

T.C.  
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FOTOVOLTAİK HÜCRELERDE KULLANILAN ZnO NANORODLARIN  
ÜRETİMİ VE BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENES ARSLAN

TEZ DANIŐMANI  
DOÇ. DR. SİNAN TEMEL

BİLECİK, 2022

10483000

T.C.  
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FOTOVOLTAİK HÜCRELERDE KULLANILAN ZnO NANORODLARIN  
ÜRETİMİ VE BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENES ARSLAN

TEZ DANIŐMANI  
DOÇ. DR. SİNAN TEMEL

BİLECİK, 2022

10483000



## BEYAN

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

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

**Enes ARSLAN**

**Tarih**

.../.../2022

**İmza**

.....

## **ÖN SÖZ**

Tez çalışması boyunca yardımlarını, engin bilgi ve tecrüberinden yararlandığım değerli danışman hocam Doç. Dr. Sinan TEMEL'e, beni bu günlere getiren üzerindeki hakları hiçbir zaman ödeyemeyeceğim rahmetli babam Recep ARSLAN ve annem Hava ARSLAN'a ve tüm bu süreç boyunca desteğini, sevgisini, ilgisini ve sabrını hiç eksik etmeyen değerli eşim Lütfiye ARSLAN'a sonsuz teşekkür ederim.

**Enes ARSLAN**

**2022**

## ÖZET

### FOTOVOLTAİK HÜCRELERDE KULLANILAN ZnO NANORODLARIN ÜRETİMİ VE BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

Günümüzde fotovoltaik (PV) olarak bilinmekte olan güneş enerjisi sistemlerine yoğun talep gösterilmektedir. PV sistemlerinde verimliliğin iyileşmesi, üretim maliyetinin düşürülmesi gibi alanlarda yapılmakta olan çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. İlerlemekte olan teknolojiyle birlikte modern cihazlarında gelişmesi ve yardımıyla PV sistemlerde kullanılmakta olan ince filmler üretilmekte ve bunların kristal yapıları, elektriksel özellikleri, optiksel özellikleri gibi alanlarda yapılan çalışmalar ve verimlilikleri artmaktadır. Bu çalışma kapsamında ZnO nanorodlar, ince film halinde üretilmekte olan filmlerin hibrit olarak ince film üretim teknikleriyle üretilmektedir. Üretim tekniği olarak kompleks ve pahalı teknoloji ile üretim tekniklerine alternatif olarak “Sol-gel manyetik döndürerek kaplama yöntemi” ve “Kimyasal banyo depolama tekniği” kullanılarak elde edilmiştir. Yapılan çalışmada da ilk olarak sol-gel manyetik döndürerek kaplama yöntemiyle cam alttaş üzerine ZnO çekirdek tabakalar üretilmiştir. Hazırlanmış olan ZnO çekirdek tabaka üzerine kimyasal banyo depolama yöntemi kullanılarak ZnO ince film üretilmiştir. Hibrit üretim tekniği sonucu ZnO nanorod yapıları oluşturulmuştur. ZnO ince film ve nanorodların X-Işınımı Kırınımı (XRD), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve UV-Vis Spektrofotometresi kullanılarak fiziksel özellikleri incelenmiştir. İncelemeler sonucunda XRD ve SEM analizlerinde nanorodların tek kristal yapı oluşturduğu ve yönelimlerin aynı yönde olduğu sonucuna varılmıştır. UV-Vis Spektrofotometresi ölçümleri ile yasak enerji aralığı 3,33 eV olduğu görülmüştür. ZnO nanorod hibrit üretim tekniği ile nanorod üretimi ekonomik ve basit bir şekilde üretilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** ZnO, Nanorod, İnce film, Sol-Gel Manyetik döndürerek kaplama, Kimyasal banyo depolama yöntemi

## ABSTRACT

### PRODUCTION OF ZnO NANORODES USED IN PHOTOVOLTAIC CELLS AND INVESTIGATION OF SOME PHYSICAL PROPERTIES

Today, there is an intense demand for solar energy systems, known as photovoltaic (PV). Studies in areas such as improving efficiency in PV systems and reducing production costs are increasing day by day. With the advancing technology, the development of modern devices and with the help of thin films used in PV systems are produced, and studies in areas such as their crystal structures, electrical properties, optical properties and their efficiency are increasing. Within the scope of this study, ZnO nanorods are produced by hybrid thin-film production techniques of films produced as thin films. It has been obtained by using "Sol-gel magnetic spin coating method" and "Chemical bath storage technique" as an alternative to production techniques with complex and expensive technology as a production technique. In the study, firstly, ZnO core layers were produced on glass substrate by sol-gel magnetic spin coating method. ZnO thin film was produced on the prepared ZnO core layer by using chemical bath storage method. As a result of hybrid production technique, ZnO nanorod structures were formed. The physical properties of ZnO thin films and nanorods were investigated using X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM) and UV-Vis Spectrophotometer. As a result of the investigations, it was concluded that the nanorods formed a single crystal structure in XRD and SEM analyzes and the orientations were in the same direction. With the UV-Vis Spectrophotometer measurements, the forbidden energy range was found to be 3.33 eV. Nanorod production was produced in an economical and simple way with ZnO nanorod hybrid production technique.

**Keywords:** ZnO, Nanorod, Thin film, Sol-Gel Magnetic spin coating, Chemical bath storage method

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖN SÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. MATERYAL VE METOT.....	3
2.1. Fotovoltaik Hücreler.....	3
2.1.1. Fotovoltaik Hücrelerin Çeşitleri.....	4
2.1.2. Fotovoltaik Hücrelerin Kullanım Alanları.....	6
2.2. Nanorod.....	7
2.2.1. Nanorod Özellikleri ve Çeşitleri.....	7
2.2.2. Nanorodların Kullanım Alanları.....	7
2.3. Çinko Oksit (ZnO).....	8
2.3.1. Çinko Oksitin Tarihçesi ve Özellikleri.....	8
2.3.2. Çinko Oksit (ZnO) Kullanım Alanları.....	9
2.3.3. Çinko Oksit (ZnO) İnce Film Üretim Teknikleri.....	11
2.3.4. Çinko Oksit (ZnO) Nanorod.....	14
2.4. Literatür Özeti.....	14
3. ÇİNKO OKSİT (ZnO) NANOROD.....	17
3.1. Sol-gel Yöntemi.....	17
3.1.1. Manyetik Döndürerek Kaplama Tekniği ve Yöntemi.....	17
3.1.2. Filmlerin Kaplanacağı Alttaşların Temizlenmesi.....	18
3.1.3. Sol-gel Çözeltilisinin Hazırlanması.....	18
3.1.4. Deney Parametrelerinin Belirlenmesi.....	19
3.1.5. ZnO Çekirdek Yapının Oluşturulması.....	19
3.2. Kimyasal Banyo Depolama Yöntemi.....	20
3.2.1. Kimyasal Banyo Çözeltilisinin Hazırlanması.....	21
3.2.2. Deney Parametrelerinin Belirlenmesi.....	21
3.2.3. Kimyasal Banyo Depolama Yöntemi ile ZnO Nanorodların Üretilmesi.....	21

<b>4. ÜRETİLEN ÇİNKO OKSİT (ZnO) NANORODLARIN KARAKTERİZASYONU .</b>	<b>23</b>
<b>4.1. İnce Filmlerin Yapısal Karakterizasyonu .....</b>	<b>23</b>
<b>4.1.1. ZnO Çekirdek Yapının Yapısal Karakterizasyonu .....</b>	<b>25</b>
<b>4.1.2. ZnO Nanorodların Yapısal Karakterizasyonu .....</b>	<b>26</b>
<b>4.2. İnce Filmlerin Yüzeysel Karakterizasyonu .....</b>	<b>30</b>
<b>4.2.1. ZnO Çekirdek Yapının Yüzeysel Karakterizasyonu .....</b>	<b>31</b>
<b>4.2.2. ZnO Nanorodların Yüzeysel Karakterizasyonu .....</b>	<b>33</b>
<b>4.3. İnce Filmlerin Optik Karakterizasyonu .....</b>	<b>39</b>
<b>4.3.1. ZnO Çekirdek Yapısının Optik Karakterizasyonu .....</b>	<b>40</b>
<b>4.3.2. ZnO Nanorodların Optik Karakterizasyonu .....</b>	<b>42</b>
<b>5. SONUÇ VE TARTIŞMA.....</b>	<b>43</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>46</b>

## TABLULAR LİSTESİ

	<b>Sayfa No</b>
<b>Tablo 2.1.</b> Fotovoltaik Hücre Çeşitleri .....	4
<b>Tablo 2.2.</b> İnce Film Üretim Teknikleri .....	11
<b>Tablo 3.1.</b> ZnO serisi filmlerin manyetik döndürerek kaplama yöntemi parametreleri.....	19
<b>Tablo 3.2.</b> ZnO nanorodların kimyasal banyo depolama yöntemi ile üretim parametreleri...	21
<b>Tablo 4.1.</b> Manyetik döndürerek kaplama yöntemi ile elde edilen C3 serisi filmlerin pik değerleri.....	26
<b>Tablo 4.2.</b> Kimyasal banyo depolama yöntemi ile elde edilen Z serisi filmlerin pik değerler.	29
<b>Tablo 4.3.</b> C3 serisi ZnO ince filmlere ait EDX sonuçları .....	33

## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa No

Şekil 2.1. Fotovoltaik Hücrelerin Seri ve Paralel Bağlanarak Yeni Modüller Oluşturulması ...	3
Şekil 2.2. Fotovoltaik Hücrelerin Çalışma Prensibi.....	4
Şekil 2.3. Hekzagonal ZnO kristal yapısı .....	8
Şekil 2.4. Aşağıdan Yukarı ve Yukarıdan Aşağı Üretim Teknikleri .....	11
Şekil 2.5. Sol-Jel Yöntemi Üretim Aşamaları.....	12
Şekil 2.6. Kimyasal banyo yöntemi ile kaplama cihazının gösterimi.....	13
Şekil 3.1. Sol-gel manyetik döndürerek kaplama cihazının gösterimi.....	17
Şekil 3.2. Kimyasal banyo depolama yönteminin uygulama şeması.....	20
Şekil 4.1. X-ışınlarının kristal tarafından kırınımı .....	23
Şekil 4.2. X-Işını Kırınımı (XRD) cihazı.....	25
Şekil 4.3. C3 serisi ZnO çekirdek yapısına ait XRD analiz spektrumu .....	26
Şekil 4.4. Cam altlıklar üzerine üretilen Z serisi ince filmlerin XRD analiz spektrumu .....	27
Şekil 4.5. Z1 serisi nanorodların XRD analiz spektrumu .....	28
Şekil 4.6. Z2 serisi nanorodların XRD analiz spektrumu .....	28
Şekil 4.7. Z3 serisi nanorodların XRD analiz spektrumu .....	29
Şekil 4.8. Taramalı elektron mikroskobu.....	30
Şekil 4.9. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	31
Şekil 4.10. C3 serisi ZnO ince filmlerin 20 kx büyütme SEM görüntüsü.....	32
Şekil 4.11. C3 serisi ZnO ince filmlerin 50 kx büyütme SEM görüntüsü.....	32
Şekil 4.12. Z1 serisi ZnO ince filmlerin 30 kx büyütme SEM görüntüsü.....	34
Şekil 4.13. Z2 serisi ZnO ince filmlerin 30 kx büyütme SEM görüntüsü.....	34
Şekil 4.14. Z3 serisi ZnO ince filmlerin 30 kx büyütme SEM görüntüsü.....	35
Şekil 4.15. Z1 serisi ZnO nanorodun 10 kx büyütme SEM görüntüsü.....	36
Şekil 4.16. Z1 serisi ZnO nanorodun 30 kx büyütme SEM görüntüsü.....	36

<b>Şekil 4.17.</b> Z2 serisi ZnO nanorodun 10 kx büyütmeli SEM görüntüsü.....	37
<b>Şekil 4.18.</b> Z2 serisi ZnO nanorodun 30 kx büyütmeli SEM görüntüsü.....	37
<b>Şekil 4.19.</b> Z3 serisi ZnO nanorodun 10 kx büyütmeli SEM görüntüsü.....	38
<b>Şekil 4.20.</b> Z3 serisi ZnO nanorodun 30 kx büyütmeli SEM görüntüsü.....	38
<b>Şekil 4.21.</b> UV-Vis. Spektrofotometresi .....	40
<b>Şekil 4.22.</b> C3 serisi ZnO ince filmin yasak enerji aralığı .....	41
<b>Şekil 4.23.</b> Z3 serisi ZnO nanorod yasak enerji aralığı.....	42

## KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

**cm:** Santimetre

**mm:** Milimetre

**nm:** Nanometre

**$\mu\text{m}$ :** Mikrometre

**$^{\circ}\text{C}$ :** Santigrat derece

**D:** Tane boyutu

**d:** Düzlemler arası mesafe

**eV:** Elektron volt

**g:** Gram

**M:** Molar

**$\lambda$ :** Dalga boyu

**$\mu\text{l}$ :** Mikrolitre

**$\sigma$ :** Elektriksel iletkenlik

**$\theta$ :** Gelen ışık ile yansıtıcı düzlem arasındaki açı

**$\theta\text{B}$ :** Bragg açısı

**$2\theta$ :** Kırınım açısı

**B:** Yarı pik genişliği

**n:** Yansıma mertebesi

**Å:** Angstrom

**XRD:** (X-Ray Diffraction) X-Işını Kırınımı

**EDX:** Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi

**SEM:** (Scanning Electron Microscope) Taramalı Elektron Mikroskobu

**FWHM:** (Full Width Half Maximum) Yarı pik genişliği

**ICDD:** (International Center for Diffraction Data) Uluslararası Kırınım Veri Merkezi

**LED:** (Light Emitting Diode) Işık yayan diyot

**MEA:** Monoetanolamin

**UV:** Ultraviolett

## 1. GİRİŞ

Ülkemizde teknolojik gelişmelere bağlı olarak sürekli artmakta olan enerji talebi, fosil yakıtlar olarak adlandırılan doğalgaz, petrol ürünleri, kömür vb. yakıtlarla karşılanmaktadır (Quailin ve Orozs, 2013:204). Fakat halihazırda kullanılmakta olan bu fosil yakıtların; sağlık ve çevre sorunlarına neden olmaları, rezervlerinin sınırlı olmaları, ilerleyen yıllardaki fiyat belirsizliği ve ürün haline dönüştüklerinde termal açıdan verimsiz olmaları gibi dezavantajları bulunmaktadır (Moser vd., 2013:130). Bu dezavantajlar doğrultusunda hidroelektrik, biyokütle, rüzgâr ve güneş enerjisi olarak sınıflandırılan yenilenebilir ve çevre dostu enerji kaynaklarına olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Yenilenebilir enerji sistemleri içerisinde yoğun talep gören güneş enerjisi sistemleri olan fotovoltaik (PV) sistemleridir. PV sistemleri teknolojinin gelişimi ile verimliliğin artırılması ve üretim maliyetlerinin azaltılması gibi çalışmalar artmaktadır (Zhao vd., 1998:1991).

Günümüzde teknolojinin getirmiş olduğu imkanların artması ve elektronik aygıtların küçük boyutlara indirgenmesiyle teknolojik cihazlara olan ilgiyi çok daha fazla arttırmış durumdadır. Bu aygıtların boyutlarındaki küçülme cihazın daha az yer kaplamasıyla beraber, cihazların daha küçük boyutta malzemeler kullanılarak hazırlanmasıyla çalışma hızlarının artırılmasını ve bu sayede malzemelerin kazanmış olduğu yeni özelliklerin kullanılmasıyla yüksek kaliteli fonksiyonel cihazlar üretilebilmesi sağlanmaktadır. Aynı zamanda üretilen bu cihazlar atomik düzeyde malzemeler kullanılarak hazırlanmasından dolayı nanoteknolojinin de gelişmesine yol açmaktadır.

İlerlemekte olan teknoloji ile birlikte modern cihazlarında gelişmesi ile birlikte PV sistemlerde üretiminde kullanılan ince filmler üretilmektedir. Üretilmekte olan ince filmlerin kristal yapılarının, optiksel özelliklerinin ve elektriksel özelliklerinin geliştirilmesi için yapılan çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır (Akkoyunlu, 2000). Tüm bu gelişmeler sayesinde ince filmlerin yarı iletken ve piezoelektrik cihaz üretimi, yansıtıcı ve yansıtıcı olmayan kaplamalar, sert kaplamalar ve mikro mekanik cihaz üretimi, sensör teknolojisi gibi farklı alanlarda kullanım olanağı doğmuştur (Smith, 1995:260).

İnce film teknolojilerinin en büyük uygulama alanı ise yarı iletken sanayileridir. Birçok yerde kullanılan LED olarak bilinen ışık yayan diyotlar, IC olarak adlandırılan entegre devreleri, lazerler, transistörler, ekranlar, gece görüş dürbünleri, güneş pilleri, optik ve manyetik kayıt cihazları bu teknoloji kullanılarak üretilmektedir. Özellikle ince film teknolojisinin genel olarak kullanılmakta olan alanlar; kimyasal ve fiziksel aşınmalara karşı

dirençli dekoratif ve sert kaplamalar, optik ve manyetik kayıt cihazları ve güneş pilleridir (Aksoy, 2006). Geçmişte teorik olarak incelenen ince film teknolojileri, gelişme göstererek kullanım alanlarının artması ile malzemenin basit yöntemlerle üretilmesine imkân sağlamak ve günlük yaşamda daha fazla kullanılmaktadır (Rossnagel, 1990).

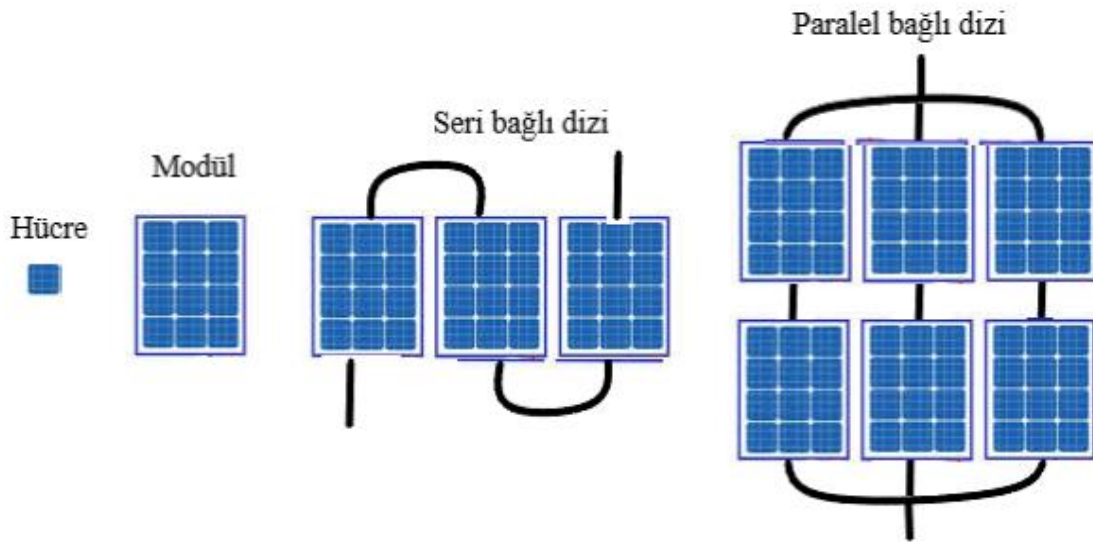
İnce film teknolojisinde nanoteknolojik malzemelerin geliştirilmesi ile yapılan çalışmalarda kullanılmakta olan en yaygın malzeme çinko oksit (ZnO) yarıiletkenidir. ZnO yarıiletkeni geniş bant aralığında olmasından dolayı, hassasiyetinden dolayı UV bölgelerde kullanılmak olan lazer diyot ve LED gibi malzemelerinin üretilmesinde kullanılmaktadır (Comba, 2009). Kullanım alanları sayesinde iletken ve saydam yapıda olan ince filmlerin hem endüstride kullanımı hem de yapılacak olan yeni araştırmalara zemin hazırlamaktadır. Literatüre ve endüstriye yeni bir malzeme eklemek adına yapılan çalışmalarda çinko oksit (ZnO) ve çinko oksit (ZnO) esaslı filmlerin farklı kaplamalar ile birçok alanda kullanılması artış göstermiştir.

Yapılan bu tez çalışmasında PV hücrelerde kullanılmak üzere ZnO nanorodların üretilmesi ve üretilen nanorodların bazı fiziksel özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Fotovoltaik Hücreler

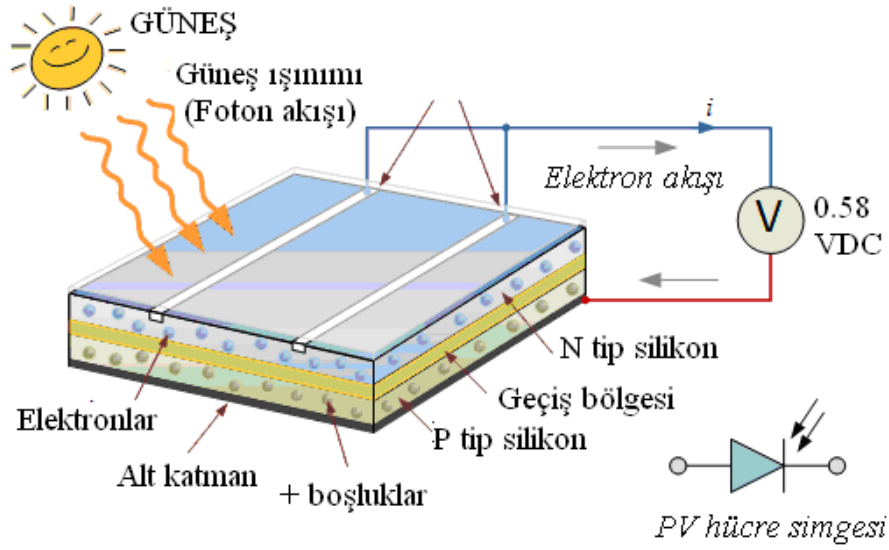
Güneşten foton olarak yayılan ışınlar hem dünyamızı aydınlatmada hem de ısıtmada büyük önem taşımaktadır. Üzerlerine gelen güneş ışınlarını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmek adına tasarlanmış düzenekler fotovoltaik hücreler olarak adlandırılmaktadır. Sadece bir fotovoltaik hücreden elde edilecek olan güç çok düşük seviyede olduğundan dolayı genelde paralel ya da seri bağlanarak kullanılmaktadır. Daha büyük uygulama alanlarında kullanılmak gerektiğinde ise fotovoltaik modüller şeklinde kullanılmaktadırlar (Deligöz ve Fakioğlu, 2007).



**Şekil 2.1.** Fotovoltaik Hücrelerin Seri ve Paralel Bağlanarak Yeni Modüller Oluşturulması

Dikdörtgen, kare ve daire şeklinde üretimi yapılmakta olan fotovoltaik hücreler yaklaşık olarak  $100 \text{ cm}^2$  alana sahiptirler. Genellikle P ve N tipi yarı iletkenlerin katkılanması ve bir araya getirilmesi ile oluşturulmaktadır. N tipi olarak üretilen yarı iletkenlerde elektronlar, P tipi olarak üretilen yarı iletkenlerde ise holler taşıyıcı olarak kullanılmaktadır. Aslında bu iki madde bir araya gelmeden önce her ikisi de nötr özellik göstermektedir. Yani N tipinde elektron sayıları ile pozitif enerji seviyeleri, P tipinde ise hol sayıları ile negatif enerji seviyeleri eşit miktarda bulunmakta ve bu sebepten dolayı nötr özellik göstermektedir. Bu şekilde PN yarı iletkenleri oluşturulduğunda, elektronlar N tipinden P tipine doğru hareket ederek elektrik akımı oluşmaktadır. Bu gerçekleşmekte olan olay P ve N taraflarındaki yük dengesi dengeleninceye kadar devam eder. Elde edilen PN yarı iletkenin ara bölgesinden, N bölgesi tarafında pozitif N bölgesi tarafında ise negatif yük birikmekte ve bu alan “geçiş bölgesi” olarak

adlandırılmaktadır. Bu bölgede meydana gelen elektriksel alan ise “yapısal elektrik alan” olarak isimlendirilmektedir (Karamanav, 2007:7).

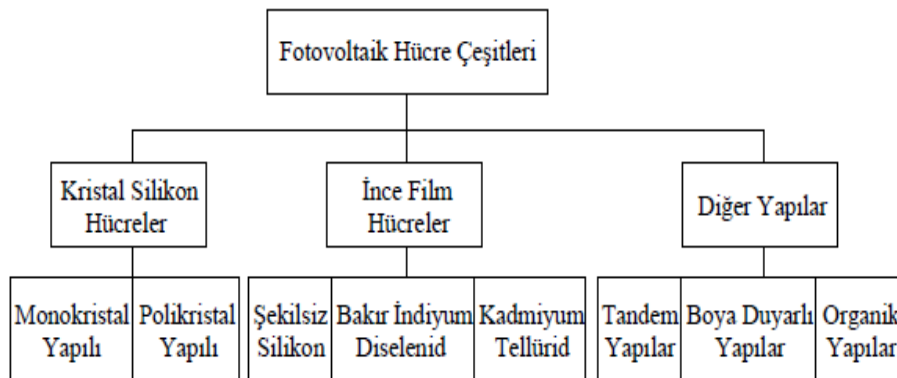


**Şekil 2.2.** Fotovoltaik Hücrelerin Çalışma Prensibi  
**Kaynak:** (Karamanav, 2007:7)

### 2.1.1. Fotovoltaik Hücrelerin Çeşitleri

Günümüzde farklı maddeler kullanılarak çeşitli fotovoltaik hücreler elde edilebilmektedir. Üretilmek istenen hücrenin verimliliği ve maliyeti göz önünde bulundurularak malzemeler tercih edilmektedir. Fotovoltaik hücrelerin sınıflandırılması aşağıda Tablo 2.1’de verilmiştir.

**Tablo 2.1.** Fotovoltaik Hücre Çeşitleri



**Kaynak:** (Goetzberger ve Hoffmann, 2005:95)

### **2.1.1.1. Kristal Silikon Hücreler**

Çoğunlukla kuvars ya da kum halinde bulunun silikon dioksit ( $\text{SiO}_2$ ) bileşiminde silikon, oksijenden sonra en fazla bulunan elementler arasında yer almaktadır. Karbon yardımıyla 1800 °C’ de ısıtılan  $\text{SiO}_2$  saflaştırma işlemi yapılarak silikon elde edilmektedir. Elde edilen silikon istenilen derecede saf olmadığından dolayı kimyasal yollarla saflığı artırılarak fotovoltaik hücre yapımında kullanılmaktadırlar (Goetzberger ve Hoffmann, 2005:95). Bu şekilde elde edilen silikonların yapısına göre monokristal ve polikristal yapılar olmak üzere iki başlık altında incelenmektedir.

### **2.1.1.2. İnce Film Hücreler**

Verimliliği arttırmak amacıyla farklı parametlerin değiştirilmesi ile fotovoltaik hücrelerde kullanılmak üzere ince silikonlar geliştirilmektedir. Bunun için genellikle bakır indiyum diselenid, kadmiyum ve şekilsiz silikonlar kullanılmakta ve sahip oldukları yüksek ışık soğurma özellikleri sayesinde güneşten gelen ışınları elektrik enerjisine çevirmeleri için 0,001 mm kalınlık yeterli olmaktadır. Kristal silikon teknolojisi ile kıyaslandığında hammaddenin az kullanılması, az enerji harcanması ve üretim kolaylığı bu teknolojiyi daha cazip hale getirmektedir. Daha az ışık ve daha yüksek sıcaklıklarda diğer fotovoltaik hücrelere göre performansı daha iyi derecededir. En önemli özelliği ise bulutlu havalarda dahi enerji üretimine devam etmeleridir (Şen).

### **2.1.1.3. Diğer Yapılar**

Tandem, boya duyarlı ve organik yapılar olmak üzere üç başlık altında incelenmektedir. Güneş ışığından maksimum derecede faydalanmak adına farklı bant aralığına sahip malzemelerin yukarıdan aşağı doğru dizilmesiyle tandem yapılar oluşturulmaktadır. İnce film ve amorf silisyum hücreleri kullanılarak, hücre sayısının artırılmasıyla verimlilik %50 oranında artış göstermektedir (Ünal, 2006:52).

Nanokristal yapıdaki boyar maddeye karşı duyarlı malzemelerin kullanılmasıyla boya duyarlı hücreler geliştirilmektedir. İki saydam elektrot arasına, elektrolit olarak kullanılmak üzere tuzlu solüsyon ve boyalı titanyum dioksit yerleştirilerek fotovoltaik hücreler oluşturulmaktadır. Burada titanyum dioksit 450 °C’ de ısıtılıp 10 µm kalınlık olacak şekilde fırınlanarak macun görevinde kullanılmaktadır. Titanyum dioksitin sadece mor ötesi ışığı soğurabilme özelliğine sahip olmasından dolayı fırınlama işlemi sonrasında yüzeyi rutenyum tabaka ile kaplanarak boyanın altta bulunun elektrotla bağlantı kurması sağlanmaktadır. Bu sayede hücre yüzeyine ışık çarptığında boya aktif hale gelerek titanyum dioksite elektron

vermektedir. İletilen bu elektron partiküllerin arasından geçerek üst elektrota ulaşmakta ve dış devre yardımıyla da alt elektrota ulaşmaktadır. Platin katalizör yardımıyla oluşan bu elektron, elektrolit solüsyonuna transfer edilmekte ve bu şekilde elektron boyayı ileterek devreyi tamamlamaktadır (Kıyak ve Koçyiğit, 2009:177).

Sonsuz sayıda bulunan organik malzemelerin kullanılmasıyla, düşük maliyetli ve üretim kolaylığı sağlayan organik fotovoltaiik hücreler yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle inorganik özellikteki malzemelerden büyük yapılarda fotovoltaiik hücreler üretmenin zor olmasından dolayı organik yapılar daha çok tercih edilmektedir. Kullanılan malzemeler sayesinde yüksek optik alım katsayısına sahip malzemeler üretmek mümkün olmaktadır. Enerji bakımından organik yapıdaki fotovoltaiik hücrelerin amortisman süresinin kısa olacağı düşünülmekte ve bu konuya olan ilgi günden güne artış göstermektedir (Oktik, 2001:15).

### **2.1.2. Fotovoltaiik Hücrelerin Kullanım Alanları**

Güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirmek amacıyla kullanılan fotovoltaiik hücrelerin düşük maliyetle elde edilmesi ve geliştirilmesi adına birçok çalışma yapılmaktadır. Özellikle son yirmi yılda gelişen teknoloji ile beraber fosil yakıtlardan ziyade temiz ve çevre dostu olan yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi gittikçe artmaktadır. Güneş enerjileri yani bu bağlamda kullanılmak üzere üretilen fotovoltaiik hücrelerin kullanımı da yaygınlaşmaktadır (Gabler, 1998:512). Fotovoltaiik hücrelerin başlıca kullanım alanları aşağıda sıralanmıştır:

- Bahçe aydınlatmaları
- Trafik işaret lambaları
- Sokak aydınlatmaları
- Cep telefonlarının şarj edilmesi
- Güneş arabaları
- Hesap makineleri ve saatler
- Güneş kuleleri
- Uçaklar ve yapay uydular

Bu kullanım alanlarını arttırmak adına yeni çalışmalar yapılmakta ve temiz enerji kaynaklarından daha çok fayda sağlanması amaçlanmaktadır (Yeşiltaş, 2009).

## **2.2. Nanorod**

### **2.2.1. Nanorod Özellikleri ve Çeşitleri**

Boyutları 1 ile 100 nm arasında değişiklik gösteren, kuantum etkileriyle beraber malzemelerin hacimsel halleriyle kıyaslandığında yeni ve önemli kimyasal ve fiziksel özellikler gösteren yapılar nanopartikül (nanorod) olarak adlandırılmaktadır. Nano boyutlara sahip partiküller göstermiş oldukları üstün ve benzersiz özelliklerinden dolayı malzeme bilimine ve aynı zamanda disiplinler arası birçok çalışmaya ortam hazırlamaktadır.

Nanorodların kimyasal tepkime sırasında harcanıp ürüne dönüşmeleri; şekillerine, yüzey atomik dizilimlerine, yüzey bileşimlerine ve boyutlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Üretilen nanorodların yüzey/hacim oranlarının büyük olması ile yapılarına mekanik, elektriksel, termal, manyetik ve optik gibi üstün özellikler kazandırılır (Yao ve Hong, 2009). Örneğin; kuantum etkisi sayesinde malzemede mikro seviyelerde gözlemlenemeyen kataliz özelliği nano seviyelerde gözlemlenebilmektedir. Kuantum etkisiyle malzeme parçacıklarının boyutları azalmakta elektronik özellikleri değişmektedir. Bazı metaller, yarıiletkenler ve yalıtkanlar bu özelliklerinde meydana gelene optik, manyetik ve kimyasal değişimlerle önem kazanmaktadır (Callister, 2013). Kısacası nanoteknoloji sayesinde, malzemelerin farklı ve üstün özellikleri kullanılarak yeni malzemeler, cihazlar ve sistemler geliştirilebilmektedir.

Nanorodların üretilmesinde iki temel hedef yer almaktadır. Birincisi; özel üretim yöntemlerinin kullanılmasıyla yeni malzemeler geliştirerek farklı özelliklerinden faydalanmak, ikincisi ise, büyük boyutlara sahip malzemelerinin iç yapılarında bulunan özelliklerini atomik düzeyde kontrollü bir şekilde değiştirerek üstün özellikler kazandırabilmektir (Kumar, 2007).

### **2.2.2. Nanorodların Kullanım Alanları**

Nanoteknolojinin hızla gelişmesi ile beraber yeni ve kullanım kolaylığı sağlayan ürünlere olan ilgi gün geçtikçe artış göstermektedir. Burada amaç günümüz teknolojisini kullanarak daha dayanıklı, hafif, hızlı, küçük ve yüksek kapasiteye sahip ürünler elde ederek ilgili alanlarda kullanmaktır. Bu sayede insan hayatı kolaylaşmakta ve ülkelerin gelişmişlikleri de artmaktadır (National Nanotechnology Initiative, 2000). Nanoteknolojik yöntemlerle üretilen nanorodların başlıca kullanım alanları şu şekildedir:

- Elektronik
- Opto elektronik (ışıkla etkileşim gösteren elektronik cihazlar)
- Nano elektromekanik cihazlar

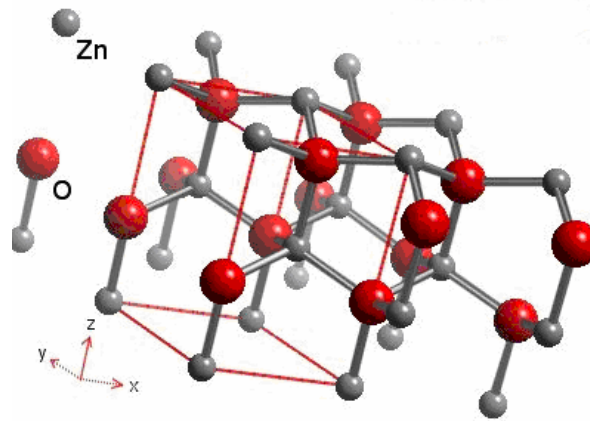
- İleri kompozit malzemeler
- Nano ölçekli cihazlar
- Biyo-moleküler nano algılayıcılar (Elnathan vd., 2012).

## 2.3. Çinko Oksit (ZnO)

### 2.3.1. Çinko Oksitin Tarihçesi ve Özellikleri

ZnO 1980 yılından günümüze kadar gelen süreçte birçok alanda kullanılan yarıiletken özelliğe sahip malzemedir. Düşük maliyeti, doğada bol miktarda bulunması, geniş bant aralığına sahip olması, ışık, ısı ve elektriği yüksek derecede iletmesi bu malzemeyi kullanılabilir yapan en önemli özelliklerdendir. Bu özellikleri sayesinde ITO (İndiyum Kalay Oksit) filmler yerine ZnO filmler tercih edilmektedir (Polat, 2009).

Çinko oksit (ZnO), periyodik tabloda çinkonun II. Grupta, oksijenin ise VI. Grupta yer almasından dolayı II-VI grup bileşikler içerisinde yer almaktadır. Oda sıcaklığında geniş bant aralığına (3,4 eV) ve yüksek bağlanma enerjisine (60 meV) sahip, beyaz toz görünümünde neredeyse suda hiç çözünemeyen inorganik bileşiktir (Klingshirn, 2007:782). Bundan daha büyük bant aralığına sahip farklı bileşikler bulunmasına rağmen sahip olduğu bağlanma enerjisi, radyasyon direnci ve düşük enerji eşiği gibi özellikleri ZnO bileşimini ideal bir malzeme konumuna getirmektedir (Jagadish ve Pearton, 2006). Şekil 3'de görüldüğü üzere hekzagonal (wurtzite) kristal yapıya sahiptir. Bu çinko oksit bileşiminin en kararlı halidir.



Şekil 2.3. Hekzagonal ZnO kristal yapısı

**Kaynak:** (Jagadish ve Pearton, 2006)

Bahsedilen birçok özelliği bir arada bulundurmasından dolayı ZnO yarıiletken vb. çalışmalarda teknolojik ve bilimsel açıdan büyük bir öneme sahiptir. Bu bağlamda yapılmış birçok çalışma olmasına rağmen zehirli olmaması, şeffaf olması, bol miktarda bulunması ve

direncinin değiştirilebilir olmasından dolayı hemen her alanda kullanılan bir bileşik konumundadır (Lee vd.,2003:94). Ayrıca ZnO kullanılarak üretilmiş olan aygıtlar yüksek güç ve sıcaklıklarda çalıştırılabilmektedir. ZnO yarıiletkenindeki elektron geçiş performansları yüksek ve düşük elektriksel alanlarda farklılık göstermektedir. Yüksek elektriksel alanlarda çalışıldığında ortamda uygulanmakta olan elektriksel alandan dolayı enerjileri sahip oldukları termal enerjileri ile karşılaştırılabilmektedir. Düşük elektriksel alanlarda yapılan çalışmalarda ise elektronların uygulanmakta olan elektriksel alandan fazla enerji alamamalarından dolayı, ZnO'in kendi sahip olduğu enerjisi çok fazla değişime uğramamaktadır. Bu nedenle ZnO ile yüksek frekans özelliğine sahip aygıt üretmek mümkün olmaktadır (Karakız, 2008).

ZnO'in sahip olduğu özellikleri ısıl işlem yapılarak ya da uygun katkı eklenerek değiştirilebilmektedir. Özellikle Ga, Li, Cu, Mg, Sn, In ve Al gibi katkı atomları kullanılarak farklı alanlarda uygulamalar yapılabilmektedir. Ga, Al ve In gibi iyonların katkı atomu olarak eklenmesi ile iletkenleri arttırılabilmektedir (Lee, 2014:516). Son olarak ZnO; günümüzde ve gelecekte teknolojiye ışık tutan ve aynı zamanda birçok farklı alanlarda kullanılan önemli bileşiklerin başında yer almaktadır.

### **2.3.2. Çinko Oksit (ZnO) Kullanım Alanları**

ZnO yüksek saydamlığı, ışığı iyi yakalayabilme karakteristiğine sahip olması, düşük direnç gösteren sayılı bileşikler arasında yer alması, kimyasal ve termal kararlılığı, düşük maliyetli olması, kendisi ile uygun atomlarla katkıldığında yüksek elektriksel iletkenlik göstermesi ve yüksek mekanik özelliği ile çok geniş bir uygulama alanına sahip bileşiktir (Romeo vd, 2006:1945). Elektronik sektörü, kimya sektörü, biyotıp ve nanoteknoloji alanı, yüksek hızlı cihazlar, yarıiletken özellik gösteren çok katmanlı cihazlar, fototermal dönüşüm sistemleri, güneş pilleri, LED'ler ve lazer diyotlar, optiksel görüş sensörleri, fotonik araştırmalar ve gaz sensörü cihazları en yaygın kullanım alanları arasında yer almaktadır (Salam, 2013:243).

Geniş bant yapısı ve bağlanma enerjisine sahip olmasından dolayı LED yapımında kullanılabilen en uygun malzeme konumundadır. Termoelektrik, fotoelektrik ve piezoelektrik özelliklerini barındırması nedeniyle optoelektronik cihazlar, UV dedektörler, yüzey akustik devreleri, termoelektrik cihazlar, biosensörler, ince film transistörleri ve pH sensörlerinde kullanılmaktadırlar (Tsay vd., 2010:126).

ZnO yarıiletkeninin kullanım alanlarının başında elektronik sektörü yer almaktadır. Elektronik devrelerde ve yüksek gerilim hatlarında meydana gelen ani voltaj değişimlerine

karşı koruma amacıyla kullanılan varistörlerin yapımında, düşük akıma sahip elektronik devrelerde ise absorblayıcı olarak kullanılmaktadır. ZnO yarıiletkeni kullanılarak elde edilen bu cihazlar yüksek güvenilirlik ve düşük maliyetli olma niteliğindedir (Singhal vd., 1996:239).

Elektronik sektöründeki kullanım alanlarından bir diğeri biyosensör uygulamalarında kullanılmak üzere üretilen elektrotlardır. ZnO'in hızlı elektron transfer özelliği, biyo uyumluluğu ve yüksek izoelektrik noktaya sahip olması hem biyosensör yapımında hem de düşük izoelektrik noktalara sahip olan proteinlerin emilimi uygulamalarında kullanılan cazip malzeme haline getirmektedir (Kumar, 2008:142).

Yüksek yük taşıma hareketliğine sahip olması, geniş bant aralığı, ışık toplama adına geniş yüzey alanına sahip olması ve boya duyarlılığına karşı verimli olması özellikleriyle ZnO ile üretilen elektrot malzemeleri boyaya karşı duyarlı güneş pillerinin yapımında kullanılmaktadır (Mende ve Driscoll, 2007:43).

ZnO ile üretilmekte olan ince filmler bir başka oksit filmlerle karşılaştırıldığı zaman; daha fazla mekanik ve kimyasal kararlılığı, iyi derecede optik iletkenlik göstermesi ve çevreye karşı duyarlılığı gibi üstün özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle son yıllarda üretilen düşük maliyetli optoelektronik cihazların geliştirilmesinde ve gaz sensörü uygulamalarında kullanılmaktadır (Yüksel ve Özkan, 2006:46).

Yine maliyetinin düşük olması ve yüksek fotoelektriksel özellik göstermesinden dolayı ZnO, mor ötesi ışık yayan diyotların yapımın kullanılmaktadır. Geçmiş yıllarda bu diyotlar galyum nitrat (GaN) ile yapılmaktaydı fakat bu yüksek maliyet gerektiren bir uygulama olmasından dolayı ZnO yarı iletkeni tercih edilmektedir (Liu ve Huang, 2006).

Kimya sektöründe ZnO'in en yaygın kullanım alanlarından biri boya sektörüdür. Yüzey boya içerisine ZnO nanopartikülleri ilave edilerek plastik ve dokuma gibi malzemelere mantar önleyici ve antibakteriyel özellik kazandırılmaktadır. Özellikle UV emici özellik kazandırmak ve koku önlemek için boya üretiminde kullanılmaktadır (Çeliker, 2008).

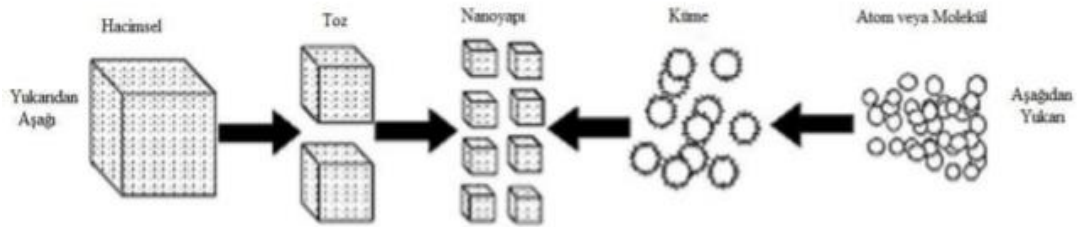
Tekstil sektöründe uzun süre kalıcı antibakteriyel özellik kazandırmak ve kullanılacak olan yüzeyde mikropların çoğalmasını engellemek amacıyla tekstil ürünleri içerisine ilave edilmektedir. ZnO renksiz olmasından dolayı insan gözü ile görülememekte ve UV ışınlarına karşı koruma sağladığından dolayı tekstil sektörü için önemli bir malzeme olmaktadır (Lines, 2007:242).

Kozmetik sektöründe ise nano boyutlara indirildiğinde şeffaf hale gelmesi, UV ışınlarına karşı koruma sağlama, mantar ve bakterilerin üremesini engellemesi gibi özellikleri

barındırması nedeniyle güneş kremleri ve kişisel bakım ürünleri üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır.

### 2.3.3. Çinko Oksit (ZnO) İnce Film Üretim Teknikleri

Büyük boyutu malzemelerden nano boyutlarda malzeme elde etmenin birçok yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler başlıca kendi içerisinde aşağıdan yukarı ve yukarıdan aşağı üretim teknikleri olarak adlandırılmaktadır. Aşağıdan yukarı üretim tekniği atomik ya da moleküler yapıdaki maddelerin kimyasal tepkimeler ile daha büyük boyutta malzemeler üretilmesi temeline dayanmaktadır. Yukarıdan aşağı üretim tekniği ise büyük boyutlu malzemelerin öğütme ve aşınma gibi mekanik işlemler doğrultusunda dışarıdan enerji verilerek nano boyutta malzemeler elde edilmesi temeline dayanmaktadır (Enderby ve Dowling, 2004). Şekil 2.4’de aşağıdan yukarı ve yukarıdan aşağı üretim teknikleri verilmiştir.

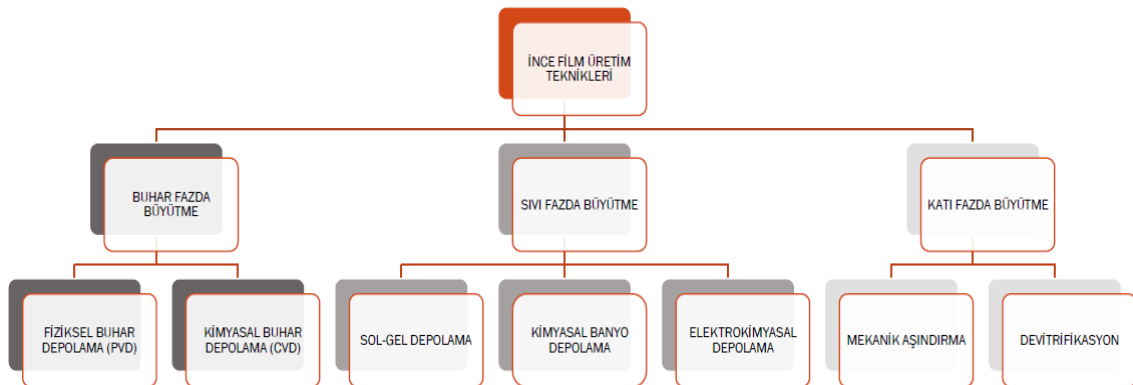


Şekil 2.4. Aşağıdan Yukarı ve Yukarıdan Aşağı Üretim Teknikleri

Kaynak: (Enderby ve Dowling, 2004)

ZnO bileşiğinin geniş kullanım alanları ve üstün özelliklere sahip olmasından dolayı geçmişte ve günümüzde birçok araştırmacı tarafından üretim teknikleri geliştirilmektedir. Bu üretim teknikleri aşağıdaki Tablo 2.2’de verilmektedir.

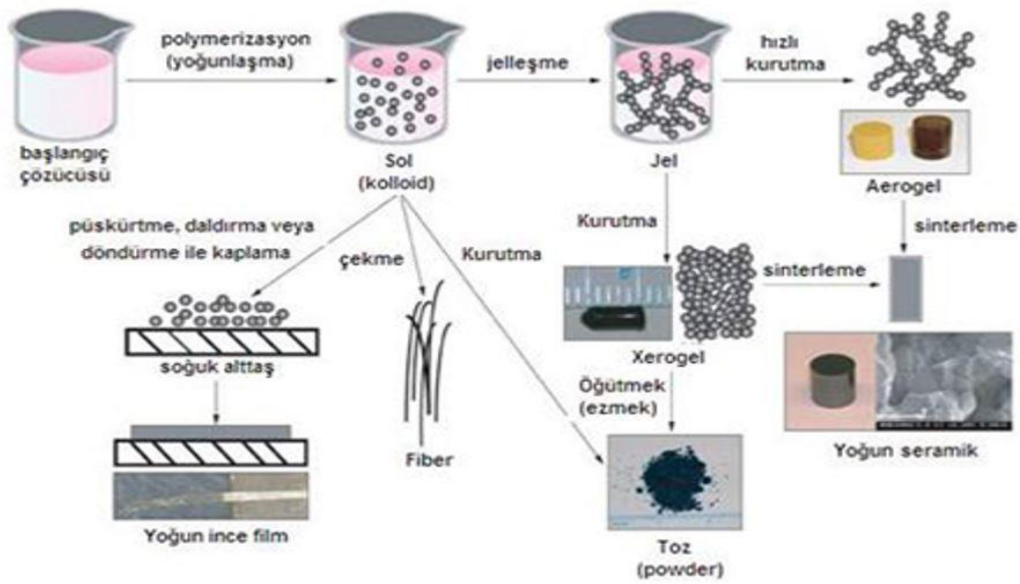
Tablo 2.2. İnce Filmlerin Üretim Tekniklerinin Gösterimi



Kaynak: (Enderby ve Dowling, 2004)

### 2.3.3.1. Sol-Jel Yöntemi

Sol-jel yönteminin üretim tekniği olarak, aşağıdan yukarı üretim tekniği mantığında çalışan yöntemler arasında yer almaktadır. Yöntem bir çözelti hazırlanarak jel haline getirilmesi ve daha sonra ortamda bulunan çözücünün uzaklaştırılması temeline dayanmaktadır. Boyutları 500 nm altında olan ve gözle görülemeyecek kadar küçük olan yapılar kolloid olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemde başlangıç çözeltisi “sol” kısmı, kolloidal parçacıkların bir araya gelmesiyle de “jel” kısmı oluşmaktadır (Bayramoğlu, 2005). Şekil 2.5’de sol-jel yönteminin üretim aşamaları verilmiştir.



Şekil 2.5. Sol-Jel Yöntemi Üretim Aşamaları

**Kaynak:** (Bayramoğlu, 2005)

Sol-jel yöntemi organik olmayan yani inorganik bileşiklerin ince film kaplamalarında kullanılmaktadır. Temel olarak üretim sisteminde kullanılacak olan başlangıç malzemesinin hidroliz daha sonradan ise yoğunlaşma gibi aşamalardan geçen bir sistemdir. Başlangıç bileşiğinin belirli oranlarda asit veya su ile birleştirilerek bir solüsyon haline getirilmesi ve belirli sıcaklıklarda karıştırılarak kimyasal bir tepkime geçirmesi ile bir bağ oluşumu meydana gelmektedir. Oluşan bu bağların sistem içerisinde bir araya gelerek büyümesi ile jel yapısı oluşmaktadır. Bu şekilde hazır hale gelen çözelti püskürtme, döndürme ve daldırma yöntemleri kullanılarak ince film kaplama tekniğinde kullanılmaktadır. Bu da teknolojik açıdan yöntemi önemli kılmaktadır.



Bu yöntem farklı ince film üretim teknikleri ile kıyaslandığında; maliyetinin ucuz olması, kullanılan aletlerin basit ve anlaşılır olması, çok yüksek sıcaklıklar gerektirmemesi ve analizler esnasında çok fazla malzeme israfının olmaması gibi özelliklere sahip olması diğer yöntemlerden avantajlı kılmaktadır.

#### **2.3.4. Çinko Oksit (ZnO) Nanorod**

ZnO birçok alanda kullanılan inorganik yapıya sahip kimyasal malzemedir. Son yıllarda; piezoelektrik özellik, yarıiletkenlik, geniş bant aralığı, yüksek geçirgenlik kimyasal duyarlılık, kendine özgü kuantum boyut ve yüzey hacmi gibi özelliklere sahip olmasından dolayı çinko oksit nanorodları hemen her alanda kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle çinko oksitin sahip olduğu yarıiletkenlikteki bant aralığı (3,37 eV) farklı bir bant aralığının yüksek olduğu malzemelerle kıyaslandığında (GaN, ZnSe, vb) bu malzemelerden daha yüksek bağlanma enerjisine (60 meV) sahip olduğu gözlemlenmiştir. Tüm bunların yanı sıra ZnO kullanılarak elde edilen nanorodlar insan sağlığına zarar vermeme, bir kere kullanıldığında uzun süre etkisini koruyabilme ve ışık enerjisini kullanarak kimyasal reaksiyon oluşturabilme özellikleri de taşımaktadır (Shao vd., 2006:249).

ZnO nanorodları günümüzde sensör yapımı, katalizörler, piezoelektrik güç çeviricileri, yüzey dalga araçları ve geçirgen iletkenlerin üretiminde kullanılmaktadır. Sahip oldukları üstün özellikleri ve geniş kullanım alanlarına sahip olmalarından dolayı çinko oksit nanorodlar son yıllarda üzerinde en çok çalışılan araştırmalara arasında yer almakta ve bununla ilgili birçok üretim yöntemi geliştirilmektedir (Gupta, 2006:5).

#### **2.4. Literatür Özeti**

ZnO nanorodları üretimi ve özellikleri ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar incelenmiştir. Düşük maliyetli ve sahip oldukları özellikleri nedeniyle bu konuyla ilgili farklı parametreler ve üretim teknikleri kullanılarak araştırmacılar tarafından birçok çalışma yapılmıştır.

Schuler ve ark., yapmış oldukları bir çalışmada, sol-jel yöntemini kullanarak cam altlıklar üzerine alüminyum (Al) katkılı yüksek geçirgenliğe sahip ZnO ince filmler üretmiş ve bunların elektriksel direncinin  $5 \cdot 10^{-3} \Omega \text{cm}$  olduğunu tespit etmişlerdir (Schuler vd., 1999:130).

Reddy ve ark., yaptıkları bir çalışmada, hazırlamış oldukları ince filmlerin optiksel geçirgenlik özelliklerinin uygulanan ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak arttığını tespit etmişler ve bu sonucun elde ettikleri ince filmin homojenliği ve kristalleşmesindeki değişmelere bağlı olduğu kanısına varmışlardır (Reddy vd., 1998:280).

Lee ve ark., yapmış oldukları bir çalışmada potasyum (K) katkılı ZnO ince filmleri elde etmişler ve bu filmlerin katkı oranını %2 mol arttırarak oluşan değişimleri gözlemlemişlerdir. Bu değişim neticesinde ZnO ince filmlerin kristal özelliğinin, optiksel geçirgenliği ve taşıyıcı konsantrasyonunun arttığını tespit etmişlerdir (Lee, 2004:420).

Joseph ve ark., yapmış oldukları başka bir çalışmada ise, sol-jel üretim yöntemini kullanarak Al katkılı ZnO ince filmler üretmişler. Kullanılan Al katkısını %1 ve %5 oranları arasında değiştirerek, katkı oranının elektriksel iletkenliğe üzerindeki etkilerini incelemişler ve bu araştırma sonucunda en düşük elektriksel iletkenlik değerinin  $2 \cdot 10^{-2} \Omega \text{cm}$  olarak gözlemlemişlerdir (Joseph vd., 1999).

Kumar ve ark., yapmış olduğu bir çalışmada yine sol-jel üretim yöntemi kullanılarak bor (B) katkılı ZnO ince filmler üretmişler ve katkı oranlarını %0 ile %1 arasında değiştirerek elde edilen ince filmlerin elektriksel iletkenliği, yapısal karakterizasyonunu ve optiksel özelliklerini incelemişlerdir. Bunun sonucunda B katkısının artmasıyla kristallik özelliğinin de arttığını tespit etmişlerdir (Kumar, 2011).

Zagar ve ark., kullanılan başlangıç çözeltisinin pH değerini 6,4 ile 16 arasında değiştirerek ZnO filmler üretmiş ve oluşan değişimleri incelemişlerdir. Yapmış oldukları bu çalışmada pH değerinin artmasıyla X-Işını Kırınımı (XRD) piklerinin tanecik boyutu ve şiddetinin de arttığını tespit etmişlerdir (Parmod vd., 2007:5420).

Alias ve ark., yapmış oldukları bir çalışmada başlangıç çözeltisinin pH değerinin 6 ile 11 arasında değişimler yaparak ZnO nanorodları üretmişler ve en çok kristal tanecik boyutunun pH değerinin 9 alındığı değerde olduğunu tespit etmişlerdir (Alias, 2010:233).

Maldonado ve ark., sol-jel yöntemini kullanarak yapmış oldukları bir çalışmada flor (F) ve Al katkılı, üç farklı kalınlık değeri ve farklı yaşlanma sürelerinde ZnO filmler üretmişler ve elde ettikleri bu filmin karbon monoksit (CO) algılama özelliği ve bazı fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Sonuç olarak ürettikleri filmlerin kristal boyutlarının film kalınlığı, yaşlanma süresi ve başlangıç olarak kullanılan çözeltiliye bağlı olarak değiştiğini tespit etmişlerdir (Maldonado, 2010:1817).

Houng ve ark., bor katkılı ZnO filmlerin farklı pH değerlerindeki özelliklerini incelemişler. Sonuç olarak pH değerinin artmasıyla, kristal boyutlarının arttığını ve yasak enerji aralığının ise azaldığını tespit etmişlerdir (Houng, 2007:330).

Yang ve ark., kimyasal buhar biriktirme yöntemini kullanarak yapmış oldukları bir çalışmada 200, 500 ve 700 C' de ZnO nanorodları üretmişler ve sıcaklığın nanorodların yapısı

üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Sıcaklığın artmasıyla beraber kristalizasyonun daha iyi olduğunu ve elde edilen partiküllerinde boyutlarının arttığını gözlemlemişlerdir (Yang vd., 2009:633).

Salavati-Niasara ve ark., termal parçalanma yöntemi ile değişik yüzey aktif maddeler kullanarak ortalama 20 nm çap değerine sahip ZnO nanopartikülleri üretmişler ve sonuç olarak elde ettikleri partiküllerin iyi bir morfolojik özelliğe sahip olduğunu gözlemlemişlerdir (Niasari vd., 2008:1819).

Han ve ark., yapmış oldukları bir çalışmada çöktürme ve piroliz yöntemi ile çimko oksit karbonat çözeltisini kullanarak homojen kıvamda ZnO nanopartikülleri elde etmişlerdir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanarak yaptıkları analizlerde farklı sıcaklık değerlerinde ürettikleri 8 ile 80 nm boyutları arasındaki nanopartiküllerin oluşmasında sıcaklığın değerinin önemli parametre olduğunu ve sıcaklığın artması ile ortalama partikül boyutunun arttığını gözlemlemişlerdir (Han, 2006:1208).

Romero ve ark., sprej piroliz yöntemi yardımıyla başlangıç çözeltisi olarak çinko asetat ve çinko klorür kullanarak ZnO ve Al ile doplanmış ZnO filmler üretmişlerdir. Farklı sıcaklık değerlerinde gerçekleştirdikleri analizlerde, düşük sıcaklık değerinde oluşturulan partiküllerin yüksek sıcaklık değerinde oluşturulan partiküllere nazaran daha kalın ve kaba yapıda olduklarını, başlangıç çözeltilerini değişik kullanılmasıyla elde ettikleri filmlerin değişik morfolojik özelliklere sahip olduklarını tespit etmişlerdir (Romeo, 2006:1945).

Ergin ve ark., sprej piroliz yöntemini kullanarak ZnO filmler üretmişler ve güneş pillerinde kullanılmaları amacıyla elde ettikleri filmlerin yapısını, morfolojisini, elektriksel ve optik özelliklerini incelemişlerdir (Ergin, 2009:5250).

### 3. ÇİNKO OKSİT (ZnO) NANOROD

#### 3.1. Sol-gel Yöntemi

##### 3.1.1. Manyetik Döndürerek Kaplama Tekniği ve Yöntemi

Manyetik döndürerek kaplama tekniği; alttaş malzemenin üzerine ince film biriktirmek için kullanılan bir tekniktir. Bu teknikte kullanılan ekipmanlar; Yüksek hızlara sahip manyetik karıştırıcı, özel yapışkanlı politetrafloroetilen ((teflon) PTFE) yuvarlak teflon manyetik döndürücü ve manyetik döndürücü üzerine konulan alttaşa damlatılan çözeltinin etrafa yayılmasını önleyen bir kapak kullanılmıştır. Manyetik karıştırıcı olarak kullanılan cihaz IKA marka, Big Squid White modelidir. Bu cihaz yüksek hızlarda dönebilen, ısıtmasız bir manyetik karıştırıcıdır.



**Şekil 3.1.** Sol-gel manyetik döndürerek kaplama cihazının gösterimi

Manyetik döndürerek kaplama tekniğinde, hızı ayarlanabilen manyetik döndürücü üzerindeki teflon manyetik döndürücü üzerine yerleştirilen alttaş malzeme ve alttaş üzerine hazırlanan sol-gel çözeltisinin damlatılmasıyla işleme başlarız. Dönme hızından oluşan kuvvet ile alttaşın üzerine damlatılan çözelti alttaş üzerine yayılır ve fazla olan çözelti alttaşın üzerinden akar. Döndürme işlemi tamamlandıktan sonra alttaş üzerinde oluşan filmin kristalleşmesi için belirli sıcaklıklarda tavlama işlemi yapılır. Tavlama işleminden sonra alttaş üzerinde kristalleşmiş, yoğunlaşmış ve homojen ince film elde edilir.

Alttaş üzerinde oluşturulacak olan ince filmin yapısal özelliklerini; manyetik döndürme hızı, manyetik döndürme süresi, çözelti konsantrasyonu, damlatılan çözelti miktarı, tavlama sıcaklığı ve tavlama süresi etkilemektedir.

Manyetik döndürerek kaplama yöntemi; film oluşturacak olan alttaşın üzerine çözeltinin damlatılarak farklı hız ve sürelerde manyetik olarak döndürülerek çözeltinin taban üzerinde yayılması ile film oluşturmasıdır. Alttaş üzerine kaplanan filmin kalınlığı döndürme hızına bağlıdır.

Manyetik döndürerek kaplama işlemi beş aşamada oluşmaktadır. Bunlar;

- Hazırlanan çözeltinin alttaş üzerine damlatılması
- Alttaşın farklı sürelerde ve hızlarda döndürülmesi
- Elde edilen ince filmin kurutulması
- Çok katlı yapı hazırlamak için sürecin tekrarlanması
- Oluşan çok katlı film tabakasında kristalleşme olması için farklı sıcaklıklarda tavlama işleminin yapılması.

### **3.1.2. Filmlerin Kaplanacağı Alttaşların Temizlenmesi**

İnce film üretiminde kullanılacak olan alttaş malzeme olan ISOLAB marka 10 mm \* 10 mm boyutlarında kesilmiş mikroskop lamı kullanılmıştır. Boyutlandırılmış olan alttaş malzemenin temizliği sırasıyla aşağıdaki prosedürler uygulanarak yapılmıştır.

- 5 dk Ultrasonik banyoda aseton ile karıştırma
- 5 dk Ultrasonik banyoda metanol ile karıştırma
- >Ultra saf su ile durulama
- Etüvde kurutma

Bu aşamalarda sonra alttaşların temizlenme işlemi gerçekleşmiş olur.

### **3.1.3. Sol-gel Çözeltisinin Hazırlanması**

İnce film üretmek için kullanılacak olan çözeltinin 0,5 M hazırlanması için gerekli olan malzemeler;  $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$  (çinko asetat dihidrat), çözdürücü olarak ise 2-metoksietanol ve stabilazör olarakta monoetanolamin (MEA) kullanılmıştır.

Sol-gel çözeltisi hazırlanırken öncelikle çözeltinin hazırlanacağı beher içerisine 30 ml 2-metoksietanol eklenmiştir. Üzerine 3,3005 gr çinko asetat dihidrat eklenir. Isıtmalı manyetik karıştırıcı 70 °C de 10 dk karıştırılır. Karışımdan sonra çözeltiliye stabilazör olan 0,3 ml MEA damla damla eklenir. Hazırlanan karışımın 70 °C de 150 dk boyunca karıştırıldı. Hazırlanan çözelti 2 gün boyunca bekletildi.

### 3.1.4. Deney Parametrelerinin Belirlenmesi

Üretilen ince filmlerde en iyi sonuca ulaşmak için altaşa uygulanan damlatma çözeltisi, döndürme hızı, dönme süresi, kaplanan katman sayıları ile tavlama sıcaklıkları gibi parametreler değiştirilerek sonuçlar incelenmiştir.

ZnO film oluşturmak için yapılan farklı denemeler sonucunda; damlatılan çözelti miktarı 15 µl ve döndürme süresi ise 30 sn olarak sabit tutulması kararlaştırılmıştır. İnce film kaplama katman sayısı olarak da 3,6 ve 9 kat olarak yapılmıştır. Yapılan ince filmler içerisinde en iyi yüzey üzerinde boşluksuz ve homojen bir şekilde dağıldığı kaplama katman sayısı 9 katlı olan kaplamada gözlemlenmiştir.

İnce film üretim parametreleri olarak;

- Çözelti miktarı: 15 µl
- Altaş döndürme süresi: 30 sn
- Altaş kaplama katman sayısı: 9 kat
- Altaş döndürme hızı: 1000, 2000 ve 3000 rpm
- Tavlama sıcaklığı: 300, 400 ve 500 °C olarak kararlaştırılmıştır.

**Tablo 3.1.** ZnO serisi filmlerin manyetik döndürerek kaplama yöntemi parametreleri

Altaş döndürme hızı (rpm)	Altaş katman sayısı	Tavlama sıcaklığı (°C)	Seri adı	
1000	9	300	A1	A
		400	A2	
		500	A3	
2000	9	300	B1	B
		400	B2	
		500	B3	
3000	9	300	C1	C
		400	C2	
		500	C3	

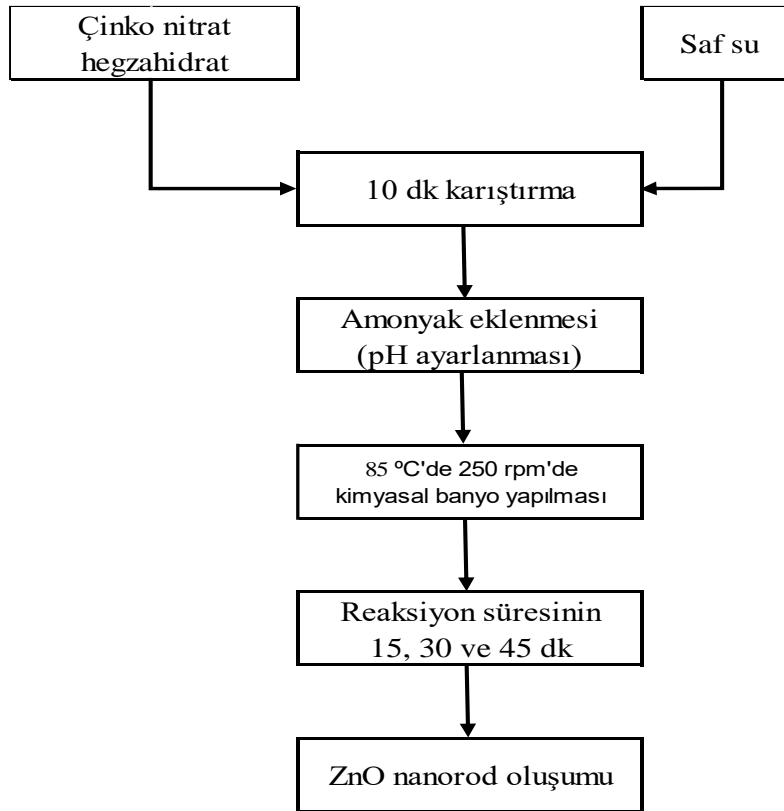
### 3.1.5. ZnO Çekirdek Yapının Oluşturulması

Çözeltinin hazırlanması ve altaş malzemenin temizlenmesinden sonra manyetik döndürerek kaplama işlemine başlanmıştır. İnce film üretmek için belirlenen parametreler doğrultusunda altaşın yüksek hızlarda dönebilen manyetik platform üzerine uygun bir şekilde yerleştirildi. Manyetik döndürücü üzerine kapak kapatıldı. Hazırlanan çözeltiden 15 µl çözelti mikro pipet yardımıyla altaşın tam merkezine gelecek şekilde damlatıldı. Damlatma

işleminde sonra manyetik olarak döndürme işlemi belirlenen parametre doğrultusunda başlatıldı. Dönme süresi olarak belirlenen 30 sn bittikten sonra manyetik döndürme cihazı durduruldu. Alttaş manyetik döndürme cihazından alınarak kurutma işlemi için Etüve 100 °C de 10 dk boyunca kurutma işlemi yapıldı. Alttaşın kurutulması yüzeyde tutulan çözeltinin buharlaştırılmasını ve içerisinde bulunan organik bileşikleri yüzeyden temizlenmesini sağlamak için yapılır. Bu yapılmış olan işlemle alttaşın hazırlanmış olan çözelti ile bir katmanlı ince film oluşturulmuş olur. Bu işlemi tekrarlayarak 9 katlı ince filmler elde edildi. Üretilmiş olan filmler tavlama için belirlenmiş olan parametre sıcaklıklarında 2 saat boyunca tavlama işlemi yapıldı. Tavlama işleminden sonra filmler dış ortama bırakılarak sıcaklığının oda sıcaklığına kadar düşürüldü. Filmlerin soğutulma işleminden sonra karakterizasyon yapılabilmesi için hazır hale gelmiş oldu.

### 3.2. Kimyasal Banyo Depolama Yöntemi

Kimyasal banyo depolama yöntemi; ince film oluşumunda kullanılacak olan kimyasal maddelerin belirli oranlarda karışım hazırlanan çözeltinin, uygun sıcaklıklarda alttaş malzeme üzerinde film olarak birikmesidir. Kimyasal banyolamada kullanılacak olan ekipmanlar; termal manyetik karıştırıcı, su banyosu, hazırlanan çözelti banyosu, kaplama yapılacak olan alttaş malzeme, alttaşın sabitlenmesi için maşa, termometre ve turnusol kağıdından oluşmaktadır.



Şekil 3.2. Kimyasal banyo depolama yönteminin uygulama şeması

### 3.2.1. Kimyasal Banyo Çözeltisinin Hazırlanması

Manyetik döndürerek kaplama yöntemi ile üretilen çekirdek yapılar üzerine, kimyasal banyo depolama yöntemi ile ZnO nanorodların üretilmesi için 100 ml saf su ve içerisine 2,98 gr  $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  (çinko nitrat heksahidrat) eklendi. Hazırlanan çözelti tamamen ve hızlı çözünmesi için manyetik karıştırıcı ile 10 dakika boyunca karıştırıldı. Karışım sağlandıktan sonra çözeltinin pH değerinin 10 olması için turnusol kağıdı yardımı ile kontrollü bir şekilde damla damla sulu amonyak ( $NH_3OH$ ) eklenerek kimyasal banyo çözeltisi hazırlanmış oldu.

### 3.2.2. Deney Parametrelerinin Belirlenmesi

Üretilen ince filmin kalınlığına ve kalitesine; çözeltinin konsantrasyonu, katalizörün yapısı, reaksiyon süresi, çözeltinin pH ve sıcaklığı, çözeltinin karıştırma hızı gibi parametreler belirlemektedir. Film banyolama sürecinde çözeltinin pH'i, sıcaklığı ve karıştırma hızı sabit tutulması kararlaştırılmıştır.

Manyetik döndürerek kaplama sonrasında üretilen çekirdek yapıların içinde alttaş üzerinde en iyi kristalleşme gösteren; 3000 rpm döndürme hızında, 9 katmanlı olarak üretilen, 500 °C de tavlanan alttaşların üzerine kimyasal banyo depolama yöntemi ile kaplama yapıldı.

Kimyasal banyo depolama yönteminde çözeltinin; pH 10, sıcaklığının 85 °C ve karıştırma hızının ise 250 rpm olarak sabit tutulmasına karar verilmiştir. Kimyasal banyo reaksiyon süresi ise 15, 30 ve 45 dk olarak belirlenmiştir.

**Tablo 3.2.** ZnO nanorodların kimyasal banyo depolama yöntemi ile üretim parametreleri

Çözelti pH	Çözeltinin karıştırma hızı (rpm)	Çözelti sıcaklığı (°C)	Reaksiyon süresi (dk)	Seri adı	
10	250	85	15	Z1	Z
			30	Z2	
			45	Z3	

### 3.2.3. Kimyasal Banyo Depolama Yöntemi ile ZnO Nanorodların Üretilmesi

Çözelti banyosu içerisinde kimyasal banyo yaptırılacak olan alttaşlar belirlenen parametreler doğrultusunda seçilerek maşa yardımı ile tutturularak çözelti içerisine daldırılır. Manyetik karıştırıcı karıştırma hızı 250 rpm olacak şekilde çalıştırılır. Sıcak kontrolü ile çözelti sıcaklığı 85 °C olana kadar ısıtıcı sıcaklığı ayarlanır. Çözelti banyo sıcaklığı 85 °C de sabit tutulur. Çözelti banyo sıcaklığı 85 °C de sabitlendikten sonra süre tutulmaya başlanır. 15 dakika

boyunca çözeltili banyosu içinde duran bir alttaş çıkarılır. Banyo içerisinde çıkarılan alttaş saf su ile yıkanarak açık havada kurutulmaya bırakılır. Böylelikle ZnO nanorod ince film üretimi başarıyla üretilmiş olur. Banyo işlemi bu şekilde 15, 30 ve 45 dakika olarak belirlenen parametreler çerçevesinde yapıldı.

Belirlenen parametrelerde yapılan kimyasal banyolama işleminden sonra üretilen ZnO nanorod ince filmler karakterizasyon işlemi yapılmaya hazır hale gelmiştir.

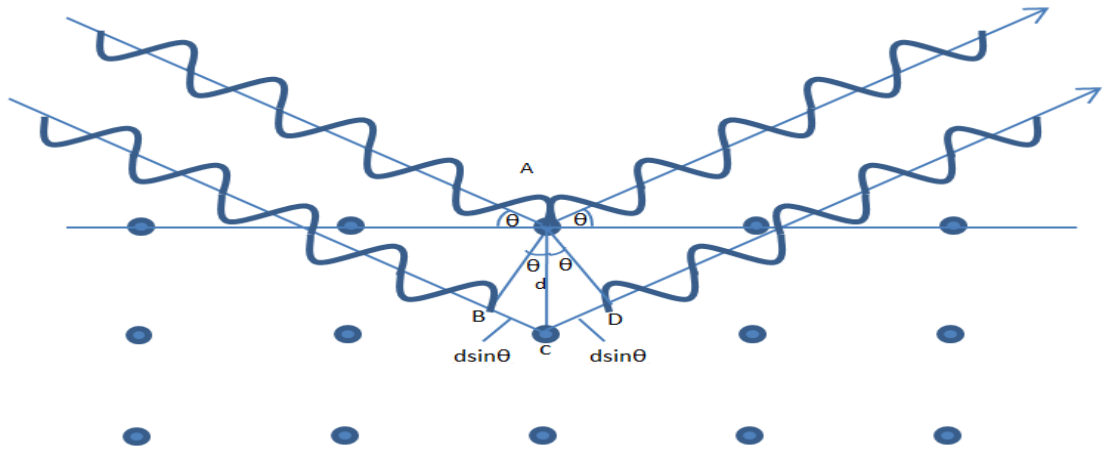
## 4. ÜRETİLEN ÇİNKO OKSİT (ZnO) NANORODLARIN KARAKTERİZASYONU

### 4.1. İnce Filmlerin Yapısal Karakterizasyonu

Max Von Lave ilk kez 1912 yılında X-ışını kırınım spektrumları kullanarak, kristal yapının varlığını ve kristal yapı içerisindeki atomların dizilişlerini incelemiştir. Fizikçi William Lawrence Bragg 1912-1913'te atomik çözünürlük yapısını belirlemiş ve Bragg yasasını ana hatları ile açıklamıştır. Atomların düzenlenmesini belirlenmesinde X-ışını kırınımı her tür inorganik, organik ve biyolojik moleküllerin yani sıra metallerin, minerallerin ve yarıiletkenlerin ana yöntem olarak kabul edilir (Shih, 2013).

X-ışını kırınımı yöntemi, katı kristal yapının analizinin yapılmasında ve kristalin karakteristik özelliklerin belirlenmesinde kullanılır. X-ışınlarının kristallerinin atomlar arası mesafesiyle kıyaslanabilecek boyutlarda 0,1-100Å dalga boyuna sahip olması kristal yapı analizlerinde kullanılmasını sağlar. X-ışınlarının periyodik tekrarlı ve düzenli dizilime sahip kristal yapıların üzerine geldiğinde kristallerin atomlarına çarparak yansımaktadırlar. Katı kristal atomların geometrik yapılarına göre kırınıma uğramış X-ışınlarının oluşturmuş olduğu kırınım deseni ile kristal yapı belirlenmiş olur. X-ışınlarının kırınımı temel olarak Bragg yasası ile incelenir. Bragg yasası, X-ışını kırınımı ile kristalin düzenli dalga geometrik yapıları ve ışınların dalga boyu arasındaki bağlantıyı kurarak, ışınların düzenli ardışık ve simetrik düzlemlerden yansımaya dayanmaktadır (Cullity & Stock, 2001).

Bragg yasasına göre, Şekil 4.1'de görülmekte olan paralel sıralı düzlemlerin  $d$  aralıklarıyla sıralandığı ve bir X-ışını demetinin düzlemlerden birisi ile  $\theta$  açısı yapacak biçimde geldiği varsayılır.



Şekil 4.1. X-ışınlarının kristal tarafından kırınımı  
Kaynak: (Cullity & Stock, 2001)

Kristal yapı üzerine gelen X-ışını demetleri  $\theta$  açısıyla geldiğinde ışınların bazı ışınları yüzey atomlarıyla etkileşime girerek saçılmaktadır. Saçılma olduğu andan itibaren simetrik komşu olan düzlemlerinde aynı faz ile saçılmalar meydana gelmektedir. Kristal yüzeye gelen ışın demeti hem üst hem de alt atomların düzleminde yansır. Yalnız üst düzlemden yansımakta olan ışın alt düzleminde yansımakta olan ışından çok az yol kat edilmektedir. Bu alt ve üst ışın demeti arasındaki kat edilen yol farkı Eşitlik 4.1 ile hesaplanmıştır (Kittel, 1996).

$$|BC| + |CD| = d\sin\theta + d\sin\theta = 2d\sin\theta \quad (4.1)$$

Bragg Kırınımına göre bu yol farkı Eşitlik 4.2'de gösterildiği gibi yüzeye gelen ışının dalga boyunun ( $\lambda$ ) kat katları olduğu zamanda yansıma gerçekleşir (Kittel, 1996).

$$n\lambda = 2d\sin\theta_B \quad (4.2)$$

Burada  $\theta_B$ ; Bragg kırınım açısını,  $d$ ; düzlemler arasındaki mesafeyi,  $n$ ; yansıma mertebesini göstermektedir. Yüzeye gelen X-ışın doğrultusu ile yüzeyden yansıyan ışın arasındaki kırınım açısı  $2\theta$  olup, bu açığa difraksiyon açısı olarak da adlandırılmaktadır. Bragg yasası, kristal yapı üzerine bilinen dalga boyundan gönderilen ışının kırınım açısı  $2\theta$  ölçülerek düzlemler arası  $d$  mesafesi bulunur ve bu ölçüler yapılarak malzemenin X-ışını kırınım deseni elde edilir.

Elde edilen X-ışını kırınım desenlerinden, malzemelerin kristal yapıları hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlar. Malzemeye üzerinde oluşan kristal yapının, kristalin düzlemi, kristal düzlemin pik şiddeti ve yarı pik genişliği hesaplanarak oluşmakta olan kristalleşme hakkında bilgi elde etmemizi sağlar. Malzeme düzlemindeki pikin şiddeti büyük olduğu yarı pikin ise aralığının küçük olduğu gözlemleniyorsa kristalleşmenin iyi olduğu görülmektedir. (Grosso & Parravicini, 2013).

Malzemeye ait kristalleşme yapısı hakkında bilgi edinmek için, kristal düzlemi, pik şiddeti ve yarı pik genişliği dışında birde ortalama tane boyu ( $D$ ) olup Eşitlik 4.3'de gösterilen Scherrer Formülü ile hesaplanır.

$$D = \frac{0,9\lambda}{\beta\cos\theta_B} \quad (4.3)$$

Scherrer Formülündeki  $\beta$  XRD ile ölçülen yarı pikin radyan cinsinden genişliği,  $\lambda$  ise XRD cihazından malzemeye gönderilen X-ışını dalga boyutudur. Malzeme üzerinde oluşan kristal yapıda bulunan tanelerin boyutlarının artması ile tane sınırları da azalmaktadır. Buna

istinaden tanelerin boyutlarının artması ile oluşan kristalleşmeler iyileşmektedir. (Cullity & Stock, 2001).

#### 4.1.1. ZnO Çekirdek Yapının Yapısal Karakterizasyonu

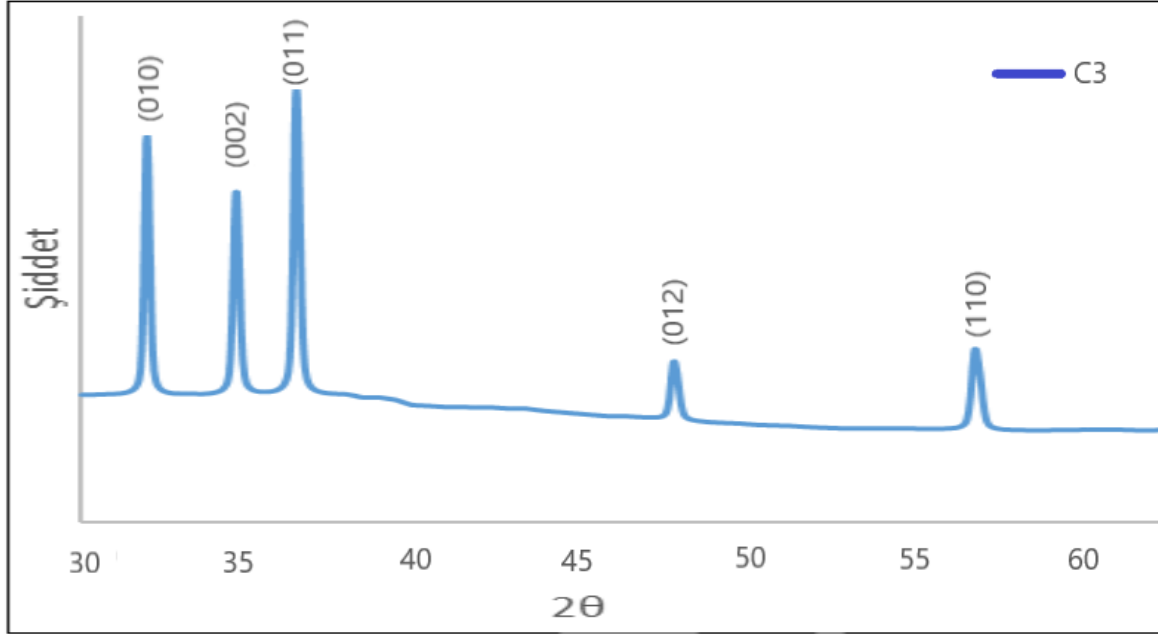
Üretilen ZnO çekirdek yapının yapısal özelliklerini Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan PANALYTICAL marka, Emprayan model XRD cihazı kullanılarak incelenmiştir. XRD cihazı Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. X-Işını Kırınımı (XRD) cihazı

İnce filmlerin XRD cihazında incelenmesi için cihazın çalıştırılması gereken gerilim 45 kV ve akım değerinin 40 mA olarak ayarlanmıştır. Dalgaboyu 1,5406 Å olan  $\text{CuK}\alpha$  ışını kullanılarak, tarama hızı 2 derece/dakika olarak seçilmiş ve  $30^\circ \leq 2\theta \leq 60^\circ$  sınır değerleri belirlenerek incelemeler yapılmıştır. XRD cihazı ile ölçülen yapılar; hekzagonal yapıda olan ZnO ince filmin ICDD (International Centre for Diffraction Data) 98-003-1052 ile karşılaştırıldı. Sol-gel manyetik döndürerek kaplama yöntemi ile üretilen ZnO çekirdek yapılar

(A, B ve C serisi) XRD spektrumları incelendiğinde en iyi kristalleşmeyi gösteren serinin C3 serisi olduğu görülmüştür. C3 serisi ZnO çekirdek yapısına ait XRD analiz spektrumu Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



**Şekil 4.3.** C3 serisi ZnO çekirdek yapısına ait XRD analiz spektrumu

XRD spektrumları incelendiğinde, C serisi ince filmler polikristal yapıdadırlar. ZnO ince filmlerin pik şiddetlerine bakıldığında, C3 serisi pik şiddeti C1 ve C2 serisinden daha büyüktür. C serisindeki en şiddetli heksagonal ZnO yapı (011) piki olup, sırasıyla (010), (002), (011), (012) ve (110) olmak üzere beş adet pik gözlemlenmektedir.

Üretilen C3 serisinin XRD spektrumundan elde edilen yarı pik genişlikleriyle (FWHM) ve Scherrer Formülü ile hesaplanan tane boyutu değerleri Tablo 4.1 verilmiştir.

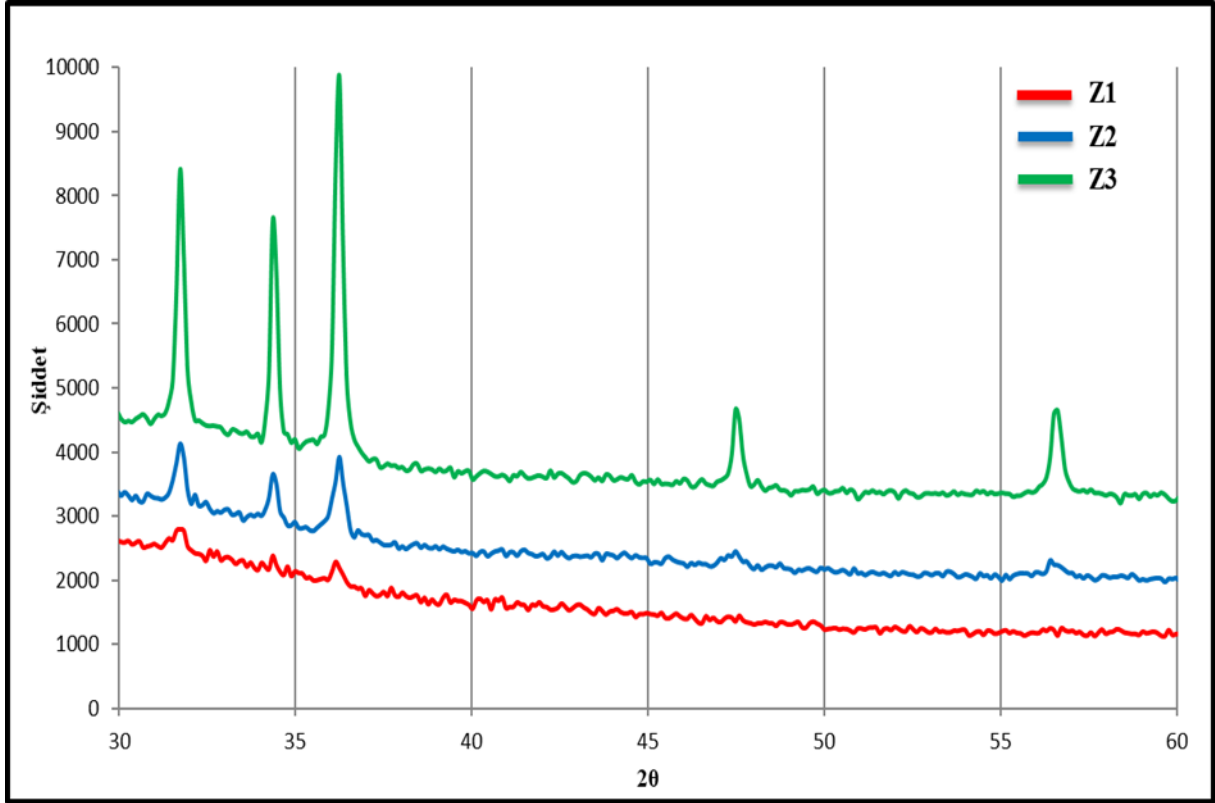
**Tablo 4.1.** Manyetik döndürerek kaplama yöntemi ile elde edilen C3 serisi filmlerin pik değerleri

Seri	FWHM	D (nm)
C3	0,18	107

#### 4.1.2. ZnO Nanorodların Yapısal Karakterizasyonu

Kimyasal Banyo Depolama Yöntemi ile üretilen ince filmlerin XRD cihazında incelenmesi için cihazın çalıştırılması gereken gerilim değerinin 45 kV ve akım değerinin 40 mA olarak ayarlanmıştır. Dalgaboyu 1,5406 Å olan CuK $\alpha$  ışını kullanılarak, tarama hızı 2 derece/dakika olarak seçilmiş ve  $30^{\circ} \leq 2\theta \leq 60^{\circ}$  sınır değerleri belirlenerek incelemeler yapılmıştır.

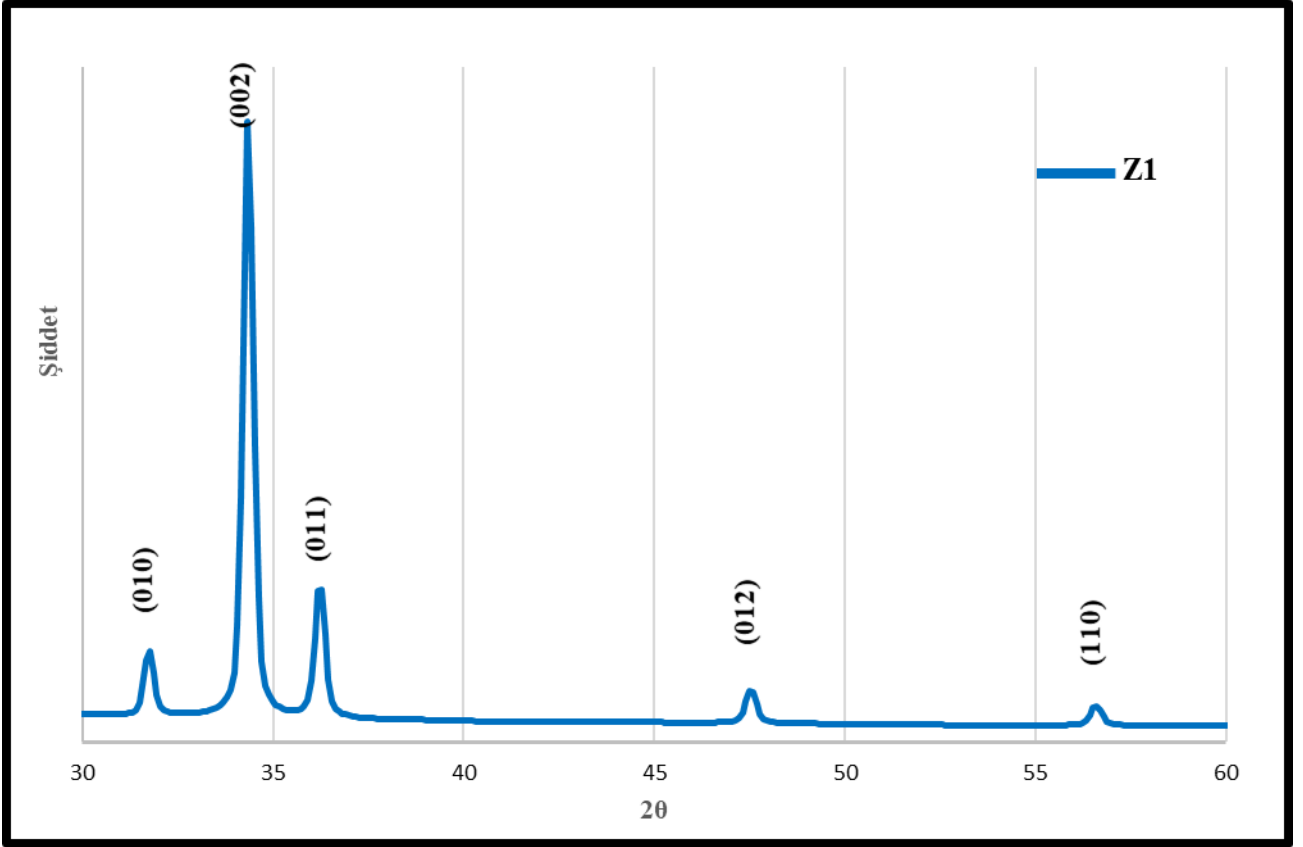
ZnO ince filmler kimyasal banyo depolama tekniği ile sol-gel manyetik döndürerek kaplama yöntemiyle üretilen ZnO çekirdek yapılar üzerine değil de kaplamasız cam altlıklar üzerine kaplandığında üretilen ZnO yapıların XRD spektrumları Şekil 4.4'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



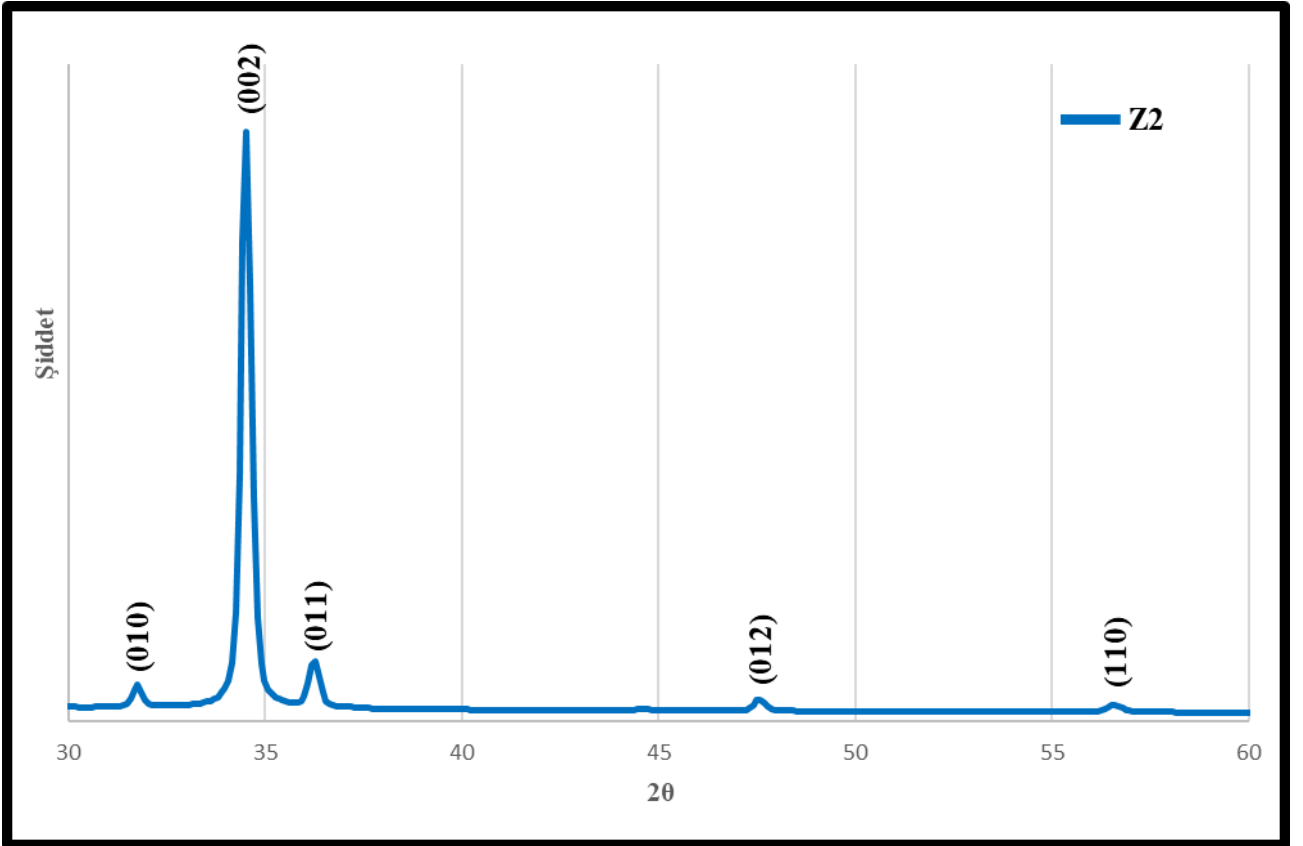
Şekil 4.4. Cam altlıklar üzerine üretilen Z serisi ince filmlerin XRD analiz spektrumu

Karşılaştırmalı verilen XRD spektrumunda gösterildiği gibi çekirdek katman olmadan kaplamasız cam altlık yüzeyine kimyasal banyo depolama yöntemiyle ZnO ince filmler üretildiğinde Z1, Z2 ve Z3 serisinde hekzagonal ZnO yapısına ait pikler gözlemlenmiştir fakat ZnO nanorod oluşumu gerçekleşmemektedir. ZnO yapısının nanorod olarak oluşması için hibrit üretim yöntemi kullanılması gerekmektedir. Öncelikle sol-gel manyetik döndürerek kaplama yöntemiyle ZnO çekirdek yapı oluşturulmalı, oluşan ZnO çekirdek yapının yüzeyine kimyasal banyo depolama yöntemiyle ZnO kaplanarak nanorod yapı elde edilmelidir.

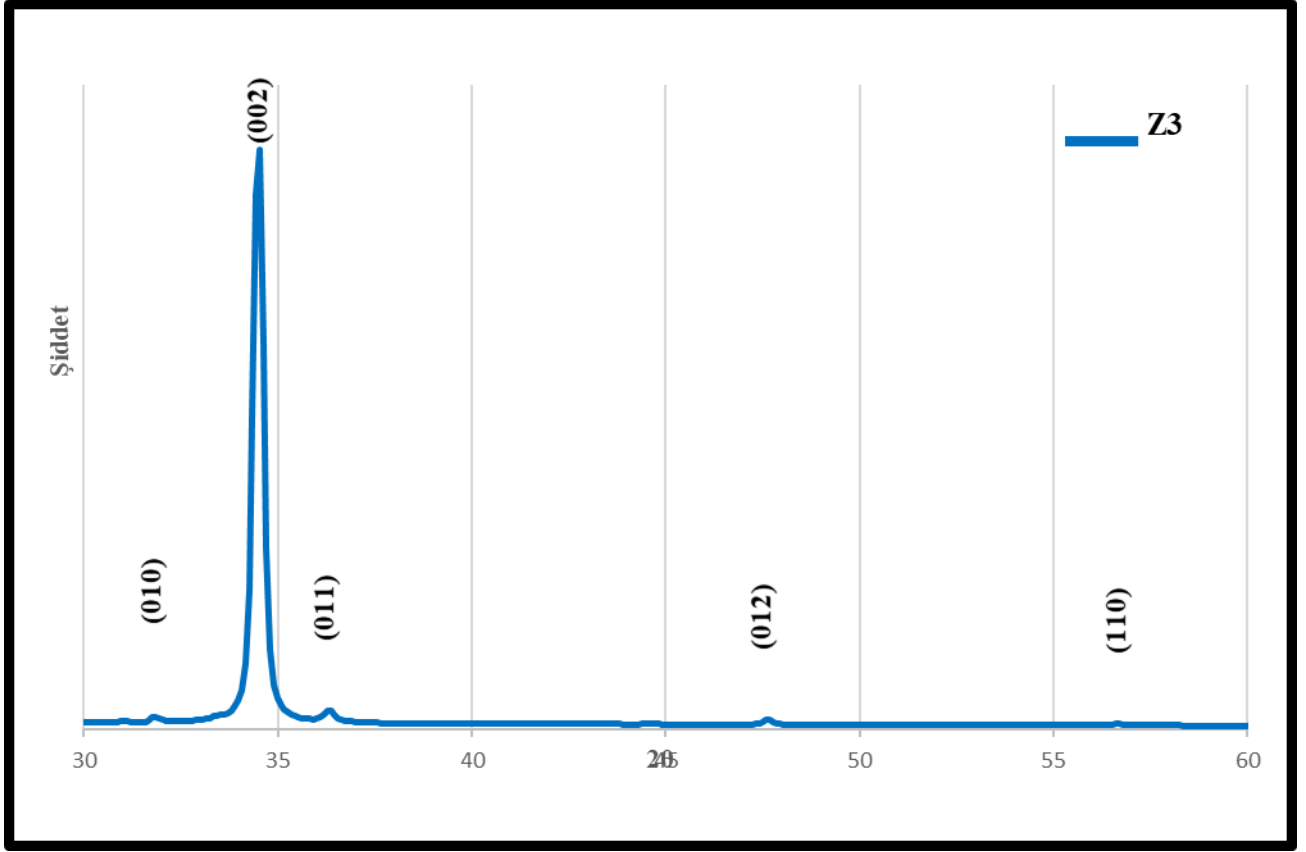
ZnO çekirdek yapılar yüzeyine kimyasal banyo depolama yöntemiyle ZnO kaplanarak elde edilen Z serisi ZnO nanorodlara ait XRD analiz spektrumları Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de ayrı ayrı gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Z1 serisi nanorodların XRD analiz spektrumu



Şekil 4.6. Z2 serisi nanorodların XRD analiz spektrumu



**Şekil 4.7.** Z3 serisi nanorodların XRD analiz spektrumu

ZnO nanorodların XRD spektrumları incelendiğinde, Z1 ve Z2 serilerinde baskın ve tercihli yönelim olmaya başlayan hekzagonal ZnO yapısına ait (002) piki Z3 serisinde tek pik olarak gözlenmektedir. Z3 serisi neredeyse tek kristal yapıda oluşmuştur. Bu (002) yönelimi, oluşturulan ZnO nanorodların yönelimini göstermektedir.

Üretilen ZnO nanorodlardan Z serisinin XRD spektrumundan elde edilen yarı pik genişlikleriyle (FWHM) ve Scherrer Formülü ile hesaplanan tane boyutu değerleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

**Tablo 4.2.** Kimyasal banyo depolama yöntemi ile elde edilen Z serisi filmlerin pik değerleri

Seri	FWHM	D (nm)
Z1	0,27	35
Z2	0,26	33
Z3	0,23	39

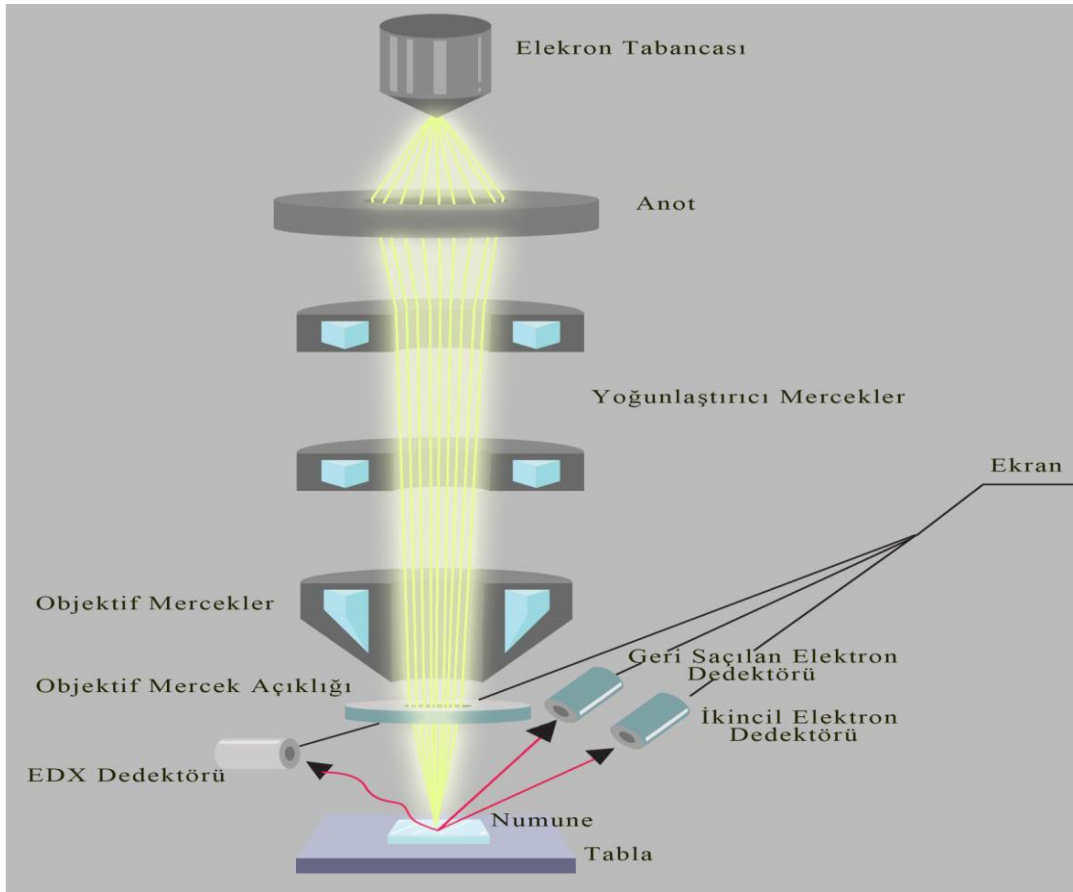
Tablo 4.2’deki veriler ve XRD spektrumları göz önünde bulundurulduğunda, üretilen ZnO nanorodlarda Z serisindeki en iyi kristalleşmeyi Z3 serisi göstermiştir.

#### 4.2. İnce Filmlerin Yüzeysel Karakterizasyonu

Yüzeysel karakterizasyon çalışmaları malzemenin şeklini ve tane boyutunu, faz dağılımını, malzeme içeriğini, homojenliğini ve gözenekli yapı gibi mikro ve makro yüzey özelliklerinin, yüksek hassasiyetle ayırt etmeye sahip olan Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi (EDX) kullanılır.

SEM fotonların yerine dalga boyu çok daha kısa olan elektronlar kullanılır. SEM maddelerin atomik olarak gözlemlenmesi ve çözülmesinde kullanılır. SEM ile taranacak olan yüzeyin bir görüntüsü, odaklanmış bir elektron demeti ile tarayarak görüntülenir.

SEM'i oluşturan bileşenler Şekil 4.8'de gösterildiği gibi dedektör, mercekler, numune tablası, elektron tabancası ve temel bileşenlerden oluşmaktadır. SEM 'de tarama yapılırken atmosferdeki hava moleküllerinden kaynaklanabilecek parazitlerden etkilenmemesi için vakum altında tarama yapılmaktadır. Elektron ışınının enerjisi 0,2-40 keV'dur. Tarama yapılacak olan yüzey mercekle yaklaşık 0,4-5 nm çapında bir noktaya odaklanır.



Şekil 4.8. Taramalı elektron mikroskobu

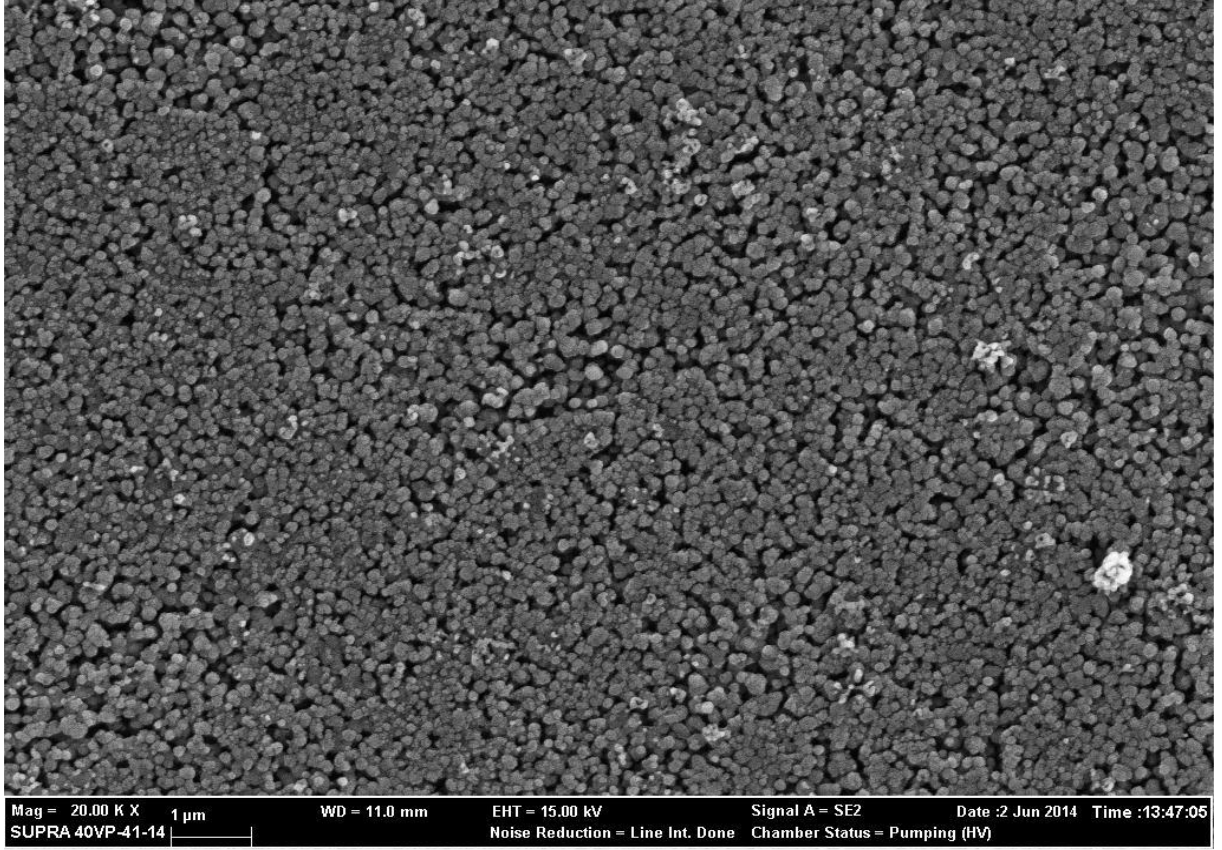
#### 4.2.1. ZnO Çekirdek Yapının Yüzeysel Karakterizasyonu

Üretilen çekirdek yapıların ve nanorodların yüzeysel özelliklerini Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan ZEISS marka Supra 40VP model SEM cihazı kullanılarak incelenmiştir. SEM cihazı Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

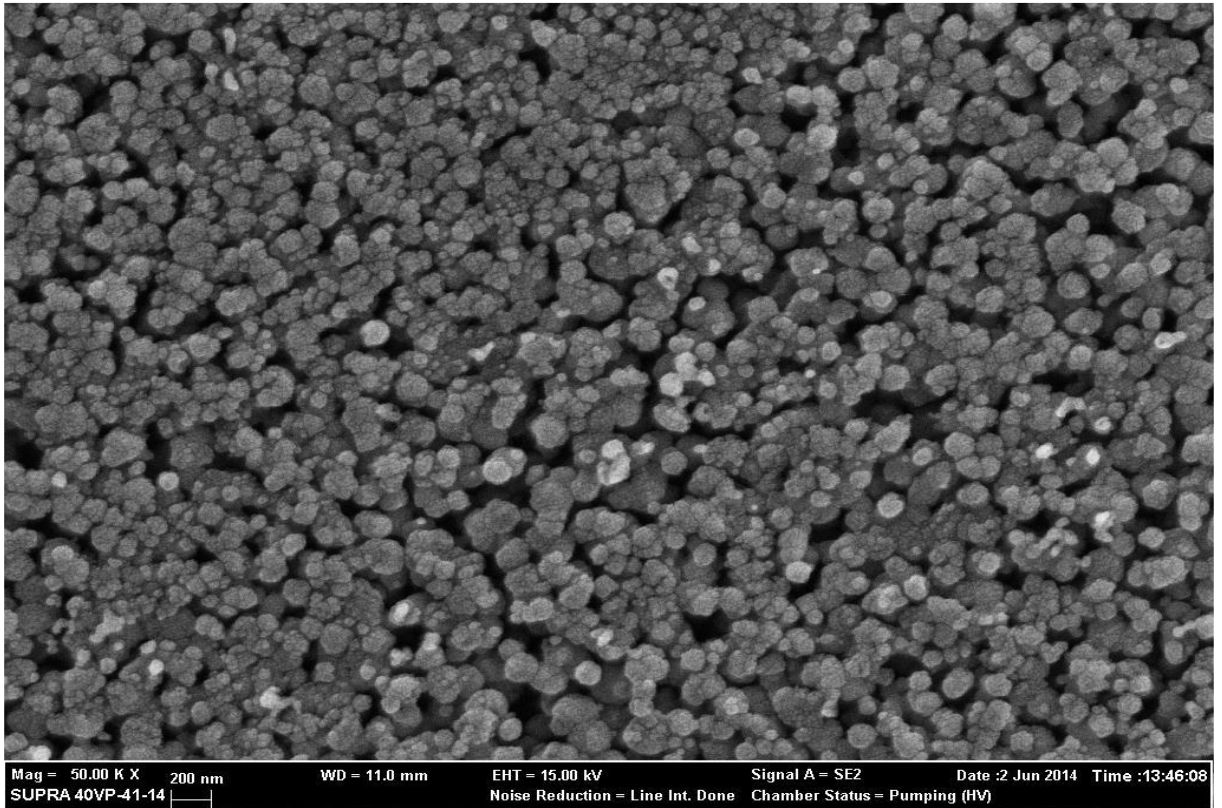


Şekil 4.9. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Üretilen ince filmlerde en iyi XRD sonuçlarına göre kristalleşme gösteren C3 serisinin ZnO ince filmlerin SEM görüntüleri 20 kx ve 50 kx büyütülerek Şekil 4.10 ve Şekil 4.11 de verilmektedir.



Şekil 4.10. C3 serisi ZnO ince filmlerin 20 kx büyütmeli SEM görüntüsü



Şekil 4.11. C3 serisi ZnO ince filmlerin 50 kx büyütmeli SEM görüntüsü

C3 serisi ZnO ince filmin SEM görüntüleri incelendiğinde, alttaş üzerinde oluşmuş olan filmin tüm yüzeyine homojen bir şekilde dağılmış nanoboyutta taneciklerden meydana geldiği görülür. Taneciklerin yığılma şekline ve yüzeyde boşluklar olmadığı ve böylelikle taneciklerin birbirine daha iyi tutunduğu gözlemlenmiştir.

SEM görüntülerinden ortalama tane boyutunun değeri ölçüldüğünde yaklaşık 120 nm olarak bulunmuştur. Tane boyutu XRD spektrumunda hesaplanan tane boyutu değeri ile SEM görüntülerinde belirlenen tane boyutu değeri birbirine çok yakındır ve birbirini desteklemektedir.

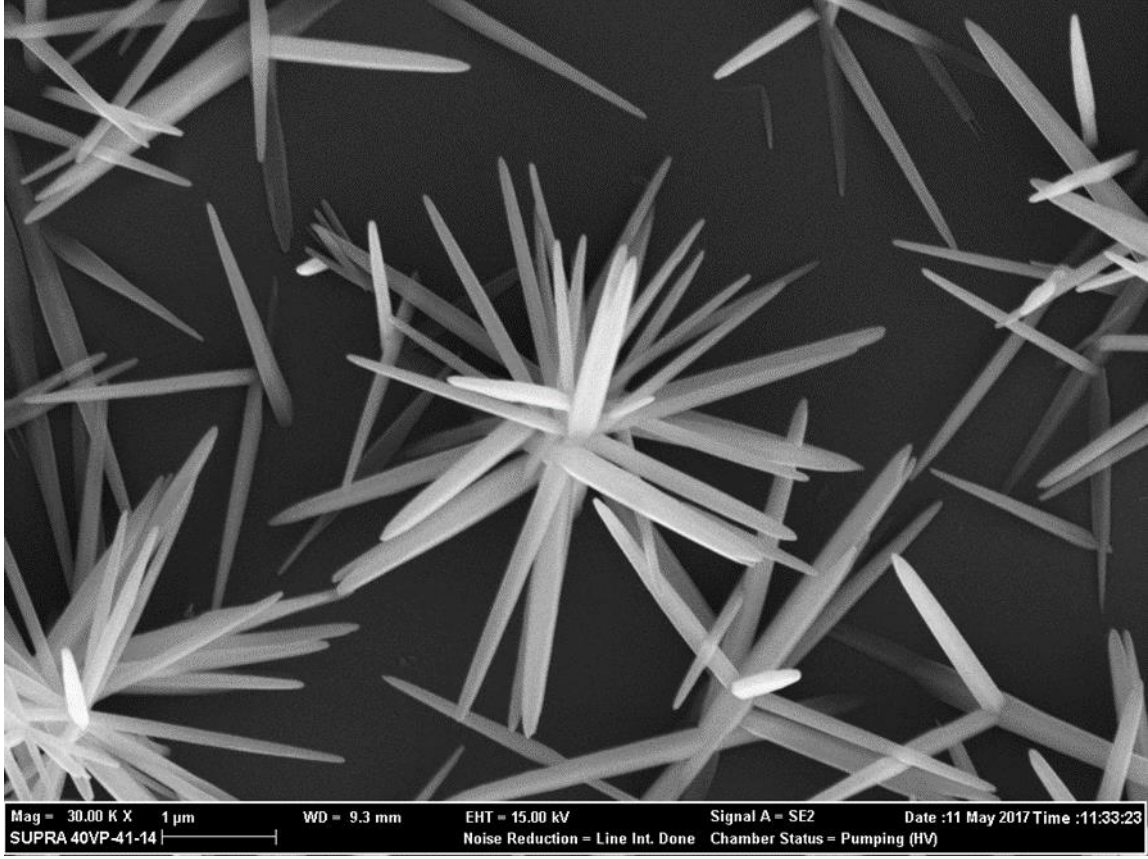
İnce filmin yüzey özellikleri SEM ile incelendiği zamanda, SEM cihazına bağlı olan BRUKER marka Enerji Dağılımlı EDX dedektörü ile ince filmin kimyasal bileşenlerini de elde etmiş oluruz. C3 serisi alttaş üzerinde ZnO filmin yapısına ait EDX sonuçları Tablo 4.3’de verilmiştir.

**Tablo 4.3.** C3 serisi ZnO ince filminin ait EDX sonucu

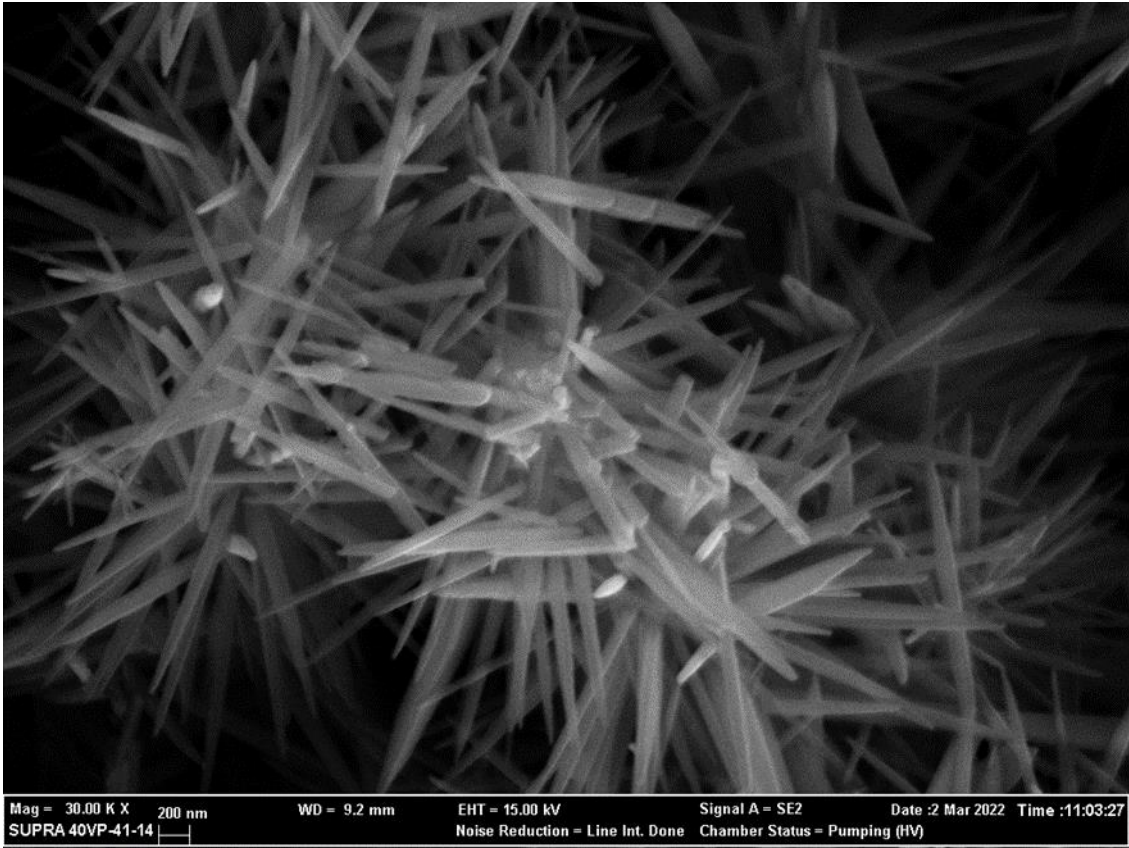
<b>Element</b>	<b>Atomik Yüzde (%)</b>
Çinko (Zn)	42
Oksijen (O)	58

#### **4.2.2. ZnO Nanorodların Yüzeysel Karakterizasyonu**

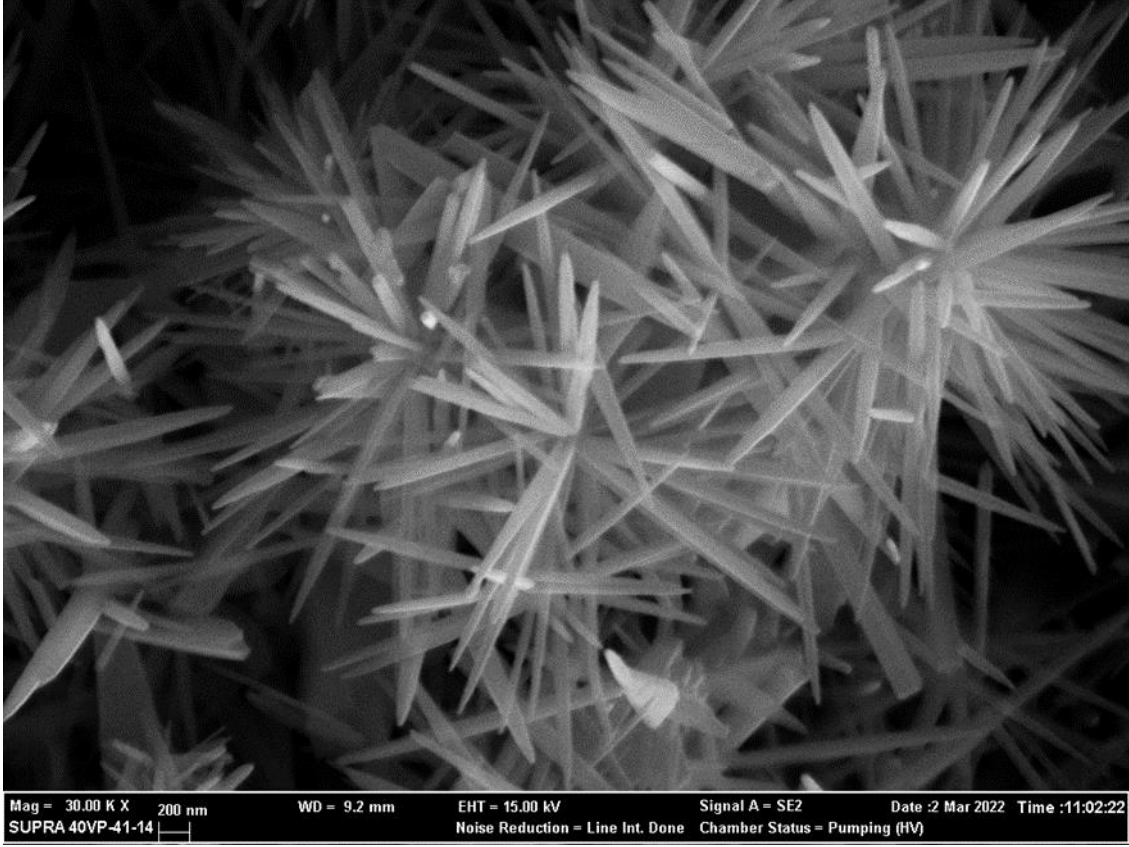
ZnO ince filmler kimyasal banyo depolama tekniği ile sol-gel manyetik döndürerek kaplama yöntemiyle üretilen ZnO çekirdek yapılar yüzeyine değil de kaplamasız cam altlıklar üzerine kaplandığında üretilen ZnO yapılarının SEM görüntüleri Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’te sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Z1 serisi ZnO ince filmlerin 30 kx büyütmeli SEM görüntüsü



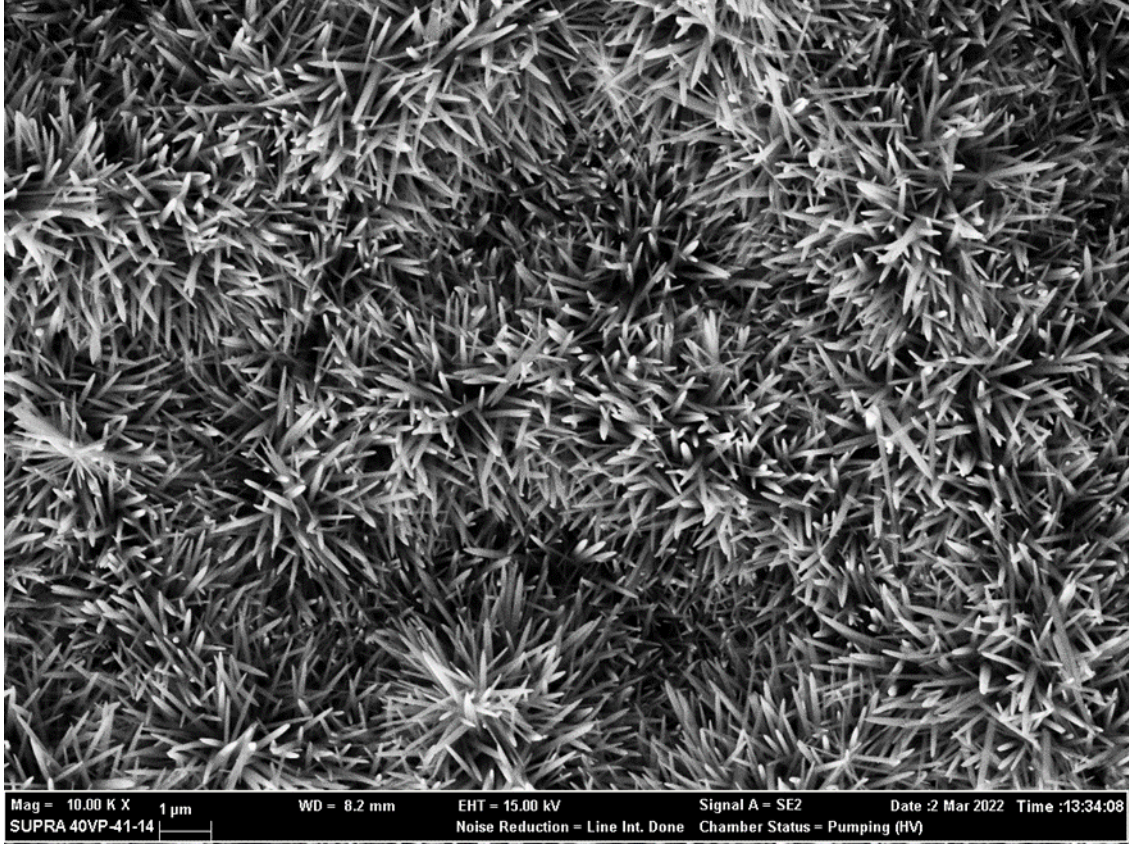
Şekil 4.13. Z2 serisi ZnO ince filmlerin 30 kx büyütmeli SEM görüntüsü



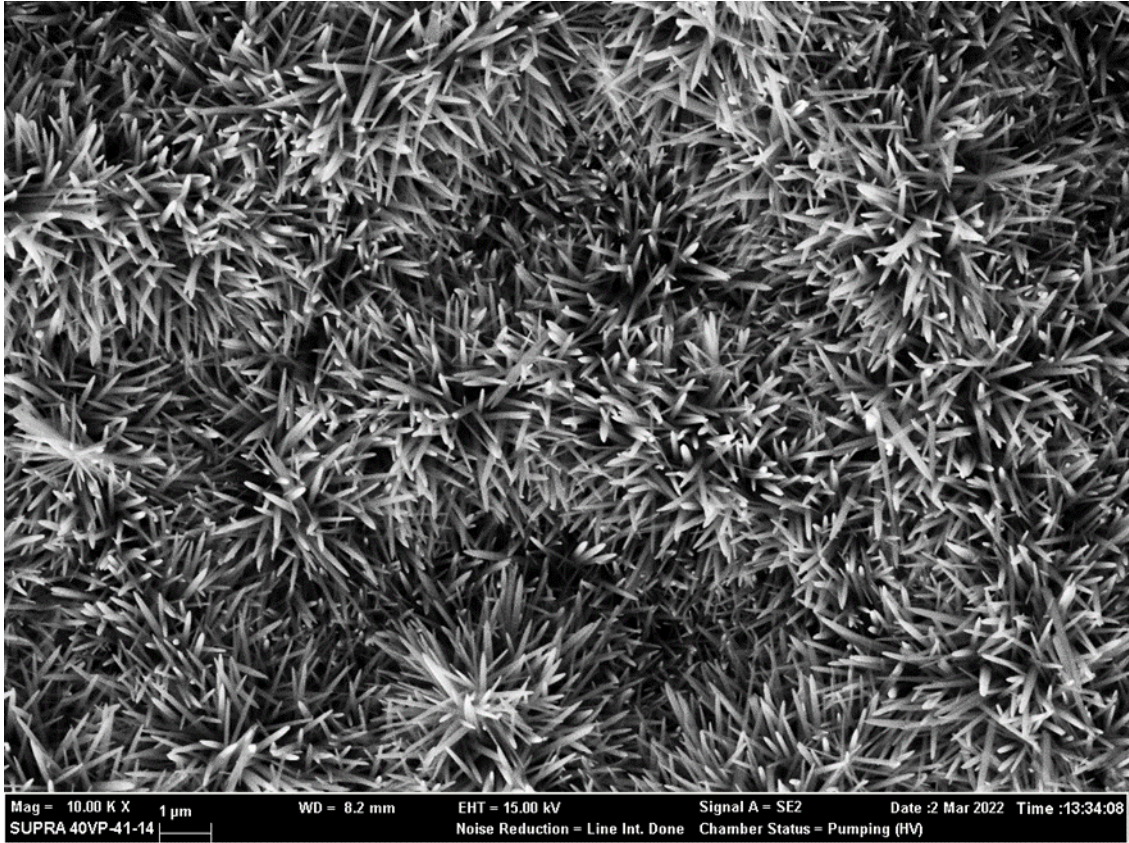
Şekil 4.14. Z3 serisi ZnO ince filmlerin 30 kx büyütmeli SEM görüntüsü

Sırasıyla verilen Z1, Z2 ve Z3 serilerine ait 30 kx büyütmeli SEM görüntülerinden görüldüğü gibi çekirdek katman olmadan kaplamasız cam altlık yüzeyine kimyasal banyo depolama yöntemiyle ZnO ince filmler üretildiğinde Z1, Z2 ve Z3 serilerinde hekzagonal ZnO yapısına ait nanoçiçek yapısı gözlemlenmiştir. Fakat nanorod oluşumu gerçekleşmemektedir.

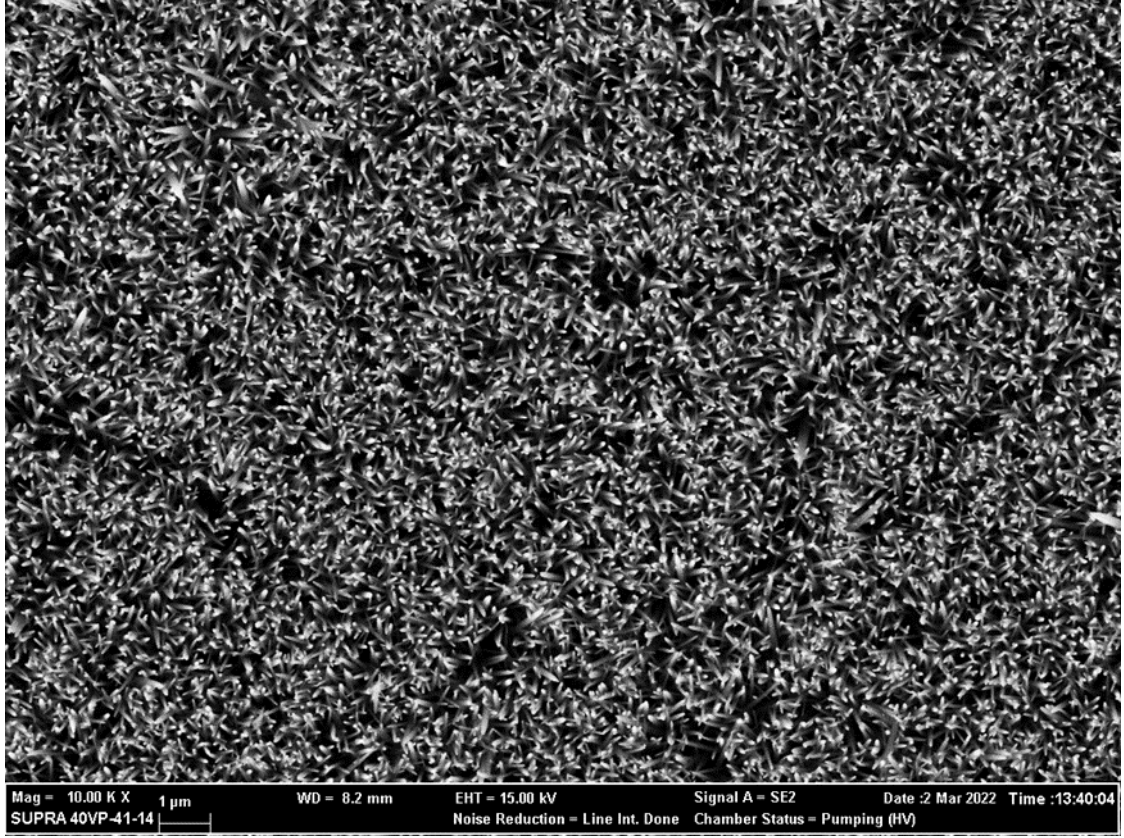
ZnO çekirdek yapılar yüzeyine kimyasal banyo depolama yöntemiyle ZnO kaplanarak elde edilen Z serisi nanorodlara ait 10 kx ve 30 kx büyütmeli SEM görüntüleri Şekil 4.15-4.20'de ayrı ayrı gösterilmiştir.



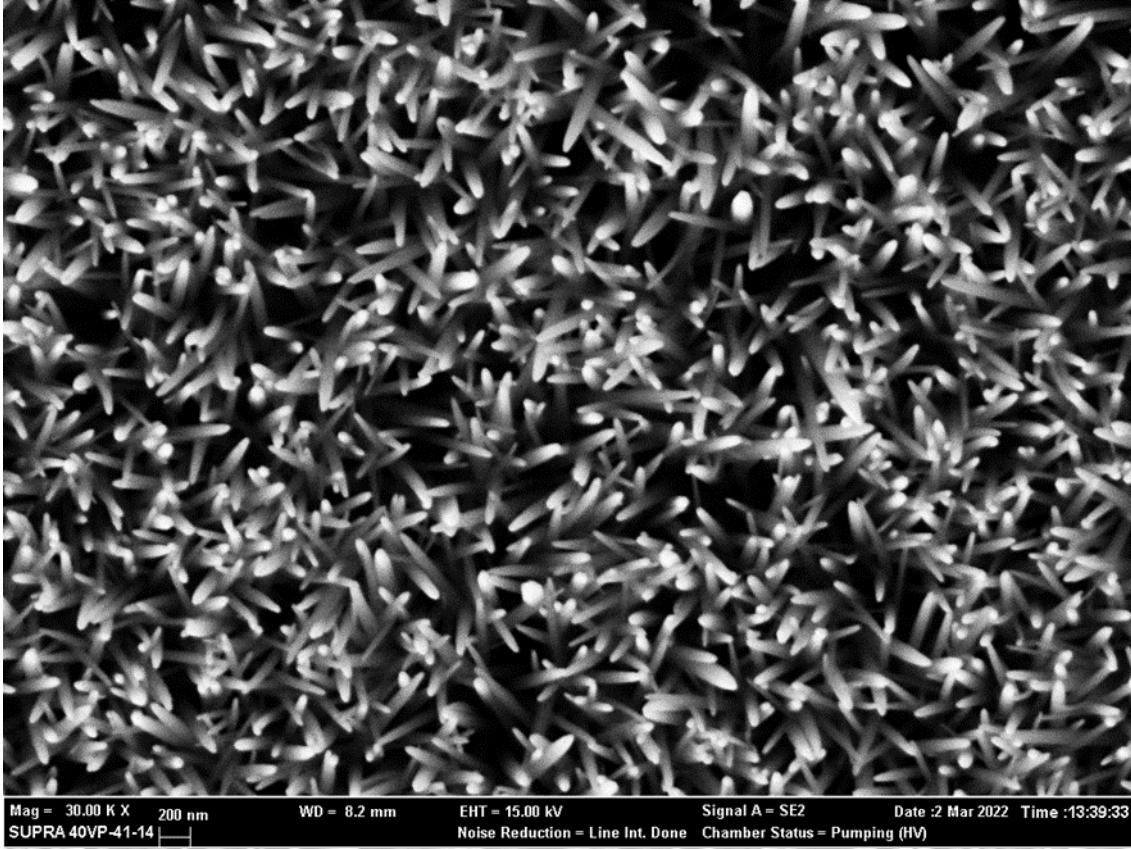
Şekil 4.15. Z1 serisi ZnO nanorodun 10 kx büyütmeli SEM görüntüsü



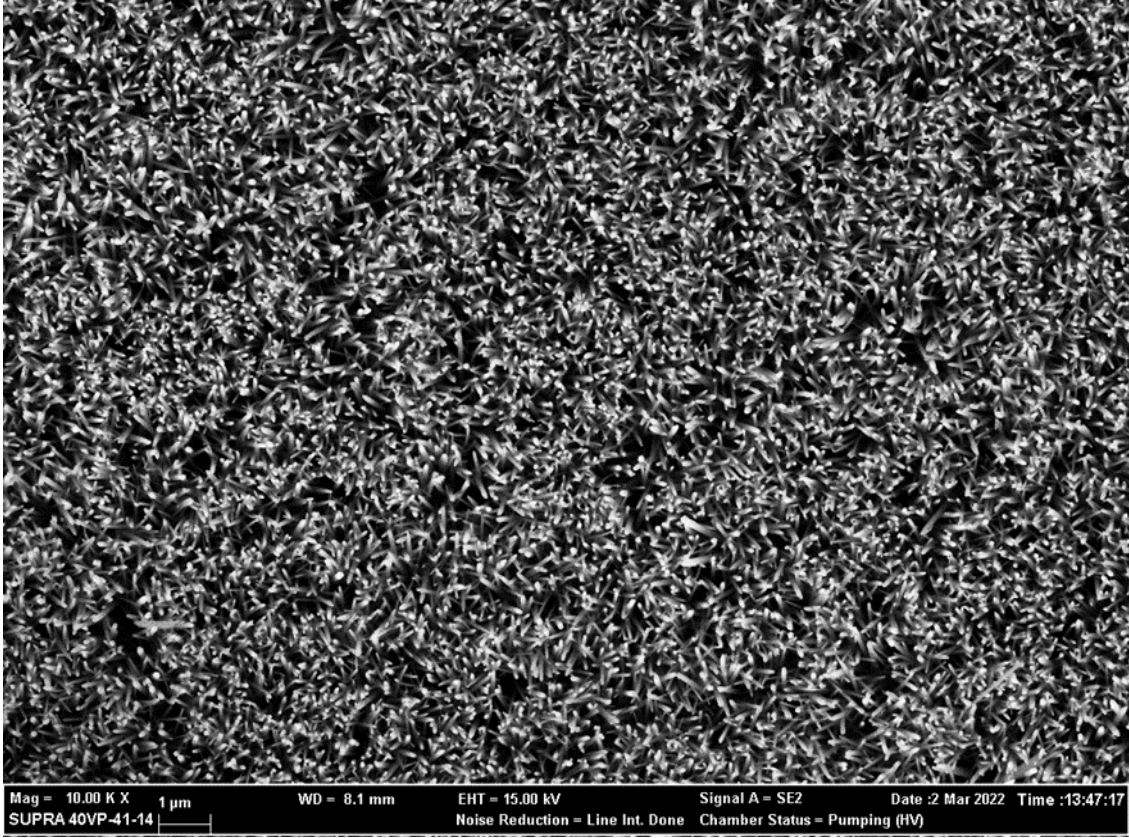
Şekil 4.16. Z1 serisi ZnO nanorodun 30 kx büyütmeli SEM görüntüsü



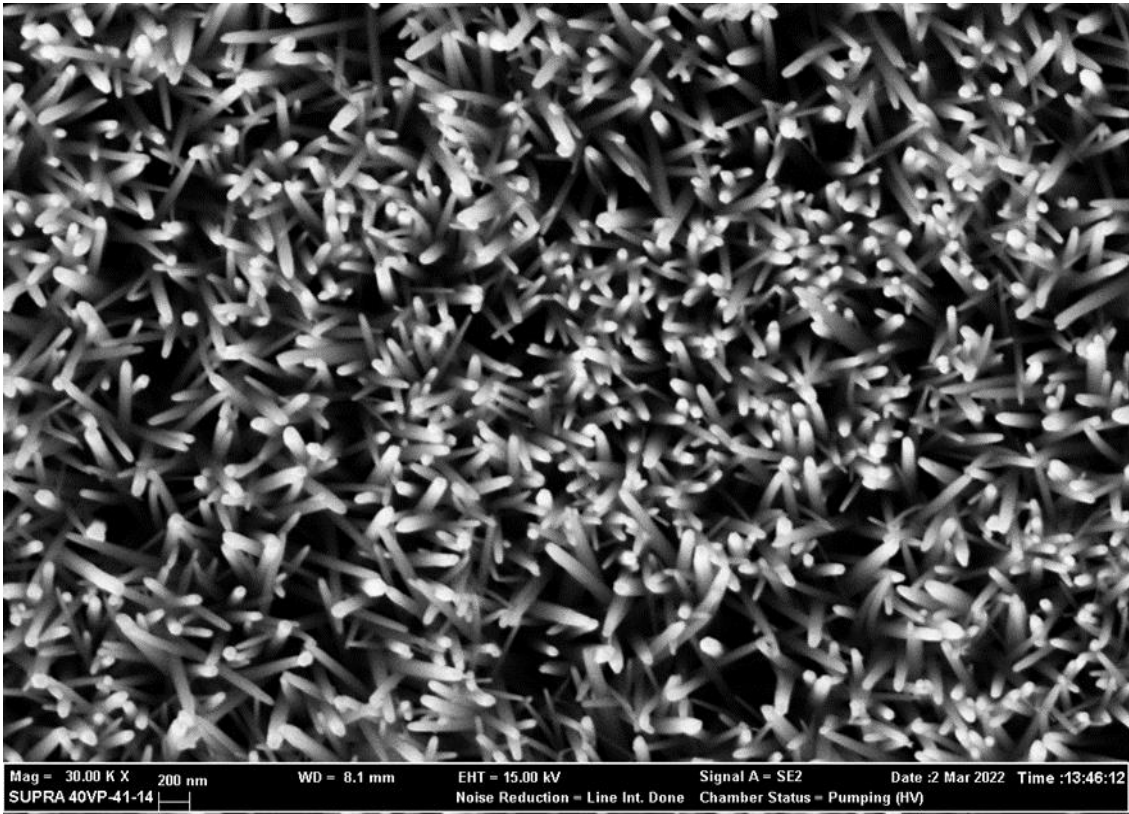
Şekil 4.17. Z2 serisi ZnO nanorodun 10 kx büyütmeli SEM görüntüsü



Şekil 4.18. Z2 serisi ZnO nanorodun 30 kx büyütmeli SEM görüntüsü



Şekil 4.19. Z3 serisi ZnO nanorodun 10 kx büyütmeli SEM görüntüsü



Şekil 4.20. Z3 serisi ZnO nanorodun 30 kx büyütmeli SEM görüntüsü.

Z serisi ZnO nanorodların SEM görüntüleri incelendiğinde, alltaş üzerinde oluşmuş olan filmin tüm yüzeyinde nanorodların oluştuğu gözlemlenmektedir. Z serisinde oluşan nanorodlar incelendiğinde Z1 ve Z2 serilerinde oluşan rodlar daha rastgele düzende yerleşerek nanoçiçek yapıda gözlemlenirken, Z3 yapısında rodlar aynı yönde yönelmiş bir şekilde nanorod yapısını oluşturmuşlardır.

### 4.3. İnce Filmlerin Optik Karakterizasyonu

Malzemenin bant yapılarını ışık geçirgenlikleri ve absorpsiyon ölçüleri yapılarak nasıl bir yapıya sahip olduğunu gözlemleyebiliriz. Absorpsiyon spektrumu; malzemeye gönderilen dalga boyu aralıklarını geniş tutarak absorpsiyon ölçümleri yapıldığında, ortamdan geçen ışınların şiddetleri ve dalga boyları arasında kurulan bağlantı ile bulunur. Malzemelerin kendilerine özgü optik özellikleri olduğundan, malzemeye gönderilen ışınlar malzemenin yükleri ile etkileşime girerek, malzemedeki geçen enerjiyi değiştirir. Malzeme ile etkileşime giren ışının enerjisinin bir kısmı kaybolur. Bu kaybolma olayına absorpsiyon denir. Yarıiletken malzemelerin absorpsiyon spektrumu kullanılarak bant yapıları incelenir ve bant yapılarındaki yasak enerji aralığını buluruz. Malzemenin optik özelliklerini; yarıiletkenlerin, katkılama ile oluşan valans bantlarındaki boşluklar ve iletim bantlarındaki serbest elektronlar, kristal yapılarındaki kusurlar ile kusurların meydana getirdiği enerji seviyelerindeki değişiklikler etkiler.

Yarıiletkenlerin bant yapıları ve yasak enerji aralıklarının hesaplanmasında optik absorpsiyon spektrumu incelenir. Fotonların, yarıiletken malzemedeki elektronları uyarılmasıyla oluşturdukları bant geçişlerinin enerji seviyelerindeki dağılımlar gözlemlenerek yarıiletken malzemenin optik absorpsiyon katsayıları ile optik geçirgenlikleri hesaplanır.

Yarıiletken malzeme üzerine foton düştüğü zaman, fotonlarla yarıiletkenin elektronları birbirini etkiler. Yarıiletken malzeme ile fotonların etkileşimi sonucunda meydana gelen absorblanma, kırılma ve yansıma gibi optik olaylar oluşur. Yarıiletkenin valans bandındaki elektronlar optik yolla iletim bandına uyarılabilir. Bu uyarılmanın oluşması için fotonun enerjisinin yarıiletken malzemenin yasak enerji aralığına denk ya da daha fazla olmalıdır. Bu uyarılmanın gerçekleşmesi için gereken foton enerjisini Eşitlik 4.4 ile hesaplanır (Jarosinski vd., 2019).

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (4.4)$$

Buradan Planck sabiti  $h$ , ışık hızı  $c$ ,  $\nu$  fotonun frekansı,  $\lambda$  dalga boyu ile işlem foto iletkenlik olarak tanımlanır.

Yarıiletken malzeme üzerine gelen farklı dalga boylarındaki ışının absorpsiyon katsayısı; gelen ışının şiddetine, ışığın yarıiletken malzemeden geçtikten sonraki şiddetine ve ışığın malzeme içerisinde kat ettiği mesafeye yani malzemenin kalınlığı bağlı olarak hesaplanır. Absorpsiyon katsayısı ( $\alpha$ ) ile gelen fotonun enerjisi ( $h\nu$ ) arasındaki ilişki;

$$(ah\nu) = B(h\nu - E_g)^p \quad (4.5)$$

Eşitlik 4.5’de gösterildiği gibi bağlantı yardımı ile hesaplanır (Jarosinski vd., 2019).  
p doğrudan geçişler için 0,5, dolaylı geçişler için 2 olan bir sabit ile B enerji seviyeleri arasında geçiş olasılığını ifade eden bir sabittir.

#### 4.3.1. ZnO Çekirdek Yapısının Optik Karakterizasyonu

Üretilen ince filmlerin ve nanorodların optik karakterizasyonun belirlenmesi için UV-Vis Spektroskopisi ile ölçüm yapılmaktadır. UV-Vis Spektroskopisi Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarındaki PERKIN ELMER marka LAMBDA 25 model cihazı kullanılarak incelenmiştir. Cihazın dalga boyu aralığı ise 300-1100 nm alınmıştır. UV-Vis Spektroskopisi Şekil 4.21’de gösterilmiştir.

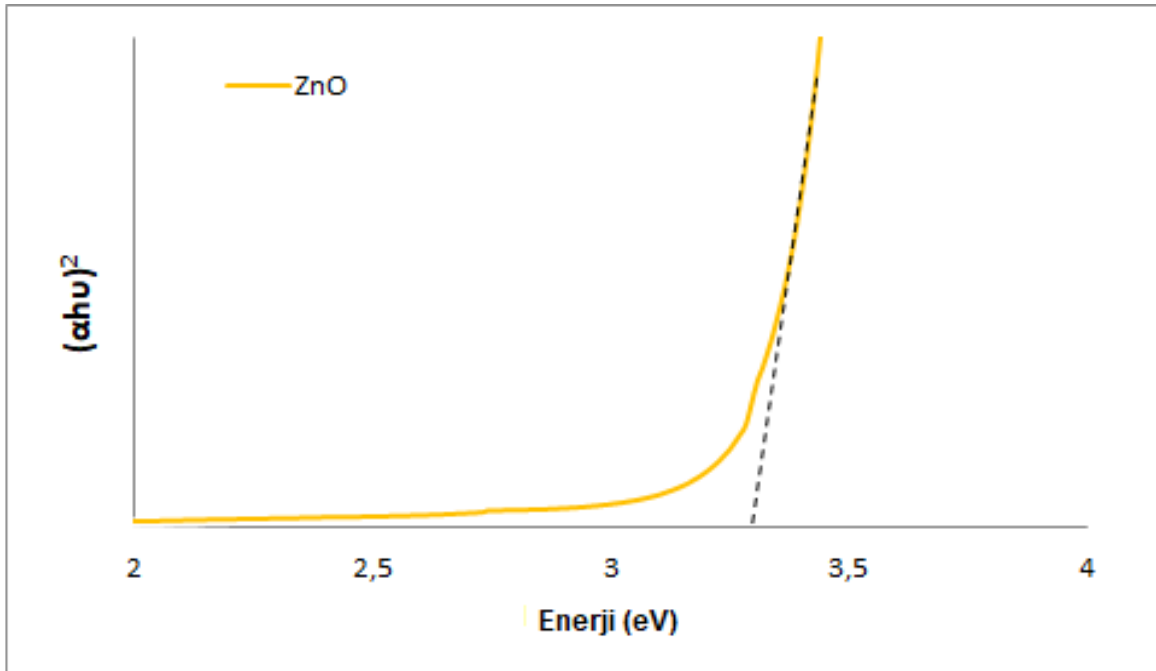


Şekil 4.21. UV-Vis. Spektrofotometresi

Filmin direkt bant yapılımlı yoksa indirekt bant yapılımlı olduğunu UV-Vis Spektroskopisi ölçümlerinden bulunan temel absorpsiyon spektrumunun sonuçlarından yararlanılarak belirlenmiştir.

Tüm filmlerde  $(ahv)^{1/n} - hv$  grafiklerine;  $n=1/2$  (direkt-izinli),  $n=3/2$  (direkt-izinsiz),  $n=2$  (indirekt-izinli) ve  $n=3$  (indirekt-izinsiz) değerlerine ayrı ayrı grafikte kullanılarak grafiklerde doğrusal bölgelerine bakılmıştır. En iyi  $(ahv)^{1/n} - hv$  grafiğindeki doğrusallığın  $n=1/2$  elde edildiği görülmüş ve yarı iletken filmin direkt ve izinli bant geçişine sahip olduğu görülmektedir.

Üretilmiş olan direkt ve izinli bant geçişine sahip olan filmlerin  $(ahv)^{1/n}$  ifadesine direkt ve izinli bant geçişine sahip olan  $n=1/2$  alındığından  $(ahv)^2$  değeri bulunur. Yasak enerji aralıklarının belirlenebilmesi için filmlerin her biri için  $(ahv)^2$ 'nin  $h\nu$ 'ye göre grafikleri çizilir. Çizilen grafiklerin linear bölgelerin doğrultusunun  $h\nu$  eksenini,  $(ahv)^2 = 0$ 'da kesmekte olduğu noktanın enerji değerleri, filmlerin yasak enerji aralıkları olarak bulunmaktadır. Bu yapılmış olan metot Tauc Metodu olarak bilinmektedir.

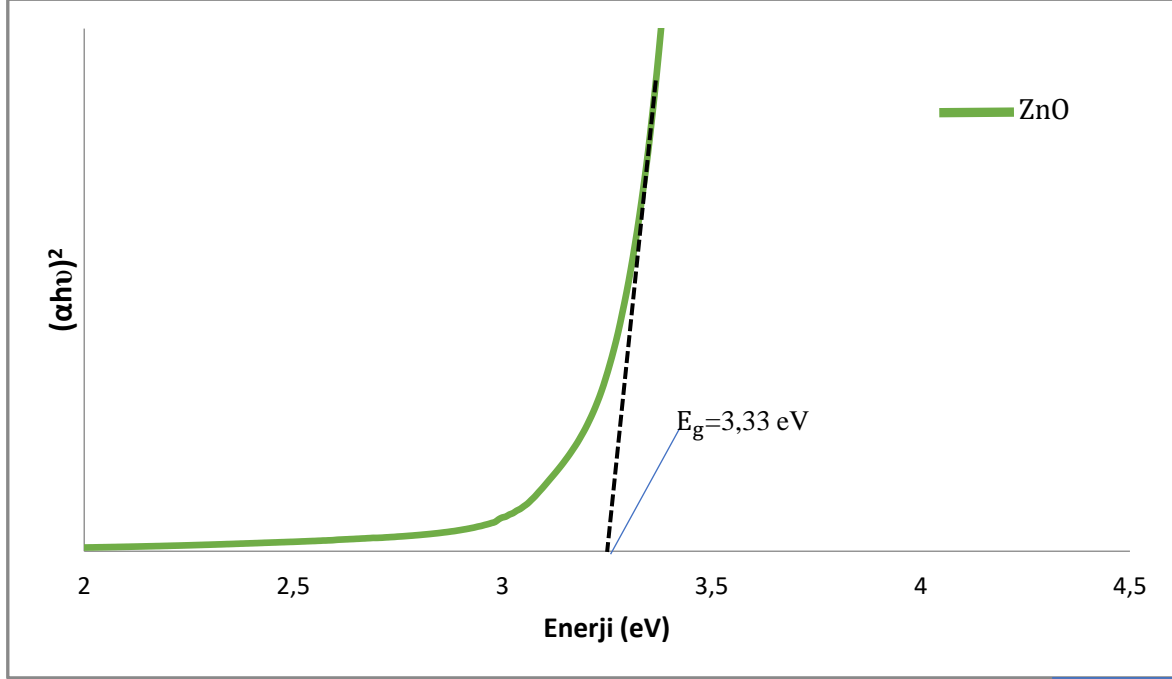


Şekil 4.22. C3 serisi ZnO ince filmin yasak enerji aralığı

Sol-gel manyetik döndürerek kaplama yöntemi ile üretilen ZnO ince filmin Şekil 4.22'de gösterilen  $(ahv)^2$ 'nin  $h\nu$ 'ye göre değişim grafiklerine bakıldığında yasak enerji aralığı 3,31 eV olarak hesaplanmıştır.

### 4.3.2. ZnO Nanorodların Optik Karakterizasyonu

Z serisi ZnO nanorodların optik özelliklerini belirlemek için UV-Vis Spektroskopisi ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen temel absorpsiyon spektrumu verilerinden yararlanarak yasak enerji aralığının belirlenebilmesi için Şekil 4.23’de  $(\alpha h\nu)^2$  nin  $h\nu$ ’ye göre değişim grafiği çizilmiştir.



Şekil 4.23. Z3 serisi ZnO nanorod yasak enerji aralığı

Bu grafiğin Tauc metodu ile lineer bölgelerin doğrultusunun  $h\nu$  eksenini,  $(\alpha h\nu)^2 = 0$ ’da kesmekte olduğu noktanın enerji değerleri, filmlerin yasak enerji aralıkları olarak bulunmaktadır. Buna göre Z serilerinde en iyi nanorod, yasak enerji aralığı değeri 3,33 eV ile Z3 serisi olarak belirlenir.

## 5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamında ZnO nanorodlar, hibrit ince film üretim tekniğiyle üretilmiştir. Üretim tekniği, kompleks ve pahalı teknoloji ile üretim tekniklerine alternatif olarak “Sol-Gel Manyetik Döndürerek Kaplama Yöntemi” ve “Kimyasal Banyo Depolama Yöntemi” kullanılarak elde edilmiştir. Uygulanmış olan üretim teknikleri ile ZnO nanorod hibrit üretimi ekonomik ve basit bir şekilde üretilmiştir. ZnO nanorod üretim yöntemlerinde ilk olarak Sol-gel manyetik döndürerek kaplama yöntemi ile üretim yapılmıştır. Bu yöntemde en iyi filmin oluşacağı şartı belirlemek için parametreleri değiştirerek ZnO ince film üretimi için hazırlanan çözelti miktarı 15 µl, döndürme süresi 30 sn ve film kaplama kat sayısı 9 kat olarak sabit tutulmuş, tavlama sıcaklığı ile döndürme hızı parametreleri değiştirerek seriler oluşturulmuştur. Oluşturulan seriler A, B ve C olarak isimlendirilmiştir. İsimlendirilen parametrelerde A serisi için döndürme hızı 1000 rpm sabit tutulup, tavlama sıcaklıkları 300 °C, 400 °C, 500 °C de ince film kaplaması, B serisi için döndürme hızı 2000 rpm sabit tutulup, tavlama sıcaklıkları 300 °C, 400 °C, 500 °C de ince film kaplaması, C serisi için döndürme hızı 3000 rpm sabit tutulup, tavlama sıcaklıkları 300 °C, 400 °C, 500 °C de ince film kapla işlemi yapılmıştır. Elde edilen 3 seriden en iyi ZnO ince filmi bulmak için yapısal, yüzeysel ve optik özellikleri incelenmiştir.

Belirlenmiş parametreler ile üretilen ZnO serilerinin yapısal özelliklerini belirlemek için XRD spektrumları incelenerek karşılaştırılmıştır. İncelemeler sonucunda oluşan filmlerin tamamı polikristal yapıdadır. C3 serisi ince filmin pik şiddetleri diğer ince film pik şiddetlerinden daha büyük olduğu görülmüştür. C3 serisi ince filmin XRD cihazı ile ölçülen hekzagonal yapıdaki ZnO ince filmin (ICDD. 98-003-1052) ile birbiriyle örtüşmektedir. C3 serisi ince filmin XRD spektrumu ile gözlemlenen yarı pik genişliklerine göre Scherrer formülüyle yardımıyla tane boyutu değerinin 107 nm olduğu hesaplanmıştır.

Üretilen ZnO ince film serilerinde karşılaştırılması sonucunda döndürme hızının arttırılması alttaş üzerinde oluşan kristalleşmenin iyileştiği görülmüştür. Seriler içerisinde en iyi kristalleşme gösteren C3 serisi ZnO ince filmin 20 kx ve 50 kx büyütme SEM görüntüleri incelenmiştir. İncelemeler sonucunda alttaş üzerinde oluşan filmin, yığılma şeklinde oluşumların bulunmadığı, tabana homojen bir şekilde kaplandığı, yüzeyde boşluklar oluşmadığı ve tanelerin birbirlerine daha iyi tutunduğu görülmektedir. SEM görüntüsünde ve XRD spektrumu ile belirlenen tane boyutu değerleri birbirine benzer ve destekler olduğu görülmüştür. C3 serisi ZnO ince filmin yapısı EDX sonuçlarına göre %42 Zn ve %58 O olduğu görülmüştür. C3 serisi ince filmin UV-Vis. Spektroskopisi ile temel absorpsiyon spektrumu

verilerinden ve Tauc metodu ile yasak enerji aralığı grafiği çizilmiş ve yasak enerji aralığı ise 3,31 eV olarak bulunmuştur.

ZnO nanorod üretimi için Sol-gel manyetik döndürme yöntemi ile üretilen en iyi ince film serisi olan C3 serisi ince film üzerine belirlenen parametreler dahilinde Kimyasal Banyo Depolama Yöntemi ile üretim yapılmıştır. Bu yöntemde en iyi ZnO nanorod oluşacağı şartı belirlemek için parametreleri değiştirerek ZnO nanorod üretimi için hazırlanan çözelti pH'ı 10, çözelti karıştırma hızı 250 rpm ve çözelti sıcaklığı 85 °C olarak sabit tutulmuş, reaksiyon süresi parametreleri değiştirerek seriler oluşturulmuştur. Oluşturulan seriler X, Y ve Z olarak isimlendirilmiştir. İsimlendirilen parametrelerde X serisi için döndürme hızı 1000 rpm sabit tutulup, reaksiyon süresi 15 dk, 30 dk, 45 dk boyunca kimyasal banyo depolama, Y serisi için döndürme hızı 2000 rpm sabit tutulup, reaksiyon süresi 15 dk, 30 dk, 45 dk boyunca kimyasal banyo depolama, Z serisi için döndürme hızı 3000 rpm sabit tutulup, reaksiyon süresi 15 dk, 30 dk, 45 dk boyunca kimyasal banyo depolama yapılmıştır. Elde edilen 3 seriden en iyi ZnO nanorod yapıyı bulmak için yapısal, yüzeysel ve optik özellikleri incelenmiştir.

Belirlenmiş parametreler ile üretilen ZnO nanorod serilerinin yapısal özelliklerini belirlemek için XRD spektrumları incelenerek karşılaştırılmıştır. İncelemeler sonucunda oluşan nanorodların tamamı kristal yapıdadır. Z3 serisi nanorodun pik şiddetleri diğer nanorodların pik şiddetlerinden daha büyük olduğu görülmüştür. Z3 serisi nanorodun XRD cihazı ile ölçülen hekzagonal yapıdaki ZnO nanorodun (ICDD. 98-003-1052) ile birbiriyle örtüşmektedir. Z3 serisi nanorodun XRD spektrumu ile gözlemlenen yarı pik genişliklerine göre Scherrer formülüyle yardımıyla tane boyutu değerinin 39 nm olduğu hesaplanmıştır.

Üretilen ZnO nanorod serilerinde karşılaştırılması sonucunda reaksiyon süresinin arttırılması altaş üzerinde oluşan nanorodların kristalleşme ve yönelimlerinin iyileştiği görülmüştür. Seriler içerisinde en iyi kristalleşme gösteren Z3 serisi ZnO nanorodunun 10 kx ve 30 kx büyütme SEM görüntüleri incelenmiştir. İncelemeler sonucunda altaş üzerinde oluşan nanorodların, yığılma şeklinde oluşumların bulunmadığı, kristal yapının neredeyse tek kristal olarak oluştuğu ve yönelimlerin aynı yönde olduğu görülmektedir. SEM görüntüsünde ve XRD spektrumu ile belirlenen tane boyutu değerleri birbirine benzer ve destekler olduğu görülmüştür. Z3 serisi nanorodun UV-Vis. Spektroskopisi ile temel absorpsiyon spektrumu verilerinden ve Tauc metodu ile yasak enerji aralığı grafiği çizilmiş ve yasak enerji aralığı 3,33 eV bulunmuştur.

Yapılan bu çalışmalar sonucunda, üretilmiş olan ZnO nanorodların yapısal, yüzeysel ve elektriksel özelliklerinin Manyetik döndürme hızına ve banyolanma reaksiyon süresine bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Sol-gel manyetik döndürerek kaplama yönteminde döndürme hızı arttırıldığında alttaş üzerinde oluşan filmin üzerindeki kristalleşmenin iyileştiği ve film tabakanın iyileştiği gözlemlenmiştir. Kimyasal bonyo depolama yönteminde ise reaksiyon süresinin arttırılması ile nanorod oluşumunun tek kristal yapıda ve tek bir yönde yönelimlerin olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre yapılacak ileriki çalışmalarda ZnO üretilen nanorodların; Elektronik, opto elektronik, nano elektromekanik cihazlar, ileri nano kompozit malzemeler, sensörler gibi uygulamalarda kullanılabileceği düşünülmektedir.

## KAYNAKÇA

**Akkoyunlu, O. (2000).** *Çinko Oksit Yarıiletken Bileşiğın Elektriksel ve Optik Özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üni., Fen Bilimleri Enst., Eskişehir.

**Aksoy, S. (2006).** *Kalay Katkılı ZnO İnce Filmlerinin Bazı Fiziksel Özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üni., Fen Bilimleri Enst., Eskişehir.

**Alias, S.S., Ismail, A.B. ve Mohamad, A.A. (2010).** *Effect of pH on ZnO nanoparticle properties synthesized by sol–gel centrifugation*, Journal of Alloys and Compounds, 499, 231–237

**Bayramoğlu G. (2005).** *Pleksiglas Türü Malzemelerin UV Işınları ile Ertleseyen Sol-Jel Tekniğı Kullanılarak Yüzey Özelliklerinin Modifiye Edilmesi*, Yük. Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Ana Bilim Dalı, Organik Kimya.

**Callister WD, Rethwisch DG, (2013).** Materials Science and Engineering. Eight Editions

**Comba, B. (2009).** *Sol-Gel Yöntemi ile ZnO Kuantum Noktalarının Sentezlenmesi ve Karakterizasyonu*. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Üniversitesi. Fizik Bölümü, İstanbul.

**Cullity, B. D., & Stock, S. R. (2001).** *Elements of x-ray diffraction. Published in 2001 in Upper Saddle River NJ London by Prentice Hall Prentice-Hall International*. Prentice Hall. Retrieved from [Erişim: 19.01.2022, <https://lib.ugent.be/en/catalog/rug01:002082751>]

**Çeliker, G. (2008).** *Boya ve kimya sektörü nanoteknoloji*, Nanoteknolojide Ürüne Dönüştürülebilir Araştırma ve Ticarileştirme Konferansı, İstanbul.

**Deligöz, M., Fakıoğlu E. (2007).** Güneş enerjisi ne zaman ucuzlayacak?, Enerji ve Ekoloji Paneli, Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi, Diyarbakır.

Elnathan R., Kwiat M., Pevzner A., Engel Y., Burstein L., Khatchtourints A. Lichtenstein A., Kantaev R., Patolsky F. (2012). Biorecognition Layer Engineering: Overcoming Screening Limitations of Nanowire-Based FET Devices. *Nano Letters* 12 (10): 5245–5254, [Erişim: 15.02.2022: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/nl302434w>].

**Enderby, J. and Dowling, A. (2004).** *Nanoscience and nanotechnologies: oppurtunities and uncertainties*, The Royal Society & The Royal Academy of Engineering Report, London.

**Ergin, B., Ketenci, E. and Atay, F. (2009).** Characterization of ZnO films obtained by ultrasonic spray pyrolysis technique, *International Journal of Hydrogen Energy*, 34, 5249-5254.

**Gabier H. (1998).** Autonomous power supply with photovoltaics: photovoltaics for rural electrification reality and vision, *Renewable Energy*;1 5:512- 518.

**Goetzberger, A., Hoffmann, V. U. (2005).** Photovoltaic Solar Energy Generation”, Rhodes, W. T., Asakura, T., Brenner, K. H., Hansch, T.W., Kamiya, T., Krausz, F., Monemar, B., Venghaus, H., Weber, H., Weinfurter, H., *Almanya*, 23,43,70,95-97,101.

**Grosso, G., & Parravicini, G. P. (2013).** Solid State Physics: Second Edition. Solid State Physics: Second Edition. *Elsevier Inc.* [Erişim: 20.12.2021, <https://doi.org/10.1016/C2010-0-66724-1>]

**Gupta, A., Bhatti, H.S., Kumar, D., Verma, N.K. and Tandon, R.P. (2006).** Nano and bulk crystals of ZnO: synthesis and characterization, *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 1, 1-9.

**Han, Y., Ding, Y., Yin, W. and Ma, Z. (2006).** Preparation of homogeneous ZnO nanoparticles via precipitation-pyrolysis with  $Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$  as precursor, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 16,1205-1212.

**Hodes G. (2002).** *Chemical solution deposition of Semi conductor Films*, Marcel Dekker Inc., New York, Vs.

**Houng, B., Huan, C. ve Tsai, S. (2007).** Effect of the pH on the growth and properties of sol-gel derived boron-doped ZnO transparent Conducting thin film, *Journal of Crystal Growth*, 307, 328–333

**Jagadish, C. and Pearton, S. (2006).** Zinc Oxide Bulk, Thin Films and Nanostructures, *Elseiver*, China.

**Jarosiński, Pawlak, J., & Al-Ani, S. K. J. (2019).** Inverse logarithmic derivative method for determining the energy gap and the type of electron transitions as an alternative to the Tauc method. *Optical Mateaials*, 88, 667-673.

[Erişim:11.12.2021, <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2018.12.041>]

**Joseph, B., Gopchandran, K.G., Thomas, P.V., Koshy, P. ve Vaidyan, V.K., A. (1999).** Study on the Chemical Spray Deposition of Zinc Oxide Thin Films and Thir Structural and Electrical Properties, *Materials Chemistry and Physics*.

**Karakız, M. (2008).** Farklı Çözeltiiler Kullanılarak Üretilen ZnO İnce Filmlerin Yapısal ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Karamanav, M. (2007).** *Güneş enerjisi ve güneş pilleri*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 6,7,28.
- Kıyak, İ., Koçyiğit, G. (2009).** Şebekeye bağlı güneş pili sistemleri, *3e Electrotech*, Sayı: 177, 214-222.
- Kittel, C. (1996).** *Introduction to Solid State Physics*. New York
- Klingshirn, C. (2007).** ZnO: Material, Physics and Applications, *Chem Phys Chem*, 8:782-803.
- Kumar, V. (2007).** Nanosilicon, ISBN: 978-0-08-044528- 1, First Edition.
- Kumar, S. and Chen, S. (2008).** Nanostructured zinc oxide particles in chemically modified electrodes for biosensor applications, *Analytical Letters*, 41, 141-158.
- Kumar, V., Singh, R.G., Purohit, L.P., Mehra, R.M. (2011).** Structural, Transport and Optical Properties of Boron-doped Zinc Oxide Nanocrystalline, *Journal of Materials Science & Technology*.
- Lee, J.H. and Park, B.O. (2003).** Transparent conducting ZnO:Al, In and Sn thin films deposited by the sol-gel method, *Thin solid films*, 426, 94–99.
- Lee M. (2014).** Structure and characterization of Sn, Al co-doped zinc oxide thin films prepared by sol–gel dip-coating process, *Thin Solid Films*, Volume 570, Part B, 516-526.
- Lee, H.J. and Jeong, S.Y. (2004).** The Structural and Optical Behaviors of K- doped ZnO/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0001) films, *Applied Physics Letters*, 85, 419-421.
- Lines, M.G. (2007).** Nanomaterials for practical functional uses, *Journal of Alloys and Compounds*, 449, 242-245.
- Liu, J. and Huang, X. (2006).** A low-temperature synthesis of ultraviolet-lightemitting ZnO nanotubes
- Maldonado, A., Tirado-Guerra, S., Cázares, J.M., de la, M. ve Olvera, L. (2010).** Physical and sensing properties of ZnO:F:Al thin films deposited by sol–gel, *Thin Solid Films*, 518, 1815–1820
- Mende, L. and Driscoll, J. (2007).** ZnO nanostructures, defects and devices, *Materials Today*, 10, 40-47.
- Moser, M., Trieb, F. and Fichter, T. (2013).** Potential of Concentrating Solar Power Plants for the Combined Production of Water and Electricity in MENA Countries, *J. Sustain. Dev.*

Energy Water Environ. Syst., Vol. 1, No. 2, pp 122-140. [Erişim: 21.03.2022, <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.2013.01.0009>]

**National Nanotechnology Initiative. (2000).** The Initiative and its Implementation Plan, pp. 19–20. Washington, D.C., National Science and Technology Council, Committee on Technology, Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering and technology.

**Niasari-Salavati, M., Davar, F. and Mazaheri, M. (2008).** Preparation of ZnO nanoparticles from [bis(acetylacetonato)zinc(II)]-oleylamine complex by thermal decomposition, *Materials Letters*, 62, 1890- 1892.

**Oktik, ř. (2001).** Güneş-elektrik dönüşümleri, Fotovoltaik güneş gözeleri ve güç sistemleri, Ankara Temiz Enerji Vakfı Yayınları, 15,17, Ankara.

**Parmod S., Shishodia P.K. ve Mehra R.M. (2007).** “Influence of pH value on the quality of sol–gel derived ZnO films,” *Applied Surface Science*, 253, 12,5419-5424

**Polat, G. (2009).** *Sol-Jel yöntemi ile bakır ve kalay katkılı ZnO ince filmlerin üretilmesi, optik ve mikroyapısal karakterizasyonu*, Yüksek lisans tezi Gebze Yük. Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bölümleri Enstitüsü.

**Quoilin, S. and Orosz, M. (2013).** Rural Electrification Through Decentralized Concentrating Solar Power: Technological and Socio-economic Aspects, *J. Sustain. Dev. Energy Water Environ. Syst.*, Vol. 1, No. 3, pp 199-212. [Erişim: 16.03.2022, <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.2013.01.0015>]

**Romeo, R., Leinen, D., Dalchiele, E. A., Ramos-Barrado, J.R. and Martin, F. (2006).** The effects of zinc acetate and zinc chloride precursors on the preferred crystalline orientation of ZnO and Al-doped ZnO thin films obtained by spray Pyrolysis, *The Solid Films*, 5151, 1942-1949.

**Reddy, K.T.R. and Miles, R.W. (1998).** Growth and Characterization of Sprayed ZnO:Ga Thin Films, *Journal of Materials Science Letters*,s.279-281.

**Romeo, R., Leinen, D., Dalchiele, E. A., Ramos-Barrado, J.R. and Martin, F. (2006).** The effects of zinc acetate and zinc chloride precursors on the preferred crystalline orientation of ZnO and Al-doped ZnO thin films obtained by spray Pyrolysis, *The Solid Films*, 5151, 1942-1949.

**Rossnagel, S.M., Cuomo, J.J. ve Westwood, W. D. (1990).** Handbook of Plasma Processing Technology, *Noyes publications*.

**Salam S. (2013).** Sol–gel synthesis of intrinsic and aluminum-doped zinc oxide thin films as transparent conducting oxides for thin film solar cells, *Thin Solid Films*, 529, 242-247.

**Schuler, T., Aegerter, M., A. (1999).** Optical, electrical and structural properties of solgel ZnO:Al coatings. *Thin solid Films*, 351: 125-131.

**Shao, Z.B., Wang, C.Y., Geng, S.D., Sun, X.D. and Geng, S.J. (2006).** Fabrication of nanometer-sized zinc oxide at low decomposing temperature, *Journal of Materials Processing Technology*, 178, 247- 250.

**Shih, K. (2013).** X-ray diffraction: structure, principles, and applications. *Nova Science Publishers, Inc.*

**Singhal, M., Chhabra, V., Kang, P. and Shsh, D.O. (1996).** Synthesis of ZnO nanoparticles for varistor application using Zn-substituted aerosol ot microemulsion, *Materials Research Bulletin*, 32, 239-247.

**Smith, D.L. (1995).** Thin-Film Deposition Principles and Practice, s.1-8. Snyder, R.L., 1992. Characterisation of Materials, VCH Publishers, New York, A.B.D.,251-356.

**Şen H.** Temiz Dünya Ekoloji Derneği, Temiz Dünya Rehberi- Güneş Enerjisi, İstanbul, 34,39-44,47,48.

**Tsay, C., Fan, K., Chen, S., Tsai, C. (2010).** Preparation and characterization of ZnO transparent semiconductor thin films by sol–gel method, *Journal of Alloys and Compounds*, 495, 126–130

**Ünal, O. (2006).** *Güneş pilleri*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 51,53.

**Yang, J., Liu, X., Yang, L., Wang, Y., Zhang, Y. and Lang, J. (2009).** Effect of annealing temperature on the structure and optical properties of ZnO nanoparticler, *Journal of Alloys and Compounds*, 477, 632-635

**Yao, T. and Hong, S. (2009).** Oxide and Nitride Semiconductors, Springer, Berlin.

**Yeşiltaş, S. (2009).** Hizmark Group, Güneş Enerjisi, Güneş Enerjisi Teknolojileri Fuarı, 26 Şubat 2009.

**Yüksel, B. and Özkan, T.O. (2006).** *Molce %0,5 ve 2 B2O3 katkısının ZnO'in elektiriksel özelliklerine ve mikroyapısına etkisi*, 13. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, 46.

**Zhao J., Wang A., Green M., Ferrazza F. (1998).** %19,8 Verimli "bal peteği" dokulu çok kristalli ve %24,4 tek kristalli silikon güneş pilleri, *J. Appl. Phys.*, 73, s. 1991 – 1993