altlık sıcaklığı ve gaz atmosferi gibi depozisyon parametrelerine bağlıdır (Dang vd., 2007).

RF sputtering tekniğinin yanısıra magnetron sputtering tekniği de mikroyapıların ve kompozisyonların kontrolündeki esneklikten dolayı oldukça fazla kullanılan bir tekniktir (Li ve Gao, 2004).



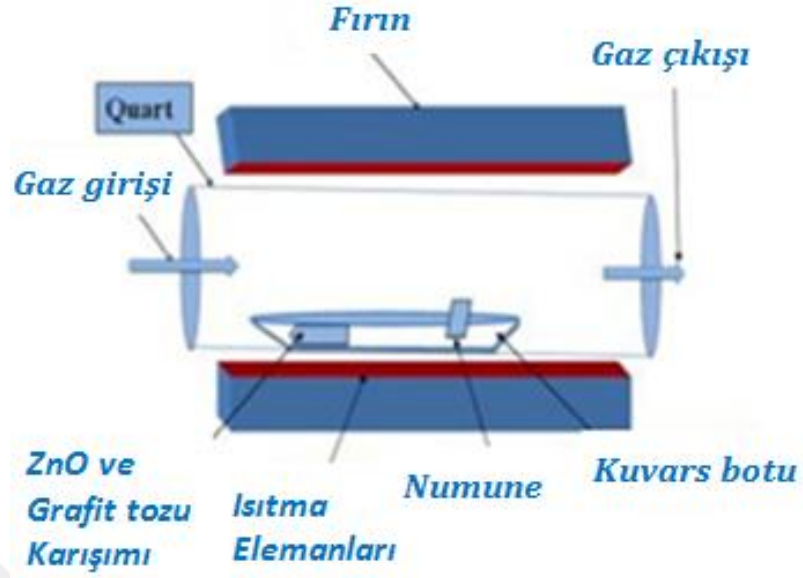
Şekil 2.14. Magnetron rf sputtering sistemi şematik gösterimi (Lee vd., 2013)

Darbeli Lazer Biriktirme Tekniği olan PLD tekniği bir vakum odasında yüksek enerjili lazer demetinin plazma uyarımı olsun olmasın her türlü reaktif gaz ortamında hedef malzemeye odaklanarak, malzemeyi buharlaştırması ve alt taşa kontrollü olarak biriktirilmesi prensibine dayanan oldukça basit bir sentezleme işlemdir (Yurtcan, 2011). Bu teknikle mükemmel optik ve elektrik özelliklere sahip ZnO nanoyapıların GaN safir altlık üzerine altın katalizör eşliğinde ve silisyum altlık üzerine herhangi bir katalizör olmadan tek adımda sentezlendiği literatürde bildirilmiştir (Sun, 2004).



Şekil 2.15. PLD kurulumunun şematik diyagramı (Allen vd., 2009)

VLS (Buhar-Sıvı-Katı) tekniği ZnO sentezlemede kullanılan diğer bir tekniktir. Bu teknikte Au ya da Sn gibi bir metal katalizör kullanılır, bunun ardından AuZn alaşımı oluşturmak için gaz precursor eklenip çinko metal sıvı damlası gaz faz reaktansın tercihi yeri olarak hizmet eder ve reaktif maddedeki sıvı aşırı doymuş hale geldikten sonra nanoteller gibi nanoyapılar büyümeye başlar (Wallace vd., 2015).

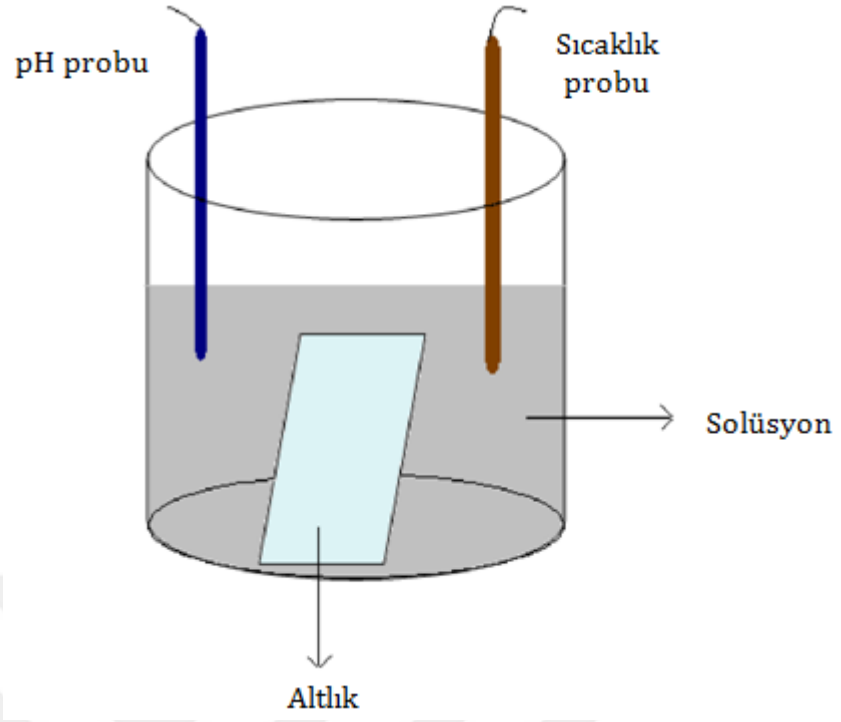


Şekil 2.16. VLS sistemi şematik diyagramı (Alvi vd., 2013)

ZnO sentezlemede kullanılan diğer bir teknik CBD (Kimyasal Banyo Biriktirme) tekniğidir. Vakum ortamı isteyen diğer tekniklere nazaran kolay, ekonomik, düşük sıcaklık ve büyük alan etkisi sağlayan bu teknik, II-VI grubu yarı iletken ince filmlerin (CdS, CdSe, CdO, ZnS, ZnSe, ZnO gibi) depozisyonu için çok fazla kullanılan ve pH ve diğer parametrelere bağlı olarak 3,15 ile 4,2 eV aralığında enerji bant aralığına sahip ZnO yapılar elde edilebilen bir tekniktir (Morkoç Karadeniz vd., 2016; Khallaf vd., 2009).

CBD tekniği optimum büyütme şartlarında iyi kalitede filmler üretme kapasitesine sahiptir ve kalkojenit kaynak içeren seyreltik alkali solüsyon içine daldırılan altlıklar üzerine metal iyonlarının biriktirilmesini sağlar (Ouachtari vd., 2011).

Düşük sıcaklıklarda sentezlemeyi sağlayan bu teknik, belli bir sıcaklıkta çözünen öncü solüsyon içerisinde kimyasal reaksiyon ile altlık malzeme üzerine istenilen oksitli veya hidroksitli yapıların yüzeye sentezlenmesi ile film meydana gelmesi esasına dayanır (Xia vd., 2008; Jaber vd., 2011).



Şekil 2.17. CBD tekniği şematik diyagramı (Sakaoğlu, 2014)

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, Kimyasal Banyo Biriktirme (CBD) tekniği kullanılarak farklı konsantrasyon ve sıcaklık parametrelerinde çekirdek tabaka oluşturulmadan cam altlıklar üzerine ZnO mikro ve nano yapılar sentezlenmiş ve XRD, SEM ve Uv-Vis karakterizasyonları ile yapı, morfoloji ve optik özellikleri ortaya koyulmuştur. Temas açısı ölçümleri ile yapıların hidrofobik-hidrofilik doğası araştırılmıştır. Fotokatalizör olarak en iyi yapı parametreleri belirlenmiştir.

3.1. ZnO Filmlerin Sentezi

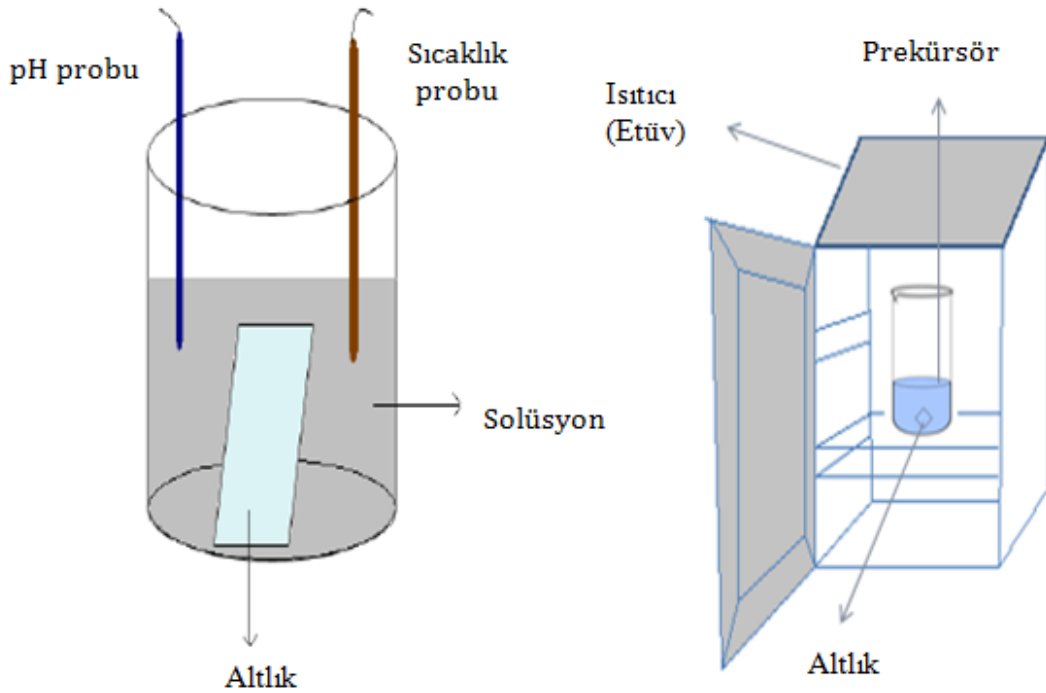
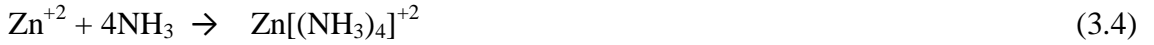
İlk olarak, 1 x 2,5 cm kesilen cam altlıklar sentezleme öncesi sırayla; 15 dakika aseton, 15 dakika Z.Propanel, 15 dakika deiyonize su ile ultrasonik banyo içerisinde temizlenmiştir ve sonrasında 70 - 80 C' de kurutulmuştur. Prekürsör olarak Çinko Nitrat ($Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) ve HMT olarak adlandırılan Hexamethylenetetramine ($(CH_2)_6N_4$) kullanılmıştır.



Şekil 3.1. WiseStir model hassas terazide Nüve FN 400 marka etüv (altlıkları kurutma ve sentezleme)

Herbir solüsyon 20 ml ve başlangıç konsantrasyonu (0,1; 0,1 M) - (0,1; 0,2 M) ve (0,2; 0,1 M) $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$;HMT' nin 6-7 pH aralığındaki sulu çözeltileri kullanılarak elde edilmiştir. Cam altlıklar yaklaşık 45° açıyla kaplanacak cam yüzey alt kısma gelecek

şekilde yerleştirilerek etüv içerisinde 2 saat süreyle 100 C, 150 C ve 200 C' de sentezlenme işlemi gerçekleştirilmiştir. Sentezleme sırasında ZnO yapı oluşurken aşağıdaki reaksiyonlar meydana gelmektedir;

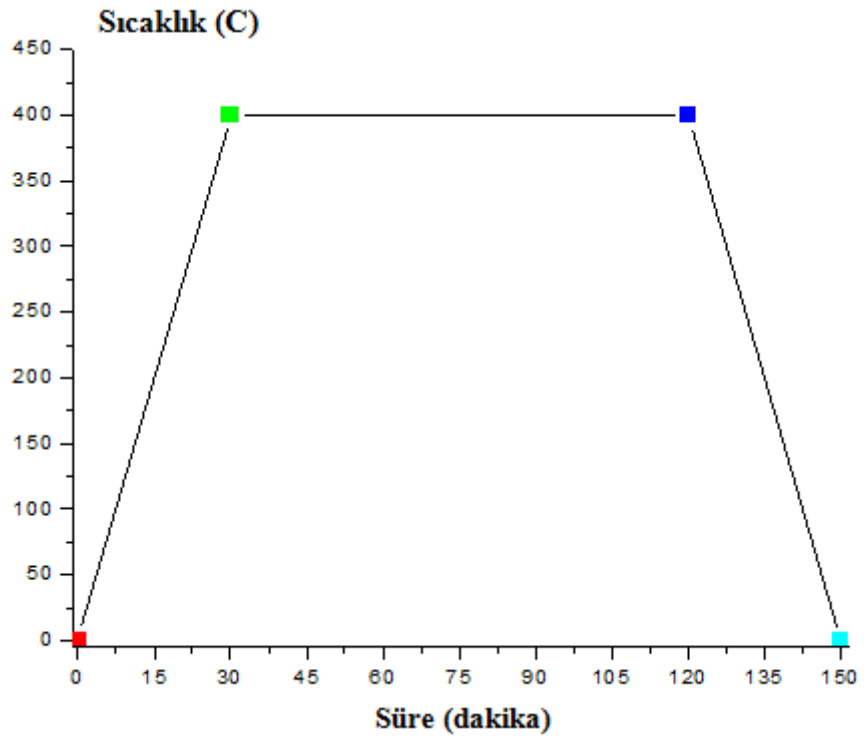


Şekil 3.2. ZnO yapıları sentezleme şeması (Sakaoğlu, 2016)

ZnO filmler sentezleme işlemi sonrası kristal yapıyı iyileştirmek amacıyla 400 C de 2 saat hava ortamında kül fırında tavlama işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 3.3. ZnO yapıları tavlama için kullanılan Protherm marka kül fırın (Demir, 2019)



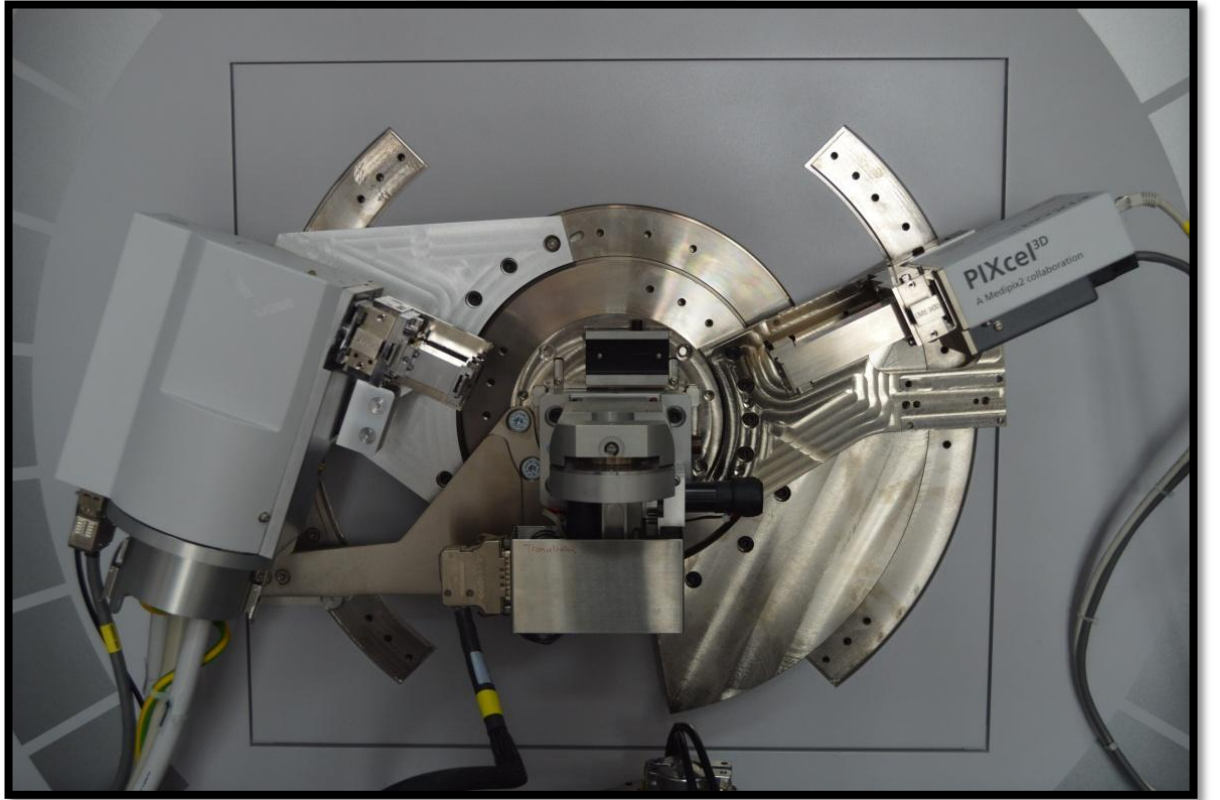
Şekil 3.4. ZnO yapıların tavlama aşamasındaki sıcaklığın zamana bağlı değişimi

Elde edilen ZnO filmlerin yapısal, yüzeysel, optik ve fotokatalitik özellikleri ile hidrofilik hidrofobik doğası araştırılmıştır.

3.2. ZnO Filmlerin Karakterizasyonu

3.2.1. X-ışını difraktometresi ile yapı analizi

X-ışını kırınımı (XRD) tekniği, kristal maddeyi karakterize eden etkili ve yıkıcı olmayan bir tekniktir. Örnekte X-ışını kırınım piki her bir örgü düzleminde gelen spesifik açılarda X-ışını kırınımı sonucu monokromatik ışınların yapıcı girişimi ile üretilmektedir. Pik yoğunluğu latis düzlemindeki dekorasyon ile belirlenir ve sonuç olarak X-ışını difraksiyonu verilen maddede periyodik atomik dizilimin parmak izidir (Ansell ve Rauscher, 2011). ZnO nanoyapıların XRD yapı analizi, Erzincan Üniversitesi Temel Bilimler Uygulama ve Araştırma Merkezi (EÜTAM) bünyesinde bulunan Panalytical Empyrean Marka/model X-ray diffractometer cihazı ile (45 kV, 40 mA, CuK α ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$)) gerçekleştirilmiştir.

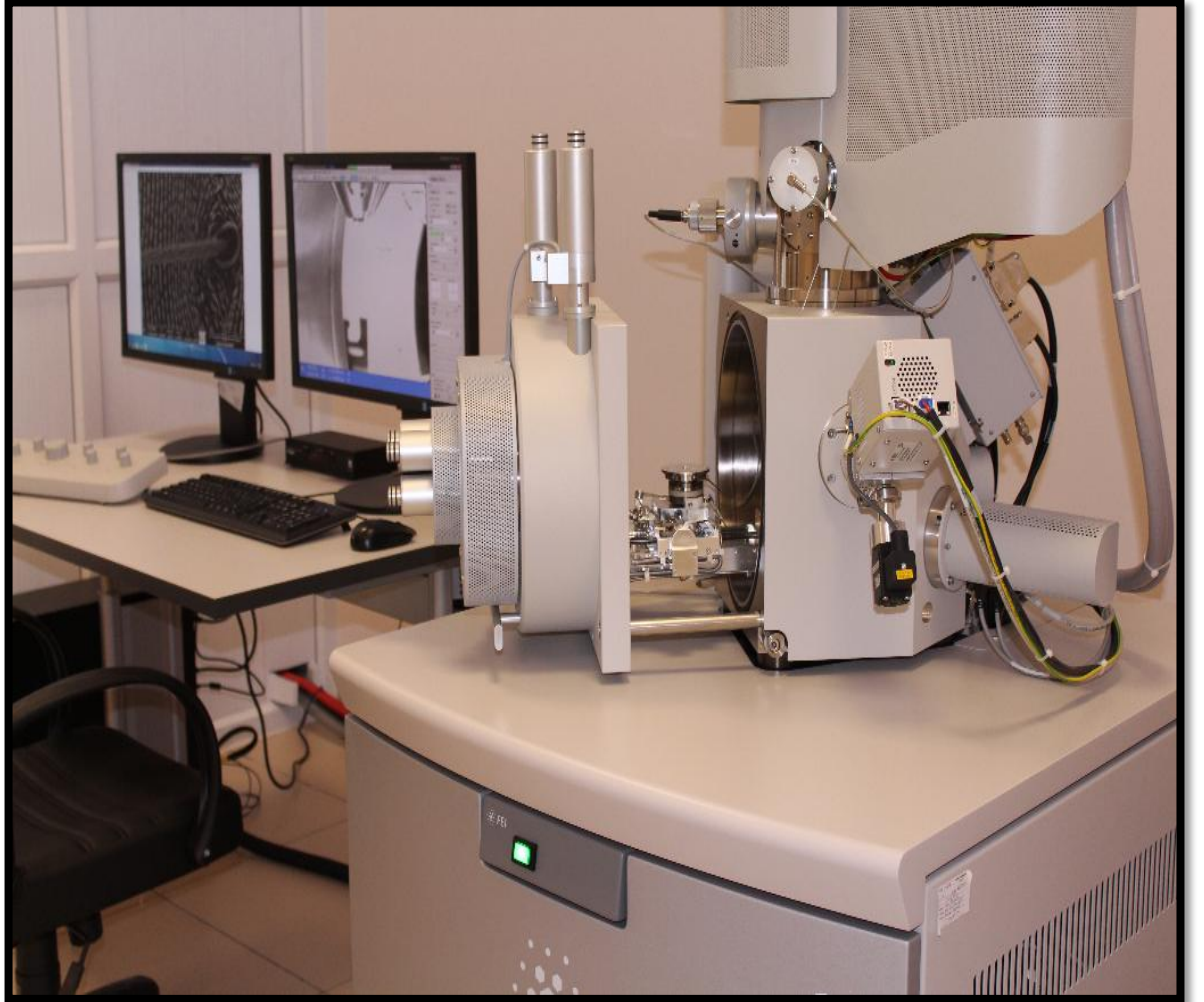


Şekil 3.5. Panalytical Empyrean marka X-ışını difraksiyon cihazı

3.2.2. Taramalı elektron mikroskobu ile yüzey analizi

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) taranan örnekte elektronların yüksek enerjili ışınması ile taranması ile elde edilen örnek yüzeyi resmidir. Atomlarla etkileşen elektronlar filmin yüzey topolojisini, kompozisyonunu ve diğer özellikleri (elektrik iletkenliği gibi) hakkında bilgi veren sinyaller üretir. En yaygın veya standart dedeksiyon modunda, ikincil elektronlar ya da SEI de SEM örnek yüzeyinin yüksek çözünürlüklü resmini üretebilmektedir (Ansell ve Rauscher, 2011).

ZnO filmlerin SEM resimleri, EUTAM bünyesinde bulunan FEI marka Quanta FEG 450 Model Taramalı Elektron Mikroskobu ile elde edilmiştir.



Şekil 3.6. FEI Quanta FEG 450 model taramalı elektron mikroskobu

3.2.3. Ultraviyole – görünür bölge spektroskopisi ile optik analiz

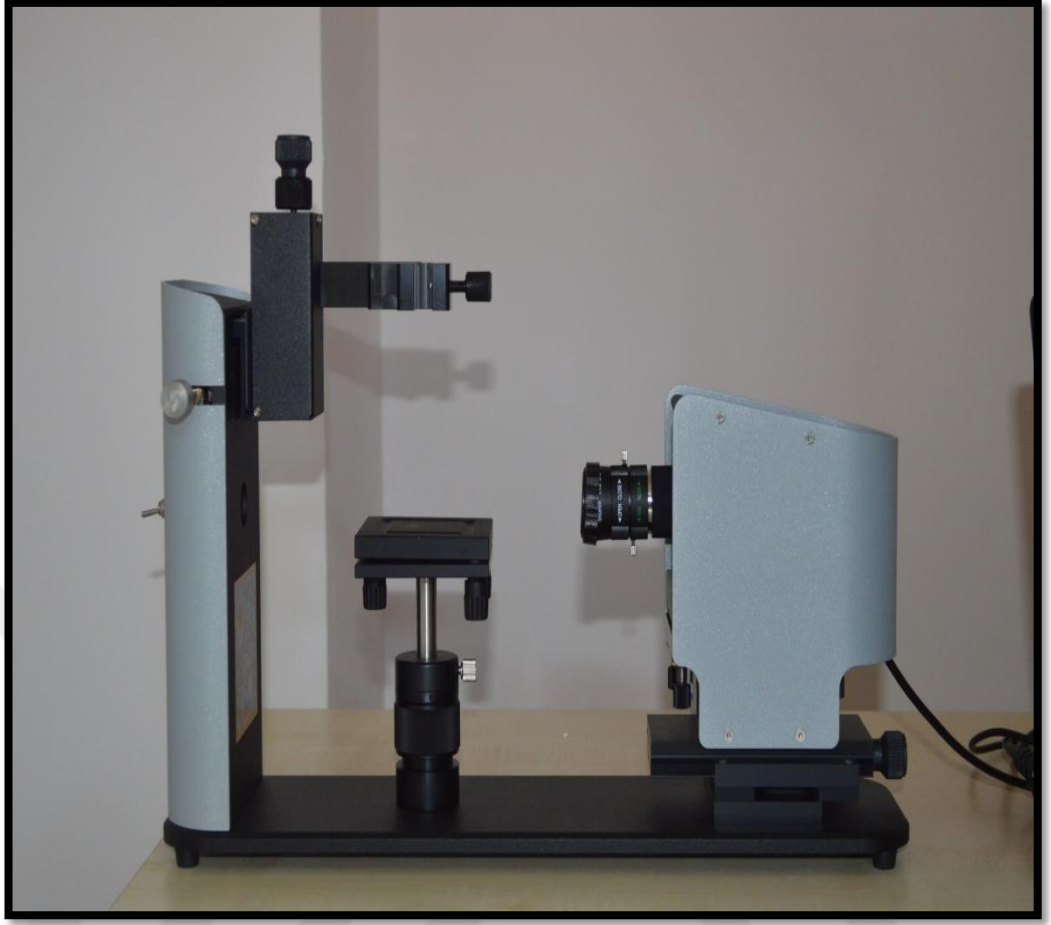
Uv-Vis spektrofotometresi, görünür bölge, yakın ultraviyole ve kızılötesi bölge de geçiş metal iyonlarının ve yüksek oranda konjuge organik bileşiklerin kantitatif tayininde kullanılır. ZnO filmlerin optiksel ölçüm ve analizleri, Erzincan Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi AR-GE laboratuvarları bünyesinde bulunan TETRA T80 + Model Ultraviyole-Görünür Bölge (Uv-Vis) Spektrofotometre ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.7. TETRA T80 + Model Uv-Vis Spektrofotometre

3.2.4. Temas açısı ölçüm cihazı ile temas açısı tayini

Bir yapının hidrofobik veya hidrofilik doğasını tayin etmek amacıyla ıslanabilirlik özelliğinden faydalanılır. Bu amaçla yüzey ile suyun temas açısı ölçülerek doğasına karar verilir. ZnO Filmlerin 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. Attension marka temas açısı ölçüm cihazı

3.2.5. Fotodedektör ile fotokatalitik ölçümler

Fotokatalitik maddeler fotonların ışık enerjisinin elektrokimyasal enerjiye dönüşmesini sağlayan, yüzeyde güçlü bir oksidasyon gerçekleştirerek reaksiyonun hızını artıran katalizörlerdir. ZnO yapıların fotokatalitik ölçümleri Temel Bilimler Uygulama ve Araştırma Merkezi (EUTAM) bünyesinde bulunan Luzchem, LZC-4X marka model Fotodedektör (350 nm dalgaboyunda UVA lamba) ve TETRA T80 + Model Uv / Vis Spektrofotometre kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3.9. Luzchem, LZC-4X marka model fotodedektör

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Kimyasal Banyo Biriktirme tekniği ile sentezlenen ZnO filmlerin yapı, yüzey, optik, fotokatalitik özellikleri değerlendirilmiş ve su ile temas açıları ölçülmüştür.

4.1. ZnO Filmlerin Özellikleri

ZnO filmler Tablo 4.1' de verilen parametrelere uygun olarak farklı sıcaklıklarda sentezlenmiş ve yapısal, morfolojik, optik ve fotokatalitik özellikleri araştırılmıştır. Yapıların XRD spektrumları Şekil 4.1' de verilmiştir. Baskın yönelim 150 ve 200 C' de sentezlenen ZnO yapılar için (002) c-ekseni yönelimidir. Yapıların 32,3; 34,8; 36,7; 48; 57,0; 63,4 ve 68,4 (2 θ) kırınım açısı ile uyumlu olarak XRD pikleri wurtzite kristal sisteminin (100), (002), (101), (102), (110), (103) ve (112) düzlemlerine atfedilmiştir (JCPDS No. 36-1451). 150 C' de sentezlenen yapıların (100), (002), (101) düzlemlerinden gelen maksimum pikler, 100 C' de sentezlenen yapının aynı düzlemlerinden gelen piklerden daha yüksek şiddete sahiptir. Sıcaklık 200 C' ye çıkarıldığında pik şiddetleri düşmüştür. XRD verilerinden faydalanılarak *D* parçacık boyutu Scherer eşitliğinden hesaplanabilmektedir;

$$D = K \lambda / \beta \cos \theta \quad (4.1)$$

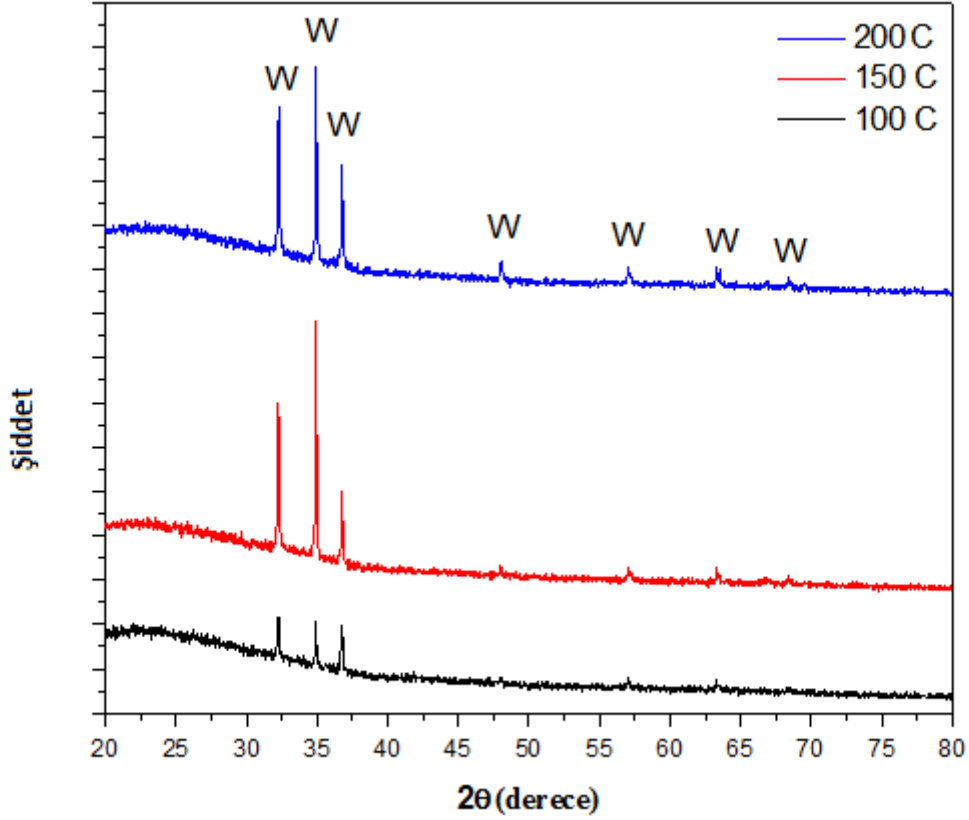
Burada λ , x-ışını dalgaboyu, β , yarı maksimum pik genişliği ve *K*, kristal biçimine bağlı bir sabit (genelde 0,9 alınır) ve θ , Bragg açısıdır. *D* parçacık boyutu kullanılarak kristalin dislokasyon yoğunluğu da hesaplanabilmektedir. Dislokasyon yoğunluğu (δ) kristaldeki kusurların miktarını veren bir parametredir ve ne kadar küçük değerde olursa o kadar iyi kristal yapısının mevcut olduğu söylenebilir (Koçyiğit vd., 2012). Parçacık boyutundan dislokasyon yoğunluğunun hesabı eşitlik 4.2 ile verilmektedir;

$$\delta = 1/D^2 \quad (4.2)$$

XRD spektrumundan hesaplanan *D* ve δ değerleri Tablo 4.2.' de verilmiştir.

Tablo 4.1. Sıcaklık değişimine bağlı sentezleme parametreleri

Sıcaklık	Molarite (Zinc nitrate: HMT)	Süre	Solüsyon miktarı	Tavlama
100 C	0,1; 0,1	2 saat	20 ml; 20 ml	Uygulandı
150 C	0,1; 0,1	2 saat	20 ml; 20 ml	Uygulandı
200 C	0,1; 0,1	2 saat	20 ml; 20 ml	Uygulandı



Şekil 4.1. Farklı sıcaklıklarda sentezlenen ZnO filmlerin XRD spektrumları

Tablo 4.2. Farklı sıcaklıklarda sentezlenen ZnO filmlerin (002) c-eksen yönelimi için XRD verilerinden hesaplanan değerler

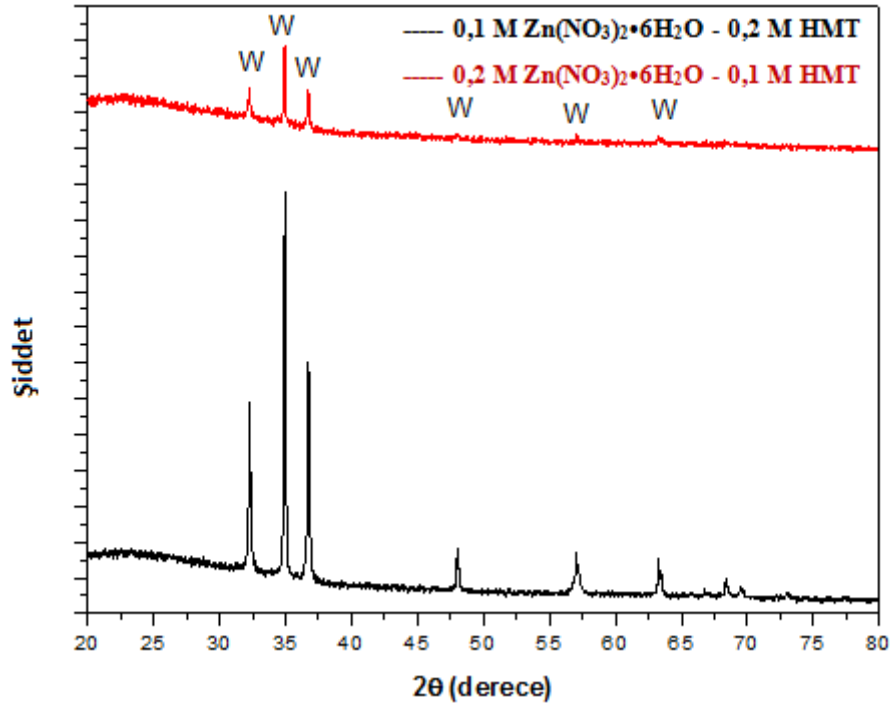
Sıcaklık	FWHM [$^{\circ}2\theta$.]	d-mesafesi [\AA]	D (nm)	$\delta \times 10^{15}$ ($1/\text{m}^2$)
100 C	0,110	2,56950	79	0,160
150 C	0,081	2,56867	107	0,087
200 C	0,085	2,56726	102	0,096

Tablo 4.3' de 200 C sentezleme sıcaklığı sabit tutularak $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ve HMT konsantrasyonu değiştirilmiş ve yapılar üzerinde konsantrasyon değişiminin etkisi araştırılmıştır. Bir önceki aşamada 150 C için en iyi kristal yapı elde edilirken,

konsantrasyon değişimi ile kristal yapı 200 C' de incelenmiştir. Çünkü 200 C' de konsantrasyon değişimi ile morfoloji değişmiştir. Konsantrasyon değişimine bağlı olarak sentezlenen ZnO filmlerin XRD spektrumları Şekil 4.2' de verilmiştir. Zn(NO₃)₂•6H₂O konsantrasyonunun 2 katına çıkmasına bağlı olarak wurtzite kristal sisteminin (100), (002), (101) düzlemlerinden gelen pik Şiddeti oldukça artmıştır. Her iki konsantrasyon için elde edilen filmler (002) c-ekseni yöneliminde maksimum Őiddette pik vermiştir. XRD verilerinden hesaplanan değerler Tablo 4.4' de verilmiştir.

Tablo 4.3. Konsantrasyon değişimine bağlı sentezleme parametreleri

Sıcaklık	Konsantrasyon (Zn(NO ₃) ₂ •6H ₂ O: HMT)	Süre	Solüsyon miktarı	Tavlama
200 C	0,2; 0,1	2 saat	20 ml; 20 ml	Uygulandı
200 C	0,1; 0,2	2 saat	20 ml; 20 ml	Uygulandı



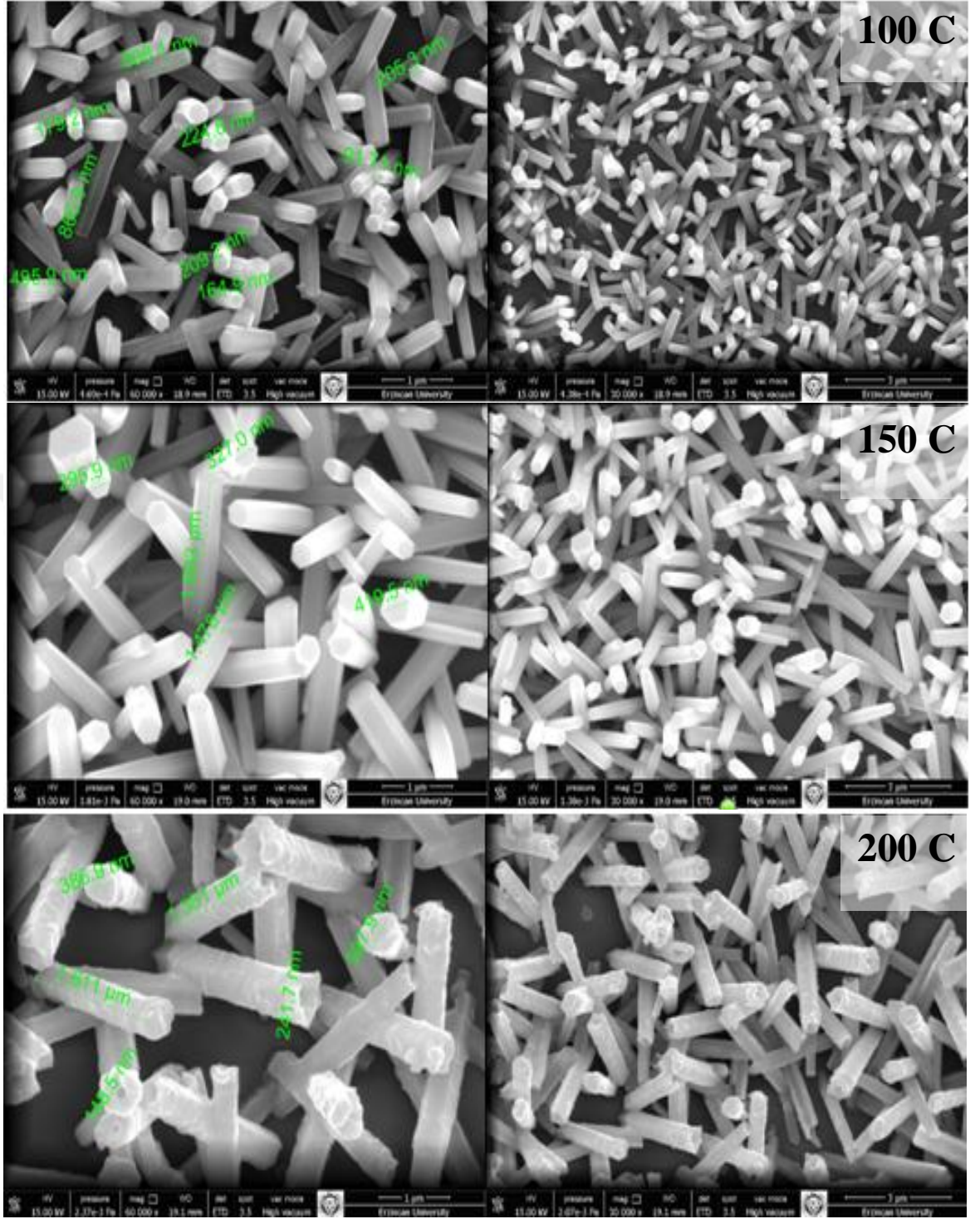
Şekil 4.2. Farklı konsantrasyonlarda sentezlenen ZnO filmlerin XRD spektrumları

Tablo 4.4. Farklı konsantrasyonlarda sentezlenen ZnO yapıların (002) c-eksen yönelimi için XRD verilerinden hesaplanan değerler

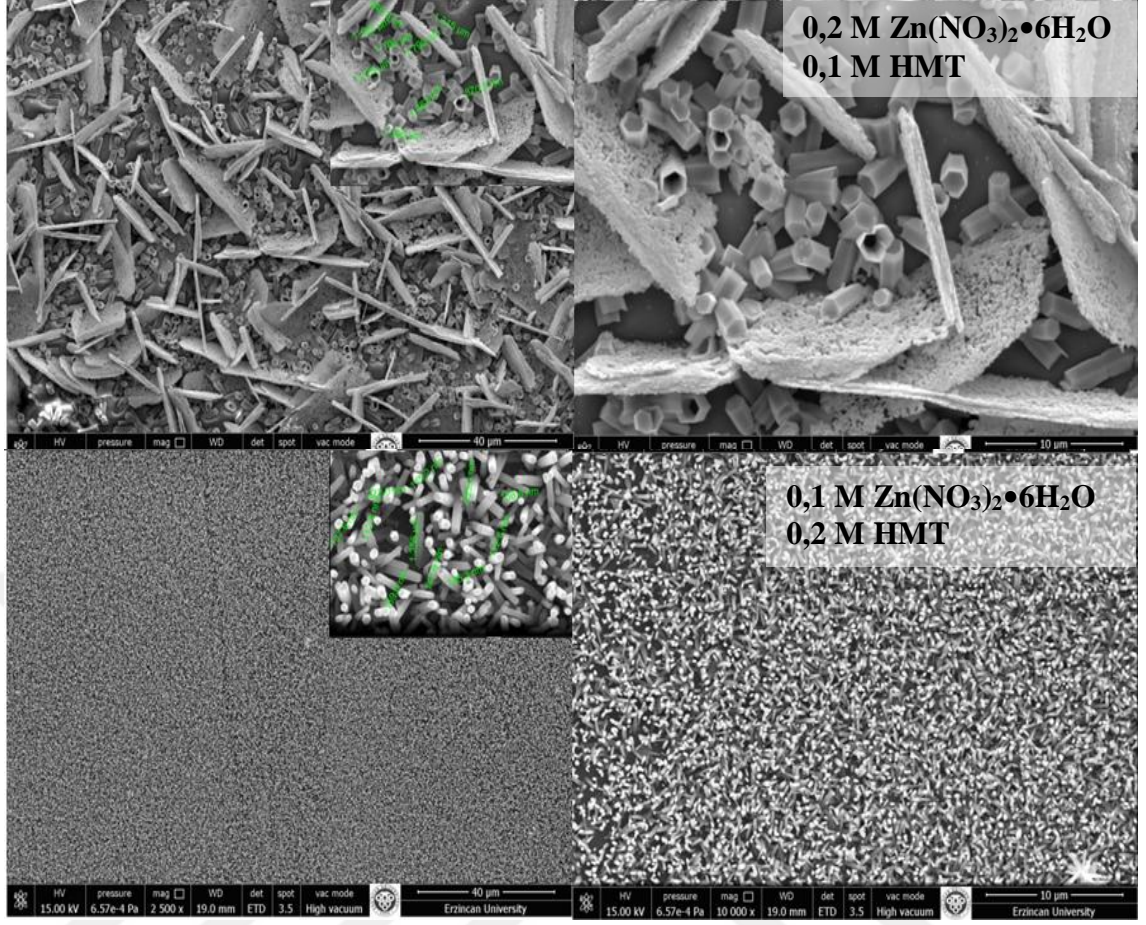
Konsantrasyon (Zn(NO₃)₂•6H₂O:HMT)	FWHM [°2θ.]	d-mesafesi [Å]	D (nm)	$\delta \times 10^{15}$ (1/m²)
0,2-0,1 M	0,096	2,56743	91	0,120
0,1-0,2 M	0,083	2,56823	105	0,091

Farklı sıcaklıklarda sentezlenen ZnO yapıların SEM resimleri Şekil 4.3’ de görülmektedir. Literatürde ZnO çubukların yöneliminin, altlık malzemenin ve çekirdekleyici tabakanın özelliklerinden etkilendiği, çekirdek tabakanın yapısının filmin kalınlığının, pürüzlülüğünün ve kristal kalitesinin üzerindeki etkileri bildirilmiştir (Gültekin vd., 2016). Bir çekirdek tabakanın varlığında genellikle (002) yönelimine uygun olarak c-ekseni doğrultusunda altlığa dik nanoçubukların sentezlendiği bilinmektedir (Hu vd., 2019). Böylece yüzeye dik c-ekseni boyunca büyümüş ZnO çubukların yoğunluğu ne kadar fazla ise (002) düzlemine ait XRD pik şiddeti de o kadar fazla olmaktadır. Şekil 4.3’ de görüldüğü gibi 100 C’ de sentezleme işlemi ile ZnO mikro ve nanoçubuklar elde edilmiş (çapları yaklaşık 70 – 220 nm aralığında) ve bu yapılar bir çekirdek tabaka olmadığından yüzey üzerinde serbest dağılma sahip olarak büyümüşlerdir. Altlığın amorf cam olması da bu dağılımı desteklemektedir. Sentezleme sıcaklığı 150 C’ ye çıktığında çoğunlukla çapları 200 - 500 nm aralığında değişen mikroçubuklar elde edilmiştir. 200 C sentezleme sıcaklığında ise nano ve mikro boyutta tüp ve çubuklar içeren hibrit yapılar ortaya çıkmıştır. Bu sonuç XRD spektrumları ile uyumludur. Başlangıçta sıcaklık artışı ile boy ve çapı artan ZnO çubuklar elde edilirken, daha yüksek (200 C) sıcaklıklarda ortaya çıkan asidik ortam nedeniyle c-ekseni boyunca çözünme başlamış ve çubukların çözünmesi ile ara ara nanotüpler oluşmuştur. Bu da XRD pik şiddetlerinin bir miktar düşmesine sebep olmuştur.

Şekil 4.4’ de 200 C’ de farklı konsantrasyonlarda sentezlenen yapıların SEM resimleri görülmektedir. HMT konsantrasyonu 2 katına çıkarıldığında yüzeyde çapı yaklaşık olarak 70 - 200 nm arasında değişen çubuk dizilimleri oluşmuşken, Zn(NO₃)₂•6H₂O’ nun konsantrasyonu 2 katına çıkarıldığında yüksek konsantrasyondan dolayı mikrotüp, mikroçubuk, mikrotabakalı yapıların bir arada olduğu hibrit yapılar meydana gelmiştir.



Şekil 4.3. Farklı sıcaklıklarda sentezlenen ZnO filmlerin SEM resimleri



Şekil 4.4. Farklı konsantrasyonlarda sentezlenen ZnO yapıların SEM resimleri

Farklı sıcaklıklarda sentezlenen ZnO filmlerin Uv-Vis soğurma spektrumları Şekil 4.5’ de görülmektedir. Sıcaklık artışı ile birlikte soğurma artmıştır. Tauc denkleminde yararlanılarak soğurma spektrumlarından optiksel enerji bant değerleri (E_g) hesaplanabilmektedir;

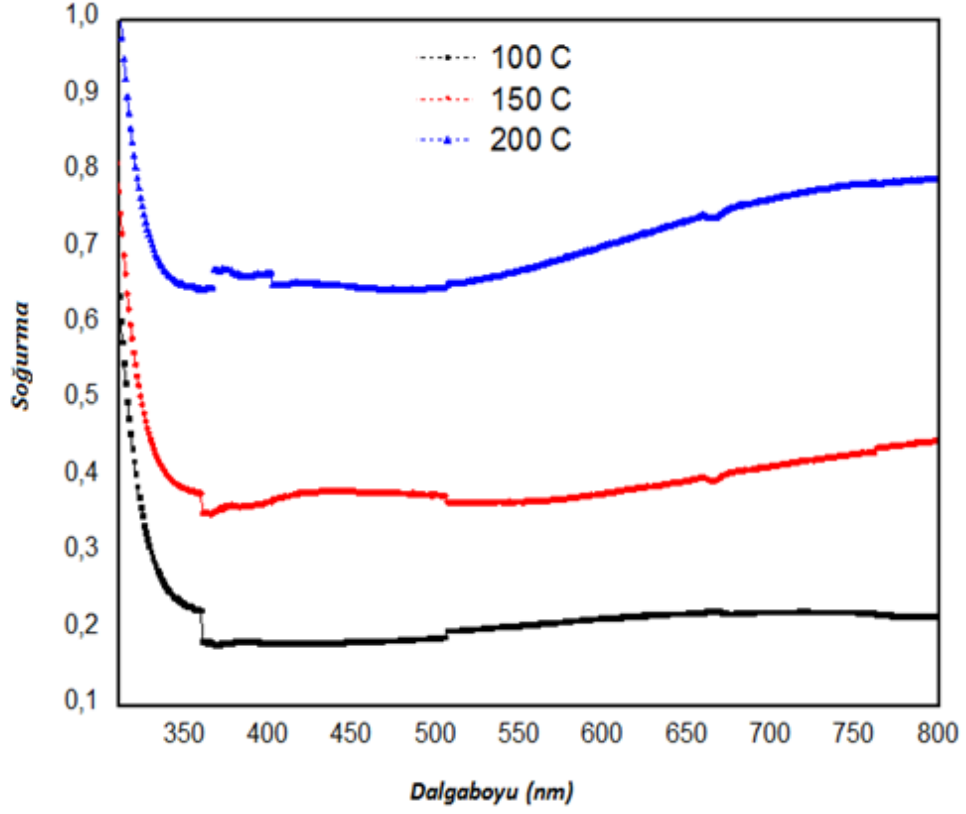
$$\alpha h\nu = A (h\nu - E_g)^n \quad (4.3)$$

bu ifadeye $h\nu$ fotonun enerjisini verir. E_g , $(\alpha h\nu)^{1/n} - (h\nu)$ grafiğinin doğrusal kısmının eğiminden elde edilebilir. Soğurma katsayısı için aşağıda verilen eşitlikten faydalanılarak $(\alpha h\nu)^{1/n} - (h\nu)$ grafik çizilebilmektedir.

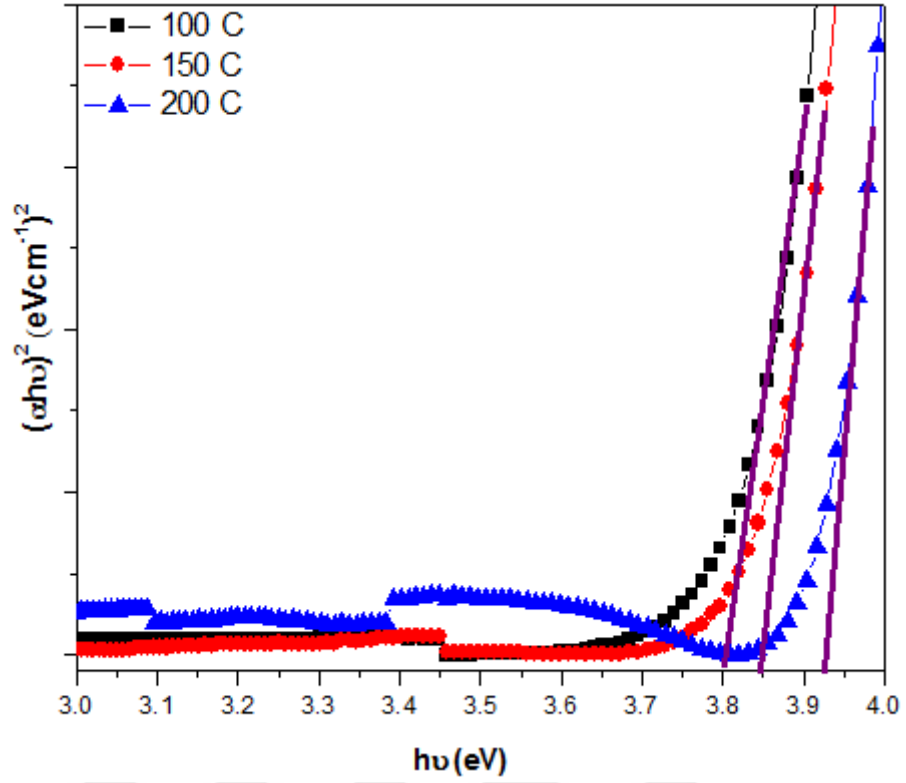
$$\alpha = 2,303 A / t \quad (4.4)$$

Farklı sıcaklıklarda sentezlenen ZnO filmlerin Optiksel Enerji Bant diyagramları şekil 4.6’ da verilmiştir. Sentezleme sıcaklığındaki artışa bağlı olarak Enerji Bant Aralığı (E_g) değeri artmış ve 100 C’ de sentezlenen yapılar için 3,8 eV, 150 C’ de sentezlenen

yapılar için 3,85 eV ve 200 C’ de sentezlenen yapılar için 3,93 eV olarak hesaplanmıştır.

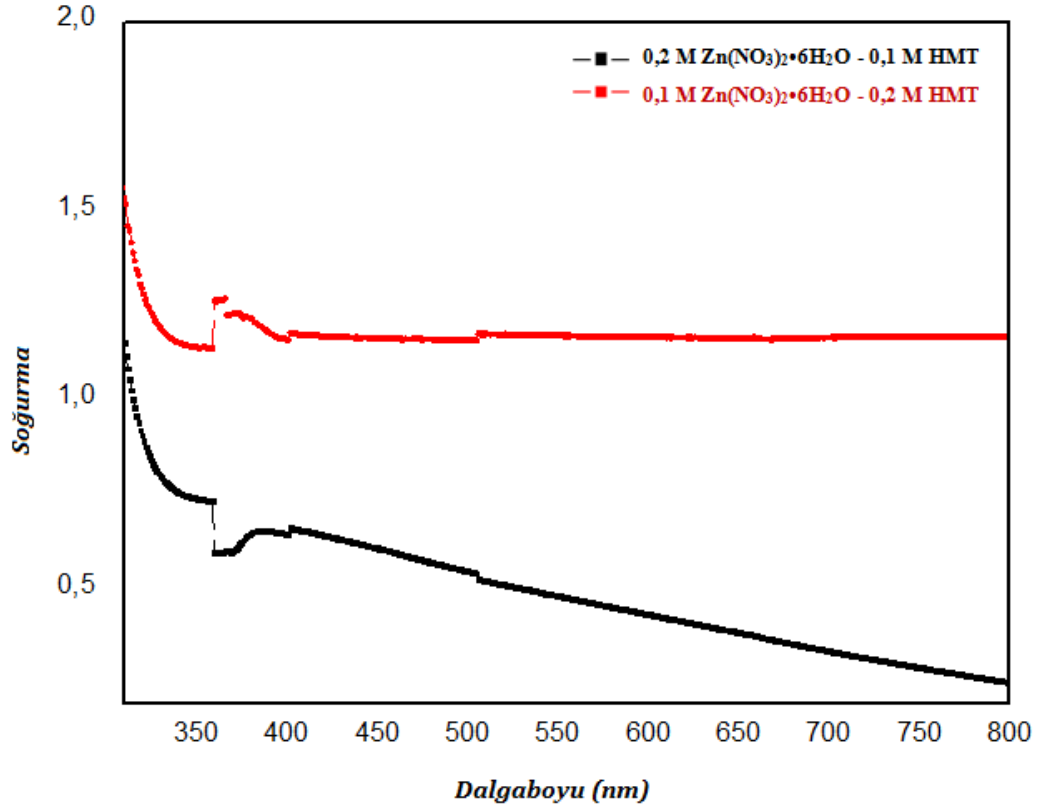


Şekil 4.5. Farklı sıcaklıklarda sentezlenen ZnO filmlerin görünür bölge soğurma spektrumları

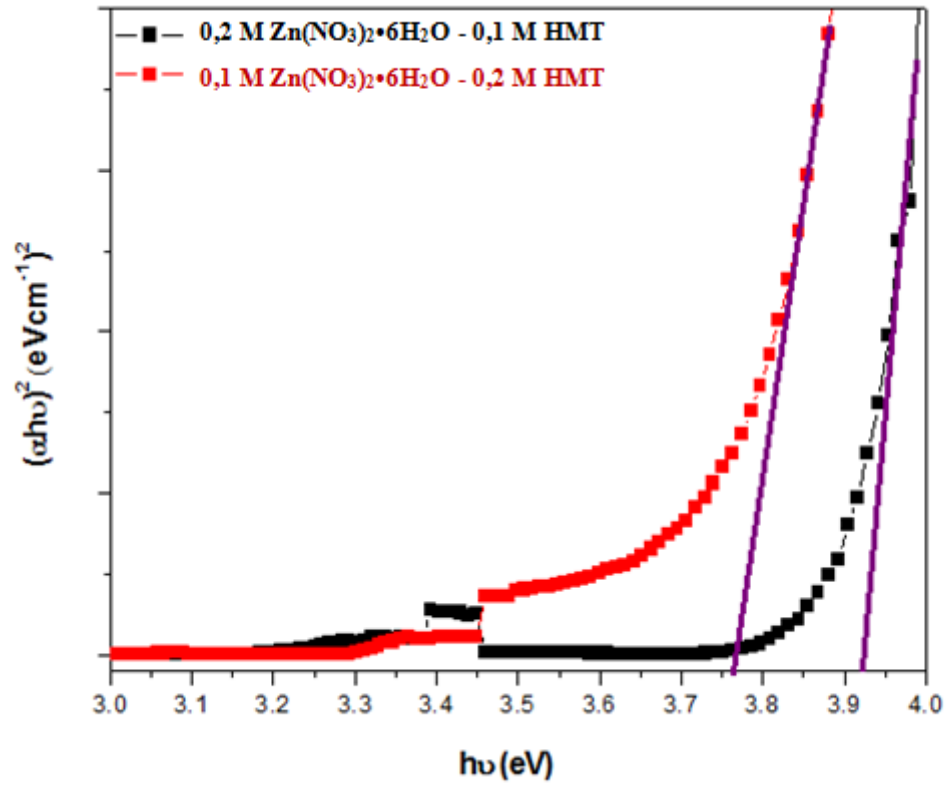


Şekil 4.6. Farklı sıcaklıklarda sentezlenen ZnO filmlerin $(\alpha hv)^2 - (hv)$ diyagramları

Farklı konsantrasyonlarda sentezlenen ZnO filmlerin Uv-Vis Soğurma Spektrumları Şekil 4.7’ de görülmektedir. HMT konsantrasyonundaki artış ile birlikte soğurma artmıştır. Şekil 4.8’ de yapıların soğurma spektrumlarına bağlı olarak çizilmiş enerji bant diyagramları verilmiştir. Tauc denkleminde yararlanılarak soğurma spektrumlarından optiksel enerji bant değerleri (E_g) hesaplanmıştır. Hibrit yapılar için E_g değeri 3,93 eV bulunurken, çubuk dizilimleri için 3,76 eV olarak hesaplanmıştır. Literatürde malzeme boyutunun küçülmesi ile bant aralığının genişlemesi, düşük boyutlu kristallerin kuantum mekaniksel etkisine atfedilmiş ve ZnO nanoyapılarda bant aralığındaki genişlemenin valans bandının (VB) aşağıya doğru kayması ile ilişki olduğu, bu durumun oldukça kompleks bir olay olduğu bildirilmiştir (Kamarulzaman vd., 2015).

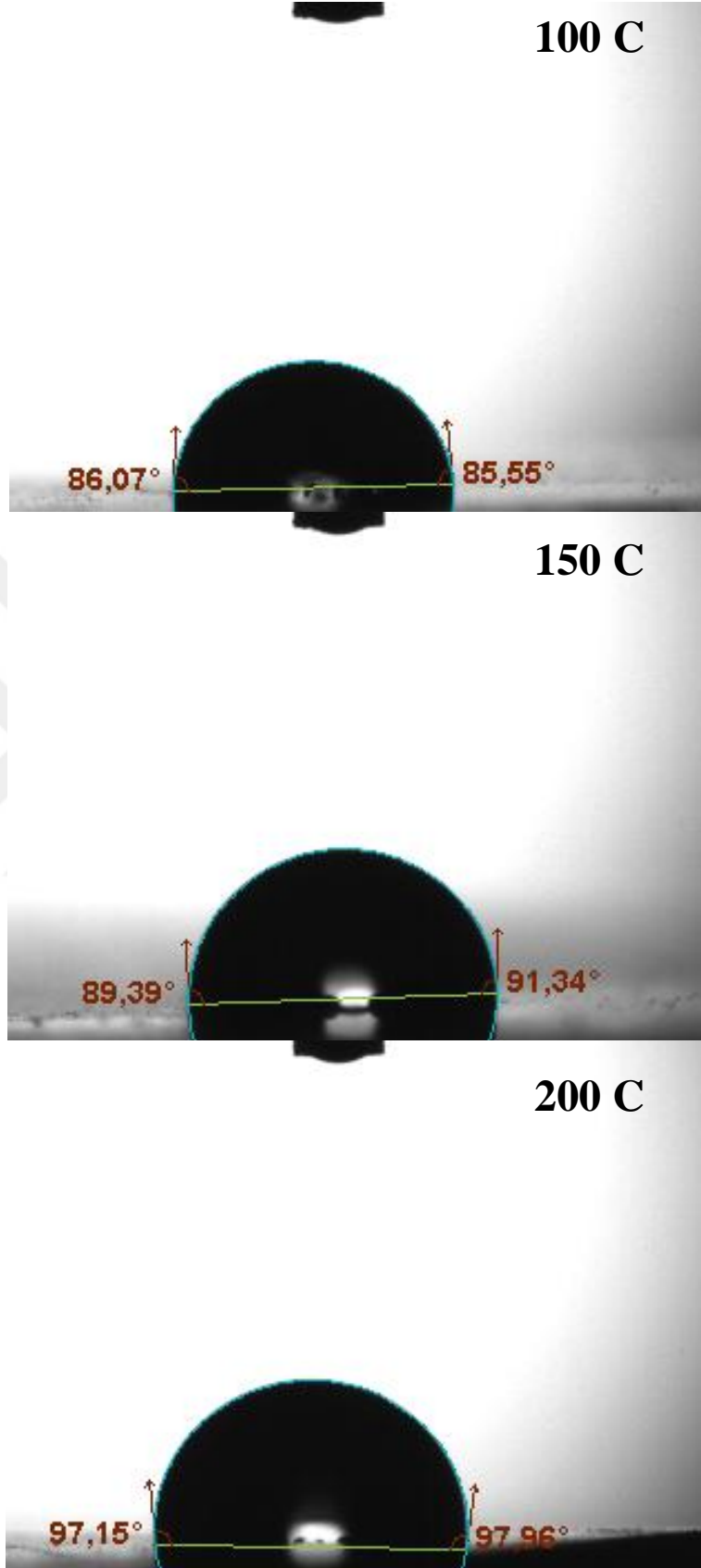


Şekil 4.7. Farklı konsantrasyonlarda sentezlenen ZnO filmlerin görünür bölge soğurma spektrumları



Şekil 4.8. Farklı konsantrasyonlarda sentezlenen ZnO filmlerin $(\alpha h\nu)^2 - (h\nu)$ diyagramları

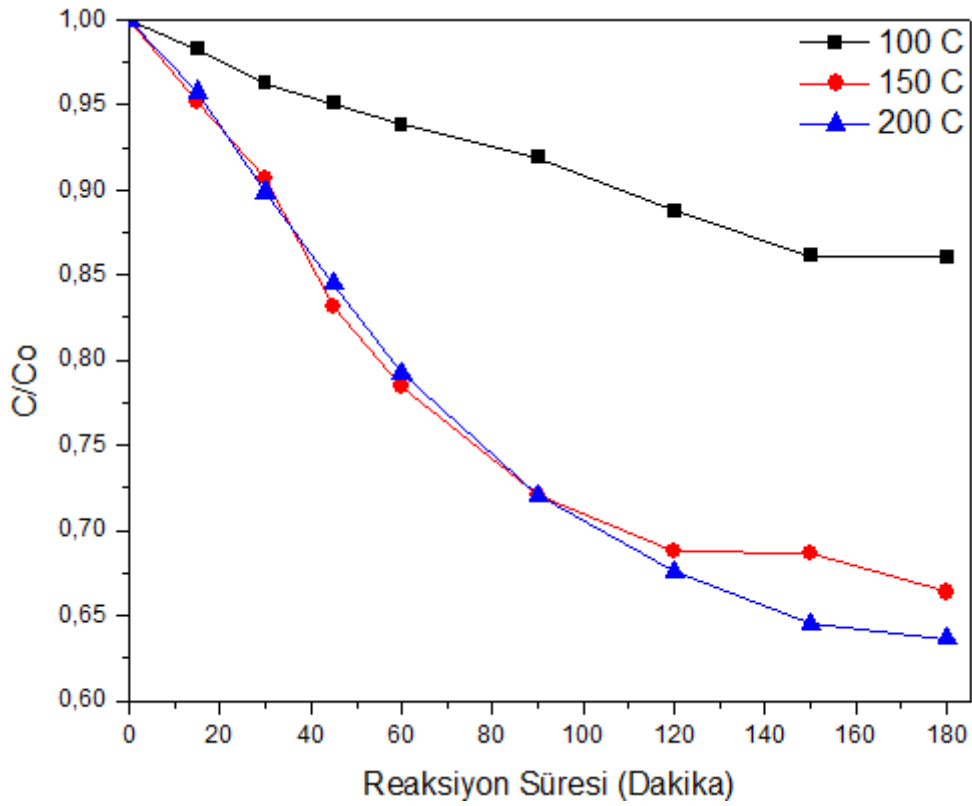
Suya ilgisi çok olan ve suyun tüm alana yayılımını sağlayan hidrofilik yüzeylerin su ile temas açısı 90° den küçüktür, bununla birlikte suya ilgisi az olan ve suyu iten hidrofobik yüzeylerin su ile temas açısı 90° den büyük değerlerde olmaktadır (Ahmad vd., 2018). Bulk ZnO' nun hidrofilik doğaya sahip olduğu literatürde bildirilmiştir (Min vd.,2007). Bununla birlikte hem mikro hem de nano ölçekte yüzey pürüzlülüğünün artması ile ZnO' nun hidrofobik doğası artar ve yüksek temas açısına sahip hidrofobik ZnO yapılar mikro ve nano ölçekte yüzey özellikleri içeren kompleks yapılardır (Khranovskyy vd., 2012). Şekil 4.9 ' da farklı sıcaklıklarda sentezlenen ZnO filmlerin WCA resimleri ve Tablo 4.5' de WCA ölçümleri görülmektedir. Yapıların hepsi Tablo 4.5' de verilen ortalama temas açısı değerlerine göre hidrofobik karakter göstermiştir. Bu yapıların fotokatalitik ölçümleri ise Luzchem-LZC-4X fotodedektör cihazı ile 350 nm dalga boyuna sahip Uv-A lambası aydınlatmasında, Rhodamine B' nin giderimi gerçekleştirilerek elde edilmiştir. Uv-A ışığı altında zamana göre boyanın giderimini veren grafik şekil 4.10' da verilmiştir. 6 mg/L' lik RhB' nin 50 ml sulu solüsyonu 15 dakika karanlıkta bekletilerek ilk ölçüm alınmıştır. Daha sonra filmler sulu çözelti içine daldırılarak 555 nm' de Rhodamine B' nin giderimi Uv-Vis spektrofotometre cihazı ile 180 dakika boyunca aralıklı ölçülen soğurma değerlerinden yararlanarak belirlenmiştir. Fotokatalitik ölçümler için kullanılan ışığın dalga boyu önemli bir parametre olduğundan yarıiletken malzemelerde yüzey reaksiyonlarının gerçekleşebilmesi için yüksek enerjili ve düşük dalga boylu Uv-A aydınlatması ile deneyler gerçekleştirilmiştir (Mehmet Aksoy, 2016). Şekil 4.10' da görüldüğü gibi en iyi fotokatalitik özelliği 200 C' de sentezlenen ZnO film göstermiştir. Başlangıçta 150 C' de sentezlenen ZnO film ile 200 C' de sentezlenen ZnO film hemen hemen aynı miktarda boyayı parçalamıştır. 120 dakikadan sonra 200 C' de sentezlenen yapının daha hızlı boyanın derişimin azalttığı açıktır. 180 dakikalık aydınlanma zamanı sonrasında 100 C' de sentezlenen ZnO film, yaklaşık olarak boyanın % 14' ünü parçalarken, 150 C' de sentezlenen ZnO film % 34' ünü, 200 C' de sentezlenen ZnO film ise % 37' sini parçalamıştır.



Şekil 4.9. Farklı sıcaklıklarda sentezlenen ZnO filmlerin su temas açısı (WCA) resimleri

Tablo 4.5. Farklı sıcaklıklarda sentezlenen ZnO filmlerin WCA ölçümleri

Sıcaklık	Temas açısı sol taraf CA left) [°]	Temas açısı sağ taraf CA right [°]	Ortalama Temas açısı CA mean [°]
100 C	90,49	90,53	90,51
150 C	90,82	93,09	91,95
200 C	95,96	97,13	96,54



Şekil 4.10. Farklı sıcaklıklarda sentezlenen ZnO film eşliğinde Rhodamine B'nin Uv-A ışığı altında giderimi

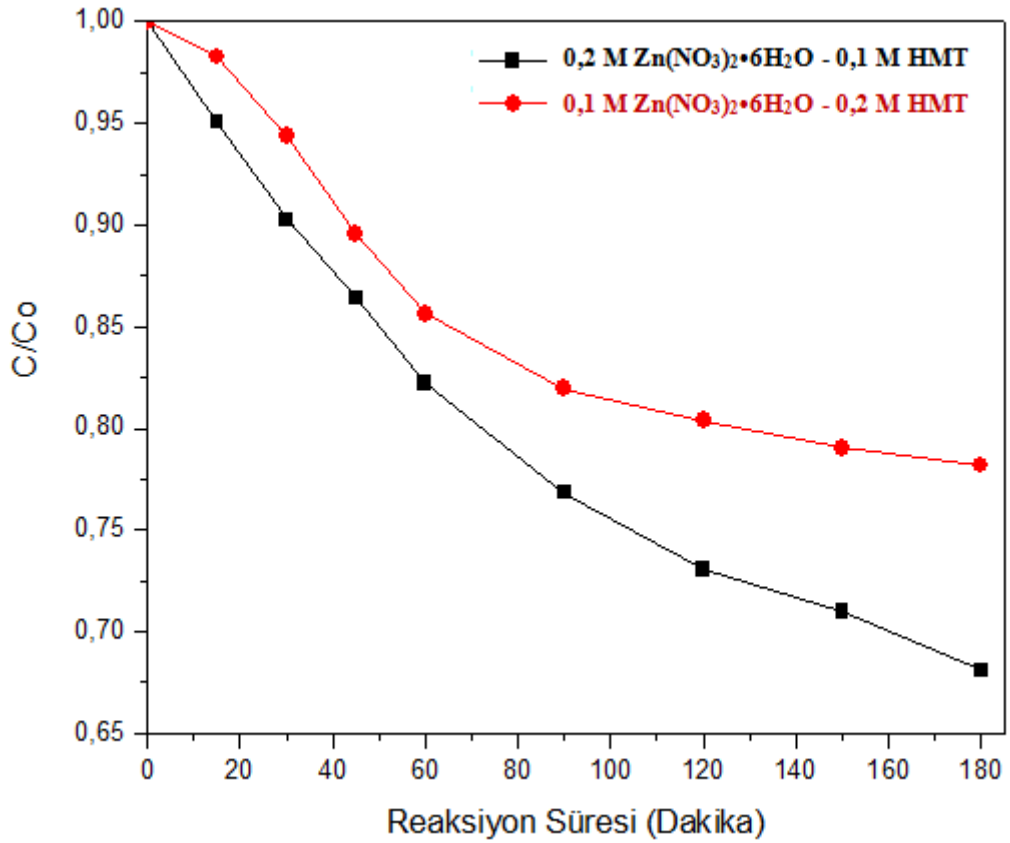
Şekil 4.11' de farklı konsantrasyonlarda sentezlenen ZnO filmlerin WCA resimleri ve Tablo 4.6' da WCA ölçümleri görülmektedir. Ortalama temas açısı değerlerine göre hibrit yapıya sahip ZnO film, hidrofilik doğa gösterirken, ZnO nanoçubuk dizilimler daha yüksek temas açısı ile hidrofobik doğaya sahiptir. ZnO yapıların fotokatalizör olarak kullanıldığı Rhodamine B'nin Uv-A ışığı altında zamana göre giderimini veren grafik şekil 4.12' de görülmektedir. Hidrofilik ZnO hibrit yapı, ZnO çubuk yapıya göre daha iyi fotokatalitik özellik göstermiştir. Hibrit ZnO yapı için giderim yüzdesi % 32 olarak hesaplanırken ZnO çubuk yapılar için % 22 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.11. Farklı konsantrasyonlarda sentezlenen ZnO filmlerin WCA resimleri

Tablo 4.6. Farklı konsantrasyonlarda sentezlenen ZnO filmlerin WCA ölçümleri

Konsantrasyon ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: HMT)	Temas açısı sol taraf CA left) [°]	Temas açısı sağ taraf CA right) [°]	Ortalama Temas açısı CA mean [°]
0,2-0,1 M	70,59	71,39	70,99
0,1-0,2 M	95,96	97,13	96,54



Şekil 4.12. Farklı konsantrasyonlarda sentezlenen ZnO film eşliğinde Rhodamine B'nin Uv-A ışığı altında giderimi

ZnO yapıların fotokatalitik giderim yüzdeleri dikkate alındığında, yapıların tümünün düşük fotokatalitik performans gösterdikleri söylenebilir. Literatürde parçacık boyutunun katalitik işlemin iyileştirilmesi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu bildiren, bunun karşıtı görüşü savunan ve parçacık boyut ile katalitik özellikler arasındaki korelasyonun tahmin edilemeyeceğini bildiren çalışmalar mevcuttur (Nandiyanto vd., 2017). Aynı zamanda ZnO'nun fotokatalitik performansının parçacık boyutu, morfoloji ve konsantrasyondan büyük ölçüde etkilenebileceği de bildirilmiştir (Hu vd., 2019). Bu tez çalışmasında kullanılan teknik, altlık ve sentezleme

parametrelerine bağlı olarak ZnO hibrit yapıların, ZnO nanoçubuk dizilimlerine gore daha iyi fotokatalitik performans gosterdiği ortaya koyulmuştur.



5. SONUÇLAR

Özet olarak wurtzite kristal yapısına sahip farklı morfolojilerde ZnO filmler herhangi bir çekirdek tabaka oluşturulmadan cam altlık üzerine CBD tekniği ile hızlı ve kolay olarak başarıyla sentezlenmiştir. (002) c-yönelimi için XRD ölçümlerinden hesaplanan parçacık boyutu ve dislokasyon katsayısı değerleri dikkate alındığında 150 C' de sentezlenen çubuk dizilimler en büyük parçacık boyutuna ve en küçük dislokasyon katsayısına (107 nm - 0,087 m⁻²) sahiptir. 200 C' de 0,1 - 0,1 M prekürsör kullanılarak sentezlenen ZnO hibrit filmler fotokatalizör olarak diğerlerine göre daha yüksek performans göstermiştir (% 37). Aynı sıcaklıkta Zn(NO₃)₂•6H₂O konsantrasyonu 2 katına çıkarıldığında mikro tüp, çubuk ve tabakalı dizilimlerden oluşan hibrit ZnO filmler elde edilmiştir. Elde edilen yapıların Optik Enerji Bant Aralığı 3,76 - 3,93 eV aralığında hesaplanmıştır. Sonuçlar, altlık üzerinde çekirdek tabaka olmaksızın (unseeded), tek adım işlem ve tek potada sentezleme (single step process and single pot synthesis) ile farklı morfolojilerde ZnO mikro ve nano yapıların kimyasal yöntemle kolayca elde edilebileceğini ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

Ahmad, D., van den Boogaert, I., Miller, J., Presswell, R., and Jouhara, H. (2018) "Hydrophilic and hydrophobic materials and their applications." *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 40(22), 2686-2725.

Alver, U., Zhou, W., Belay, A. B., Krueger, R., Davis, K. O., and Hickman, N. S. (2012) "Optical and structural properties of ZnO nanorods grown on graphene oxide and reduced graphene oxide film by hydrothermal method." *Applied Surface Science*, 258(7), 3109-3114.

Alvi, N. H., Hassan, W., Farooq, B., Nur, O. and Willander, M. (2013) "Influence of different growth environments on the luminescence properties of ZnO nanorods grown by the vapor-liquid-solid (VLS) method." *Materials Letters* 106, 158-163.

Ariyanto, N. P., Abdullah, H., Shaari, S., Junaidi, S., and Yulianto, B. (2009) "Preparation and characterisation of porous nanosheets zinc oxide films: based on chemical bath deposition." *World Applied Sciences Journal*, 6(6), 764-768.

Ashrafi, A. B. M. A., and Jagadish, C. (2007) "Review of zincblende ZnO: Stability of metastable ZnO phases." *Journal of Applied Physics*, 102(7), 4.

Aliofkhazraei, M., and Rouhaghdam, A. S. (2010) *Fabrication of nanostructures by plasma electrolysis*. John Wiley & Sons.

Ansell, J., and Rausch, H. (2011) "Report of the joint regulator-industry ad hoc working group: currently available methods for characterization of nanomaterials. Paris." International Cooperation on Cosmetics Regulation (ICCR-5), from http://ec.europa.eu/consumers/sectors/cosmetics/files/pdf/iccr5_char_nano_en.pdf

Ariyanto, N. P., Huda, A., Shaari, S., Junaidi, S. and Yulianto, B. (2009) "Preparation and characterisation of porous nanosheets zinc oxide films: based on chemical bath deposition." *World Applied Sciences Journal* 6(6), 764-768.

Bhakat, C., and Singh, P. P. (2012) "Zinc oxide nanorods: Synthesis and its applications in solar cell." *International Journal of Modern Engineering Research*, 2(4), 2452-2454.

Byrappa, K. and Yoshimura, M. (2012) *Handbook of hydrothermal technology*. William Andrew.

Bhushan, B. (2017) *Springer handbook of nanotechnology*. Springer.

Chen, X., Zhu, H. Y., Zhao, J. C., Zheng, Z. F., and Gao, X. P. (2008) "Visible-light-driven oxidation of organic contaminants in air with gold nanoparticle catalysts on oxide supports." *Angewandte Chemie International Edition*, 47(29), 5353-5356.

Chen, J., Lei, W., Chai, W., Zhang, Z., Li, C., and Zhang, X. (2008) "High field emission enhancement of ZnO-nanorods via hydrothermal synthesis." *Solid-State Electronics*, 52(2), 294-298.

Chen, Z., Shum, K., Salagaj, T., Zhang, W., and Strobl, K. (2010) "ZnO thin films synthesized by chemical vapor deposition." *Long Island Systems, Applications and Technology Conference*, 1(6), 632.

Erten Ela, S., Cogal, S., Turkmen, G., and Icli, S. (2010) "Hybrid solar cells using nanorod zinc oxide electrodes and perylene monoimide–monoanhydride dyes." *Current Applied Physics*, 10(1), 187-192.

Dasgupta, N. P., Sun, J., Chong, L., Brittan, S., Andrews, S. C., Lim, J., Gao, H., Yan, R. and Yang, P. (2014) "25th anniversary article: semiconductor nanowires—synthesis, characterization, and applications." *Advanced materials*, 26(14), 2137-2184.

Dalvand, R., Mahmud, S., and Rouhi, J. (2015) "Direct growth of flower-like ZnO nanostructures on porous silicon substrate using a facile low-temperature technique." *Materials Letters*, 160, 444-447.

Dresselhaus, M., Lin, Y. M., Rabin, O., Black, M., Kong, J., and Dresselhaus, G. (2007) "Nanowires." *Springer Handbook of Nanotechnology*, 113-160.

Dang, W. L., Fu, Y. Q., Luo, J. K., Flewitt, A. J., and Milne, W. I. (2007) "Deposition and characterization of sputtered ZnO films." *Superlattices and Microstructures*, 42(1-6), 89-93.

Dar, G. N. (2015) *Metal oxide nanostructures and their applications*. Diss.

Di Mauro, A., Fragala, M. E., Privitera, V., & Impellizzeri, G. (2017) "ZnO for application in photocatalysis: from thin films to nanostructures." *Materials Science in Semiconductor Processing*, 69, 44-51.

Duyar, N. (2015) "Hidrotermal yöntemle ZnO üretimi ve fotokatalitik aktivitesinin incelenmesi." Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Fu, S., Chen, J., Han, H., Wang, W., Shi, H., Fu, J., and Jia, Y. (2019) "ZnO Au Cu₂O nanotube arrays as efficient visible-light-driven photoelectrod." *Journal of Alloys and Compounds*, 799, 183-192.

Fujie, T. And Takeoka, S. (2014) "Advances in nanosheet technology towards nanomedical engineering." *Nanobiotechnology* 68, 68.

Filipponi, L. and Sutherland, D. (2012) "Nanotechnologies: principles, applications, implications and hands-on activities." *European Commission, European Union*

Feng, Z. C. (2012) *Handbook of zinc oxide and related materials: volume two, devices and nano-engineering*. CRC Press, 2.

Fernández-García, M. and Rodriguez, J.A. (2011) "Metal oxide nanoparticles." *Encyclopedia of inorganic and bioinorganic chemistry*.

Gancheva, M., Markova-Velichkova, M., Atanasova, G., Kovacheva, D., Uzunov, I., & Cukeva, R. (2016) "Design and photocatalytic activity of nanosized zinc oxides." *Applied Surface Science*, 368, 258-266.

Goddard III, W. A., Brenner, D., Lyshevski, S. E., and Iafrate, G. J. (2012) **Handbook of nanoscience, engineering, and technology**. CRC press.

Gençyılmaz, O., Atay, F. ve Akyüz, I. (2012) "ZnO yarıiletken filmlerinin optik, elektrik ve yüzey özellikleri üzerine ısı tavlama işleminin etkileri." **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 16(1), 56-60.

Gültekin, D., Kayış, F., ve Akbulut, H. (2016) "Hidrotermal Yöntem ile ZnO Nanoçubuk Üretimi." **Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 3(1), 20-24.

Ghaffarian, H. R., Saiedi, M., Sayyadnejad, M. A., and Rashidi, A. M. (2011). "Synthesis of ZnO nanoparticles by spray pyrolysis method." **Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering (IJCCE)**, 30(1), 1-6.

Hu, B., Sun, Q., Zuo, C., Pei, Y., Yang, S., Zheng, H., and Liu, F. (2019) "A highly efficient porous rod-like Ce-doped ZnO photocatalyst for the degradation of dye contaminants in water." **Beilstein Journal of Nanotechnology**, 10(1), 1157-1165.

Hussain, M. (2014) **Synthesis, Characterization and Applications of Metal Oxide Nanostructures**. Diss. Linköping University Electronic Press, 2014.

Jaber, A., Alamri, S. N., and Aida, M. S. (2011) "Ammonia free growth of CdS thin films by Chemical Bath Technique." **AIP Conference Proceedings**, 1370(1), 81-88.

Kamarulzaman, N., Kasim, M. F., and Rusdi, R. (2015) "Band gap narrowing and widening of ZnO nanostructures and doped materials." **Nanoscale research letters**, 10(1), 346.

Khranovskyy, V., Ekblad, T., Yakimova, R., and Hultman, L. (2012) "Surface morphology effects on the light-controlled wettability of ZnO nanostructures." **Applied Surface Science**, 258(20), 8146-8152.

Kumar, S. S., Venkateswarlu, P., Rao, V. R., and Rao, G. N. (2013) "Synthesis, characterization and optical properties of zinc oxide nanoparticles." **International Nano Letters**, 3(1), 30.

Koçyiğit, A., Tatar, D., Battal, A., Ertuğrul, M., and Düzgün, B. (2012) "Highly efficient optoelectronic properties of doubly doped SnO₂ thin film deposited by spin coating technique." **Journal of Ovonic Research**, 8(6), 171-178.

Khallaf, H., Chai, G., Lupan, O., Heinrich, H., Park, S., Schulte, A., and Chow, L. (2009) "Investigation of chemical bath deposition of ZnO thin films using six different complexing agents." **Journal of Physics D: Applied Physics**, 42(13), 135304.

Karadeniz, S. M., Ekinci, A. E., Tatar, D., ve Ertuğrul, M. (2014) "XRD and SEM results of WO₃ thin films deposited on quartz glasses." **International Journal of Applied**, 4(5), 137.

Kim, H. S., Seo, H., Kim, K., Lee, J., and Kim, J. H. (2018) "Facile synthesis and electrochemical properties of carbon-coated ZnO nanotubes for high-rate lithium storage." *Ceramics International*, 44(15), 18222-18226.

Li, Z. and Gao, W. (2004) "ZnO thin films with DC and RF reactive sputtering." *Materials Letters*, 58(7-8), 1363-1370.

Lee, J. H., Hong, B., and Park, Y. S. (2013) "Characteristics of sputtered ZnO films for buffer layer in inverted organic solar cells." *Thin Solid Films*, 3(8), 547.

Liu, X., Cao, J., Yang, L., Wei, M., Li, X., Lang, J., and Liu, Y. (2015) "Growth mechanism, optical and photocatalytic properties of ZnO nanorods@ nanoflowers (quantum dots) hybrid nanostructures." *Ceramics International*, 41(9), 12258-12266.

Liu, Y., Lv, H., Li, S., Xi, G., and Xing, X. (2011) "Synthesis and characterization of ZnO with hexagonal dumbbell-like bipods microstructures." *Advanced Powder Technology*, 22(6), 784-788.

Ma, Q., Wang, Y., Kong, J., Jia, H., and Wang, Z. (2015) "Controllable synthesis of hierarchical flower-like ZnO nanostructures assembled by nanosheets and its optical properties." *Superlattices and Microstructures*, 84, 1-12.

Morkoç Karadeniz, S. (2011) "Nanoyapıda tungsten oksit ince filmlerinin büyütülmesi ve yapısal, elektriksel, optik özelliklerinin incelenmesi." Yayınlanmamış doktora tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum.

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.

Morkoç, H., ve Özgür, Ü. (2008) *Zinc oxide: fundamentals, materials and device technology*. John Wiley and Sons, 135.

Ma, Q., Wang, Y., Kong, J., Jia, H., and Wang, Z. (2015) "Controllable synthesis of hierarchical flower-like ZnO nanostructures assembled by nanosheets and its optical properties." *Superlattices and Microstructures*, 1(12), 84.

Musselman, K. P., Mulholland, G. J., Robinson, A. P., Schmidt-Mende, L., and MacManus-Driscoll, J. L. (2008) "Low-temperature synthesis of large-area, free-standing nanorod arrays on ITO/glass and other conducting substrates." *Advanced Materials*, 20(23), 4470-4475.

Nandiyanto, A. B. D., Zaen, R., and Oktiani, R. (2017) "Correlation between crystallite size and photocatalytic performance of micrometer-sized monoclinic WO₃ particles." *Arabian Journal of Chemistry*.

Özgür, H., Gemici, Z., & Bayındır, M. (2007) "Akıllı Nanoyüzeyler." *Bilim ve Teknik Dergisi*, (473), 52-56.

Patolsky, F., Zheng, G. and Lieber, C. M. (2006) "*Nanowire sensors for medicine and the life sciences.*" 1(1), 51-65.

Quachtari, F., Rmili, A., Elidrissi, B., Bouaoud, A., Erguig, H. and Elies, P. (2011) "Influence of bath temperature, deposition time and S/Cd ratio on the structure, surface morphology, chemical composition and optical properties of CdS thin films elaborated by chemical bath deposition." *Journal of modern physics*, 2(09), 1073-1082.

Ramsay, J. D. F. and Kallus, S. (2000) "Zeolite membranes." *Membrane Science and Technology*, 6, 373-395.

Sayıkan, F. (2007) "Nano-TiO₂ fotokatalizör sentezi ve fotokatalitik aktivitesinin belirlenmesi" Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, *İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Malatya.

Sadeghi, B., Jamali, M., Kia, S., and Ghafari, S. (2010) "Synthesis and characterization of silver nanoparticles for antibacterial activity." *International Journal of Nano Dimension*, 1(2), 119-124.

Sakaoğlu, T. (2014) "Kimyasal banyo tekniği kullanılarak cam ve Ito altlık üzerine CdO nanoyapıların büyütülmesi ve karakterizasyonu". Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzincan.

Sokolov, P. S., Baranov, A. N., Dobrokhotov, Z. V., and Solozhenko, V. L. (2010). "Synthesis and thermal stability of cubic ZnO in the salt nanocomposites." *Russian Chemical Bulletin*, 59(2), 325-328.

Sun, Y., Fuge, G. M. and Ashfold, M. N. (2004) "Growth of aligned ZnO nanorod arrays by catalyst-free pulsed laser deposition methods." *Chemical Physics Letters*, 396(1-3), 21-26.

Smirnov, M., Baban, C., and Rusu, G. I. (2010) "Structural and optical characteristics of spin-coated ZnO thin films." *Applied Surface Science*, 256(8), 2405-2408.

Sorar, İ. ve Tepehan, Z.F. (2010) "ZnO ince filmlerin optik ve yapısal özelliklerine ısı işlem sıcaklığının etkisi." *İTÜ Dergisi*, 7(1), 2329.

Samadipakchin, P., Mortaheb, H. R., and Zolfaghari, A. (2017) "ZnO nanotubes: Preparation and photocatalytic performance evaluation." *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 337, 91-99.

Singh, S. C., Singh, D. P., Singh, J., Dubey, P. K., Tiwari, R. S., and Srivastava, O. N. (2008) "Metal Oxide Nanostructures; Synthesis, Characterizations and Applications." *Plasma Sci. Technol.*

Turgut, G., Tatar, D. and Düzgün, B. (2013) "Relationship Between the Doping Levels and Some Physical Properties of SnO₂: Sb Thin Films Spray-Deposited on Optical Glass." *Asian Journal of Chemistry*, 25(1).

- Verma, K., Chaudhary, B., Kumar, V., Sharma, V., and Kumar, M. (2017) "Investigation of structural, morphological and optical properties of Mg" *ZnO thin films prepared by sol-gel spin coating method.* " 146, 524-529.
- Wallace, I., Eshu, O. V., Chukwunonso, O. B., and Okoro, U. C. (2015) "Synthesis and characterization of zinc oxide (ZnO) nanowire." *Journal Nanomed Nanotechnol*, 6(2), 321.
- Wang, Z. L. (2004) "Zinc oxide nanostructures: growth, properties and applications." *Journal of physics: condensed matter* 16(25), 829-858.
- Wang, M., Hahn, S. H., Kim, J. S., Hong, S. H., Koo, K. K., and Kim, E. J. (2008) "Chemical bath deposition of textured ZnO thin films in aqueous/ethanolic solution." *Materials Letters*, 62(30), 4532-4534.
- Wang, Y. X., Sun, J., Fan, X., and Yu, X. (2011) "A CTAB-assisted hydrothermal and solvothermal synthesis of ZnO nanopowders." *Ceramics International*, 37(8), 3431-3436.
- Xia, B. Y., Yang, P., Sun, Y., Wu, Y., Mayers, B., Gates, B., Yin, Y., Kim, F. and Yan, H. (2003) "One-Dimensional Nanostructures: Synthesis, Characterization, and Applications" *Advanced Materials*, 15(5), 353-389.
- Xia, B. Y., Tu, J.P., Zhang, J., Wang, X. L., Zhang, W. K. and Huang, H. (2008) "Electrochromic properties of porous NiO thin films prepared by a chemical bath deposition." *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 92(6), 628-633.
- Yang, L. L., Zhao, Q. X., Willander, M., and Yang, J. H. (2009) "Effective way to control the size of well-aligned ZnO nanorod arrays with two-step chemical bath deposition." *Journal of Crystal Growth*, 311(4), 1046-1050.
- Yurtcan, M. T. (2011) "YBCO ince filmlerin darbeli lazer yığma tekniğiyle hazırlanması." Yayınlanmamış doktora tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum.
- Yi, G. C., Wang, C. and Park, W. (2005) "ZnO nanorods: synthesis, characterization and applications." *Semiconductor Science and Technology* 20(4), 22.
- Yi, S. H., Choi, S. K., Jang, J. M., Kim, J. A., and Jung, W. G. (2007) "Low-temperature growth of ZnO nanorods by chemical bath deposition." *Journal of colloid and interface science*, 313(2), 705-710.
- Znaidi, L. (2010) "Sol-gel-deposited ZnO thin films: A review." *Materials Science and Engineering*, 174(1-3), 18-30.
- Zheng, Z., Lim, Z. S., Peng, Y., You, L., Chen, L., and Wang, J. (2013) "General route to ZnO nanorod arrays on conducting substrates via galvanic-cell-based approach." *Scientific reports* 3, 2434.

EKLER

Ek-1. Tez Çalışması Süresince Yapılan Akademik Çalışmalar

Bozkurt Cirak, B., Morkoç Karadeniz, S., Özturan, M., Kilinc, T., Cirak, C., Ekinci, A. E. and Ertuğrul, M. (2011). "The effect of molarity on ZnO nanostructures synthesized by chemical bath deposition technique". (In Abstracts, Ed: Kılıç Özdemir, S., Polat, M. and Tanoğlu, M., p. 110). *International Porous Powder Materials Symposium & Exhibition (PPM 2015)*, 15-18 September 2015, İzmir, Turkey.

Morkoç Karadeniz, S., Özturan, M. (2018). "Facile Synthesis of ZnO Rods, Tubes and Sheets at Different Temperatures with Using Chemical Deposition Method". *International Conference on Innovative Engineering Applications (CIEA 2018)*. 20-22 Eylül 2018, Sivas, Türkiye

ÖZGEÇMİŞ

Araştırmacı 1987 yılında Erzincan ilinde doğdu. İlkokulu Gazi İlkokulu' nda, ortaokulu Cumhuriyet Ortaokulu' nda, liseyi (Y.D.A.L) Yabancı Dil Ağırlıklı Erzincan Lisesi' nde 2000-2005 yılları arasında tamamladı.

Üniversite Lisans öğrenimini Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik bölümünde 2007-2011 yılları arasında tamamladı.

2012 yılında Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde tezli yüksek lisans yapmaya hak kazandı ve lisansüstü öğrenimine başladı.



