



**KİMYASAL PÜSKÜRTME YÖNTEMİ İLE
HAZIRLANAN ÇİNKO OKSİT NANOÇUBUKLARIN
ÜRETİMİ, KARAKTERİZASYONU VE BOYA
DUYARLI GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARI**

Merve BÜYÜKAYDIN

**Yüksek Lisans Tezi
Nanobilim ve Nanomühendislik Anabilim Dalı
Nanomalzeme Bilim Dalı
Doç. Dr. Erdal SÖNMEZ
2018
Her hakkı saklıdır**

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİMYASAL PÜSKÜRTME YÖNTEMİ İLE
HAZIRLANAN ÇİNKO OKSİT NANOÇUBUKLARIN
ÜRETİMİ, KARAKTERİZASYONU VE BOYA DUYARLI
GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARI

Merve BÜYÜKAYDIN

NANOBİLİM ve NANOMÜHENDİSLİK ANABİLİM DALI
Nanomalzeme Bilim Dalı

ERZURUM
2018

Her Hakkı Saklıdır



**T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



TEZ ONAY FORMU

**KİMYASAL PÜSKÜRTME YÖNTEMİ İLE HAZIRLANAN ÇİNKO OKSİT
NANOÇUBUKLARIN ÜRETİMİ, KARAKTERİZASYONU VE BOYA
DUYARLI GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARI**

Doç. Dr. Erdal SÖNMEZ danışmanlığında, Merve BÜYÜKAYDIN tarafından hazırlanan bu çalışma 12/07/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Nanobilim ve Nanomühendislik Anabilim Dalı – Nano Malzeme Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Erdal SÖNMEZ

İmza :

Üye : Doç. Dr. Betül GÜZELDİR

İmza :

Üye : Doç. Dr. Eyüp Fahri KESKENLER

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 26/07/2018 tarih ve 30/18 nolu kararı
ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

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

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KİMYASAL PÜSKÜRTME YÖNTEMİ İLE HAZIRLANAN ÇİNKO OKSİT NANOÇUBUKLARIN ÜRETİMİ, KARAKTERİZASYONU VE BOYA DUYARLI GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARI

Merve BÜYÜKAYDIN

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Nanobilim ve Nanomühendislik Anabilim Dalı
Nanomalzeme Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Erdal SÖNMEZ

Bu çalışmada, adi cam altlıklar üzerine kimyasal püskürtme yöntemi ile SnO_2 ince film tabakası ve onun üzerine de değişik sıcaklık, molarite ve çözelti miktarları kullanılarak, ZnO nanoçubuklar büyütülmüştür. Kimyasal püskürtme yöntemi ile büyütülen ince filmlerin yapısal, morfolojik ve optiksel özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen filmlerin X-ışını kırınım (XRD) analizleri ile kristal yapıları araştırılmış ve ZnO nanoçubukların polikristal ve hekzagonal, FTO geçirgen tabakanın ise polikristal yapıda olduğu belirlenmiştir.

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ile film yüzeyleri üzerinde oluşan tanelerin şekilleri, büyüklükleri ve yüzeye dağılımları incelenmiştir. Analizler sonucunda bütün filmlerin altlıklar üzerinde uniform yapıda oldukları sonucuna varılmıştır.

UV-VIS spektrofotometresi ile alınan optik geçirgenlik analizlerinden filmlerin görünür ve mor ötesi bölgede geçirgenlikleri, optik bant aralıkları gibi optik özellikleri araştırılmıştır.

Son olarak solar simülatör ve I-V sistemi ile güneş hücresi şeklinde paketlenen numunelerin verim ölçümleri yapılmıştır. Çözelti miktarına bağlı olarak elektron şeffaf tabakasının kalınlaşmasının ve boya ilavesinin verimi artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen deneysel bulguların, literatürde yapılan diğer deneysel ve teorik veriler ile karşılaştırılması yapılarak, benzerlik ve farklılıklar tartışılmıştır.

2018, 78 sayfa

Anahtar Kelimeler: Çinko Oksit, Kalay Oksit, Boya Duyarlı Güneş Pili, Püskürtme Yöntemi

ABSTRACT

Master Thesis

PRODUCTION, CHARACTERIZATION AND DYE-SENSITIZED SOLAR CELL APPLICATIONS OF ZINC OXIDE NANORODS PREPARED BY CHEMICAL SPRAY PYROLYSIS METHOD

Merve BÜYÜKAYDIN

Ataturk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Nanoscience and Nanoengineering
Department of Nanomaterials

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Erdal SÖNMEZ

In this study, SnO₂ thin film were grown on the glass substrates by chemical spray pyrolysis method and then ZnO nanorods were grown on the substrates that covered SnO₂, different amounts of temperature, molarity and solution on it. Structural, morphological and optical properties of thin films grown by chemical spraying method were investigated. From the XRD analyzes, it was determined that the ZnO nanorods were polycrystalline and hexagonal and FTO permeable layer is polycrystalline.

Scanning electron microscopy (SEM) and atomic force microscopy (AFM) were used to investigate the shape, size and surface distribution of particles formed on film surfaces. As a result of the analysis, all the films are in uniform structure on the substrates.

From the optical permeability analyzes taken with the UV-VIS spectrophotometer, the optical properties of the films such as the transmittance of visible and ultraviolet region, optical band spacing were investigated.

Finally, the solar simulator and I-V system were used to measure the yield of solar cell packaged samples. Depending on the amount of solution, the thickening of the electron-transparent layer and the addition of dye have been achieved as a result of increased efficiency. Similarity and differences were discussed by comparing the experimental findings obtained with other experimental and theoretical data in the literature.

2018, 78 pages

Keywords: Zinc Oxide, Tin Oxide, Dye-Synthesized Solar Cell, Spray Pyrolysis

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmalarında maddi ve manevi her türlü desteği sağlayan, öğrencisi olmaktan gurur duyduğum ve bundan sonraki hayatımda rehberliğine her zaman ihtiyaç duyacağım yüksek lisans hocam Sayın Doç. Dr. Erdal SÖNMEZ'e en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca çalışmalarım sırasında önerileriyle beni yönlendiren ve görüşleriyle katkıda bulunan Sayın Prof. Dr. Mehmet ERTUĞRUL'a ve deneysel çalışmalarımın hazırlık aşamasında yardım ve desteğini esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Güven TURGUT'a teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca maddi manevi her anlamda destekleri ile daima yanımda olan başta hayattaki en büyük şansım, meleğim, annem Gülçin BÜYÜKAYDIN'a ve kızı olmaktan her zaman gurur duyduğum babam Nida BÜYÜKAYDIN'a, kardeşim Ozan BÜYÜKAYDIN'a, varlıklarına şükrettiğim tontonlarım anneannem ve dedeme, can dostum, biricik arkadaşım Merve KİRÖMEROĞLU'na, lisans ve yüksek lisans dönemimde hep yanımda olan Ümmü Gülsüm SOYKAN'a ve her zaman yanımda olan, bu alanda beni her anlamda destekleyen, nişanlım Dr. Muhammet Serhat ÖZASLAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Merve BÜYÜKAYDIN

Temmuz, 2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Nanoteknoloji ve Nanoteknoloji Tarihi.....	1
1.2. Enerji İhtiyacı	4
1.2.1. Fosil yakıtlar.....	4
1.2.2. Nükleer enerji	5
1.2.3. Yenilenebilir enerji kaynakları	5
1.2.3.a. Rüzgâr enerjisi	6
1.2.3.b. Güneş enerjisi	6
2. KURAMSAL TEMELLER	8
2.1. Güneş Pilleri ve Tarihçesi	14
2.1.1. Güneş pilleri	14
2.1.2. Güneş pili tarihi	14
2.2. Güneş Pili Çeşitleri.....	19
2.2.1. Birinci nesil güneş pilleri	19
2.2.2. İkinci nesil güneş pilleri	20
2.2.2.a. Amorf silisyum güneş pilleri	20
2.2.2.b. Bakır indiyum tabanlı ince film güneş pilleri.....	20
2.2.2.c. Kadmiyum sülfür-kadmiyum tellür (CdS-CdTe) ince film güneş pilleri	20
2.2.3. Üçüncü nesil güneş pilleri	21
2.2.3.a. Organik güneş pili	21
2.2.3.b. Boya duyarlı güneş pilleri	21
3.1. Deneylerde Kullanılan Ana Kimyasal Malzemeler ve Özellikleri.....	23
3.1.1. Çinko oksit (ZnO)	23

3.1.2. Kalay oksit (SnO_2).....	25
3.1.3. Flor (F)	26
3.2. Püskürtme (Spray Pyrolysis) Yöntemi	27
3.3. Deneyde Kullanılan Saf Malzemeler	29
3.4. Cam Altlıkların Hazırlanması	29
3.5. Çözeltilerin Hazırlanması ve Deneylerin Yapılışı.....	30
3.5.1. Püskürtme yöntemi ile ZnO nanorod elde etmek için çözeltinin hazırlanışı ve deneylerin yapılışı	30
3.5.2. Püskürtme yöntemi ile FTO elde etmek için çözeltinin hazırlanışı ve deneylerin yapılışı	32
3.6. X-ışını Kırınım Ölçümleri	33
3.7. Taramalı Elektron Mikroskobu Ölçümleri	33
3.8. Atomik Kuvvet Mikroskobu	34
3.9. Optik Ölçümler.....	34
3.10. Güneş Pillerinin Verim Ölçümü.....	34
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	38
4.1. Sıcaklık Optimizasyonu	38
4.1.1. XRD ölçümleri	38
4.1.2. SEM ölçümleri	39
4.2. Molarite Optimizasyonu.....	46
4.2.1. XRD ölçümleri	46
4.2.2. SEM Ölçümleri.....	48
4.3. Çözelti Miktarı Optimizasyonu	57
4.3.1. XRD Ölçümleri	57
4.4. FTO İnce Film Büyütülmesi.....	63
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	68
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	79

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

°	Derece
°C	Santigrat
μ	Mobilite
μm	Mikrometre
Å	Alan
Å	Angrström
a,b,c	Örgü Sabitleri
a.u	Keyfi Birim
C ₂ H ₆ O	Etanol
C ₃ H ₆ O	Aseton
C ₃ H ₈ O	Propanol
CF ₄	Karbon Tetraflorid
CH ₃ OH	Metanol
CIS	Bakır İndiyum Selenid
cm	Santimetre
E	Elektrik Alanı
E _c	İletkenlik Bandı
E _f	Fermi Seviyesi
eV	Elektron Volt
E _v	Valans Bandı
FF	Dolum Faktörü
g	Gram
HCL	Hidrojen Klorür
HF	Hidroflorik Asit
J	Joule
M	Molarite

m	Metre
mA	Miliamper
ml	Mililitre
mm	Milimetre
nm	Nanometre
SnO	Kalay Oksit
V	Volt
V _{oc}	Açık Devre Gerilimi
W/m ²	Watt/metre-kare
ZnO	Çinko Oksit

Kısaltmalar

AFM	Atomik Kuvvet Mikroskopisi
DAYTAM	Doğu Anadolu İleri Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi
DSSC	Boya Duyarlı Güneş Pili
ECD	Elektron Yakalama-Ayrışma Yöntemi
ESP	Elektrostatik Sprey Yöntemi
ETA-cell	İnce Emici Tabakalı Güneş Pili
FFT	Hızlı Fourier Dönüşümü
FTIR	Fourier Dönüşümlü İnfrared Spektrofotometre
FTO	Flor Katkılı Kalay Oksit
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
HOMO	En Yüksek İşgal Edilmiş Moleküler Orbital, Değerlik Bandı
HR-TEM	Yüksek Çözünürlüklü Geçirmeli Elektron Mikroskopisi
ITO	İndiyum Katkılı Kalay Oksit
LbL	Katman Tabaka İşlemi
MOCVD	Metal Organik Buhar Birikimi Yöntemi
MÖ	Milattan Önce
PL	Fotolimünesans
SAED	Seçilmiş Alanda Elektron Kırınımı

SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TCO	Şeffaf İletken Oksit
TEM	Geçirmeli Elektron Mikroskobu
UV	Ultraviyole (mor ötesi)
UV-Vis	İnfrared ve Emilim Spektroskopisi
XRD	X-Işınları Kırınımı



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Bilim ve teknolojiadaki temel gelişmeler.....	2
Şekil 1.2. Lycurgus kupası	2
Şekil 1.3. 1999-2004 yılları arasında ülkelere göre nanobilimdeki yayın sayısı	3
Şekil 1.4. Güneş ışınlam haritası	7
Şekil 2.1. İletkenlik durumuna göre değişen bant enerjileri	15
Şekil 2.2. Silisyumda bulunan arsenik kirlilik atomu	17
Şekil 2.3. Silisyumda bulunan bor kirlilik atomu	18
Şekil 2.4. Yarı iletkenlerde enerji seviyeleri.....	18
Şekil 2.5. Boya duyarlı güneş pili ve bileşenleri	22
Şekil 3.1. ZnO kristal yapıların gösterimi.....	24
Şekil 3.2. SnO ₂ bileşiğinin kristal yapısı	25
Şekil 3.3. Spray pyrolysis deney düzeneği	28
Şekil 3.4. Spray pyrolysis sisteminin görüntüsü	32
Şekil 3.5. Çalışmada paketlenen güneş pilinin yapısı.....	35
Şekil 3.6. Bir güneş pilinin akım-gerilim karakteristiği	36
Şekil 4.1. Sıcaklık optimizasyonu x-ışını kırınım desenleri	38
Şekil 4.2. 300°C’de büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri...39	
Şekil 4.3. 350°C’de büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri...40	
Şekil 4.4. 400°C’de Büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri ..41	
Şekil 4.5. 450°C’de Büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri ..42	
Şekil 4.6. 500°C’de büyütülen çinko oksit nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri	43
Şekil 4.7. 550°C’de büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri...44	
Şekil 4.8. 600°C’de büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri...45	
Şekil 4.9. 500°C’de yapılan molarite optimizasyonu çalışmasında büyütülen ZnO nanoçukların x-ışını kırınım desenleri	47
Şekil 4.10. 500°C’de 0,2 molarlık çözelti ile büyütülen çinko oksit nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri.....	48

Şekil 4.11. 500°C’de 0,3 molarlık çözelti ile büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri.....	49
Şekil 4.12. 500°C’de 0,4 molarlık çözelti ile büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri	50
Şekil 4.13. 500°C’de 0,5 molarlık çözelti ile büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri	51
Şekil 4.14. 500°C’de 0,6 molarlık çözelti ile büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri	52
Şekil 4.15. 500°C’de 0,7 molarlık çözelti ile büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri	53
Şekil 4.16. 500°C’de 0,8 molarlık çözelti ile büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri	54
Şekil 4.17. 500°C’de 0,9 molarlık çözelti ile büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri	55
Şekil 4.18. 500°C’de 1,0 molarlık çözelti ile büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri	56
Şekil 4.19. 500°C ve 0,5 molarlık çözelti ile yapılan çözelti miktarı optimizasyonu x-ışını kırınım desenleri	58
Şekil 4.20. 500°C ve 0,5 molarlık 50 ml çözelti ile büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri.....	58
Şekil 4.21. 500°C ve 0,5 molarlık 75 ml çözelti ile büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri.....	60
Şekil 4.22. 500°C ve 0,5 molarlık 100 ml çözelti ile büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri.....	61
Şekil 4.23. 500°C ve 0,5 molarlık 125 ml çözelti ile büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri.....	62
Şekil 4.24. 500°C ve 0,5 molarlık 150 ml çözelti ile büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri.....	63
Şekil 4.25. FTO ince film x-ışını kırınım desenleri.....	64
Şekil 4.26. FTO ince film 2D (sol), 3D (sağ) AFM görüntüleri.....	65
Şekil 4.27. FTO ince film geçirgenlik ölçümü	65

Şekil 4.28. Güneş hücrelerinin [100 W/cm ² (1.5 AM)] solar simülatör kullanılarak alınan fotoakım-voltaj karakteristikleri.....	66
Şekil 4.29. Boya ile duyarlı hale getirilmiş ve getirilmemiş güneş hücrelerinin akım yoğunluğu-voltaj karakteristik eğrileri.....	67



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. ZnO'nun fiziksel özellikleri.....	24
Çizelge 3.2. Kalay oksitin temel özellikleri.....	26
Çizelge 3.3. Florün temel özellikleri.....	27



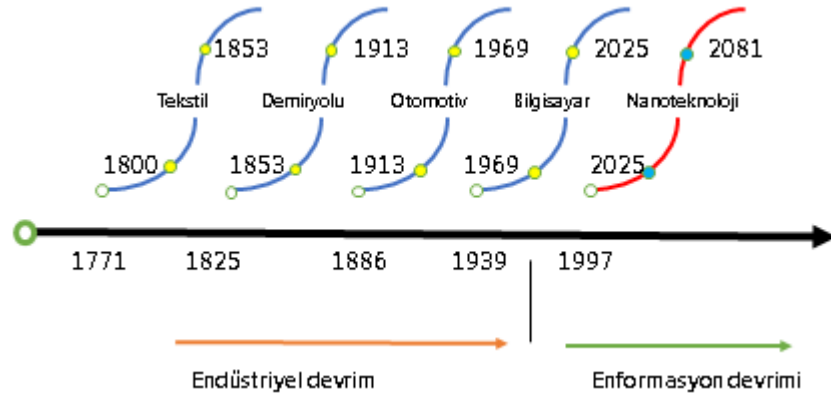
1. GİRİŞ

1.1. Nanoteknoloji ve Nanoteknoloji Tarihi

Nanoteknoloji adını, '*nannos*' kelimesinden almaktadır. Bu kelime Yunanca'da 'cüce', günümüzde ise 'milyarda bir' anlamına gelmektedir. Ölçü olarak bir nanometre (1/1.000.000.000) olarak ifade edilmektedir (Ratner 2003). Nanoteknolojinin, milimetrenin milyonda bir oranındaki yapılara inerek yakın zamanda insan hayatına yön vereceği düşünülmektedir.

Birçok araştırma sonucunda oluşan teknolojiideki değişimler, dünyadaki medeniyetin gelişimine etken olmuştur. On sekizinci yüzyılın başlarında, Avrupa'da tarım faaliyetleri hâkimiyet göstermiştir. Odun, su ve rüzgâr halkın temel kaynakları olarak bilinmektedir. Ancak ilk olarak İngiltere, daha sonra ise Avrupa ve Kuzey Amerika'da teknolojik anlamda bir dönüşüm başlamıştır. Bu durum sanayi devrimi olarak adlandırılmış ve tarımdan mekanik üretime geçilmiştir (McLellan and Dorn 2006).

Sanayi devriminden sonra sosyal, kültürel, ekonomik ve teknolojik gelişmeler insan hayatına yön vermiş ve bilgisayarın icadı ile bu durum devam etmiştir. Bundan sonraki aşamada ise nanobilim ve teknolojinin bu anlamda ön planda olacağı öngörülmektedir. Şekil 1.1'de Fransız İhtilali'yle beraber ortaya çıkan sanayi devriminden günümüz ve sonrasına ait, bilim ve teknolojiideki gelişmeler için lokomotif görevi gören etkenler şematik olarak verilmiştir.



Şekil 1.1. Bilim ve teknolojideki temel gelişmeler

Nanoteknoloji çok eski tarihlerde kullanılmış ancak bugüne kadar nanoteknolojik özelliklerin sebepleri açıklanamamıştır. Lycurgus kupası buna örnektir. Bu kupa Antik Romalılar tarafından camdan yapılmıştır. Özelliği ise normalde yeşil, ışığa maruz kalınca renginin kırmızıya dönmesidir. 1900’lü yıllarda kupa mikroskop altında incelendiğinde içinde altın ve gümüş parçacıklarının olduğu görülmüştür. Bu parçalar oldukça küçük, yani nano boyuttadırlar. O yıllarda bu işlemin nasıl yapıldığı, hala açıklanamamıştır.

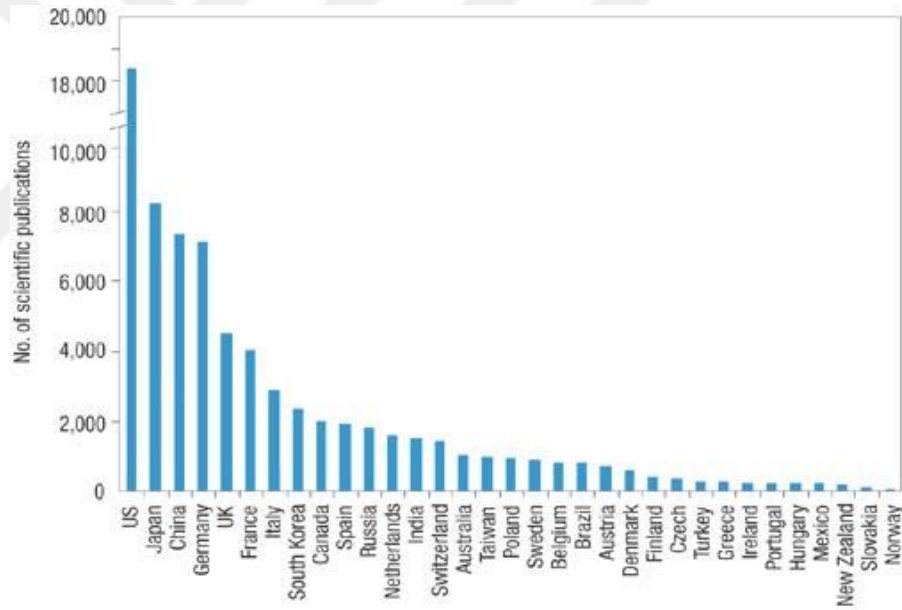


Şekil 1.2. Lycurgus kupası (British Museum) (Anonymous 2018)

İlk olarak Faraday 1857 yılında gözle görülemeyen parçacıkların olduğunu ve parçacık boyutu ile renkler arasında bir ilişki olduğunu öne sürmüştür. Richard Adolf Zsigmondy 1914 yılında ultramikroskobu (1925 nobel ödülü) icat ederek nanometre boyutundaki

parçacıkları tanımlamış ve ölçmüştür (Anonim 2018). 1959'da Richard Feynman CALTEC'deki 'There is plenty of room at the bottom (Aşağıda bir sürü oda var)'adlı konuşması ile nano yapıların kullanılabileceğini savunmuştur (Feynman 1992). Dr. K. Eric Drexler konuşmaları ve yazdığı kitaplar ile (Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology ve Nanosystem: Molecular Machinery, Manufacturing and Computation) nano boyutun önemini ve bu alana olan ilgiyi artırmıştır (Jones 2007).

1999-2000 yılında Amerika Birleşik Devletleri, nanoteknoloji alanında yürütülen çalışmalara öncülük etmiştir. Amerika'yı, Avrupa ülkeleri ile Uzak Doğu ülkeleri takip etmiş, son yıllarda da İsrail nanoteknoloji ile ilgili yatırımlara başlamıştır.



Şekil 1.3. 1999-2004 yılları arasında ülkelere göre nanobilimdeki yayın sayısı (Hullman 2006)

Günümüz itibari ile nanoteknoloji birçok alanda karşımıza çıkmaktadır. Sağlık sektörü, tarım ve gıda sektörü, otomobil üretimi, uzay teknolojisi, çevre ve enerji konusu bunlardan sadece birkaçıdır. Şu an üzerinde çalışılan bir diğer konu da, nano güneş pilleridir. Bilindiği gibi güneş, ucuz ve temiz bir enerji kaynağıdır (Holdrige 2007).

1.2. Enerji İhtiyacı

Yeryüzünde canlılığın devamı için farklı enerji kaynaklarına ihtiyaç vardır. İçinde bulunduğumuz dönemde teknolojik gelişmeler ve sanayileşme hızla arttığı için enerjiye olan ihtiyaç daha da artmıştır. Petrol, kömür, doğalgaz gibi kaynaklar yenilenemeyen enerji kaynaklarından bazılarıdır ve bu kaynaklar gün geçtikçe tükenmektedirler. Yenilenebilir enerji kaynakları ise, isminden de anlaşılacağı gibi doğanın kendi döngüsü içerisinde mevcut kalabilen enerji kaynağı olarak adlandırılır (Uğurlu 2006).

Enerji kaynakları üç grupta toplanabilir:

- Fosil yakıtlar
- Nükleer enerji
- Yenilenebilir enerji kaynakları

1.2.1. Fosil yakıtlar

Fosil kaynaklar tükenen kaynaklar olduğu için doğal olmayan yollardan üretilmesi mümkün değildir. Yanma tepkimesi ile meydana gelen gazlar (karbon, hidrojen, sülfür ve diğer elementler) dışında kül ve radyoaktif elementler de oluşur. Karbondioksitin atmosfere karışması ile oluşan sera etkisi atmosferin sıcaklığının artmasına sebep olurken, sülfat gazının neden olduğu asit yağmurları bitki örtüsü ve canlılara zarar verir (Kalogirou 2004).

Fosil yakıtlar sınırlı olduğundan dolayı bu kaynaklara sahip ülkeler ya da bu kaynaklardan yararlanmak isteyen ülkeler arasında enerji güvenliğini sağlamak amacı ile bazı anlaşma ve politikalar yapılmıştır. Petrol fiyatlarındaki değişim ve sera gazı “Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi” ve “Kyoto Protokolü” ile düzenlenmeye çalışılmıştır (Şanlı 2010).

1.2.2. Nükleer enerji

Nükleer enerjinin temelinde yatan atom kelimesi, parçalanamaz anlamında kullanılmaktadır. Atom, merkezinde çekirdek ve çekirdek etrafında bulunan negatif yüklü elektronlardan oluşmuştur. Atom çekirdeklerinin parçalanması ve birleştirilmesi ile nükleer enerji elde edilmektedir (Temurçin 2003).

Nükleer enerji, farklı iki tür santral aracılığı ile üretilebilen bir enerji türüdür. Bunlar füzyon ve fisyon reaktörleridir. Füzyon reaktörleri genellikle helyum ve hidrojen elementlerini kullanırken, fisyon reaktörleri ise uranyum ve toryum gibi ağır elementleri kullanarak enerji üretmeye dayalıdır. Füzyon reaksiyonu sonucunda ortaya çıkan sıcaklık günümüz teknolojisi ile kontrol altına alınamamaktadır. Günümüz koşullarında yoğun risk barındıran bu tip füzyon reaktörlerinin, gelecekte insanlığın ihtiyaç duyacağı enerjiyi yıl boyunca karşılayabileceği düşünülmektedir. Fisyon reaktörlerinde ise en önemli dezavantaj, reaktörde bulunan atık yakıtların saklanma sorunudur. Reaktöre konulan yakıtın sadece %1'inin yakıldığı ve geri kalan kısmının kül olduğu, dolayısı ile bu atıkların emniyetli bir şekilde saklanması zorunlu olduğu vurgulanmaktadır (Ferguson 2007).

1.2.3. Yenilenebilir enerji kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları doğadan sürekli temin edilebilen ve miktarında herhangi bir azalma söz konusu olmayan enerji çeşididir. Diğer enerji kaynaklarına göre daha çevreci ve önemsenmeyecek derecede dezavantajlara sahiptir. Kaynak maliyetinin düşük olması ve kaynak miktarının azalmaması, bu yenilenebilir enerji kaynaklı sistemleri cazip hale getirmiştir (Özdemir 2012).

Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep, sağladığı avantajlardan ve zararsız olduğundan dolayı gün geçtikçe artmakta ve önem kazanmaktadır. Ülkelerin enerji politikalarında, alternatif enerji kaynaklarından yenilenebilir enerji kaynakları önemli

bir yer teşkil etmektedir. Ancak, yenilenebilir enerjinin üretimdeki payı, pahalı yöntem ve kurulum maliyeti sebebi ile istenilen seviyeye gelememiştir (Yorkan 2009).

1.2.3.a. Rüzgâr enerjisi

Hava kitleleri arasında belirli basınç farkları vardır. Bu basınç farkından dolayı oluşan hava akımları sonucunda rüzgâr meydana gelir. Güneşten yeryüzüne ulaşan enerjinin çok az bir kısmı rüzgâr enerjisine dönüşmektedir (Enerji Tabi Kaynaklar Bakanlığı 2013).

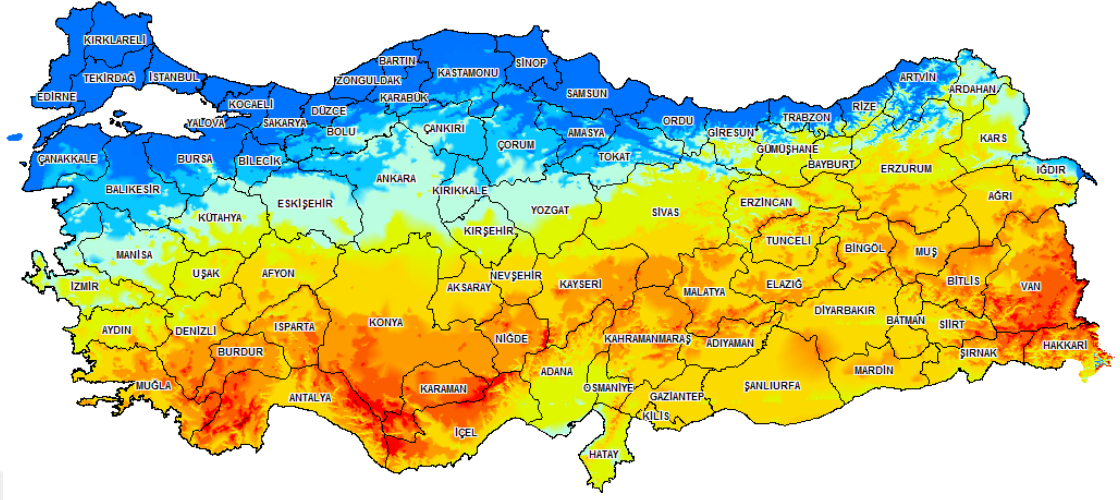
İnsanoğlu çok eski zamanlardan beri rüzgârın enerjisinden değişik şekillerde faydalanmıştır. İlk kez M.Ö. 3000’li yıllarda öğütme ve su kuyularından su çekmek amacı ile kullanıldığı bilinmektedir (Yerebakan 2008).

Günümüzde enerji üretimi önemli bir yere sahip olduğu için, rüzgâr enerjisinden elektrik üretimini sağlayabilmek amacı ile rüzgâr türbinleri kullanılmaktadır. Rüzgâr türbinleri, rüzgârı mekanik enerjiden elektrik enerjisine çevirmektedir (Anonim 2015).

1.2.3.b. Güneş enerjisi

Güneşin yüzey sıcaklığı 5500°C ve iç çekirdeğinin sıcaklığı 15,6 milyon °C’dir. Güneş ışınları yeryüzüne 8,44 dakikada ulaşır (Anonim 2011). Ülkede yıllık ortalama güneşlenme süresi 2640 saat, yıllık ortalama güneş radyasyon değeri 1311 kWh/m²’dir (Toklu vd 2010). Güneş hem temiz hem de ucuz bir enerji kaynağıdır. Bu da dikkatleri güneş enerjisi üzerine çekmektedir.

Güneşin sürekli bir enerji kaynağı olması onun enerjisini ısı ve elektrik enerjisine dönüştürerek faydalanmamızı sağlamıştır (İstemi 2004). Günümüz koşullarında teknolojik ve bilim dünyasındaki değişimler güneş enerjisini ve ondan elektrik enerjisi üretimini popüler hale getirmiştir (Mazı 2003).



Şekil 1.4. Güneş ışınlm haritası (GEPA)

Güneş ışınlrından elektrik elde etmede yaygın olarak fotovoltaik yöntemler kullanılır. Ülkemizin coğrafi konumu güneş radyasyonu açısından oldukça zengin bir bölgedir (Anonim 2011). Yukarıda bulunan haritada güneş radyasyonun az oduğı bölgeler mavi, çok oduğı bölgeler ise sarı ve kırmızı renkte gösterilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

Spray yöntemi veya farklı büyütme yöntemleri ile ilgili literatürde pek çok araştırma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan özetle bahsetmek gerekirse aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Zaouk *et al.* (2000) yapmış oldukları çalışmalarında, SnO₂ ince filmleri, yeniden dizayn edilmiş bir püskürtme tekniği olan elektrostatik spray pyrolysis (ESP) metoduyla hazırlamışlardır. Filmlerin elektriksel ve optiksel özellikleri üzerine flor katkılanma oranı, taban sıcaklığı, püskürtme mesafesi gibi parametrelerin etkisi incelenmiştir. Püskürtme mesafesi ve sıcaklık faktörlerinin filmler üzerinde önemli olduğu belirtilmiştir. Altlık sıcaklığı 550°C, püskürtme mesafesi 6 cm ve çözeltide %80 hidrojen florür kullanılarak %85'lik optik geçirgenliğe sahip filmler oluşturulmuştur. Püskürtme mesafesinin, püskürtülen çözeltinin düşme şekillerini etkilediği saptanmıştır.

Elangovan *et al.* (2004) yaptıkları çalışmada, püskürtme yöntemi kullanılarak, farklı tabanlara SnO₂ ince filmleri büyütülmüş ve filmlerin fiziksel özellikleri incelenmiştir. Farklı altlıklar kullanıldığı için en iyi elektriksel özelliği optik camda büyütülen filmlerin gösterdiği belirtilmiştir. Optik cam altlıklar üzerine katkısız, flor katkılı ve antimon katkılı kalay oksit ince filmleri büyütülmüştür. Flor katkılama optik ve elektrik özelliklerini daha iyi hale getirirken, antimonun sadece elektrik özelliklerini olumlu etkileyip, optik geçirgenliği azaltmış olduğu belirtilmiştir.

Jain and Kumar (2004) tarafından yapılan çalışmada, antimon katkılama konsantrasyonuna bağlı kalay oksit filmleri, 450°C'de cam altlıklar üzerine püskürtülmüştür. Yapılan katkılamanın filmlerin elektriksel ve optik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. En düşük öz direnç %3 mol katkılama, en yüksek taşıyıcı konsantrasyonu %2 mol katkılama ile sağlanmıştır. Antimonun katkı konsantrasyonuna optik geçirgenliklerin sebep olduğu görülmüştür. %3 mol Sb katkılamasından sonra geçirgenliğin azaldığı ve geçirgenlik oranının %85-90 arasında olduğu bulunmuştur.

Mane *et al.* (2005) çalışmalarında indiyum katkılı kalay oksit (ITO) üzerine TiO_2 ince filmleri oda sıcaklığında kimyasal yıkama metodu ile büyütmüşlerdir. $1,418 \mu\text{m}$ kalınlığında TiO_2/ZnO yapısını elde etmek için katman-tabaka işlemi (LbL) kullanılmıştır. TiO_2 yüzeyi başlangıçta süper hidrofilik iken, ZnO birikimi sonrasında hidrofiliklik özelliğın önemli ölçüde azalmış olduğu görülmüştür. Diğeri TiO_2/ZnO filmleri, boya duyarlılaştırılmış güneş pillerinde (DSSC) fotoelektrot olarak kullanımının uygunluğu incelenmiştir.

Chul Yi *et al.* (2005) ZnO nanorodlar üzerine güncel araştırma faaliyetlerini gözden geçirmişlerdir. ZnO nanorodlarını sentezlemek için kullanılan yöntemler ile heteroyapılar ve ZnO nanorod katkılama tekniklerini anlatmışlardır. ZnO nanorod ile bağlantılı emisyon, gaz algılama ve elektron taşıma gibi çeşitli ilginç uygulamalar tartışılmış ve kişisel olarak sonuçlandırılmıştır.

Serin *et al.* (2006) yaptıkları çalışmada, spray tekniğini kullanarak kalay oksit filmleri farklı sıcaklıklarda (300 ile 500°C) incelemişlerdir. Filmlerin kristal yapısı, elektriksel ve optik özellikleri analiz edilerek en iyi yapısal özelliklere 400°C de sahip oldukları belirtilmiştir.

Baxter *et al.* (2006) ZnO nanotelleri, Metenamin ve $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 'nin sulu solüsyonlarında hazırlayarak boya duyarlı güneş pillerine dönüştürmüştür. Hazırlanan ZnO nanotell ve büyüme mekanizmaları elektron mikroskobu, x-ışını kırınımı ve fotoluminesans (PL) ölçümleri ile incelenmiştir. Normal olmayan açılarda büyüyen nanotellerin büyümesi bu çalışmada giderilmiştir. ZnO nanotel numunelerine boya katılıp optik ve elektriksel ölçümlerle karakterize edilmiştir. $8 \mu\text{m}$ uzunluğundaki nanotellerin kısa devre akımı $1,3 \text{ mA}$, güç dönüşüm verimliliği $\%0,3$ olarak ölçülmüştür.

Shelke *et al.* (2009) bu çalışmada, çinko oksite alüminyum katkılanarak spin kaplama metodu ile depolama yapmışlardır. Filmlerin elektriksel ve optik özellikleri üzerine tavlama sıcaklığının etkisi incelenmiştir. 350°C 'de tavlanan filmlerde kırılma indisi en az $1,95$ en fazla kırılma indisi ise $2,1$ olarak gösterilmiştir. Kalınlık değeri en az olan

filmlerin (30,1 nm), kalınlık değeri en fazla olan filmlerle (34,5 nm) benzerlik gösterdiği belirtilmiştir. Tavlama sıcaklığındaki artışın pik pozisyonunda hiçbir değişikliğe sebep olmadığı belirlenmiştir.

Lin *et al.* (2009) tarafından yapılan çalışmada, F katkılı kalay oksit filmleri püskürtme yöntemi ile farklı katkı oranlarında 400°C'deki altlıklar üzerine hazırlanmıştır. En iyi elektriksel özelliklere sahip olanların %50 mol F katkılı kalay oksit ince film olduğu görülmüştür. Bu filmler değişik sıcaklıklarda büyütülerek sıcaklığın filmlerin yapısına etkisi belirtilmiştir.

Sönmez *et al.* (2011) bu çalışmada iki ayrı ZnO nanorod örneklerini incelemişlerdir. Adi cam altlıklar üzerine hazırlanan, saf ZnCl₂ sulu çözeltisi kullanılarak büyütülen nanorodlarla, az miktarda tiyoüre (tu:CH₄N₂S) katılarak büyütülen nanorodlardır. Numunelerin x-ışını difraksiyonu (XRD), taramalı elektron mikroskobu SEM, Fourier dönüşümü, infrared ve emilim spektroskopisi (UV-Vis) ve fotolüminesans spektroskopisi (PL) ölçümleri yapılmıştır. ZnCl₂ çözeltisine tiyoüre katkısı, ZnO nanorodların çaplarında ve yüksekliklerinde istendik yönde gelişme sağlarken, optiksel özelliklerinde bozulma meydana getirmiştir.

Sönmez *et al.* (2012) çinko oksit çubukların morfolojik ve optik özelliklerini incelemişlerdir. Altıgen çubuk yapıları 550°C'de çinko klorür sulu çözeltisi püskürtülerek hazırlanmıştır. Çubukların XRD, SEM, atomik kuvvet mikroskobisi (AFM), fotolüminesans, ultraviyole ve görünür absorpsiyon spektroskopisi ölçümleri yapılmıştır. Yaklaşık 550°C'de 0,1 mol/L çözelti püskürtülmüş ve 400-1000 nm çapında, 500-2000 nm uzunluğunda çubuklar elde edilmiştir. Analiz sonuçları, ZnO'nun püskürtme yöntemi ile elde edilen çubuklarının, yüksek kristal kalitesine sahip olduklarını göstermektedir.

Anta *et al.* (2012) ZnO'nun boya duyarlı güneş pillerinde kullanımının avantajlarından bahsetmişlerdir. ZnO'nun morfolojik ve yapısal özellikleri incelenmiş ve TiO₂ ile

karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçları, elektron taşınımının ZnO'da TiO₂'den daha hızlı olduğunu ancak ZnO'nun TiO₂'den daha düşük verime sahip olduğunu göstermiştir.

Ravichandran *et al.* (2014) tarafından yapılan çalışmada, ZnO antibakteriyel verimliliği incelemişlerdir. ZnO'ya farklı flor katkılama seviyelerindeki yapısal, optik, morfolojik ve antibakteriyel özellikler araştırılmıştır. XRD sonuçlarına göre tüm ürünlerin (1 0 1) düzleminde tercihli yöneliminde olduğu görülmüştür. PL (fotoluminüsans) çalışmaları sonucunda tüm numunelerin 425 nm'de güçlü emisyon sergilediği gösterilmiştir. SEM çalışmalarından, F doping seviyesinin %10'unda oluşan ZnO nanotellerin mükemmel antibakteriyel aktiviteler sergilediği görülmüştür. Tüm fiziksel özellikler antibakteriyel aktivite ile ilgili bulgularla doğrulanmıştır.

Galoppini *et al.* (2006) yaptıkları çalışmada, ZnO nanorod ve ZnO kolloidleri, metal organik buhar birikimi (MOCVD) yöntemi ile boya duyarlı güneş pillerinde büyütürken elektron taşınımını karşılaştırmışlardır. Yapılan incelemeler sonucunda güneş pillerinde ZnO nanorod elektrotları ile elektron taşınımının yaklaşık iki kat daha hızlı olduğu görülmüştür. Çalışan ZnO elektrodunun morfolojisinin elektron taşıma özelliklerinde kilit rol oynadığı belirtilmiştir.

Suliman *et al.* (2007) TiO₂ nanokristal ile yapılan boya esaslı güneş pillerini bilinen silikon fotovoltaik pilleri ile karşılaştırarak kullanılabilir hale gelmiştir. ZnO yarıiletkeninde TiO₂ ile benzer elektrik, optik, katalitik özelliklere sahiptir. Bu nedenle popüler bir malzemedir.

Martinson *et al.* (2007) boya ile duyarlı hale getirilmiş güneş pillerinde kullanmak için anodik oksit ile yüksek yüzey alanlı ZnO nanotüpler elde etmişlerdir. Atomik Layer Depozisyon yöntemi kullanarak mikrometre inceliğinde gözenekli yapılar elde edilmiştir. Elde edilen ZnO yapıların foto-voltaj karakteristiğinin mükemmel olduğu ve % 1,6 verimli bir güç elde edildiği belirtilmiştir.

Hsu *et al.* (2008) tarafından yapılan çalışmada boya duyarlı güneş pillerinde ZnO nanorodlar hidrotermal ve buharla biriktirme yöntemleri kullanılarak, elde edilen güneş pillerinin performansı araştırılmıştır. Hidrotermal yöntemle elde edilen nanorodların, daha düşük optik özelliklere sahip olmasına rağmen daha yüksek verim sergilediği görülmüştür. Her iki yöntemde de 200°C'de tavllanmış nanorodlar için verim %0,22 olarak ölçülmüştür.

Seow *et al.* (2008) çalışmalarında ZnO nanoyapıların konsantrasyon, buharlaşma hızı ve reaksiyon süresini incelemişlerdir. Bu reaksiyon parametrelerinin, nanoparçacıklar, nanorodlar ve nanosferler arasında değişen çeşitli nanoyapılar üretmek üzere ayarlanabilir ve ayarlanabilir olduğu belirtilmiştir. Nanorodların yapısal bakımdan kristalografik olarak yönlendirilmiş bağlı nanopartiküllerden oluştuğu, nanosferlerin ise rastgele hizalanmış nanokristalitlerden oluştuğu incelenmiştir. Emilen rutenyum boya (N₃) ile ZnO nanopartikülleri ve nanorod elektrotlarından oluşan solar hücrelerin sırasıyla %0,87 ve %1,32'lik bir verime sahip oldukları ölçülmüştür.

Pawar *et al.* (2009) yaptıkları çalışmada püskürtme yöntemi kullanılarak bor katkılı çinko oksit boya duyarlı güneş pili elde edilmiştir. B_nZnO'nun elektriksel özellikleri, yapısal ve morfolojik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada bor katkılı çinko oksitlerin, şu anda kullanılmakta olan indiyum veya flor katkılı kalay oksit maddeleri için bir alternatif olacağı belirtilmiştir.

Al-Hajry *et al.* (2009) çalışmalarında altıgen şeklinde küçük ZnO nanorodları, düşük sıcaklıkta çinko nitratın sulu çözeltisini kullanarak elde etmişlerdir. Elde edilen hegzagonal ZnO nanorodların, yapısal, optik ve fotovoltaiik özellikleri incelenmiştir. Yüksek çözünürlüklü geçirmeli elektron mikroskobu (HR-TEM), seçilmiş alanda elektron kırınımı (selected area electron diffraction SAED) ve hızlı Fourier dönüşümü FFT'in (Fast Fourier transformation) detaylı yapısal incelemeleri, sentezlenen ZnO nanorodların kristal yapıda olduğunu ve tercihle [0001] yönünde büyüdüğünü göstermiştir. Sentezlenen nanorodların optik özellikleri, UV-görünür ve Fourier dönüşümlü infrared spektrofotometre (FTIR) spektroskopisi kullanılarak incelenmiştir.

Altıgen şeklinde küçük ZnO nanorod kullanılarak elde edilen güneş pilleri için, %47,2 doluluk faktörü, %0,70 elektrik dönüşüm verimliliği, 1,8 mA/cm² kısa devre akımı ve 0,76 V açık devre voltajı sağlanmıştır.

Liu *et al.* (2009) çalışmalarında nanorod, nanotel ve nanotüp gibi yapıların boya duyarlı güneş pillerinde dikkat çektiğini ve bu tür yapıların hücre performansını artırabileceğini öne sürmüşlerdir. Bu çalışmada alt katman olarak şeffaf iletken flor katkılı kalay oksit (FTO) üzerine tek kristalli TiO₂ nanorod filmleri büyütmek için hidrotermal yöntem kullanılmıştır. Nanorodların çap, uzunluk ve yoğunluk özelliklerinin; büyüme süresi, büyüme sıcaklığı ve katkı maddeleri gibi büyüme parametrelerinin değiştirilmesiyle farklılık gösterebileceği belirtilmiştir. DSSC'de 4 µm uzunluğundaki TiO₂ nanorod filmlerden %3'lük bir verim elde edilmiştir.

Krunk *et al.* (2010) yaptıkları çalışmada püskürtme yöntemi ile ince emici tabakalı (ETA-cell) güneş pili elde etmişlerdir. CuInS₂ emici katman üzerine ZnO nanorod büyütülmüştür. Katmanlar ve hücrelerin optik özellikleri Raman spektroskopisi ve taramalı elektron mikroskopisi (TEM) ile incelenmiştir. Düz referansa göre iki kat daha yüksek kısa devre akım yoğunluğu ve ETA hücrelerinde %2,2 verimlilik (J=12 mA/cm², Voc= 425 mV, FF= %43) elde edilmiştir.

Lupan *et al.* (2010) büyüme sonrası hidrotermal arıtmanın ve ısı tavlamanın ZnO ile yapılan boya duyarlı güneş pili üzerine etkisi incelenmiştir. Dikey olarak hizalanmış ZnO nanotel dizileri indiyum-kalay oksit (ITO) kaplamalı cam üzerine büyütülmüş ve daha sonra hidrotermal işleme tabi tutulmuştur. Numune karakterizasyonu için, XRD, SEM, TEM, SAED ve fotoluminesans sonuçları incelenmiştir. Hidrotermal işlemin ZnO nanotellerinin özelliklerinde iyileşme sağladığı bulunmuştur. Elektron yakalama-ayırışma (electron-capture dissociation) ECD sonuçları ZnO nanotellerin altıgen ve tek kristalli olduğunu göstermiştir. En iyi optik kalite 150°C'de hidrotermal işleminden sonra bulunmuştur. Güneş pillerinin fotoakımının hidrotermal işleminden sonra önemli ölçüde artmış olduğu belirtilmiştir. Elde edilen sonuçların düşük çıkmasından yola çıkarak

katman pürüzlülüğünün azaltılması ve yüksek kaliteli ZnO nanotellerin uygulama yolunun açılması gerektiği vurgulanmıştır.

Ko *et al.* (2011) çalışmalarında ise boya duyarlı güneş hücrelerinde (DSSC) ZnO'den 'nano-forest' 'nano-tree' yapısı elde ederek verimliliği artırmayı amaçlamışlardır. Alınan sonuçlar doğrultusunda nano-tree yapıların dikey nanotel yapılardan 5 kat daha yüksek verime sahip olduğu belirtilmiştir.

2.1. Güneş Pilleri ve Tarihçesi

2.1.1. Güneş pilleri

Güneş pilleri yani fotovoltaik piller, yüzeylerine düşen ışığı elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen ya da daire şeklinde olabilir. Genellikle 0,2-0,4 mm arası kalınlığındadır. Güneş pili üzerine ışık düştüğü zaman, uçlarında gerilim meydana gelir ve bu enerjinin kaynağı pil yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Güneş pilleri enerji ihtiyacına göre seri ya da paralel bağlanabilir (Çetinkaya 2001).

Güneş pilleri elektrik enerjisine ihtiyaç duyulan her alanda kullanılabilir. Bu sistemler yerleşim birimlerinden uzak, elektriğin bulunmadığı, jeneratörlere yakıt ulaşımının zor ve uygun olmadığı durumlarda tercih edilir. Güneş pili, içerisinde bulunan akümülatör sayesinde depolama yapar. Güneşin yetersiz olduğu ya da bulunmadığı gece süresince depolanan elektrik enerjisinin kullanılabilmesini sağlar (Gençoğlu ve Cebeci 2000).

2.1.2. Güneş pili tarihi

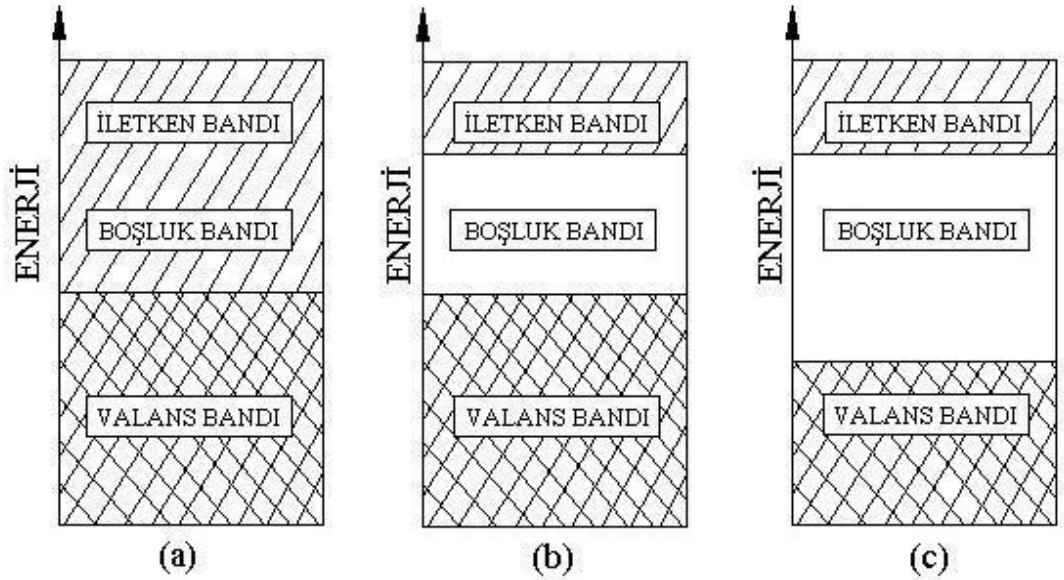
Güneş pilleri ilk kez 1839 yılında Becquerel tarafından bulunmuştur. Becquerel, elektrotları elektrolit içerisine daldırarak elektrotlar arasındaki gerilimin, elektrolit üzerine düşen ışığa bağlı olduğunu belirtmiştir. 1876 yılında Adams ve Day tarafından

benzer bir olay katılarda selenyum kristali üzerine gözlemlenmiştir. 1914 yılında fotovoltaiik diyotların verimliliği %1 iken ilk kez 1954 yılında Chapin tarafından %6 verim ile fotovoltaiik diyotlar kullanılmıştır. Bu sistemler 1960 yılından beri uzay çalışmalarında en güvenilir yöntem olarak kullanılmaktadır (Karamanav 2007).

Katı maddeler kullanılarak güneş pillerinde fotovoltaiik etkiler oluşturulabilmektedir. Öncelikle katı maddelerin elektriksel özelliklerini incelerken onları üç gruba ayırabiliriz. Bunlar:

- İletken
- Yarı iletken
- Yalıtkan

Bir maddenin iletken, yarı iletken ya da yalıtkan olması valans bandı ile iletkenlik bandı arasındaki enerji boşluğuna bağlıdır.



Şekil 2.1. İletkenlik durumuna göre değişen bant enerjileri
a) İletken b) Yarı İletken c) Yalıtkan (Anonim 2018a)

Şekil 2.1’de görüldüğü gibi valans bandı ile iletkenlik bandı arasında enerji aralığı mesafesi bulunmayan kristallere iletken adı verilirken, valans bandı ile iletkenlik bandı arasında elektronların atlayabileceği ölçüde mesafenin bulunduğu kristallere yarı iletken adı verilmektedir. Eğer aradaki mesafe elektronların atlayamayacağı ölçüde büyük ise bu kristaller de yalıtkan adını almaktadır (Sarıkaya 2003).

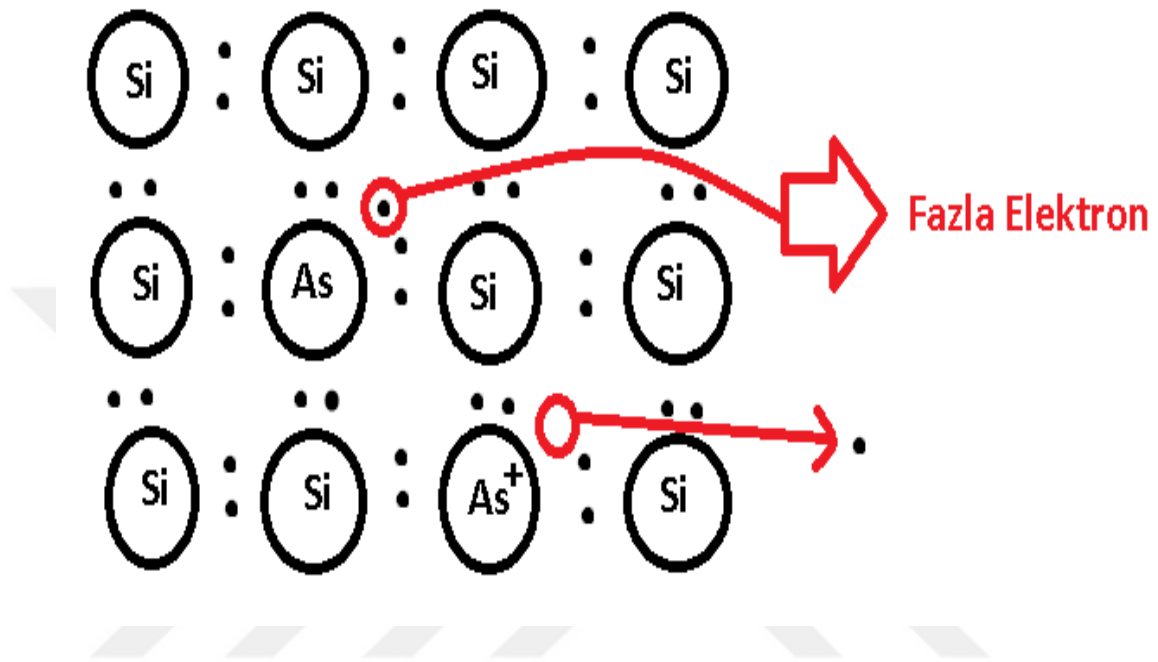
Metallerde sürekli bir bant durumu ortaya çıkmaktadır. Bunun sebebi atom sayısının fazlalığından dolayı bantların iç içe girmesinden kaynaklanmaktadır. Düşük sıcaklıklarda dahi atomlar bir enerji seviyesinden başka bir enerji seviyesine kolaylıkla geçebilmektedir. Bu durum metallerin elektrik iletkenliğinin ne kadar iyi olduğunu göstermektedir. Artan sıcaklık ile metallerde iletkenlik azalmaya sebep olmaktadır (Erdoğan 2010).

Yalıtkanlarda ise valans bandı ile iletkenlik bandı arasında mesafe bulunduğundan elektronlar iletkenlik bandına geçememekte ve bunun sonucu olarak iletkenliğe katkı sağlayamamaktadırlar.

Yarı iletkenlerde ise yarı iletkene enerji verildiğinde elektronlar uyarılarak valans bandından iletkenlik bandına geçmektedirler. Böylece elektronlar iletken hale gelmektedir. Valans bandından iletkenlik bandına geçen elektron, arkasında bir boşluk meydana getirmektedir. Bu durum elektron-boşluk çiftlerinin oluşmasına sebep olmaktadır. Oluşan çiftler eksiton (exciton) adını almaktadır. Her hangi bir elektrik alan söz konusu olduğunda elektron-boşluk çiftleri birbirlerine zıt yönlerde valans ve iletkenlik bantlarına yönelmektedirler (Hummel 1993).

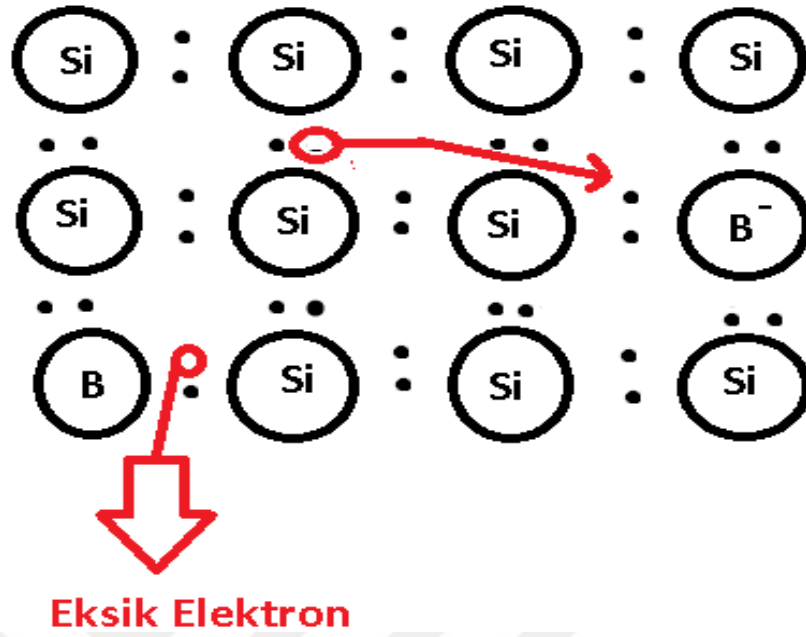
Periyodik tabloda IV-A grubunda bulunan silisyuma, kendisine yakın olan III. grup ya da V. grup elementlerinden eser miktarda katkılama yapılabilir. V. grup elementlerinden beş valans elektronuna sahip olan arsenik, silisyum ile dörtlü bağ yapmaktadır. Dörtlü bağ sonucu boşta kalan beşinci elektron kristalin sahip olduğu termal enerjiden dolayı iletkenlik bandına çıkarak serbest hale gelmektedir. Kristale elektron vermiş olan

arsenik atomlarına, donör atomları adı verilmektedir. İletkenliğe katkıda bulunmuş olan elektron hareket edebilirken, katkı atomları hareket edememektedirler (Aydoğan 2011).



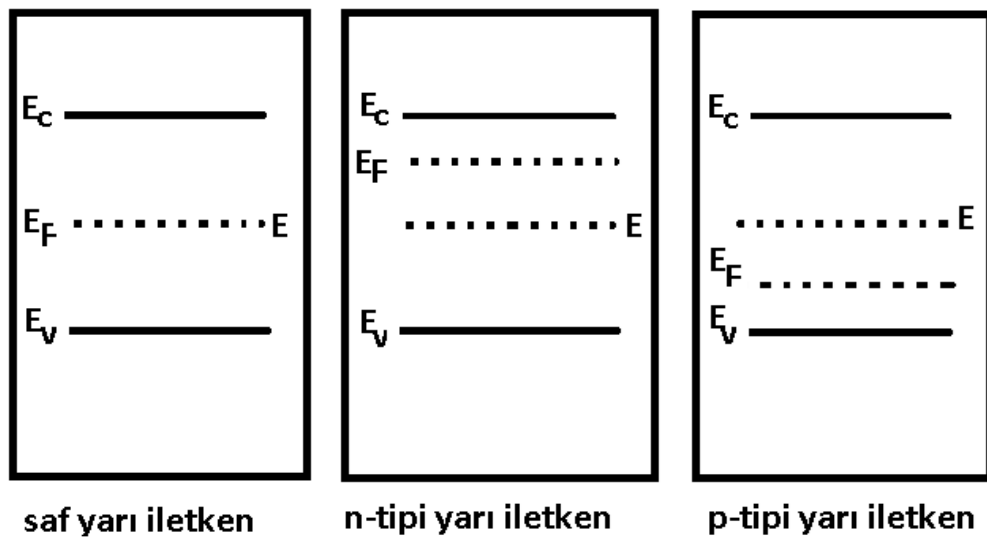
Şekil 2.2. Silisyumda bulunan arsenik kirlilik atomu

Silisyuma III. grup elementlerinden bor katılacak olursa; kararlı hale gelmek isteyen bor atomunun komşu silisyum atomundan bir elektron alması gerekmektedir. Bor atomu silisyumdan bir elektron aldığı için silisyumda elektron eksikliği oluşmaktadır. Bu durumda valans bandında oluşan boşluk iletkenliğe katkı sağlamaktadır. Yine burada da bor atomu hareket edememektedir. Kristalden elektron almış olan bor atomları, akseptör atomları olarak adlandırılmaktadırlar (Aydoğan 2011).



Şekil 2.3. Silisyumda bulunan bor kirlilik atomu

Kristalde bulunan safsızlık ve kusurlar kolay elektron alan ya da kolay elektron veren merkezlerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bu merkezler yarı iletkenliğe katkı sağlamaktadır. Kolay elektron veren merkezlere n-tipi yarı iletken, kolay elektron alan merkezlere ise p-tipi yarı iletken adı verilmektedir (Sarıkaya 2003). Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'te n-tipi ve p-tipi yarı iletkenler gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Yarı iletkenlerde enerji seviyeleri

Enerji bandı diyagramında, elektron enerji kazanınca yükselirken, boşluk enerji kazanınca daha alt bir konuma geçmektedir. Donor ve akseptör durumları için gözlenecek değişiklikler Şekil 2.4'te gösterilmektedir.

2.2. Güneş Pili Çeşitleri

Güneş pilleri 3 nesil olarak incelenebilmektedir. Bunlar:

1.Nesil güneş pilleri:

- Tek kristal Si
- Çok kristal Si

2.Nesil (İnce Film) güneş pilleri:

- Amorf Si
- İnce film Si
- CuInSe_2
- CdTe

3.Nesil güneş pilleri:

- Boya duyarlı güneş pilleri
- Organik güneş pilleri

2.2.1. Birinci nesil güneş pilleri

Tek kristal Si ve çok kristal Si birinci nesil güneş pili teknolojisi olarak bilinmektedir. Tek kristal Si için en iyi verim %24,7 olarak belirtilmiştir. Güneş pilleri için kullanılan silikonun yüksek saflıkta olması, bunun yanı sıra kalın yapıda silikona (ışığın soğurulabilmesi için) gerek duyulması ayrıca silikon levhalarının işlenmesinden dolayı

maliyet problemleri araştırmacıları alternatif seçeneklere yönlendirmiştir (Goetzberger *et al.* 2002).

2.2.2. İkinci nesil güneş pilleri

2.2.2.a. Amorf silisyum güneş pilleri

Amorf silisyum güneş pillerinde verim %10 dolaylarındadır ve kristal yapı göstermezler. Bu tarz güneş pilleri saat, hesap makinesi gibi küçük cihazlarda güç kaynağı olarak kullanılabilir (Matsumoto *et al.* 1990).

Amorf silisyum yüksek sıcaklıklarda (250°C civarları) geniş yüzeylere kaplanabilir. Ayrıca soğurma katsayısı yüksektir. Diğer güneş pillerine göre daha ucuza mal edilebilir, fakat üzerlerine düşen ışık ile verimleri ters orantılıdır (Serin 2006).

2.2.2.b. Bakır indiyum tabanlı ince film güneş pilleri

Bu piller soğurma katsayısı yüksek ve dayanıklı pillerdir. Yasak enerji aralıkları 1,02-1,68 eV dolaylarındadır. Yapılan araştırmalarda CIS (cupper indium selenide) malzemesine galyum elementi katılarak daha iyi verim alındığı gözlenmiştir (%19,5) (Balkan and Erol 2005).

2.2.2.c. Kadmiyum sülfür-kadmiyum tellür (CdS-CdTe) ince film güneş pilleri

Kristal yapısı fazla olan CdTe'nin verimi küçük pillerde yaklaşık %16 iken, ticari modüllerde yaklaşık %7 dolaylarındadır. Bu pillerin maliyetleri silikon yapıllı pillere oranla daha düşüktür (EİE 2009).

CdTe genellikle CdS ile birlikte kullanılır. CdS güneş ışığının büyük bir kısmını geçirdiği için CdTe ile birlikte heteroeklem yapı üretiminde kullanılır. Bu tür güneş pillerinde verim %11'lere ulaşabilir (Das and Morris 1993).

2.2.3. Üçüncü nesil güneş pilleri

Anorganik malzemeler ile üretilen güneş pillerinin kullanım alanlarının sınırlı olması, dahası pahalı ve kolay elde edilebilir olmaması gibi nedenlerden dolayı araştırmacılar alternatif malzeme arayışına girmişlerdir. Araştırmalar sonucunda elde edilen güneş pili çeşitlerini, boya duyarlı güneş pilleri ve organik güneş pilleri olarak iki grupta inceleyebiliriz.

2.2.3.a. Organik güneş pili

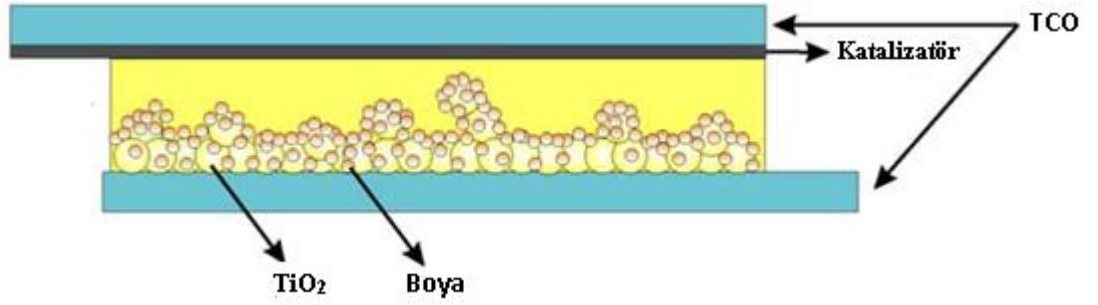
Organik güneş pilleri, organik tabanlı malzemelerin iki elektrot arasına konumlandırılması ile elde edilir (Winder and Sarıçiftçi 2004). Maliyetinin ucuz, üretiminin kolay, isteğe bağlı özelliklerinin değiştirilebilmesi bu pillerin avantajlarından birkaçıdır.

En çok kullanılan donör ve akseptör malzemelerinin bir arada bulunduğu p-n eklem şeklidir. Anorganik malzemelerin kullanıldığı güneş pillerine oranla verimleri daha düşüktür. Yaşam sürelerinin uzatılabilmesi için hava ve nemli ortamlardan uzak tutulması gerekmektedir (Kroon *et al.* 2007).

2.2.3.b. Boya duyarlı güneş pilleri

Boya duyarlı güneş pillerinde ışığa duyarlı organik yapı ve yarı iletken tabaka kullanılmaktadır. Genel bir boya duyarlı güneş pili cam veya (fluorine tin oxide) FTO gibi iki adet şeffaf iletken oksit (transparent conductive oxide) TCO ile oluşturulur (Hagfeldt and Grätzel 1995).

Boyar madde esaslı güneş pillerinin üretiminin basit, maliyetinin düşük ve veriminin yüksek olması araştırmacıların dikkatlerini bu malzemenin üzerine yoğunlaştırmalarına neden olmuştur (Gratzel 1991; Krebs *et al.* 2010)



Şekil 2.5. Boya duyarlı güneş pili ve bileşenleri (Polo 2004)

Boya duyarlı güneş pillerinde bulunan boyar maddeler bitkilerdeki klorofil gibi ışığı soğuran yapıdadır. Boyar malzeme güneşten gelen ışığı soğurur. Güneşten aldığı enerji ile uyarılan elektronlar bir üst enerji seviyesine çıkar. Metal oksitin iletkenlik bandına aktarılır ve yine metal oksit sayesinde FTO cam yüzeyine ulaşmış olurlar (Koleman *et al.* 2011). Gelen elektron redox çifti üzerinden boyar malzemenin (highest occupied molecular orbital) HOMO seviyesine iletilerek rejenerasyon gerçekleşmiş olur. Boya uyarılmaya devam ettiği sürece döngü devam eder.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde ZnO nanorodların elde ediliş basamakları, kullanılan yöntemler ve yöntem bilgileri ayrıca elde edilen yapıların hangi cihazlarla nasıl karakterize edildiği açıklanmıştır.

3.1. Deneylerde Kullanılan Ana Kimyasal Malzemeler ve Özellikleri

Deneylerin yapılmasında kullanılan temel kimyasal malzemeler ve bu malzemelerin özellikleri aşağıda verilmiştir. Bu malzemeler çinko oksit (ZnO), kalay oksit (SnO₂) ve flordur (F). Kullanılan bu malzemelerin her biri bir elementle bileşik oluşturmuş durumdadır. ZnO ZnCl₂'den, SnO₂ SnCl₂.2H₂O'dan ve F elementi NH₄F'den elde edilmiştir.

3.1.1. Çinko oksit (ZnO)

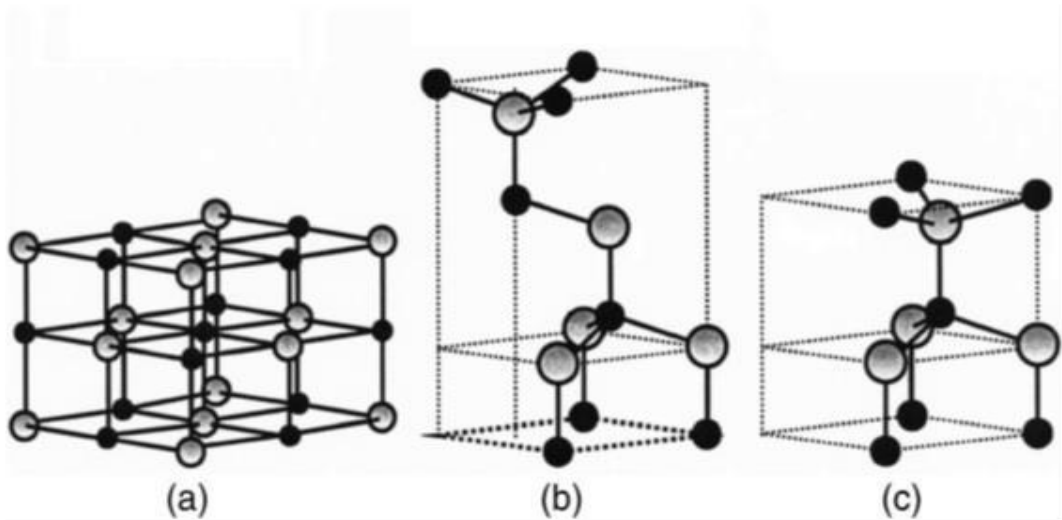
Son yıllarda yapılan çalışmalarda ZnO; yüksek iletkenlik, yüksek geçirgenlik ve geniş bant aralığına (3.36 eV) sahip olmasından dolayı dikkat çeken malzemelerden biri haline gelmiştir (Ma and Shim 2002; Zhao *et al.* 2007; Golshahi *et al.* 2009).

Katkısız ZnO oda sıcaklığında beyaz renktedir. Çinko oksit 300°C'ye kadar ısıtıldığında rengi beyazdan sarıya döner. ZnO, farklı sıcaklıklara ısıtıldığında sarı, yeşil, kahverengi ve kırmızı olmak üzere farklı renkler de alabilir. Bu renk farklılıkları kristal yapıdaki %0,02-0,03 oranındaki boşluklardan kaynaklanmaktadır (Toplan 1998).

Çizelge 3.1. ZnO'nun fiziksel özellikleri (Steiner *et al.* 2004)

Latis sabitleri (T = 300 K)	
ao	0.32469 nm
co	0.52069 nm
Yoğunluk	5.606 g/cm ³
Ergime noktası	2248 K
Dielektrik sabiti	8.66
Enerji boşluğu	3.4 eV
Taşıyıcı konsantrasyonu	< 10 ⁶ cm ⁻³
Uyarım (aktivasyon) enerjisi	60 meV
Etkin elektron kütlesi	0.24
Elektron hareketliliği (T = 300 K)	200 cm ² /V.s
Etkin boşluk kütlesi	0.59
Boşluk hareketliliği (T = 300 K)	5 - 50 cm ² /V

ZnO gibi II-IV grup yarı iletken bileşikler genellikle hegzagonal wurtzite kristal yapısına sahip bileşiklerdir. Hegzagonal yapıda her Zn atomu, dört O atomu ve on iki Zn atomu ile çevrilmiştir. Bu yapı için örgü sabitleri $a=3,24982 \text{ Å}$, $c=5,20661 \text{ Å}$ 'dur. Ayrıca hegzagonal wurtzite yapıdaki ZnO ince filmlerinin c eksenini boyunca (002) tercihli yönelime sahip oldukları bilinmektedir (Erdoğan 2010).

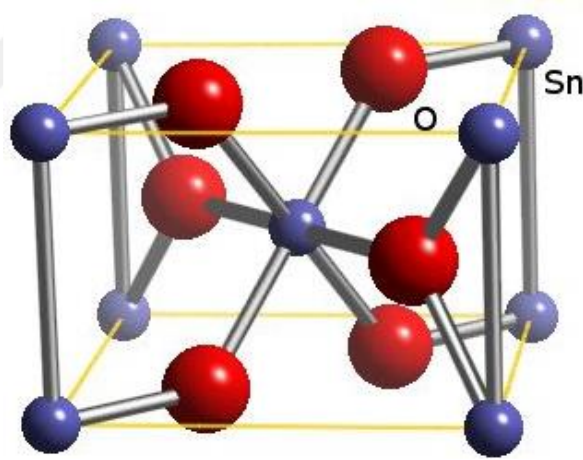
**Şekil 3.1.** ZnO kristal yapıların gösterimi

a) kübik kayatuzu (B1), (b) kübik çinko sülfür (B3), (c) hegzagonal wurtzit (B4) (gri küreler Zn, siyah küreler ise O atomlarını ifade etmektedir) (Özgür *et al.* 2005)

ZnO filmleri; kimyasal buhar depolama, sol gel metodu, manyetik saçırma gibi birçok teknik ile üretilmektedir (Lee and Park 2004; Zhao *et al.* 2007; Kaushal *et al.* 2009). Diğer teknikler arasında kimyasal püskürtme tekniği kullanışlı, yüksek maliyet gerektirmeyen ve tekrarlanabilir olması sebebi nedeni ile tercih edilen bir tekniktir (Lee and Park 2004; Ergin vd 2009).

3.1.2. Kalay oksit (SnO_2)

Tetragonal rutil yapıda olan SnO_2 'in kafes yapısı 2 kalay ve 4 oksijen atomu içermektedir. Kalay atomu düzgün oktahedranların köşelerinde, 6 oksijen atomunun merkezindedir. Her oksijen atomu eşkenar üçgenin köşelerindeki 3 kalay atomu tarafından çevrelenmiştir (Büyükköroğlu 2010).



Şekil 3.2. SnO_2 bileşiğinin kristal yapısı (Holleman 2001)

SnO_2 , geniş bant aralığına sahip olan n-tipi bir yarıiletkenidir ve birçok faydalı özelliğe sahiptir. Yüksek optik geçirgenlik, düşük elektriksel direnç, kızılötesi ışınlar için yüksek yansıtıcılık, yüksek mekanik sertlik ve çevresel kararlılık bu özelliklerden bazılarıdır (Mol 2003). Çizelge 3.2’de kalay oksitin temel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kalay oksitin temel özellikleri (Batzill and Diebold 2005)

Moleküler ağırlık	150,71 g/mol
Yoğunluk	6,95 g/cm ³
Erime noktası	1630°C
Kaynama noktası	1800-1900°C
Kristal yapısı	Tetragonal (rutile)
Bant aralığı	3,5 - 4,2 eV
Görünümü	Beyaz ya da gri
Mineral ismi	Cassiterite
Latis parametreleri (nm)	a=b=0,474 c=0,319
Kırılma indisi (n)	2,006

Tetragonal yapıda kristalleşen SnO₂'nin kristal yapısı Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Tetragonal yapı için örgü sabitleri $a=4,737 \text{ Å}$ ve $c=3,186 \text{ Å}$ 'dur (Amanullah *et al.* 1998; Yubero *et al.* 1998; Zhenguo *et al.* 2006).

Üretilen SnO₂ yarıiletken ince filmlerin yapısal, kimyasal ve fiziksel özellikleri kullanılan yöntem, deneysel parametrelere ve tavlama şartlarına (tavlama sıcaklığı, tavlama ortamı) bağlı olarak değişir (Park and Mackenzie 1995).

3.1.3. Flor (F)

Flor soluk, sarı bir gazdır. Tüm elementlerin içinde en elektronegatif ve reaktif olanıdır. Hemen hemen tüm organik ve inorganik maddeler ile reaksiyona girer. Flor, sıcakta altın ve platine bile etki edebilir. Neredeyse bütün organik bileşikler flor etkisi altında hidroflorik asit (HF) ve karbontetraflorid (CF₄) bileşiklerini vererek yanarlar.

Florun solunması çok tehlikelidir. Gazın, deri ve mukozalı zarlar üzerine şiddetli yakıcı etkisi vardır. Kronik olarak alınması diş minelerinde lekeler, diş dökülmelerine ve eklemlerde kireçlenmeye neden olur.

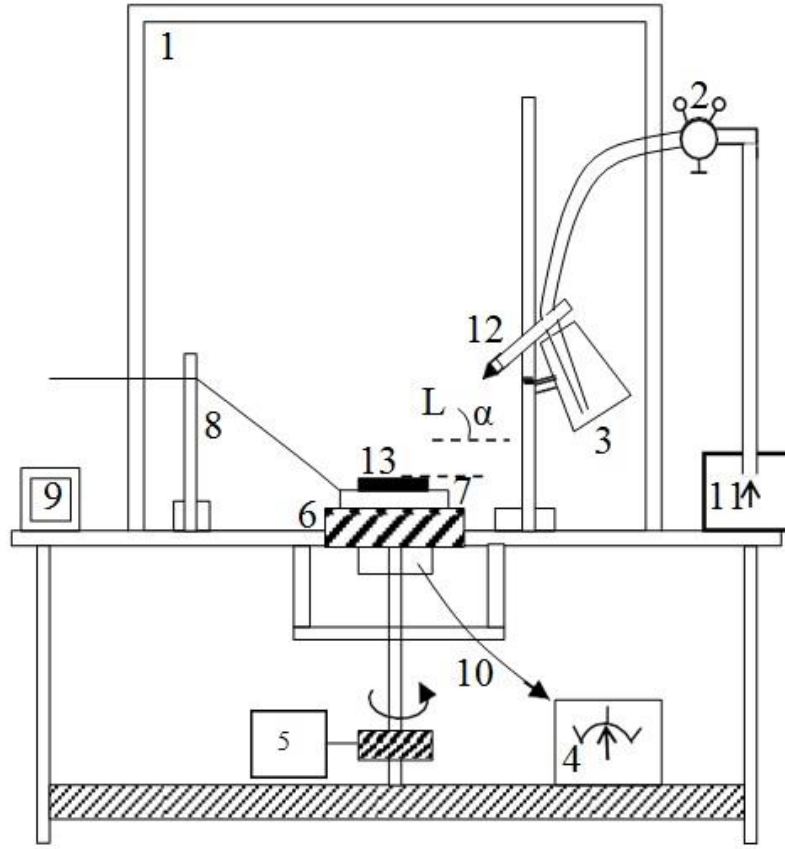
Çizelge 3.3. Florün temel özellikleri

Sembolü	F
Atom numarası	9
Atom ağırlığı	18,9984 g/mol
Elektron sayısı	9
Element serisi	halojen
Maddenin hali	gaz
Maddenin görünümü	sarı

3.2. Püskürtme (Spray Pyrolysis) Yöntemi

Püskürtme yöntemi basit, ekonomik ve kullanımı kolay bir yöntemdir. Genellikle ince ve kalın film elde etmek için kullanılan bir büyütme tekniğidir. Büyütme işlemi genel olarak vakumsuz ortamda yapılmaktadır. Bu teknik, kimyasal püskürtme ile çöktürme, çözelti püskürtme veya sıcaklık püskürtme olarak da bilinir. Bu metot yüksek kalitede altlık ve kimyasal saflığı gerektirmemektedir. Ayrıca bu yöntemle çok tabakalı filmler bile hazırlanabilir (Murakami *et al.* 2007). Basit olarak spray pyrolysis tekniği; sisteme ilave edilecek malzeme çözücü yardımıyla çözündükten sonra, elde edilen çözelti damlacıklarının, ısıtılan tabanlar üzerine püskürtülmesiyle yapılan bir kimyasal çöktürme işlemidir (Akyüz 2000).

Kimyasal spray pyrolysisdeki temel prensip, çözelti damlaları sıcak altlığa ulaştığında çözeltinin ısı ayrışmasından dolayı iyi yapışmış filmlerin büyümesi prensibine dayanmaktadır. Bu süreçte çözelti, ısıtılmış tabakalar üzerine basınçlı hava yardımı ile püskürtülür. Püskürtme başlığı kimyasal çözelti damlacıklarının altlığa ulaşmasını sağlar. Altlığa ulaşan taneciklerin sıvı kısımları buharlaşarak ortamdan gaz olarak uzaklaşırken, ilgili sıcaklıkta çözeltide buharlaşmayan türler ise altlığa yapışırlar. Damlanın kimyasal içeriği, reaksiyonu ve damla ebadı ile alakalı çözücü buharlaşması filmlerin şekillenmesinde önemli rol oynar (Godbole *et al.* 2009). Deney düzeneğinin basit bir geometrisi şekilde gösterilmiştir.



1- Hazne	2- Manometre
3- Çözelti	4- Dijital sıcaklık ve Kontrol Elemanı
5- Motor	6- Isıtıcı
7- Metal Levha	8- Termoçift
9- Multimetre	10- Bağlantı Kabloları
11- Kompresör	12- Püskürtme Burmu
13- Altlık	

Şekil 3.3. Spray pyrolysis deney düzeneği (Tatar and Düzgün 2012; Turgut *et al.* 2013)

Püskürtme sistemi Atatürk Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde Prof. Dr. Mehmet ERTUĞRUL'un Lisansüstü Araştırma Laboratuvarı'nda yer almaktadır. Kullanılan kompleks sistem el yapımıdır.

Tatar *et al.* yaptıkları çalışmalar sonucunda püskürtme başlığının altlığı 45° lik açı ile püskürtüldüğünde daha iyi sonuçlar alındığını elde etmişlerdir (Tatar and Düzgün 2012; Turgut *et al.* 2013). Yapılan deneylerde ZnO nanorodların sıcaklık optimizasyonunun incelenmesi için altlık sıcaklıkları 300°C, 350°C, 400°C, 450°C, 500°C, 550°C ve 600°C olarak belirlenmiştir. 300°C'nin altında herhangi bir formda ZnO oluşumu olmadığından ve 600°C'nin üzerinde hekzagonal ZnO nanoçubukların yapılarının bozulması, ayrıca altlık olarak kullanılan adi camların erime sıcaklığına ulaşıldığından dolayı, bu sıcaklık değerlerinin altı ve üstü denemelere dâhil edilmemişlerdir. Numunelerin kristallenme durumları incelendiğinde en iyi sonuç 500°C'de elde edildiğinden dolayı bu sıcaklık derecesi sonraki aşamalar için sabit sıcaklık olarak kullanılmıştır. Ayrıca deney boyunca çözelti sabit bir hızla ve aynı püskürtme başlığı kullanılarak altlıklara püskürtülmüştür. Sonuç olarak, püskürtme yöntemi ile büyütülen ZnO nanorod ve FTO'nun güneş pillerindeki etkileri araştırılmıştır.

Elde edilen filmlerin kristal yapısı ve tanecik boyutunu incelemek için XRD ölçümleri, yüzey morfolojisini incelemek için atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ve SEM görüntüleri kullanılmıştır.

3.3. Deneyde Kullanılan Saf Malzemeler

Uygulamada altlık malzemesi olarak cam, kimyasal malzeme olarak $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, ZnCl_2 , NH_4F , çözücü ve temizlik malzemesi olarak ise metanol (CH_3OH), etanol ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$), hidroklorik asit (HCl), propanol ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$), aseton ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$) ve saf su (H_2O), çözeltiyi altlığa iletebilmek için de başlık (nozzle) kullanılmıştır.

3.4. Cam Altlıkların Hazırlanması

Deneyde kullanılan cam altlık malzemeler optimizasyon uygulamaları için 10 x 10 mm boyutlarında, FTO uygulamaları için ise altlıklar 20 x 20 mm boyutlarında cam kesici ile kesilmiştir.

Kesilen altlıklarda kir ve yağ kalıntılarının olmaması önemlidir. Bu amaçla kesilen camlar ultrasonik temizleyici ile sırasıyla 5 dk aseton, 10 dk metanol ve son olarak 5 dk saf suda bekletilerek temizlenmiştir. Daha sonra temizlenen altlıklar kurutma makinesinde 180°C'ye kadar ısıtılarak üzerlerindeki sıvıların buharlaştırılması sağlanmış ve deneylerde kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir.

3.5. Çözeltilerin Hazırlanması ve Deneylerin Yapılışı

Nanorod üretimi ve FTO yapımında püskürtme yöntemi kullanılmış olup çözeltilerin hazırlama prosedürleri aynıdır.

3.5.1. Püskürtme yöntemi ile ZnO nanorod elde etmek için çözeltinin hazırlanışı ve deneylerin yapılışı

ZnO nanorodları elde etmek için 0,1 molar ZnCl_2 çözeltisi hazırlanmıştır. Bunun için 1,362 g ZnCl_2 , 100 ml saf suda yarım saat manyetik karıştırıcı yardımı ile karıştırılmıştır. Hazırlanan çözelti daha önceden hazır hale getirilmiş cam altlıklar üzerine püskürtülmüştür.

ZnO nanorodların özellikleri üç parametre üzerinden optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Bunlar:

- Sıcaklık optimizasyonu,
- Molarite optimizasyonu,
- Çözelti miktarı

şeklindedir. Çinko oksit filmlerinin büyütülmesi esnasında püskürtme başlığı ile altlıklar arasındaki mesafe 25, 30, 35, 40 ve 45 cm'ye ayarlanarak deneyler yapılmış ve en iyi yapısal, elektriksel ve optik özelliklere sahip filmlerin püskürtme başlığı ve altlık arasındaki mesafenin 40 cm olduğu tespit edilmiştir (Turgut 2014).

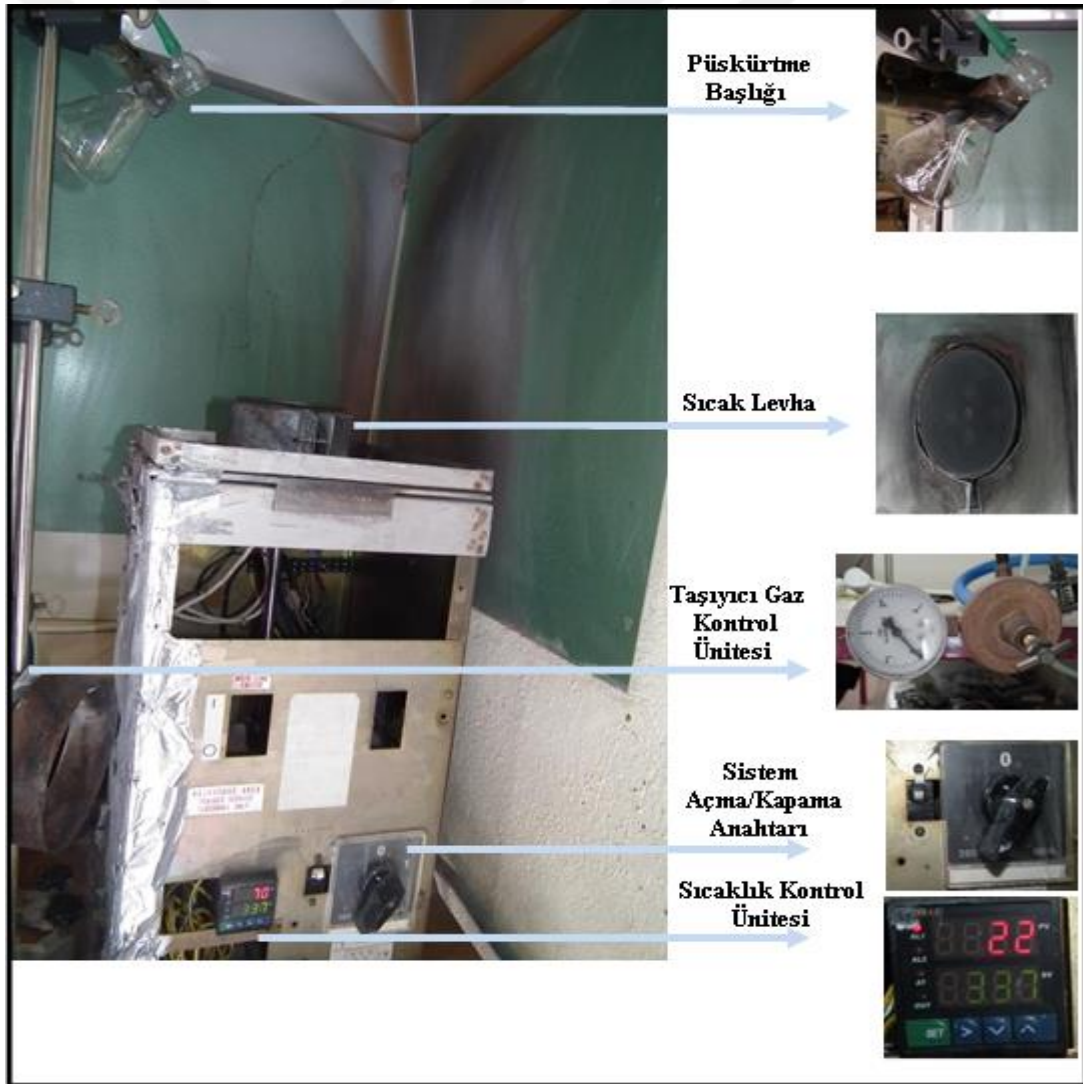
İlk olarak sıcaklık optimizasyonu için, 300°C, 350°C, 400°C, 450°C, 500°C, 550°C ve 600°C’de aynı şekilde hazırlanan çözeltiler püskürtülmüştür. Yapılan yapısal ve morfolojik analizler sonucunda 500°C altlık sıcaklığının optimum özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir. Dolayısı ile bu çalışmada püskürtme mesafesi ve altlık sıcaklığı sırası ile 40 cm ve 500°C, püskürtme açısı ise 45° olarak sabitlenmiştir. Çözelti püskürtme hızı 1,5 ml/dk olarak ayarlanmıştır. Bu çözelti püskürtme hızı kullanılan püskürtme başlığı için sis formunun eldesi için en uygun değerdir.

Molarite optimizasyonu için 0,2 M, 0,3 M, 0,4 M, 0,5 M, 0,6 M, 0,7 M, 0,8 M, 0,9 M ve 1M ZnCl₂ çözeltisi hazırlanmıştır. 0,2 M için 2,716 g ZnCl₂ 100 ml saf suda yarım saat manyetik karıştırıcıda karıştırılarak hazır hale getirilmiş ve sonrasında da 500°C sıcaklıktaki cam altlıklar üzerine püskürtülmüştür. Bu işlem, diğer molarite ölçümleri için sırasıyla 4,074 g, 5,452 g, 6,816 g, 8,113 g, 9,502 g, 10,915 g, 12,265 g ve 13,662 g ZnCl₂ olarak aynı şekilde tekrarlanmıştır. Yapılan yapısal ve optiksel analizler sonucunda 0,5 M ZnCl₂ çözeltisi kullanılarak elde edilen filmlerin optimum kristalize özellikleri gösterdiğinden dolayı sonraki deneyler için optimum değer olarak belirlenmiştir.

Çözelti miktarı optimizasyonu için 50 ml, 75 ml, 100 ml, 125 ml ve 150 ml’lik değerler ile çalışılmıştır. 700°C’de, 0,5 M, 50 ml çözelti miktarı için 3,44 g ZnCl₂ kullanılmıştır. Sırasıyla 75 ml’lik çözelti için 5,15 g ZnCl₂, 100 ml’lik çözelti için 6,81 g ZnCl₂, 125 ml’lik çözelti için 8,52 g ZnCl₂ ve 150 ml’lik çözelti için 10,23 g ZnCl₂ kullanılmıştır. Elde edilen çözeltiler cam altlıklar üzerine 500°C’de 45° açı ile püskürtülmüştür. Yapılan yapısal ve optiksel analizler sonucunda 150 ml ZnCl₂ çözeltisi kullanılarak elde edilen filmlerin en iyi kristalize özellikleri gösterdiğinden dolayı sonraki uygulamalar için optimum değer olarak belirlenmiştir.

3.5.2. Püskürtme yöntemi ile FTO elde etmek için çözeltinin hazırlanışı ve deneylerin yapılışı

0,5 M SnO_2 için 5,640 g SnO_2 50 ml metanol içerisinde karıştırılmış ve karışıma birkaç damla HCl eklenerek çözünmesi sağlanmıştır. Flor katkılama için ayrı bir beherde 2,5 ml saf su içerisine 0,185 g NH_4F (2 M olması için) eklenerek karıştırılmış ve elde edilen karışım önceki karışıma eklenmiştir. Hazırlanan çözeltiler önce 500°C 'ye kadar ısıtılıp sonrasında o sıcaklık değerinde 1 saat bekletilen cam altlıklar üzerine püskürtülmüştür. Deney sistemi Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Spray pyrolysis sisteminin görüntüsü (Turgut 2014)

1. Püskürtme başlığı: Solüsyonun içerisine konulup kopresörle elde edilen hava ile solüsyonun playt üzerine püskürtülmesini sağlayan düzenek.
2. Sıcak levha: Altlıkların üzerine konulup ince filmlerin büyütülmesi için kullanılan dönel başlıklı metal pleyt.
3. Taşıyıcı gaz kontrol ünitesi: Üfleme sırasında solüsyon taşınımı miktarını ayarlamaya yarayan ünite.
4. Sitem açma-kapama anahtarı: Ana ünitenin enerjisinin bütünüyle açıp kapamaya yarayan anahtar.
5. Sıcaklık kontrol ünitesi: Bu kontrol ünitesinin okuma yaptığı parça olan termokapılın bulunduğu kısım ısıtıcıli seramiktir. Seramiğin üzerinde bulunan döner başlıklı metal pleytle arasındaki mesafe 2 mm'dir.

3.6. X-ışını Kırınım Ölçümleri

X-ışınları kırınımı (x-ray diffraction-XRD), x-ışınları tarafından oluşturulan kırınım deseninden atomik düzeyde bilgi edinmek için kullanılmaktadır. X-ışınları ölçümleri kristale zarar vermeksizin yapısı hakkında bilgi veren bir yöntemdir (Erdoğan 2010).

X-ışını difraksiyon ölçümlerinde PANalytical cihazın modeli: Empyrean marka XRD sistemi kullanılmış, ölçümler 0,1'lik adımlarla 10-90 derece arasında ve dalgaboyu 1,5406 Å olan x-ışınları kullanılarak alınmıştır.

3.7. Taramalı Elektron Mikroskobu Ölçümleri

SEM, vakum ortamında yüksek çözünürlüklü resim oluşturmak için elektromanyetik lenslerle inceltilen elektron demeti yardımıyla incelenecek malzemeyi analiz etme olanağı sağlar.

ZnO ve FTO ince filmlerin yüzey morfolojileri ve kalınlıkları doğu anadolu ileri teknoloji uygulama ve araştırma merkezinde (DAYTAM) bulunan SEM mikroskobu yardımı ile araştırılmıştır. Sistem Zeiss marka Sigma 300 modelidir. SEM ölçümünde

numunelerin 2 μm , 1 μm , 200 nm, 100 nm büyütme oranında görüntüleri elde edilmiştir.

3.8. Atomik Kuvvet Mikroskobu

AFM yüzey morfolojisini Angstrom ($\text{\AA}$) mertebesinde 100 mikrona (μ) kadar görüntüleyebilen bir mikroskoptur. Hasas bir iğnenin yüzeyi taraması ile yüzeyin yüksek çözünürlüklü üç boyutlu görüntüsünü verir.

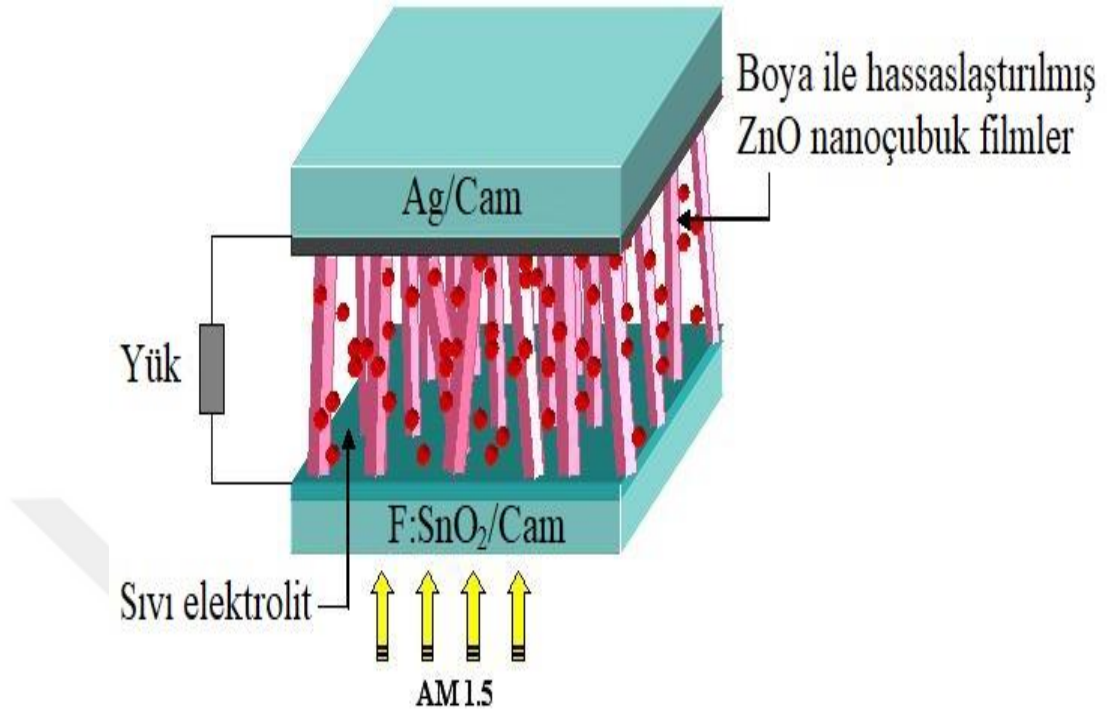
Büyütülen ince filmlerin yüzeyinin üç boyutlu görüntüleri ve yüzey pürüzlülükleri Nanomagnetics Instruments şirketine ait, 20 bit çözünürlüklü 56 μm XY düzlemi tarayabilen AFM yardımıyla incelenmiştir.

3.9. Optik Ölçümler

FTO ince filmlerin geçirgenlik ölçümleri Perkin Elmer, Lamda 35 spektrometresi yardımı ile alınmıştır. Zemin düzenlenmesi yapılarak ışınım miktarı %100 olarak normalize edilmiştir. Numune üzerinde okunacak optik geçirgenlik değerleri altlık olarak kullanılan camdan bağımsız hale getirilmiştir.

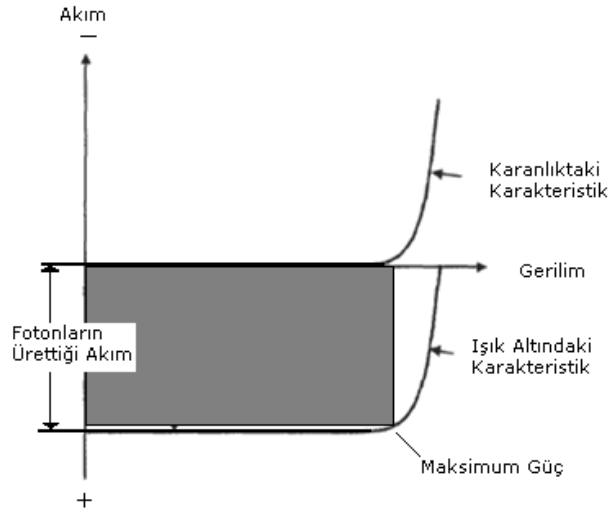
3.10. Güneş Pillerinin Verim Ölçümü

Şekil 3.5'te çalışmada paket haline getirilmiş güneş hücresinin yapısı kısaca simüle edilmiştir. Güneş hücremiz, adi cam üzerine büyütülen geçirgen ve iletken tabaka FTO, üzerinde elektron şeffaf tabakası olarak görev yapacak olan ZnO nanoçubukların oluşturduğu kısım, ZnO nanoçubuklar arasında elektron mobilitelerini artırıcı ve kolaylaştırıcı rol üstlenen sıvı elektrolit olarak kullanılan Carminic Acid ($\text{C}_{22}\text{H}_{20}\text{O}_{13}$), ve son olarak gümüş kaplı cam olmak üzere dört ana katmandan oluşmaktadır.



Şekil 3.5. Çalışmada paketlenen güneş pilinin yapısı

Paket haline getirilmiş, yani bir güneş panelinin görevini yerine getirecek olan bu fotovoltaiik diyot, akım-gerilim kareakteristiği, karanlıktaki hücrenin akım-gerilim karakteristiğinden ışıınım altında üretilen I_L akımının çıkarılması olarak ele alınabilir. Bu iki ölçüm sonucu kullanılarak fotovoltaiik diyottan alınabilecek gücü hesaplamak mümkündür (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Bir güneş pilinin akım-gerilim karakteristiği (Anonim 2018b)

Standart bir P-N eklemi olan güneş pilimiz dışarıdan bir R_L yük direnci ile sonlandırılırsa I_s akımının I_L kadar kısmı dış devreden akar. Böylece güneş hücremiz ışık enerjisini elektrik enerjisine çevirmiş olur. I_s akımı, $I_s = I + I_L$ eşitliği ile verilir.

Doğru akımın, $I = I_0(e^{\frac{qV}{k_B T}} - 1)$ değeri I_s eşitliğinde yerine konulursa, $I = I_0(e^{\frac{qV}{k_B T}} - 1) + I_L$ değeri elde edilir. Burada I_0 , hücre Saturasyon akımı, I_s , ışığın ürettiği akım, I_L , pil çıkış akımı, q , elektron yük, k_B , Boltzman sabiti, T , mutlak sıcaklıktır.

Gücün hesaplanması için yukarıdaki eşitliklere ilaveten aşağıdaki hesaplamaların yapılması gerekmektedir. Açık-devre gerilimi (open-circuit voltage, V_{oc}): Hücrenin uçları arasındaki direnç sonsuz iken yani devre açık iken ölçülen gerilimdir. Kısa devre akımı (short-circuit current, I_{sc}): Gözenin iki ucu arasındaki direnç sıfır iken yani devre kapalı iken ölçülen akımdır. İdeal koşullarda bu değer, ışınlımla oluşturulan akım değerine eşittir.

Dolum çarpanı (fill factor, FF): Işınlım altındaki akım-gerilim eğrisinde, akımların eksi, gerilimlerin pozitif olduğu bölgede hesaplanan en büyük $V_{mp} \times I_{mp}$ değerinin $V_{oc} \times I_{sc}$ 'ye oranı olarak tanımlanır [$FF = (V_{mp} \times I_{mp}) / (V_{oc} \times I_{sc})$]. Güneş pilinin çıkış gücü, P

ıkış, bu değişkenler cinsinden, $P_{ıkış} = V_{mp} \times I_{mp} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF$ şeklinde verilebilir. Bir güneş pilinin verimliliği, n , fotovoltatik gözenin üzerine düşen güneş ışınım gücünün, hücreden alınabilecek güce oranı olarak tanımlanır [$N = (P_{ıkış} \times I_{mp}) / (V_{giriş} \times I_{sc}) = (V_{oc} \times I_{sc} \times FF)$].

Güneş pillerinin verimliliklerinin ölçüldüğü, “Standart Test Koşulları” güneş pili 25⁰C de iken, AM 1.5 güneş spektrumuna sahip 1000W/m² güneş gücü altında yapılan ölçümdür. Güneş hücrelerinin verim lmleri Solar Light marka 300W 16S-300-002 model güneş simülatörünün I-V lm sistemine adapte edilmesi sonucu elde edilen sistem kullanılarak yapılmıştır.

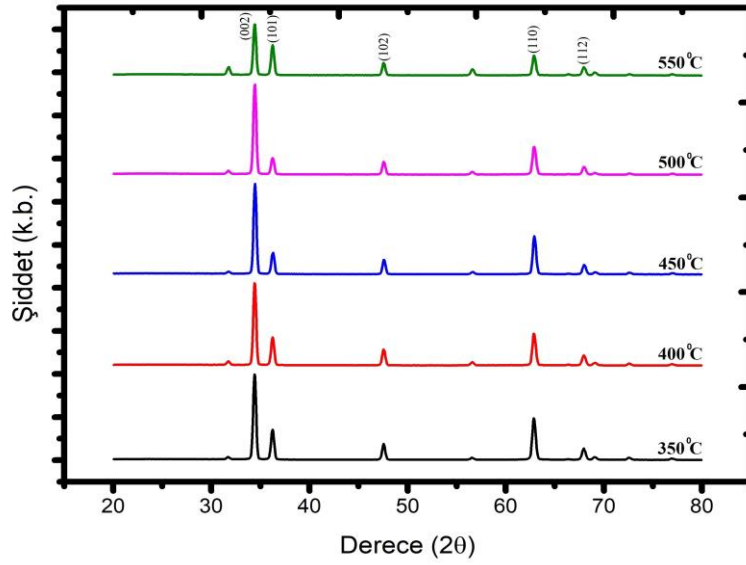
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Sıcaklık Optimizasyonu

Sıcaklık optimizasyonu için ilk olarak numune yapılarının kristalize olup olmadığını anlayabilmek için, x-ışını kırınım analizleri yapılmıştır. Elde edilen veriler grafize edilerek aşağıda Şekil 4.1’de verilmiştir.

4.1.1. XRD ölçümleri

Değişik sıcaklıklarda spray pyrolysis yöntemi ile ZnO nanoçubuklar FTO altlıklar üzerine büyütülmüş ve x ışını kırınım analizleri yapılmıştır.



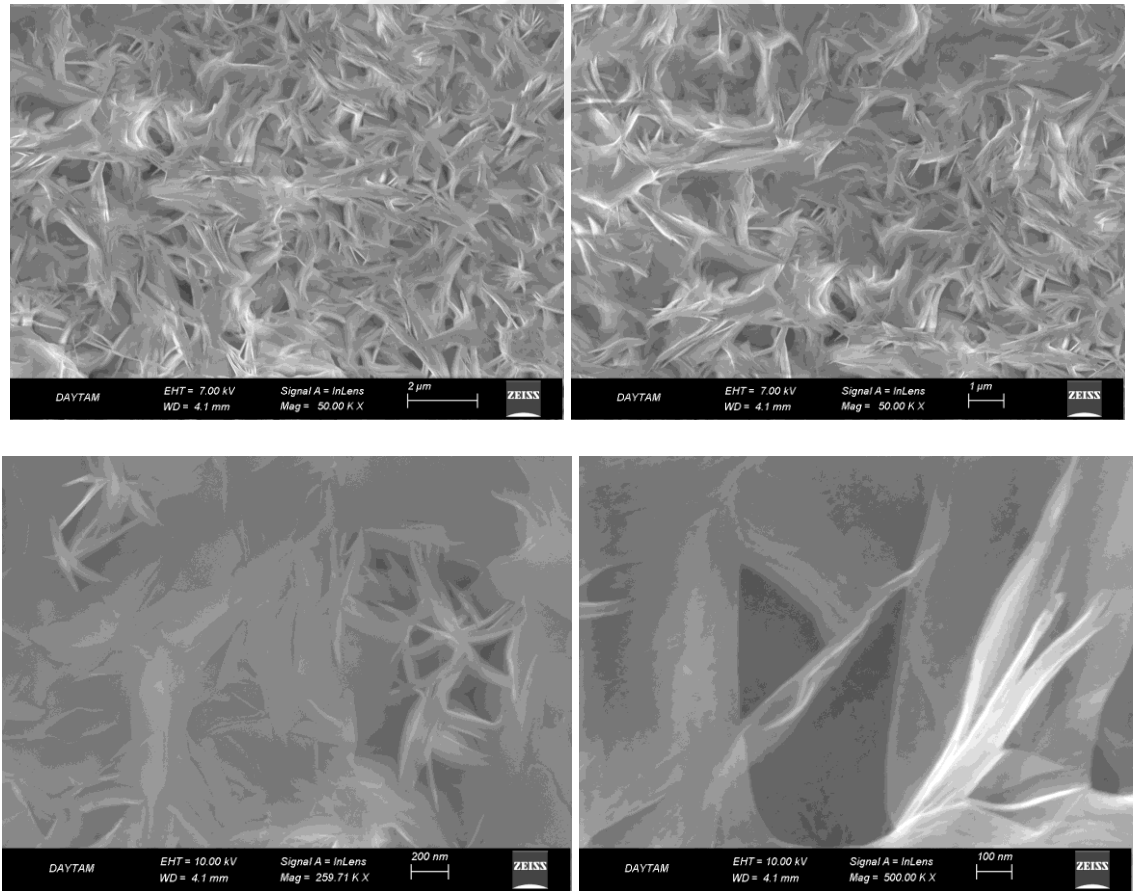
Şekil 4.1. Sıcaklık optimizasyonu x-ışını kırınım desenleri

Şekil 4.1’de 350, 400, 450, 500 ve 550°C’de büyütülen ZnO nanoçubukların x-ışını kırınım desenleri verilmiştir. 500°C’de büyütülen numunenin kristalize olma durumu, şiddetinin en büyük olmasından dolayı en iyidir. Ayrıca kristal yapının en baskın piki

(002) düzleminde olmak üzere, (101), (102), (110) ve (112) yansıma düzlemleri de mevcuttur. Bu yansıma düzlemlerini veren XRD pikleri JCPDS kartı 89-7102 nolu XRD dosya görüntüleri ile uyuşmaktadır. Ayrıca aşağıdaki SEM görüntülerinden de teyit edileceği üzere, JCPDS kartı ile kıyas yapıldığında büyütülen yapıların hekzagonal yapıda oldukları belirlenmiştir.

4.1.2. SEM ölçümleri

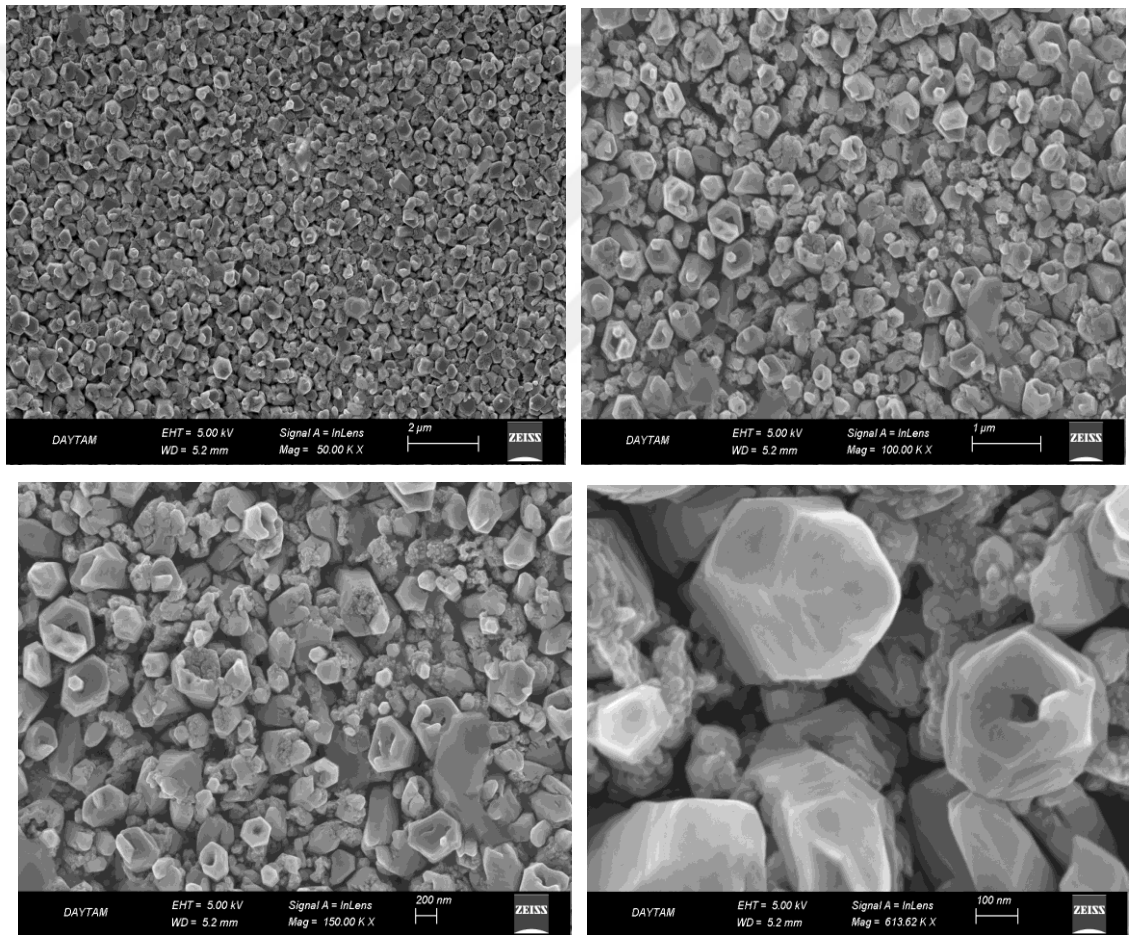
Şekil 4.2’de 300°C’de büyütülen çinko oksit nano yapılarının SEM görüntüsü 50,00kx, 259,71kx, 500,00kx büyütmede alınmış ve 2 μ m, 1 μ m, 200 nm, 100 nm ölçekte verilmiştir.



Şekil 4.2. 300°C’de büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri

Şekil 4.2’de çalışmanın temel amaçlarından birisi olan, hekzagonal yapıdaki ZnO nanoçubukların oluşumunun henüz başlamadığı açık bir şekilde görülmektedir. Dolayısıyla 50°C’lik pariteler şekilde sıcaklık artışlarına devam edilmesi gerekmektedir.

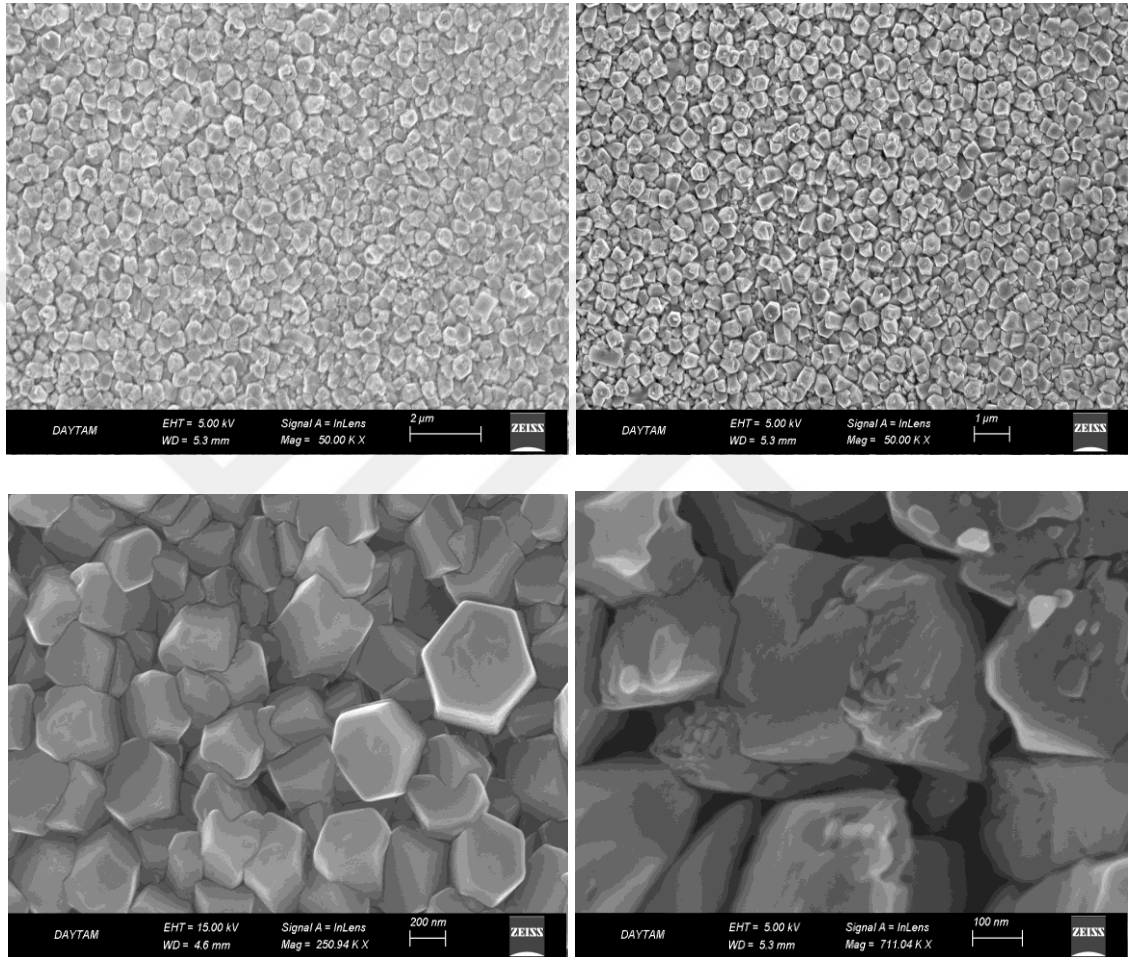
Şekil 4.3’de 350°C’de büyütülen çinko oksit nano yapılarının SEM görüntüsü 50,00kx, 100,00kx, 150,00kx, 613,62kx büyütmede alınmış ve 2 µm, 1 µm, 200 nm, 100 nm ölçekte verilmiştir.



Şekil 4.3. 350°C’de büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri

Şekil 4.3’teki SEM verilerine göre ZnO nanoçubuk oluşumu başlamış gibi gözüksede, düzgün hekzagonal yapılı nanoçubukların oluşumu için gerekli sıcaklık değerine henüz ulaşılmamıştır.

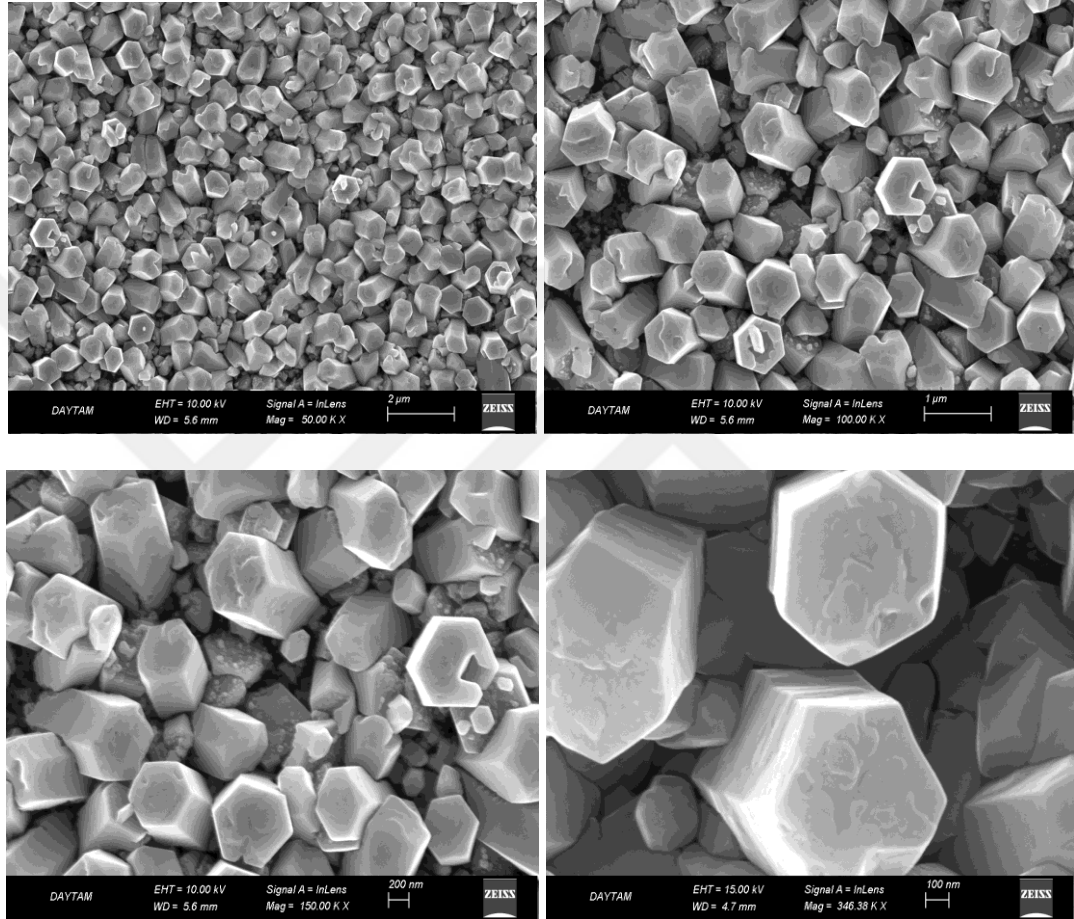
Şekil 4.4’de 400°C’de büyütülen çinko oksit nano yapılarının SEM görüntüsü 50,00kx, 250,94kx, 711,04kx büyütmede alınmış ve 2 μ m, 1 μ m, 200 nm, 100 nm ölçekte verilmiştir.



Şekil 4.4. 400°C’de Büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri

Şekil 4.4’deki görüntülerin analizlerine göre, ZnO yapıların hekzagonal çubuklaşma durumları bu sıcaklık değeri için daha yeni başlamıştır. Fakat düzgün bir yapı elde etmek için yeterli sıcaklık değerinin bu olmadığı açıktır. Bu yüzden sıcaklık artımına halen ihtiyaç duyulmaktadır.

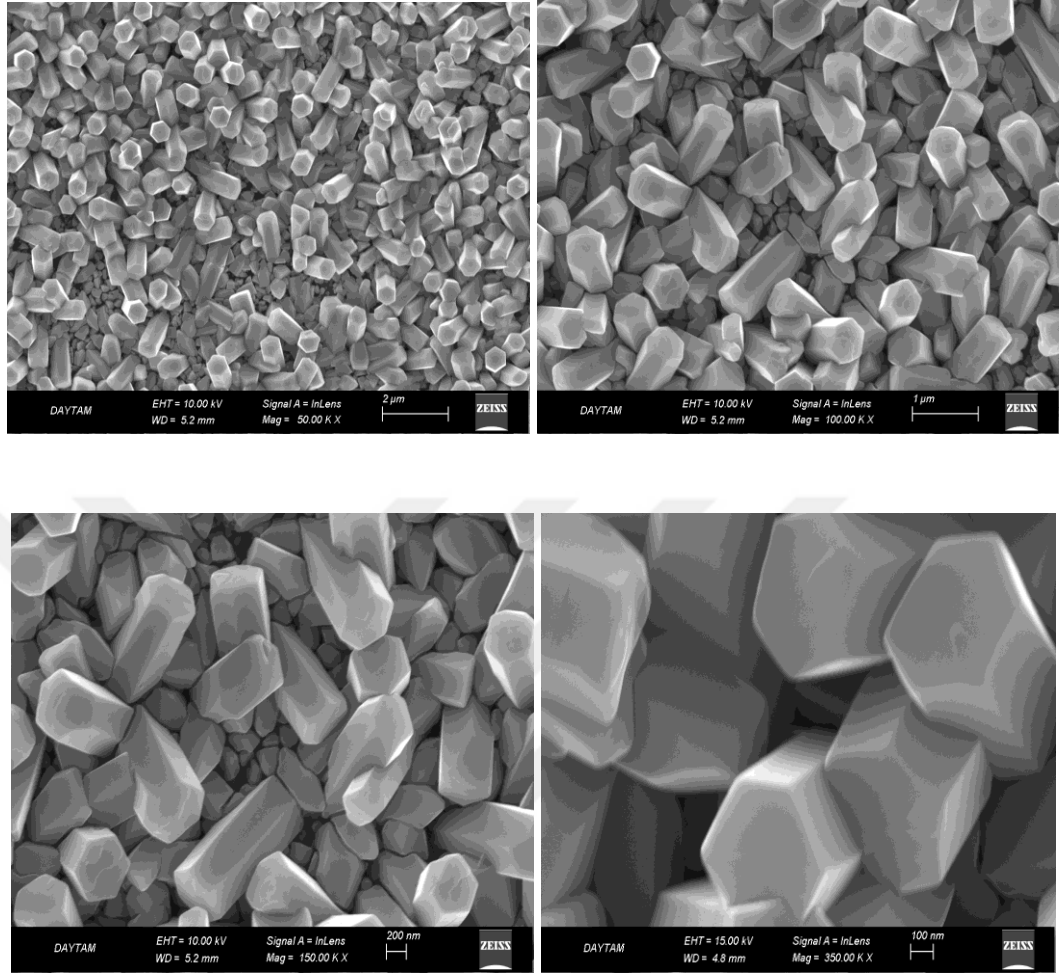
Şekil 4.5'te 450°C'de büyütülen çinko oksit nano yapılarının SEM görüntüsü 50,00kx, 100,00kx, 150,00kx, 346,38kx büyütmede alınmış ve 2 μ m, 1 μ m, 200 nm, 100 nm ölçekte verilmiştir.



Şekil 4.5. 450°C'de Büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri

Şekil 4.5'de verilen SEM görüntülerine göre hekzagonal ZnO yapıları oluşmuş, fakat nanoçubukların yapılarındaki deformasyon oranları oldukça fazla olduğundan dolayı optimum deneme olarak seçimi yapılmamıştır.

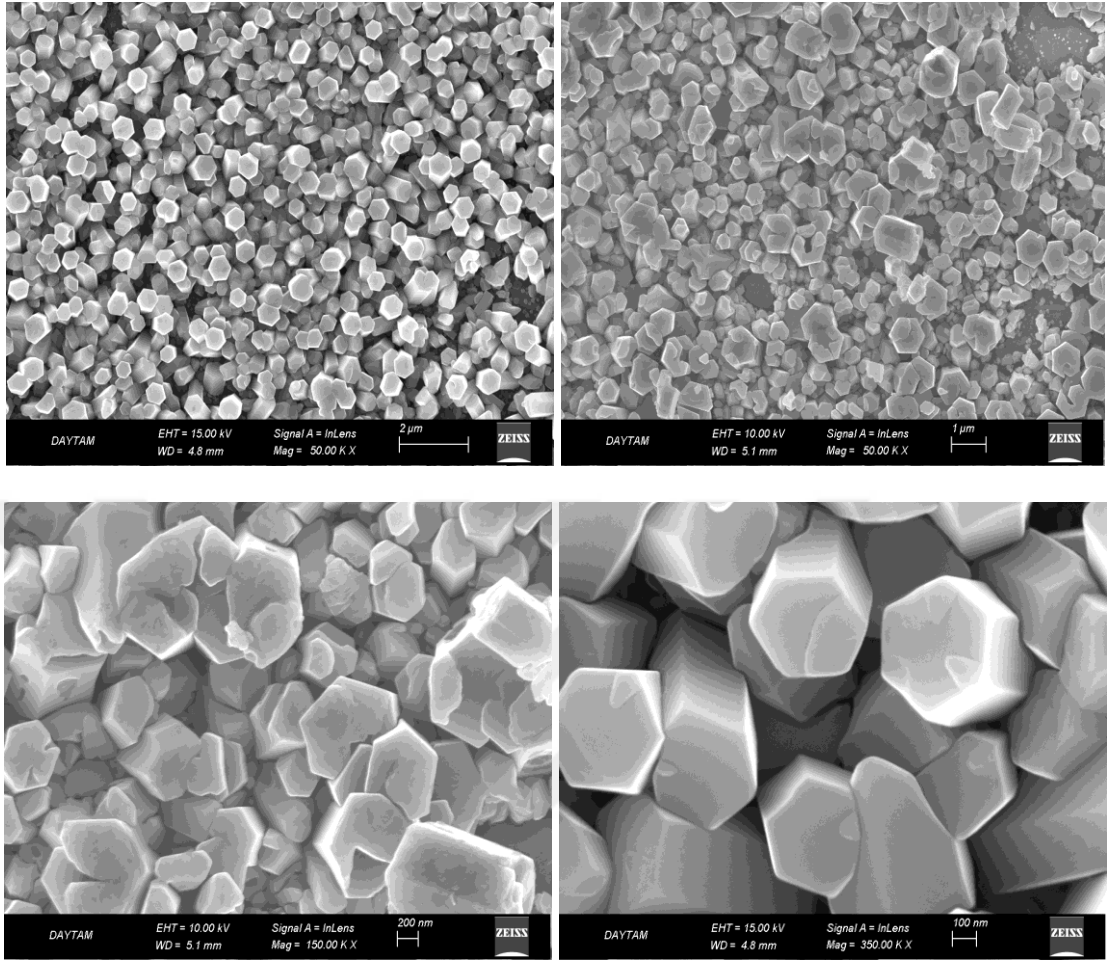
Şekil 4.6'da 500°C'de büyütülen çinko oksit nano yapılarının SEM görüntüsü 50,00kx, 100,00kx, 150,00kx, 350,00kx büyütmede alınmış ve 2 μ m, 1 μ m, 200 nm, 100 nm ölçekte verilmiştir.



Şekil 4.6. 500°C’de büyütülen çinko oksit nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri

Şekil 4.6’da verilen SEM görüntülerine göre hekzagonal yapıdaki ZnO nanoçubukların yapıları oldukça düzgün ve homojendir. Ayrıca altlık üzerindeki dağılımları oldukça uniform yapıdadır. Bu özelliklerinden dolayı 500°C, sonraki optimizasyon çalışmaları için kalıcı sıcaklık değeri olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.7’de 550°C’de büyütülen çinko oksit nano yapılarının SEM görüntüsü 50,00kx, 150,00kx, 350,00kx büyütmede alınmış ve 2 μm, 1 μm, 200 nm, 100 nm ölçekte verilmiştir.

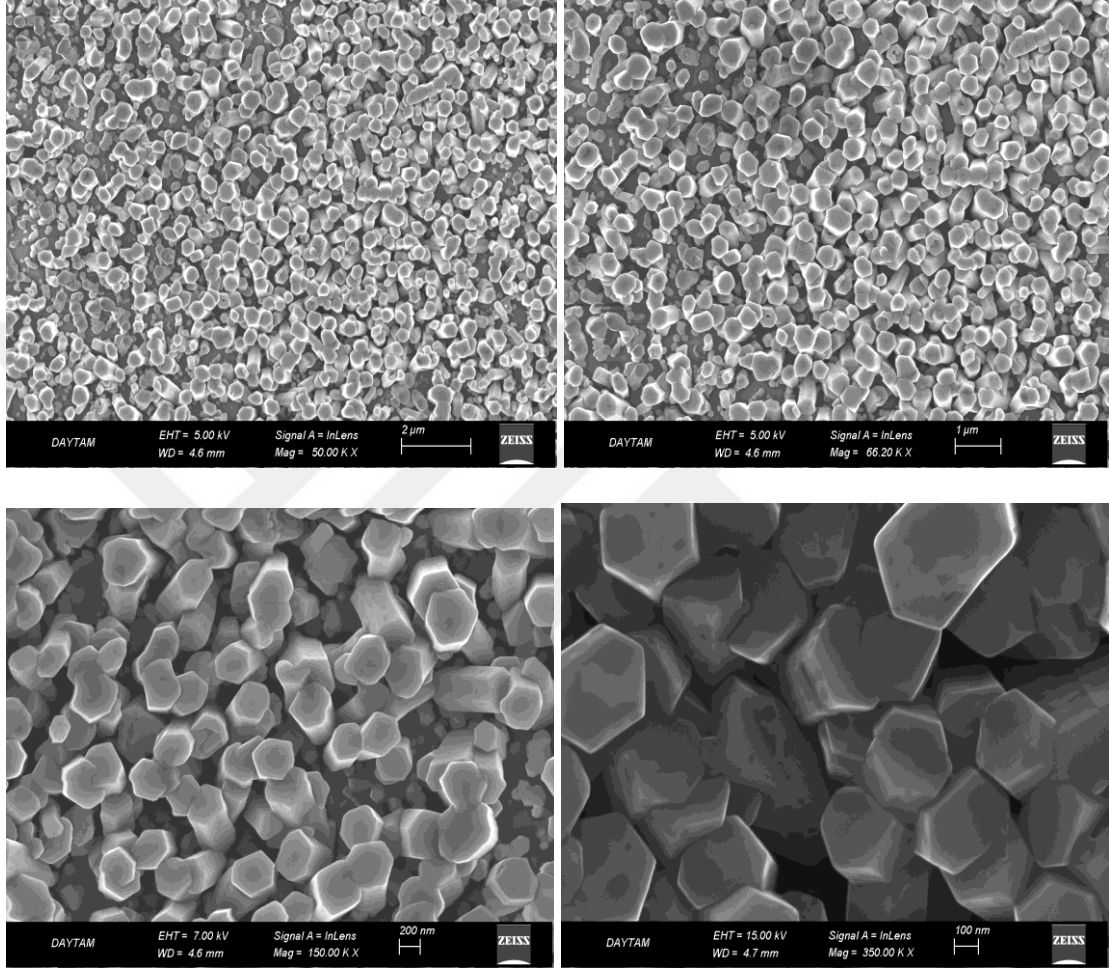


Şekil 4.7. 550°C’de büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri

Şekil 4.7’de 550°C’de büyütülen ZnO nanoçubukların SEM görüntülerinin analizlerine göre, istendik yapılar oluşmuş, fakat ilgili sıcaklık değerinin yüksek olmasından dolayı yapı oluşumu sonrası deformasyon başlangıçları vardır.

Şekil 4.8’de 600°C’de büyütülen çinko oksit nano yapılarının SEM görüntüsü 50,00kx, 66,20kx, 150,00kx, 350,00kx büyütmede alınmış ve 2 µm, 1 µm, 200 nm, 100 nm ölçekte verilmiştir. Bu görüntülerin analiz sonuçlarına göre, sıcaklık değerinin çok fazla olmadıktan dolayı ZnO nanoçubuk yapıların karakteristik hekzagonal görünümünün çubuk birleşmeleri sonucunda bozulduğu görülmektedir. Ayrıca bu bozulmaya adi camın erime sıcaklığı olan 650°C’ye yaklaşılmışından dolayı altlıktaki yumuşamanında

etkili olması çok yüksek bir olasılıktır. Çünkü altlık matrisi üzerindeki filmi etkileyen en önemli faktörler arasındadır.



Şekil 4.8. 600°C’de büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri

Sıcaklık optimizasyonu için 300, 350, 400, 450, 500, 550 ve 600°C’de yapılan çinko oksit nanoçubukların SEM görüntüleri ve XRD sonuçlarının değerlendirilmesi sonucunda en iyi sıcaklık büyütme parametresi 500°C olarak belirlenmiştir.

XRD ve SEM analiz sonuçlarının değerlendirilmesi ve en iyi parametrenin belirlenmesi aşaması şu şekilde yapılmaktadır: Öncelikle XRD analiz sonuçlarından keyfi birimli en yüksek şiddete sahip uygulama seçilir. Sonrasında bu uygulamaya ait SEM görüntüleri incelenerek morfolojik yapının kalitesine, homojenliğine ve istenen yüzey yapısının tam

olarak mevcudiyetinin olup olmadığına bakılır. Eğer her iki analiz sonucu uygun özellikleri taşıyor ise optimum seçimin sonucu belirlenmiş olur. Fakat XRD analizi sonuçlarına göre en yüksek şiddetteki denemenin karşılığı olan SEM görüntüleri istendik sonuçlara sahip değil ise, ikinci en yüksek pik değerine sahip denemenin SEM görüntüleri değerlendirilmesi yapılır. Bu ikili kombinasyonlu değerlendirmeler, her iki sonuç birbiriyle uyumlu hale gelinceye kadar devam eder. Sonuç olarak en yüksek şiddetli pik değerine karşılık gelen görüntü desteği varsa seçim bitirilir, yoksa bir sonraki en yüksek şiddetli pik ile görüntü değerlendirmesi ile devam edilir. Bu ikili kombinasyon değerlendirmeleri bütün optimizasyon çalışmalarında aynen tekrar edilmektedir.

Optimizasyon çalışmasının ikinci aşaması molarite optimizasyon çalışması olup, 500°C’de 0,2 M, 0,3 M, 0,4 M, 0,5 M, 0,6 M, 0,7 M, 0,8 M, 0,9 M ve 1 M’lık çözeltilerle büyütme yapılmıştır. Aşağıda molarite optimizasyon çalışmasının SEM ve XRD sonuçları verilmiştir.

4.2. Molarite Optimizasyonu

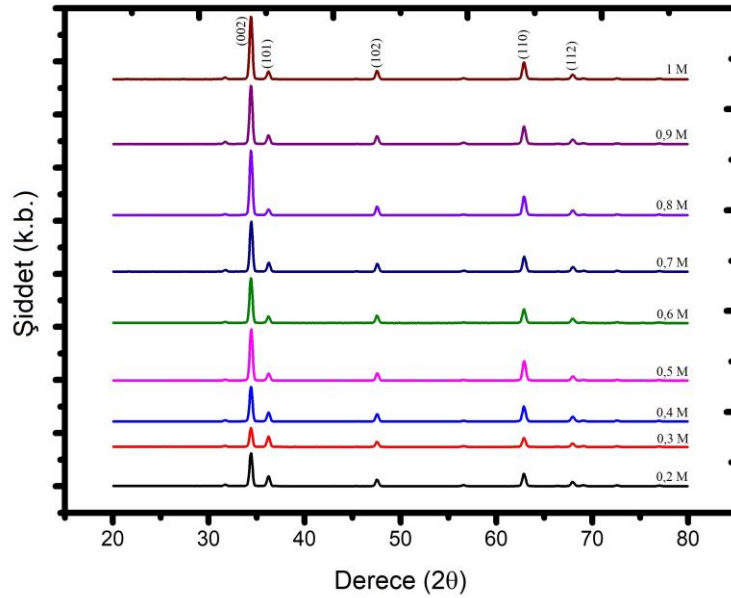
Molarite optimizasyonu için ilk olarak numune yapılarının kristalize olup olmadığını anlayabilmek için, x-ışını kırınım analizleri yapılmıştır. Elde edilen veriler grafize edilerek aşağıda Şekil 4.9’da verilmiştir.

4.2.1. XRD ölçümleri

Değişik molaritelerdeki çinko klorür çözeltileri ile spray pyrolysis yöntemi kullanılarak ZnO nanoçubuklar FTO altlıklar üzerine büyütülmüş ve x ışını kırınım analizleri yapılmıştır.

Şekil 4.9’da verilen x ışını kırınım analizinde 500°C’de molarite optimizasyonu için 0,2 M, 0,3 M, 0,4 M, 0,5 M, 0,6 M, 0,7 M, 0,8 M, 0,9 M ve 1 M’daki 100 ml çinko klorür çözeltisi ile büyütülen ZnO nanoçubukların kırınım desenleri görülmektedir. Yapının

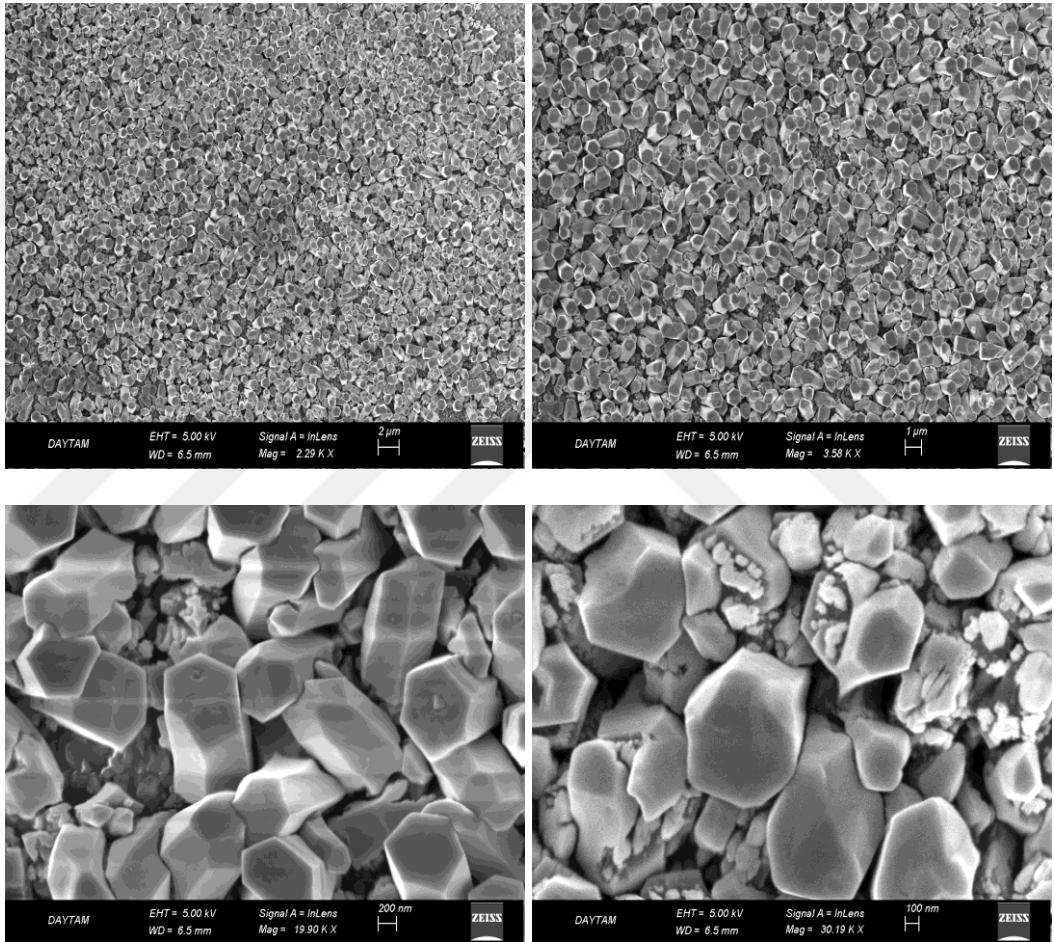
(002), (101), (102), (110) ve (112) miller düzlemlerinde yansıma verdiği görülmüştür. Yapıdaki baskın pik (002) düzleminde oluşmuştur (JCPDS, 89-7102). Büyütülen film tek kristal yapıda değildir. Bunların yanı sıra, 34,4 derecedeki baskın pikin şiddeti en fazla 0,8 molarlık çözelti ile büyütülen yapıya aittir. Fakat önceki aşama olan sıcaklık optimizasyonu çalışmasında da ifade edildiği gibi, XRD ve SEM analizlerinin ikili kombinasyonlarının değerlendirilmesi sonucunda molarite optimizasyonu sonucunda 0,8 M'lık sonuç değil, 0,5 M'lık sonuç en iyi optimizasyon sonucu olarak kullanılacaktır. Çünkü 0,8 M'lık çözelti ile büyütülen yapının SEM görüntüleri analizinde hekzagonal ZnO yapıların üzerinde istenmeyen, farklı morfolojide daha küçük ZnO yapılar oluşmuştur. Bu durum 0,8 M'ın optimum değer olarak seçilmesini engellemiştir.



Şekil 4.9. 500°C’de yapılan molarite optimizasyonu çalışmasında büyütülen ZnO nanoçukların x-ışını kırınım desenleri

4.2.2. SEM Ölçümleri

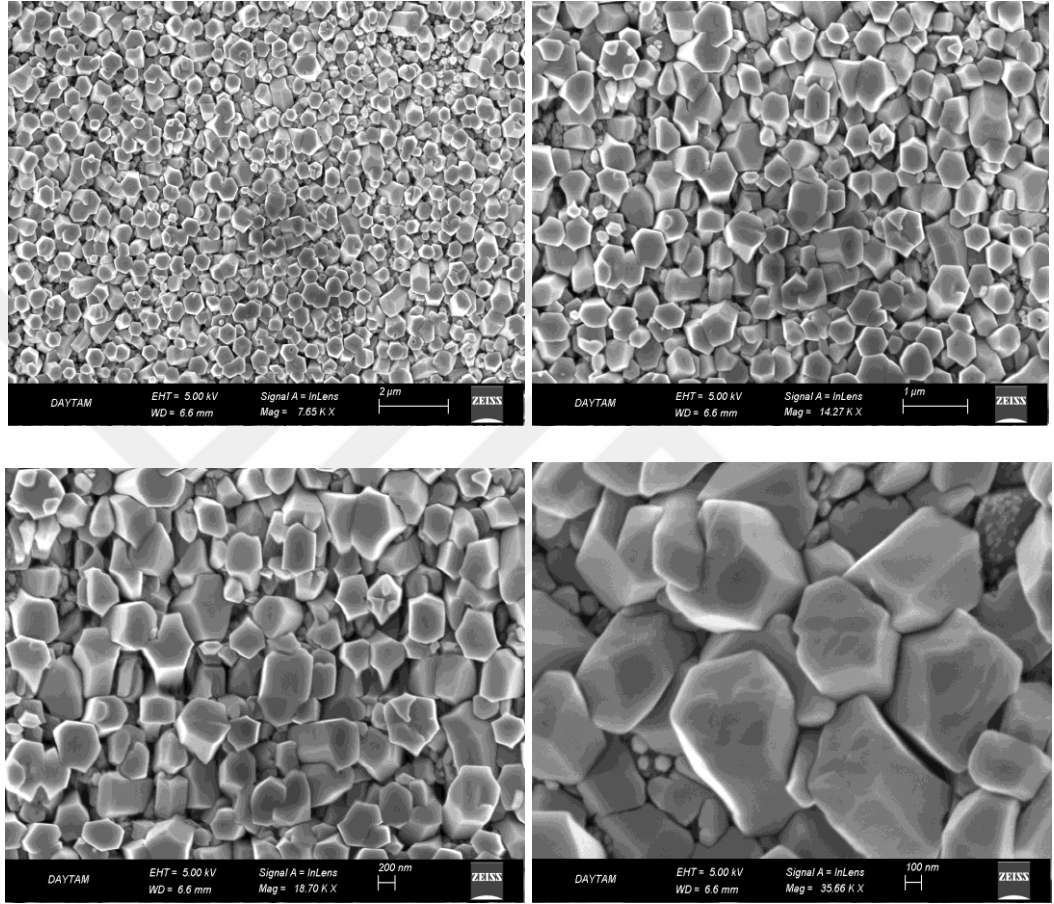
Şekil 4.10'da 500°C'de 0,2 M çözelti ile büyütülen çinko oksit nano yapılarının SEM görüntüsü 2,29kx, 3,58kx, 19,90kx, 30,19kx büyütmede alınmış ve 2 μ m, 1 μ m, 200 nm, 100 nm ölçekte verilmiştir.



Şekil 4.10. 500°C'de 0,2 molarlık çözelti ile büyütülen çinko oksit nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri

Şekil 4.20'deki SEM görüntülerine göre 500°C'de 100 ml, 0,2 molarlık çözelti ile büyütülen ZnO nanoçubukların hekzagonal yapılarının tam olarak oluşmadığı veya oluşan yapıların üzerinde farklı morfolojik yapıların olduğu görülmektedir. Bu durum çözelti molaritesinin düşüklüğü yüzünden, altlık üzerine yeterince Zn'nin bulunmadığını ifade etmektedir.

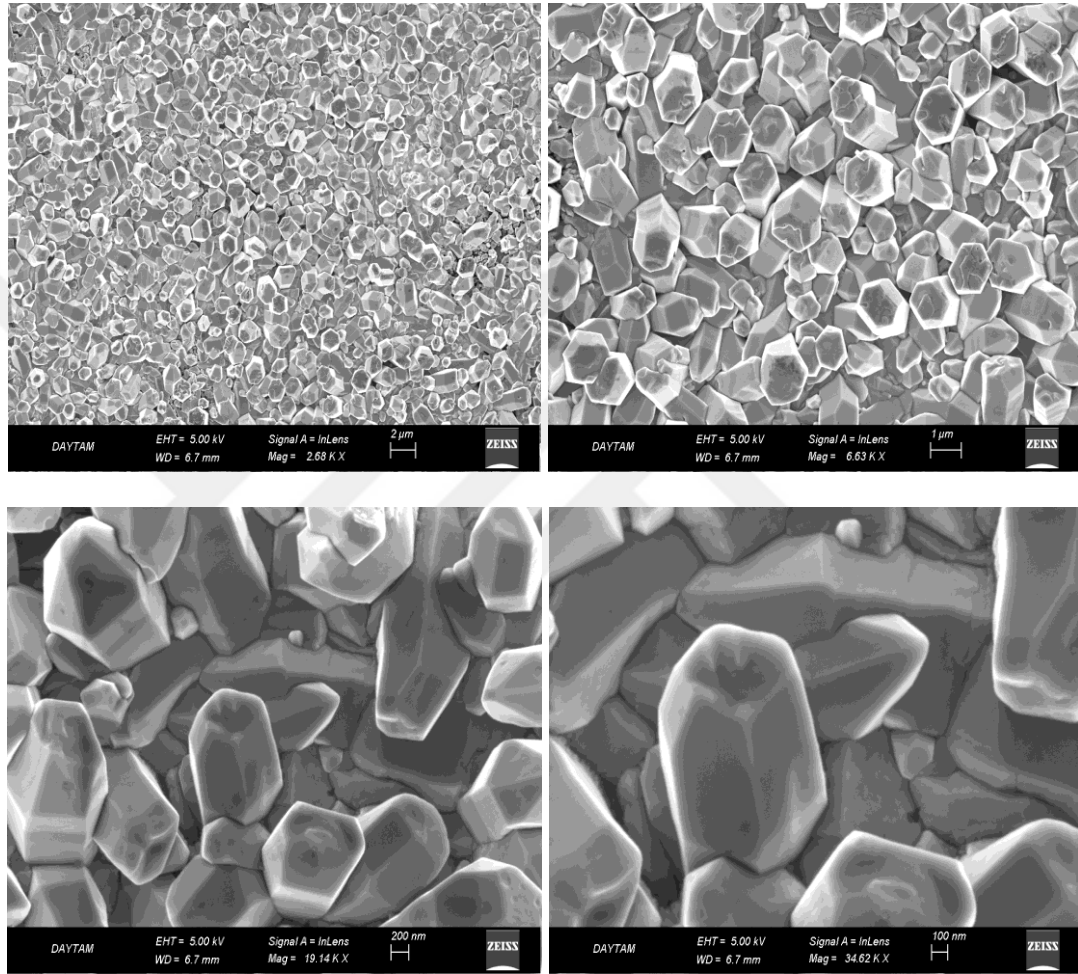
Şekil 4.11’de 500°C’de 0,3 M çözelti ile büyütülen çinko oksit nano yapılarının SEM görüntüsü 7,65kx, 14,27kx, 18,70kx, 35,66kx büyütmede alınmış ve 2 µm, 1 µm, 200 nm, 100 nm ölçekte verilmiştir.



Şekil 4.11. 500°C’de 0,3 molarlık çözelti ile büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri

Şekil 4.11’deki SEM görüntülerine göre, Şekil 4.10 için yapılan yorumlarda ifade edilen Zn eksikliği 0,3 M’lık çözelti için bir miktar giderilmiş olsa da, henüz tam anlamıyla hekzagonal yapıların tam oluşmadığı görülmektedir.

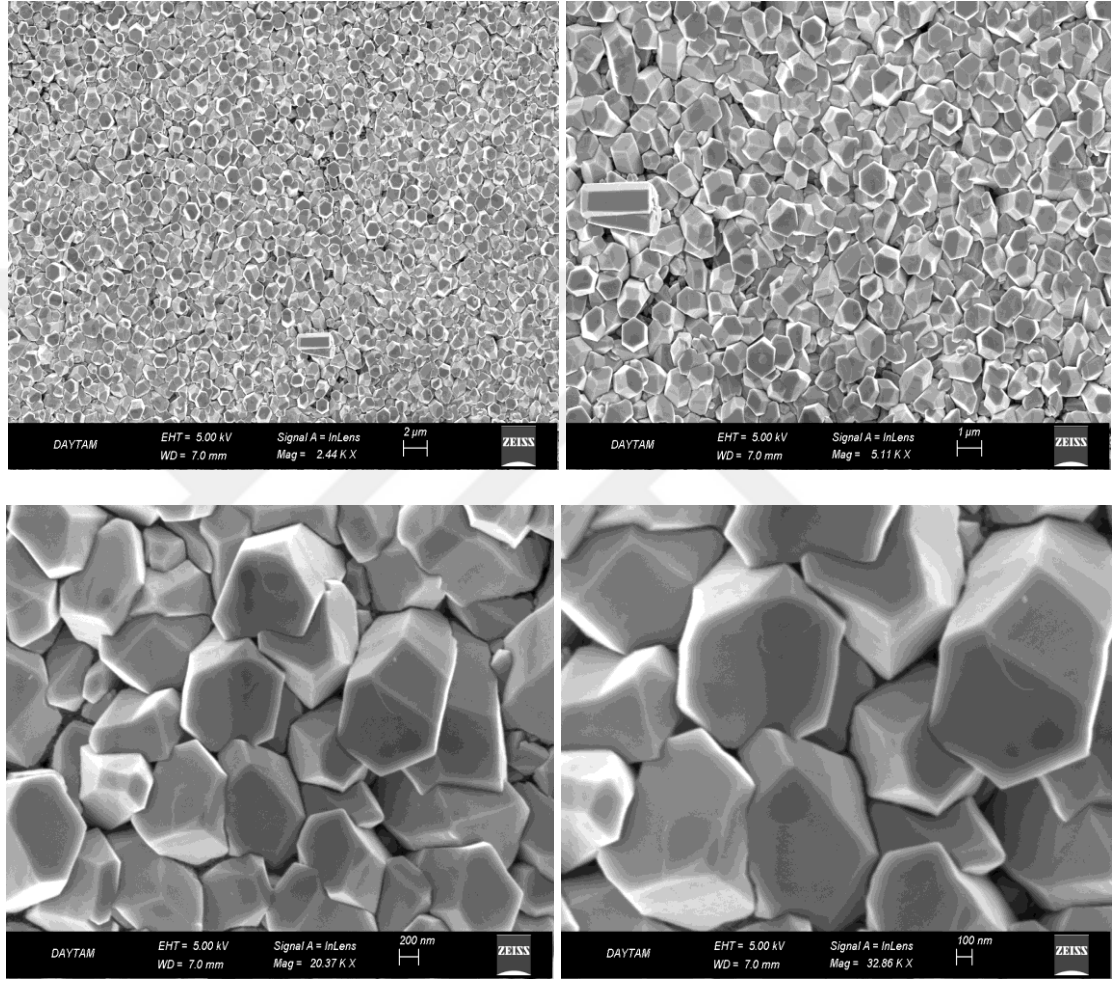
Şekil 4.12’de 500°C’de 0,4 M çözelti ile büyütülen çinko oksit nano yapılarının SEM görüntüsü 2,68kx, 6,63kx, 19,14kx, 34,62kx büyütmede alınmış ve 2 μ m, 1 μ m, 200 nm, 100 nm ölçekte verilmiştir.



Şekil 4.12. 500°C’de 0,4 molarlık çözelti ile büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri

Şekil 4.12’de verilen SEM görüntülerinin analizinden, cam altlıklar üzerine 500°C’de 0,4 molarlık çözelti ile büyütülen hekzagonal ZnO nanoçubukların morfolojik kalitesinin önceki 0,2 ve 0,3 M’lık çözeltilerle büyütülen yapılardan daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Şekil 4.13'te 500°C'de 0,5 M çözelti ile büyütülen çinko oksit nano yapılarının SEM görüntüsü 2,44kx, 5,11kx, 20,37kx, 32,86kx büyütmede alınmış ve 2 µm, 1 µm, 200 nm, 100 nm ölçekte verilmiştir.

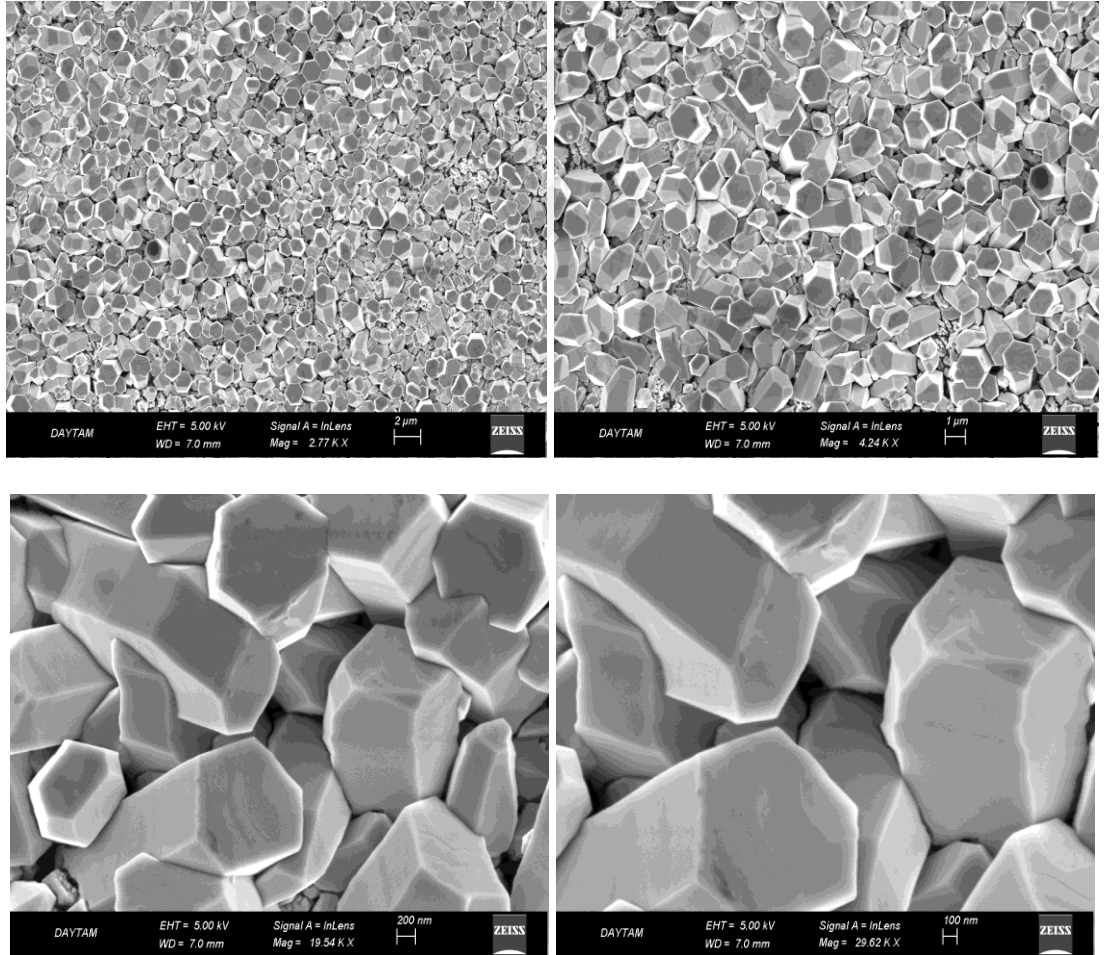


Şekil 4.13. 500°C'de 0,5 molarlık çözelti ile büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri

Şekil 4.13'te de görüldüğü gibi, 500°C'de 0,5 molarlık çözelti ile büyütülen hekzagonal yapıdaki ZnO nanoçubukların görüntü kalitesi, altlık üzerindeki uniform dağılımları ve istenmeyen herhangi farklı bir morfolojideki yapının olmaması nedeniyle molaritenin optimizasyonu çalışmasında, optimum molarite değeri olarak 0,5 seçilmiştir.

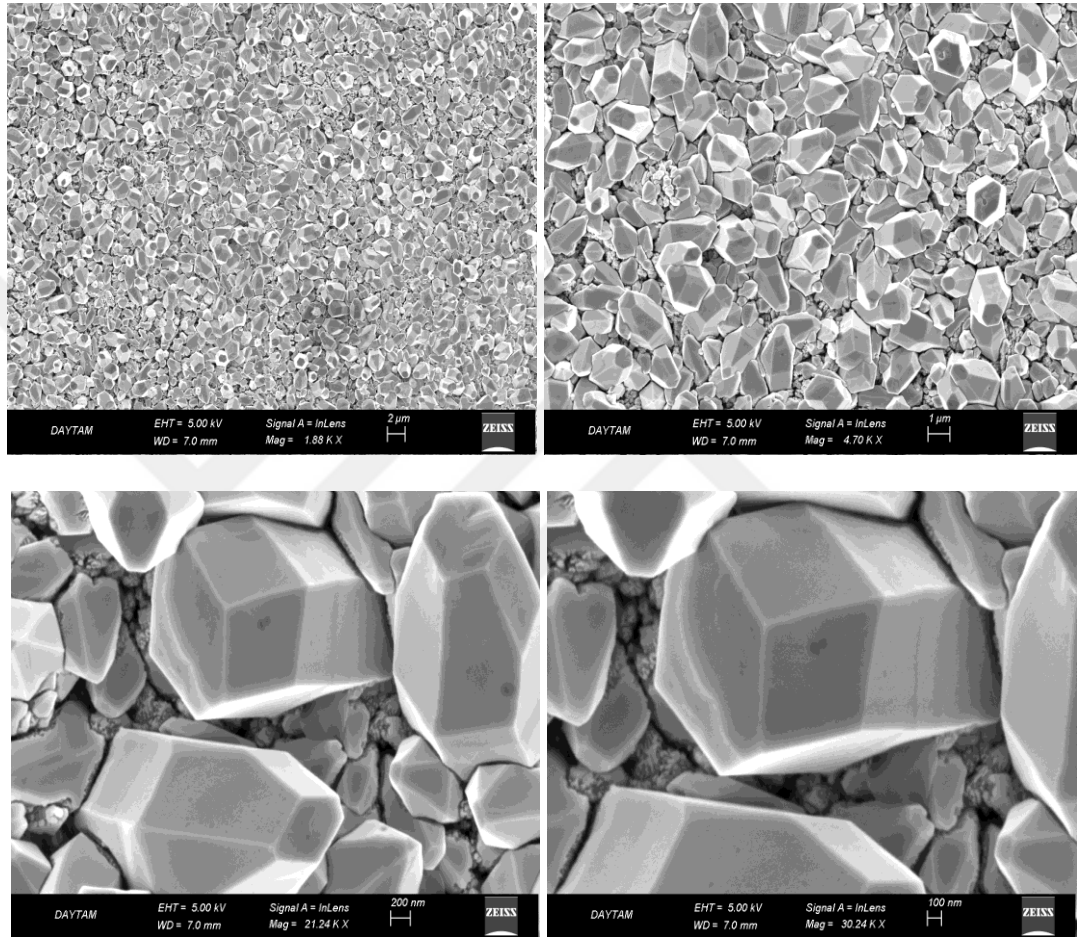
Sonraki molarite optimizasyonu çalışmalarındaki (Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18) SEM görüntülerinin az önce ifade edilen görüntü kalitesi, altlık üzerindeki uniformluk ve yapı üzerindeki istenmeyen farklı morfolojik yapılar kapsamındaki değerlendirmelerinde 0,5 M'lık çözelti ile elde edilen sonuçlara ulaşamadığı analiz değerlendirmeleriyle açıktır.

Şekil 4.14'te 500°C'de 0,6 M çözelti ile büyütülen çinko oksit nano yapılarının SEM görüntüsü 2,77kx, 4,24kx, 19,54kx, 29,62kx büyütmede alınmış ve 2 µm, 1 µm, 200 nm, 100 nm ölçekte verilmiştir.



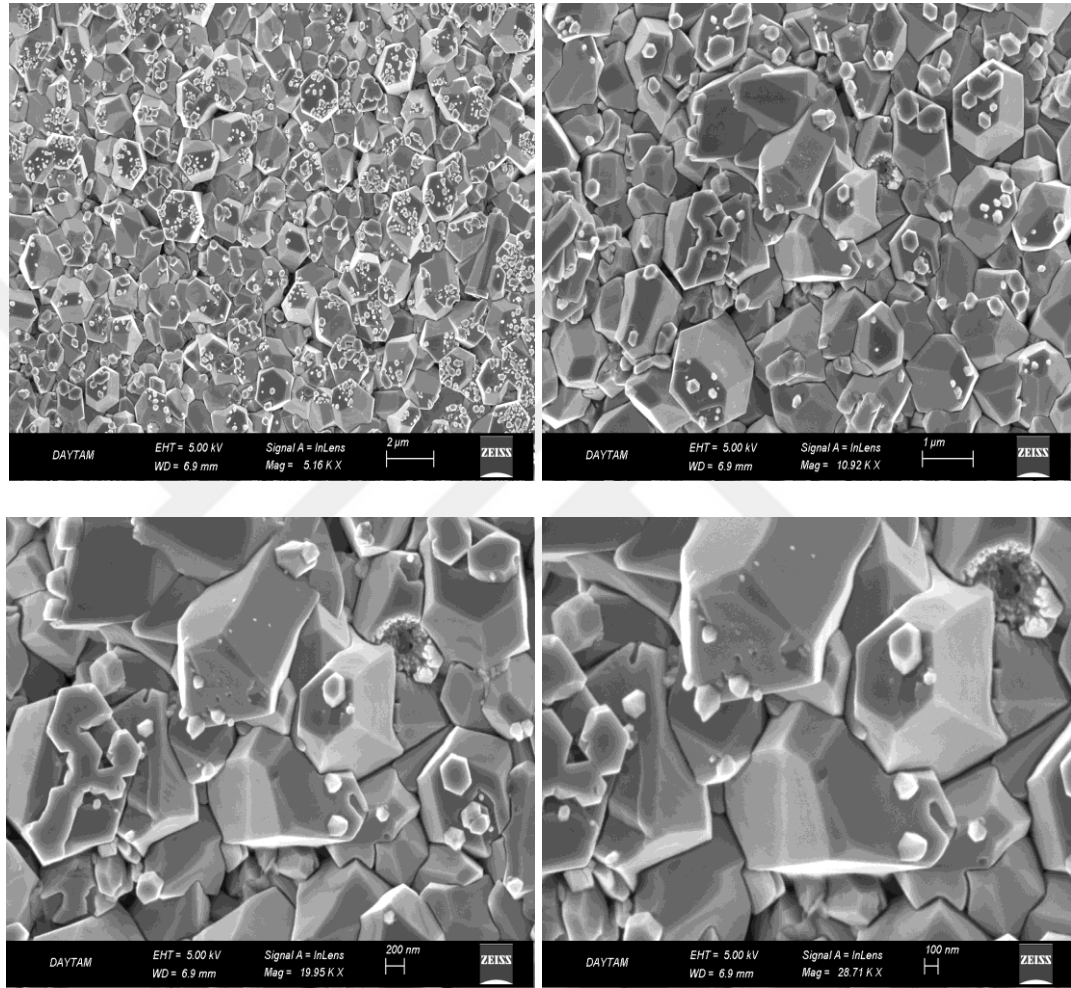
Şekil 4.14. 500°C'de 0,6 molarlık çözelti ile büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri

Şekil 4.15'te 500°C'de 0,7 M çözelti ile büyütülen çinko oksit nano yapılarının SEM görüntüsü 1,88kx, 4,70kx, 21,24kx, 30,24kx büyütmede alınmış ve 2 µm, 1 µm, 200 nm, 100 nm ölçekte verilmiştir.



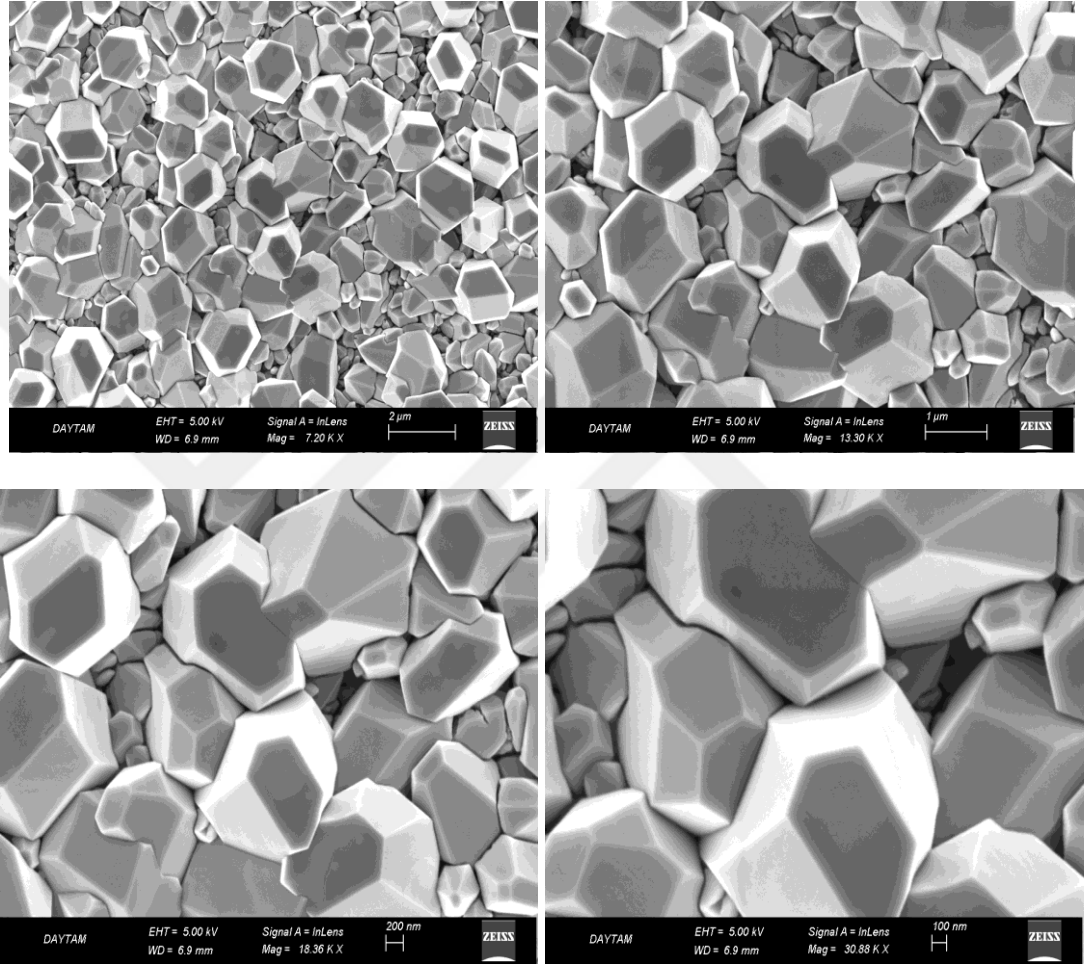
Şekil 4.15. 500°C'de 0,7 molarlık çözelti ile büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri

Şekil 4.16’da 500°C’de 0,8 M çözelti ile büyütülen çinko oksit nano yapılarının SEM görüntüsü 5,16kx, 10,92kx, 19,95kx, 28,71kx büyütmede alınmış ve 2 μ m, 1 μ m, 200 nm, 100 nm ölçekte verilmiştir.



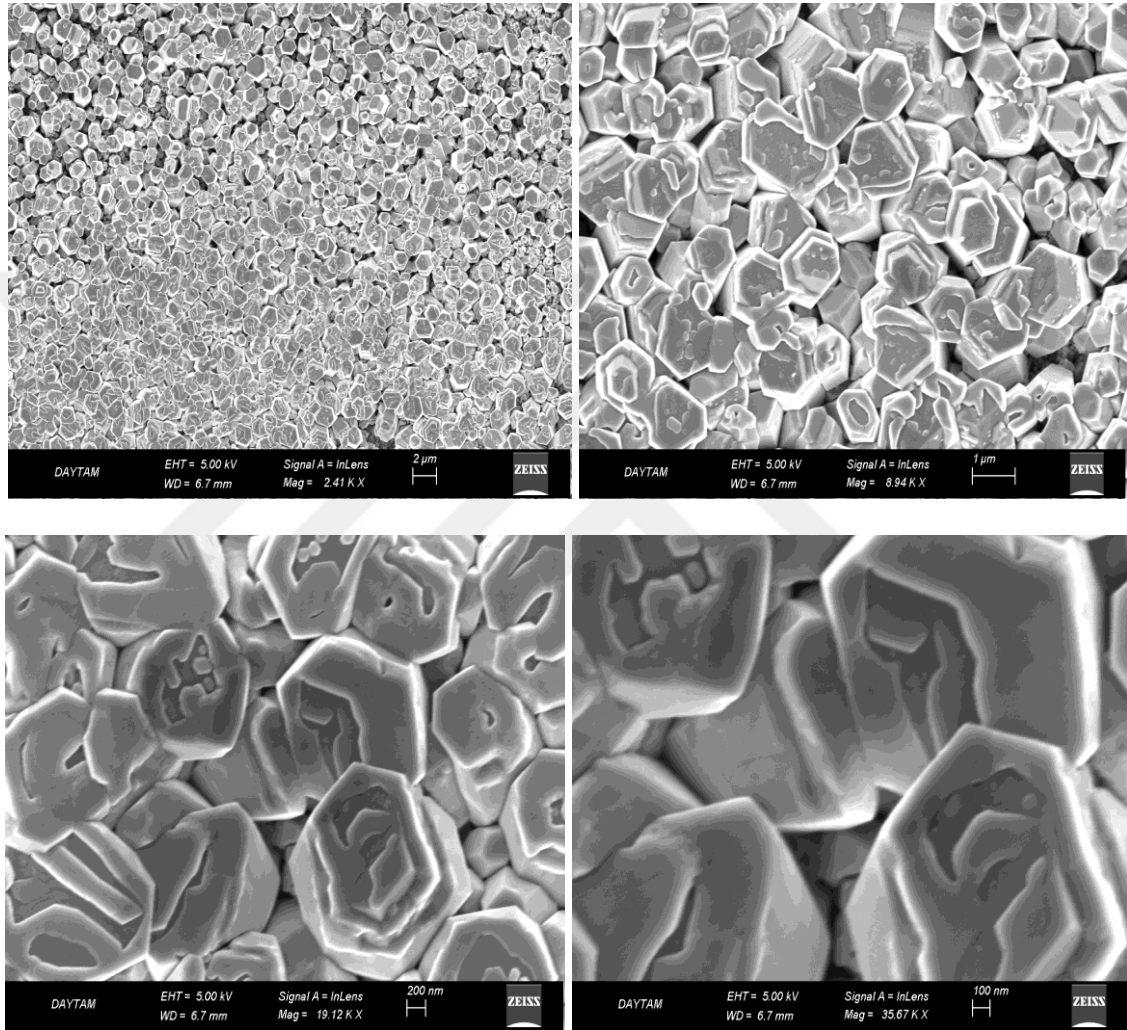
Şekil 4.16. 500°C’de 0,8 molarlık çözelti ile büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri

Şekil 4.17’de 500°C’de 0,9 M çözelti ile büyütülen çinko oksit nano yapılarının SEM görüntüsü 7,20kx, 13,30kx, 18,36kx, 30,88kx büyütmede alınmış ve 2 μ m, 1 μ m, 200 nm, 100 nm ölçekte verilmiştir.



Şekil 4.17. 500°C’de 0,9 molarlık çözelti ile büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri

Şekil 4.18’de 500°C’de 1 M çözelti ile büyütülen çinko oksit nano yapılarının SEM görüntüsü 2,41kx, 8,94kx, 19,12kx, 35,67kx büyütmede alınmış ve 2 µm, 1 µm, 200 nm, 100 nm ölçekte verilmiştir.



Şekil 4.18. 500°C’de 1,0 molarlık çözelti ile büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri

Molarite optimizasyonu için 0,2 M, 0,3 M, 0,4 M, 0,5 M, 0,6 M, 0,7 M, 0,8 M, 0,9 M ve 1,0 M’lık çözeltilerle yapılan çinko oksit nanoçubukların SEM görüntüleri ve XRD sonuçlarının değerlendirilmesi sonucunda en iyi çözelti molaritesi 0,5 molar olarak belirlenmiştir.

Optimizasyon çalışmasının üçüncü aşaması çözelti miktarı çalışması olup, 500°C’de ve 0,5 molarlık çözeltilerden 50, 75, 100, 125 ve 150 ml’lik çözelti miktarları ile büyütme yapılmıştır. Aşağıda, çözelti miktarı optimizasyon çalışmasının SEM ve XRD sonuçları verilmiştir.

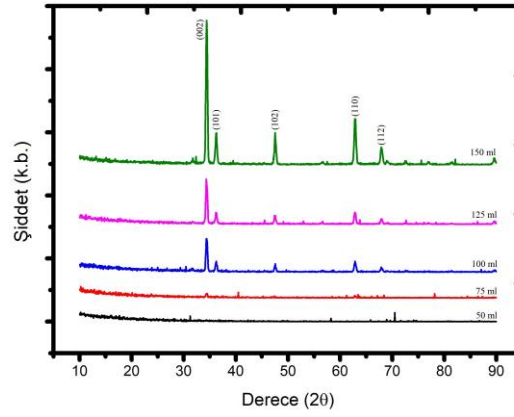
4.3. Çözelti Miktarı Optimizasyonu

Çözelti miktarı optimizasyon çalışmasında, ilk olarak numune yapılarının kristalize olup olmadığını anlayabilmek için, x-ışını kırınım analizleri yapılmıştır. Elde edilen veriler grafize edilerek aşağıda Şekil 4.19’da verilmiştir.

4.3.1. XRD Ölçümleri

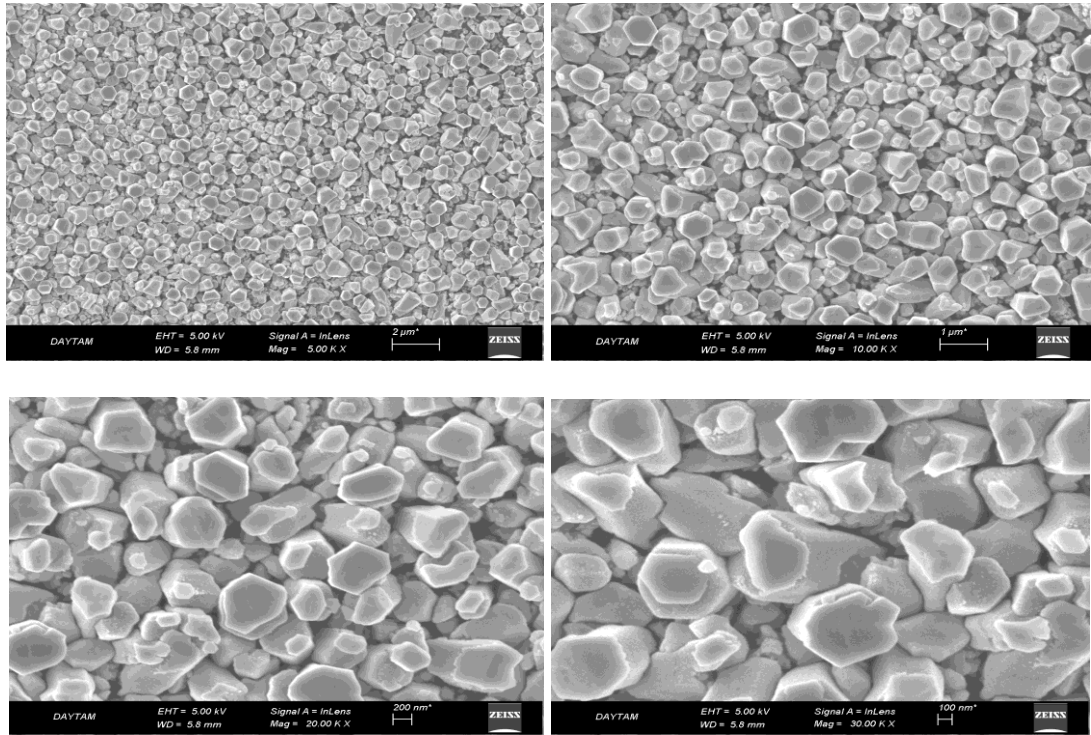
Değişik çözelti miktarlarında yapılan spray pyrolysis yöntemi ile ZnO nanoçubuklar FTO altlıklar üzerine büyütülmüş ve x ışını kırınım analizleri yapılmıştır.

Şekil 4.19’da verilen x ışını kırınım analizinde 0,5 M’lık çözeltinin 500°C’de çözelti miktarı optimizasyonu için 50 ml, 75 ml, 100 ml, 125 ml ve 150 ml’deki kırınım desenleri görülmektedir. Yapının (002), (101), (102), (110) ve (112) miller düzlemlerinde yansıma verdiği görülmüştür (JCPDS, 89-7102). Yapıdaki baskın pik (002) düzleminde oluşmuştur. Yapı tek kristal yapıda değildir.



Şekil 4.19. 500°C ve 0,5 molarlık çözelti ile yapılan çözelti miktarı optimizasyonu x-ışını kırınım desenleri

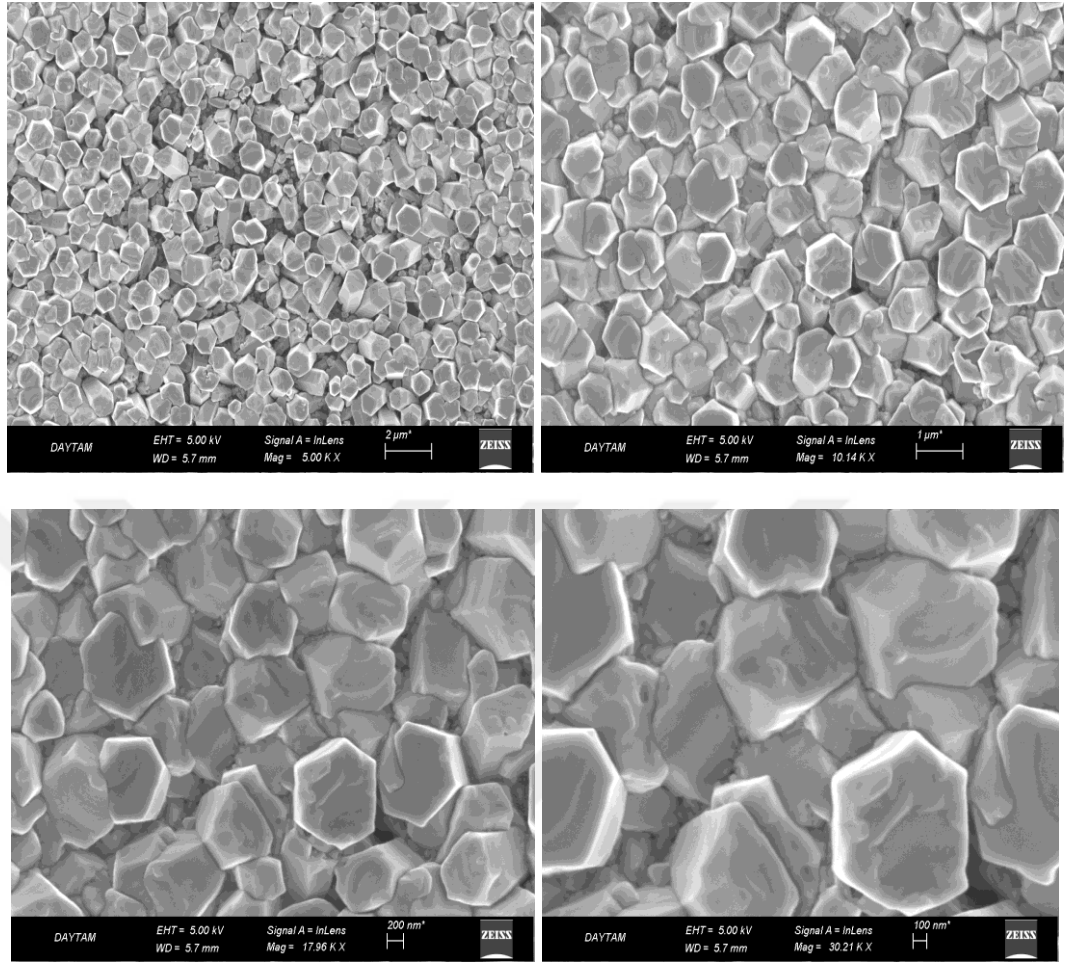
Şekil 4.20’de 500°C ve 0,5 molarlık 50 ml çözelti ile büyütülen çinko oksit nano yapılarının SEM görüntüsü 5,00kx, 10,00kx, 20,00kx, 30,00kx büyütmede alınmış ve 2 μ m, 1 μ m, 200 nm, 100 nm ölçekte verilmiştir.



Şekil 4.20. 500°C ve 0,5 molarlık 50 ml çözelti ile büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri

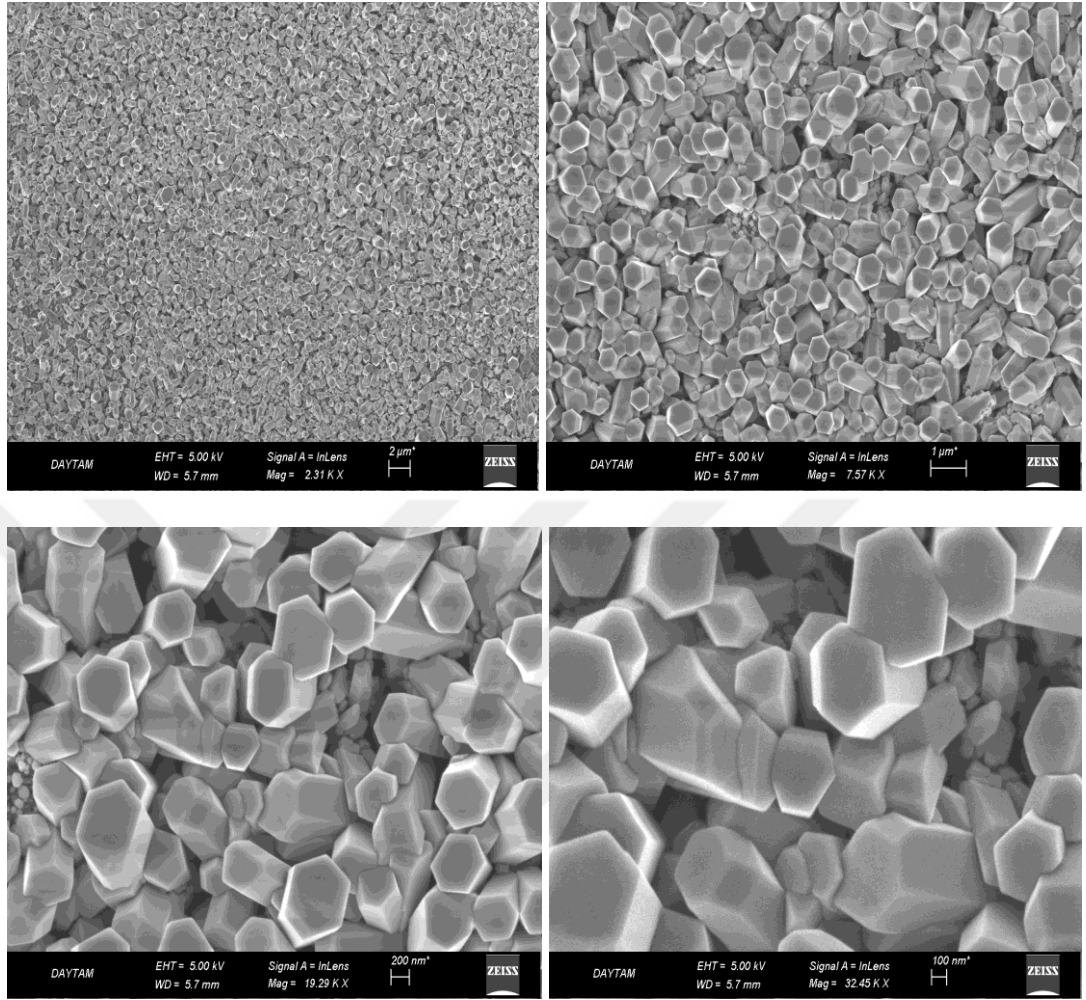
Şekil 4.20’de verilen 500°C ve 0,5 molarlık 50 ml çözelti ile büyütülen ZnO nanoçubukların SEM görüntülerinin analizleri sonucunda, ZnO nanoçubukların altlık üzerine oldukça uniform olarak büyüdüğü görülmektedir. Ayrıca bütün çözelti miktarı optimizasyon çalışmalarında bu durumun değişmediği görülmektedir. Fakat çözelti miktarının artması hem nanoçubukların boylarının ve kalınlıklarının artmasına neden olmakta, hem de film büyütme süresinin artmasına neden olmaktadır. Arayüzey tabaka olarak kullanacağımız ZnO nanoçubukların boylarının artması istendik bir durum olarak değerlendirilse de, bu nanoçubukların kalınlıklarının artması ara tabakanın yüzey alanının küçülmesine neden olacağı için istenen bir durum değildir. Ayrıca çözelti miktarının artması uygulama süresinin artmasına, uygulama süresinin artması da altlık üzerinde biriken ZnO yapıların ilgili sıcaklık derecesinde bir süre sonra yanarak bozulmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla sıralanan bu nedenlerden dolayı bu üç faktörün en iyi buluşma noktasını alma durumu söz konusudur. SEM görüntülerinin analizi sonucunda 150 ml’lik çözelti miktarının en idealize miktar olduğu sonucuna varılmıştır. Bu miktarın üzerine çıkıldığında uygulama süresinin, çözelti püskürtme hızının 1,5 ml/dk olduğu göz önüne alınacak olursa, 100 dakikanın üzerine çıkacağından dolayı numunelerde yanma meydana gelmektedir. 150 ml’lik çözelti miktarı ile ZnO nanoçubukların boyları 1000-1500 nm, çapları ise 200-400 nm arasında değişmektedir. Çözelti miktarı ile altlık üzerine gönderilen malzeme miktarı doğru orantılı olduğundan dolayı, büyütülen nanoçubukların boyları ve enleri de çözelti miktarı ile doğru orantılıdır.

Şekil 4.21’de 500°C ve 0,5 molarlık 75 ml çözelti ile büyütülen çinko oksit nano yapılarının SEM görüntüsü 5,00kx, 10,14kx, 17,96kx, 30,21kx büyütmede alınmış ve 2 µm, 1 µm, 200 nm, 100 nm ölçekte verilmiştir.



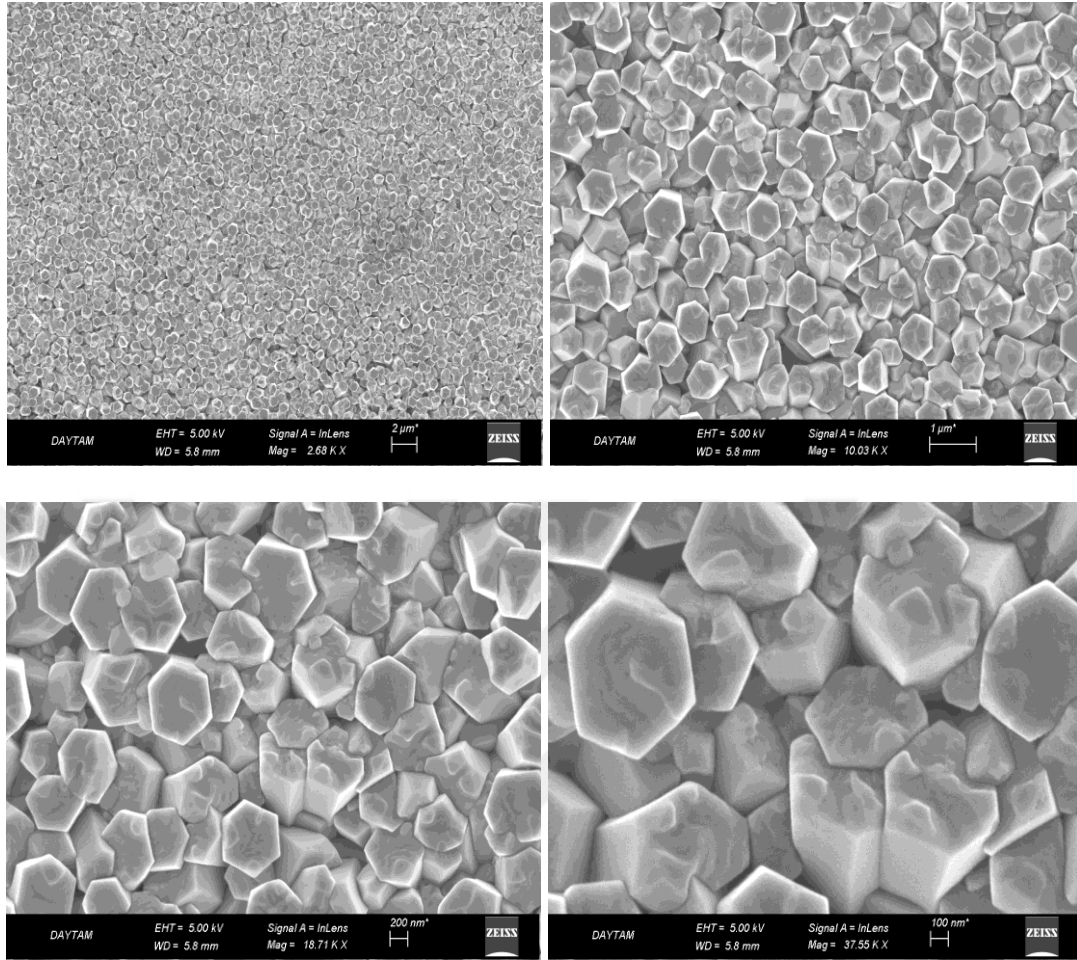
Şekil 4.21. 500°C ve 0,5 molarlık 75 ml çözelti ile büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri

Şekil 4.22’de 500°C ve 0,5 molarlık 100 ml çözelti ile büyütülen çinko oksit nano yapılarının SEM görüntüsü 2,31kx, 7,57kx, 19,29kx, 32,45kx büyütmede alınmış ve 2 µm, 1 µm, 200 nm, 100 nm ölçekte verilmiştir.



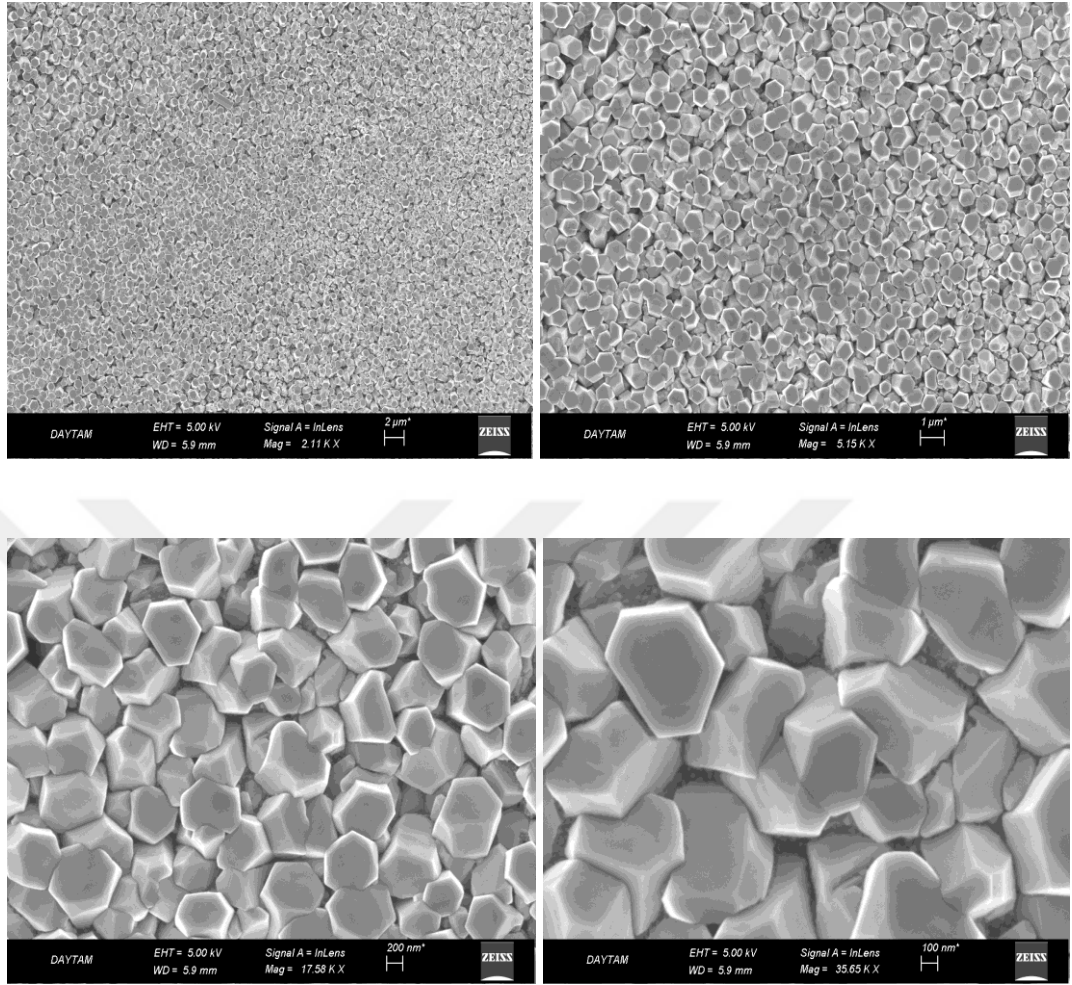
Şekil 4.22. 500°C ve 0,5 molarlık 100 ml çözelti ile büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri

Şekil 4.23'te 500°C ve 0,5 molarlık 125 ml çözelti ile büyütülen çinko oksit nano yapılarının SEM görüntüsü 2,68kx, 10,03kx, 18,71kx, 37,55kx büyütmede alınmış ve 2 µm, 1 µm, 200 nm, 100 nm ölçekte verilmiştir.



Şekil 4.23. 500°C ve 0,5 molarlık 125 ml çözelti ile büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri

Şekil 4.24'te 500°C ve 0,5 molarlık 150 ml çözelti ile büyütülen çinko oksit nano yapılarının SEM görüntüsü 2,11kx, 5,15kx, 17,58kx, 35,65kx büyütmede alınmış ve 2 μm, 1 μm, 200 nm, 100 nm ölçekte verilmiştir.

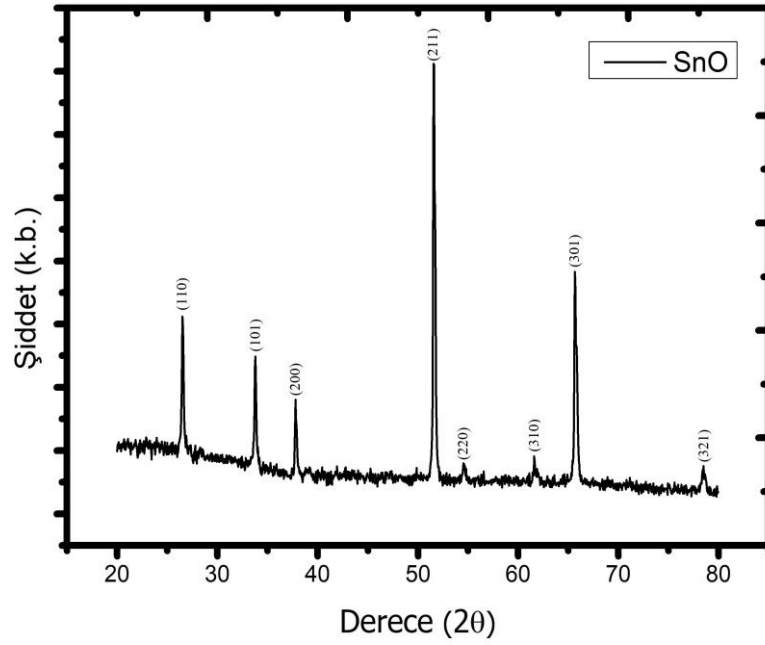


Şekil 4.24. 500°C ve 0,5 molarlık 150 ml çözelti ile büyütülen ZnO nanoçubukların taramalı mikroskop görüntüleri

Çözelti miktarı optimizasyonu için 50 ml, 75 ml, 100 ml, 125 ml ve 150 ml'lik çözeltilerle yapılan çinko oksit nanoçubukların SEM görüntüleri ve XRD sonuçlarının değerlendirilmesi sonucunda en iyi çözelti miktarı 150 ml olarak belirlenmiştir.

4.4. FTO İnce Film Büyütülmesi

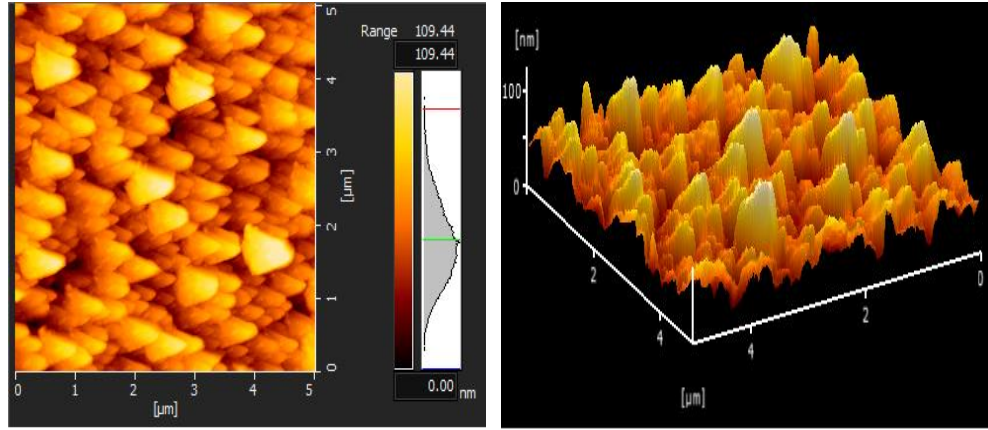
FTO filmlerinin yapısal analizlerinden olan XRD ölçümlerinin sonuçları aşağıda Şekil 4.25'te verilmiştir.



Şekil 4.25. FTO ince film x-ışını kırınım desenleri

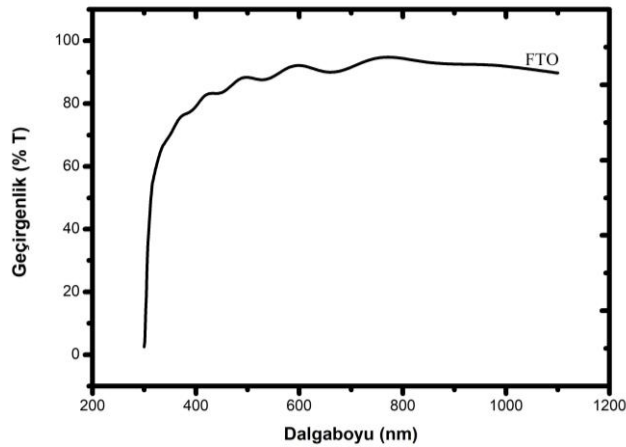
Şekil 4.25'e verilen x ışını kırınım analizinde ince film kalay oksit yapının 00-041-1445 JCPDS kartına göre herhangi bir safsızlığa sahip görünmemekte ve (110), (101), (200), (211), (220), (310), (301) ve (321) miller düzlemlerinde yansıma verdiği görülmüştür. Yapıdaki baskın pik (211) düzleminde oluşmuştur. Yapı tek kristal yapıda değildir.

FTO ince filmlerinin diğer yapısal analizlerinden biri olan AFM analizi aşağıda 4.26'da verilmiştir.



Şekil 4.26. FTO ince film 2D (sol), 3D (sağ) AFM görüntüleri

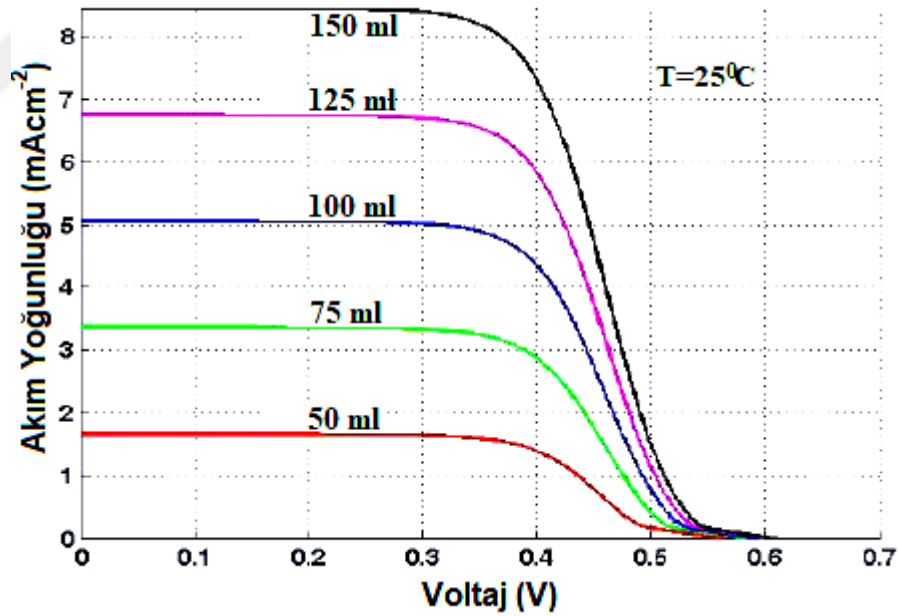
Şekil 4.26'daki kalay oksit yapının AFM görüntüsü $5 \times 5 \mu\text{m}$ tarama alanlı, 512 piksel çözünürlükte alınmış, cihaza özgü analiz programında işlenerek renk ölçekli histogram eğrisi ile beraber iki boyutlu (soldaki resim) ve üç boyutlu (sağdaki resim) olmak üzere iki farklı düzenlemeye veilmiştir. İletken ve geçirgen ön pencere tabaaksı olarak görev yapacak olan FTO film tabakasındaki yapılar 100 nm büyüklüğünde, FTO yapısının genel karakteristik görünümü olan üçgenimsi yapı olarak büyümüşlerdir. FTO ince film tabakasının oldukça homojen ve uniform yapıda olduğu AFM resimlerinden görülmektedir. Filmin morfolojik yapısı literatürde verilen SnO_2 yapılarıyla birebir aynıdır.



Şekil 4.27. FTO ince film geçirgenlik ölçümü

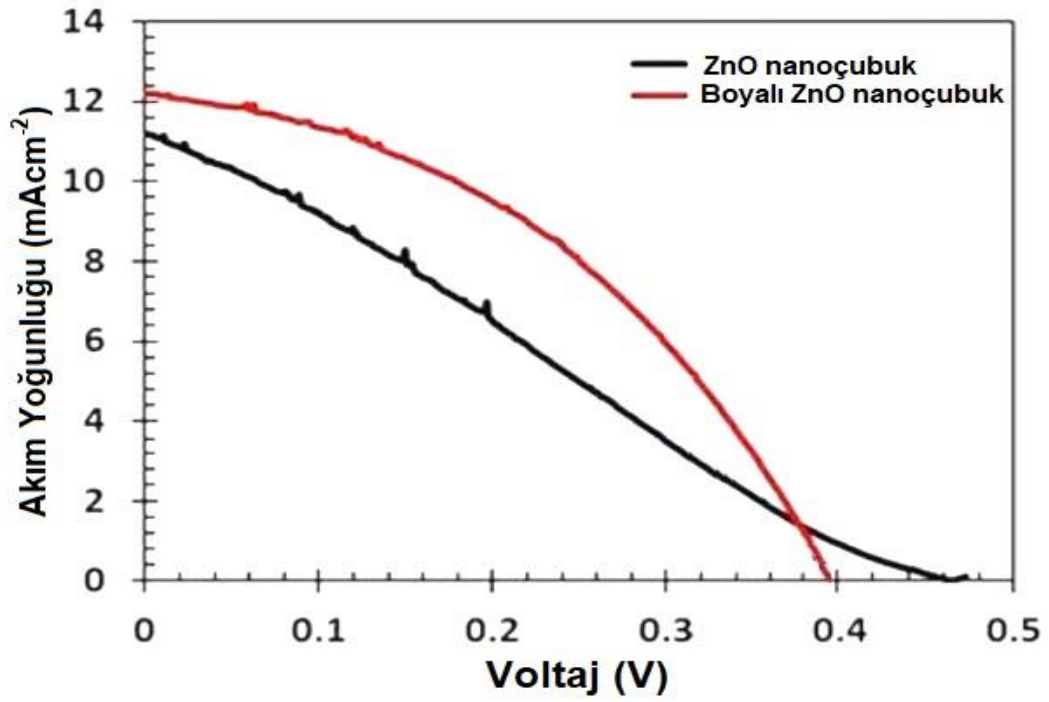
Şekil 4.27’de verilen kalay oksit ince filmlerin optik analizlerinden olan geçirgenlik ölçümünde, filmlerin 400-1000 nm dalga boylarında ortalama olarak %85’lik bir geçirgenliğe sahip oldukları görülmüştür. Bu durum güneş pillerinde geçirgen tabaka olarak kullanılacak bu tabakanın, güneş pilinin verim yüzdesine etkisini azaltacaktır. Fakat geçirgen ve aynı zamanda iletken bir tabakaya ihtiyaç duyulduğundan dolayı, benzer geçirgen yapılar arasında en iyilerinden biri olarak literatürlede uyumlu FTO yapısı tercih edilmiştir. Çalışmamızda adi camlar üzerine büyütülen FTO filmleri, geçirgenlik ve iletkenlik açısından ticari olarak temin edilebilen FTO veya ITO altlıklarıyla neredeyse aynı özellik değerlerini göstermektedir.

Şekil 4.28’da güneş hücrelerinin solar simülatör ve I-V birleşik sisteminde alınan verilerle hesaplanan ölçüm sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.28. Güneş hücrelerinin [100 W/cm^2 (1.5 AM)] solar simülatör kullanılarak alınan fotoakım-voltaj karakteristikleri

Elektron şeffaf tabakası olarak görev yapan ZnO nanoçubukların boylarının artması ile yüzey alanı büyümüş ve buna bağlı olarak ta devredeki akım yoğunlukları artmıştır.



Şekil 4.29. Boya ile duyarlı hale getirilmiş ve getirilmemiş güneş hücrelerinin akım yoğunluğu-voltaj karakteristik eğrileri

Şekil 4.29'daki grafikte 500⁰C'de 0,5 M'lık 150 ml çözelti ile FTO üzerine büyütülmüş ZnO nanoçubuklarının güneş pili uygulaması için yapılan paketlemesinde boyalı ve boyasız hücre durumları [100 W/cm² (1.5 AM)] solar simülatör kullanılarak alınan fotoakım-voltaj karakteristikleri görülmektedir. Elektron şeffaf tabakadaki elektron mobilitesinin boya ile artmasıyla beraber, akım yoğunluğunda da belirgin bir artış meydana gelmektedir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yenilenebilir enerji kaynaklarından belki en önemlilerinden olan güneş pilleriyle ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmaları güneş pillerinin elde edilme yöntem ve tekniklerine göre ve pillerde kullanılan altlık, ara yüzey (elektron şeffaf tabaka) ve geçirgen tabaka malzemesinin çeşidine göre öncelikle üç sınıfta toplayabiliriz. Tabi bu çalışmaların ana amacı “en basit, en uzun ömürlü, en verimli ve en ekonomik pili nasıl yaparız ve geliştiririz?” sorusunun veya sorularının cevaplarını bulmaktır. Dolayısıyla bu tez çalışmasında bu sorulara kaynak teşkil eden basitlik, uzun ömürlülük, verimlilik ve ekonomiklik kavramları göz önünde bulundurarak yöntem, teknik ve malzemelere karar verilmiştir. Çalışmamızda elektron şeffaf tabaka olarak görev yapacak ince filmlerin büyütülmesi için son yıllarda basitliği ve ekonomikliği ön plana çıkmış bir yöntem olan spray pyrolysis (kimyasal püskürtme) yöntemi kullanılmıştır. Yarıiletken ince film çalışmalarında kullanılan çok sayıda büyütme tekniği vardır. Bunların birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları muhakkak olacaktır. Fakat kullanım kolaylığı, büyütme başarısı ve kontrol edilebilirliği çok fazla olan spray pyrolysis yöntemi diğer büyütme tekniklerine nazaran daha ileridedir. Bunlardan birkaç tanesini sıralayacak olursak;

- Spray pyrolysis metodu ince ve kalın film hazırlama, seramik kaplama ve toz halde film elde etmek için araştırmalarda kullanılan bir büyütme tekniğidir.
- Spray pyrolysis tekniği, basit ve ekonomik bir tekniktir. Ayrıca vakumsuz bir ortam gerektirir. Bu özellikleri nedeniyle tercih edilmektedir. Bu teknik kimyasal püskürtme ile çöktürme, çözelti püskürtme ve ya sıcak püskürtme olarak da bilinir.
- Püskürtme metodu, yüksek kalitede altlık veya kimyasal gerektirmez.
- Bu çok yönlü teknik kullanılarak çok tabakalı filmler bile kolaylıkla hazırlanabilir. Özellikle, oksit film yapımında kullanımı yaygındır.

Yarıiletken ara yüzey yani elektron şeffaf tabaka olarak seçtiğimiz ZnO malzemesinin çok sayıdaki önemli özelliklerinden;

- 3,37 eV değerli geniş bant aralığı, püskürtme yöntemi ile çok geniş yüzeylerde çok homojen bir şekilde değişik formlarının büyütülebilmesi,
 - yüksek elektron mobilitesi ki güneş pillerinde önemli bir husustur,
 - oda sıcaklığı gibi yüksek sıcaklıklarda bile 60 meV eksiton bağlanma enerjisi dolayısıyla LED ve Nanolazerlerde kullanımı
 - ayrıca toksit özelliği olmaması
- nedeniyle seçilmiştir.

Son olarak boya ile duyarlı hale getirilmiş güneş hücreleri, üçüncü nesil güneş hücreleri olarak adlandırılan ve bilindik güneş hücrelerine alternatif olarak ortaya çıkan fotovoltaiik hücreler grubuna dâhil güneş hücreleridir. 1991 yılında Michael Grätzel tarafından geliştirilmiş, günümüze kadar meydana gelen gelişmelerle %10 laboratuvar verimliliğine ulaşılmıştır. Mevcut silisyum esaslı p-n eklem tipi güneş hücrelerinden farklı olarak, bitkilerde gözlenen foto-elektrokimyasal mekanizmalarla çalışan boya duyarlı güneş hücrelerinin bu özelliği yapay fotosentez olarak adlandırılmaktadır.

Dünyada yapılan tüm çalışmaların temel amacı da bir güneş pili malzemesinin bu özelliklerini arttırmaktır. Ancak bu şekilde güneşten gereği gibi istifade edilebilir. Güneş pilleri özellikle ekonomik olması çok istendik bir durumdur. Boya duyarlı güneş hücreleri ekonomik olması ve kolay hazırlanıyor olmaları dolayısıyla son derece önemlidir.

Bizim buradaki temel amacımız ise hem çok kolay hazırlayabilmek, hem de iyi bir paketleme sistemi geliştirerek organik güneş pillerinin şu an itibari ile en büyük dezavantajı olan kullanım süresi için bir çözüm önerisi oluşturabilmektir.

Polimer yerine organik moleküllerin kullanıldığı boya duyarlı güneş pili, iletken cam yüzeyine kaplanmış nano-kristal yapının (genelde TiO_2 , alternatif olarak ZnO ve SnO_2) organik boya ile duyarlaştırılması ile oluşturulan yarıiletken film ve ZnO tabakasının gözeneklerini dolduran boşluk iletken malzemeden meydana gelmektedir.

Çalışmamızda kullandığımız pilin yapısı şu şekildedir. En üstte, gelen ışığı hücrenin içine iletmek amacıyla, geçirgen bir cam bulunur. Camın altında, anotta (metal oksit ve metal oksit-boya katmanları) elde edilen fotoelektronları toplamak amacıyla, iletken bir katman olan TCO (Transparan İletken Oksit) yer alır. TCO tabakasının hemen altında, çok ince halde nano parçacıklı veya nano yapılı metal oksit katmanı yer alır. Bu katman, nano yapısı sayesinde, hayli geniş bir yüzey alanına sahiptir. Metal oksit katmanının içerisinde ise foto aktivitesi yüksek boya katmanı (Carminic Acid) bulunur. Hücrenin en altında yine iletken bir katman içeren gümüş ile kaplı, iletken cam katot bulunur.

Elektron şeffaf tabaka olarak görev yapacak olan ZnO naoçubuk yapıları ara yüzey çalışmalarında öncelikle optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Sıcaklık, molarite ve çözelti miktarının optimum değerlerinin tespiti çalışmasında öncelikle altlık olarak kullanılacak adi camlar standart temizleme yöntemleri ile temizlenerek hazır hale getirilmişlerdir. Sonrasında sıcaklık optimizasyon çalışmasında 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600 ve 650⁰C sıcaklıklarda 0,1 M ve 100 ml’lik çinko klorür çözeltisi kullanılarak film büyütme çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen numunelerin yapısal ve morfolojik analizleri XRD ve SEM teknikleri kullanılarak yapılmıştır (Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8). Yapılan değerlendirmelerde en yüksek pik şiddetine sahip numuneden başlanarak, SEM görüntüleri ile istenilen özellikler çerçevesinde ikili kombinasyon analizler şeklinde yapılarak, 500⁰C’de büyütülen numune sıcaklığı optimum değer olarak sonraki çalışmalar için seçilmiştir.

Aynı şekilde molarite optimizasyonunda 0,2-1 M aralığında 0,1 M’lık çözelti molaritesi artışları ile çalışmalar tekrarlanmıştır. Elde edilen dokuz numunenin yapısal ve morfolojik analizleri yapılmıştır (Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18). İkili kombinasyon değerlendirmeleri sonucunda 0,5 değerli çözelti molaritesi en uygun molarite değeri olarak seçilmiştir.

Son olarak çözelti miktarı optimizasyon çalışmasında 50 ml, 75 ml, 100 ml, 125ml ve 150 ml’lik çözelti miktarları ile uygulamalar yapılarak analizleri yapılmıştır (Şekil 4.19,

Şekil 4.20, Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24). Analizlerin değerlendirilmeleri sonucunda 150 ml’lik çözelti miktarı en uygun çözelti miktarı olarak seçilmiştir.

Geçirgen ve iletken tabaka olarak görev yapacak FTO tabakası yine kimyasal püskürtme yöntemi ile ince film olarak büyütülmüş, numunenin yapısal, morfolojik ve optiksel analizleri yapılmıştır (Şekil 4.25, Şekil 4.26 ve Şekil 4.27).

En son olarak ilgili yapılar Şekil 3.5’te gösterildiği gibi güneş hücresi olacak şekilde paketlenmesi yapılmış ve güneş hücresi karakteristik ölçümlerine geçilmiştir. Çözelti miktarına bağlı olarak elektron şeffaf tabakasının kalınlığının artması ile hücredeki akım yoğunlukları artış göstermiştir (Şekil 4.28). En kalın yapıya eklenen boya ile hassas hale getirilen güneş hücresinin, elektron mobilitesine bağlı olarak akım yoğunluğunun dolayısıyla veriminin artış kaydettiği görülmüştür (Şekil 4.29).

Boya duyarlı güneş hücresinin çalışma prensibi özetle dört aşamada açıklanabilir;

1. Güneş ışığından kaynaklanan fotonlar, geçirgen bir cam yardımı ile foto aktivitesi yüksek boya moleküllerine çarparak onları uyarırlar. Uyarılan boya molekülleri, n-tipi taşıyıcı nano parçacıklı metal oksit katmanı (ZnO , SnO_2) tarafından çekilir.
2. Boya molekülleri bu tepkime sonucunda pozitif yüklü duruma geçer (yükseltgenir).
3. Elektrolit, yükseltgenen boya moleküllerini tekrar nötr (doğal) hallerine çevirir. Böylece boya molekülleri doğal hallerine geri dönerken elektrolit yükseltgenmiş olur.
4. Elektrolit tekrar katot yüzeyinde, elektrik devresinde kullanılan elektronlar ile indirgenir, böylece elektrik çevrimi tamamlanmış olur.

Dolayısıyla boya duyarlı güneş pilleri mekanizma açısından daha basit bir yapıya sahiptir.

Bu arada bütün bunlar ne için yapılmaktadır? Yani halihazırda mevcut güneş pilleri varken ne için uğraşıyoruz? sorusunun cevabı olarak bir güneş pili malzemesinin nasıl olması gerektiği konusunda elde edilen sonuçlardan yola çıkarak şunları söyleyebiliriz: ZnO nanoçubuklu elektron şeffaf tabakalar güneş hücreleri için direkt band aralıklı olması, kolaylıkla elde edilebilir olmaları, zehirsiz olmaları, iyi bir fotovoltaiik dönüşüm verimine sahip olmaları, yüksek soğurma katsayısına sahip olmaları ve uzun süre dayanıklılık göstermeleri nedeniyle uygun bir yapıdır. Ayrıca bu şeffaf tabakaya carmine boyası (veya alternatif olarak metilen mavisi ve yeşili) eklenerek güneş hücrelerinin verim yüzdeleri artırılabilir.



KAYNAKLAR

- Akman, E., Akin, S., Karanfil, G. and Sönmezoğlu, S., 2013. Organik Güneş Pilleri. Trakya University Journal of Engineering Sciences, 14 (1), 1-30.
- Akyüz, İ., 2000. Püskürtme tekniği ile elde edilen $Zn_{1-x}Cd_xS$ filmlerinin bazı fiziksel özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Osman Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Al-Hajry, A., Umar, A., Hahn, Y. and Kim, D., 2009. Growth, properties and dye-sensitized solar cells—applications of ZnO nanorods grown by low-temperature solution process. Superlattices and Microstructures, 45 (6), 529-534.
- Amanullah, F.M., Pratap, K.J. ve Babu, V.H., 1998. "Compositional analysis and depth profile studies on undoped and doped tin oxide films prepared by spray technique," Materials Science and Engineering B, 52, 93-98
- Anonim, 2015. ([www.alternaturk.org/ ruzgar_yer.php](http://www.alternaturk.org/ruzgar_yer.php), 06.10.2015).
- Anonim, 2011ç Güneş. <http://tr.wikipedia.org/wiki/G%C3%BCne%C5%9F> 27.09.2011
- Anonim, 2018. https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laurates/1925/zsigmondy-facts.html
- Anta, J.A., Guillén, E. and Tena-Zaera, R., 2012. ZnO-based dye-sensitized solar cells. The Journal of Physical Chemistry C, 116 (21), 11413-11425.
- Aydoğan, Ş., 2011. Katıhal fiziği. Nobel Yayın Dağıtım.
- Bahar, 2009. <http://www2.aku.edu.tr/~hitit/dersler/bahar/malzeme%20karakterizasyon%20teknikleri/taramalı%20elektron%20mikroskopu%5B6%5D.pdf>, (05.04.2011).
- Balkan, N. and Erol, A., 2005. Çevremizdeki fizik. TÜBİTAK.
- Batzill, M., Diebold, U., 2005. The surface and materials science of tin oxide (Review). Progress in Surface Science, 79(2-4), 47–154.
- Baxter, J.B., Walker, A., Van Ommering, K. and Aydil, E., 2006. Synthesis and characterization of ZnO nanowires and their integration into dye-sensitized solar cells. Nanotechnology, 17 (11), S304.
- Bedeloğlu, A., Demir, A. and Bozkurt, Y., 2010. Fotovoltaik teknolojisi: Türkiye ve dünyadaki durumu, genel uygulama alanları ve fotovoltaik tekstiller. Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4 (2), 43-58.
- Boz, O.H., 2011. Günümüzün alternatif enerji kaynağı: Fotovoltaik güneş pilleri.
- Büyükköroğlu, A. Y., Sol Jel Spin Kaplama Metodu ile Elde Edilen SnO_2 Filmlerinin Optik ve Yapısal Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2010.
- Cao, Y., Galoppini, E., Reyes, P.I., Duan, Z. and Lu, Y., 2012. Morphology effects on the biofunctionalization of nanostructured ZnO. Langmuir, 28 (21), 7947-7951.
- Çetinkaya, H.B., 2001. Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Elde Edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, 2-10.
- Chul Yi, G., Wang, C., Park, W., 2005. ZnO nanorods: synthesis, characterization and applications, Semiconductor Science and Technology, 20:22-34
- Cuel, R., Delteil, A., Louis, V. and Rizzi, C., 2004. Knowledge web technology roadmap" the technology roadmap of the semantic web. Knowledge Web.

- Das, S. and Morris, G., 1993. Preparation and characterisation of electrodeposited n-CdS/p-CdTe thin film solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 28 (4), 305-316.
- EIE, 2009. Electrical Power Resources Survey and Development Administration, 2009. Renewable energy activities of the EIE. <http://www.eie.gov.tr/>
- Elangovan, E., Singh, M. and Ramamurthi, K., 2004. Studies on structural and electrical properties of spray deposited SnO₂: F thin films as a function of film thickness. *Materials Science and Engineering: B*, 113 (2), 143-148.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2013. <http://www.eie.gov.tr>
- Erdoğan, N. H., 2010. P- tipi çinko oksit (ZnO) yarıiletken ince filminin atmalı katodik vakum ark depolama yöntemi ile elde edilmesi ve karakterizasyonu. Ç.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 1-189.
- Ergin, B., Ketenci, E., Atay, F., 2009. Characterization of ZnO films obtained by ultrasonic spray pyrolysis technique, *International Journal of Hydrogen Energy* 34:5249–5254
- Ferguson, C.D., 2007. Nuclear energy: balancing benefits and risks. Council on Foreign Relations Press.
- Feynman, R.P., 1992. There's plenty of room at the bottom [data storage]. *Journal of microelectromechanical systems*, 1 (1), 60-66.
- Galoppini, E., Rochford, J., Chen, H., Saraf, G., Lu, Y., Hagfeldt, A. and Boschloo, G., 2006. Fast electron transport in metal organic vapor deposition grown dye-sensitized ZnO nanorod solar cells. *The Journal of Physical Chemistry B*, 110 (33), 16159-16161.
- Gençoğlu, M.T. and Cebeci, M., 2000. Türkiye'nin Enerji Kaynakları Arasında Güneş Enerjisinin Yeri ve Önemi.
- Godbole, B., Badera, N., Shrivastav, S. B. And Ganesan, V., 2009. A simple chemical spray pyrolysis apparatus for thin film preparation, *Journal- Instrument Society of India* , 39(1), 42-45.
- Goetzberger, A. and Hebling, C., 2000. Photovoltaic materials, past, present, future. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 62 (1-2), 1-19.
- Golshahi, S., Rozati, S.M., Martins, R., Fortunato, E., 2009. P-type ZnO thin film deposited by spray pyrolysis technique: The effect of solution concentration, *Thin Solid Films*, 518:1149–1152
- Gratzel, M., 1991. The Artificial Leaf, *Molecular Photovoltaics Achieve Efficient Generation of Electricity from Sunlight*, *Comments on Inorganic Chemistry*, 12:2-3, 93-111
- Hagfeldt, A. and Graetzel, M., 1995. Light-induced redox reactions in nanocrystalline systems. *Chemical Reviews*, 95 (1), 49-68.
- Holdridge, G.M., 2007. The role of the US government in nanoscale science and technology. *Nanotechnology*, 63.
- Holleman, A.F. ve Wiberg, E., *Inorganic chemistry*, San Diego: Academic Press, 2001.
- Hsu, Y.F., Xi, Y.Y., Tam, K.H., Djurišić, A.B., Luo, J., Ling, C.C., Cheung, C.K., Ng, A.M.C., Chan, W.K. and Deng, X., 2008. Undoped p- Type ZnO Nanorods Synthesized by a Hydrothermal Method. *Advanced Functional Materials*, 18 (7), 1020-1030.
- Anonim, 2018a. <http://diyot.net/enerji-seviyeleri-ve-bant-yapilari/>
- Anonim, 2018b. <http://web.itu.edu.tr/~kaymak/PV.html>

- Anonymous, 2018. <https://britishmuseum.tumblr.com/post/120689869617/the-lycurgus-cup>
- Hullmann, A., 2006. Who is winning the global nanorace? *Nature Nanotechnology*, 1 (2), 81-83.
- Hummel, R.E., 1993, *Electronic Properties of Materials*, 2 ed; Springer-Verlag İstemi, Ü. Enerji Gündemi ve Sorunlarımız, TMMOB, EMO Yayını, Ankara, 2004.
- Jain, G. and Kumar, R., 2004. Electrical and optical properties of tin oxide and antimony doped tin oxide films. *Optical materials*, 26 (1), 27-31.
- Jones, R.A.L., 2007. *Soft machines: nanotechnology and life*. Oxford University Press.
- Kalogirou, S.A., 2004. Solar thermal collectors and applications. *Progress in energy and combustion science*, 30 (3), 231-295.
- Karamanav, M., 2007. Güneş enerjisi ve güneş pilleri. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 86s, Sakarya.
- Kärber, E., Abass, A., Khelifi, S., Burgelman, M., Katerski, A. and Krunks, M., 2013. Electrical characterization of all-layers-sprayed solar cell based on ZnO nanorods and extremely thin CIS absorber. *Solar Energy*, 91, 48-58.
- Kaushal, A., Pathak, D., Bedi, R.K., Kaur, D., 2009. Structural, electrical and optical properties of transparent Zn_{1-x}MgxO nanocomposite thin films, *Thin Solid Films*, 518:1394–1398
- Kavak, H., Erdogan, N., Kara, K., Yanis, H., Baz, Z. and Esen, R., 2009. Characterization of n and p Type ZnO Thin Films Deposited by Cathodic Pulsed Filtered Vacuum Arc System. *International Journal of Modern Physics B*, 23 (06n07), 1719-1724.
- Ko, S.H., Lee, D., Kang, H.W., Nam, K.H., Yeo, J.Y., Hong, S.J., Grigoropoulos, C.P. and Sung, H.J., 2011. Nanoforest of hydrothermally grown hierarchical ZnO nanowires for a high efficiency dye-sensitized solar cell. *Nano letters*, 11 (2), 666-671.
- Kolemen, S., Bozdemir, O.A., Cakmak, Y., Barin, G., Erten-Ela, S., Marszalek, M., Yum, J.-H., Zakeeruddin, S.M., Nazeeruddin, M.K. and Grätzel, M., 2011. Optimization of distyryl-Bodipy chromophores for efficient panchromatic sensitization in dye sensitized solar cells. *Chemical Science*, 2 (5), 949-954.
- Krebs, F.C., Fyenbo, J. and Jørgensen, M., 2010. Product integration of compact roll-to-roll processed polymer solar cell modules: methods and manufacture using flexographic printing, slot-die coating and rotary screen printing. *Journal of Materials Chemistry*, 20 (41), 8994-9001.
- Kroon, J., Bakker, N., Smit, H., Liska, P., Thampi, K., Wang, P., Zakeeruddin, S., Grätzel, M., Hinsch, A. and Hore, S., 2007. Nanocrystalline dye- sensitized solar cells having maximum performance. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 15 (1), 1-18.
- Krunks, M., Kärber, E., Katerski, A., Otto, K., Oja Acik, I., Dedova, T., Mere, A., 2010. Extremely thin absorber layer solar cells on zinc oxide nanorods by chemical spray, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 94:1191–1195
- Lee, J.H., Park, B.O., 2004.Characteristics of Al-doped ZnO thin films obtained by ultrasonic spray pyrolysis: effects of Al doping and an annealing treatment, *Materials Science and Engineering B* 106:242–245

- Lin, C.-C., Chiang, M.-C. and Chen, Y.-W., 2009. Temperature dependence of fluorine-doped tin oxide films produced by ultrasonic spray pyrolysis. *Thin Solid Films*, 518 (4), 1241-1244.
- Lindberg, V. and Mäki, J.-P., 2010. SKF dual axis solar tracker-From concept to product.
- Liu, B. and Aydil, E.S., 2009. Growth of oriented single-crystalline rutile TiO₂ nanorods on transparent conducting substrates for dye-sensitized solar cells. *Journal of the American Chemical Society*, 131 (11), 3985-3990.
- Lupan, O., Guérin, V., Tiginyanu, I., Ursaki, V., Chow, L., Heinrich, H. and Pauporté, T., 2010. Well-aligned arrays of vertically oriented ZnO nanowires electrodeposited on ITO-coated glass and their integration in dye sensitized solar cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 211 (1), 65-73.
- Ma, T.Y., Shim, D. K., 2002. Effects of rapid thermal annealing on the morphology and electrical properties of ZnO/In films, *Thin Solid Films*, 410:8-13
- Mane, R.S., Lee, W.J., Pathan, H.M. and Han, S.-H., 2005. Nanocrystalline TiO₂/ZnO thin films: fabrication and application to dye-sensitized solar cells. *The Journal of Physical Chemistry B*, 109 (51), 24254-24259.
- Martinson A.B.F., McGarrah J.E., Parpia K., Hupp J.T., Dynamics of charge transport and recombination in ZnO nanorod array dye-sensitized solar cells, *Physical Chemistry* 8 (2006) 4655-4659.
- Matsumoto, Y., Hirata, G., Takakura, H., Okamoto, H. and Hamakawa, Y., 1990. A new type of high efficiency with a low-cost solar cell having the structure of a μ c-SiC/polycrystalline silicon heterojunction. *Journal of Applied Physics*, 67 (10), 6538-6543.
- Mazı, F., 2003 'Küresel Isınma Avrupa Birliği ve Türkiye', Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ankara
- McClellan, J.E., Dorn, H., Yalçın, H. and Alev, M., 2006. Dünya tarihinde bilim ve teknoloji. Arkadaş Yayınevi.
- Melillo, J.M., Richmond, T. and Yohe, G., 2014. Climate change impacts in the United States. Third National Climate Assessment.
- Mol, A. M. B. V., 2003. Chemical vapour deposition of tin oxide thin films. Ph. D. Thesis, Eindhoven University, Holland.
- Murakami, K., Nakajima, K., Kaneko, S., 2007. Initial growth of SnO₂ thin film on the glass substrate deposited by the spray pyrolysis technique. *Thin Solid Films*, 515(24), 8632–8636.
- O'regan, B. and Grätzel, M., 1991. A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized. *Nature*, 353 (6346), 737-740.
- Özdemir, F. Ö. Yenilenebilir Enerji Kavramı ve Ülkemizdeki Durumu, *Gencay Dergisi*, Aralık 2012
- Özgür, Ü., Alivov, Ya. I., Liu, C., Teke, A., Reshchikov, M. A., Doğan, S., Avrutin, V., Cho, S. J., ve Morkoç, H., 2005. A comprehensive review of ZnO materials and devices *Journal of applied physics* 98, 041301.
- Park, S.S. ve Mackenzie, J.D., "Sol-gel-derived tin oxide thin films," *Thin Solid Films*, 258, 268-273, 1995.
- Pawar, B.N., Cai, G., Ham, D., Mane, R.S., Ganesh, T., Ghule, A., Sharma, R., Jadhava, K. and Han, S.-H., 2009. Preparation of transparent and conducting boron-doped

- ZnO electrode for its application in dye-sensitized solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 93 (4), 524-527.
- Polo, A.S., Itokazu, M.K., Iha, N.Y.M., 2004. Metal complex sensitizers in dye-sensitized solar cells, *Coordination Chemistry Reviews*, 248:1343-1361
- Ratner, M.A. and Ratner, D., 2003. *Nanotechnology: A gentle introduction to the next big idea*. Prentice Hall Professional.
- Ravichandran, K., Snega, S., Begum, N.J., Swaminathan, K., Sakthivel, B., Christena, L.R., Chandramohan, G. and Ochiai, S., 2014. Enhancement in the antibacterial efficiency of ZnO nanopowders by tuning the shape of the nanograins through fluorine doping. *Superlattices and Microstructures*, 69, 17-28.
- Şanlı, G., 2010. Parabolik oluk tipi güneş kolektörlerin teorik olarak incelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sarikaya Y., 2003, *Fizikokimya*, Gazi Kitabevi, Ankara
- Seow, Z., Wong, A., Thavasi, V., Jose, R., Ramakrishna, S. and Ho, G., 2008. Controlled synthesis and application of ZnO nanoparticles, nanorods and nanospheres in dye-sensitized solar cells. *Nanotechnology*, 20 (4), 045604.
- Serin, T., Serin, N., Karadeniz, S., Sarı, H., Tuğluoğlu, N. and Pakma, O., 2006. Electrical, structural and optical properties of SnO₂ thin films prepared by spray pyrolysis. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 352 (3), 209-215.
- Shelke, V., Bhole, M. and Patil, D., 2013. Effect of open air annealing on spin coated aluminum doped ZnO nanostructure. *Materials Chemistry and Physics*, 141 (1), 81-88.
- Shelke, V., Sonawane, B., Bhole, M. and Patil, D., 2009. Effect of annealing temperature on the optical and electrical properties of aluminum doped ZnO films. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 355 (14), 840-843.
- Sipahi, E.B., 2010. Küresel Çevre Sorunlarına Kolektif Çözüm Arayışları ve Yönetişim/Collective Solutions For Global Environmental Problems and Governance. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* (24), 331.
- Sonmez, E., Aydin, S., Yilmaz, M., Yurtcan, M.T., Karacali, T. and Ertugrul, M., 2012. Study of structural and optical properties of zinc oxide rods grown on glasses by chemical spray pyrolysis. *Journal of Nanomaterials*, 2012, 3.
- Sonmez, E., Karacali, T., Ekinci, A.E. and Ertugrul, M., 2011. Optical properties of ZnO nanorods on glass via spray deposition of solution containing zinc chloride and thiourea. *IEEE Transactions on Nanotechnology*, 10 (3), 532-536.
- Steiner, T., *Nanostructures for Optoelectronic Applications*, Artech House Inc., London, 2004.
- Suliman A.E., Tang Y. and Xu L., Sol., 2007, Preparation of ZnO nanoparticles and nanosheets and their applications to dye-sensitized solar cells, *Energy Mater. Sol. Cells* 91 (2007) 1658pp.
- Tatar, D. and Düzgün, D., 2012. The relationship between the doping levels and some physical properties of SnO₂:F thin films spray-deposited on optical glass, *Pramana Journal of Physics*, 79(1), 137-150.
- Temurçin, K. and Aliagaoglu, A., 2003. Nükleer Enerji ve Tartışmalar Işığında Türkiye’de Nükleer Enerji Gerçeği. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 1 (2), 25-39.
- Toklu, E., Guney, M.S., Isık, M., Comaklı, K. and Kaygusuz, K. 2010. Energy production, consumption, policies and recent developments in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (14):1172-1186.

- Toplan, H.Ö.,1998. Kimyasal Yöntemle Üretilen Düşük Voltajlı Varistörlerin Mikro yapısal ve Elektriksel Özelliklerinin incelenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri, Sakarya Üniversitesi
- Turgut, G., 2014. Spray pyrolysis yöntemi ile elde edilen farklı antimon katkılı SnO₂ ve SnO₂:Sb(ATO) ince filmlerinin bazı fiziksel özelliklerinin araştırılması Doktora Tezi. Atatürk üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Erzurum
- Turgut, G., Keskenler, E. F., Aydın, S., Sönmez, E., Soğan, S., Düzgün, B., Ertuğrul, M., 2013. Effect of Nb doping on structural, electrical and optical properties of spray deposited SnO₂ thin films. Superlattices and Microstructures, 56, 107-116.
- Uğurlu, Ö., 2006. Türkiye’de Çevresel Güvenlik Bağlamında Sürdürülebilir Enerji Politikaları. Yayınlanmamış Doktora Tezi, AÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Ünsal, İ. and Önöz, B., 2006. Hidrolik kaynaklarımızın değerlendirilmesi. İTÜ Enerji Çalıştay ve Sergisi, İstanbul.
- Winder, C. and Sariciftci, N.S., 2004. Low bandgap polymers for photon harvesting in bulk heterojunction solar cells. Journal of Materials Chemistry, 14 (7), 1077-1086.
- Yakıncı, Z.D. And Kök, M., Yenilenebilir Enerji Ve Toplum Sağlığı.
- Yerebakan, M., Mikro Enerji Santralleri, İstanbul Ticaret Odası (İTO) Yayınları, İstanbul, 2008, s.225 (<http://www.ito.org.tr/itoyayin/0019355.pdf>)
- Yi, G.-C., Wang, C. and Park, W.I., 2005. ZnO nanorods: synthesis, characterization and applications. Semiconductor Science and Technology, 20 (4), S22.
- Yorkan, A., 2009. Avrupa Birliği’nin enerji politikası ve Türkiye’ye etkileri. Bilge Strateji.
- Yubero, F., Jimenez, V.M. ve Elipe, A.R.G., 1998. “Optical properties and electronic transitions of SnO₂ thin films by reflection electron energy loss spectroscopy,” Surface Science, 400, 116-126
- Zaouk, D., Zaatar, Y., Khoury, A., Llinares, C., Charles, J.-P. and Bechara, J., 2000. Electrical and optical properties of pyrolytically electrostatic sprayed fluorine-doped tin-oxide: Dependence on substrate-temperature and substrate-nozzle distance. Journal of Applied Physics, 87 (10), 7539-7543.
- Zhao, Z.W., Chen, X.J., Tay, B.K., Chen, J.S., Han, Z.J., Khor, K.A., 2007. A novel amperometric biosensor based on ZnO:Co nanoclusters for biosensing glucos Biosensors and Bioelectronics 23 :135–139e
- Zhenguo, J., Ldna Z., Zuopen G.H., Qdang, Z. ve Chen, C., 2006. “Transparent p-type conducting indium-doped SnO₂ thin films deposited by spray pyrolysis,”MaterialsLetters,60,1387-1389.

ÖZGEÇMİŞ

Giresun’da 1991 yılında doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Giresun’da tamamladı. 2009 yılında girdiği Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fizik Bölümü’nden 2010 yılında Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Fizik Bölümü’ne yatay geçiş yaptı. 2014 yılında bölüm birincisi olarak mezun oldu. 2018 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Nanomalzeme Bölümü’nde yüksek lisansını bitirdi.

