

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GÜNEŞ PİLLERİNDE KULLANILAN ZnO, CdS, CdSe VE PbS İNCE
FİLMLEİN KİMYASAL BANYO BİRİKTİRME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMESİ VE
KARAKTERİSAZYONU**

DOKTORA TEZİ

METEHAN ÖNAL

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. BARIŞ ALTIOKKA

BİLECİK, 2024

10637820

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GÜNEŞ PİLLERİNDE KULLANILAN ZnO, CdS, CdSe VE PbS İNCE
FİLMLEİN KİMYASAL BANYO BİRİKTİRME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMESİ VE
KARAKTERİSAZYONU**

DOKTORA TEZİ

METEHAN ÖNAL

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. BARIŞ ALTIOKKA

BİLECİK, 2024

10637820

BEYAN

“Güneş Pillerinde Kullanılan ZnO, CdS, CdSe ve PbS İnce Filmlerin Kimyasal Banyo Biriktirme Yöntemi ile Üretilmesi ve Karakterizasyonu” adlı doktora tezinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmamın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.			
DESTEK ALINMIŞTIR		☐	DESTEK ALINMAMIŞTIR
☒			
Destek alındı ise;			
Destekleyen Kurum:			
Desteğin Türü		Proje Numarası	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)	☐		
2- TÜBİTAK	☐		
3- Diğer:	☐		
ETİK KURUL Onayı ☒			
ETİK KURUL karar tarih/sayı		14.05.2020/9	

Metehan ÖNAL

.../.../2024

İmza

ÖN SÖZ

Lisansüstü eğitimim boyunca katkılarını esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Barış ALTIOKKA'ya, , tez çalışmam boyunca deneyimlerini paylaşarak çalışmalarına yön veren hocalarım Doç. Dr. Sabiha AKSAY, Doç. Dr. Sinan TEMEL'e ve desteğini her zaman hissettiğim arkadaşım Dr. Öğr. Üyesi Bülent TURAN'a katkı ve emekleri için teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eşim Yasemin ÖNAL, çocuklarım Hakan Selçuk ÖNAL ve Kağan Demir ÖNAL'a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Metehan ÖNAL

2024

ÖZET

GÜNEŞ PİLLERİNDE KULLANILAN ZnO, CdS, CdSe VE PbS İNCE FİLMLERİN KİMYASAL BANYO BİRİKTİRME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMESİ VE KARAKTERİSAZYONU

Modern dünyanın en temel ihtiyacı enerjidir. Ekonomik, siyasi ve coğrafi faktörler, enerji arzının güvenliği ve sürekliliğini tarih boyunca etkilemiş ve etkilemeye devam etmektedir. Bu durum fosil yakıtlara alternatif olabilecek teknolojilere olan ilgiyi artırmıştır. Güneş enerjisi, alternatif enerji kaynakları arasında sürdürülebilir ve çevre dostu bir seçenek olarak öne çıkar. Uygulanabilirliği, bağımsızlığı ve uzun ömürlü olması gibi üstün özelliklere sahiptir. Bu çalışmada, güneş pillerinin yanı sıra çeşitli optoelektronik cihazlar, lazer diyotlar, piezoelektrik dönüştürücüler, gaz ve nem sensör uygulamaları gibi geniş kullanım alanına sahip yarıiletken ince filmler Kimyasal Banyo Biriktirme (KBB) yöntemi ile üretildi. II-VI grubu yarıiletkenlerden çinko oksit (ZnO), kadmiyum sülfür (CdS) ve kadmiyum selenyum (CdSe), IV-VI grubu yarıiletkenlerden ise kurşun sülfür (PbS) araştırılmıştır.

ZnO ince filmlerin üretimi sırasında inhibitör olarak sodyum tiyosülfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), CdS ince filmlerin üretimi sırasında ise sodyum sülfid (Na_2SO_3) kullanılmıştır. PbS ince filmler üretilirken çözelti sıcaklıkları 20°C 'den 0°C 'ye düşürülmüştür. CdSe ince filmleri kimyasal banyo biriktirme yöntemi ile üretilirken kadmiyum klorür (CdCl_2), Etilen diamin tetra asetik asit (EDTA), amonyak (NH_3), selenourea ($\text{CSe}(\text{NH}_2)_2$) ve Na_2SO_3 ilk kez bir arada kullanılmıştır. Üretilen filmlerin optik, yapısal ve morfolojik özellikleri sırası ile UV-vis, FTIR, XRD ve SEM analizleri yapılarak incelenmiştir.

ZnO ince filmleri üretilirken inhibitör olarak $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ kullanılmasının, üretilen ince filmlerin geçirgenlik değerlerinde ve enerji bant aralıklarında önemli bir artışa neden olduğu, kristal yapıdaki safsızlıkları giderdiği ve kullanılan inhibitör miktarı arttıkça film yüzeylerindeki nano çiçeklerin azaldığı sonucuna varılmıştır. CdS ince filmleri üretilirken, Na_2SO_3 'ün inhibitör olarak kullanılması filmlerin kristal yapısının kübik fazdan altıgen faza kaymasına, filmlerin enerji bant aralıklarının 2.35 eV 'den 2.49 eV 'ye yükselmesine ve altıgen yapıda elde edilen filmlerin yüzey pürüzlülük değerlerinde azalmaya neden olmuştur. CdSe ince filmlerin üretiminde kullanılan yöntem, altıgen yapıya sahip CdSe ince filmlerin oda sıcaklığında ve tavlama ihtiyacı duymadan üretilebileceğini göstermiş, cam tabanlara iyi yapışan deliksiz ve çatlaksız ince filmler

oldukça kısa biriktirme sürelerinde üretilmiştir. Ayrıca optik ölçümlerden elde edilen veriler kullanılan Na_2SO_3 miktarının optimize edilmesiyle filmlerin soğurma ve geçirgenlik değerlerinin kontrol edilebileceği sonucuna ulaşmamıza neden olmuştur. PbS ince filmler üretilirken çözelti sıcaklığının düşürülmesi kristalit boyutlarının azalmasına, yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olmuştur. XRD sonuçları 10 ve 15 °C’de elde edilen filmlerin pik şiddetlerinin diğer filmlere göre daha yüksek olduğunu, SEM görüntüleri ise 10 °C’de üretilen film yüzeyinde delik ve çatlaklar olmadığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: ZnO, CdS, CdSe, PbS, Kimyasal banyo biriktirme

ABSTRACT

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF ZnO, CdS, CdSe AND PbS THIN FILMS USED IN SOLAR CELLS BY CHEMICAL BATH DEPOSITION METHOD

The most basic need of the modern world is energy. Economic, political, and geographical factors have affected and continue to affect the security and continuity of energy supply throughout history. This situation has increased interest in technologies that could be alternatives to fossil fuels. Solar energy stands out as a sustainable and environmentally friendly option among alternative energy sources. It has superior features such as applicability, independence, and longevity.

In this study, semiconductor thin films, which have a wide range of uses such as solar cells, various optoelectronic devices, laser diodes, piezoelectric transducers, gas, and humidity sensor applications, were produced by the Chemical Bath Deposition (CBD) method. Zinc oxide (ZnO), cadmium sulfide (CdS) and cadmium selenide (CdSe) from group II-VI semiconductors, and lead sulfide (PbS) from group IV-VI semiconductors were investigated.

Sodium thiosulfate ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) was used as an inhibitor during the production of ZnO thin films, and sodium sulfite (Na_2SO_3) was used as an inhibitor during the production of CdS thin films. While producing PbS thin films, solution temperatures were reduced from 20°C to 0°C . While CdSe thin films were produced by the chemical bath deposition method, cadmium chloride, EDTA, ammonia, selenourea ($\text{CSe}(\text{NH}_2)_2$) and sodium sulfite were used together for the first time. The optical, structural and morphological properties of the produced films were examined by UV-vis, FTIR, XRD and SEM analyses, respectively.

It has been concluded that using $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ as an inhibitor when producing ZnO thin films causes a significant increase in the absorbance values and energy band gaps of the produced thin films and removes impurities in the crystal structure. Additionally, it was observed that as the amount of inhibitor used increased, the nano flowers on the film surfaces decreased. While producing CdS thin films, the use of Na_2SO_3 as an inhibitor caused the crystal structure of the films to shift from the cubic phase to the hexagonal

phase, the energy band gaps of the films increased from 2.35 eV to 2.49 eV, and caused a decrease in the surface roughness values of the films obtained in the hexagonal structure.

The method used in the production of CdSe thin films has shown that CdSe thin films with hexagonal structure can be produced at room temperature and without the need for annealing. Thin films without pinholes or cracks that adhere well to glass substrates were produced in very short deposition times. In addition, the data obtained from optical measurements led us to conclude that the absorption and permeability values of the films can be controlled by optimizing the amount of Na_2SO_3 used. While producing PbS thin films, decreasing the solution temperature caused the crystallite sizes to decrease and the surface roughness to increase. XRD results showed that the peak intensities of the films obtained at 10 and 15 °C were higher than the other films, and SEM images showed that there were no pinholes and cracks on the surface of the film produced at 10 °C.

Keywords: ZnO, CdS, CdSe, PbS, Chemical bath deposition

İÇİNDEKİLER

ÖN SÖZ	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar LİSTESİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Yarıiletkenler	2
1.2. Yarıiletken İnce Filmler	3
1.3. İnce Film Üretim Teknikleri	4
1.4. Kimyasal Banyo Biriktirme Tekniği	5
1.5. Analiz Teknikleri	7
1.5.1. UV-Vis Spektroskopisi	7
1.5.2. Fourier Dönüşümü Kızılötesi spektroskopisi (FTIR)	8
1.5.3. X-ışını kırınımı	10
1.5.4. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)	11
2. ZnO İNCE FİMLERİN ÜRETİLMESİ VE İNCELENMESİ	13
2.1. Literatür Taraması	13
2.2. Kimyasal Banyo Biriktirme Yöntemi ile Üretilen ZnO İnce Filmler Üzerinde Düşük Reaksiyon Hızının Etkileri	16
2.3. DeneySEL Detaylar	16
2.4. ZnO Filmlerinin Yapısal Analizi	17
2.5. ZnO Filmlerin Optik Özellikleri	20
2.6. ZnO Filmlerin SEM Analizi	22
2.7. ZnO Filmlerinin Görsel Analizi	26
3. CdS İNCE FİMLERİN ÜRETİLMESİ VE İNCELENMESİ	27
3.1. Literatür Taraması	27
3.2. İnhibitör Olarak Kullanılan Sodyum Sülfidin Kimyasal Banyo Biriktirme Yoluyla Elde Edilen CdS Filmleri Üzerindeki Etkileri	31
3.3. DeneySEL Detaylar	32
3.4. CdS Filmlerinin Yapısal Analizi	33
3.5. CdS Filmlerinin Optik Özellikleri	36

3.6. CdS Filmlerinin FTIR Analizi	39
3.7. CdS Filmlerinin SEM Analizi.....	40
3.8. CdS Filmlerinin Görsel Analizi	44
4. CdSe İNCE FİLMLERİN ÜRETİLMESİ VE İNCELENMESİ.....	45
4.1. Literatür Taraması	45
4.2. CdSe İnce Filmlerin Kimyasal Banyo Biriktirme ile Üretilmesinde Yeni Bir Yaklaşım.....	47
4.3. Deneysel Detaylar	48
4.4. CdSe Filmlerin Yapısal Analizi	49
4.5. CdSe Filmlerin Optik Özellikleri	52
4.6. CdSe Filmlerinin SEM Analizi	54
4.7. CdSe Filmlerinin Görsel Analizi.....	57
5. PbS İNCE FİLMLERİN ÜRETİLMESİ VE İNCELENMESİ.....	59
5.1. Literatür Taraması	59
5.2. Nispeten Düşük Çözelti Sıcaklıklarının Kimyasal Banyo Biriktirme Yöntemiyle Üretilen PbS Üzerindeki Etkileri	62
5.3. Deneysel Detaylar	63
5.4. PbS Filmlerinin Yapısal Analizi	64
5.5. PbS Filmlerinin SEM Analizi	68
5.6. PbS Filmlerinin Görsel Analizi.....	72
6. SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....	73
6.1. ZnO İçin Sonuçlar	73
6.2. CdS İçin Sonuçlar.....	74
6.3. CdSe İçin Sonuçlar.....	74
6.4. PbS İçin Sonuçlar	75
KAYNAKLAR.....	76

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 1.1. İnce film üretim teknikleri	5
Tablo 2.1. KBB yöntemiyle üretilen ZnO için deneysel koşullar.....	17
Tablo 2.2. ZnO için doku katsayıları.....	19
Tablo 2.3. ZnO filmlerin kristalit boyutları.....	19
Tablo 2.4. Üretilen ZnO filmlerinde $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ miktarına bağlı olarak değişen yüzey pürüzlülük değerleri	25
Tablo 3.1. KBB yöntemiyle üretilen CdS için deneysel koşullar.	33
Tablo 3.2. CdS ince filmlerin hesaplanan kristalit boyutları.....	35
Tablo 3.3. FWHM, kırınım açısı 2θ (derece), Miller indisleri (hkl), düzlemler arası boşluk (d) ve kafes sabitleri (a & c).....	36
Tablo 3.4. ImageJ yazılımı ile hesaplanan yüzey pürüzlülük değerleri	44
Tablo 4.1. KBB yöntemiyle biriktirilen CdSe için deneysel koşullar.....	49
Tablo 4.2. CdSe ince filmlerin hesaplanan kristalit boyutu değerleri.....	51
Tablo 4.3. ImageJ yazılımı ile hesaplanan yüzey pürüzlülük değerleri	56
Tablo 5.1. KBB yöntemiyle biriktirilen PbS için deneysel koşullar.....	63
Tablo 5.2. PbS ince filmlerin doku katsayıları	65
Tablo 5.3. PbS filmlerin kristal boyutları.....	66
Tablo 5.4. Dislokasyon Yoğunluğu ve Kafes Sabitleri	68
Tablo 5.5. ImageJ yazılımı ile hesaplanan yüzey pürüzlülük değerleri	72

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Enerji Bant Aralıkları.....	3
Şekil 1.2. KBB deney düzeneği.....	6
Şekil 1.3. İnce film yarıiletken ZnO için soğurma spektrumu örneği	8
Şekil 1.4. Soğurma ve yansıma ölçümleri için FTIR deneyinin kurulumu	9
Şekil 1.5. X-ışını kırınım modelinin şeması.....	10
Şekil 1.6. SEM temel bileşenleri şematik diyagramı.....	12
Şekil 2.1. Farklı inhibitör molariteleri kullanılarak elde edilen ZnO için XRD kırınım desenleri. a) 0 mM, b) 4 mM, c) 8 mM ve d) 16 mM $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	18
Şekil 2.2. ZnO ince filmlerin soğurma grafiği	20
Şekil 2.3. ZnO ince filmlerin geçirgenlik grafikleri	21
Şekil 2.4. ZnO ince filmlerin enerji bant aralıkları ve Tauc grafikleri	22
Şekil 2.5. 1 kX kat büyütülmüş SEM görüntülerinde farklı $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ miktarı a) 0 b) 4mM c) 8mM d) 16 mM.....	23
Şekil 2.6. Şekil 20kX büyütülmüş SEM görüntülerinde farklı $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ miktarı a) 0 b) 4mM c) 8mM d) 16 mM	24
Şekil 2.7. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ miktarına göre ZnO filmlerin yüzey pürüzlülük grafikleri a) 0mM b) 4mM	25
Şekil 2.8. ZnO ince filmlerinin fotoğrafları.	26
Şekil 3.1. a) CIGS güneş pillerinin yapısının şematik görünümü; b) CdTe güneş pillerinin yapısının şematik görünümü.....	27
Şekil 3.2. İnhibitör miktarına bağlı olarak oluşan CdS'nin X-ışını kırınım desenleri....	34
Şekil 3.3. CdS ince filmlerin soğurma grafiği.....	37
Şekil 3.4. CdS ince filmlerin geçirgenlik spektrumları	38
Şekil 3.5. Reaksiyon hızına bağlı olarak CdS ince filmlerin enerji bant aralıkları	39
Şekil 3.6. CdS ince filmlerin FTIR spektrumları	40
Şekil 3.7. CdS ince filmlerin 10 kX büyütmede elde edilen ve a) RR0 b) RR1 c) RR2 d) RR3 e) RR4'te elde edilen SEM görüntüleri.....	41

Şekil 3.8. CdS ince filmlerin 50 kX büyütmede elde edilen ve a) RR0 b) RR1 c) RR2 d) RR3 e) RR4'te elde edilen SEM görüntüleri.....	42
Şekil 3.9. a) RR0 b) RR1 c) RR2 d) RR3 e) RR4'te elde edilen CdS ince filmlerinin yüzey pürüzlülük grafikleri	43
Şekil 3.10. CdS filmlerinin fotoğrafı	44
Şekil 4.1. Na ₂ SO ₃ miktarına bağlı olarak oluşan CdSe' nin X-ışını kırınım modeli.....	50
Şekil 4.2. CdSe ince filmlerin soğurma grafiği	52
Şekil 4.3. CdSe ince filmlerin geçirgenlik spektrumları.....	53
Şekil 4.4. Na ₂ SO ₃ miktarına bağlı olarak CdSe ince filmlerin enerji bant aralıkları	54
Şekil 4.5. CdSe ince filmlerinin 40 kX büyütmede SEM görüntüleri	55
Şekil 4.6. CdSe filmlerin yüzey pürüzlülük grafikleri.....	56
Şekil 4.7. CdSe filmlerinin fotoğrafı	58
Şekil 5.1. PbS ince filmler için XRD kırınım desenleri.....	64
Şekil 5.2. 0°C, 5°C, 10°C, 15°C ve 20°C'de üretilen PbS ince filmler için Nelson Riley grafikleri	67
Şekil 5.4. 10 kX büyütülmüş SEM görüntüleri	69
Şekil 5.5. 30 kX büyütülmüş SEM görüntüleri	70
Şekil 5.6. PbS filmlerin yüzey pürüzlülük grafikleri	71
Şekil 5.7. PbS ince filmlerinin fotoğrafları.	72

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

Å: Angstrom

a: Kafes parametresi 1

β : X-ışını kırınım pikinin yarı yükseklikteki pik genişliğini

b: Kafes parametresi 2

c: Kafes parametresi 3

d: Düzlemler arası mesafe

D: Kristalit boyutu

Eg: Enerji bant aralığı

eV: Elektron volt

h: Plank sabiti

h ν : Foton enerjisi

I_(hkl): Kırınıma uğramış ışının şiddeti

I_{0(hkl)}: Filme gelen ışının şiddeti

m: Film kütlesi

n₁: Kırınım sayısı

t: Film kalınlığı

TC: Doku katsayısı

α : Soğurma katsayısı

δ : Dislokasyon yoğunluğunu

ρ : Film yoğunluğu

λ : X-ışını dalgaboyunu

θ : Bragg kırınım açısı

ν : Frekans

FTIR: Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi

IR: Kızılötesi

SEM: Taramalı elektron mikroskobu

UV: Ultraviyole

XRD: X ışını kırınımı

CdS: Kadmiyum sülfür
CdSe: Kadmiyum selenyum
CdO: Kadmiyum oksit
CdTe: Kadmiyum tellür
CdSO₄: Kadmiyum sülfat
Cu: Bakır
CuInS₂: Bakır indiyum sülfid
CuInSe₂: Bakır indiyum diselenit
CIGS: Bakır indiyum galyum selenit
CSe(NH₂)₂: Selenourea
CS(NH₂)₂: Tiyoüre
C₄H₆CdO₄: Kadmiyum asetat
Cd(CH₃COO)₂.2H₂O: Kadmiyum asetat dihidrat
EDTA: Etilen diamin tetra asetik asit
KOH: Potasyum hidroksit
NaOH: Sodyum hidroksit
Na₂SO₃: Sodyum sülfid
Na₂S₂O₃: Sodyum tiyosülfat
Na₂SeSO₃: Sodyum seleno sülfat
NH₃: Amonyak
NH₄Cl: Amonyum klorür
NH₄OH: Amonyum hidroksit
Pb(NO₃)₂: Kurşun nitrat
PbS: Kurşun sülfür
PbSe: Kurşun selenyum
S: Kükürt
Se: Selenyum
Sn: Kalay
TEA: Trietanolamin

ZnO: Çinko oksit

KBB: Kimyasal banyo biriktirme

MOCVD: Metal-organik kimyasal buhar biriktirme

SILAR: Ardışık iyonik katman adsorpsiyonu ve reaksiyonu



1. GİRİŞ

Elektrik üretmek için güneş enerjisinden yararlanmanın dünyadaki enerji krizine karşı en umut verici çözümlerden biri olduğu kabul gören bir gerçektir. Ancak güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmekte kullanılan güneş pillerinin, geleneksel kaynaklarla rekabet edebilmesi için güvenilir ve uygun maliyetli olması gerekmektedir. Güvenilirlik, uygun maliyet ve yüksek verimlilik konularında başarı elde etmek için silikon plakalar (wafer), ince filmler ve organikler de dâhil olmak üzere çeşitli güneş enerjisi teknolojileri araştırmacıların ilgi alanı olmuş ve olmaya devam etmektedir (T. D. Lee ve Ebong, 2017).

Elektronik dünyasındaki çağdaş ilerlemeler, yarıiletken malzeme teknolojilerindeki gelişmelerle sıkı bir bağa sahiptir. Muhtemelen yarıiletken alanındaki ilk önemli gözlem, 1833 yılında Michael Faraday tarafından gümüş sülfürün negatif bir sıcaklık direnç katsayısına sahip olduğunu bulduğunda yapılmıştır. Bu özellik gümüş sülfürü, sıcaklığın artmasıyla direnci artan diğer iletkenlerden (metallerden) ayırır. Becquerel'in 1839'da bir elektrolit içindeki elektrotun yüzeyine ışık tutmasıyla foto voltajın üretilebileceğini gözlemlemesi bir başka erken katkıydı. Bir sonraki önemli adım, W. Smith'in 1873'te selenyumun (Se) direncinin, üzerine ışık tutularak azaltılabileceğini (foto iletkenlik) keşfetmesiydi (Landsberg, 1958). Yarıiletkenler, elektriksel ve optik özelliklerinin araştırıldığı tarihten bu yana bilimsel çalışmaların merkezinde önemli bir yer edinmiştir. Sağlık, haberleşme ve bilişim teknolojileri, ulaşım ve savunma sanayii, gibi her alanda, yarıiletken teknolojisindeki yenilikler öncü rol oynamaktadır. Yarıiletken teknolojisindeki gelişmeler, üretim maliyetlerinin azalmasına, verimli ve yüksek güvenilirliğe sahip sistemlerin yaygınlaşmasına olanak sağlamıştır. Geçtiğimiz birkaç yıl, sayısız yarıiletken nano yapının foto dönüştürme süreçlerindeki uygulamalara aktarılmasına yönelik büyük bir ilgiye tanık olmuştur (Fang, 2018).

Bu tez çalışmasının amacı, güneş pilleri için de kullanılabilen II-VI grubu yarıiletkenlerden çinko oksit (ZnO), kadmiyum sülfür (CdS) ile kadmiyum selenyum (CdSe) ve IV-VI grubu yarıiletkenlerden kurşun sülfür (PbS) ince filmlerini Kimyasal Banyo Biriktirme (KBB) yöntemi ile farklı reaksiyon hızlarında cam tabanlar üzerinde biriktirmektir. Bu amaç için ZnO ince filmleri üretilirken inhibitör olarak sodyum tiyosülfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) ve CdS ince filmleri üretilirken inhibitör olarak sodyum sülfid

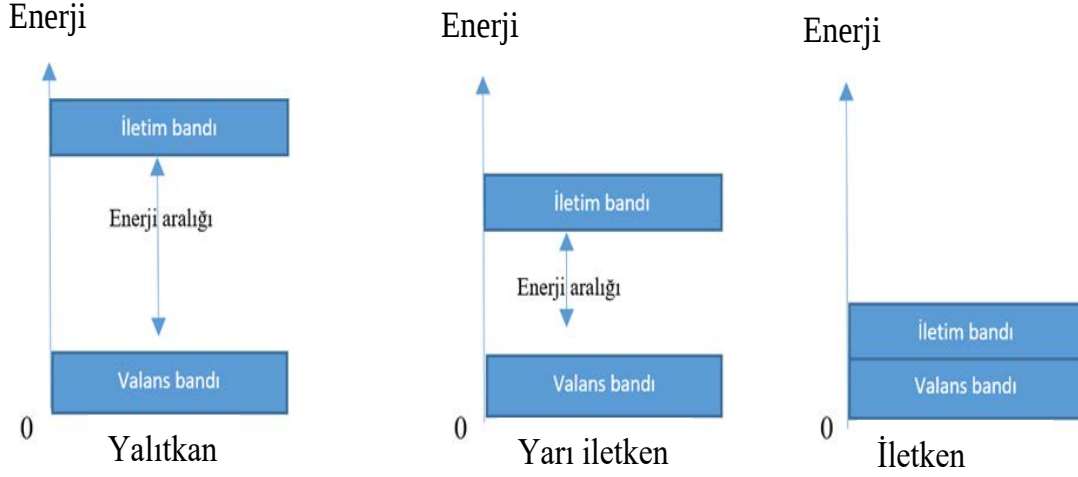
(Na₂SO₃) kullanılarak reaksiyon hızı düşürülmüştür. PbS ince filmlerin üretiminde reaksiyon hızını düşürmek için çözelti sıcaklıkları düşürülmüştür. CdSe ince filmleri üretilirken kullanılan kimyasallar ise ilk defa bir arada kullanılarak yeni bir yaklaşım ile CdSe ince filmlerinin cam tabanlar üzerinde biriktirilmesini sağlamıştır. Üretilen filmlerin optik, yapısal ve morfolojik özellikleri analiz edilmiştir. Bu etkiler sırası ile optik soğurma (veya iletim) spektroskopisi (UV-vis), Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi, x-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir.

1.1. Yarıiletkenler

Yarıiletkenler, elektriksel iletkenlik özellikleri ile metaller ile yalıtkanlar arasında bir konumda bulunan malzemelerdir (Streetman ve Banerjee, 1995). İletkenlerin öz direnci $10^{-6} \Omega\text{cm}$, yalıtkanların öz direnci $10^6 \Omega\text{cm}$ ve daha yüksek değerlerdeyken yarıiletkenlerin öz direnci 10^{-2} - $10^9 \Omega\text{cm}$ aralığındadır (V. S. R. Murthy, 2003). Yarıiletken malzemeler, mutlak sıfır (-273,15°C) sıcaklıkta tam anlamıyla yalıtkan özellik gösterirler. Ayrıca, yarıiletkenlerin özellikleri, ısı, ışık, mekanik etkiler gibi dış faktörlere oldukça duyarlıdır. Yarıiletkenlerin karakteristikleri, yapılarının değiştirilmesi yoluyla ayarlanabilir ve istenilen özelliklere göre uyarlanabilir (Zakir Allahverdiyev, 2000). Transistor, diyot, fotovoltaiik pil, detektör ve termistör gibi aygıtlar, yarıiletken malzemelerden üretilen elektronik cihazlardan bazılarıdır. Bu aygıtlar, tek başlarına devre elemanı olarak kullanılabileceği gibi, aynı zamanda entegre devrelerin birer bileşeni olarak da görev yapabilirler (Kittel, 1996).

Şekil 1.1. yalıtkan, yarıiletken ve iletkenlerin enerji bant aralıklarını temsil etmektedir (Metehan Önal, 2020). Enerji bant aralığı, iletim bandının en düşük enerji seviyesi ile valans bandının en yüksek enerji seviyesi arasındaki enerji farkını ifade eder. İletim bandının en düşük noktası iletim bant kıyısı, valans bandının en yüksek noktası ise valans bant kıyısı olarak isimlendirilmektedir (Kittel, 1996). Yarıiletkenlerin enerji bant aralığı değerleri 0,18 eV (İndiyum antimonid)(InSb) ile 3,6 eV (Çinko sülfür) (ZnS) arasında değişebilir (Streetman ve Banerjee, 1995). 0K'dan yüksek sıcaklıklarda, bazı elektronlar valans bandındaki yasak enerji aralığını aşacak kadar enerji kazanarak iletkenlik bandına geçebilirler. Bu elektronlar, elektriksel iletkenliğe katkı sağlarlar. Aynı zamanda, valans bandında oluşturdukları boşluklar da iletkenliğe katkıda bulunur.

İletkenlik elektronlarının ve boşlukların sayısı sıcaklık arttıkça arttığından, sıcaklık yükseldikçe iletkenliğin de artması kaçınılmazdır (Aydoğan, 2014). Bu malzemelerin iletkenlik seviyelerinin, dış faktörlere bağlı olarak değişebilir olması yarıiletken malzemelerin elektronik cihaz araştırmalarında tercih edilmesini sağlar.



Şekil 1.1. Enerji Bant Aralıkları

Kaynak: (Metehan Önal, 2020).

Yarıiletkenler, yapısına göre saf ve bileşik olarak iki sınıfa ayrılır. Yapısı tek kimyasal elementten oluşan saf yarıiletkenlere Silisyum (Si) ve Germanyum (Ge), yapısı iki ya da daha fazla elementten oluşan yarıiletkenlere ise Galyum arsenit (GaAs), Galyum nitrat (GaN), CdS, ZnS ve Galyum arsenit fosfat (GaAsP) örnek olarak verilebilir (Boylestad vd., 2002; Zakir Allahverdiyev, 2000).

1.2. Yarıiletken İnce Filmler

İnce filmler, kalınlıkları nanometre (nm) boyutlarından mikrometre (μm) boyutlarına kadar değişen malzeme katmanları olarak tanımlanır (Fayomi vd., 2019). İnce film biriktirme, bir alt taban malzemesi üzerine ince film kaplamalar oluşturma ve biriktirme işlemidir (Chaudhari, 2021). İnce film biriktirme teknolojisi, özellikle elektronik ve optik sektörlerdeki artan taleplerin bir sonucu olarak önemli ölçüde gelişme sağlamıştır. Film kalitesi ve özellikleri artırılmadan katı hal elektronik malzemelerinde yaşanan hızlı ilerlemenin gerçekleşmesi düşünülemezdi. İnce film biriktirme teknolojisindeki hızlı değişimler devam etmektedir ve bu durum, gelecekte daha karmaşık ve gelişmiş elektronik cihazların ortaya çıkmasını sağlayacaktır (Henini, 2000).

İnce film fotovoltaiğin önündeki büyük bir engel, geniş alanlarda kullanılabilen yüksek verimli yarıiletken ince filmlerin geliştirilmesidir. Fotovoltaiğin enerji pazarında rekabet edebilmek için, dönüşüm verimliliğini artırmanın yanı sıra önemli maliyet düşüşleri de sağlanmalıdır. Bu enerji kaynağındaki maliyet hedeflerine ulaşmak için geniş alanlarda yüksek verimle birlikte yüksek malzeme kalitesine erişim sağlanmalıdır (Schock, 1996).

İnce film, yeni oluşturulan malzemenin yüzey etkileşimlerini değiştirdiği için önemlidir; bu, ince filmlerin özelliklerinin genellikle yığın malzeme özelliklerinden önemli ölçüde farklı olabileceği anlamına gelir (Chaudhari, 2021). Günümüzde teknolojilerin çoğu, malzemeleri nano boyuta ve nano kalınlığa indirmek için kullanılmakta ve bu tür malzemelerin optik, elektrik, optoelektronik, dielektrik uygulamalar vb. alanlarda yeni ve benzersiz davranışlarının ortaya çıkmasına yol açmaktadır (Jilani vd., 2017).

1.3. İnce Film Üretim Teknikleri

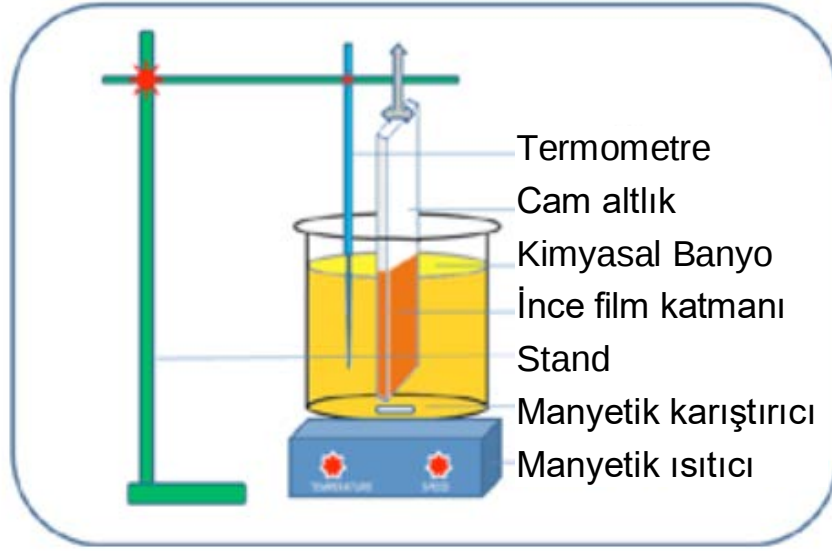
Günümüzde, teknolojik önemleri ve sahip oldukları özelliklerine olan bilimsel ilgi nedeniyle ince filmler şeklinde çeşitli malzemeler sentezlendi. Oldukça geniş bir uygulama yelpazesine sahip olan ince filmler nano yapılardan pencere camları üzerindeki birkaç metrekaresel alanlardaki kaplamalara kadar uygulanabilirler. İnce film üretiminin en güvenilir ve ucuz yöntemini bulmak için çok çeşitli teknikler araştırmacılar tarafından incelenmiştir (Chaudhari, 2021). Çoğu zaman, ince filmin özellikleri alt tabanın temel özelliklerinden etkilenir ve filmin kalınlığına ve biriktirme için kullanılan biriktirme tekniklerine bağlı olarak büyük ölçüde değişebilir (Abegunde vd., 2019). Biriktirme işleminin doğasına bağlı olarak, ince film biriktirme için kullanılan teknikler, fiziksel ve kimyasal biriktirme işlemi olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir (Chaudhari, 2021). İnce film üretim teknikleri Tablo 1.1’de gösterildiği gibi özetlenebilir (Jilani vd., 2017).

Tablo 1.1. İnce film üretim teknikleri

Fiziksel biriktirme	Kimyasal biriktirme
1. Buharlaştırma teknikleri • Vakumlu termal buharlaştırma • Elektron ışını buharlaştırma • Lazer ışını buharlaştırma • Ark buharlaştırma • Moleküler ışın epitaksi • İyon kaplama buharlaştırma 2. Püskürtme teknikleri • Doğru akım püskürtme (DC püskürtme). • Radyo frekansı püskürtme (RF püskürtme).	1. Sol-jel tekniği 2. Kimyasal banyo biriktirme 3. Sprey piroliz tekniği 4. Kaplama • Elektro kaplama tekniği. • Elektriksiz biriktirme. 5. Kimyasal buhar biriktirme (CVD) • Düşük basınçlı biriktirme (LPCVD) • Plazma ile güçlendirilmiş (PECVD) • Atomik katman biriktirme (ALD)

1.4. Kimyasal Banyo Biriktirme Tekniği

Kimyasal Banyo Biriktirme (KBB) tekniği ilk olarak 1869'da tanımlandı ve o zamandan beri birçok farklı yarıiletkenin filmlerini biriktirmek için kullanılmıştır. Muhtemelen ince film üretmek amacı için mevcut olan en basit yöntemdir (Hodes, 2002). KBB yöntemi ile hem amorf hem de kristal yapıları üretmek mümkündür (Mane ve Lokhande, 2000). KBB yöntemi, hazırlanacak malzemenin alt taban yüzeyinde bir film oluşturacak şekilde kontrollü çökertilmesi esasına dayanır (Avila-garcı ve Ortega-lo, 2003). KBB yöntemi, vakum sistemi gibi pahalı donanımlara ihtiyaç duymaz. Manyetik karıştırıcı ısıtıcılar gibi basit ekipmanlara ihtiyaç vardır. Başlangıç kimyasalları yaygın olarak bulunur ve ucuzdur. KBB yöntemi ile çok sayıda alt taban tek seferde kaplanabilir. Alt tabanın elektriksel iletkenliği bir gereklilik değildir. Çözeltinin erişebildiği herhangi bir çözünmeyen yüzey, biriktirme için uygun bir alt taban olarak kullanılabilir. Düşük sıcaklıkta biriktirme, metalik yüzeylerin oksidasyonunu ve korozyonunu önler. Kimyasal biriktirme, temel yapı taşlarının atomlar yerine iyonlar olması nedeniyle kolayca elde edilebilen, iğne deliği olmayan ve düzgün film biriktirme ile sonuçlanır. Hazırlayıcı parametreler kolayca kontrol edilebilir ve daha iyi yönelimler ve geliştirilmiş tane yapısı elde edilebilir (Mane ve Lokhande, 2000). KBB yönteminin bir başka avantajı da, üçlü bileşiklerin karmaşık donanımlar veya süreç kontrolü kullanılmadan kolayca sentezlenebilmesidir (Hone vd., 2017). KBB tekniğinin temel şeması Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2. KBB deney düzeneği

Kaynak: (Reddy vd., 2012)

Kimyasal olarak biriktirilmiş yarıiletken ince filmlerin ilk uygulamaları arasında PbS ve kurşun selenyum (PbSe) foto detektörler bulunmaktadır. Her ne kadar kimyasal olarak çöktürülmüş CdS filmleri 1960’larda geliştirilmiş olsa da, CdS’nin foto detektör uygulamaları oldukça sınırlıydı. Ancak kimyasal olarak biriktirilen CdSe ince filmlerin foto detektör uygulamaları için uygun olduğu görülmüştür. 1970’lerin sonu ve 1980’lerin başında, kimyasal olarak biriktirilmiş ince filmler üzerindeki çalışmaların motivasyonu, bunların olası güneş enerjisi uygulamalarıydı. Buna yönelik ilk gelişmelerden biri güneş ışını soğurucu kaplama uygulamalarıdır. Kimyasal olarak biriktirilen filmlerin güneş enerjisiyle ilgili uygulamalar için kullanımı 1989’da önerildi (Nair vd., 1998).

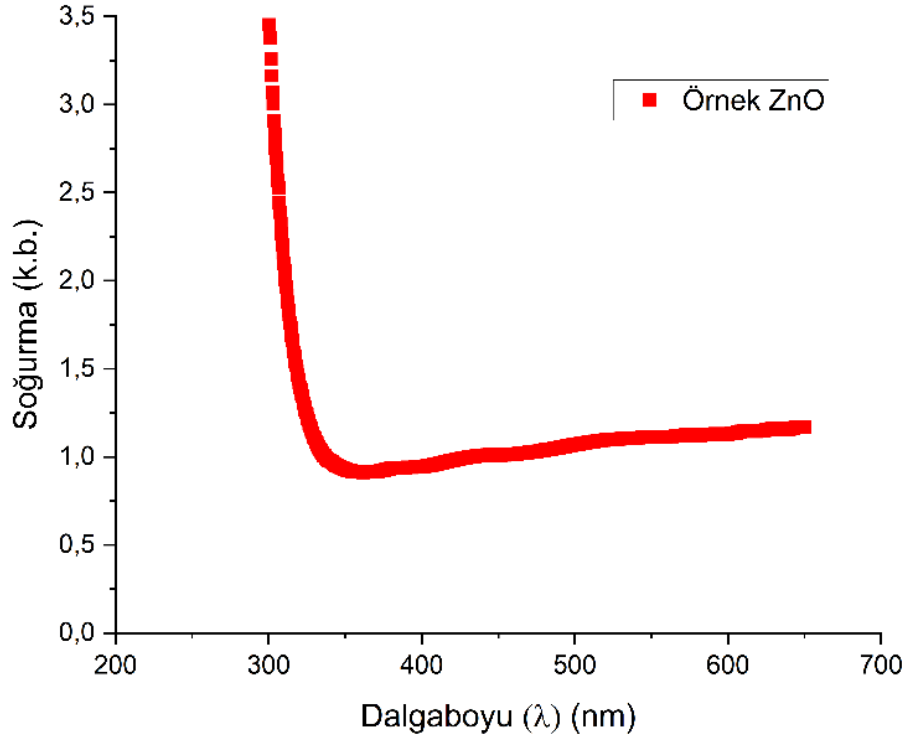
KBB son yirmi yılda, optoelektronik ve güneş pili cihazları için farklı türdeki ince film malzemelerinin sentezi için yaygın olarak başarıyla uygulanmıştır. Bu malzemeler arasında CdS, CdSe, PbS, kalay sülfid (SnS_2) gibi kalkojenitler, bakır indiyum sülfid (CuInS_2) ve bakır indiyum diselenit (CuInSe_2) gibi kalkopirit ve ZnO, kadmiyum oksit (CdO), titanyum dioksit (TiO_2) gibi oksit malzemeler sayılabilir (Hone ve Abza, 2019).

1.5. Analiz Teknikleri

1.5.1. UV-Vis Spektroskopisi

Spektroskopi maddeyle ışın arasındaki etkileşimleri inceleyen çok geniş bir bilim dalıdır (Gündüz, 2002). Araştırmacıların ilgisini çeken elektromanyetik radyasyonun genel aralığı içinde, Ultraviyole (UV) ve görünür bölge (Vis) soğurma spektroskopisi yalnızca çok dar bir frekans veya dalga sayısı bölgesini kaplar. Bununla birlikte, enerji farklılıkları atomların ve moleküllerin elektronik durumları ile ilgili olduğundan bu aralık son derece önemlidir (Chen vd., 2013). En geniş anlamıyla UV-vis spektroskopisi, ultraviyole ve görünür bölgedeki elektromanyetik radyasyon ile madde arasındaki etkileşimlerle ilgilidir (Picollo vd., 2019). Başka bir ifade ile malzemenin optik özellikleri, ışık-malzeme etkileşimi olgusuna bağlıdır (Flory ve Escoubas, 2004). UV bölgesi, elektromanyetik spektrumun yaklaşık 10-380 nm aralığını kapsar. Görünür bölge ise 380-750 nm spektral aralığını kapsar (Picollo vd., 2019).

Işığın soğurulması, analitik kimyada maddelerin karakterizasyonu ve nicelik tayini için kullanılabilir. UV/vis spektroskopisi, bilinmeyen bir madde veya numunenin ışığı soğurma prensibine dayanan bir tekniktir (De Caro, 2015). Bir yüzeye çarpan ultraviyole ve görünür radyasyon: iletilebilir, dağınık olarak iletilebilir, yansıtılabilir, soğurulabilir ve fotoluminesans (floresan ve fosforesans) olarak yayılabilir veya gelen monokrom radyasyondan farklı dalgalarda yanıt olarak yayılabilir (Picollo vd., 2019). Bu yöntemde, numune görünür ve yakın aralıklardaki UV ile alt kızılötesi (yakın IR) elektromanyetik ışınlarla aydınlatılır. Maddeye bağlı olarak ışık kısmen soğurulur. Geriye kalan ışık, yani iletilen ışık, uygun bir detektör tarafından dalga boyu fonksiyonu olarak kaydedilir, bu da numunenin UV/vis spektrumunu sağlar (De Caro, 2015). Bir spektrofotometrede, ölçüm ışığı bir prizma veya ızgaralı monokromatör tarafından kendisini oluşturan dalgalara bölünür. UV bölgesi için bir döteryum lambası ve vis bölgesi için bir tungsten (tungsten-halojen) lamba ile bu cihazlar, ölçüm dalga boyunun tüm spektral bölge üzerinde sürekli değişimine olanak sağlar. Bunlara aynı zamanda dispersif (dağıtıcı) spektrometreler de denir. UV-vis spektroskopi cihazları 190 nm ile 900 nm aralığını kapsar (Chen vd., 2013). Şekil 1.3'te yarıiletken ZnO ince film için dalga boyuna karşılık soğurma örneği verilmiştir.

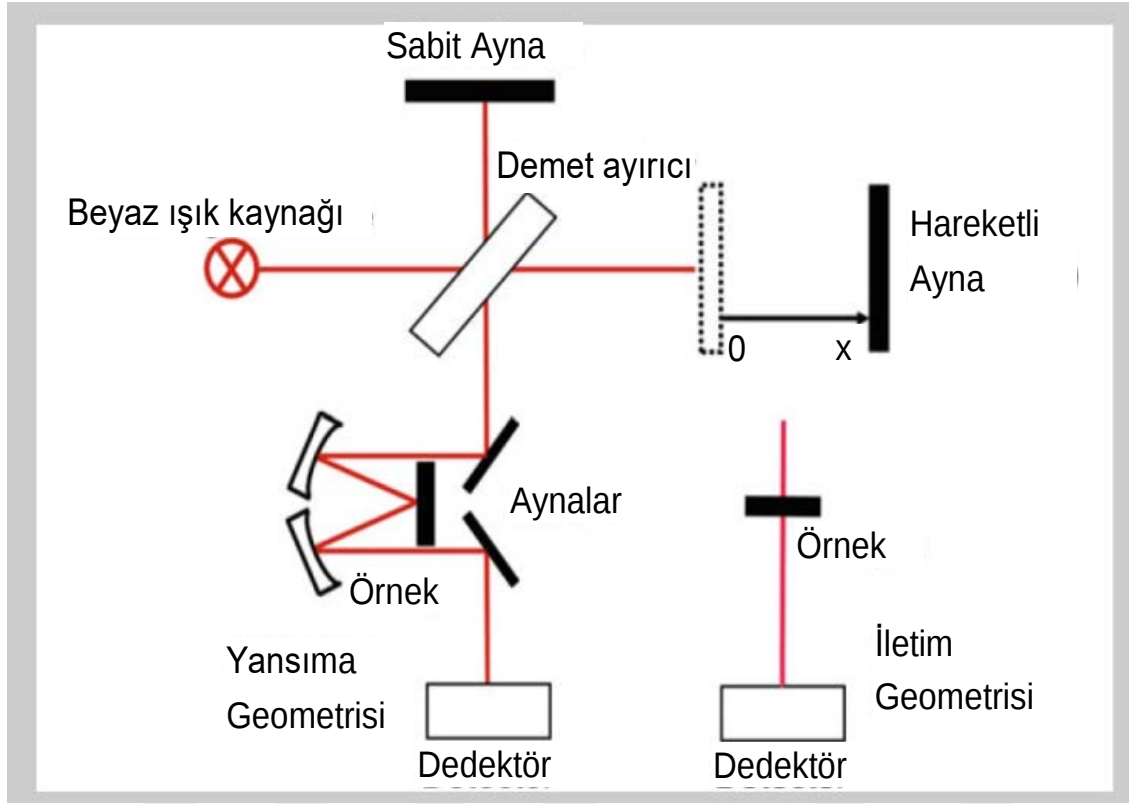


Şekil 1.3. İnce film yarıiletken ZnO için soğurma spektrumu örneği

1.5.2. Fourier Dönüşümü Kızılötesi spektroskopisi (FTIR)

Bir bileşiğin soğurma spektrumunu belirleyen cihaza spektrofotometre denir (Mohamed vd., 2017). Uzak kızılötesinde elektromanyetik radyasyonun belirli bir aralığı için fononların optik spektrumları (yansıtıcılık ve iletim), tipik olarak Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) kullanılarak kaydedilir (Kalt ve Klingshirn, 2019). Orta kızılötesi (IR) spektroskopisi, kimyasal bileşiklerin tanımlanması ve yapısal analizi için köklü bir tekniktir. Bir numunenin IR spektrumundaki zirveler, numunedeki moleküllerin titreşim modlarının uyarılmasını temsil eder ve dolayısıyla moleküllerde bulunan çeşitli kimyasal bağlar ve fonksiyonel gruplarla ilişkilidir. Dolayısıyla bir bileşiğin IR spektrumu, onun en karakteristik fiziksel özelliklerinden biridir ve onun “parmak izi” olarak kabul edilebilir. Kızılötesi spektroskopisi, kızılötesi enerji miktarı nedeniyle kantitatif analiz için de güçlü bir araçtır. Bir bileşiğin soğurduğu miktar konsantrasyonuyla orantılıdır (Ismail vd., 1997). Fourier dönüşümü spektrofotometresi, geleneksel spektrofotometreye kıyasla IR spektrumunu çok daha hızlı sağlar (Mohamed

vd., 2017). Bu yöntemin kurulumu Şekil 1.4’de verilmiştir ve hareketli bir aynaya sahip bir Michelson interferometresine dayanmaktadır.



Şekil 1.4. Soğurma ve yansımaya ölçümleri için FTIR deneyinin kurulumu

Kaynak: (Kalt ve Klingshirn, 2019)

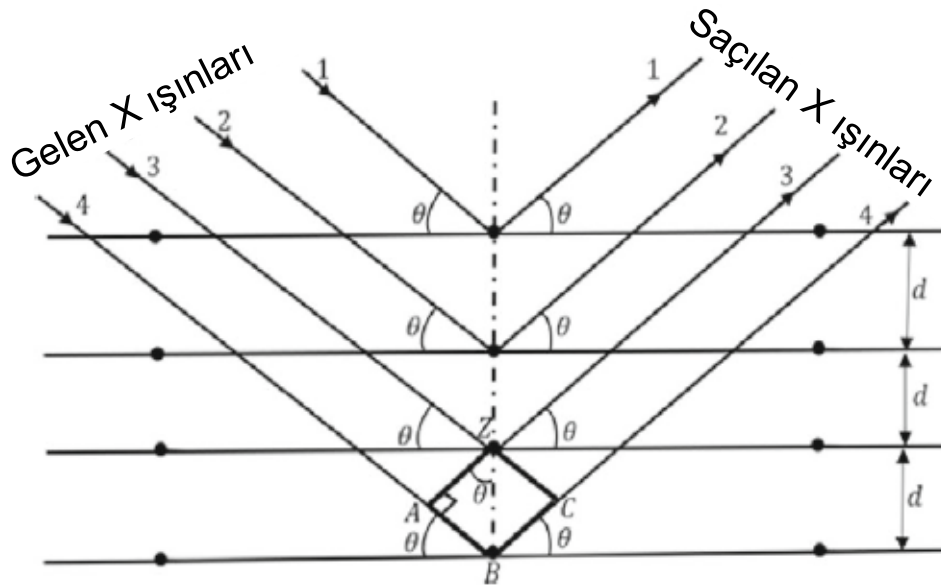
Cihaz, parlayan bir siyah cisim kaynağından yayılan bir IR ışını üretir. Daha sonra ışın, spektral kodlamanın gerçekleştiği interferometreden geçer. Farklı yol uzunluklarına sahip ışınların interferometrede yeniden birleştirilmesi, interferogram adı verilen yapıcı ve yıkıcı girişim oluşturur. Temel olarak FTIR spektrometresinden elde edilen IR spektrumu, 4000 ila 666 cm^{-1} arasındaki 2,5-15 mm orta IR bölgesinde yer alır. Birçok fonksiyonel grup için titreşim enerji durumundaki değişikliklere karşılık gelen geçiş enerjileri orta IR bölgesinde (4000-400 cm^{-1}) bulunur ve dolayısıyla bu bölgedeki bir soğurma bandının görünümü, molekül içinde spesifik fonksiyonel grupların bulunup bulunmadığını belirlemek için kullanılabilir. Ek olarak, bir bütün olarak molekülün titreşimi, bir bütün olarak molekülün karakteristiği olan 650-1500 cm^{-1} düşük dalga sayısı bölgesinde bir titreşim modeline yol açar ve dolayısıyla tanımlama için kullanılabilir (Mohamed vd., 2017).

1.5.3. X-ışını kırınımı

X ışınları, ışıqla aynı özelliklere sahip ancak daha kısa dalgalıboylarına sahip olan elektromanyetik radyasyondur. X ışını bölgesindeki ölçüm birimi 10^{-8} cm'ye eşit olan Angströmdür (Å). Kırınım için kullanılan X ışınlarının dalgalıboyları, genellikle 0,5 ila 2,5 Å arasında değişir. X ışınları, elektromanyetik spektrumda gama ışınları ile ultraviyole (morötesi) bölge arasında yer alır. Görünür ışığın dalgalıboyu ise yaklaşık olarak 6000 Å'dur (Aydoğan, 2014).

Malzemelerdeki atomlar kristal yapılar ve mikro yapılar göre düzenlenir (Gleiter, 2000). Atomların periyodik dizilişı büyük ölçüde sıcaklık, basınç ve katılma sırasındaki soğuma hızı gibi dış faktörlere bağlıdır. Katı elementler ve bileşikleri, amorf, çok kristalli ve tek kristalli malzemeler olarak sınıflandırılır (Razeghi, 2009). Çok kristalli malzemeler, çeşitli şekil ve boyutlardaki birçok kristalin birleşimidir. Çok kristalli malzemelerin özellikleri, kristal boyutlarının, şekillerinin ve bireysel kristal içindeki yönelimlerin dağılımına güçlü bir şekilde bağlıdır (Ameh, 2019).

X-ışını kırınımı yıkıcı olmayan bir tekniktir ve yarı iletkenler, metaller, mineraller, organik ve inorganik moleküller dahil olmak üzere çok çeşitli malzeme analizleri yapılabilir (Dikici, 2012). Şekil 1.5.'te X-ışını kırınım modelinin şeması verilmiştir.



Şekil 1.5. X-ışını kırınım modelinin şeması

Kaynak:(Gleiter, 2000)

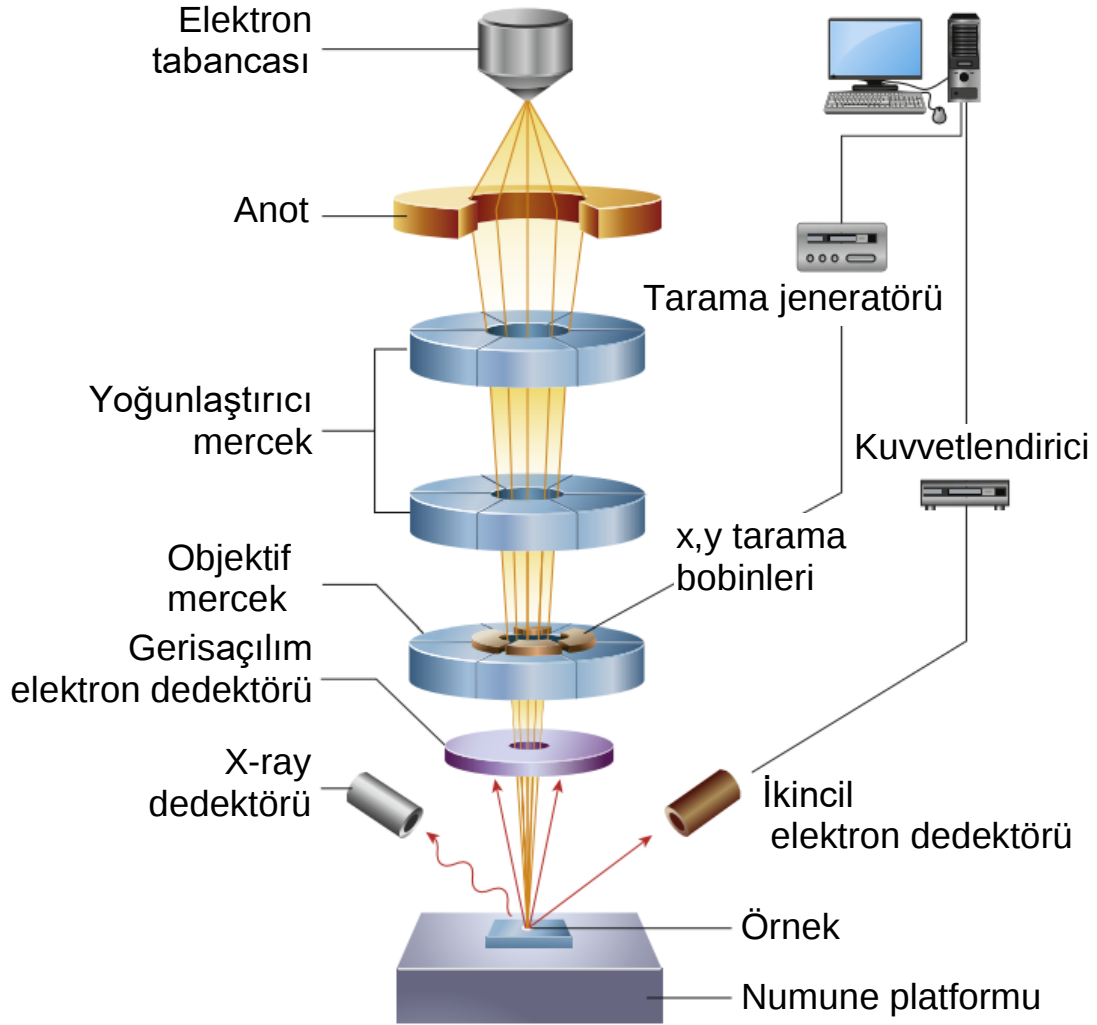
Bir X-ışını, katının atomlarına çarptığında, X-ışınları atomlardaki elektronlar tarafından saçılır. Saçılan dalgalar (kırınım deseni) farklı konumlardaki atomlar tarafından yayıldıkça, farklı yönlerde yapıcı veya yıkıcı dalga girişimi meydana gelir. Katının atomik yapısı düzenli ise yapıcı girişim meydana gelir. Kırınım desenleri ile malzemelerdeki kristallerin periyodik atomik yapısı arasında güçlü bir ilişki vardır. Uzun tekrarlanan mesafelere sahip atomik düzenleme (periyodisite) küçük açılarda kırınıma neden olurken, kısa tekrarlanan mesafeler yüksek açılarda kırınıma neden olur. Kırınım tepe konumu birim hücrenin şeklini ve boyutunu belirlemek için kullanılırken, kırınım tepe noktası yoğunluğu hücre içindeki atomik konumu ve atom numarasını belirler. X-ışını kırınım verilerinden; kristalit boyutu, dislokasyon yoğunluğu, kristalografik yönelim, kristal yapısı, stres, gerilim ve kafes parametreleri değerlerine ulaşılabilir (Ameh, 2019).

1.5.4. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), heterojen organik ve inorganik malzemelerin nanometre (nm) ile mikrometre (μm) ölçeğinde gözlemlenmesinde ve karakterizasyonunda kullanılır. SEM, çok çeşitli malzemelerin yüzeylerinin üç boyutlu benzeri görüntülerini elde etme yeteneği sayesinde oldukça popüler bir karakterizasyon aracıdır (Goldstein Joseph I , . Newbury Dale E, R. Michael Joseph I, Nicholas W.M., Ritchie John , J. Scott Henry, 2017). Tipik bir SEM sisteminin şeması Şekil 1.6'da verilmiştir. SEM genellikle 10-500.000 kat aralığında çok yüksek bir büyütme aralığı sunar. Tipik bir SEM, elektron tabancası (elektron kaynağı ve hızlandırıcı anot), elektronları odaklamak için elektromanyetik lensler, numune tablasını barındıran bir vakum odası ve numuneden yayılan sinyalleri toplamak için çeşitli detektörlerden oluşur (Inkson, 2016).

Elektron kaynağı tarafından bir elektron ışını oluşturulur ve pozitif bir elektrik potansiyeli kullanılarak numuneye doğru hızlandırılır. Elektron ışını, metal açıklıklar ve manyetik mercekler kullanılarak ince, odaklanmış, tek renkli bir ışın halinde sınırlandırılır ve odaklanır. Işındaki elektronlar numunenin atomlarıyla etkileşime girerek yüzey topografyası ve bileşimi hakkında bilgi içeren sinyaller üreterek bir görüntüye dönüştürür (Inkson, 2016; Kannan, y.y.). SEM ile sadece yüzey görüntüleri elde edilmez,

aynı zamanda numune yapısındaki çeşitli katmanların kalınlığı hakkında da bilgi elde edebilir (Razeghi, 2009).



Şekil 1.6. SEM temel bileşenleri şematik diyagramı

Kaynak:(Inkson, 2016)

2. ZnO İNCE FİMLERİN ÜRETİLMESİ VE İNCELENMESİ

2.1. Literatür Taraması

Geniş uygulama alanları nedeniyle bilimsel ve endüstriyel çalışmalar için vazgeçilmez bir yere sahip olan ince filmler, araştırmacıların ilgisini çekerken ZnO ince filmler de bu ilgiden payını almaktadır. Çinko oksitin toksik olmaması, düşük maliyetli ve kolay erişilebilir olması bu ilginin temel nedenlerindendir (Temel, Gokmen, vd., 2017). Oksijen boşlukları nedeniyle n-tipi yarı iletken özellikler gösteren ZnO, oda sıcaklığında 3,37 eV enerji bant aralığına ve 60 meV eksiton bağlama enerjisine sahiptir (Vipul ve Amit, 2020; J. Wang vd., 2011). ZnO ince filmlerin uygulama alanları, optoelektronik cihazlar, foto-katalizörler, ultraviyole lazer diyotları, katot ışın tüpleri, gaz sensörleri ve piezoelektrik dönüştürücüler gibi birçok uygulamayı içerir (Aksay vd., 2021; Edinger, 2017; Of, 2013; M. Önal ve Altıokka, 2020; H. Wang vd., 2011). ZnO ince filmlerin aynı zamanda geniş alanlı güneş pillerinin iletken ve optik örtü tabakaları olarak da kullanıldığı bildirilmiştir (Kumar vd., 2019).

II-VI yarıiletken malzemeler kategorisinde sınıflandırılan ZnO altıgen ve kübik kristal yapıda kristalleşir (Alghamdi vd., 2013; Fortunato vd., 2018; Janotti ve Walle, 2009). ZnO ince filmler üretmek için birçok teknik kullanılmaktadır. Bu teknikler arasında magnetron püskürtme, elektrodepozisyon, darbeli lazer biriktirme (Pulsed Laser Deposition, PLD), termal oksidasyon, spreyl piroliz, kimyasal buhar biriktirme (Chemical Vapor Deposition, CVD), sol-jel teknikleri ve KBB yer alır (Bundesanstalt, 2008; Drici vd., 2004; I ve Brien, 1995; Masuda vd., 2003; Ouerfelli vd., 2006; Ramamoorthy vd., 2004). Bu çalışmada, gerekli ekipmanların basitliği, nispeten düşük sıcaklıklarda biriktirilebilir olması ve düşük maliyet gibi avantajları nedeniyle ZnO ince filmlerin biriktirilmesi için KBB tekniği seçilmiştir.

ZnO ince filmleri çok çeşitli uygulamalar için araştırılmış ve üretilmiştir ancak ilk üretimin kesin tarihini belirlemek zordur. Aşağıda son yirmi yılda KBB tekniği ile ZnO ince film üretiminde yapılan bazı araştırmalar sunulmuştur.

Barrientos vd. (2023) güneş pillerinin verimliliğinin artırılması amacıyla KBB tekniği ile ZnO nano yapıli ince filmlerin üretimine pH'ın etkisi araştırmış ve pH 11'de sentezlenen ZnO filmlerin, düşük pH değerlerinde üretilenlerle karşılaştırıldığında kısa

devre akım yoğunluğu ve açık devre foto voltajı açısından üstün özellikler sergilediğini bildirmişlerdir(Garcia-Barrientos vd., 2023).

Murthy vd. (2021) KBB tekniği ile sentezlenen ZnO ince filmlerin yapısal, morfolojik ve optik özellikleri üzerine çözelti pH'ının etkisini araştırmıştır. Üretilen ince filmlerin %85 ve %90 şeffaflığa sahip olduğunu ve kristalleşmenin arttığını tespit etmişlerdir.

Shukla vd. (2020) saf ZnO ile bakır (Cu), potasyum (K) ve sodyum (Na) katkılı ZnO ince filmlerinin karşılaştırmasını gerçekleştirmişlerdir. Her üç katkı maddesinin de katkısız ZnO 'ya kıyasla filmin optik ve elektriksel özelliklerini geliştirdiği, diğer özelliklerini olumsuz yönde değiştirmeden iletkenliklerini artırabildiği, fotoseller ve güneş pili aygıtları için uygun olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Kumar vd. (2019) ve diğerleri, kimyasal çözeltisinin hem pH değerinin hem de öncül (precursor) konsantrasyon değerlerinin ZnO ince filmlerin optik, yapısal ve morfolojik özellikleri üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca pH değeri 5,0 olduğunda sentezlenen ince filmin, güneş pili verimliliği için önemli olan yüzey direncinin en yüksek değere sahip olduğunu da ifade etmişlerdir.

Hilbert ve Joseph (2018) katkısız ve magnezyum (Mg) katkılı ZnO ince filmleri, KBB yöntemiyle cam tabanlar üzerine biriktirmiş ve ince filmlerin geçirgenlik değerlerinin görünür bölgede %90'ın üzerinde olduğunu rapor etmişlerdir.

Temel vd. (2017) ZnO nano çiçekleri, herhangi bir kompleks yapıcı madde kullanmadan, farklı biriktirme sürelerinde KBB tekniği ile sentezlemişlerdir. Elde edilen örneklerin tamamının çok kristalli ve altıgen yapıya sahip olduğunu, kompleks yapıcı madde kullanılmadan yüksek kaliteli kristal ZnO nano çiçeklerinin sentezinin sadece 30 dakika sürdüğünü ve kristalizasyon için tavlamaya gerek olmadığını belirlemişlerdir.

Taunk vd. (2015) KBB yöntemiyle ZnO ince filmleri, çinko klorür ($ZnCl_2$) ve sodyum hidroksitinin (NaOH) sulu bir çözeltisinde farklı trietanolamin (TEA) konsantrasyonları kullanarak üretmişlerdir. Üretilen filmlerin, elektromanyetik spektrumun görünür ve yakın kızılötesi bölgelerinde yüksek geçirgenlik gösterdiğini rapor etmişlerdir.

Ali (2011) 80 °C banyo sıcaklıklarında biriktirilen ZnO ince filmlerin 300 °C, 350 °C ve 400 °C’de termal tavlamanın etkisini araştırdığı çalışmasında kristalit boyutu ve bant aralığının tavlama sıcaklığı ile değiştiğini, filmin maksimum tane boyutuna 350 °C tavlama sıcaklığında ulaştığını bulmuştur.(Ali, 2011)

Khallaf vd. (2009) Amonyak (NH₃), hidrazin (N₂H₄), etanolamin, metilamin, TEA ve dimetilamin olmak üzere altı farklı kompleks oluşturuucu madde kullanılarak ZnO ince filmlerin kimyasal banyoda biriktirilmesi incelemiştir. 400 °C’de tavlanan ZnO ince filmlerin bant aralığı değerlerinin 3,3 eV civarında olduğu belirlendi. Bu altı ligandın dördünün yüksek kaliteli, yapışkan, tek biçimli, şeffaf ve aynasal olarak yansıtan ZnO filmleri elde etmede başarılı olduğunun kanıtlandığını bildirmişlerdir.

Ouerfelli vd (2006) KBB tekniği ile ZnO ürettikleri çalışmalarında çinko asetat ve etilendiamin karıştırarak elde ettikleri çözeltinin pH değerini NaOH ekleyerek yükseltmişlerdir. Biriktirme sırasında çözelti sürekli karıştırılarak 60 °C ile 65 °C arasında bir sıcaklıkta tutulmuş ve biriktirme işlemini takiben oda havasında 300 °C’de 30 dakika ve vakum altında 300 °C’de 2 saat tavlama devam etmişlerdir. Vakum altında tavlanan filmlerin iletkenliğinin, oda havasında tavlanan filmlerden beş kat daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Avila-garcı vd. (2003) ZnO ince filmleri KBB yöntemiyle üretirken ilk çözelti, NH₄(OH), NH₄Cl, ZnCl₂ ve %30’luk H₂O₂ kullanılarak hazırlanmıştır. İlk aşamada kübik yapıda kristalleşen çinko peroksit (ZnO₂) elde ettiklerini ve bu bileşiğin iyi bir ortalama şeffaflık (%90) ve 4,2 eV’lik bir optik bant aralığı gösterdiğini bildirmişlerdir. Tavlama işleminden sonra ZnO₂’in, altıgen yapı ve 3,25 eV optik bant aralığına sahip çok kristalli ZnO ‘ya dönüştüğünü ve kullandıkları yöntemin, gelişmiş büyüme verimliliğine sahip, kaliteli ZnO filmlerin elde edilmesinde etkili olduğunu bildirmişlerdir.

KBB ile bileşik yarı iletkenler üretilirken çözelti sıcaklığı, karıştırma hızı, pH değeri, kompleks ajan tipi ve miktarı, biriktirme süresi gibi değiştirilebilen ve kontrol edilebilen birçok özellik araştırmacılar tarafından araştırılmıştır (Kumar vd., 2019; M Önal ve Altıokka, 2020a, 2020b; Yuan, 2015). ZnO ince filmlerin üretilmesinde inhibitör olarak Na₂S₂O₃ kullanılan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak yapılan bir çalışmada ZnO ince filmler üretilirken Na₂SO₃ kullanılarak reaksiyon hızının düşürüldüğü bildirilmiştir. Bu çalışmada, inhibitör kullanımı kristalit boyutlarını önemli ölçüde

etkilemiş ve enerji bandı aralıklarını önceki değere göre 1,03 eV daha artırmıştır (Yildizay, 2022).

2.2. Kimyasal Banyo Biriktirme Yöntemi ile Üretilen ZnO İnce Filmler Üzerinde Düşük Reaksiyon Hızının Etkileri

Tez çalışması kapsamında KBB yöntemi kullanılarak cam tabanlar üzerine dört farklı ZnO numunesi üretilmiştir. Bu çalışmada, cam tabanlar üzerine ZnO ince filmler biriktirilirken reaksiyon hızını azaltmak için inhibitör olarak $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ eklenmiştir. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ sırasıyla 0, 4, 8 ve 16 mM kullanılarak çözeltiye eklenmiştir. ZnO filmler üzerine inhibitör etkisi sırası ile UV-vis, XRD ve SEM analizleri ile incelenmiştir.

Literatüre göre $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, KBB yöntemi ile ZnO ince film üretmek için ilk kez kullanılmıştır. ZnO üretimi sırasında inhibitör kullanılarak üretilen filmlerin soğurma değerlerinin oldukça düşük olduğu ve buna paralel olarak geçirgenlik değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür. İnhibitör kullanılmadığında filmlerin enerji bant aralığı değerleri 3,89 eV iken inhibitör kullanıldığında, 4,13 eV ile 4,24 eV arasında değiştiği görülmüştür. 1000 kat ve 20000 kat büyütülmüş SEM görüntüleri kullanılarak yapılan analizler, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ miktarı arttıkça film yüzeylerindeki nano çiçeklerin azaldığını göstermiştir.

2.3. Deneysel Detaylar

ZnO ince filmler, KBB yöntemi kullanılarak cam yüzeyler üzerine biriktirilmiştir. Kaplama işlemine başlamadan önce, cam tabanlar aseton ile yıkandı ve deiyonize su ile durulandı. İlk numune üretilirken inhibitör kullanılmadan 60 mM ZnCl_2 ve 8 mM Etilen diamin tetra asetik asit (EDTA) 100 ml deiyonize suda çözündürüldü. Çözeltinin pH değeri 9,5 olana kadar bir damlalık yardımı ile NH_3 ilave edildi. Elde edilen numuneler sırası ile S0, S1, S2 ve S3 olarak isimlendirilmiştir. S1, S2 ve S3 etiketli numuneler üretilirken nihai çözeltiye sırasıyla 4, 8 ve 16 mM $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ eklendi. Numuneler üretilirken çözelti sıcaklıkları 85 ± 2 °C’de tutuldu ve manyetik karıştırıcı ile dakikada 600 devir ile karıştırıldı. Biriktirme işlemi, inhibitör miktarına bağlı olarak sırasıyla 20, 25, 30 ve 35 dakika sürdürülmüştür. Biriktirme işlemi tamamlandığında filmler deiyonize su ile durulanmış, etiketlenmiş ve oda koşullarında kurumaya bırakılmıştır. Deneysel koşullar tablo haline getirilmiş ve Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. KBB yöntemiyle üretilen ZnO için deneysel koşullar.

Deneyler	ZnCl ₂ (mM)	EDTA (mM)	Sıcaklık (°C)	Ph	Na ₂ S ₂ O ₃ (mM)	Biriktirme süresi (dk.)
S0	60	8	85±2	9,5	0	20
S1	60	8	85±2	9,5	4	25
S2	60	8	85±2	9,5	8	30
S3	60	8	85±2	9,5	16	35

ZnO ince filmlerin kalınlıkları Denklem 1’de verilen Gravimetrik yöntem kullanılarak hesaplanmıştır (I. M. S. Mohammed vd., 2021).

$$t = \frac{m}{\rho A} \quad (2.1)$$

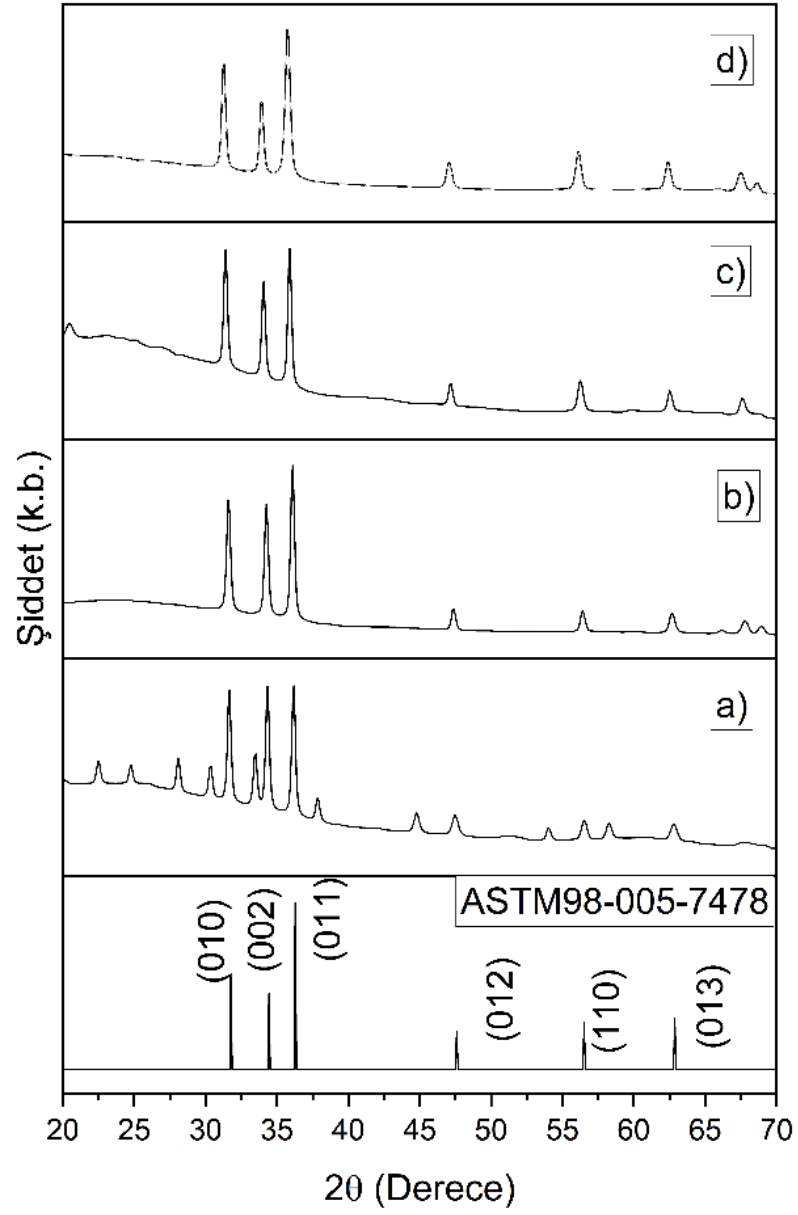
Bu denklemde, t film kalınlığı, m filmin kütlesi, ρ yoğunluk ve A yüzey alanıdır. ZnO için yığın yoğunluk değeri 5,675 g/cm³’tür (Jambure vd., 2014).

S0 ve S1 adlı filmlerin kalınlıkları ortalama 480 nm olarak hesaplanmıştır. Ayrıca S2 adlı numunenin kalınlığının yaklaşık 400 nm, S3’ün kalınlığının ise yaklaşık 380 nm olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar üretilen numunelerin kalınlıklarının kullanılan Na₂S₂O₃ miktarı arttıkça azaldığını göstermektedir.

ZnO filmlerin yapısal analizlerini yapmak için bir PANalytic Empyrean XRD, sırasıyla optik ve morfolojik özelliklerini belirlemek için tek ışınlı A&E lab UV-vis spektrometre ve bir Zeiss SUPRA 40VP SEM kullanılmıştır.

2.4. ZnO Filmlerinin Yapısal Analizi

Şekil 2.1’de çözeltiye eklenen Na₂S₂O₃ miktarına bağlı olarak elde edilen ZnO ince filmler için XRD kırınım desenleri verilmiştir. Şekil 2.1 incelendiğinde tüm filmlerin altıgen yapıda oluştuğu ve 98-005-7478 numaralı ASTM kartı ile eşleştiği görülmüştür.



Şekil 2.1. Farklı inhibitör molariteleri kullanılarak elde edilen ZnO için XRD kırınım desenleri. a) 0 mM, b) 4 mM, c) 8 mM ve d) 16 mM $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

Denklem 2.2 kullanılarak filmlerin doku katsayıları (Texture Coefficient, TC) hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 2.2’de verilmiştir (Shaikh vd., 2016).

$$TC = \frac{I_{(hkl)}/I_{0(hkl)}}{\frac{1}{N} \sum N \left(\frac{I_{(hkl)}}{I_{0(hkl)}} \right)} \quad (2.2)$$

Bu denklemde $I_{0(hkl)}$, ASTM kartında verilen (hkl) düzleminin standart yoğunluğu, $I_{(hkl)}$, bir (hkl) düzleminin ölçülen nispi yoğunluğudur. Şekil 2.1 ve Tablo 2.2 birlikte incelendiğinde S0, S1 ve S2’de elde edilen filmlerin (011) tercihli yönelimine sahip olduğu söylenebilir. Öte yandan, S3 olarak etiketlenen film (011) ve (002) gibi iki tercihli yönelim sergiler.

Tablo 2.2. ZnO için doku katsayıları

Deneyler	S0	S1	S2	S3
T.C.(010)	0,92	0,95	0,85	0,85
T.C.(002)	0,68	0,79	0,85	1,00
T.C.(011)	1,39	1,25	1,30	1,25

Kristalit boyutunu hesaplamak için kullanılan Debye Scherrer formülü Denklem 2.3’te verilmiş ve hesaplanan değerler Tablo 2.3’te sunulmuştur.

$$D = \frac{0.089 \cdot 180 \cdot \lambda}{3.14 \cdot \beta \cdot \cos \theta} \quad (2.3)$$

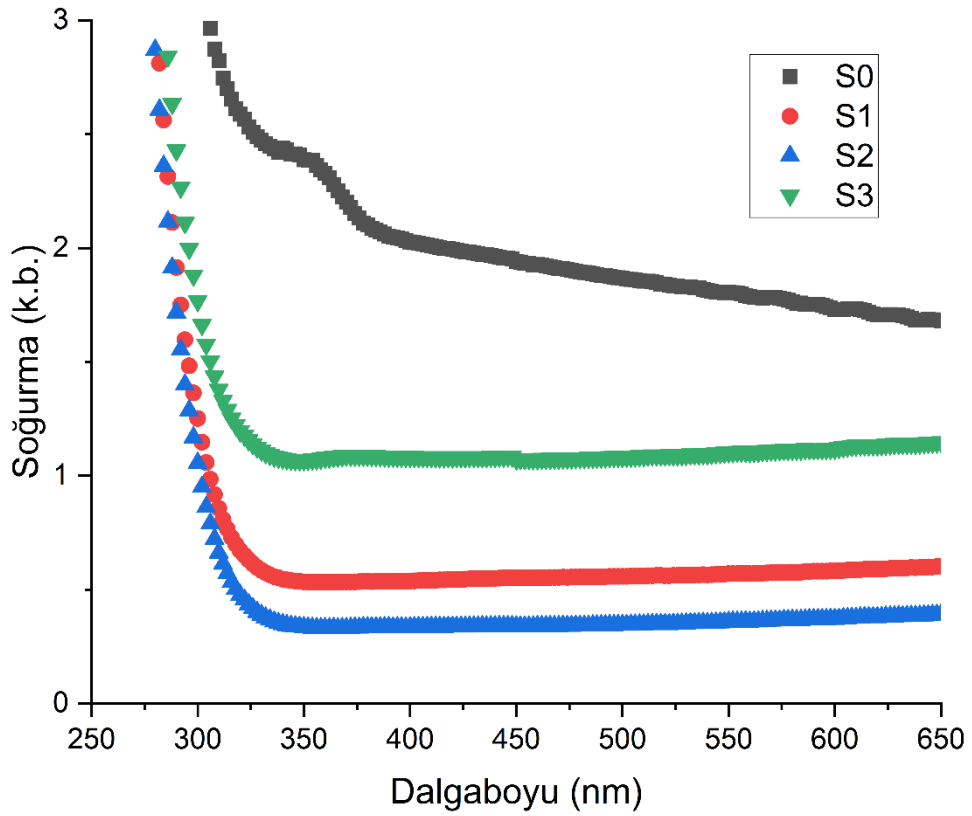
Bu denklemde D kristalit boyutunu, λ X-ışını radyasyonunun dalgaboyunu (1,54056 Å), θ Bragg kırınım açısını sembolize eder ve β , Origin pro yazılımı aracılığıyla hesaplanan yarı maksimum değerdeki tam genişliği (Full Width at Half Maximum, FWHM) sembolize eder (Bhowmik vd., 2008; Thambidurai vd., 2011). Hesaplanan ortalama kristalit boyutlarının 25,5 nm ile 29,2 nm arasında değiştiği Tablo 2.3’ten görülmektedir.

Tablo 2.3. ZnO filmlerin kristalit boyutları

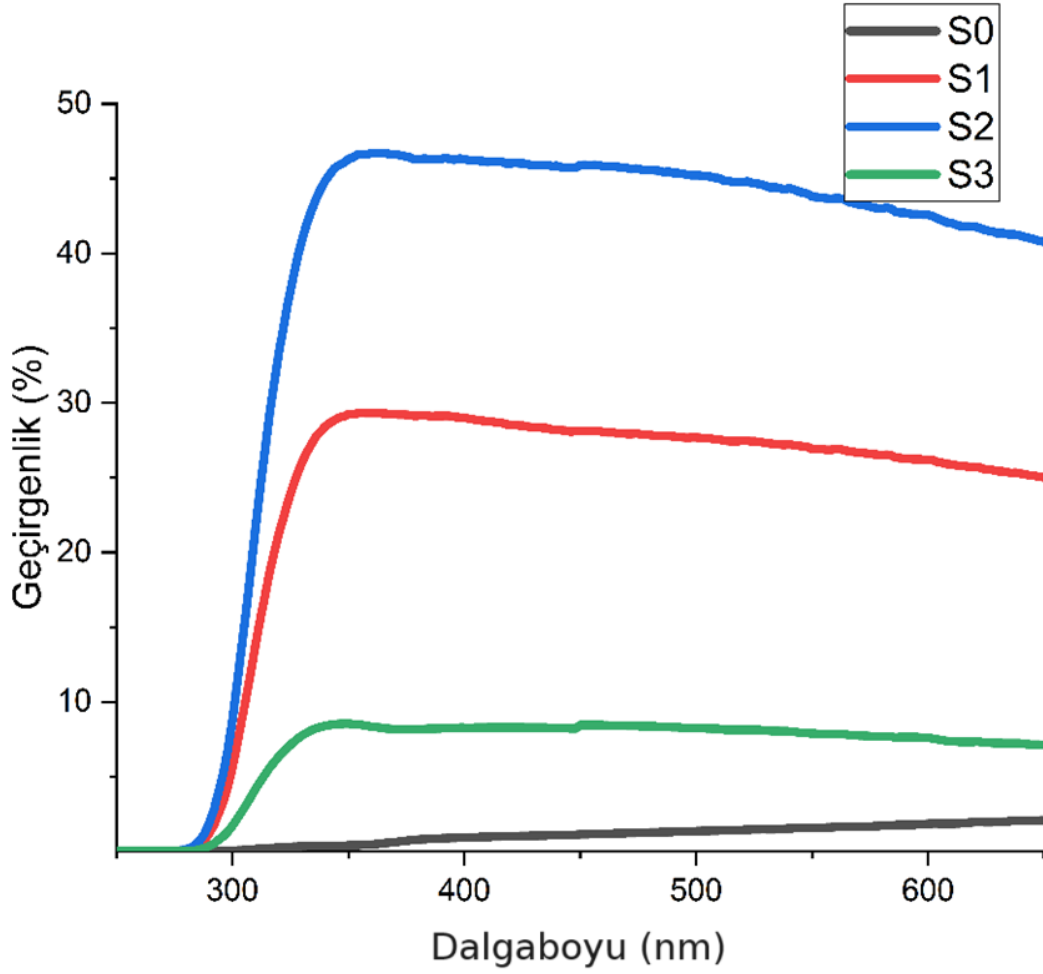
Deneyler	D (nm) (010)	D (nm) (002)	D (nm) (011)	D (nm) Ortalama
S0	29,2	28,7	28,8	28,9
S1	27,0	27,5	28,0	27,5
S2	28,5	30,3	28,8	29,2
S3	27,2	27,5	22,0	25,5

2.5. ZnO Filmlerin Optik Özellikleri

ZnO ince filmlerin optik soğurma değerleri 650 ile 300 nm arasındaki dalgalarda UV-Vis spektrometre ile ölçülmüş ve Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Şekil 2.2 inhibitör kullanılmadan üretilen numunenin soğurma değerinin $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ kullanılarak üretilen numunelere göre 2 ila 4 kat daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu da S1 ve S2 adlı numunelerin geçirgenlik değerlerinin arttığı anlamına gelir. Güneş pillerinin pencere katmanlarında düşük soğurma ve dolayısıyla yüksek geçirgenlik değerleri tercih edilmektedir. Geçirgenlik grafikleri Şekil 2.3’te verilmiştir.



Şekil 2.2. ZnO ince filmlerin soğurma grafiği



Şekil 2.3. ZnO ince filmlerin geçirgenlik grafikleri

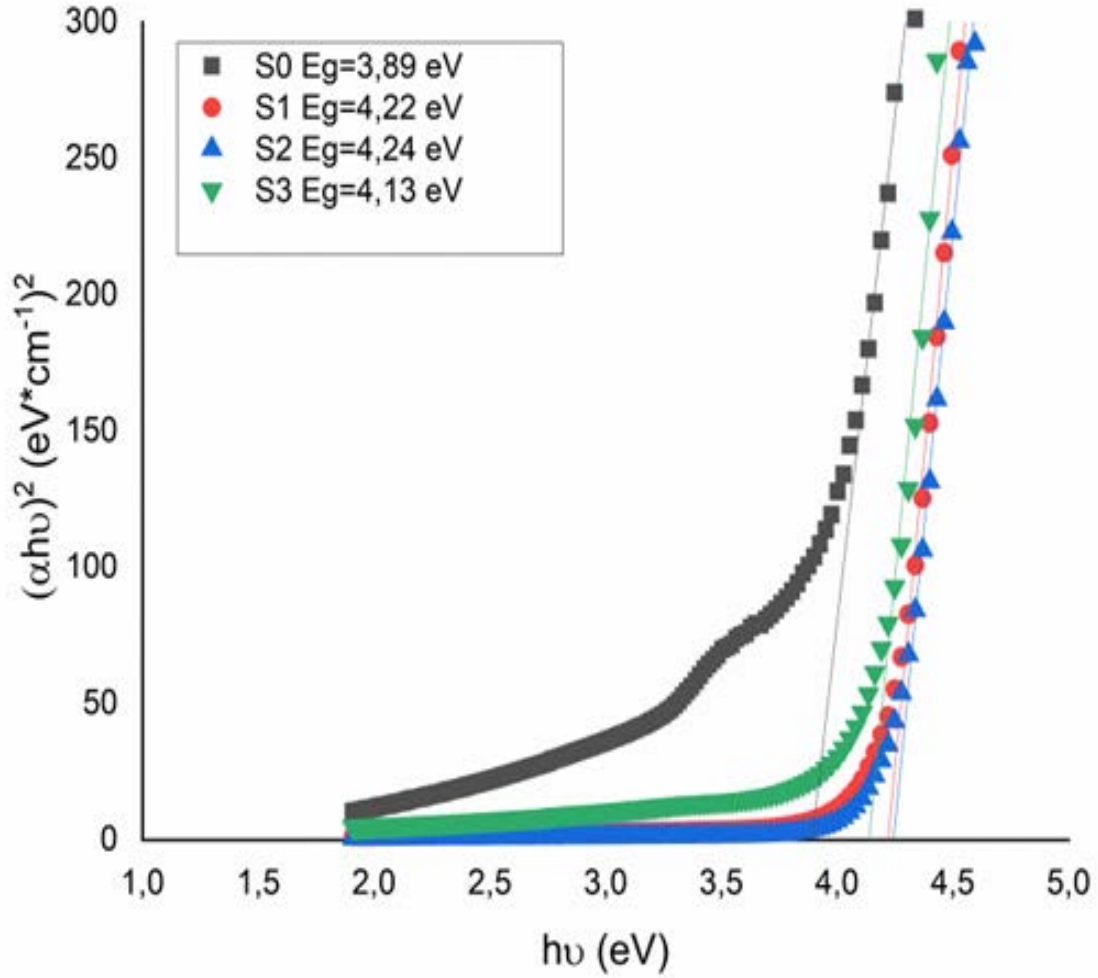
Denklem 2.4’te verilen Tauc denklemi, ince filmlerin optik enerji bant aralığını hesaplamak için kullanılmaktadır.

$$(\alpha h\nu) = A(h\nu - E_g)^n \quad (2.4)$$

Bu denklemde α soğurma katsayısı, $h\nu$ foton enerjisi, A sabit ve E_g filmlerin enerji bant aralığıdır. Direkt bant aralıklı yarıiletkenlerde n değeri $1/2$, indirekt bant aralıklı yarıiletkenlerde ise 2 ’dir (Bal vd., 2021; Rahul vd., 2012). ZnO, direkt bant aralıklı bir yarıiletkendir (Berruet ve Va, 2010). E_g bant aralığı değeri $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ grafiğinden elde edilir. Bu grafikte oluşturulan eğrinin üst kısmından $h\nu$ eksenine çizilen doğrunun eksenini kestiği nokta bant aralığı değerini verir (Khan vd., 2011).

ZnO ince filmlerin enerji bant aralığı değerleri Şekil 2.4’te verilmiştir. Şekil 2.4, filmlerin enerji bant aralıklarının $3,89$ eV ile $4,24$ eV arasında değiştiğini göstermektedir.

Bu değerlerin film kalınlıkları, kristal boyutları ve yüzey pürüzlülüklerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Literatürde ZnO ince filmlerin enerji bant aralıklarının 3,37 eV olduğu görülmüştür (Shukla ve Patel, 2020).

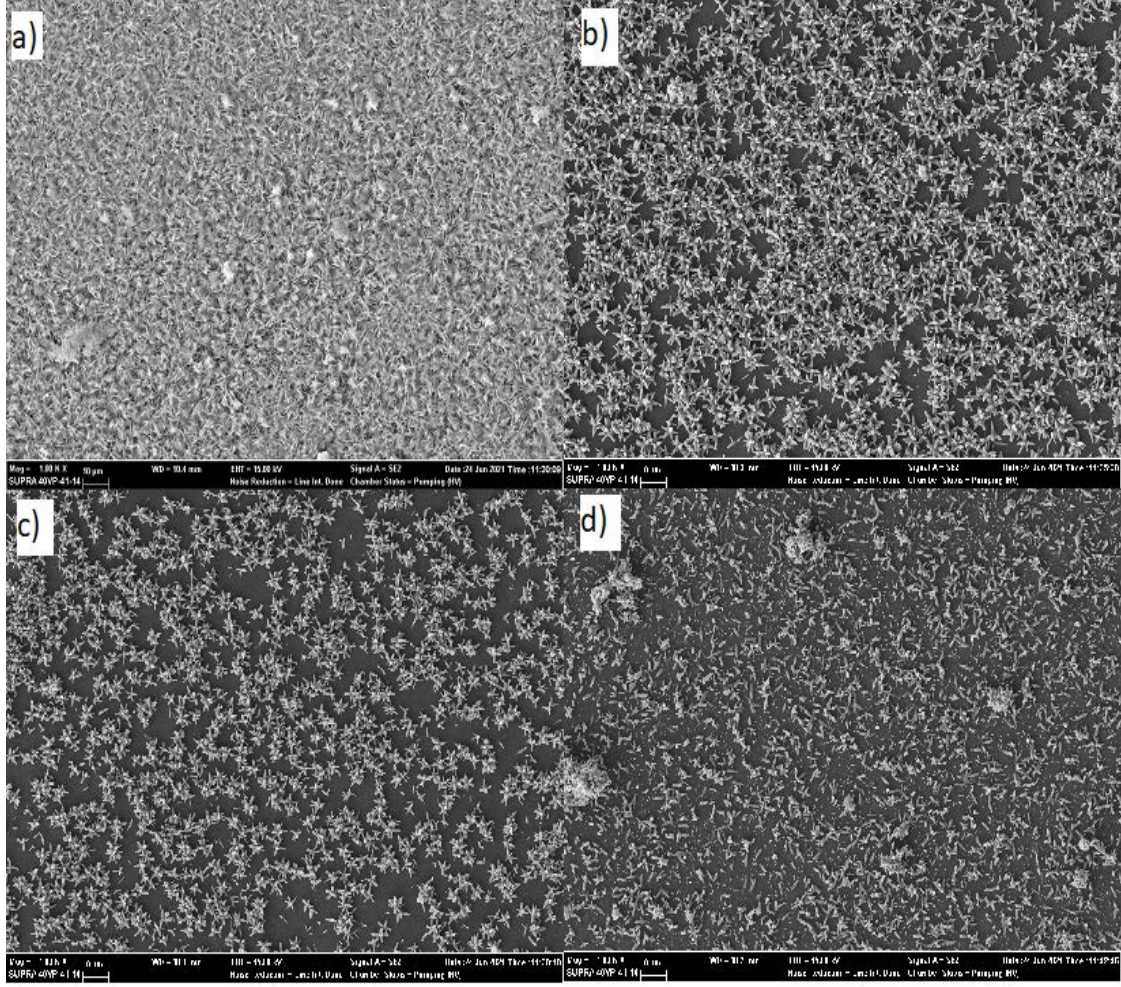


Şekil 2.4. ZnO ince filmlerin enerji bant aralıkları ve Tauc grafikleri

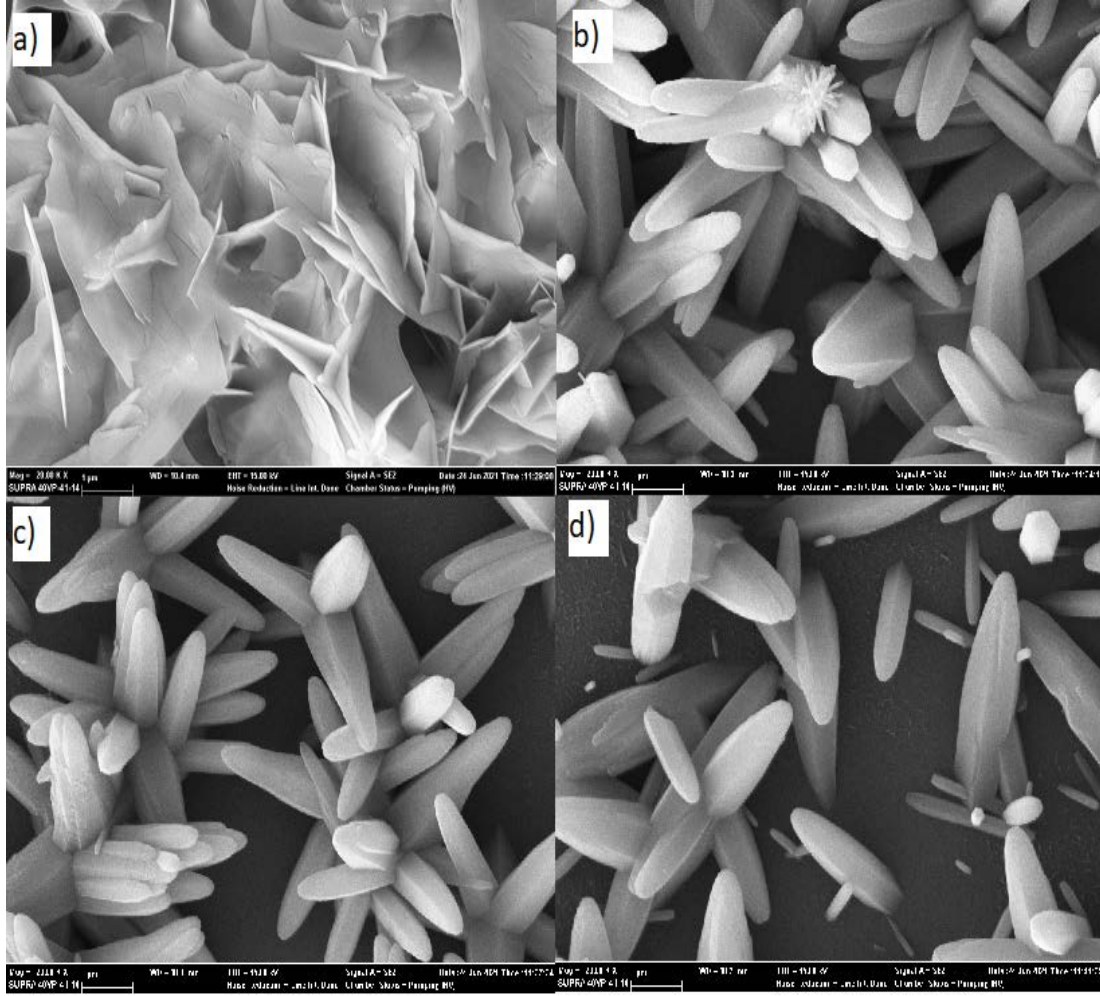
2.6. ZnO Filmlerin SEM Analizi

Üretilen ZnO ince film numunelerinin yüzey morfolojisini incelemek için SEM kullanılmıştır. ZnO filmlerin 1 kX ve 20 kX büyütülmüş yüzey görüntüleri sırasıyla Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da verilmiştir. Her iki büyütmede de S0 etiketli numune için tüm yüzeyin tamamen kaplandığı ancak yüzeyinde nano çiçeklerin oluşmadığı gözlenmiştir. S1, S2 ve S3 isimli numunelerin yüzeyleri incelendiğinde tüm yüzeylerde nano çiçeklerin görüldüğü ancak kullanılan inhibitör miktarının artmasıyla birlikte nano çiçeklerin azaldığı görülmektedir. Bu durumun inhibitör kullanımına bağlı olarak reaksiyon hızının düşmesi ve çökelme süresinin uzamasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir ki

kullanılan inhibitör miktarına bağı olarak filmlerin yüzey morfolojisinin önemli ölçüde değiştiği ifade edilebilir.



Şekil 2.5. 1 kX kat büyütülmüş SEM görüntülerinde farklı $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ miktarı a) 0 b) 4mM c) 8mM d) 16 mM

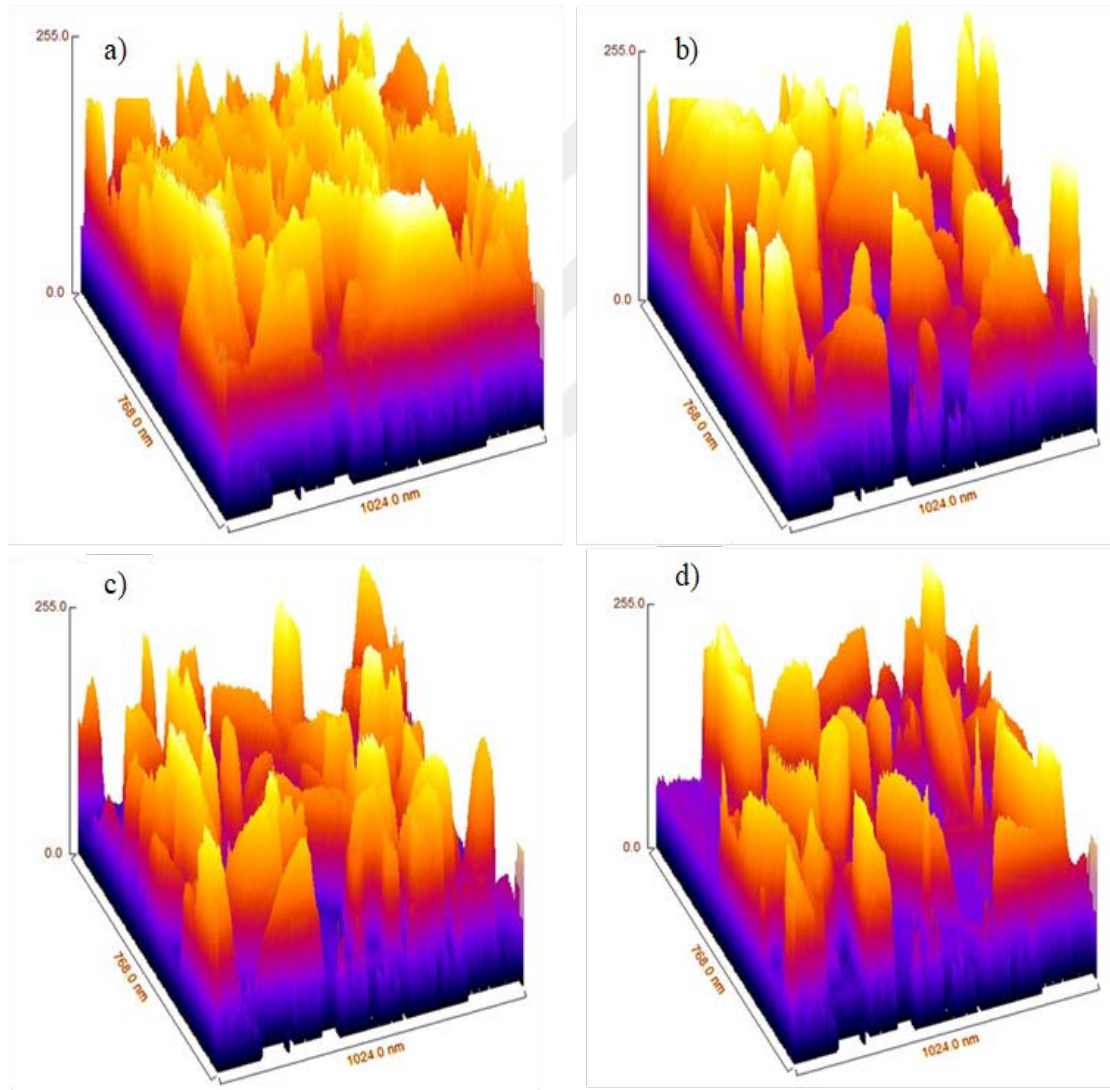


Şekil 2.6. Şekil 20kX büyütülmüş SEM görüntülerinde farklı $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ miktarı a) 0 b) 4mM c) 8mM d) 16 mM

Numunelerin yüzey pürüzlülüğünü analiz etmek için kullanılan SEM görüntüleri, ImageJ yazılımının 1.53c sürümü kullanılarak işlenmiştir. Bu yazılım kullanılarak elde edilen yüzey pürüzlülük görüntüleri Şekil 2.7’de, hesaplanan ortalama (R_a) ve rms (root mean square) (R_q) yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 2.4’te verilmiştir. Tablo 2.4’te verilen değerler incelendiğinde inhibitör kullanılarak üretilen filmlerin pürüzlülük değerlerinin nispeten yüksek olduğu görülmüştür. İnhibitör kullanılarak üretilen filmlerin yüzey pürüzlülük değerlerinin yüksek olması nedeniyle bu filmlerin gaz sensörleri için uygun bir malzeme olabileceği düşünülmektedir.

Tablo 2.4. Üretilen ZnO filmlerinde $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ miktarına bağlı olarak değişen yüzey pürüzlülük değerleri

Deneyler	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (mM)	Ra (nm)	Rq (nm)
S0	0	42	55
S1	4	56	67
S2	8	54	63
S3	16	51	60



Şekil 2.7. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ miktarına göre ZnO filmlerin yüzey pürüzlülük grafikleri a) 0mM b) 4mM
c) 8mM d) 16 mM

2.7. ZnO Filmlerinin Görsel Analizi

Bu çalışma kapsamında üretilen tüm ZnO filmlerinin fotoğrafları Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Fotoğraflardan tüm filmlerin, cam taban yüzeyine oldukça iyi yapıştığı ve film yüzeylerinin oldukça kompakt bir görünüme sahip olduğu değerlendirilmiştir. Ancak S0’ın görüntüsünde diğer filmlere kıyasla ton farkı göze çarpmaktadır.

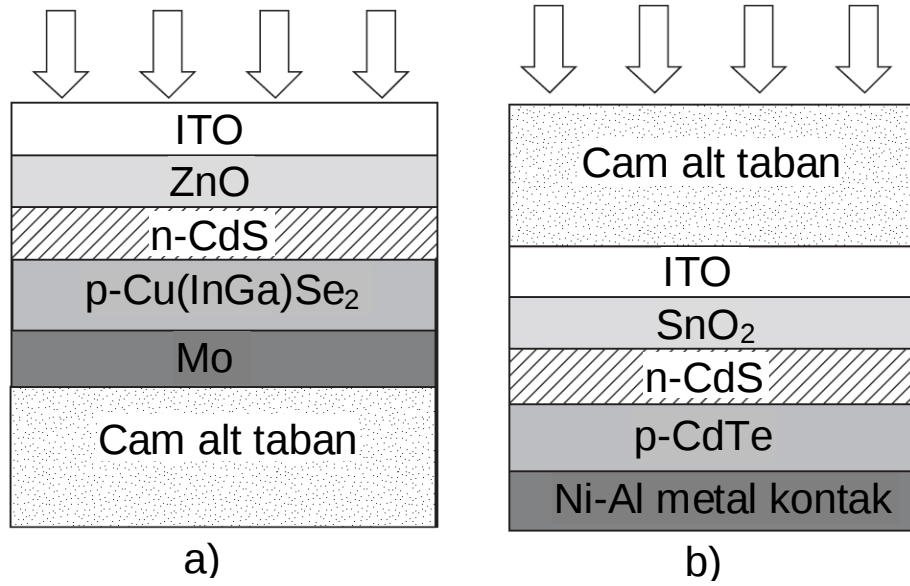


Şekil 2.8. ZnO ince filmlerinin fotoğrafları.

3. CdS İNCE FİMLERİN ÜRETİLMESİ VE İNCELENMESİ

3.1. Literatür Taraması

CdS, oda sıcaklığında yaklaşık 2,42 eV' luk geniş bant aralığına sahip kübik (çinkoblend) ve altıgen (wurtzite) kristal yapı sistemlerinde oluşabilen II-VI bileşik yarıiletken bir malzemedir (Ikhmayies, 2017, 2021). CdS ince filmleri, ayarlanabilir ışık yayan diyotlar, fotoğraf sensörleri, piezoelektrik dönüştürücüler, lazer malzemeleri ve doğrusal olmayan entegre optik cihazlar gibi optoelektronik birçok uygulamaya sahiptir (Ikhmayies, 2014). İnce film güneş pilleri, pn bağlantı oluşumu için CdS, ZnS veya çinko selenit (ZnSe) gibi n tipi bir tampon katmanına ihtiyaç duyar. CdS ince filmler birincil tercihlerden biridir, görünür bölgede yüksek geçirgenlik sergiler ve yüksek verimli cihazların ortaya çıkmasını sağlamıştır (Boosagulla vd., 2018). Şekil 3.1'de CdS'nin bakır indiyum galyum selenit (CIGS) güneş pillerinin alt taban yapısında ve CdTe güneş pillerinin tipik üst katman yapısında kullanımının şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 3.1. a) CIGS güneş pillerinin yapısının şematik görünümü; b) CdTe güneş pillerinin yapısının şematik görünümü

Kaynak:(Poortmans ve Arkhipov, 2006)

CdS ince filmler, püskürtme, buharlaştırma, moleküler ışın epitaksisi (MBE), sol-jel, elektrodepozisyon, döndürerek kaplama, spreylendirme, metal-organik kimyasal buhar biriktirme (Metal-Organic Chemical Vapor Deposition , MOCVD), ardışık iyonik katman

adsorpsiyonu ve reaksiyonu (Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction, SILAR), yakın- aralıklı süblimasyon ve KBB gibi çeşitli üretim teknikleri ile sentezlenebilir (Ashok vd., 2020). KBB tekniğinin uygulaması kolaydır, karmaşık sistemler gerektirmez ve maliyeti düşüktür. Ayrıca çözelti koşullarına bağlı olarak tane boyutlarının değiştirilebilmesi ve düşük sıcaklıklarda geniş yüzey alanına sahip ince filmler elde edilebilmesi nedeniyle araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Bu tekniğin diğer avantajlarından biri de düzgün ince filmlerin biriktirilmesinin kontrol edilebilmesidir.

CdS ince filmleri hakkındaki araştırmalar 1960'ların ilk yıllarına kadar uzanmaktadır. Araştırmacılar yüksek verimli, istikrarlı, esnek, hafif ve geniş alanlı ince film CdS güneş pilleri elde etmeyi hedeflemişlerdir (J.C..Schaefer;R.J.Humrick;R.F.Belt, 1964; OH, 1965). Aşağıda son yirmi yılda KBB tekniği kullanılarak CdS ince filmler üretmek için yapılan bazı araştırmalar sunulmuştur.

Kariper vd. (2022) KBB tekniği kullanarak pH'ın CdS ince filmlerin fiziksel özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çözelti pH değeri 9 ile 12 aralığında değiştirilerek cam tabanlar üzerine kübik yapı sergileyen CdS ince filmler biriktirilmiştir. Artan pH değerleri ile ince filmlerin bant aralığı enerjisi 2,29 eV 'tan 2,40 eV'a yükselmiş ve çözelti pH değeri 11 olduğunda üretilen filmlerin çeşitli optoelektronik cihazlarda kullanıma uygun olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Najm vd. (2022) kükürt (S) öncül konsantrasyonunun CdS ince filmlerinin optik, yapısal, morfolojik ve elektriksel özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Kadmiyum kaynağı olarak kadmiyum sülfat (CdSO_4), kükürt kaynağı olarak farklı konsantrasyonlar elde etmek için 0,001 – 0,05 M aralığında tiyoüre [$\text{CS}(\text{NH}_2)_2$] ve çözelti pH değerini ayarlamak için amonyum hidroksit (NH_4OH) kullanmışlardır. Yapılan analizler neticesinde CIGS güneş pillerinde CdS tampon katmanını üretmek için en uygun Cd/S konsantrasyonunun 1/1 olduğu sonucunu elde etmişlerdir.

Doroody vd. (2021) RF magnetron püskürtme ve KBB yöntemlerini, CdS ince filmlerini ultra ince cam tabanlar üzerine biriktirmek için kullandı. Kimyasal banyo, kadmiyum sülfat (CdSO_4), tiyoüre ve NH_4OH kullanılarak hazırlandı. Biriktirme süresince sıcaklık 70 °C ila 80 °C aralığında tutulmuş ve reaksiyon süresi 30 dakika olarak seçilmiştir. Her iki yöntemde de filmlerin alt tabakaya iyi bir yapışma gösterdiğini ancak

ultra ince cam üzerinde CdS ince film biriktirme için RF püskürtme yönteminin KBB tekniğine göre daha üstün olduğunu bildirmişlerdir.

Hyon Chol vd. (2021) reaktif konsantrasyonunun, banyo sıcaklığının ve biriktirme süresinin KBB yöntemiyle hazırlanan CdS ince filmlerinin özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Yapılan sistematik analizler neticesinde optimum biriktirme koşullarının 1mM CdCl₂, 1mM tiyoüre, 6mM amonyum klorür (NH₄Cl) ve 20 mM amonyak su çözeltisi (NH₃H₂O) kullanılarak hazırlanan çözeltinin pH değerini 10,5, sıcaklığını 85 °C ve biriktirme süresini 1 saat olarak belirlemişlerdir.

Mohammed vd. (2021), KBB yöntemi kullanılarak üretilen CdS ince filmlerin yapısal ve optik özellikleri üzerindeki pH etkisini araştırmışlardır. Biriktirme için kadmiyum asetat dihidrat (Cd(CH₃COO)₂.2H₂O), tiyoüre, TEA, etanol ve NH₃ kullanarak çözelti pH değeri 8,5'ten başlayarak 0,5'lik artışlarla, 9, 9,5 ve 10 seçilerek 50 °C gibi düşük bir sıcaklıkta, iyi yapışma özelliğine sahip CdS filmler elde etmişlerdir. Elde edilen CdS ince filmlerin optik özelliklerinde pH değerinin önemli bir rol oynadığı, özellikle pH = 9,5'te üretilen CdS filmlerin, optoelektronik uygulamalar için uygun olacağını ifade etmişlerdir.

Tanushevski ve Osmani (2018) farklı sıcaklıklardaki hava atmosferinde, CdS filmlere uygulanan ısı işlemin etkilerini incelemişlerdir. Filmler, kristalleşmeyi arttırmak için, 200 °C, 250 °C, 300 °C, 400 °C ve 450 °C tavlama sıcaklıklarında tavlандılar. 450 °C sıcaklıkta tavlanan filmin en yüksek ve 300 °C sıcaklıkta tavlanan filmin en düşük foto iletkenlik değerine sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Hariech vd. (2018) biriktirme sıcaklığının CdS filminin fiziksel özellikleri üzerindeki etkisini araştırmak için 25 dakika biriktirme süresinde, banyo sıcaklığı 55 ila 75 °C arasında değiştirilerek cam tabanlar üzerine bir dizi CdS numunesi üretmişlerdir. Filmlerin yapısal ve optik özelliklerinin artan çözelti sıcaklıklarıyla birlikte geliştiğini, güneş pillerinde tampon katman olarak kullanıldığında ihtiyaç duyulan daha iyi optik ve yapısal özelliklere sahip olan CdS ince filmleri KBB yöntemi ile üretmek için 75 °C'lik bir çözelti sıcaklığının en uygun sıcaklık olarak kabul edilebileceği sonucuna varmışlardır.

Kamal vd. (2017) CdS filmleri üretmek için 0.1M kadmiyum klorür (CdCl₂), 0,2M NH₄Cl, 2M NH₃ ve farklı molaritelerde tiyoüre kullanmıştır. Optimum koşulları

belirlemek amacı ile biriktirme süresinin bu filmlerin yapısal, morfolojik ve optik özellikleri üzerindeki etkisi araştırarak 70 dakikalık biriktirme süresinde elde edilen filmin iyi yapısal ve optik özellikler gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Carrillo-Castillo vd. (2013) CdS ince filmleri, KBB yöntemi ile üretirken, biriktirme hızının daha iyi kontrol edilebilmesi için Sodyum bor hidrür (NaBH_4) ve N_2H_4 'ü kompleks oluşturucu ajan olarak kullanmışlardır. Kompleks bir madde olarak sodyum bor hidrür birikme hızını arttırırken, N_2H_4 daha yüksek kompleksleşme ve yavaş Cd^{2+} oluşumu nedeniyle birikme hızını azaltarak CdS filmlerinin morfolojisini iyileştirdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Benghabrit vd. (2013), bazik bir çözelti içinde 1 M kadmiyum asetat ($\text{C}_4\text{H}_6\text{CdO}_4$) varlığında 1 M tiyoüre stok çözeltisini kullanarak kimyasal biriktirme yoluyla biriktirilen ince CdS filmlerini incelemişlerdir. Kompleks oluşturucu madde olarak NH_4OH kullanılmış ve pH değeri 11'de tutulmuştur. Mevcut araştırmada kullanılan tüm filmler, aynı kimyasal çözelti kullanılarak aynı banyoda, farklı biriktirme zamanlarında eş zamanlı olarak biriktirilmiş ve sabit bir sıcaklıkta tavlannmıştır. Araştırmacılar KBB yöntemiyle kaliteli, cam alt tabana iyi yapışan, düzgün ve iğne deliği olmayan CdS filmler elde edildiğini rapor etmişlerdir. KBB tekniği ile CdS ince filmleri biriktirmek için çözelti hazırlanırken Cd kaynağı olarak kadmiyum asetat, kükürt kaynağı olarak tiyoüre ve kompleks oluşturucu madde olarak NH_4OH içeren basit sulu çözeltiler kullanmışlar ve analizler sonucunda enerji bant aralığının tanecik boyutuna bağlı olduğunu doğruladıklarını bildirmişlerdir.

Rizwan vd. (2011) KBB tekniği ile CdS filmleri, cam taban üzerinde büyütme için CdCl_2 ve tiyoüre kullanmış, sabit bir banyo sıcaklığında farklı çözelti konsantrasyonlarında biriktirmişlerdir. 360 °C sıcaklıkta tavlannan filmlerin kristalit boyutunun ve optik geçirgenlik değerlerinin çözelti konsantrasyonuna ve tavlama sıcaklığına bağlı olarak değiştiğini bildirmişlerdir.

J. Lee (2007) KBB yöntemi ile CdS filmleri cam, poli karbonat (PC), polietilen tereftalat (PET) ve Si levha üzerine biriktirerek alt taş türlerinin filmlerin yapısal ve optik özelliklerine etkisini araştırmıştır. Aynı malzemeleri kullanarak farklı alt tabanlar üzerine CdS ince filmlerinin üretilmesinin filmlerin yapısal fazını etkilediği, ancak cam üzerine

biriktirilen filmlerin, görünür bölgede ışık geçirgenliğinin %20 daha iyi olduğunu gözlemlediğini bildirmiştir.

Ximello-quiebras vd. (2004) KBB yöntemi kullanarak farklı kalınlıklarda biriktirdikleri CdS ince filmlerinin fiziksel özelliklerini incelemişler, XRD analizinden yapının altıgen olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca karanlıkta ve ışıpta elektriksel davranışı da inceleyerek 2.,47 eV bant aralığı değerinin, güneş enerjisi uygulamalarında pencere katmanı olarak kullanım için kabul edilebilir özelliklere sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmaların ikinci aşamasında CdS ince film üretimi ile ilgili literatür tarandığında Na_2SO_3 kullanılarak reaksiyon hızının düşürüldüğüne dair bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bununla birlikte, Na_2SO_3 'ün inhibitör etkileri üzerine iki çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar, elektrodpozisyon yöntemiyle elde edilen ZnS ince filmler ve KBB yöntemiyle elde edilen PbS ince filmler ile ilgiliydi. ZnS ve PbS ile ilgili bahsedilen çalışmalarda, Na_2SO_3 inhibitörleri kullanılarak iyi kristallenmiş ve iğne deliği içermeyen filmler elde edilebildiği öne sürülmüştür (Altiokka vd., 2013; Society, 2019). Bu nedenle inhibitör kullanımı önerilmiştir (Altiokka vd., 2013).

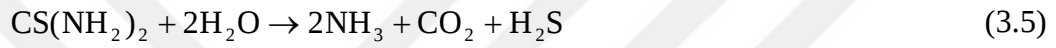
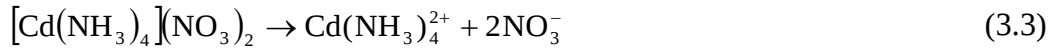
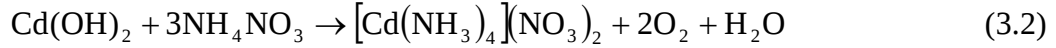
3.2. İnhibitör Olarak Kullanılan Sodyum Sülfidin Kimyasal Banyo Biriktirme Yoluyla Elde Edilen CdS Filmleri Üzerindeki Etkileri

Bu tez çalışması kapsamında KBB tekniği ile 5 adet CdS ince film üretilmiştir. Üretim sırasında inhibitör olarak Na_2SO_3 ilk defa kullanılmış ve reaksiyon hızının etkileri detaylı olarak incelenmiştir. Literatürde mevcut çalışmalarda CdS üretimi için Na_2SO_3 kullanan bir çalışmaya rastlanamamıştır.

Çalışmamızda farklı miktarlarda Na_2SO_3 kullanılması CdS için reaksiyon hızının azalmasına neden olmuştur. Ayrıca inhibitör kullanımı tavlama gereksiz kalmaksızın kristal yapısı altıgen fazda, yüzeyinde iğne deliği ve çatlaklar olmayan filmler elde edilmesini sağlamıştır. Na_2SO_3 miktarına bağlı olarak filmlerin bant aralıkları 2,35 eV'den 2,49 eV'ye yükseldiği de gözlemlenmiştir. Güneş pilleri için daha kararlı olan altıgen faz ve nispeten yüksek bant aralığı tercih edildiği için bu sonuçlar önemlidir (Pushpalatha ve Ganesha, 2015). Güneş pillerinden daha yüksek verim elde etmek için optik bant aralığının daha yüksek olması nedeniyle kübik yapı yerine altıgen tampon katmanı tercih edilmektedir (Ashok vd., 2020). Polimorfik yapıya sahip CdS

piezoelektrik özellik gösterirken, altıgen yapı piroelektrik özellik gösterir (Anionye Daniel-Umeri, 2015).

KBB yöntemiyle CdS üretiminde yer alan kimyasal süreçleri gösteren denklemler aşağıdaki gibidir (Metehan Önal ve Altıokka, 2020a):



3.3. Deneysel Detaylar

CdS ince filmlerinin cam tabanlar üzerine biriktirilmesi için KBB tekniği tercih edilmiştir. İlk olarak banyo kabı ve cam tabanlar %5'lik hidroklorik asit çözeltisi ile dikkatlice yıkandı ve deiyonize su ile durulandı. Tüm deneylerde sırasıyla 0,05 g CdCl₂, 0,9 g Potasyum hidroksit (KOH), 1,3 g Amonyum nitrat (NH₄NO₃) ve 0,23 g tiyoüre 100 ml deiyonize suda çözülerek çözeltilerin pH değeri NH₃ kullanılarak 9,5'e ayarlandı. pH değerleri ayarlanan çözeltiler 85°C'ye kadar ısıtıldı ve deney süresince 800 dev/dk karıştırıldı. Daha önce yapılan bir çalışmada CdS oluşumunun ortalama 200 dakikada tamamlandığı gösterilmiştir (Çetinörgü vd., 2006). Bu nedenle tüm numuneler için biriktirme süresi 300 dakika olarak seçilmiştir. Bu sürede tüm numunelerin kalınlıkları yaklaşık olarak aynı değere ulaşmıştır. Bu durum reaksiyonun bittiği kanaatine ulaşmamıza neden olmuştur. Örnekler çözeltilere ilave edilen Na₂SO₃ miktarına göre (0, 2,5 mg, 5,0 mg, 7,5 mg ve 10 mg) sırasıyla RR0, RR1, RR2, RR3 ve RR4 olarak adlandırılmıştır. Numune yüzeyleri kimyasal kalıntıların temizlenmesi için basınçlı deiyonize su ile durulanmış ve oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Özetlenen deneyssel ayrıntılar Tablo 3.1'de verilmiştir.

Film kalınlıklarını hesaplamak için gravimetrik yöntem kullanılmıştır. Üretilen CdS ince filmlerin X-ışını kırınım desenleri için 20° ile 70° arasında değişen 2θ açılarda PANalytical Empyrean XRD difraktometresi kullanılmıştır. CdS filmlerin optik özelliklerini belirlemek için tek ışınlı A&E lab UV-vis spektrometre kullanılmıştır. Fourier dönüşümü analizi için PERKIN Elmer FTIR cihazı kullanılmıştır. CdS filmlerinin yüzey morfolojisi, bir Zeiss SUPRA 40VP taramalı elektron mikroskobu kullanılarak incelenmiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri, ImageJ yazılımı ve SEM görüntüleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.1. KBB yöntemiyle üretilen CdS için deneysel koşullar.

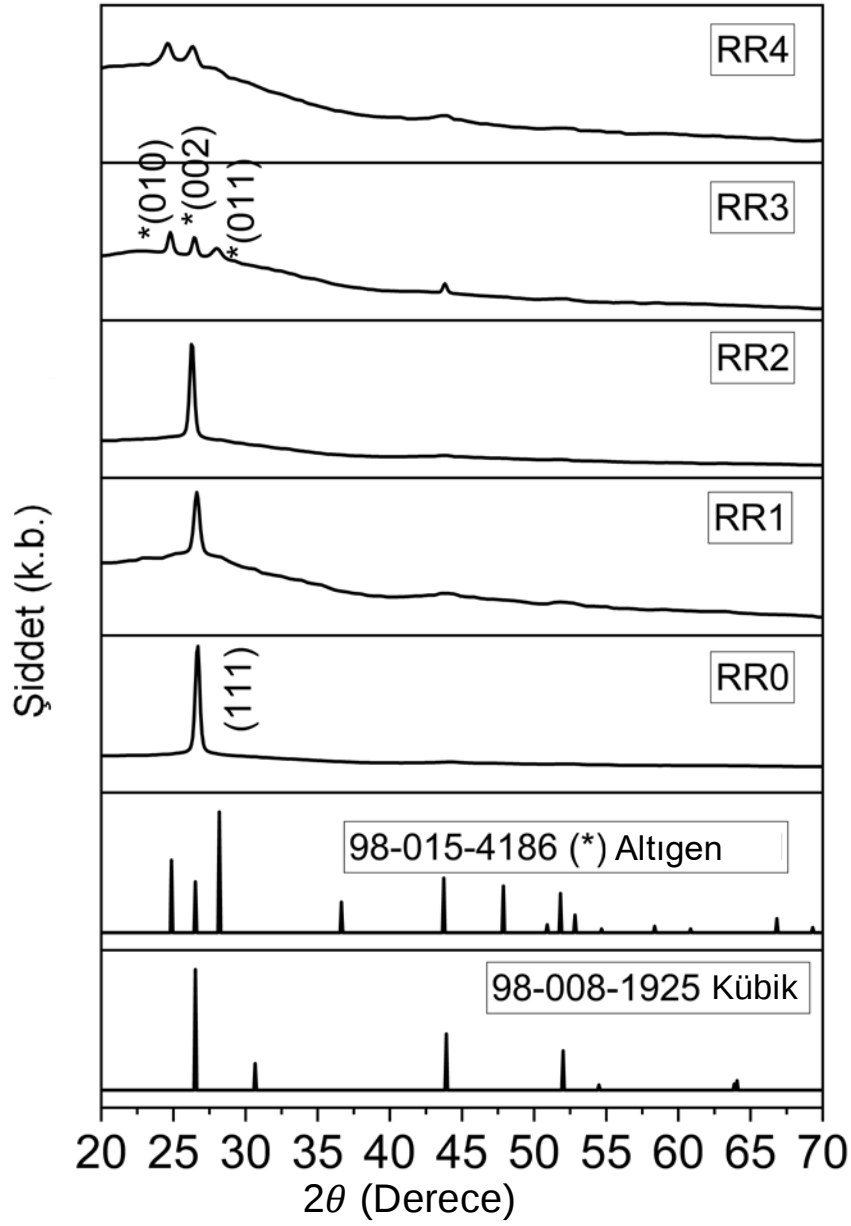
Deneyler	CdCl ₂ (g)	KOH (g)	NH ₄ (NO) ₃ (g)	Tiyoüre (g)	Na ₂ SO ₃ (g)	Biriktirme süresi (dk.)
RR0	0,05	0,9	1,3	0,23	0,0000	300
RR1	0,05	0,9	1,3	0,23	0,0025	300
RR2	0,05	0,9	1,3	0,23	0,0050	300
RR3	0,05	0,9	1,3	0,23	0,0075	300
RR4	0,05	0,9	1,3	0,23	0,0100	300

3.4. CdS Filmlerinin Yapısal Analizi

Üretilen ince filmlerin kalınlık analizleri Denklem 2.1’de verilen gravimetrik yöntemle yapılmıştır. CdS için yığın yoğunluğu $4,84 \text{ g/cm}^3$ olarak alınmıştır (Hariech vd., 2018). RR0, RR1, RR2, RR3 ve RR4’te elde edilen filmlerin kalınlıkları sırasıyla 360, 345, 355, 330 ve 325 nm olarak hesaplanmıştır. Bu nedenle filmlerin kalınlıklarının hemen hemen aynı olduğu söylenebilir.

XRD kırınım desenleri Şekil 3.2’de verilmiştir. 2θ tarama aralığı 20° ile 70° arasında seçilmiştir. XRD desenleri incelendiğinde, RR0, RR1 ve RR2’de elde edilen filmlerin kübik, RR3 ve RR4’te elde edilen filmlerin reaksiyon hızına bağlı olarak altıgen yapıda olduğu görülmüştür. 98-008-1925 ve 98-015-4186 numaralı ASTM kartları kullanılarak yapılan karşılaştırmada ilk üç numunenin (111) düzleminde kübik yapıya ait tek bir tepe noktasına sahip olduğu görülmüştür. Diğer örnekler altıgen fazda oluşturulmuştur. Bu durum, altıgen fazlara sahip CdS’nin kübik yapıya göre daha kararlı bir yapıya sahip olması nedeniyle önemlidir (Regmi vd., 2020). Kübik yapının tepe

noktaları $2\theta = 26,7$ (111) derece civarında, altıgen yapı tepe noktaları ise $2\theta = 24,86$ (010), 26,52 (002) ve 28,17 (011) derece civarında bulunmuştur.



Şekil 3.2. İnhibitör miktarına bağlı olarak oluşan CdS'nin X-ışını kırınım desenleri

Ortalama kristalit boyutlarını hesaplamak için Denklem 2.3'de verilen Debye Scherrer formülü kullanılmıştır. Hesaplanan ortalama kristalit boyutları Tablo 3.2'de sunulmaktadır. Tablo 3.2'ye göre, kristalit boyutları 18 nm ile 26 nm arasında değişmektedir.

Tablo 3.2. CdS ince filmlerin hesaplanan kristalit boyutları

Deneyler	cs (nm) (111) Kübik	cs (nm) (010) Altıgen	cs (nm) (002) Altıgen	cs (nm) (011) Altıgen	cs (nm) Ortalama
RR 0	26	-	-	-	26
RR 1	18	-	-	-	18
RR 2	22	-	-	-	22
RR 3	-	25	27	17	23
RR 4	-	24	16	-	20

Kübik yapı ve altıgen yapı için kafes parametreleri, aşağıda verilen Denklem 3.8 ve Denklem 3.9 kullanılarak hesaplandı:

$$a = d\sqrt{(h^2 + k^2 + l^2)} \quad (3.8)$$

$$\frac{1}{d_{(hkl)}^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2} \quad (3.9)$$

Burada, d düzlemler arası mesafedir, (hkl) Miller indisleridir ve a ve c sırasıyla kafes parametreleridir (I. M. S. Mohammed vd., 2021). Kullanılan ASTM kartlarında verilen kristalografik parametreler kübik yapı için a=b=c (5,83 Å) ve altıgen yapı için a=b (4,137 Å) ve c (6,716 Å) şeklindedir. Hesaplanan kafes sabiti değerlerinin ASTM kartlarında verilen kristalografik parametrelerle hemen hemen aynı olduğu görüldü, özellikle altıgen yapı için c/a değeri tam olarak eşleşmiştir. Yarı maksimumda tam genişlik (FWHM), kırınım açısı 2θ°, Miller indisleri (hkl), düzlemler arası boşluk (d) ve kafes sabitleri (a & c) Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.3. FWHM, kırınım açısı 2θ (derece), Miller indisleri (hkl), düzlemler arası boşluk (d) ve kafes sabitleri (a & c)

Deneyler	FWHM	2θ	hkl	d (Å)	Hesap. a(Å)	Hesap. c(Å)	c/a Ratio
RR 0	0,3463	26,703	(111)	3,34234	5,789		
RR 1	0,4344	26,614	(111)	3,34804	5,798		
RR 2	0,361	26,250	(111)	3,39058	5,872		
RR 3	0,370	24,773	(010)	3,59460	4,150		
	0,372	26,435	(002)	3,37046		6,740	1,624
	0,587	27,998	(011)	3,18765			
RR 4	0,585	24,593	(010)	3,61958	4,179		
	0,568	26,338	(002)	3,38813		6,776	1,621

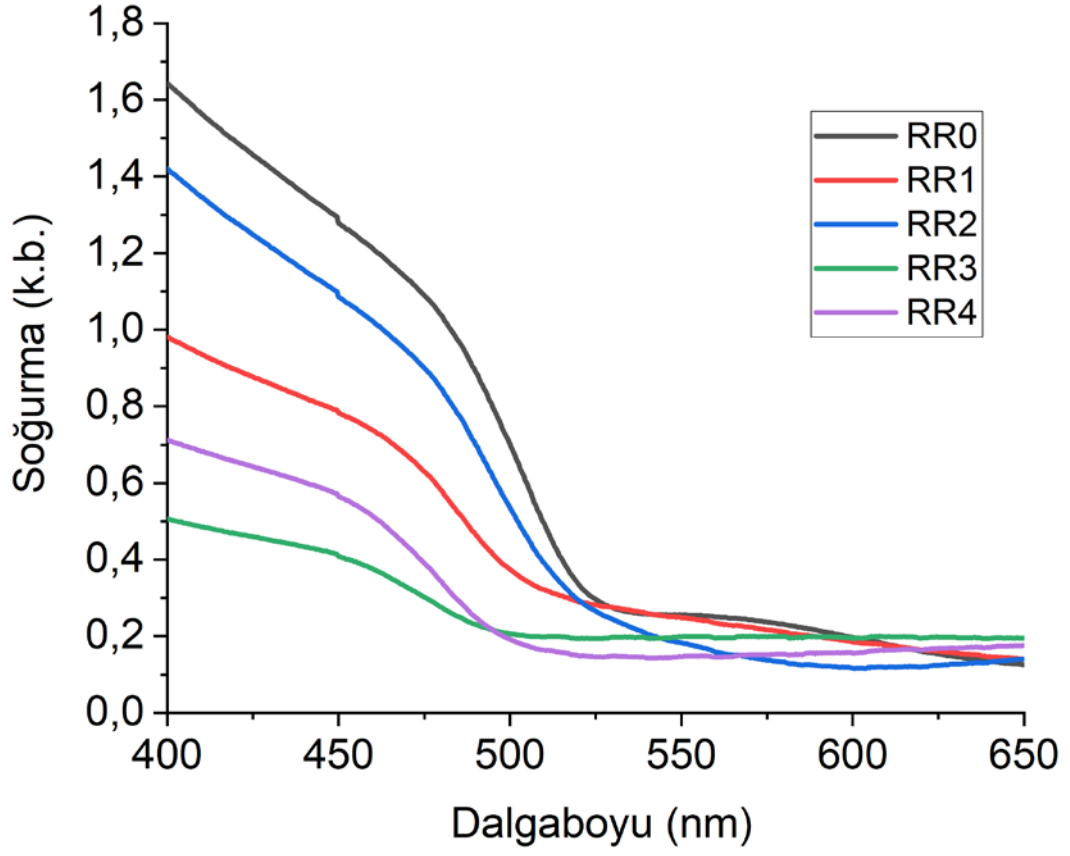
Kübik faz ASTM kart numarası;98-008-1925 a=b=c= 5,83 Å

Altıgen faz ASTM kart numarası;98-015-4186 a=b= 4,137 Å, c=6,716 Å

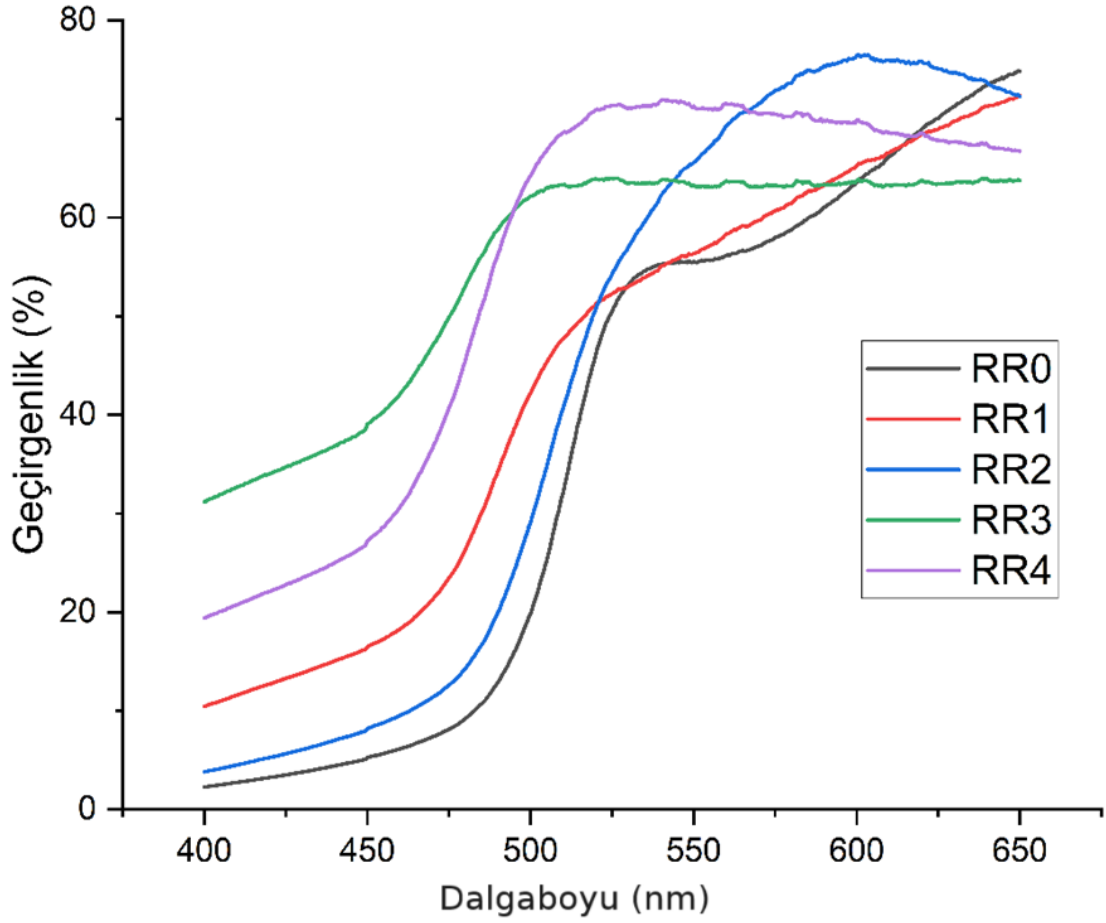
3.5. CdS Filmlerinin Optik Özellikleri

CdS ince filmlerinin optik özellikleri, dalgaboyuna karşı soğurma ölçümleri ile araştırılmış ve Şekil 3.3’de verilmiştir. Soğurma grafikleri incelendiğinde RR3 ve RR4 adlı örneklerde yaklaşık 500 nm’de keskin artış gözlenirken, RR0, RR1 ve RR2 adlı örneklerde de keskin artışın 550 nm civarında gerçekleştiği görülmüştür. 650 nm dalgaboyunda tüm soğurma çizgilerinin aynı seviyede olması film kalınlıklarının yaklaşık olarak aynı değere sahip olduğunu göstermektedir. CdS ince filmlerinin geçirgenlik grafikleri Şekil 3.4’te verilmiştir. Şekil 3.4 incelendiğinde filmlerin geçirgenlik değerlerinin yaklaşık 450 nm dalgaboyundan itibaren artış gösterdiği, 500 nm ile 650 nm dalgaboyu aralığında filmlerin geçirgenlik değerlerinin %50 ile %75 arasında değiştiği görülmektedir. Na₂SO₃ kullanmadan üretilen RR0 etiketli CdS ince filmin geçirgenlik değeri 550 nm de yaklaşık % 55 civarında iken 5 mg Na₂SO₃ kullanılarak üretilen RR2 isimli numunenin geçirgenlik değeri yaklaşık % 75 değerine ulaşmıştır. Ayrıca yüksek soğurma, güneş ışınlarını soğurarak birleşim bölgesine ulaşmasını engellediği için pencere tabakası için yüksek soğurma değerleri tercih edilmemektedir. Güneş pilinde

pencere tabakası olarak kullanılacak malzemeler için düşük soğurma değeri tercih edilmektedir (Wilson vd., 2014).



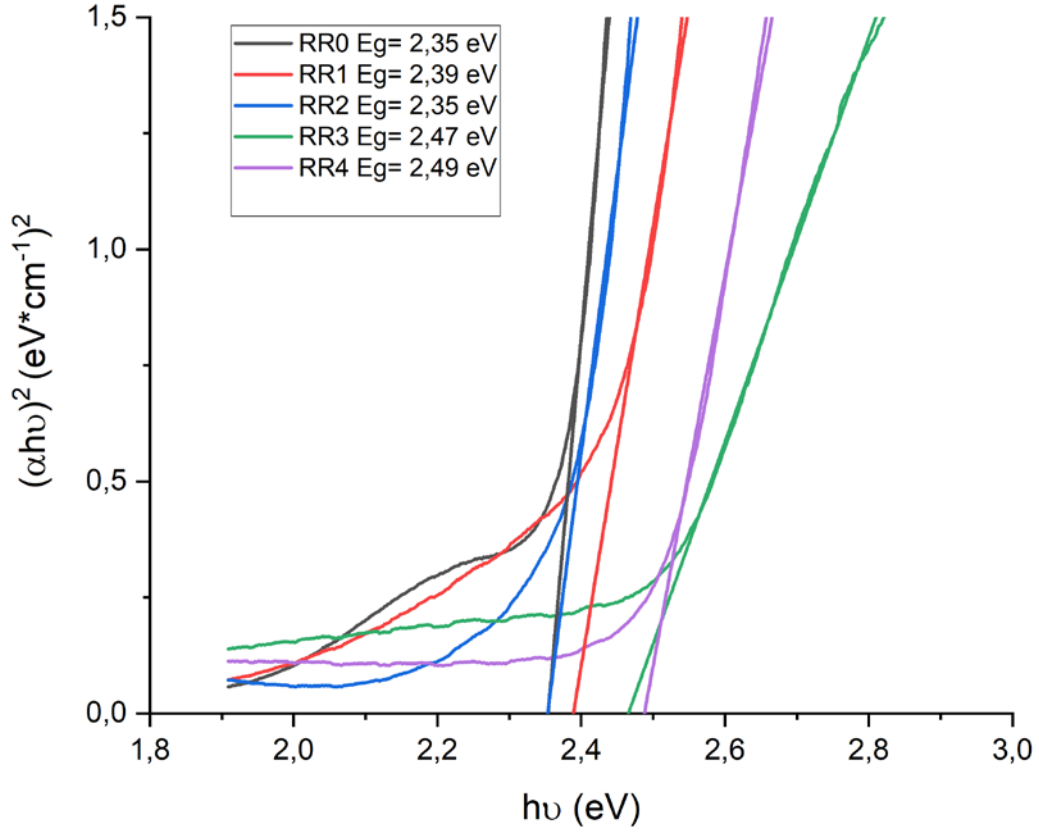
Şekil 3.3. CdS ince filmlerin soğurma grafiği



Şekil 3.4. CdS ince filmlerin geçirgenlik spektrumları

Örneklerin enerji bant aralığı değerleri Tauc grafikleri kullanılarak tahmin edilmiş ve elde edilen değerler Şekil 3.5'te sunulmuştur. Denklem 2.4'te verilen Tauc denklemi, ince filmlerin optik enerji bant aralığını hesaplamak için kullanılmıştır.

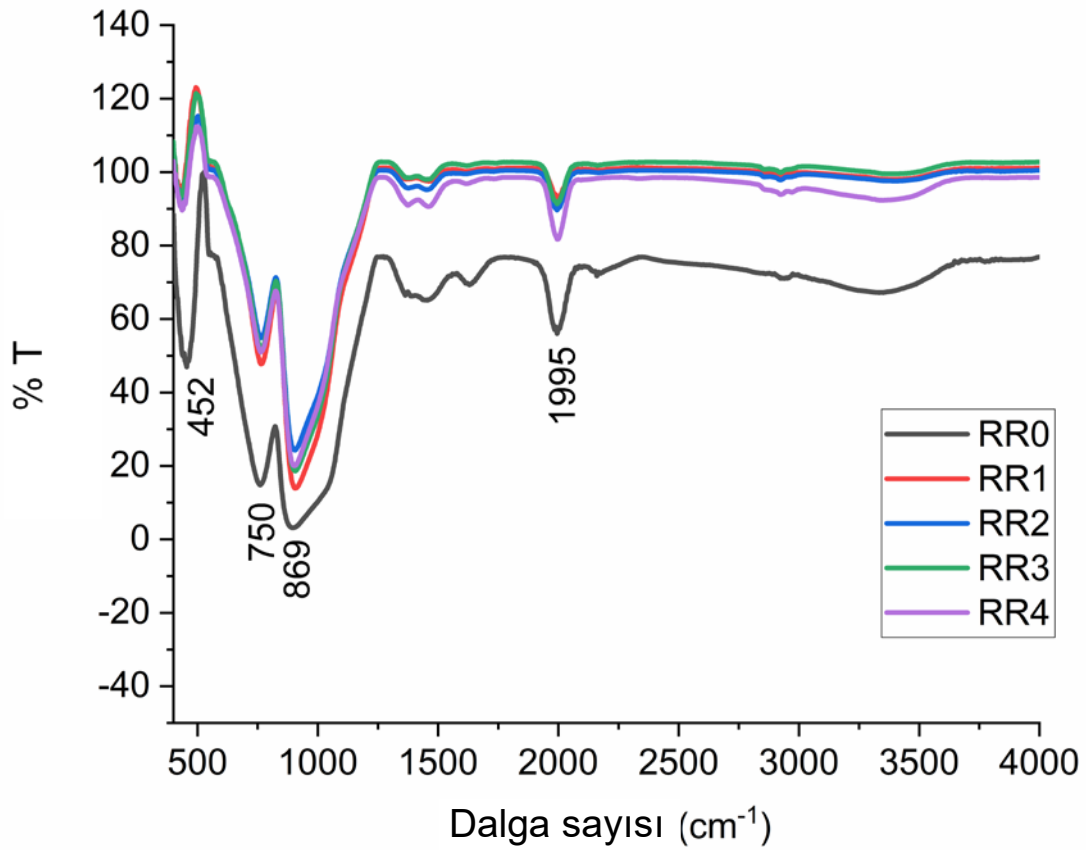
Şekil 3.5 RR0, RR1 ve RR2'de elde edilen filmlerin enerji bant boşluklarının 2,35 eV ile 2,39 eV arasında değiştiğini göstermektedir. Literatürde, 85 °C'de üretilen CdS ince filmlerin enerji bant aralığının 2,38 eV olduğu görülmüştür (Liu vd., 2010). RR0, RR1 ve RR2'de elde edilen filmlerin enerji bant aralığı değerleri, kübik yapıli filmler için literatürde belirtilen değerlerle eşleşmiştir. Altıgen yapıli CdS ince filmlerin enerji bant aralıklarının 2,58 eV olduğu bilinmektedir (Ashok vd., 2020). Dolayısıyla RR3 ve RR4'te elde edilen filmlerin sahip olduğu 2,47 eV ve 2,49 eV bant aralığı değerlerinin güneş pillerinin kullanımına uygun olduğu söylenebilir.



Şekil 3.5. Reaksiyon hızına bağlı olarak CdS ince filmlerin enerji bant aralıkları

3.6. CdS Filmlerinin FTIR Analizi

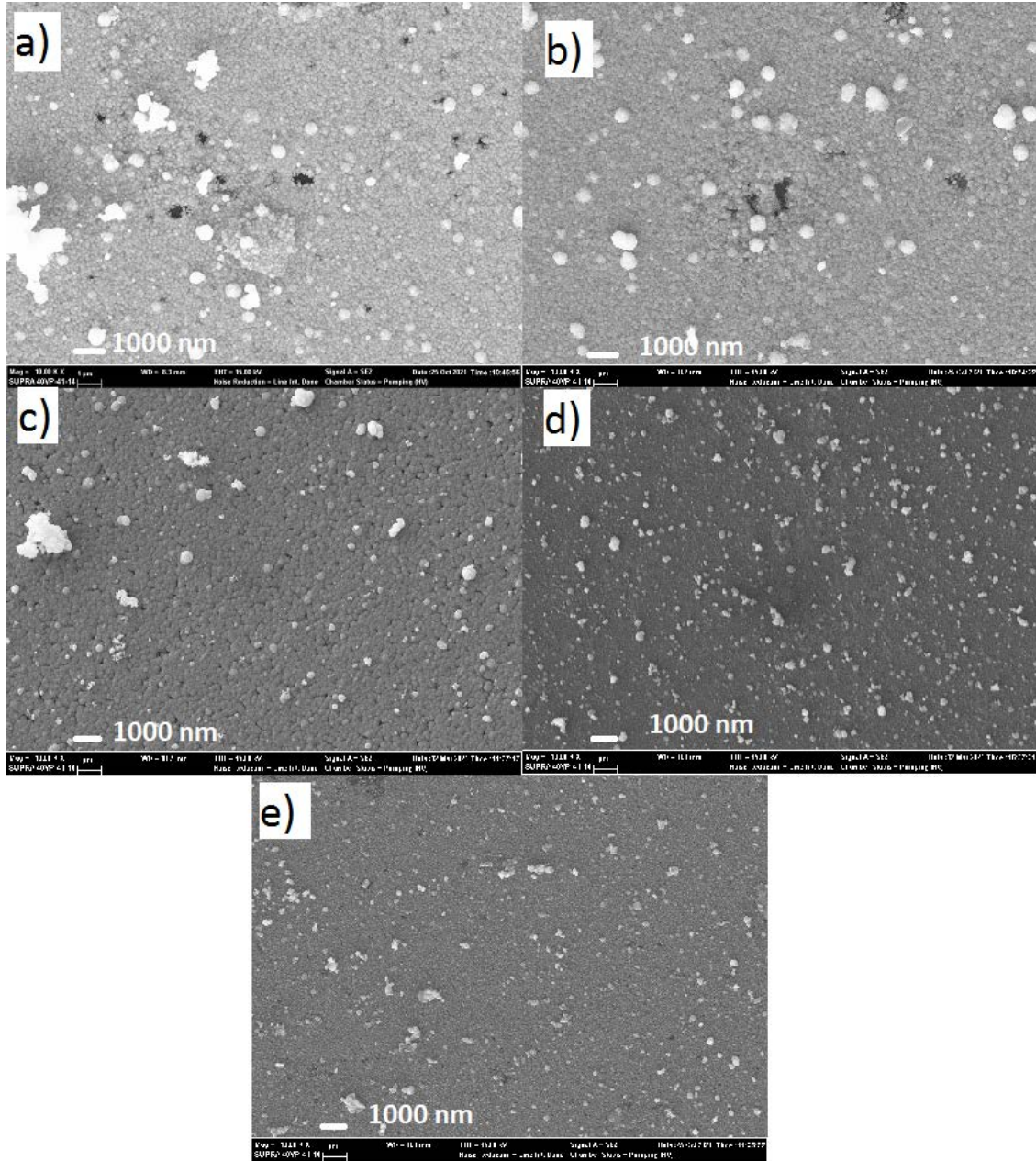
Bu çalışmada FTIR değerleri 400 - 4000 cm^{-1} aralığındaki dalga sayılarında kaydedilmiş ve Şekil 3.6'da verilmiştir. Metal oksitler, atomlar arası titreşimlerden kaynaklanan 1000 cm^{-1} 'in altında soğurma bantları gösterir. Şekil 3.6'deki 750 cm^{-1} ve 869 cm^{-1} 'deki iki tepe, Cd-S bağının (Islam vd., 2015), 452 cm^{-1} ise Cd-N bağının (Rahulkumar vd., 2011) gerilme frekansına atanır. 1995 cm^{-1} civarındaki pik, tiyoüre ve amonyağın kimyasal reaksiyonuyla oluşan siyanamid veya tiyosiyanatın (karbon-nitrojen) C-N germe titreşiminin varlığından kaynaklanmaktadır (Muthusamy, 2012). Şekil 3.6, inhibitör kullanılarak üretilen numunelerin geçirgenlik değerlerinde dikkate değer bir artış olduğunu göstermektedir. Bu, inhibitör kullanımına bağlı olarak kristal kusurlarındaki azalmaya bağlanabilir (Chander ve Dhaka, 2017).



Şekil 3.6. CdS ince filmlerin FTIR spektrumları

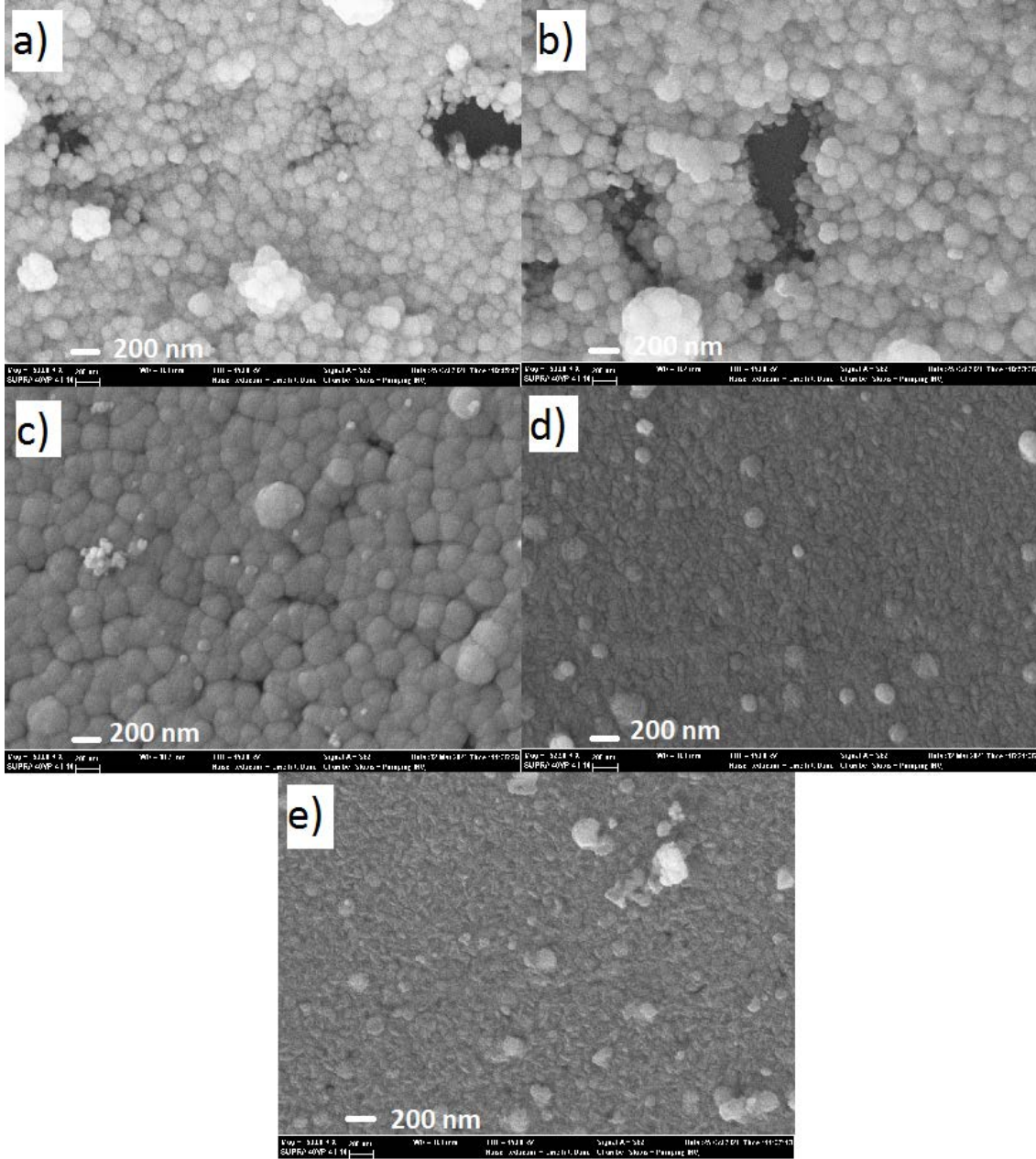
3.7. CdS Filmlerinin SEM Analizi

Cam tabanlar üzerinde üretilen CdS ince filmlerin yüzey morfolojisini analiz etmek için SEM görüntüleri kullanılmıştır. İnce film yüzeylerindeki tüm iğne delikleri ve boşlukları görüntüleyebilmek için 10 kX büyütmenin yanı sıra 50 kX büyütmede de SEM görüntüleri alınmıştır. 10 kX kez büyütülmüş SEM görüntüleri Şekil 3.7’de verilmiştir. Şekil 3.7 incelendiğinde, RR0, RR1 ve RR2 olarak isimlendirilen numunelerin yüzeyinde çok sayıda iğne deliği ve çatlaklar olduğu görülürken, RR3 ve RR4 olarak isimlendirilen diğer filmlerin yüzeyinde iğne delikleri ve çatlaklar olmadığı görülmüştür. Bu iki filmin yüzeylerinin 10 kX büyütmede olduğu gibi 50 kX büyütmede de oldukça homojen ve kompakt olduğu gözlenmiştir. İğne deliklerinin varlığı güneş pillerinde kısa devrelere neden olabileceği için yüzeylerinde iğne deliği ve çatlaklar olmayan filmler elde edilmesi önemli bir sonuçtur



Şekil 3.7. CdS ince filmlerin 10 kX büyütmede elde edilen ve a) RR0 b) RR1 c) RR2 d) RR3 e) RR4'te elde edilen SEM görüntüleri

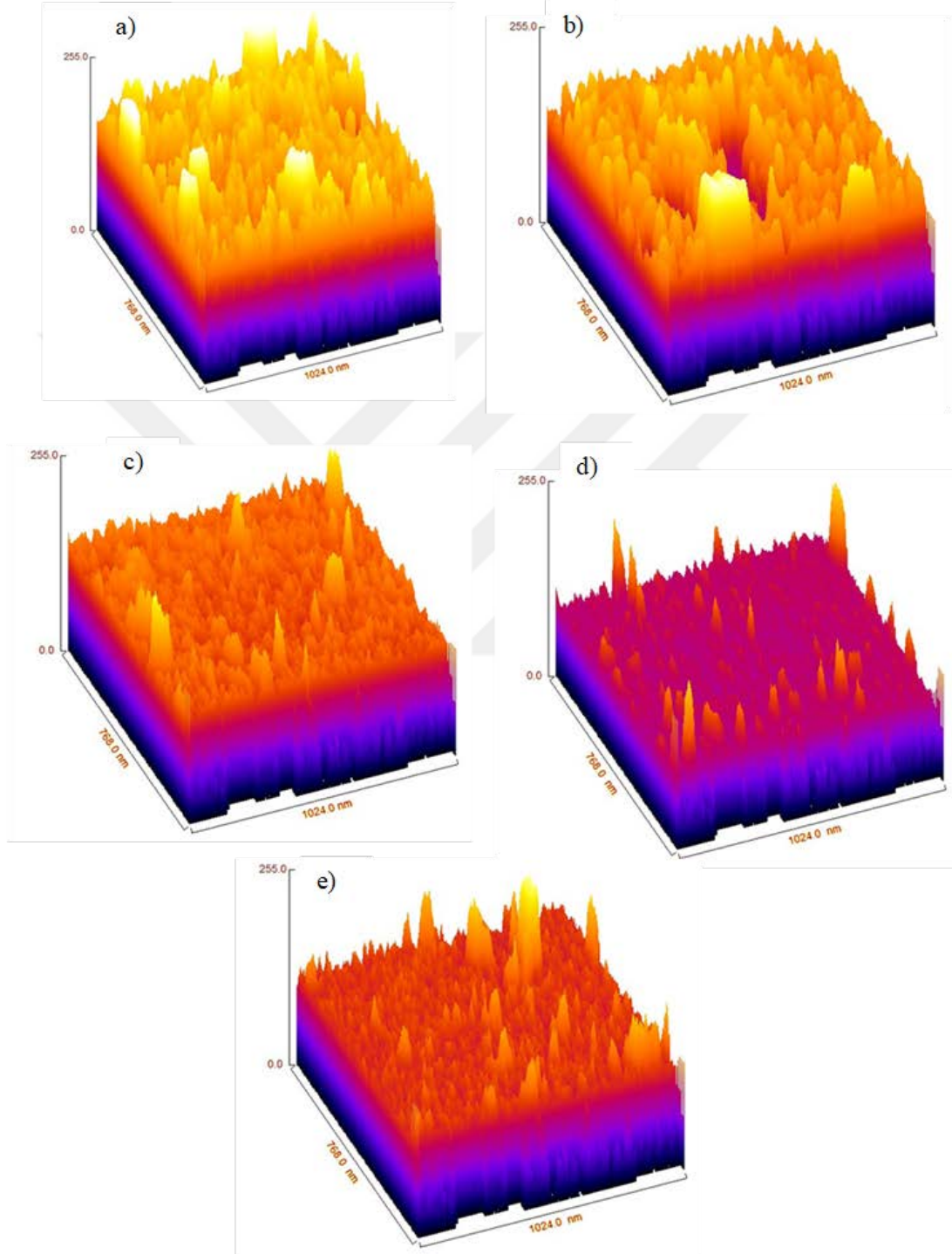
50 kX büyütülmüş SEM görüntüleri Şekil 3.8'de verilmiştir. Şekil 3.8'e göre altıgen fazlara sahip filmlerin yüzeyinde iğne delikleri ve boşluklar yoktur.



Şekil 3.8. CdS ince filmlerin 50 kX büyütmede elde edilen ve a) RR0 b) RR1 c) RR2 d) RR3 e) RR4'te elde edilen SEM görüntüleri

SEM görüntüleri ImageJ yazılımı ile işlenerek numunelerin yüzey pürüzlülüğü analiz edilmiştir. Literatürde ImageJ yazılımını kullanarak yüzey morfolojisi analizi yapan birçok çalışma bulunmaktadır (Bakr vd., 2018; Dev vd., 2020; Ikhmayies, 2021). Pürüzlülük görüntüleri Şekil 3.9'da verilmiş ve pürüzlülük değerleri Tablo 3.4'de sunulmuştur. Kübik yapıda elde edilen filmlerin yüzey pürüzlülüğü altıgen yapıdaki filmlere göre oldukça yüksek çıkmıştır. Tablo 3.4'de görüldüğü gibi ortalama pürüzlülük değerleri RR0'dan RR4'e sırasıyla 22, 21, 12, 9 ve 11 nm olarak değişmiştir. Bu sonuç

altıgen fazın pürüzlülük değerlerinin oldukça düşük olması nedeniyle dikkat çekicidir. Dolayısıyla geçirgenlik değerlerinin yüksek ve aynı zamanda literatürle uyumlu olduğu söylenebilir (Kim vd., 2010).



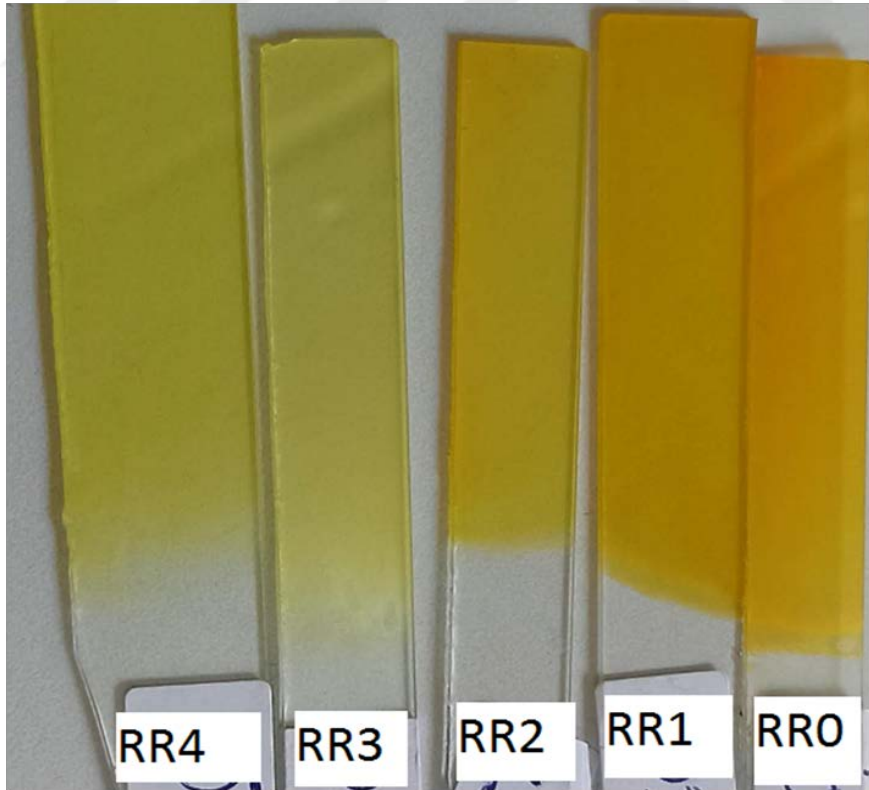
Şekil 3.9. a) RR0 b) RR1 c) RR2 d) RR3 e) RR4'te elde edilen CdS ince filmlerinin yüzey pürüzlülük grafikleri

Tablo 3.4. ImageJ yazılımı ile hesaplanan yüzey pürüzlülük değerleri

Deneyler	Na ₂ SO ₃ (g)	Ra (nm)	Rq(nm)
RR0	0,0000	22	27
RR1	0,0025	21	26
RR2	0,0050	12	16
RR3	0,0075	9	12
RR4	0,0100	11	14

3.8. CdS Filmlerinin Görsel Analizi

Üretilen numunelerin fotoğrafı Şekil 3.10'da verilmiştir. Bu fotoğrafta, CdS'nin cam yüzeylere çok iyi yapıştığı ve homojen bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Numunelerin yüzeylerinde boşluk veya kusur görülmemektedir. Fotoğrafta görüldüğü gibi numunelerin renk tonlarında farklılıklar oluşmaktadır. Kristal yapısının kübik fazdan altıgen faza kaymasının bu renk tonu farklılığına neden olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 3.10. CdS filmlerinin fotoğrafı

4. CdSe İNCE FİLMLERİN ÜRETİLMESİ VE İNCELENMESİ

4.1. Literatür Taraması

II-VI grubuna ait kompozit malzemeler arasında ilginç bir malzeme olan CdSe, optoelektronik ve foto voltaik cihazlarda geniş uygulama alanları bulmaktadır. Bu alanlar arasında ışık yayan diyotlar, lazer diyotlar, foto detektörler, gaz sensörleri, gama ışını detektörleri, ince film transistörleri ve güneş pilleri bulunmaktadır (Garibay-Martínez vd., 2021; Gholami Hatam ve Ghobadi, 2016; Kariper vd., 2015; Morris vd., 2019; Nikam vd., 2023). CdSe'ye olan bu yoğun ilginin sebebi, 1,74 eV direkt bant aralığına, n tipi iletkenliğe ve yüksek elektron ilgisine sahip, şeffaf bir malzeme olmasıdır (Gholami Hatam ve Ghobadi, 2016; F. Göde vd., 2015). CdSe ince filmler biriktirme koşullarına bağlı olarak altıgen veya kübik yapıda üretilebilmekte ve ayrıca kübik yapıya sahip filmler tavlama yoluyla yarı kararlı kübik yapıdan daha kararlı altıgen yapıya dönüştürülebilmektedir (Hernandez-Perez vd., 2008; Yamamoto vd., 1998).

Araştırmacılar, CdSe ince filmleri üretmek için KBB yönteminin yanı sıra, MOCVD, magnetron püskürtme, moleküler ışın epitaksisi, daldırma kaplama, lazer ablasyon tekniği, elektrodepozisyon ve spreylendirme yöntemleri gibi çeşitli diğer teknikleri de tercih etmişlerdir (Bayramoglu ve Peksoz, 2019; Cheng vd., 2009; Dhanam vd., 2008; Elango vd., 2000; Hassen vd., 2020; Lade vd., 2001; Nikam vd., 2023; S. M. Pawar vd., 2006; Perna vd., 2001). KBB, çözelti konsantrasyonu, pH değeri ve sıcaklığı, biriktirme süresi, karıştırma hızı gibi birçok değişkenin kolaylıkla kontrol edilebilmesi, uygulamasının basit olması ve karmaşık donanım gerektirmemesi nedeniyle tercih edilen bir yöntemdir (Kariper vd., 2015).

Kimyasal biriktirme yöntemi ile üretilen CdSe filmleri, foto elektrokimyasal hücrelerdeki foto anotlar için geniş çapta araştırılmıştır (Hodes, 2002). CdSe ile ilgili çalışmalar oldukça eskiye gitmektedir. J. J. Lander 1957 yılında yapılmış, CdSe kristallerinin (n-tipi) 300°C'de 3 saat süreyle vakumda işlenmesinden kaynaklanan "Işıklı uyarılan sıcaklığa bağlı, tersinir oksijen emilimi" ile ilgili çalışmadan bahsetmiştir (Lander, 1960). Son yıllarda CdSe ince filmlerle ilgili yapılan bazı çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

Sarmh ve Borah (2023) oda sıcaklığında KBB tekniği ile hazırlanan nanokristalin CdSe ince filmlerinin foto elektronik özelliklerini, dört farklı kadmiyum asetat molaritesi

kullanarak molar konsantrasyonun bir fonksiyonu olarak incelemiştir. İnce filmlerin biriktirilmesi için kullanılan çözeltinin molaritesinin değiştirilmesiyle, biriktirilen ince filmlerin bant aralıklarının değiştirilebileceği, bu bant aralığı ayarlana bilirlik özelliğinden dolayı farklı optoelektronik cihazlarda uygulamaya uygun olduğu sonucuna varmışlardır.

Garibay-Martínez vd. (2021) NH_3 içermeyen reaksiyon çözeltileri aracılığıyla farklı öncül konsantrasyonlarında CdSe ince filmlerini KBB tekniği ile üretmişlerdir. Reaksiyon çözeltisi, Cd iyonlarının kaynağı olarak sulu bir CdCl_2 çözeltisini içeriyordu. Cd metal iyonları için kompleks oluşturma ortamı olarak bir sodyum sitrat, Se iyonlarının kaynağı için bir sodyum seleno sülfat (Na_2SeSO_3) çözeltisi ve pH düzenleyici bir madde olarak KOH çözeltisi kullanıldı. Öncü çözeltilerin konsantrasyonunun etkisini, filmlerin son özellikleri üzerinde dört formülasyon aracılığıyla değerlendirildiğini ve kafes sabiti (c) ile enerji bant aralığı arasında, dolaylı olarak öncü çözeltilerin konsantrasyonu aracılığıyla optik özelliklerin ayarlanmasını sağlayan bir ilişki bulunduğunu bildirmişlerdir.

Bandoh vd (2021) tavlamanın, KBB yöntemiyle hazırlanan PbSe ve CdSe ince filmlerinin yapısal ve optik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Filmler CdSe için 673 K ve PbSe için 573 K sıcaklıkta 1 saat boyunca hava ortamında tavlansmıştır. Biriktirilen CdSe filmleri, kübik bir yapıya sahip olduğu ancak tavlama sonrasında kübik yapıdan altıgen yapıya doğru bir faz değişimi olduğu bildirilmiştir. Filmlerin soğurma değerlerinin tavlama sonrası arttığı ve CdSe için enerji bant aralığı değerlerinin 1,78 eV'tan 1,52 eV'a düştüğü de rapor edilmiştir. Bu sonuçlar tavlama sonrasında optik ve yapısal özelliklerde bir iyileşme olduğunu göstermektedir.

Kariper vd (2015) farklı pH değerlerine sahip (10, 11, 12 ve 13) çözeltilerde CdSe ince filmleri, KBB tekniği ile 50 C'de 3 saat boyunca cam tabanlar üzerinde üretmişlerdir. CdSe ince filminin nano çubuklarını üretmek için en iyi hazırlama koşullarının pH değeri 10, banyo sıcaklığı 50 °C ve biriktirme süresinin 3 saat olduğu sonucuna varmışlardır. Bu koşulların, CdSe filmlerini, güneş pillerinde pencere katmanı gibi teknolojik uygulamalar için uygun hale getirdiğini bildirmişlerdir.

Deshpande vd. (2013) CdSe ince filmleri, sırasıyla Cd^{2+} iyonları kaynağı olarak kadmiyum asetat dihidrat ve Se^{2-} iyonları kaynağı olarak Na_2SeSO_3 kullanılarak cam

tabanlar üzerine KBB tekniği ile üretmişlerdir. TEA ve NH_3 kompleks oluşturuucu ve pH kontrol edici ajanlar olarak kullanıldı. Filmler, oda sıcaklığından 80 °C'ye kadar değişen farklı banyo sıcaklıklarında biriktirilirken, pH değeri 10,5 civarında sabit tutuldu. 80°C banyo sıcaklığında hazırlanan filmlerin diğer banyo sıcaklıklarına göre daha yüksek soğurma değerlerine sahip olduğunu söylemiş ve bunun nedenini de, 80°C'de biriktirilen filmin, oda sıcaklığında biriktirilen filmle karşılaştırıldığında daha iyi kristallığe sahip olması olarak açıklamışlardır.

Gopakumar vd. (2010) tetramin, kadmiyum ve sodyum seleno sülfat içeren sulu bir banyoda KBB tekniği ile CdSe ince filmleri hazırlamışlardır. Sıcaklık, pH değerleri ve tavlama sıcaklığı gibi işlem parametreleri, bir cam taban üzerinde düzgün filmler elde etmek için optimize edilmiştir. Tavlama sıcaklığıyla birlikte bant aralığı enerjisinin azaldığını ve filmin tavlama ile daha düzgün hale geldiğini ifade etmişlerdir.

Dhanam vd. (2008) CdSe ince filmleri, KBB tekniği ile cam tabanlar üzerine kadmiyum sülfat (CdSO_4), TEA, Se ve Na_2SO_3 kullanarak biriktirmişlerdir. Bu karışıma, pH değerini 9 ile 11 arasında değiştirmek için uygun miktarda NaOH ve sulu amonyak ilave edildi. Düzgün, turuncu-kırmızı renkli, oldukça yapışkan, pürüzsüz ve yansıtıcı filmler elde edildiğini bildirmişlerdir.

García vd. (1996), CdSe ince filmlerin biriktirilmesi için farklı banyo kompozisyonları kullanmışlardır. Kadmiyum nitrat pentahidrat ($\text{CdH}_{10}\text{N}_2\text{O}_{11}$) veya kadmiyum asetat dihidrat, kompleks oluşturuucu madde olarak sitrat veya tartaratla birlikte kullanıldı; bunlar sırasıyla sitrat banyosu ve tartarat banyosu olarak adlandırıldı. Üretilen filmlerin ışığa duyarlılığına, film kalınlığı, tavlama sıcaklığı ve tavlama süresinin kombinasyonunu tartışmışlardır.

4.2. CdSe İnce Filmlerin Kimyasal Banyo Biriktirme ile Üretilmesinde Yeni Bir Yaklaşım

Literatür incelendiğinde araştırmacıların çok çeşitli koşullar altında CdSe ince filmler ürettikleri görülmüştür. Üretim koşullarına bağlı olarak bazı araştırmacıların elde ettikleri filmler kübik yapıda olurken bazı çalışmalarda altıgen yapıda filmler elde edildiği görülmüştür. Altıgen film elde edilen çalışmalardan ikisi aşağıda verilmiştir. İlk çalışmada öncü çözeltilerin konsantrasyonunun etkisi araştırılırken, ikinci çalışmada farklı pH değerlerinin etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmalarda biriktirme işlemi sırasıyla 80

°C’de 4 saat ve 50 °C’de 3 saat süreyle gerçekleştirilmiştir (Garibay-Martínez vd., 2021; Kariper vd., 2015). Farklı banyo sıcaklıkları, malonik asitin ($C_3H_4O_4$) molar konsantrasyonun ve sodyum seleno sülfat ile amonyum konsantrasyonunun incelendiği, kübik filmlerin elde edildiği üç farklı çalışmada 70 °C’de 2 saat, 60 °C’de 4 saat ve son olarak oda sıcaklığı, 40°C ve 50 °C’de 18 saatlik biriktirme süreleri rapor edilmiştir (Gholami Hatam ve Ghobadi, 2016; Habte vd., 2019; Yamamoto vd., 1998). Literatürdeki diğer birçok çalışmada ise çözeltinin 60°C ile 90 °C aralığındaki farklı çözelti sıcaklıklarında 1 ila 6 saat karıştırılarak hazırlandığı görülmüştür (Dhanam vd., 2008; Erat vd., 2008; Gan ve Shih, 2002; García vd., 1996; Niitsoo vd., 2006). Çalışmamızda kadmiyum klorür ($CdCl_2$), selenourea [$CSe(NH_2)_2$], NH_3 , EDTA ve Na_2SO_3 ilk kez bir arada kullanıldı. CdSe’ nin oda sıcaklığında elde edildiğinde kübik bir yapıda olduğu rapor edilmiştir (Gholami Hatam ve Ghobadi, 2016). Ancak bizim çalışmamızda altıgen CdSe filmleri oda sıcaklığında elde edilmiştir. Altıgen yapının kübik yapıya göre daha kararlı olduğu bilinmektedir (F. Göde vd., 2015; Morris vd., 2019). Bu çalışmamızda 20 °C çözelti sıcaklığında sadece 20 dakikada cam tabanlara homojen bir şekilde yapışan altıgen filmler elde edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, biriktirme koşullarını optimize ederek, zaman ve enerji tasarrufu sağlamak, kısa süre ve nispeten düşük sıcaklıklarda cam tabanlara iyi yapışan filmler üretmektir.

4.3. DeneySEL Detaylar

CdSe ince film üretilirken sahip olduğu avantajlarından dolayı KBB yöntemi tercih edilmiştir. Başlangıçta, cam tabanlar aseton içeren bir temizleme işlemine tabi tutulurken, banyo kabı seyreltilmiş bir HCl asit çözeltisi kullanılarak temizlenmiş ve ardından deiyonize su ile durulanmıştır. Cam tabanlar, dakikada 600 devire ayarlanmış bir manyetik karıştırıcı üzerindeki 100 ml deiyonize suya daldırılmıştır. Deiyonize suya sırasıyla 0,075g $CdCl_2$ ve 0,06g EDTA eklenerek çözüldü. Mevcut çözeltinin pH’ı 10 olana kadar bir damlalık kullanılarak NH_3 ilave edilmiştir. Çözeltinin pH değeri ayarlandıktan sonra sulu çözeltiyi tamamlamak için Na_2SO_3 ve 0,1 g $CSe(NH_2)_2$ ilave edildi. Na_2SO_3 miktarı değiştirilerek beş farklı numune elde edilmiştir. Numunelerdeki Na_2SO_3 miktarı sırasıyla 0,1 g, 0,4 g, 0,8 g, 1,2 g ve 1,6 g olarak değiştirilmiştir. Numuneler kullanılan Na_2SO_3 miktarına göre Set1, Set2, Set3, Set4 ve Set5 olarak

isimlendirilmiştir. Biriktirme işlemi, tüm numuneler için, kimyasalların tamamı çözeltiye eklendikten sonra 20 dakika içinde tamamlanmıştır. Çözelti sıcaklığı 20 °C olarak ölçülmüştür. Banyo kabından çıkarılan cam tabanlar, film yüzeylerindeki kalıntıların uzaklaştırılması için yıkama şişesi kullanılarak basınçlı deiyonize suya tabi tutulmuş ve daha sonra oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Deneysel koşullar Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. KBB yöntemiyle biriktirilen CdSe için deneysel koşullar.

Deneyler	CdCl₂ (g)	EDTA (g)	Selenourea (g)	Na₂SO₃ (g)	Biriktirme süresi (dk.)
Set1	0,075	0,06	0,1	0,1	20
Set2	0,075	0,06	0,1	0,4	20
Set3	0,075	0,06	0,1	0,8	20
Set4	0,075	0,06	0,1	1,2	20
Set5	0,075	0,06	0,1	1,6	20

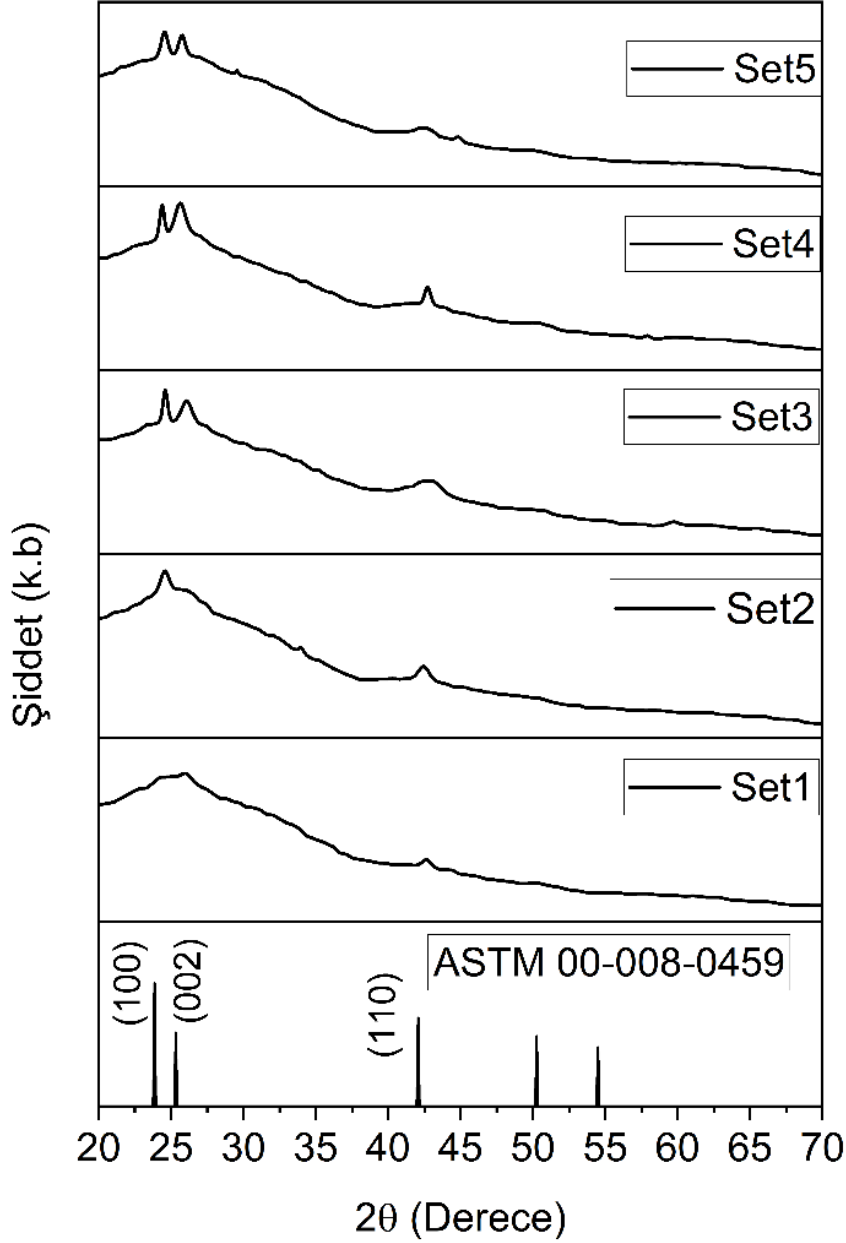
Film kalınlıklarının belirlenmesinde gravimetrik yöntem kullanılmıştır. Filmlerin optik özelliklerinin belirlenmesinde tek ışınlı A&E lab UV-vis spektrometresi, X-ışını kırınım desenleri için PANalytical Empyrean XRD, morfolojik özelliklerinin belirlenmesinde bir Zeiss SUPRA 40VP SEM cihazları kullanılmıştır.

4.4. CdSe Filmlerin Yapısal Analizi

CdSe filmlerin kalınlığının belirlenmesi için Denklem 2.1’de verilen gravimetrik yöntem tercih edilmiştir. Bu denklemde yığın numune yoğunluk değeri CdSe için 5,81 g/cm³’tür (Szabo vd., 1985). Film kalınlıkları Set 1 ve Set 2 için 200 nm, Set 3 için 300 nm, Set 4 ve Set 5 için 250 nm olarak hesaplandı. Film kalınlıklarının kullanılan Na₂SO₃ miktarına bağlı olarak değiştiği söylenebilir. Na₂SO₃ kullanımı filmlerin cam tabanlara iyi yapışmasını sağlamıştır. Ayrıca Na₂SO₃ kullanılmadığında cam yüzeyine film yapışmadığı gözlemlenmiştir. 0,1 g Na₂SO₃ kullanıldığında bile amorf olarak tanımlanabilecek bir film elde edildi.

Şekil 4.1, CdSe’ nin Na₂SO₃ miktarına bağlı olarak değişen X-ışını kırınım desenlerini göstermektedir. Kullanılan 2θ tarama aralığı 20°–70° aralığında seçilmiştir.

Örneklerin XRD spektrumları 00-008-0459 numaralı ASTM kartındaki piklerle karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.1. Na_2SO_3 miktarına bağlı olarak oluşan CdSe' nin X-ışını kırınım modeli

Set1'de elde edilen filmin piki $42,0^\circ$ iken Set2'de elde edilen filmin pikleri $23,9^\circ$ ve $42,2^\circ$ ile ilişkilidir. Set3, Set4 ve Set5'te elde edilen filmlerin piklerinin $24,0^\circ$, $25,2^\circ$ ve $42,0^\circ$ ile ilişkili olduğu görülmektedir. Şekil 4.1'de görülen pikler sırasıyla (100),

(002) ve (110) düzlemlerine aittir. Aynı zamanda Şekil 4.1’de tüm filmlerin altıgen bir yapıda oluşturulduğu da görülmektedir. Bu sonuç önemlidir çünkü CdSe’ nin kararsız fazı kübik yapıdadır (F. Göde vd., 2015; Morris vd., 2019) ve literatür incelendiğinde 20 °C’de 20 dakikalık biriktirme süresinde altıgen filmlerin elde edilebildiğini gösteren bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Elde edilen filmlerin ortalama kristalit boyutlarını hesaplamak için kullanılan Debye-Scherrer formülü Denklem 2.3’de verilmiştir. Hesaplanan ortalama kristalit boyutları Tablo 4.2’de verilmektedir. Tablo 4.2, kristalit boyutlarının 7 nm ile 20 nm arasında değiştiğini göstermektedir.

Tablo 4.2. CdSe ince filmlerin hesaplanan kristalit boyutu değerleri

Deneyler	D (nm) (100)	D (nm) (002)	D (nm) (110)	D (nm) ortalama	Dislokasyon Yoğunluğu (çizgi/m ²)*10 ¹⁵
Set1	-	-	7	7	20,4
Set2	21	-	11	16	3,9
Set3	20	11	7	13	5,9
Set4	27	14	19	20	2,5
Set5	16	17	8	14	5,1

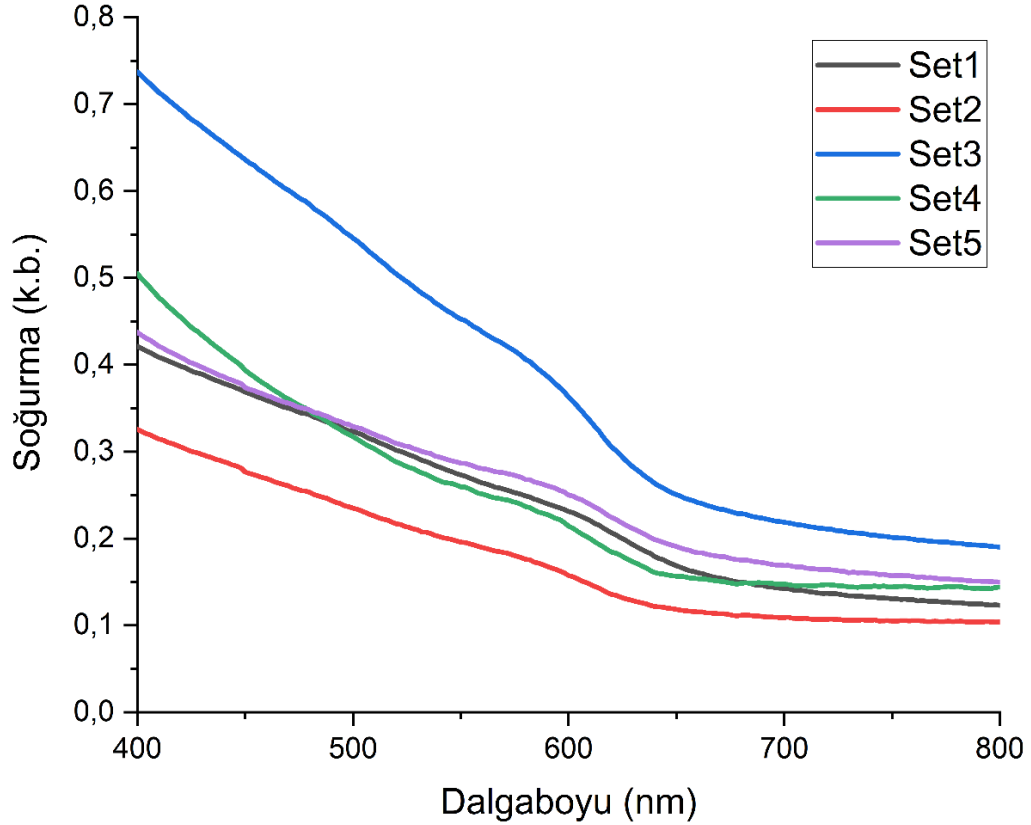
Dislokasyonlar, kristalin bir kısmındaki kafesin başka bir kısma göre yanlış hizalanmasıyla ilgili kristal kusurlarıdır. Boşlukların ve ara yer atomlarının aksine dislokasyonlar denge kusurları değildir (Ivanova vd., 2010). Filmlerin dislokasyon yoğunlukları Denklem 4.1 ile hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4.2’de verilmiştir.

$$\delta = \frac{1}{(D)^2} \quad (4.1)$$

Bu denklemde (Temel, Nebi ve Peker, 2017), δ dislokasyon yoğunluğunu verir. Dislokasyon yoğunlukları 2,5 ile 20,4 (çizgi/m²)*10¹⁵ arasında değişen değerlerde hesaplanmıştır. Düşük dislokasyon yoğunluğu değeri, ince filmlerin daha kompakt ve mükemmel olduğunun göstergesidir (Deshpande vd., 2013a).

4.5. CdSe Filmlerin Optik Özellikleri

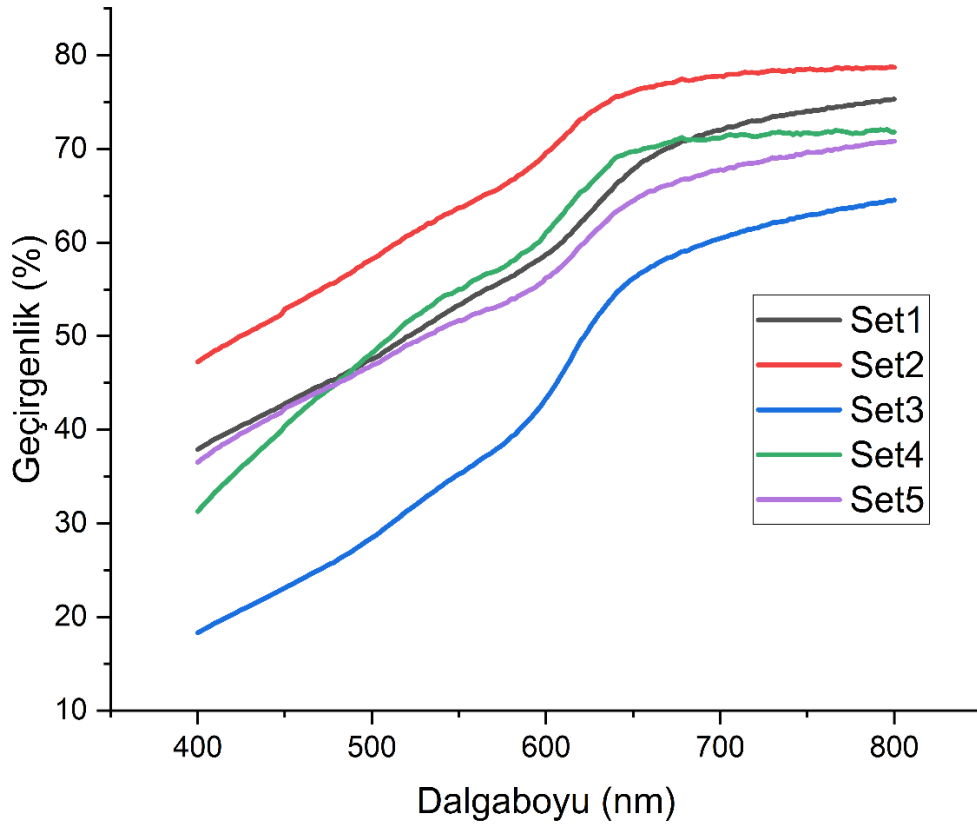
CdSe ince filmlerinin optik analizi, bir UV-vis spektrometresi ile 800 nm ile 400 nm aralığındaki dalgalıboylarına karşı soğurma ölçümleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Soğurma ve geçirgenlik grafikleri sırasıyla Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.2. CdSe ince filmlerin soğurma grafiğı

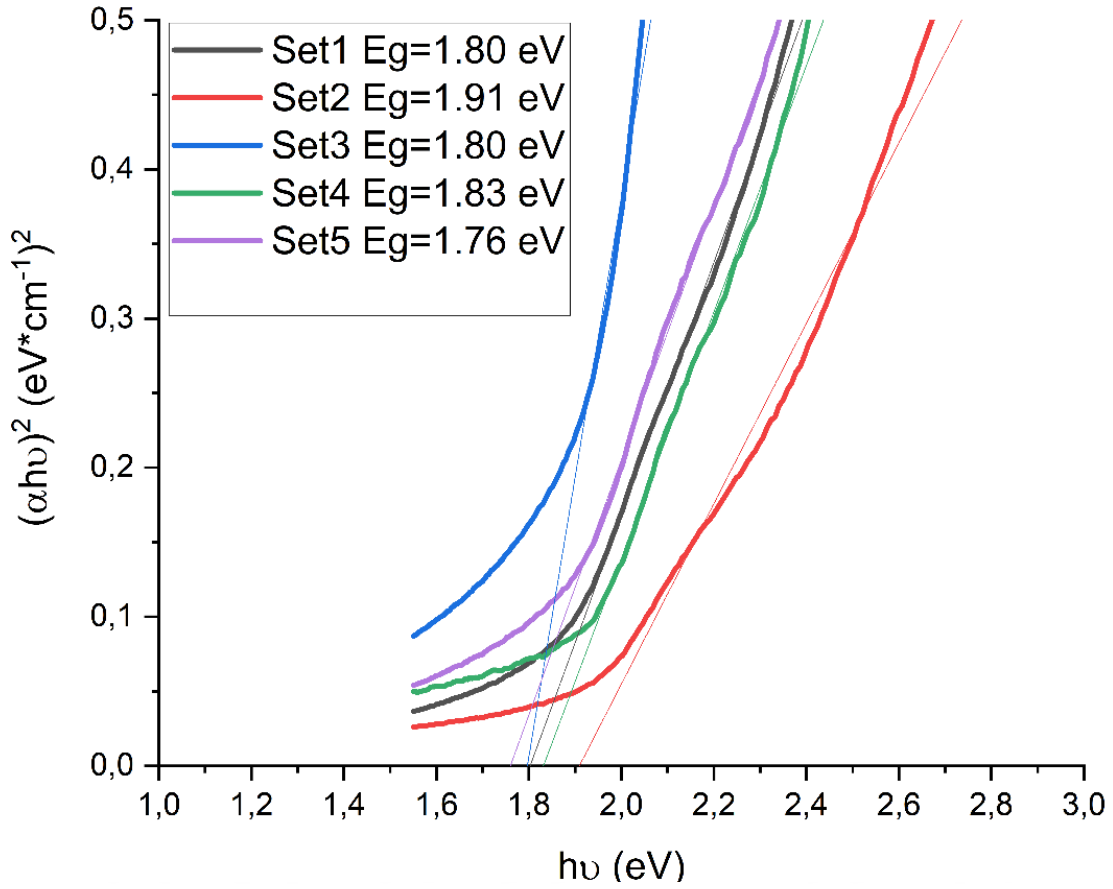
Şekil 4.2 incelendiğinde Set 3'te elde edilen filmin soğurma değerinin diğer filmlere göre en yüksek değere sahip olduğu, Set 2'de elde edilen filmin soğurma değerinin ise en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Aynı şekilde Şekil 4.3 incelendiğinde filmlerin 700 nm dalgalıboylunda geçirgenlik değerlerinin %60 ila %80 civarında değiştiğı görülmektedir. Bu sonuçlar hesaplanan film kalınlıkları ile de uyumludur. Literatürde film kalınlığı arttıkça optik geçirgenliğı azaldığı ve kristalleşmenin arttığı bildirilmektedir (Dhanam vd., 2008). Literatürde ayrıca CdSe' nin bant aralığıнын ayarlanabilir olduğu ve kızılötesi bölgeden ultraviyole bölgeye optik bir

yanıt sağlayabildiği de rapor edilmiştir (Zhao vd., 2013). Kullanılan Na_2SO_3 miktarının optimize edilmesiyle film kalınlığının ve dolayısıyla filmlerin soğurma, geçirgenlik, bant aralığı gibi optik özelliklerinin ayarlanabileceği düşünülmektedir.



Şekil 4.3. CdSe ince filmlerin geçirgenlik spektrumları

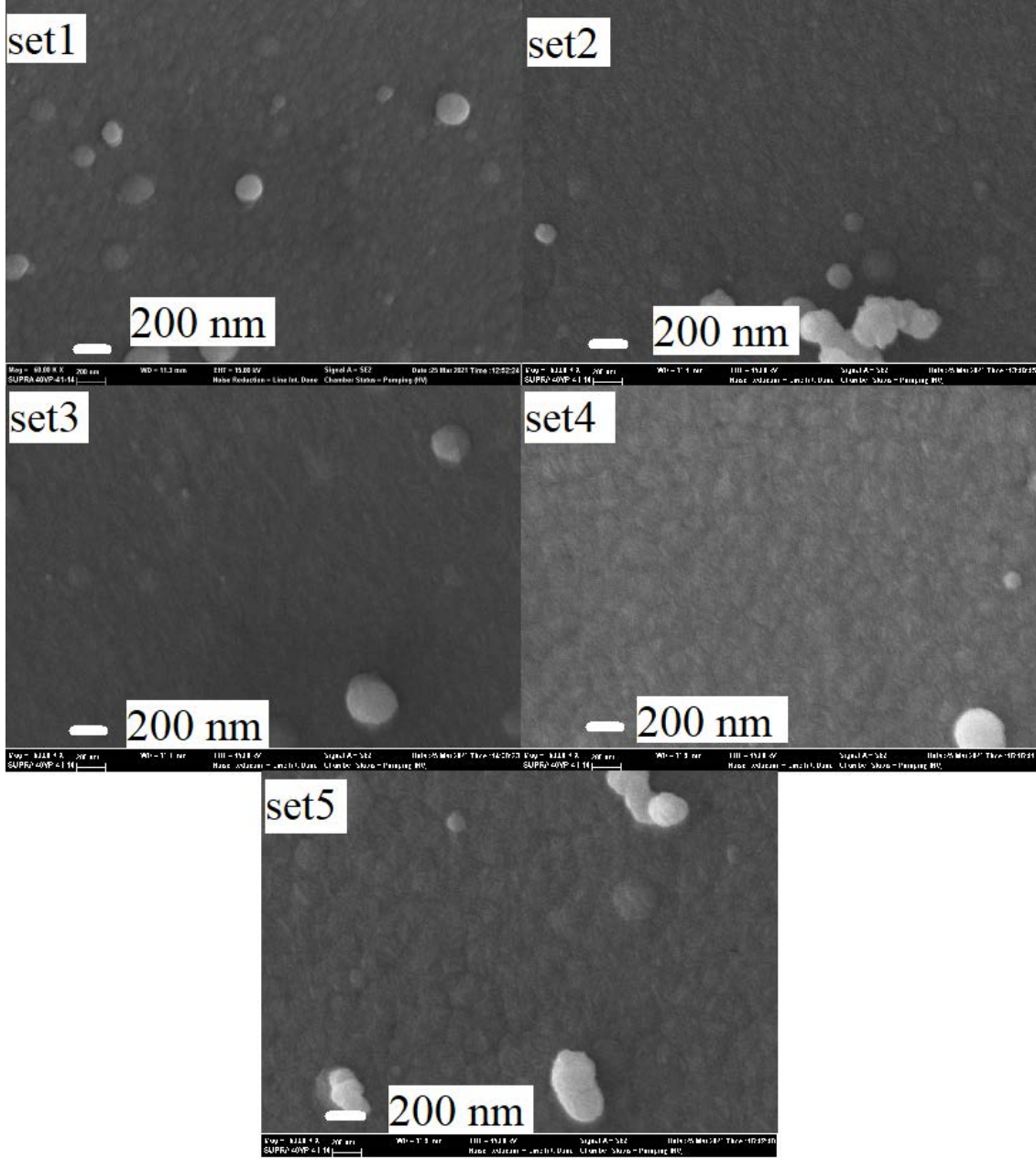
Şekil 4.4 ve Tablo.4.2’de sunulan enerji bant aralığı değerleri Tauc grafikleri kullanılarak tahmin edilmiştir. Tauc grafiklerinden enerji bant aralığı değerlerini tahmin etmek için kullanılan formül Denklem 2.4’de verilmiştir. Şekil 4.4 ve Tablo 4.2’de görüldüğü gibi CdSe ince filmlerin enerji bant aralığı değerleri 1,76 eV ile 1,91 eV arasında değişmektedir. Literatürde CdSe’ nin bant aralığı değerleri 1,74 ile 2,15 eV arasında değişmektedir (Garibay-Martínez vd., 2021; Habte vd., 2019; Hernandez-Perez vd., 2008).



Şekil 4.4. Na₂SO₃ miktarına bağlı olarak CdSe ince filmlerin enerji bant aralıkları

4.6. CdSe Filmlerinin SEM Analizi

Şekil 4.5'te, CdSe ince filmlerin yüzey morfolojilerinde Na₂SO₃ miktarındaki artıştan kaynaklanan değişiklikleri incelemek için çekilen 40 kX büyütme seviyesindeki SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 4.5 incelendiğinde tüm filmlerin cam taban yüzeyine homojen bir şekilde yapıştığı, film yüzeylerinde herhangi bir çatlak, delik veya boşluk bulunmadığı görülmektedir. CdSe'nin cam taban yüzeyine homojen yapışmasında Na₂SO₃ kullanımının etkili olduğu söylenebilir ancak Na₂SO₃ miktarının etkisinin SEM görüntülerinde gözle görülür bir fark yarattığı söylenemez.

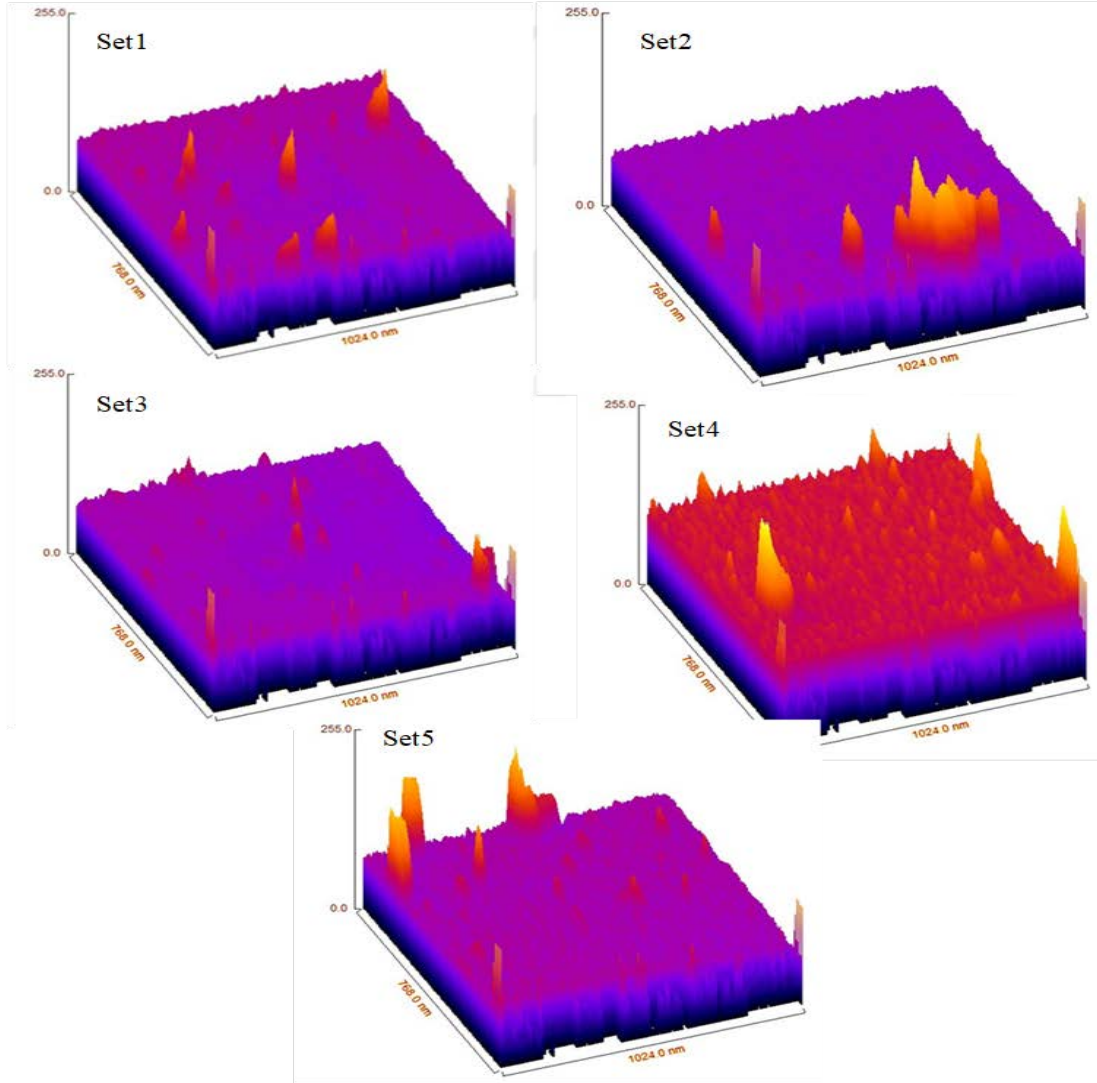


Şekil 4.5. CdSe ince filmlerinin 40 kX büyütmede SEM görüntüleri

SEM görüntülerinden elde edilen veriler ImageJ yazılımı kullanılarak işlenmiştir. Filmlerin yüzey pürüzlülük değerleri hesaplanarak Tablo 4.3'te, yüzey pürüzlülük grafikleri ise Şekil 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.3. ImageJ yazılımı ile hesaplanan yüzey pürüzlülük değerleri

Deneyler	Na ₂ SO ₃ (g)	Ra (nm)	Rq(nm)
Set1	0,1	7	10
Set2	0,4	7	10
Set3	0,8	6	8
Set4	1,2	8	11
Set5	1,6	8	10

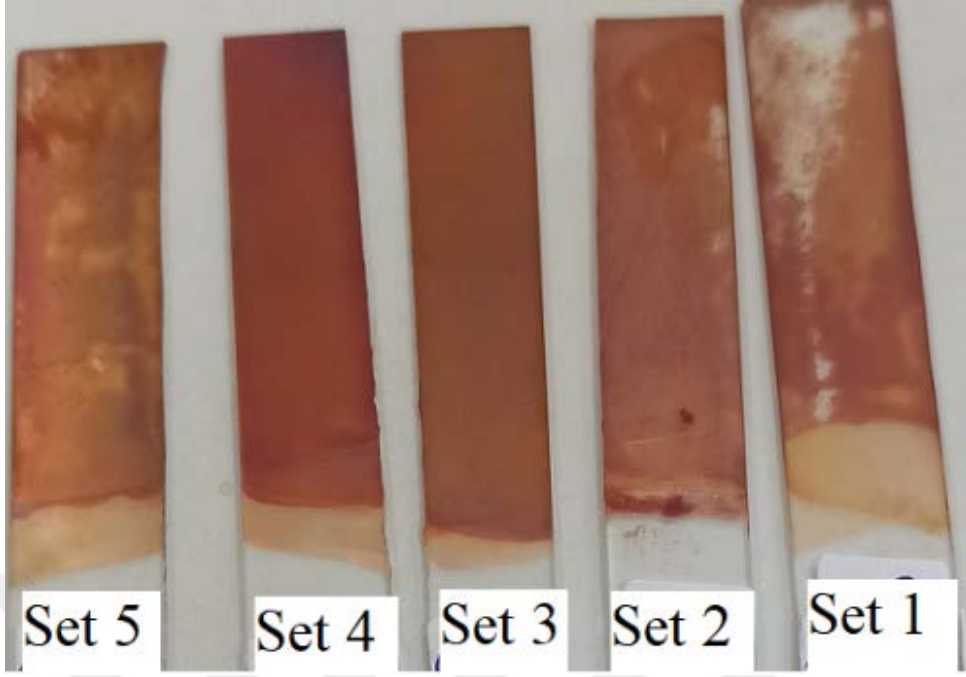


Şekil 4.6. CdSe filmlerin yüzey pürüzlülük grafikleri

Tablo 4.3'te görüldüğü gibi ortalama (R_a) yüzey pürüzlülük değerleri 6-8 nm aralığında, rms (ortalama karekök) (R_q) yüzey pürüzlülük değerleri ise 8-11 nm aralığında hesaplanmıştır. KBB yöntemiyle üretilen ince filmlerin optik geçirgenlik değerleri, filmin morfolojisi ile yakından ilişkilidir. Film yüzeylerinde parçacıkların aşırı büyümesi saçılma kayıplarına neden olur ve bu da filmin geçirgenliğinin azalmasına neden olabilir (García vd., 1996). Elde ettiğimiz bu yüzey pürüzlülüğü sonuçları, ortalama 5 nm yüzey pürüzlülüğü gözlemlendiğini ve bu yüzey morfolojisinin, hetero yapıli cihazlarda diğerkatmanlarla iyi arayüzler sağlayarak performansı artırdığını bildiren çalışmayla uyumludur (Garibay-Martínez vd., 2021). Elde ettiğimiz en düşük değer olan 6 nm ortalama yüzey pürüzlülük değeri, 0,8 g Na_2SO_3 kullandığımız Set3 isimli numuneye aittir. Öte yandan literatürde araştırmacıların yüzey pürüzlülük değerlerini sırasıyla 30 nm-70 nm, 10,6 nm-78,8 nm ve 53 nm-74 nm olarak bildirdikleri çalışmalar da mevcuttur (Baez-Gaxiola, M R; García-Valenzuela, 2014; Deshpande vd., 2013a; M. A. Mohammed ve Jamil, 2013). Filmlerin pürüzsüzlüğü Şekil 4.6'da görülebilmektedir.

4.7. CdSe Filmlerinin Görsel Analizi

Üretilen filmlerin üstten görünüşünün fotoğrafı Şekil 4.7'de verilmiştir. Şekil 4.7, SEM görüntülerinde fark edemediğimiz filmlerin cam taban yüzeyine yapışma kalitesindeki farklılığı ortaya koymaktadır. Özellikle Set3 ve Set4 isimli numunelerde filmlerin cam tabana çok iyi yapıştığı görülmektedir; tüm yüzey tamamen kaplanmıştır ve gözle görülür herhangi bir kusur yoktur. Kullanılan Na_2SO_3 miktarı optimum değere ulaştığında filmin yüzeylere homojen bir şekilde yapıştığı ve dolayısıyla bu durumun kullanılan Na_2SO_3 miktarı ile ilgili olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.7. CdSe filmlerinin fotoğrafı

5. PbS İNCE FİLMLERİN ÜRETİLMESİ VE İNCELENMESİ

5.1. Literatür Taraması

PbS ve diğer IV-VI grubu yarıiletken malzemeler, optoelektronik ve fotovoltaik endüstrilerindeki geniş uygulamaları nedeniyle uzun yıllardır araştırmacıların ilgisini çekmektedir (Kotadiya vd., 2012; Obaid vd., 2012; Smirnova vd., 2014). PbS ince filmlerin bant aralığı değeri, kristal boyutuna bağlı olarak 0,41 eV 'den 2,3 eV 'ye kadar çıkabilir (F. Göde vd., 2015). PbS yarı iletken ince filmleri benzersiz elektronik özelliklere sahiptir. PbS görünür ve yakın kızılötesi (IR) spektral bölgelerdeki soğurma katsayısı $\sim 10^5 \text{ cm}^{-1}$ gibi yüksek bir değere karşılık gelir (Maskaeva vd., 2021). PbS ince filmleri, opto elektronikte ve sensörlerde kızılötesi (IR) detektörler için malzeme olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca optik anahtarlar, verimli güneş enerjisi dönüştürücüler ve kimyasal, sıcaklık ve alev sensörleri için de kullanılmıştır (Maskaeva vd., 2022).

Araştırmacılar, PbS ince filmlerini cam tabanlar üzerine biriktirmek için birçok biriktirme yöntemi kullandılar. Bu yöntemlerden bazıları elektrodpozisyon, sprepiroliz, SILAR metodu, KBB (Madani vd., 2021), kimyasal buhar biriktirme ve termal buharlaştırmayı (Obaid vd., 2013) içermektedir. KBB yöntemi, vakum sistemleri vb. maliyetli donanımlar, karmaşık enstrümanlar gerektirmediği için yaygın olarak kullanılmaktadır. Temel donanım bir ısıtıcı plakaya ve bir manyetik karıştırıcıya sahiptir. Ayrıca başlangıç kimyasalları genellikle erişilebilir ve uygun maliyetlidir. KBB, basitliği ve ucuzluğunun yanı sıra daha geniş alanlarda biriktirme kolaylığı nedeniyle diğer yöntemler arasında öne çıkıyor (Geetha vd., 2017).

PbS ince filmlerle ilgili ilk çalışmalar, yarı iletken film ve malzemelerin araştırılmasıyla başlamıştır. Bu tür çalışmaların başlangıcı, genellikle yarı iletkenlerin ve ince film teknolojisinin gelişimiyle örtüşmektedir. Özellikle 20. yüzyılın ortalarında, ince film teknolojisi ve yarı iletken malzemeler üzerine yapılan araştırmalar hız kazanmıştır. 1950'ler ve 1960'lar, bu konuda yoğun çalışmaların yapıldığı dönemlerdir (Bloem, 1957; Harada, 1956; Zemel, 1960). Öncü çalışmalardan günümüze kadar pek çok diğer yöntem ile birlikte KBB yöntemi de kullanılarak PbS ince film oluşturma teknikleri üzerinde odaklanılmıştır. Aşağıda son yirmi yılda, KBB yöntemi kullanılarak üretilen bazı PbS ince film çalışmaları hakkında bilgiler sunulmuştur

Chalapathi vd. (2021) PbS ince filmleri, KBB yoluyla oda sıcaklığında 2 saat boyunca cam tabanlar üzerine başlangıç kimyasalları olarak kurşun nitrat ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$), $\text{SC}(\text{NH}_2)_2$ ve NaOH kullanarak üretmişlerdir. PbS numuneleri daha sonra film kalınlığını iyileştirmek amacıyla ilave katman kaplaması için yeni bir banyoya yerleştirilmiş ve kalay (Sn) katkılı PbS film oluşumu için Sn kaynağı olarak kalay klorür (SnCl_2) kullanarak Sn katkılamasının PbS ince filmlerin büyümesi ve özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Genel olarak, Sn'nin %1-2 oranında PbS 'ye katkılanmasının yapısal, morfolojik, optik ve elektriksel özelliklerini geliştirdiği ve bu durumun da IR foto detektör uygulamalarında kullanım açısından faydalı olacağı sonucuna varmışlardır.

Chalapathi vd. (2021) kompleks oluşturuucu madde olarak EDTA kullanarak KBB yöntemiyle PbS ince filmleri büyütürerek EDTA konsantrasyonunun ve banyo sıcaklığının etkilerini, yüksek kristalli PbS filmleri üretmek amacıyla araştırmışlardır. Çalışmada EDTA' nın konsantrasyonu 0 ila 40 mM arasında değiştirilmiş ve diğer öncüler çözeltide sabit tutulmuştur. Çözeltiye 10 mM EDTA ilavesinin PbS film kalınlığını 1,3 μm 'ye çıkardığı ve genel olarak EDTA kullanımının, yüksek mobilite değerlerine sahip yüksek kristalli PbS ince filmlerin büyümesine yardımcı olduğu sonucuna varmışlardır.

Abdallah vd. (2019) PbS ince filmlerini cam ve Si alt tabanlar üzerinde büyütme için KBB yöntemini uygulayarak biriktirme konsantrasyonunun büyüme, yapısal ve optik özellikler üzerindeki etkileri araştırmışlardır. Biriktirme konsantrasyonunun artmasıyla tanelerin küçüldüğü, tane boyutu değişimiyle birlikte konsantrasyon arttığında optik bant aralığının arttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Altıokka ve Yıldırım (2019) PbS ince filmleri, banyo kabının çevresine bir bobin sararak elde edilen bir alternatif manyetik alan altında KBB yöntemiyle üretmişlerdir. Alternatif manyetik alanın frekansları 0,25 ve 50 Hz ve büyüklükleri 0 ile 6,5 mT arasında değişiyordu. Manyetik alanın tercih edilen yönelimi değiştirdiği ve kristalit boyutunu da etkilediği bildirilmiştir. Film kalınlıkları ve doku katsayılarından manyetik alan nedeniyle reaksiyon hızının azaldığı anlaşıldığı, reaksiyon hızı azaltıldığında manyetik alan sayesinde iğne deliği ve boşluk oluşumlarının önlendiğini, manyetik alan uygulanarak kompakt ve pürüzsüz yüzeyler elde edilebileceğini sonucuna ulaşılmıştır.

Abdallah vd. (2018) PbS ince filmleri cam ve Si alt tabanlar üzerinde KBB tekniği ile büyütmüş ve bileşenlerin biriktirilme süresi gibi büyüme koşullarının yapısal ve optik

özellikler üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Biriktirme süresi 10 ila 120 dakika aralığında değiştirilmiştir. Filmlerin kalitesinin büyük ölçüde biriktirme parametrelerine bağlı olduğu; bu nedenle yüksek düzeyde yönlendirilmiş kristal PbS filmleri elde etmek için bu parametrelerin optimize edilmesi gerektiği ve kristalin kalitesinin artan kalınlıkla birlikte arttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Fouda vd. (2017) PbS ince filmleri, KBB yöntemiyle cam tabanlar üzerine biriktirerek, film kalınlığını değiştirmenin, filmlerin yapısal ve optik özellikler üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Daha kalın filmlerin, optik sabitleri etkileyen daha büyük bir kristal boyutu sergilediği sonucunu açıklamışlardır.

Altıokka (2015) Çok kristalli PbS ince filmleri, $Pb(NO_3)_2$, KOH, tiyoüre ve $Na_2S_2O_3$ sulu çözeltilerini birlikte kullanarak, 20°C’de KBB yoluyla cam tabanlar üzerine biriktirmiştir. Çalışmasında belirli bir miktarda $Na_2S_2O_3$ kullanılmasının, XRD modellerine göre pik yoğunluklarını ve kristalleşmeyi arttırdığı, film yüzeyinde iğne delikleri ve boşluk oluşumunun tamamen önlendiği, kompakt, ince PbS filmleri üretilbildiği sonucuna ulaşmıştır.

Koao vd. (2014) KBB yöntemiyle hazırlanan PbS nano yapılarında, farklı sentez sıcaklıklarının (55, 65, 70 ve 80°C) ve kurşun asetatların farklı molar konsantrasyonlarının (0,12 M, 0,13 M ve 0,15 M) kullanılmasının, yapısı, morfolojisi ve optik özellikleri üzerindeki etkilerini, araştırmışlardır. PbS nano yapılarının X-ışını kırınım (XRD) desenleri, sentez sıcaklığındaki azalmanın, safsızlık fazlarının varlığından dolayı ekstra kırınım tepe noktalarına yol açtığı, kübik PbS’nin kristalliliğinin, sentez sıcaklığının ve kurşun asetatın molar konsantrasyonunun artmasıyla önemli ölçüde geliştiğini bildirmişlerdir. Son olarak yüzey morfolojisi çalışması, düşük sentez sıcaklıklarında nano çubuk yapıların, yüksek sentez sıcaklıklarında ise kübik bir yapının oluştuğunu göstermiştir.

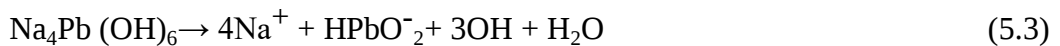
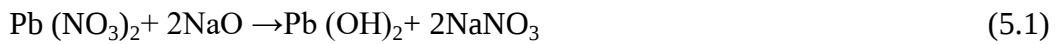
Kotadiya vd. (2012) nano kristalin PbS ince filmleri, KBB yöntemi ile oda sıcaklığında kurşun asetat, tiyoüre ve NH_4OH ‘ten oluşan bir banyo çözeltisi kullanarak 45 dakikada yaklaşık 100 nm kalınlığında üretmişlerdir. Termoelektrik ve foto-termoelektrik çalışmalar, bu filmlerdeki foto iletkenliğin delik konsantrasyonu ve aydınlatmadaki artıştan kaynaklandığını ve bu filmlerin, ince film güneş pilleri için soğurucu katman olarak uygun olabileceğini ifade etmişlerdir.

Gaiduk vd (2008) Nano kristalin PbS katmanları, Pb(NO₃)₂, tiyoüre, TEA ve NaOH içeren alkali çözeltilerden Si, Ge ve GaAs alt tabanları üzerine kimyasal olarak biriktirmişleridir. Geçiş elektron mikroskobu (TEM) araştırmaları, tüm alt tabakalar üzerinde biriken katmanların, kaya tuzu kübik kristal yapısına sahip PbS nano kristallerinden oluştuğunu, öte yandan atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ve Rutherford geri saçılım spektroskopisi (RBS) araştırmaları, katmanların morfolojisinin ve kalınlığının büyük ölçüde alt tabakanın kimyasal yapısına bağlı olduğunu göstermiştir. Ge ve GaAs üzerinde biriken PbS katmanlarının Si üzerinde birikenlerden daha kalın ancak nispeten küçük tane boyutuna sahip olduğu ve bu durumu alt tabanlar ile PbS fazının farklı kafes uyumsuzluklarına sahip olmasından kaynaklanabileceği şeklinde yorumlamışlardır.

5.2. Nispeten Düşük Çözelti Sıcaklıklarının Kimyasal Banyo Biriktirme Yöntemiyle Üretilen PbS Üzerindeki Etkileri

Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmaların bu aşamasında PbS ince filmleri 20 °C ile 0 °C aralığında ki nispeten düşük sıcaklıklarda üretmek amacı ile literatür araştırması yapılmıştır. Literatüre göre şimdiye kadar, PbS ince filmleri en düşük 15°C'lik çözelti sıcaklığında üretilmiştir (Metehan Önal ve Altıokka, 2020b). Ancak söz konusu çalışmada çözelti sıcaklığı araştırılmamış sadece gecikme süresi araştırılmıştır. Çalışmamızda çözelti sıcaklığı 20 °C'den 5 °C aralıklarla 0 °C'ye düşürülmüştür. Bu nedenle PbS ince filmlerinin ilk kez 0, 5 ve 10 °C çözelti sıcaklıklarında üretildiği söylenebilir. Bu çalışma sırasında, KBB aracılığıyla 5 adet PbS ince film üretilmiştir. Bu çalışma iğne deliği olmayan numunelerin sadece 10 °C'de elde edilmesi ve yüzey pürüzlülüğünün nispeten yüksek görülmesi nedeniyle önemlidir. Bu değerler güneş pilleri için oldukça uygundur.

KBB yöntemiyle PbS filmleri üretilirken reaksiyon adımları aşağıdaki gibidir (Altıokka ve Yildirim, 2019);





5.3. Deneysel Detaylar

KBB yöntemi, cam tabanlar üzerine PbS biriktirme işlemi için kullanılmıştır. Banyo kabı ve asetonla yıkanan cam tabanlar biriktirme işleminden önce deiyonize su ile durulandı. 0,282 g $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, 0,58 g NaOH ve 0,388 g tiyoüre bileşikleri kullanılarak nihai çözelti hazırlandı. Çözelti pH değeri tüm numuneler için 10 olarak ölçülmüştür. Tüm çözeltiler 600 dev/dk karıştırıldı. Tüm numuneler için biriktirme işlemi 75 dakikada tamamlanmıştır. Çözelti sıcaklıkları deiyonize su kullanılarak elde edilen buz blokları aracılığı ile 0, 5, 10, 15 ve 20 °C'de tutulmuştur. Biriktirme işleminin ardından numuneler basınçlı deiyonize su ile durulanmış ve oda koşullarında kurutulmuştur. Numuneler 0, 5, 10, 15 ve 20 °C banyo sıcaklıklarına göre sırasıyla C0, C1, C2, C3 ve C4 olarak etiketlenmiştir. Deneysel koşullar Tablo 5.1'de sunulmaktadır.

Tablo 5.1. KBB yöntemiyle biriktirilen PbS için deneysel koşullar.

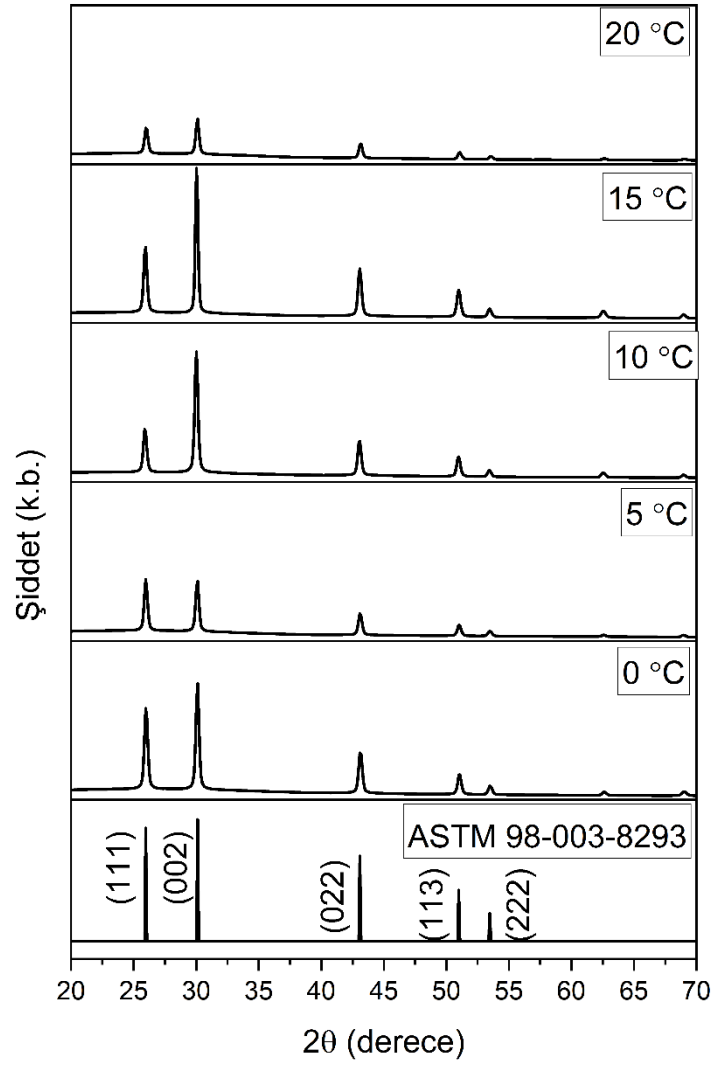
Deneyler	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (g)	NaOH (g)	Tiyoüre (g)	Sıcaklık (°C)	Biriktirme süresi (dk.)
C0	0,282	0,58	0,388	0	75
C1	0,282	0,58	0,388	5	75
C2	0,282	0,58	0,388	10	75
C3	0,282	0,58	0,388	15	75
C4	0,282	0,58	0,388	20	75

Film kalınlıklarını hesaplamak için gravimetrik yöntem kullanılmıştır. Üretilen PbS ince filmlerin X-ışını kırınım desenleri için 20° ile 70° arasında değişen 2θ açılarda PANalytical Empyrean XRD difraktometresi kullanılmıştır. PbS filmlerinin yüzey morfolojisi, bir Zeiss SUPRA 40VP taramalı elektron mikroskobu kullanılarak incelenmiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri, ImageJ yazılımı ve SEM görüntüleri kullanılarak hesaplanmıştır.

5.4. PbS Filmlerinin Yapısal Analizi

Denklem 2.1.'de verilen gravimetrik yöntem kullanılarak hesaplanan film kalınlıkları tüm numuneler için yaklaşık 600 nm olarak ölçülmüştür. Denklemden kullanılan yığın numune yoğunluğu PbS için 7,59 g/cm³'tür (Fatma Göde ve Ünlü, 2019).

XRD kırınım desenleri Şekil 5.1'de sunulmuştur.



Şekil 5.1. PbS ince filmler için XRD kırınım desenleri.

Şekil 5.1'de filmlerin tamamının galena tipi kübik yapıda olduğu görülmektedir ve 98-003-8293 numaralı ASTM kartı ile tam uyumludur. Literatür incelendiğinde PbS

ince filmlerinin, çoğunlukla 15 ile 45 °C arasında değişen çözelti sıcaklıklarında üretildiği görülmüştür (Abdallah vd., 2018; Khot vd., 2014; Metehan Önal ve Altıokka, 2020b; Yang ve Walker, 2014; Yücel vd., 2015). 20°C’de üretilen filmin XRD pik şiddetinin daha düşük sıcaklıklarda üretilen filmlere göre daha düşük olduğu Şekil 5.1’de görülmektedir. Önceki bir çalışmada, reaksiyon hızının XRD pik şiddetleri üzerinde oldukça etkili olduğu bildirilmiştir (Altıokka vd., 2013).

Denklem 2.2 kullanılarak doku katsayıları (TC) hesaplanarak filmlerin kristal yönelimi belirlenmiştir. TC değerleri Tablo 5.2’de verildi. Tablo 5.2’ye göre 10 ve 15 °C’de elde edilen filmlerin TC değerleri (002) düzleminde nispeten daha yükündür.

Tablo 5.2. PbS ince filmlerin doku katsayıları

hkl	C0 (0°C)	C1 (5°C)	C2 (10°C)	C3 (15°C)	C4 (20°C)
(111)	1,05	1,75	0,66	0,69	1,02
(002)	1,20	1,10	1,61	1,63	1,21
(022)	0,75	0,72	0,72	0,68	0,77

Kristalit boyutunu hesaplamak için kullanılan Debye Scherrer formülü Denklem 2.3’te verilmiş ve hesaplanan değerler Tablo 5.3’te sunulmuştur. Yarı maksimumda tam genişlik değerinin (FWHM) hesaplanması için Origin pro yazılımı kullanılmıştır.

Tablo 5.3. PbS filmlerin kristal boyutları

Deneyler	cs (nm) (111)	cs (nm) (002)	cs (nm) (022)	cs (nm) Ortalama
C0 (0°C)	50	42	35	42
C1 (5°C)	42	46	38	42
C2 (10°C)	49	42	38	43
C3 (15°C)	53	50	44	49
C4 (20°C)	48	67	38	51

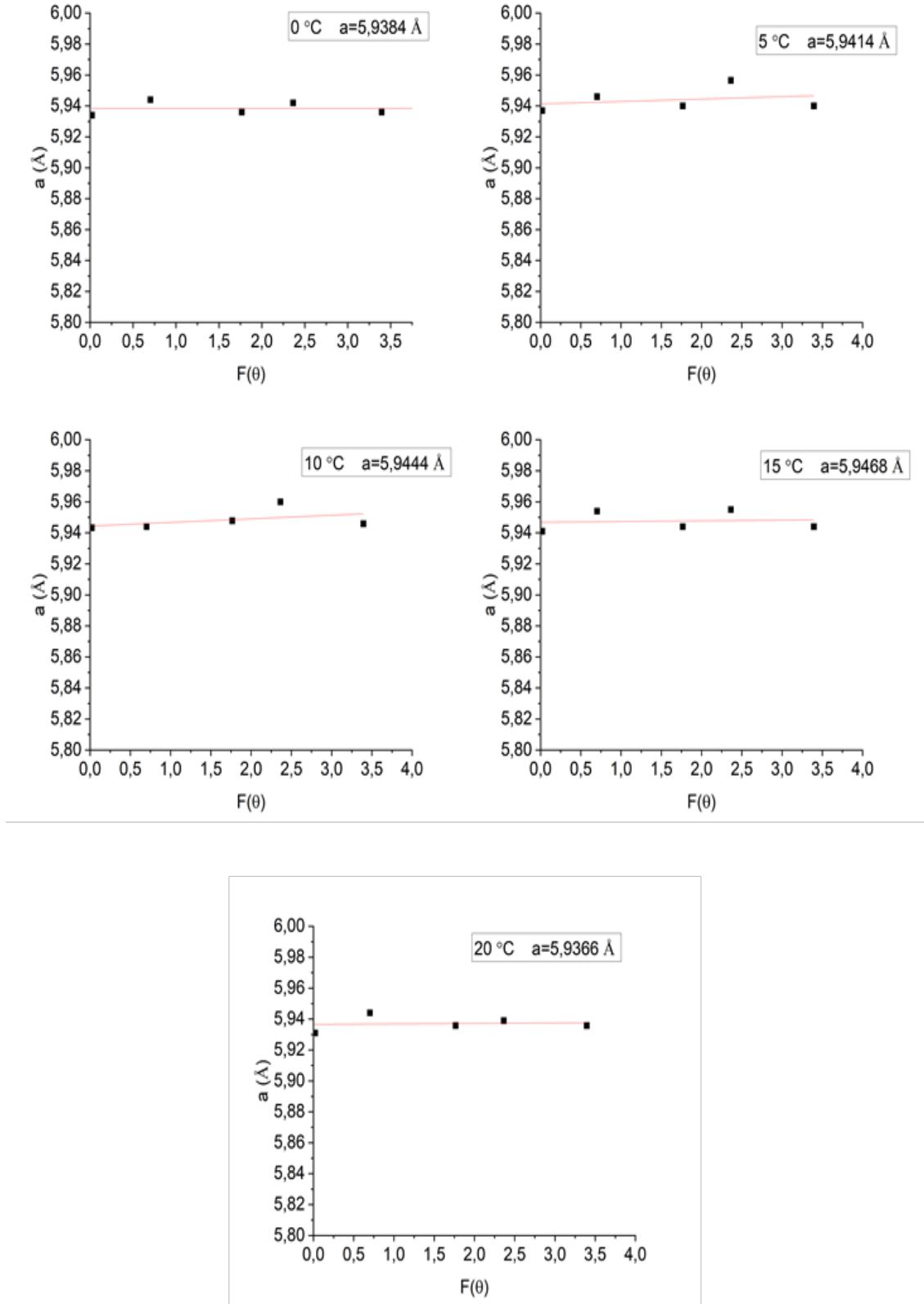
Sıcaklık artışına bağlı olarak kristalit boyut değerleri 42 nm'den 51 nm'ye çıkmıştır. Bu beklenen bir sonuçtur çünkü çözelti sıcaklığı arttıkça reaksiyon hızı artar ve kristal boyutunun artması beklenir.

Kafes sabitlerinin düzeltilmiş değerleri Nelson-Riley çizimlerinden tahmin edilmiş ve Şekil 5.2'de verilmiştir. Nelson-Riley eğrisi, kafes sabiti 'a' ile farklı düzlemler için hesaplanan hata fonksiyonu arasında çizilir. Denklem 5.6'da kafes sabitlerini hesaplamak için kullanılan fonksiyon verilmiştir (Hussain vd., 2013).

$$F_{(\theta)} = \frac{1}{2} \left(\frac{\cos^2 \theta}{\sin \theta} + \frac{\cos^2 \theta}{\theta} \right) \quad (5.6)$$

Düzeltilmiş a değeri, plot $\theta=90^\circ$ için tahmin edilerek elde edilir. Nelson Riley grafiklerine göre, elde edilen tüm filmlerin kafes sabiti, yığın numunenin kafes sabitinden daha yüksekti. Bu düzeltilmiş kafes değerleri, filmlerin stres altında olduğunu göstermiştir.

Dislokasyon yoğunluğu (δ), kristalin birim hacmi başına dislokasyon çizgilerinin uzunluğunu temsil eder. Küçük değerler, numunenin kristalizasyon seviyesinin iyi olduğu anlamına gelir. Dislokasyon yoğunluğu Denklem 4.1 ile hesaplanmış ve Tablo 5.4'te verilmiştir.



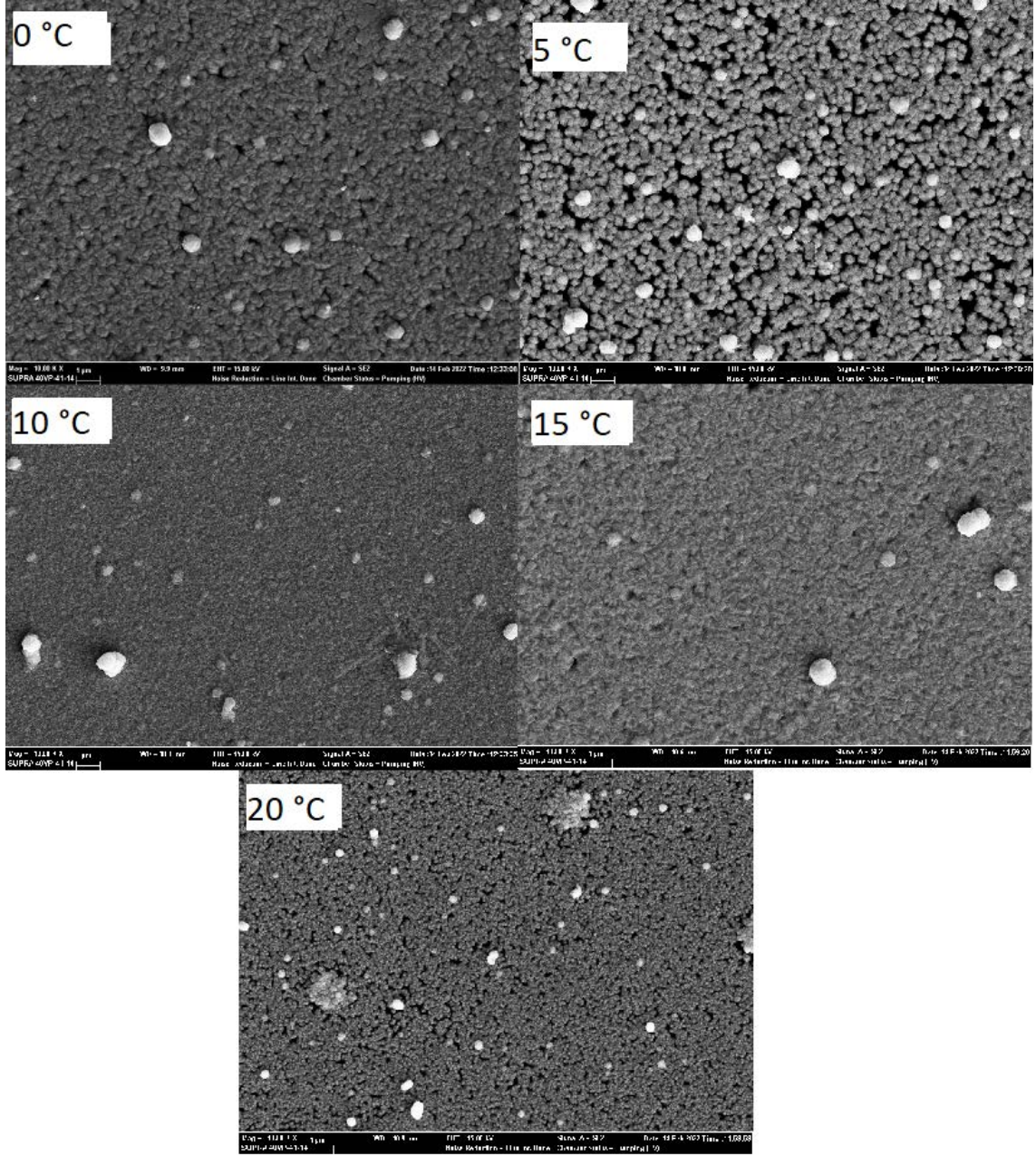
Şekil 5.2. 0°C, 5°C, 10°C, 15°C ve 20°C’de üretilen PbS ince filmler için Nelson Riley grafikleri

Tablo 5.4. Dislokasyon Yoğunluğu ve Kafes Sabitleri

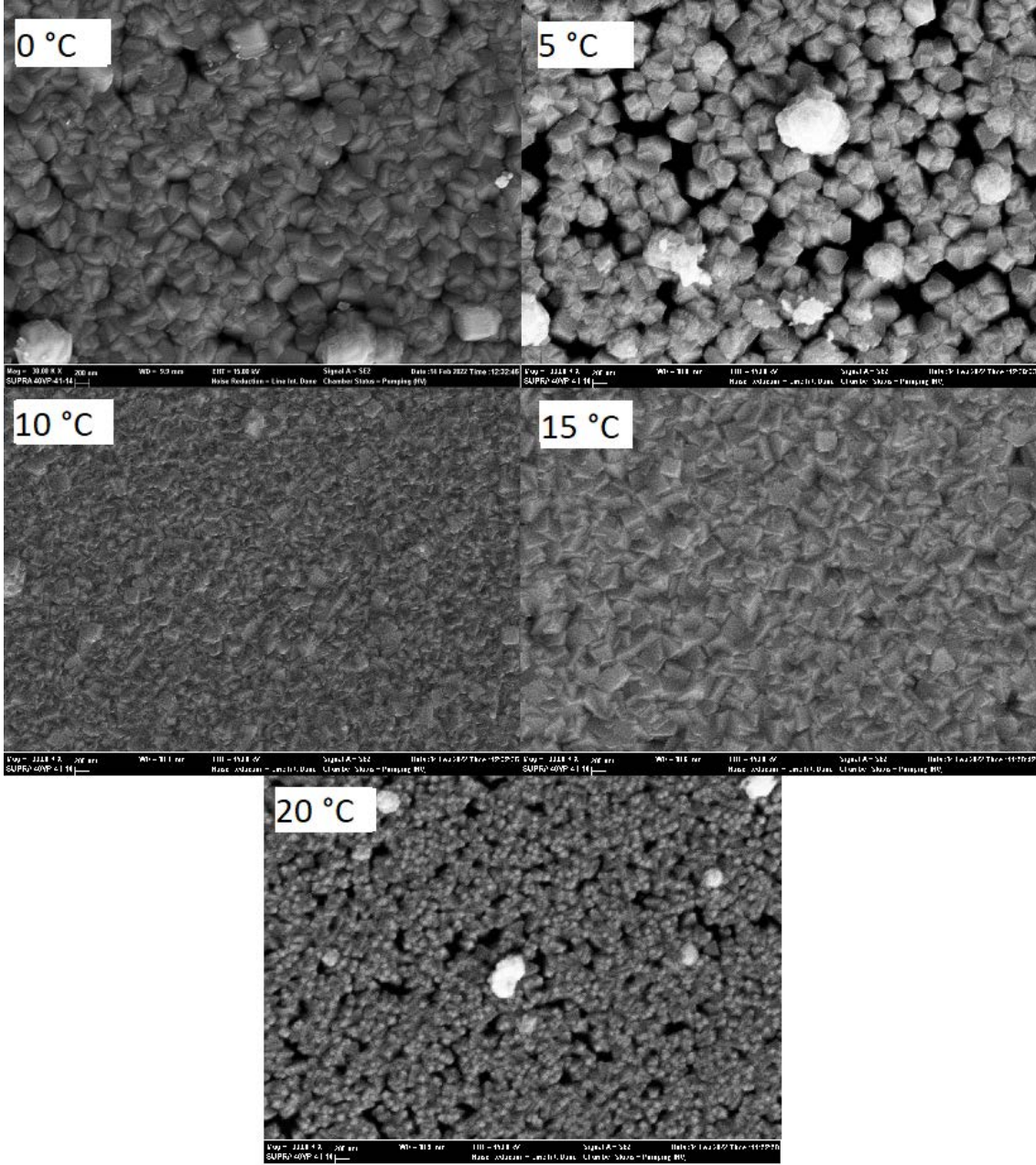
Deneyler	Kafes Sabiti Katı Madde için	Kafes Sabiti (düzeltilmiş) Nelson Riley'den	Dislokasyon Yoğunluğu (çizgi/m ²)*10 ¹⁴
C0	5,934	5,938	0,566
C1	5,934	5,941	0,566
C2	5,934	5,944	0,540
C3	5,934	5,946	0,416
C4	5,934	5,936	0,384

5.5. PbS Filmlerinin SEM Analizi

Üretilen PbS numunelerinin yüzey morfolojileri SEM görüntülerinden elde edilmiştir. Şekil 5.4' te numunelerin 10 kX büyütmede SEM görüntülerini sunulmuştur. Sadece 10 °C'de üretilen filmde iğne deliği ve boşluklar olmadığı görülmüştür. Bu çok önemli bir sonuçtur. Çünkü literatürde 10 °C'de üretilen PbS ince film yoktur. Filmlerin 30 kX büyütülmüş SEM görüntüleri Şekil 5.5'te verilmiştir. Şekil 5.5 incelendiğinde, Şekil 5.4'teki gibi sadece 10 °C'de üretilen filmde iğne deliğine rastlanmamıştır. 0, 5, 15 ve 20 °C'de elde edilen filmlerin yüzeylerinde ise boşluklar ve iğne delikleri bulunmaktadır.



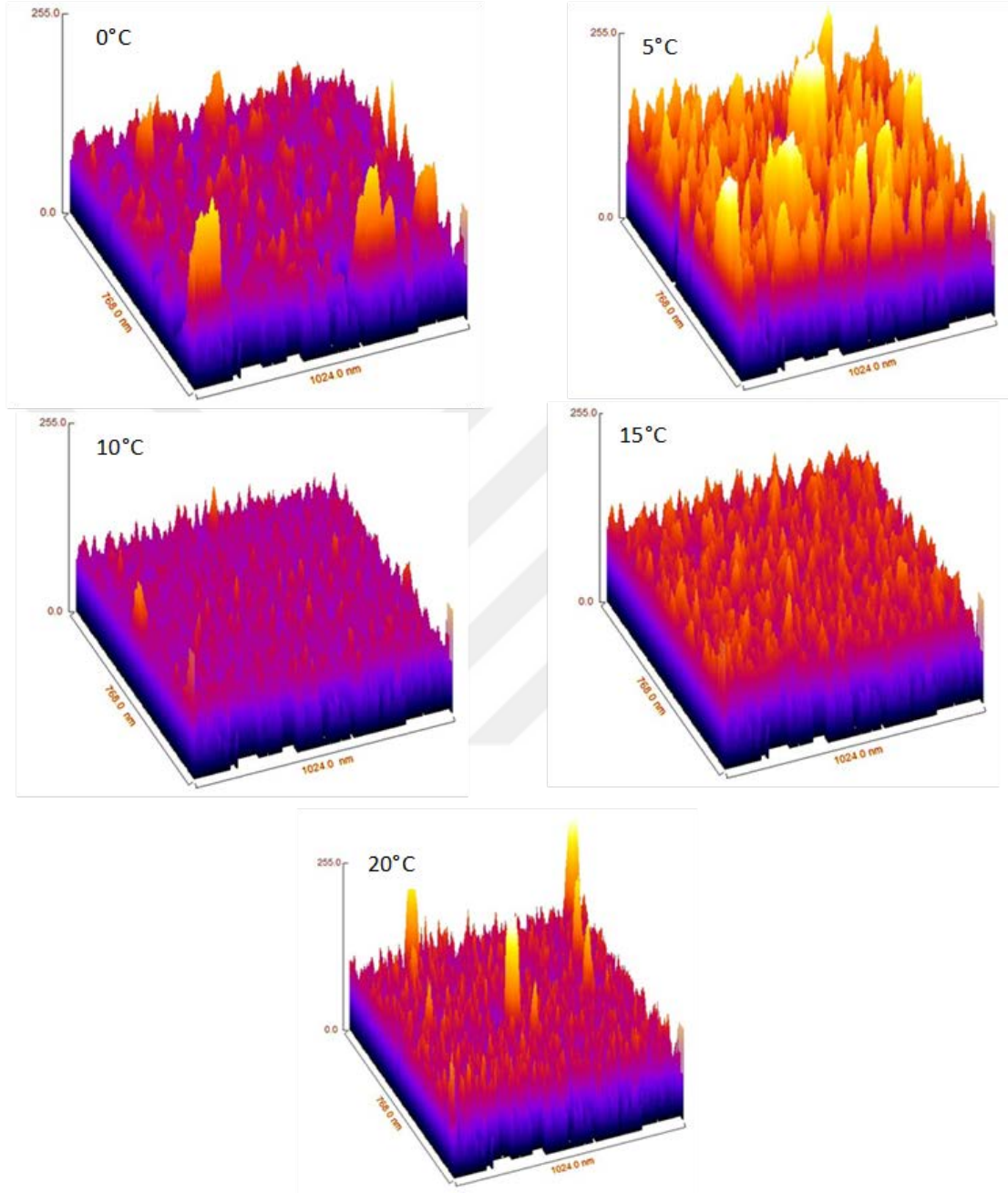
Şekil 5.3. 10 kX büyütülmüş SEM görüntüleri



Şekil 5.4. 30 kX büyütülmüş SEM görüntüleri

SEM görüntüleri, numunelerin yüzey pürüzlülüğünü tespit etmek için ImageJ yazılımı kullanılarak işlenmiştir. Ortalama (Ra) ve rms (root mean square) (Rq) olarak hesaplanan yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 5.5'te, ImageJ yazılımı kullanılarak elde edilen yüzey pürüzlülük görüntüleri Şekil 5.6'da sunulmuştur. Tablo 5.5 incelendiğinde, yüzey pürüzlülük değerlerinin çözelti sıcaklığı artışına bağlı olarak 22 nm'den 11 nm'ye düştüğü görülmektedir. Bu sonuç güneş pilleri için önemlidir. Çünkü yüzey

pürüzlülüğünün artması, yüzey alanının artması ve dolayısıyla daha fazla foton soğurulabilmesi anlamına gelmektedir.



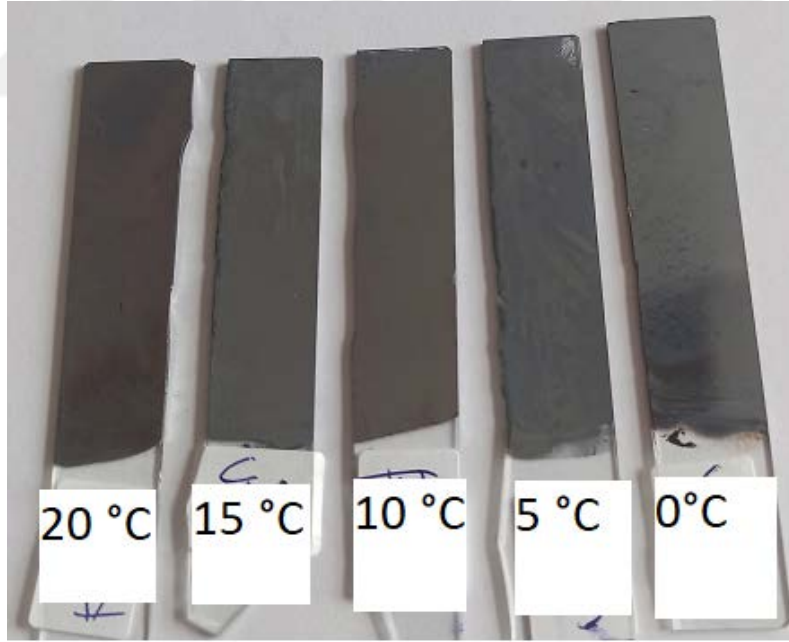
Şekil 5.5. PbS filmlerin yüzey pürüzlülük grafikleri.

Tablo 5.5. ImageJ yazılımı ile hesaplanan yüzey pürüzlülük değerleri

Deneyle	Sıcaklık (°C)	Ra (nm)	Rq (nm)
C0	0	22	27
C1	5	21	26
C2	10	12	16
C3	15	9	12
C4	20	11	14

5.6. PbS Filmlerinin Görsel Analizi

Film yüzeylerinin üstten görünüşü fotoğraflanmış olup, Şekil 5.7’de verilmiştir. Şekil 5.7, filmlerin cam tabanlara iyi bir şekilde yapıştığını göstermektedir. Filmlerin yüzeylerinde çatlak, boşluk görülmemiştir. Yüzeyler çok kompaktır. Ayrıca film yüzeylerinde ton farkı oluşmuştur. Ton farkının kristal boyutundan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 5.6. PbS ince filmlerinin fotoğrafları.

6. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

6.1. ZnO İçin Sonuçlar

Bu çalışmada KBB yöntemi ile ZnO ince filmleri cam tabanlar üzerine çökeltilmiş ve inhibitör olarak kullanılan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ miktarının ince filmler üzerindeki yapısal, optik ve morfolojik etkileri incelenmiştir. Numuneler kullanılan inhibitör miktarına göre; $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ içermeyen çözeltiden üretilen numune S0, 4 mM $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ içeren çözeltiden üretilen numune S1, 8 mM $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ içeren çözeltiden üretilen numune S2 ve 16 mM $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ içeren çözeltiden üretilen numune S3 olarak isimlendirilmiştir.

XRD sonuçlarına göre elde edilen filmlerin tamamının altıgen kristal yapıda olduğu görülmektedir. Ancak S0 isimli numuneden elde edilen XRD grafiği, numunede ZnO dışında safsızlıkların da olduğunu göstermektedir. Diğer örneklerin XRD grafikleri incelendiğinde inhibitör olarak $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ kullanımının kristal yapıdaki safsızlıkları giderdiği sonucuna varılmıştır.

Filmlerin yüzey morfolojisi SEM ile incelenmiş, SEM görüntüleri, kullanılan inhibitör miktarı arttıkça film yüzeylerindeki nano çiçeklerin azaldığını göstermiştir. Kullanılan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ miktarı 4 mM ve 8 mM olduğunda film yüzeylerinin nano çiçeklerle kaplandığı görülmüştür.

Filmlerin optik analizleri yapılmış ve S0 isimli numunede soğurmanın arttığı noktanın 375 nm dalgaboyuna karşılık geldiği görülmüştür. Diğer numunelerin soğurma değerlerinin ise 300 nm civarında arttığı belirlenmiştir. Aynı zamanda S1 ve S2 adlı iki numunenin soğurma değerlerinin S0 ve S3'e göre önemli ölçüde azaldığı, geçirgenlik değerlerinin ise 20 kat arttığı gözlenmiştir. Düşük soğurma ve yüksek geçirgenlik değerleri, bu numunelerin ince film güneş pillerinde pencere tabakası olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

Numunelerin enerji bant aralıkları Tauc grafikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar, S0-S1-S2-S3 olarak adlandırılan örneklerin enerji bant aralıklarının sırasıyla 3,89 eV, 4,22 eV, 4,24 eV ve 4,13 eV olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlara göre, ZnO ince filmler üretilirken inhibitör olarak $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ kullanılması, üretilen ince filmlerin enerji bant aralıklarında önemli bir artışa neden olmuştur.

6.2. CdS İçin Sonuçlar

Bu çalışmada, CdS ince filmlerin büyütülmesi için KBB yöntemi kullanılmıştır. CdS ince filmleri üretilirken, Na_2SO_3 inhibitör olarak ilk defa kullanılmış ve etkileri araştırılmıştır. Kalınlık ölçümü, film kalınlıklarının 360 ve 325 nm arasında değiştiğini göstermiştir. Numunelerin kalınlıklarında kayda değer bir fark gözlenmemiştir. XRD desenleri, reaksiyon hızı düştüğünde, filmlerin kristal yapısının kübik fazdan altıgen faza kaydığını, kübik yapıya sahip filmlerin (111) düzleminde tek bir tepe noktasına, altıgen yapıda elde edilen filmlerin ise (010), (002) ve (011) düzlemlerinde tepe noktalarına sahip olduğunu göstermiştir. Bu sonuç, CdS'nin altıgen yapısının kübik yapıya göre daha kararlı olması nedeniyle dikkat çekicidir. Enerji bant aralığı değerleri Tauc grafikleri kullanılarak tahmin edilmiş ve bu grafikler Na_2SO_3 kullanılarak reaksiyon hızı azaltıldığında filmlerin enerji bant aralıklarının 2,35 eV 'den 2,49 eV' ye yükseldiğini göstermiştir. FTIR analizi inhibitör kullanılarak üretilen filmlerin geçirgenlik değerlerinde kristal kusurlarındaki azalmaya bağlı olarak dikkate değer bir artış olduğunu göstermiştir. Filmlerin yüzey morfolojilerini analiz etmek için SEM görüntüleri kullanılmıştır. Reaksiyon hızı düşürüldüğünde, elde edilen altıgen faza sahip filmlerin yüzeyinde iğne delikleri ve çatlaklar olmadığı görülmüştür. Yüzey pürüzlülük değerlerinin 22 ile 9 nm arasında olduğu ve altıgen yapıda elde edilen filmlerin yüzey pürüzlülük değerlerinin kübik yapıya göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu değerler, düşük yüzey pürüzlülüğünün güneş pilleri için yüksek geçirgenliğe neden olması nedeniyle oldukça önemli bir sonuçtur.

6.3. CdSe İçin Sonuçlar

KBB yöntemini kullanarak CdSe ince filmleri ürettiğimiz bu çalışmada CdCl_2 , EDTA, NH_3 , Na_2SO_3 ve $\text{CSe}(\text{NH}_2)_2$ kullanılmıştır. Literatürde bu beş kimyasalla CdSe ince film üretimi bildirilmemiştir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde cam tabanlara çok iyi yapışan homojen filmlerin 20 dakika gibi kısa bir sürede ve 20 °C gibi düşük sıcaklıklarda elde edilebileceğini gösteren herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Gravimetrik yöntem, CdSe filmlerinin kalınlıklarının 200 nm ile 300 nm arasında değiştiğini göstermiştir. XRD desenleri, daha kararlı bir yapıya sahip olan altıgen yapıya sahip CdSe ince filmlerin oda sıcaklığında ve tavlama ihtiyacı duymadan

üretilebileceğini gösterdi. Optik ölçümler, Set 3'te elde edilen filmin en yüksek soğurma değerine sahip olduğunu gösterdi ki bu durumun filmin kalınlığından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Filmlerin geçirgenlik değerleri %60 ile %80 arasında değişmektedir. Güneş pillerinin pencere katmanında kullanılan filmler için yüksek optik geçirgenlik değerleri önemlidir. Kullanılan Na_2SO_3 miktarının optimize edilmesiyle soğurma ve geçirgenlik değerlerinin ayarlanabileceği düşünülmektedir. Tauc grafikleri kullanılarak tahmin edilen enerji bant aralığı değerleri, filmlerin enerji bant aralıklarının 1,76 eV ile 1,91 eV arasında değiştiğini gösterdi ve bu da literatürle uyumlu bir sonuçtur. SEM görüntüleri kullanılarak filmlerin yüzey morfolojileri incelendiğinde, tüm numunelerde filmlerin cam tabanlara homojen bir şekilde yapıştığı, film yüzeyinde herhangi bir delik, çatlak veya birikinti olmadığı gözlemlendi. Bu çok önemli bir sonuçtur çünkü oda sıcaklığında cam tabanlara iyi yapışan CdSe filmleri, uzun çözelti hazırlama ve biriktirme süreleri olmadan elde edilebilmektedir. ImageJ yazılımı kullanılarak elde edilen yüzey pürüzlülük grafikleri ve hesaplamalar, çok pürüzsüz ve düz filmlerin elde edildiğini göstermiştir.

6.4. PbS İçin Sonuçlar

Bu çalışmada, PbS ince filmleri, KBB yöntemi kullanılarak cam tabanlar üzerine biriktirilmiştir. Ayrıca nispeten soğuk çözelti sıcaklıklarının sonuçları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Sıcaklıklar 0, 5, 10, 15 ve 20 °C olarak seçilmiştir. XRD desenleri, tüm filmlerin kübik yapılarda oluştuğunu göstermiştir. Artan sıcaklığa bağlı olarak kristalit boyutlarının 42 nm' den 51 nm 'ye çıktığı görülmüştür. Yüzey özellikleri SEM görüntülerinden analiz edilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde, sadece 10 °C'de elde edilen film yüzeyinde boşluklar ve iğne delikleri oluşmadığı görülmüştür. Bu sonuç, güneş pilleri ve diğer cihazlar için idealdir. Çözeltilerin sıcaklığı düştükçe yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Bu sonuç da, artan yüzey pürüzlülüğünün geniş bir yüzey alanına neden olması nedeniyle güneş pilleri için idealdir. Sonuç olarak 10 °C'de üretilen filmin, XRD ve SEM analiz sonuçlarına göre güneş pilleri ve diğer optoelektronik cihazlar için oldukça uygun olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Abdallah, B., Hussein, R., Al-Kafri, N. & Zetoun, W.** (2019). PbS Thin Films Prepared by Chemical Bath Deposition: Effects of Concentration on the Morphology, Structure and Optical Properties. *Iranian Journal of Science and Technology, Transaction A: Science*, 43(3), 1371–1380. doi:10.1007/s40995-019-00698-1
- Abdallah, B., Ismail, A., Kashoua, H. & Zetoun, W.** (2018). Effects of Deposition Time on the Morphology, Structure, and Optical Properties of PbS Thin Films Prepared by Chemical Bath Deposition. *Journal of Nanomaterials*, 2018, 1–8. doi:10.1155/2018/1826959
- Abegunde, O. O., Akinlabi, E. T., Oladijo, O. P., Akinlabi, S. & Ude, A. U.** (2019). Overview of thin film deposition techniques. *AIMS Materials Science*, 6(2), 174–199. doi:10.3934/MATERSCI.2019.2.174
- Aksay, S., Pehlivanoglu, S. A. & Hurma, T.** (2021). The structural and optical properties of ZnO:Sn nanostructured films by MW-CBD. *Journal of Molecular Structure*, 1225, 129227. doi:10.1016/j.molstruc.2020.129227
- Alghamdi, G. S., Alzahrani, A. Z. & Science, F.** (2013). Bonding Formation and Orbitals Nature of ZnO Structure, 13(9), 1144–1149. doi:10.5829/idosi.mejsr.2013.13.9.751
- Ali, M. M.** (2011). Characterization of ZnO thin films grown by chemical bath deposition. *Journal of Basrah Researches (Sciences)*, 37(3A), 49–56.
- Altiokka, B., Baykul, M. C. & Altiokka, M. R.** (2013). Some physical effects of reaction rate on PbS thin films obtained by chemical bath deposition. *Journal of Crystal Growth*, 384, 50–54. doi:10.1016/j.jcrysgro.2013.09.003
- Altiokka, B. & Yildirim, A. K.** (2019). Chemical deposition of PbS thin films under alternating magnetic field of 0, 25 and 50 Hz. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 21(9–10), 623–628.
- Altiokka, B.** (2015). Effects of Inhibitor on PbS Thin Films Obtained by Chemical Bath Deposition. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 40(7). doi:10.1007/s13369-015-1680-3
- Ameh, E. S.** (2019). A review of basic crystallography and x-ray diffraction applications, 3289–3302.
- Anionye Daniel-Umeri, R.** (2015). Effect of pH on the Optical Properties of Cadmium Sulphide (CdS) Thin Film Deposited Using Chemical Bath Method. *International Journal of Materials Science and Applications*, 4(2), 138. doi:10.11648/j.ijmsa.20150402.21
- Ashok, A., Regmi, G., Romero-Núñez, A., Solis-López, M., Velumani, S. & Castaneda, H.** (2020). Comparative studies of CdS thin films by chemical bath deposition techniques as a buffer layer for solar cell applications. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31(10), 7499–7518. doi:10.1007/s10854-020-03024-3
- Avila-garcı, A. & Ortega-lo, M.** (2003). Improved efficiency of the chemical bath deposition method during growth of ZnO thin films. *Materials Research Bulletin*,

38, 1241–1248. doi:10.1016/S0025-5408(03)00083-7

Aydoğan, Ş. (2014). *Katıhal fiziği*.

Baez-Gaxiola, M R; García-Valenzuela, J. A. (2014). Chemical bath deposition of CdSe thin films from a solution containing selenosulfate as the selenium source and triethanolamine as ligand: Effect of reaction time on some surface c... *The Bulletin Point*, 1(December), 1–5.

Bakr, N. A., Khodair, Z. T. & Saleh, A. M. (2018). Effect of Substrate Temperature on Structural and Optical Properties of ZnO Thin Films Prepared by APCVD Technique, *13*(12), 10796–10803.

Bal, I., Baykul, M. C. & Saraç, U. (2021). The effect of solution temperature on chemically manufactured cds samples. *Chalcogenide Letters*, 18(1), 1–10.

Bandoh, C. K., Nkrumah, I., Ampong, F. K., Nkum, R. K. & Boakye, F. (2021). Effect Of Annealing On The Structure And Optical Properties Of Lead Selenide And Cadmium Selenide Thin Film Prepared By Chemical Bath Deposition. *Chalcogenide Letters*, 18(2), 81–89.

Bayramoglu, H. & Peksoz, A. (2019). Electronic energy levels and electrochemical properties of co-electrodeposited CdSe thin films. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 90(May 2018), 13–19. doi:10.1016/j.mssp.2018.09.021

Benghabrit, S., Chaumont, D., Adnane, M. & Hamzaoui, S. (2013). CdS films deposited by chemical bath deposition for solar cells application. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 15(5–6), 421–424.

Berruet, M. & Va, M. (2010). Materials Science in Semiconductor Processing Electrodeposition of single and duplex layers of ZnO with different morphologies and electrical properties. *Materials science in semiconductor processing*, 13, 239–244. doi:10.1016/j.mssp.2010.08.001

Bhowmik, R., Murty, M. N. & Srinadhu, E. S. (2008). Magnetic modulation in mechanical alloyed Cr_{1.4}Fe_{0.6}O₃oxide. *PMC Physics B*, 1(1). doi:10.1186/1754-0429-1-20

Bloem, J. (1957). p —n Junctions in photosensitive pbs layers. *Applied Scientific Research, Section B*, 6(1), 92–100. doi:10.1007/bf02920364

Boosagulla, D., Mandati, S., Allikayala, R. & Sarada, B. V. (2018). Room Temperature Pulse Electrodeposition of CdS Thin Films for Application in Solar Cells and Photoelectrochemical Cells. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 7(8), P440–P446. doi:10.1149/2.0261808jss

Boylestad, R., Nashelsky, L. & Li, L. (2002). *Electronic devices and circuit theory*. http://www.academia.edu/download/44419454/Boylestad__Dispositivos_Eletronicos_e_Teoria_dos_Circuitos__8ª_Edicao_Respostas.pdf adresinden erişildi.

Bundesanstalt, P. T. (2008). Electrodeposition of ZnO nanorods for device. *Applied Physics A*, 599(3), 595–599. doi:10.1007/s00339-008-4487-1

Carrillo-Castillo, A., Ambrosio Lázaro, R. C., Lira Ojeda, E. M., Martínez Pérez, C. A., Quevedo-López, M. A. & Aguirre-Tostado, F. S. (2013). Characterization of CdS thin films deposited by chemical bath deposition using novel complexing

- agents. *Chalcogenide Letters*, 10(10), 421–425.
- Çetinörgü, E., Gümüş, C. & Esen, R.** (2006). Effects of deposition time and temperature on the optical properties of air-annealed chemical bath deposited CdS films. *Thin Solid Films*, 515(4), 1688–1693. doi:10.1016/j.tsf.2006.06.004
- Chalapathi, U., Park, S. H. & Choi, W. J.** (2021). Chemically deposited Sn-doped PbS thin films for infrared photodetector applications. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 127(9), 1–6. doi:10.1007/s00339-021-04792-3
- Chalapathi, U., Park, S. & Jun, W.** (2021). Chemically grown highly crystalline PbS thin films with ethylenediamine tetraacetic acid complexing agent. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 134(June), 106022. doi:10.1016/j.mssp.2021.106022
- Chander, S. & Dhaka, M. S.** (2017). Optical and structural constants of CdS thin films grown by electron beam vacuum evaporation for solar cells. *Thin Solid Films*, 638, 179–188. doi:10.1016/j.tsf.2017.07.048
- Chaudhari, M. N.** (2021). Thin film Deposition Methods: A Critical Review. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 9(VI), 5215–5232. doi:10.22214/ijraset.2021.36154
- Chen, Z., Deutsch, T. G., Dinh, H. N., Domen, K., Emery, K., Forman, A. J., ... Turner, J.** (2013). *UV-Vis Spectroscopy*. doi:10.1007/978-1-4614-8298-7_5
- Cheng, J. H., Chao, H. Y., Chang, Y. H., Hsu, C. H., Cheng, C. L., Chu, M. W. & Chen, Y. F.** (2009). Growth and characterization of oriented CdSe nanobelts and nanorods. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 97(1), 79–83. doi:10.1007/s00339-009-5328-6
- De Caro, C.** (2015). UV / VIS Spectrophotometry. *Mettler-Toledo International*, (September 2015), 4–14.
- Deshpande, M. P., Garg, N., Bhatt, S. V., Sakariya, P. & Chaki, S. H.** (2013a). Characterization of CdSe thin films deposited by chemical bath solutions containing triethanolamine. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 16(3), 915–922. doi:10.1016/j.mssp.2013.01.019
- Deshpande, M. P., Garg, N., Bhatt, S. V., Sakariya, P. & Chaki, S. H.** (2013b). Spectroscopy and structural study on CdSe thin films deposited by chemical bath deposition. *Advanced Materials Letters*, 4(11), 869–874. doi:10.5185/amlett.2013.4467
- Dev, S., Kumar, P., Rani, A., Agarwal, A. & Dhar, R.** (2020). Superlattices and Microstructures Development of indium doped ZnO thin films for highly sensitive acetylene (C₂H₂) gas sensing. *Superlattices and Microstructures*, 145(May), 106638. doi:10.1016/j.spmi.2020.106638
- Dhanam, M., Prabhu, R. R. & Manoj, P. K.** (2008). Investigations on chemical bath deposited cadmium selenide thin films. *Materials Chemistry and Physics*, 107(2–3), 289–296. doi:10.1016/j.matchemphys.2007.07.011
- Dikici, M.** (2012). *Katıhal fiziği*. Seçkin Yayıncılık.
- Doroody, C., Rahman, K. S., Rosly, H. N., Harif, M. N., Isah, M., Kar, Y. B., ...**

- Amin, N.** (2021). A comparative study of CdS thin films grown on ultra-thin glass substrates by RF magnetron sputtering and chemical bath deposition. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 133(May), 105935. doi:10.1016/j.mssp.2021.105935
- Drici, A., Djeteli, G., Tchangbedji, G., Derouiche, H., Jondo, K., Napo, K., ... Gbagba, M.** (2004). Structured ZnO thin films grown by chemical bath deposition for photovoltaic applications. *physica status solidi (a)*, 1536(7), 1528–1536. doi:10.1002/pssa.200306806
- Edinger, S.** (2017). Comparison of chemical bath-deposited ZnO films doped with Al , Ga and In. *Journal of Materials Science*, 52(16), 9410–9423. doi:10.1007/s10853-017-1104-8
- Elango, T., Subramanian, V. & Murali, K. R.** (2000). Characteristics of spray-deposited CdSe thin films. *Surface and Coatings Technology*, 123(1), 8–11. doi:10.1016/S0257-8972(99)00163-2
- Erat, S., Metin, H. & Ari, M.** (2008). Influence of the annealing in nitrogen atmosphere on the XRD, EDX, SEM and electrical properties of chemical bath deposited CdSe thin films. *Materials Chemistry and Physics*, 111(1), 114–120. doi:10.1016/j.matchemphys.2008.03.021
- Fang, M. J.** (2018). d M pt. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, (Ii), <https://doi.org/10.1088/1361-6463/aad7de>.
- Fayomi, O. S. I., Akande, I. G., Abioye, O. P. & Fakehinde, O. B.** (2019). New trend in thin film composite coating deposition: A mini review. *Procedia Manufacturing*, 35, 1007–1012. doi:10.1016/j.promfg.2019.06.049
- Flory, F. & Escoubas, L.** (2004). Optical properties of nanostructured thin films. *Progress in Quantum Electronics*, 28(2), 89–112. doi:10.1016/j.pquantelec.2003.09.002
- Fortunato, M., Chandraiahgari, C. R., Bellis, G. De, Ballirano, P., Soltani, P., Kaciulis, S., ... Sarto, M. S.** (2018). Piezoelectric Thin Films of Grown by Chemical Bath Deposition. *IEEE Transactions on Nanotechnology*, 17(2), 311–319.
- Fouda, A. N., Marzook, M., Abd El-Khalek, H. M., Ahmed, S., Eid, E. A. & El Basaty, A. B.** (2017). Structural and Optical Characterization of Chemically Deposited PbS Thin Films. *Silicon*, 9(6), 809–816. doi:10.1007/s12633-015-9399-z
- Gaiduk, A. P., Gaiduk, P. I. & Larsen, A. N.** (2008). Chemical bath deposition of PbS nanocrystals: Effect of substrate. *Thin Solid Films*, 516(12), 3791–3795. doi:10.1016/j.tsf.2007.06.122
- Gan, F. Y. & Shih, I.** (2002). Preparation of thin-film transistors with chemical bath deposited CdSe and CdS thin films. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 49(1), 15–18. doi:10.1109/16.974742
- Garcia-Barrientos, A., Ambrosio-Lazaro, R. C., Ramirez-Bone, R., Garcia-Ramirez, M. A., Perez-Cortes, O., Tapia-Olvera, R. & Plaza-Castillo, J.** (2023). pH-Effect in the Fabrication of ZnO Nanostructured Thin Films by Chemical Bath Deposition for Increasing the Efficiency of Solar Cells. *Materials*, 16(8). doi:10.3390/ma16083275

- García, V. M., Nair, M. T. S., Nair, P. K. & Zingaro, R. A.** (1996). Preparation of highly photosensitive CdSe thin films by a chemical bath deposition technique. *Semiconductor Science and Technology*, 11(3), 427–432. doi:10.1088/0268-1242/11/3/024
- Garibay-Martínez, F., Hernández-Borja, J. & Ramírez-Bon, R.** (2021). Structural, optical, and morphological properties of chemically deposited CdSe thin films by ammonia-free precursor solution. *Optik*, 242(September 2020). doi:10.1016/j.ijleo.2021.167284
- Geetha, G., Murugasen, P. & Sagadevan, S.** (2017). Synthesis and characterization of manganese sulphide thin films by chemical bath deposition method. *Acta Physica Polonica A*, 132(4), 1221–1226. doi:10.12693/APhysPolA.132.1221
- Gholami Hatam, E. & Ghobadi, N.** (2016). Effect of deposition temperature on structural, optical properties and configuration of CdSe nanocrystalline thin films deposited by chemical bath deposition. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 43, 177–181. doi:10.1016/j.mssp.2015.12.013
- Gleiter, H.** (2000). Nanostructured Materials: Basic Concepts And Microstructure. *Acta Materialia*, 48(1), 1–29. doi:https://doi.org/10.1016/S1359-6454(99)00285-2
- Göde, F., Yavuz, F. & Kariperb, I. A.** (2015). Preparation and characterization of nanocrystalline PbS thin films produced by chemical bath deposition. *Acta Physica Polonica A*, 128(2), 215–218. doi:10.12693/APhysPolA.128.B-215
- Göde, Fatma & Ünlü, S.** (2019). Synthesis and characterization of CdS window layers for PbS thin film solar cells. *South Asian Journal Of Research In Engineering Science And Technology (SAJREST)*, 90(September 2018), 92–100. doi:10.1016/j.mssp.2018.10.011
- Goldstein Joseph I, . Newbury Dale E, R. Michael Joseph I, Nicholas W.M., Ritchie John , J. Scott Henry, C. J. D.** (2017). *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*.
- Gopakumar, N., Anjana, P. S. & Vidyadharan Pillai, P. K.** (2010). Chemical bath deposition and characterization of CdSe thin films for optoelectronic applications. *Journal of Materials Science*, 45(24), 6653–6656. doi:10.1007/s10853-010-4756-1
- Gündüz, T.** (2002). *İnstrümental analiz. Gazi Büro Kitabevi*.
- Habte, A. G., Hone, F. G. & Dejene, F. B.** (2019). The influence of malonic acid on the structural, morphological and optical properties of CdSe thin films prepared by chemical bath deposition method. *Inorganic Chemistry Communications*, 103(January), 107–112. doi:10.1016/j.inoche.2019.03.017
- Harada, R. H.** (1956). Surface area and particle size of evaporated lead sulfide films. *The Journal of Chemical Physics*, 24(2), 447–452. doi:10.1063/1.1742495
- Hariech, S., Aida, M. S., Bougdira, J., Belmahi, M., Medjahdi, G. & Genève, D.** (2018). Cadmium sulfide thin films growth by chemical bath deposition. doi:10.1088/1674-4926/39/3/034004
- Hassen, M., Riahi, R., Laatar, F. & Ezzaouia, H.** (2020). Optical and surface properties of CdSe thin films prepared by sol-gel spin coating method. *Surfaces and Interfaces*, 18(November 2019), 100408. doi:10.1016/j.surfin.2019.100408

- Henini, M.** (2000). *Handbook of Thin-Film Deposition Processes and Techniques*. *Microelectronics Journal* (C. 31). doi:10.1016/s0026-2692(99)00122-6
- Hernandez-Perez, M. A., Aguilar-Hernandez, J., Contreras-Puente, G., Vargas-García, J. R. & Rangel-Salinas, E.** (2008). Comparative optical and structural studies of CdSe films grown by chemical bath deposition and pulsed laser deposition. *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, 40(7), 2535–2539. doi:10.1016/j.physe.2007.10.102
- Hilbert, P. F. & Joseph, I. J.** (2018). Optical and structural properties of Mg doped ZnO thin films by chemical bath deposition method. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29(2), 935–943. doi:10.1007/s10854-017-7991-2
- Hodes, G.** (2002). *Chemical solution deposition of semiconductor films*. CRC press.
- Hone, F. G. & Abza, T.** (2019). Short review of factors affecting chemical bath deposition method for metal chalcogenide thin films. *International Journal of Thin Film Science and Technology*, 8(2), 43–52. doi:10.18576/ijtfst/080203
- Hone, F. G., Ampong, F. K., Nkum, R. K. & Boakye, F.** (2017). Band gap engineering in lead sulphur selenide (PbS_{1-x}Se_x) thin films synthesized by chemical bath deposition method. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28(3), 2893–2900. doi:10.1007/s10854-016-5874-6
- Hussain, A., Begum, A. & Rahman, A.** (2013). Characterization of Nanocrystalline Lead Sulphide Thin Films Prepared by Chemical Bath Deposition Technique. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 38(1), 169–174. doi:10.1007/s13369-012-0390-3
- Hyon Chol, K., Hyon Ho, C., Yong Jo, K. & Gwang Il, S.** (2021). Effect of the reactant concentration, bath temperature and deposition time on the properties of CdS thin film prepared by the chemical bath deposition method. *Optical Materials*, 112(December 2020), 110790. doi:10.1016/j.optmat.2020.110790
- I, T. S. & Brien, P. O.** (1995). Deposition and characterisation of ZnO thin films grown by chemical bath deposition. *Thin solid films*, 271, 35–38.
- Ikhmayies, S. J.** (2014). Tuning the properties of nanocrystalline CdS Thin Films. *Jom*, 66(1), 46–60. doi:10.1007/s11837-013-0819-5
- Ikhmayies, S. J.** (2017). The Influence of Heat Treatment on the Optical Parameters of Spray-Deposited CdS: In Thin Films. *Jom*, 69(2), 144–161. doi:10.1007/s11837-016-2200-y
- Ikhmayies, S. J.** (2021). Fine-Structured Red-Band Tail Photoluminescence (PL) Spectra of Nanocrystalline CdS:In Thin Films. *Jom*, 73(5), 1261–1270. doi:10.1007/s11837-021-04607-z
- Inkson, B. J.** (2016). *Scanning electron microscopy (SEM) and transmission electron microscopy (TEM) for materials characterization. Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods*. Elsevier Ltd. doi:10.1016/B978-0-08-100040-3.00002-X
- Islam, M. A., Haque, F., Rahman, K. S., Dhar, N., Hossain, M. S., Sulaiman, Y. & Amin, N.** (2015). Optik Effect of oxidation on structural , optical and electrical properties of CdS thin films grown by sputtering. *Optik - International Journal for*

- Light and Electron Optics*, 126(21), 3177–3180. doi:10.1016/j.ijleo.2015.07.078
- Ismail, A. A., van de Voort, F. R. & Sedman, J.** (1997). Chapter 4 Fourier transform infrared spectroscopy: Principles and applications. *Techniques and Instrumentation in Analytical Chemistry*, 18(C), 93–139. doi:10.1016/S0167-9244(97)80013-3
- Ivanova, T., Harizanova, A., Koutzarova, T. & Vertruyen, B.** (2010). Study of ZnO sol-gel films: Effect of annealing. *Materials Letters*, 64(10), 1147–1149. doi:10.1016/j.matlet.2010.02.033
- J.C..Schaefer;R.J.Humrick;R.F.Belt.** (1964). *Investigation of thin film cadmium sulfide solar cells.* Ohio. chrome-extension://oemmnecbldboiebfnladdacbfmadadm/https://apps.dtic.mil/sti/trecms/pdf/AD0605425.pdf adresinden erişildi.
- Jambure, S. B., Patil, S. J., Deshpande, A. R. & Lokhande, C. D.** (2014). A comparative study of physico-chemical properties of CBD and SILAR grown ZnO thin films. *Materials Research Bulletin*, 49(1), 420–425. doi:10.1016/j.materresbull.2013.09.007
- Janotti, A. & Walle, C. G. Van De.** (2009). Fundamentals of zinc oxide as a semiconductor. *Reports on progress in physics*, (December). doi:10.1088/0034-4885/72/12/126501
- Jilani, A., Abdel-wahab, M. S. & Hammad, A. H.** (2017). Advance Deposition Techniques for Thin Film and Coating. *Modern Technologies for Creating the Thin-film Systems and Coatings*. doi:10.5772/65702
- Kalt, H. & Klingshirn, C. F.** (2019). *Semiconductor Optics* 1. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-24152-0> adresinden erişildi.
- Kamal, T., Parvez, S., Khabir, K. M., Matin, R., Hossain, T., Sarwar, H., ... Rashid, M. J.** (2017). Chemical Bath Deposition of CdS layer for Thin Film Solar Cell. *South Asian Journal Of Research In Engineering Science And Technology (SAJREST)*, 01(02), 605–612.
- Kannan.** (y.y.). No Title.
- Kariper, I. A., Bařlayan, O. & Göde, F.** (2015). Fabrication and optical characterization of CdSe thin films grown by chemical bath deposition. *Acta Physica Polonica A*, 128(2), 219–221. doi:10.12693/APhysPolA.128.B-219
- Khallaf, H., Chai, G., Lupan, O., Heinrich, H., Park, S., Schulte, A. & Chow, L.** (2009). Investigation of chemical bath deposition of ZnO thin films using six different complexing agents. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 42(13), 135304. doi:10.1088/0022-3727/42/13/135304
- Khan, Z. R., Khan, M. S., Zulfequar, M. & Khan, M. S.** (2011). Optical and Structural Properties of ZnO Thin Films Fabricated by Sol-Gel Method, 2011(May), 340–345. doi:10.4236/msa.2011.25044
- Khot, K. V., Mali, S. S., Pawar, N. B., Mane, R. M., Kondalkar, V. V., Ghanwat, V. B., ... Bhosale, P. N.** (2014). Novel synthesis of interconnected nanocubic PbS thin films by facile aqueous chemical route. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 25(9), 3762–3770. doi:10.1007/s10854-014-2087-8

- Kim, M. J., Kim, H. T., Kang, J. K., Kim, D. H., Lee, D. H., Kang, J. I. N. K. Y. U., ... Lee, D. H. A.** (2010). Effects of the Surface Roughness on Optical Properties of CdS Thin Films Effects of the Surface Roughness on Optical Properties of CdS Thin Films, *1406*, 20–28. doi:10.1080/15421406.2010.497099
- Kittel, C.** (1996). Katıhal Fiziğine Giriş. İstanbul.
- Koao, L. F., Dejene, F. B. & Swart, H. C.** (2014). Synthesis of pbs nanostructures by chemical bath deposition method. *International Journal of Electrochemical Science*, 9(4), 1747–1757.
- Kotadiya, N. B., Kothari, A. J., Tiwari, D. & Chaudhuri, T. K.** (2012). Photoconducting nanocrystalline lead sulphide thin films obtained by chemical bath deposition. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 108(4), 819–824. doi:10.1007/s00339-012-6974-7
- Kumar, H; Rani, R.** (2013). Structural and Optical Characterization of ZnO Nanoparticles Synthesized by Microemulsion Route. *International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy*, 14, 26–36.
- Kumar, S., Kang, H. C. J. T. W., Seth, R., Panwar, S. & Shinde, S. K.** (2019). Variation in chemical bath pH and the corresponding precursor concentration for optimizing the optical , structural and morphological properties of ZnO thin films. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, (0123456789). doi:10.1007/s10854-019-02125-y
- Lade, S. J., Uplane, M. D. & Lokhande, C. D.** (2001). Photoelectrochemical properties of CdX (X = S, Se, Te) films electrodeposited from aqueous and non-aqueous baths. *Materials Chemistry and Physics*, 68(1–3), 36–41. doi:10.1016/S0254-0584(00)00280-7
- Lander, J. J.** (1960). Section IV . Compound Recent Work On Semiconductor Properties Surfaces II-VI, *14*(4), 137–141.
- Landsberg, P. T.** (1958). Semiconductor Research. *Nature*, 182(4642), 1067–1069. doi:10.1038/1821067a0
- Lee, J.** (2007). Influence of substrates on the structural and optical properties of chemically deposited CdS films, *515*, 6089–6093. doi:10.1016/j.tsf.2006.12.097
- Lee, T. D. & Ebong, A. U.** (2017). A review of thin film solar cell technologies and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70(December 2016), 1286–1297. doi:10.1016/j.rser.2016.12.028
- Liu, F., Lai, Y., Liu, J., Wang, B., Kuang, S., Zhang, Z., ... Liu, Y.** (2010). Characterization of chemical bath deposited CdS thin films at different deposition temperature. *Journal of Alloys and Compounds*, 493(1–2), 305–308. doi:10.1016/j.jallcom.2009.12.088
- Madani, A. El, Benyoussef, O. D. S. & Fahoume, A. Q. M.** (2021). Experimental and Ab Initio Investigation of the Physical Properties of PbS Thin Films Prepared by Chemical Bath Deposition (CBD). *Brazilian Journal of Physics*, (0123456789). doi:10.1007/s13538-021-00907-6
- Mane, R. S. & Lokhande, C. D.** (2000). Chemical deposition method for metal chalcogenide thin films. *Materials Chemistry and Physics*, 65(1), 1–31.

doi:10.1016/S0254-0584(00)00217-0

- Maskaeva, L. N., Mostovshchikova, E. V., Markov, V. F., Voronin, V. I., Pozdin, A. V., Selyanin, I. O. & Mikhailova, A. I.** (2022). Cobalt-Doped Chemically Deposited Lead-Sulfide Films. *Semiconductors*, 56(2), 1049–1058. doi:10.1134/S1063782622010122
- Maskaeva, L. N., Mostovshchikova, E. V., Voronin, V. I., Pozdin, A. V., Selyanin, I. O., Anokhina, I. A. & Markov, V. F.** (2021). Structural and Electrical Properties of PbS Films Doped with Cr³⁺ Ions during Chemical Deposition. *Semiconductors*, 55(11), 855–864. doi:10.1134/S106378262110016X
- Masuda, S., Kitamura, K., Okumura, Y., Miyatake, S., Tabata, H. & Kawai, T.** (2003). Transparent thin film transistors using ZnO as an active channel layer and their electrical properties. *Journal of Applied Physics*, 93(3), 1624–1630. doi:10.1063/1.1534627
- Mohamed, M. A., Jaafar, J., Ismail, A. F., Othman, M. H. D. & Rahman, M. A.** (2017). *Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. Membrane Characterization*. Elsevier B.V. doi:10.1016/B978-0-444-63776-5.00001-2
- Mohammed, I. M. S., Gubari, G. M. M., Sonawane, M. E., Kasar, R. R., Patil, S. A., Mishra, M. K., ... Sharma, R.** (2021). Influence of pH on the physical properties of CdS thin film and its photosensor application. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 127(8), 1–10. doi:10.1007/s00339-021-04743-y
- Mohammed, M. A. & Jamil, S. S. B.** (2013). Effect of deposition temperature on the structural and optical properties of CdSe thin films synthesised by chemical bath deposition. *AIP Conference Proceedings*, 1569(2103), 335–338. doi:10.1063/1.4849288
- Morris, K. M., Potamialis, C., Bittau, F., Bowers, J. W. & Walls, J. M.** (2019). Chemical bath deposition of thin film CdSe layers for use in Se alloyed CdTe solar cells. *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 1857–1862. doi:10.1109/PVSC40753.2019.8981251
- Murthy, M. N., Sreelatha, C. J., Ravinder, G. & Anusha, S.** (2021). Materials Today : Proceedings The effect of solution pH on the structural , surface morphological , and optical characteristics of ZnO thin films synthesized by the chemical bath deposition technique. *Materials Today: Proceedings*, (xxxx). doi:10.1016/j.matpr.2021.10.093
- Murthy, V. S. R.** (2003). *Structure and properties of engineering materials*. Tata McGraw-Hill Education.
- Muthusamy, S. M. M.** (2012). Structural , optical , FTIR and photoluminescence studies of CdS 1 2 x Se x thin films by chemical bath deposition method, 1647–1656. doi:10.1007/s10854-012-0642-8
- Nair, P. K., Nair, M. T. S., Garci, V. M., Arenas, O. L., Pen, Y., Campos, J., ... Rinco, M. E.** (1998). Semiconductor thin films by chemical bath deposition for solar energy-related applications. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 52, 313–344.
- Najm, A. S., Naeem, H. S., Abdul, D., Musa, R., Aljuhani, A., Hasbullah, S. A., ... Moria, H.** (2022). Mechanism of Chemical Bath Deposition of CdS Thin Films : Influence of Sulphur Precursor Concentration on.

- Niitsoo, O., Sarkar, S. K., Pejoux, C., Rühle, S., Cahen, D. & Hodes, G. (2006). Chemical bath deposited CdS/CdSe-sensitized porous TiO₂ solar cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 181(2–3), 306–313. doi:10.1016/j.jphotochem.2005.12.012
- Nikam, R. P., Lokhande, V. C., Khot, S. D., Bagwade, P. P., Gunjekar, J. L. & Lokhande, C. D. (2023). Effect of post annealing on chemisynthesized cadmium selenide (CdSe) thin films: physicochemical and photoelectrochemical properties. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 34(28), 1–13. doi:10.1007/s10854-023-11312-x
- Obaid, A. S., Mahdi, M. A., Hassan, Z. & Bououdina, M. (2012). Characterization of nanocrystalline PbS thin films prepared using microwave-assisted chemical bath deposition. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 15(5), 564–571. doi:10.1016/j.mssp.2012.04.009
- Obaid, A. S., Mahdi, M. A., Hassan, Z. & Bououdina, M. (2013). PbS nanocrystal solar cells fabricated using microwave-assisted chemical bath deposition. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(2), 807–815. doi:10.1016/j.ijhydene.2012.10.046
- Of, O. (2013). Structural Properties of ZnO Thin Films Obtained by Chemical Bath Deposition Technique. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 5(1), 4–7.
- OH, H. C. C. C. (1965). *Investigation of CdS-Thin-Film Solar Cells*. Ohio. chrome-extension://oemmnadbldboiebfnladdacbfmadadm/https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/A D0613187.pdf adresinden erişildi.
- Önal, M. & Altıokka, B. (2020). Effect of stirring on chemically deposited ZnO thin films. *Acta Physica Polonica A*, 137(6), 1209–1213. doi:10.12693/APhysPolA.137.1209
- Önal, M & Altıokka, B. (2020b). Optimization of EDTA – Ammonia Ratio for Chemically Deposited Layers of ZnO Nanoparticles. *Crystallography Reports*, 65(7), 1237–1241. doi:10.1134/S1063774520070135
- Önal, Metehan. (2020). *Güneş Pilleri İçin Kimyasal Banyo Biriktirme Yöntemi ile Üretilen ZnO, CdS, PbS İnce Filmlerinin Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi*. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi.
- Önal, Metehan & Altıokka, B. (2020a). Chemical deposition of CdS thin films in the hexagonal phase without annealing. *Emerging Materials Research*, 9(3), 738–742. doi:10.1680/jemmr.19.00180
- Önal, Metehan & Altıokka, B. (2020b). Pinhole-Free PbS Thin Film Production Using a Low-Temperature Chemical Bath Deposition Method. *Journal of Nano Research*, 63, 1–9. doi:10.4028/www.scientific.net/JNanoR.63.1
- Ouerfelli, J., Regragui, M., Morsli, M., Djeteli, G., Jondo, K., Amory, C., ... Bernède, J. C. (2006). Properties of ZnO thin films deposited by chemical bath deposition and post annealed. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 39(9), 1954–1959. doi:10.1088/0022-3727/39/9/035
- Pawar, S. B., Shaikh, J. S., Devan, R. S., Ma, Y. R., Haranath, D., Bhosale, P. N. & Patil, P. S. (2011). Applied Surface Science Facile and low cost chemosynthesis of

- nanostructured PbS with tunable optical properties, 258, 1869–1875. doi:10.1016/j.apsusc.2011.10.069
- Pawar, S. M., Moholkar, A. V., Rajpure, K. Y. & Bhosale, C. H.** (2006). Electrosynthesis and characterization of CdSe thin films: Optimization of preparative parameters by photoelectrochemical technique. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 67(11), 2386–2391. doi:10.1016/j.jpcs.2006.06.015
- Perna, G., Capozzi, V., Pagliara, S., Ambrico, M. & Lojcono, D.** (2001). Reflectance and photoluminescence characterization of CdS and CdSe heteroepitaxial films deposited by laser ablation technique. *Thin Solid Films*, 387(1–2), 208–211. doi:10.1016/S0040-6090(01)00793-3
- Piccolo, M., Aceto, M. & Vitorino, T.** (2019). UV-Vis spectroscopy. *Physical Sciences Reviews*, 4(4), 1–14. doi:10.1515/psr-2018-0008
- Poortmans, J. & Arkhipov, V.** (2006). *Thin film solar cells: fabrication, characterization and applications* (C. 5). John Wiley & Sons.
- Pushpalatha, H. L. & Ganesha, R.** (2015). Growth and characterization of CdS thin films by photochemical and chemical bath deposition. *International Journal of ChemTech Research*, 7(1), 185–189.
- Rahul, Verma, A. K., Tripathi, R. S. N. & Vishwakarma, S. R.** (2012). Electrical and optical characterization of electron beam evaporated indium antimonide thin films. *National Academy Science Letters*, 35(5), 367–372. doi:10.1007/s40009-012-0060-8
- Rahulkumar, K. S., Srivastava, R., Kamlasan, M. N.,** (2011), Synthesis and Electroluminescence Characterization of Cadmium Complex. *Journal of Nano-Electron Physics*, 3(1), 514-520
- Rajathi, S., Kirubavathi, K. & Selvaraju, K.** (2017). Structural, morphological, optical, and photoluminescence properties of nanocrystalline PbS thin films grown by chemical bath deposition. *Arabian Journal of Chemistry*, 10(8), 1167–1174. doi:10.1016/j.arabjc.2014.11.057
- Ramamoorthy, K., Arivanandhan, M., Sankaranarayanan, K. & Sanjeeviraja, C.** (2004). Highly textured ZnO thin films: A novel economical preparation and approachment for optical devices, UV lasers and green LEDs. *Materials Chemistry and Physics*, 85(2–3), 257–262. doi:10.1016/j.matchemphys.2003.09.018
- Razaw Dindar Hussein, A. O. J.** (2022). A review on Physical Properties of CdS Thin Film. *Journal of Physical Chemistry and Functional Materials*, 5(1), 40–50. doi:10.54565/jphcfum.1026213
- Razeghi, M.** (2009). *Fundamentals of Solid State Engineering*. Boston, MA: Springer US. doi:10.1007/978-0-387-92168-6
- Reddy, K. T. R., Sreedevi, G., Ramya, K. & Miles, R. W.** (2012). Physical properties of nano-crystalline SnS 2 layers grown by chemical bath deposition. *Energy Procedia*, 15(June 2014), 340–346. doi:10.1016/j.egypro.2012.02.041
- Regmi, A. A. G., Núñez, A. R., López, M. S. & Castaneda, H.** (2020). Comparative studies of CdS thin films by chemical bath deposition techniques as a buffer layer for solar cell applications. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*,

31(10), 7499–7518. doi:10.1007/s10854-020-03024-3

- Rizwan, Z., Azmi, B. Z. & Sabri, M. G. M.** (2011). Effect of annealing temperature on the optical properties of nanostructured CdS films prepared by chemical bath deposition technique. *Optoelectronics and Advanced Materials, Rapid Communications*, 5(4), 393–397.
- Sarmh, K. & Borah, K. K.** (2023). Effect of Intensity and Wavelength of Illumination on the Photoelectronic Properties of Nanocrystalline CdSe Thin Films, 20(1), 1–11.
- Schock, H. W.** (1996). Thin film photovoltaics. *Applied Surface Science*, 92, 606–616. doi:10.1016/0169-4332(95)00303-7
- Shaikh, S. K., Inamdar, S. I., Ganbavle, V. V. & Rajpure, K. Y.** (2016). Chemical bath deposited ZnO thin film based UV photoconductive detector. *Journal of Alloys and Compounds*, 664, 242–249. doi:10.1016/j.jallcom.2015.12.226
- Sharma, S., Venkata Dhanunjaya Reddy, A., Jayarambabu, N., Vikram Manoj Kumar, N., Saineetha, A., Kailasa, S. & Venkateswara Rao, K.** (2018). Micro-structural, optical and vibrational spectra analysis of Lead sulphide, Cadmium doped PbS and Strontium doped PbS nanostructured thin films synthesized through Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction technique for solar cell and infrared detec. *Materials Today: Proceedings*, 26, 162–171. doi:10.1016/j.matpr.2019.10.155
- Shukla, V. & Patel, A.** (2020). Effect of doping concentration on optical and electrical properties of intrinsic n-type ZnO (i-ZnO) and (Cu , Na and K) doped p-type ZnO thin films grown by chemical bath deposition method. *Nanosystems Physics Chemistry Mathematics*, 11(4), 391–400. doi:10.17586/2220-8054-2020-11-4-391-400
- Smirnova, Z. I., Bakanov, V. M., Maskaeva, L. N., Markov, V. F. & Voronin, V. I.** (2014). Effect of an iodine-containing additive on the composition, structure, and morphology of chemically deposited lead selenide films. *Physics of the Solid State*, 56(12), 2561–2567. doi:10.1134/S1063783414120324
- Society, M.** (2019). Effects of Inhibitor on ZnS Thin Films Fabricated by Electrodeposition, 2–7. doi:10.1007/s11664-019-06950-z
- Streetman, B. G. & Banerjee, S.** (1995). *Solid state electronic devices* (C. 4). Prentice Hall Englewood Cliffs, NJ.
- Szabo, J., Simms, D. & Cocivera, M.** (1985). Composition And Performance Of Thin Film CdSe Electrodeposited From Selenosulfite Solution. *Electrochemical Society Extended Abstracts*, 85–1(6), 446. doi:10.1149/1.2108828
- Tanushevski, A. & Osmani, H.** (2018). CdS thin films obtained by chemical bath deposition in presence of fluorine and the efect of annealing on their properties. *Chalcogenide Letters*, 15(2), 107–113.
- Taunk, P. B., Das, R., Bisen, D. P., Tamrakar, R. K. & Rathor, N.** (2015). Synthesis and optical properties of chemical bath deposited ZnO thin film. *Karbala International Journal of Modern Science*, 1(3), 159–165. doi:10.1016/j.kijoms.2015.11.002
- Temel, S., Gokmen, F. O. & Yaman, E.** (2017). Effects of Deposition Time on

- Structural and Morphological Properties of Synthesized ZnO Nanoflowers Without Using Complexing Agent. *European Scientific Journal, ESJ*, 13(27), 28. doi:10.19044/esj.2017.v13n27p28
- Temel, S., Nebi, M. & Peker, D.** (2017). Sol- Gel Döndürerek Kaplama Tekniği i le Saydam İletken ZnO İnce Filmlerin Üretilmesi ve Karakterizasyonu, 5(3), 51–59.
- Thambidurai, M., Muthukumarasamy, N., Agilan, S., Sabari Arul, N., Murugan, N. & Balasundaraprabhu, R.** (2011). Structural and optical characterization of Ni-doped CdS quantum dots. *Journal of Materials Science*, 46(9), 3200–3206. doi:10.1007/s10853-010-5204-y
- Vipul, S. & Amit, P. D.** (2020). Effect of doping concentration on optical and electrical properties of intrinsic n-type ZnO (i-ZnO) and (Cu, Na and K) doped p-type ZnO thin films grown by chemical bath deposition method. *Nanosystems Physics Chemistry Mathematics*, 11(4), 391–400.
- Wang, H., Liu, Y., Li, M., Huang, H., Xu, H. & Shen, H.** (2011). Fabrication of three-dimensional ZnO with hierarchical structure via an electrodeposition process. *Applied Physics A*, 25, 463–466. doi:10.1007/s00339-010-6010-8
- Wang, J., Sun, X. W., Yang, Y., Ko, A. & Kyaw, K.** (2011). Free-standing ZnO-CuO composite nanowire array films and their gas sensing properties My IOPscience Free-standing ZnO – CuO composite nanowire array films and their gas sensing properties, (August). doi:10.1088/0957-4484/22/32/325704
- Wilson, K. C., Manikandan, E., Ahamed, M. B. & Mwakikunga, B. W.** (2014). Nanocauliflower like structure of CdS thin film for solar cell photovoltaic applications : In situ tin doping by chemical bath deposition technique. *Journal of Alloys and Compounds*, 585, 555–560. doi:10.1016/j.jallcom.2013.09.185
- Ximello-quiebras, J. N. & Contreras-puente, G.** (2004). Physical properties of chemical bath deposited CdS thin films, 82, 263–268. doi:10.1016/j.solmat.2004.01.023
- Yamamoto, O., Sasamoto, T. & Inagaki, M.** (1998). Preparation of crystalline CdSe particles by chemical bath deposition. *Journal of Materials Research*, 13(12), 3394–3398. doi:10.1557/JMR.1998.0462
- Yang, J. & Walker, A. V.** (2014). Morphological control of PbS grown on functionalized self-assembled monolayers by chemical bath deposition. *Langmuir*, 30(23), 6954–6962. doi:10.1021/la500784y
- Yildizay, H.** (2022). Effects of inhibitor on chemically deposited ZnO thin films. *Emerging Materials Research*, Volume 11(1). doi:https://doi.org/10.1680/jemmr.21.00006
- Yuan, Z.** (2015). Low-Temperature Growth of Well-Aligned ZnO Nanorod Arrays by Chemical Bath Deposition for Schottky Diode Application. *Journal of Electronic Materials*, 44(4), 1187–1191. doi:10.1007/s11664-015-3661-4
- Yücel, E., Yücel, Y. & Belevi, B.** (2015). Optimization of synthesis conditions of PbS thin films grown by chemical bath deposition using response surface methodology. *Journal of Alloys and Compounds*, 642, 63–69. doi:10.1016/j.jallcom.2015.03.267
- Zakir Allahverdiyev.** (2000). *Elektroteknik Malzemeler*. Trabzon: Karadeniz Teknik

Üniversitesi Matbaası.

Zemel, J. N. (1960). PROPERTIES, *14*, 142–149.

Zhao, Y., Yan, Z., Liu, J. & Wei, A. (2013). Synthesis and characterization of CdSe nanocrystalline thin films deposited by chemical bath deposition. *Materials Science in Semiconductor Processing*, *16*(6), 1592–1598. doi:10.1016/j.mssp.2013.04.027

