

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

**ELEKTRODEPOZİSYON YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN VE GÜNEŞ PİLİ ÜRETİMİNE
UYGUN OLAN CdSe/PbS HETERO YAPILARIN BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FERMAN YAVUZ

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. AYÇA KIYAK YILDIRIM

BİLECİK, 2021

10388935

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

**ELEKTRODEPOZİSYON YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN VE GÜNEŞ PİLİ ÜRETİMİNE
UYGUN OLAN CdSe/PbS HETERO YAPILARIN BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FERMAN YAVUZ

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. AYÇA KIYAK YILDIRIM

BİLECİK, 2021

10388935

BEYAN

“Elektrodepozisyon yöntemi ile üretilen ve güneş pili üretimine uygun olan CdSe/PbS hetero yapıların bazı fiziksel özellikleri” adlı yüksek lisans tezi hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel ahlak 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 beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırmalar Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte beyan edilmelidir.			
DESTEK ALINMIŞTIR		DESTEK ALINMAMIŞTIR	
Destek alındı ise;			
Destekleyen Kurum:			
Desteğin Türü		Proje Numarası	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)			
2- TÜBİTAK			
Diğer;			

Ferman YAVUZ

Tarih

İmza

ÖN SÖZ

Yüksek lisans öğrenimim boyunca her türlü fedakarlığı gösterip gece gündüz demeden bana rehber olan, bilgi ve tecrübesiyle yoluma ışık tutan, elindeki tüm bilgileri benimle paylaşmaktan kaçınmayan minnet borçlu olduğum danışmanım Sayın Doç.Dr. Ayça KIYAK YILDIRIM hocama teşekkür ederim.

Tez yazımı süresince ve yüksek lisans öğrenimim boyunca her türlü desteği ve emeği veren sayın hocalarım Doç. Dr. Barış ALTIOKKA, Dr. Öğr. Üyesi Sinan TEMEL'e ve Öğr. Gör. İsmail Melih YILDIRIM'a en içten dileklerimle teşekkürlerimi sunarım.

Karşılık beklemezsiniz, her zaman yanımda olan ve sabırsızlıkla yüksek lisans öğrenimimin bitmesini bekleyen anne ve babama teşekkür ederim.

ÖZET

ELEKTRODEPOZİSYON YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN VE GÜNEŞ PİLİ ÜRETİMİNE UYGUN OLAN CdSe/PbS HETERO YAPILARIN BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada, CdSe/ PbS yarıiletken hetero filmleri elektrokimyasal depozisyon yöntemi ile elde edilmiştir. Filmlerin üretimi dört ana grup altında gerçekleştirilmiştir. Birinci grupta, çözelti pH'nın CdSe film üzerindeki etkileri araştırılmıştır. İkinci grupta, deneyler farklı pH değerlerinde ancak depozisyon sıcaklığı 80°C' ayarlanarak gerçekleştirilmiştir. ve manyetik alanın etkileri incelenmiştir. Üçüncü grupta, farklı güce sahip asitler kullanılarak en uygun pH değeri ayarlanarak CdSe ince filmleri üretilmiştir. Dördüncü grupta, farklı katodik potansiyel değerlerinde PbS ince filmleri üretilmiştir. Elde edilen bütün filmlerin optik özellikleri, UV-VIS cihazı kullanılarak dalga boyuna karşı absorbans ölçümlerinden elde edilmiştir. Filmlerin yapısal özellikleri XRD cihazı ile belirlenmiştir. Filmlerin morfolojik ve elementsel analizleri SEM-EDX cihazı ile araştırılmıştır. Güneş pili üretimi için optimum şartları sağlayan CdSe ve PbS ince filmleri üst üste üretilerek hetero yapı oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: CdSe, PbS, pH, depozisyon sıcaklığı, XRD, UV, SEM-EDX

ABSTRACT

SOME PHYSICAL PROPERTIES OF THE CdSe/PbS HETERO STRUCTURES PRODUCED BY THE ELECTRODEPOSITION METHOD AND SUITABLE FOR SOLAR CELL PRODUCTION

In this study, CdSe / PbS semiconductor hetero films were obtained by electrochemical deposition method. Films were produced under four main groups. In the first group, the effects of solution pH on the CdSe film were investigated. In the second group, experiments were carried out at different pH values, but by adjusting the deposition temperature to 80 ° C. In the third group, CdSe thin films were produced by using acids with different strengths and adjusting the optimum pH value. In the fourth group, PbS thin films with different cathodic potential values were produced. The optical properties of all films obtained were obtained from the absorbance measurements against wavelength using the UV-VIS device. The structural properties of the films were determined by XRD device. Morphological and elemental analysis of the films were investigated with SEM-EDX device. CdSe and PbS thin films, which provide optimum conditions for solar cell production, were produced on top of each other and a hetero-structure was formed.

Keywords : CdSe, PbS, pH, depozisyon sıcaklığı, XRD, UV, SEM-EDX

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	xi
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Yarıiletkenler.....	1
1.1.1. Katkısız Yarıiletkenler.....	4
1.1.2. Katkılı Yarıiletkenler.....	6
1.1.2.1. N tipi Yarıiletkenler.....	6
1.1.2.2. P tipi Yarıiletkenler.....	7
1.2. Yarı İletken İnce Filmler.....	8
1.3. İnce Film Üretim Teknikleri.....	9
1.4. Elektrokimyasal Depolama (Elektro Depozisyon) Tekniği.....	12
1.5. Güneş Pilleri.....	16
1.5.1. Güneş Pillerinin Elektriksel Özellikleri.....	19
1.5.2. Güneş Pillerinin Çalışma İlkesi.....	20
1.5.3. Güneş Pillerinin Eşdeğer Devreleri.....	20
1.6. Karakterizasyon Teknikleri.....	21
1.6.1. Yapısal Karakterizasyon Teknikleri.....	22
1.6.1.1. XRD Tekniği.....	22
1.6.1.2 SEM Tekniği.....	24

1.6.2. Optik Karakterizasyon Tekniği	26
1.6.2.1. UV-VIS Spektroskopisi	26
1.7. Literatür Taraması	28
1.7.1 PbS İnce Filmler	28
1.7.2. CdSe İnce Filmler	29
1.7.3. CdSe/PbS Güneş Pilleri	30
2. MATERYAL VE YÖNTEM	32
2.1. PbS'nin Elektrokimyasal Oluşum Mekanizması	32
2.2. CdSe'nin Elektrokimyasal Oluşum Mekanizması	32
2.3. Alt Tabanların Temizlenmesi	34
2.4. Çözelti Hazırlama	34
2.5. CdSe ve PbS İnce Filmlerin Üretiminde Kullanılan Cihazlar ve Sistemler	35
2.6. CdSe ve PbS İnce Filmlerin Üretiminde Kullanılan DeneySEL Şartlar	36
3. ARAŞTIRMA BULGULARI	40
3.1. CdSe ve PbS ince filmlerin karakterizasyonu	40
3.1.1. CdSe ve PbS ince filmlerin XRD analizi	40
3.1.2. CdSe ve PbS İnce filmlerin optik analizleri	51
3.1.3. CdSe ve PbS ince filmlerin SEM analizleri	57
3.2. CdSe/PbS güneş pilleri	68
4. TARTIŞMA VE SONUÇ	72
KAYNAKLAR	73

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Serbest elektronların iletken içindeki hareketi.....	1
Şekil 1.2. Yarıiletkenlerin kristal yapısı.....	2
Şekil 1.3. Bant enerji grafiği	3
Şekil 1.4. Silisyum elementinin ısı etkisiyle ilettime geçmesi	4
Şekil 1.5. Kovalent bağ yapısı	4
Şekil 1.6. Silisyumda elektrik iletkenliğine ait elektron bağlanma modeli.....	6
Şekil 1.7. Fosfor katkılı n-tipi yarı iletken modeli	7
Şekil 1.8. Bor katkılı p-tipi yarı iletken modeli	8
Şekil 1.9. İnce film üretim teknikleri	9
Şekil 1.10. PVD üretim teknikleri.....	10
Şekil 1.11. Elektro depozisyonun basit şematik gösterimi	13
Şekil 1.12. Elektrokimyasal depolama cihazı	14
Şekil 1.13. Galvanostatik elektro depozisyonda kullanılan cihazın şematik diyagramı	15
Şekil 1.14. Elektrodepozisyon süresince çalışma elektrotunun potansiyel değişimi.....	15
Şekil 1.15. Potansiyostatik elektrodepozisyonda kullanılan cihazın şematik diyagramı.....	15
Şekil 1.16. Potansiyostatik elektrodepozisyon boyunca akımın zamanla değişimi	16
Şekil 1.17. Güneş pili türleri	18
Şekil 1.18. Yeni nesil güneş pilleri	19
Şekil 1.19. Güneş pilinin elektrik üretimi	20
Şekil 1.20. Güneş pillerinin konumlandırılması.....	21
Şekil 1.21. Hücreden dizi yapısına.....	21
Şekil 1.22. X-Işınları kırınımları	23
Şekil 1.23. X Işınları şematik diyagramı.....	23
Şekil 1.24. Kristalleşme seviyeleri.....	24

Şekil 1.25. SEM cihazı.....	25
Şekil 1.26. Taramalı elektron mikroskobu kısımları.....	25
Şekil 1.27. Yarı iletkenlere Ait Absorbsiyon Grafiği	26
Şekil 1.28. UV cihazı	27
Şekil 2.1. IVIUM VERTEX cihazı	36
Şekil 3.1. SET I'den üretilen CdSe filmlerinin XRD kırınım grafikleri	41
Şekil 3.2. SET II'den üretilen CdSe filmlerinin XRD kırınım grafikleri.....	41
Şekil 3.3. SET III'ten üretilen CdSe filmlerinin XRD kırınım grafikleri	42
Şekil 3.4. Set IV'te üretilen PbS filmlerinin XRD kırınım grafikleri	43
Şekil 3.5. SET I'den üretilen filmlerin dalga boyuna karşı absorbands grafikleri.....	51
Şekil 3.6. SET II'den üretilen filmlerin dalga boyuna karşı absorbands grafikleri	52
Şekil 3.7. SET III'ten üretilen filmlerin dalga boyuna karşı absorbands grafikleri	52
Şekil 3.8. SET I'den üretilen filmlerin $h\nu$ 'ye karşı $(\alpha h\nu)^2$ grafikleri	53
Şekil 3.9. SET II'den üretilen filmlerin $h\nu$ 'ye karşı $(\alpha h\nu)^2$ grafikleri	54
Şekil 3.10. SET III'ten üretilen filmlerin $h\nu$ 'ye karşı $(\alpha h\nu)^2$ grafikleri	54
Şekil 3.11. SET I'den üretilen filmlerin dalga boyuna karşı transmitans grafikleri	55
Şekil 3.12. SET II'den üretilen filmlerin dalga boyuna karşı transmitans grafikleri.....	56
Şekil 3.13. SET III'ten üretilen filmlerin dalga boyuna karşı transmitans grafikleri	56
Şekil 3.14. S1'den elde edilen filmin 50000 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	57
Şekil 3.15. S2'den elde edilen filmin 50000 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	58
Şekil 3.16. S3'ten elde edilen filmin 50000 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	58
Şekil 3.17. S4'ten elde edilen filmin 50000 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	59
Şekil 3.18. S5'ten elde edilen filmin 50000 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	60
Şekil 3.19. S6'dan elde edilen filmin 50000 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	60
Şekil 3.20. S7'den elde edilen filmin 50000 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	61
Şekil 3.21. S8'den elde edilen filmin 50000 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	61

Şekil 3.22. S9'dan elde edilen filmin 50000 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	62
Şekil 3.23. S11'den elde edilen filmin 50000 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	63
Şekil 3.24. S12'den elde edilen filmin 50000 büyütmedeki SEM görüntüsü	63
Şekil 3.25. S13'den elde edilen filmin 50000 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	64
Şekil 3.26. S14'den elde edilen filmin 50000 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	64
Şekil 3.27. S15'den elde edilen filmin 20000 ve 90000 büyütmedeki SEM görüntüsü	65
Şekil 3.28. S16'dan elde edilen filmin 20000 ve 90000 büyütmedeki SEM görüntüsü	66
Şekil 3.29. S17'den elde edilen filmin 20000 ve 90000 büyütmedeki SEM görüntüsü	66
Şekil 3.30. S18'den elde edilen filmin 20000 ve 90000 büyütmedeki SEM görüntüsü	67
Şekil 3.31. S19'dan elde edilen filmin 20000 ve 90000 büyütmedeki SEM görüntüsü	67
Şekil 3.32. S3'ten elde edilen filmin 100 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	68
Şekil 3.33. S12'den elde edilen filmin 100 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	69
Şekil 3.34. S13'ten elde edilen filmin 100 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	69
Şekil 3.35. S14'ten elde edilen filmin 100 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	70
Şekil 3.36. S15'ten elde edilen filmin 100 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	70

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Yarıiletkenlerin kullanımı	3
Tablo 1.2. Bazı Yarı İletkenlerin Yasak Bant Aralığına Ait Değerleri	5
Tablo 2.1. Set 1’de üretilen CdSe filmlerinin büyütme parametreleri	37
Tablo 2.2. Set 2’de üretilen CdSe filmlerinin büyütme parametreleri	38
Tablo 2.3. Set 3’te üretilen CdSe filmlerinin büyütme parametreleri	38
Tablo 2.4. Set 4’te üretilen PbS filmlerinin büyütme parametreleri	38
Tablo 2.5. Set 5’te üretilen PbS filmlerinin büyütme parametreleri	39
Tablo 3.1. SET I’de edilen filmlerin ilgili düzlemlerine ait, pik açısı, şiddet, yapılanma katsayısı değerleri.....	44
Tablo 3.2. SET II’de edilen filmlerin ilgili düzlemlerine ait, pik açısı, şiddet, yapılanma katsayısı değerleri.....	44
Tablo 3.3. SET III’te edilen filmlerin ilgili düzlemlerine ait, pik açısı, şiddet, yapılanma katsayısı değerleri.....	45
Tablo 3.4. SET IV’te edilen filmlerin ilgili düzlemlerine ait, pik açısı, şiddet, yapılanma katsayısı değerleri.....	45
Tablo 3.5. SET I’de üretilen ince filmlerin tane büyüklükleri, dislokasyon yoğunlukları, doğrulanan örgü parametreleri, mikro strain değerleri ve ortalama gerilme değerleri	47
Tablo 3.6. SET II’de üretilen ince filmlerin tane büyüklükleri, dislokasyon yoğunlukları, doğrulanan örgü parametreleri, mikro strain değerleri ve ortalama gerilme değerleri	48
Tablo 3.7. SET III’te üretilen ince filmlerin tane büyüklükleri, dislokasyon yoğunlukları, doğrulanan örgü parametreleri, mikro strain değerleri ve ortalama gerilme değerleri	49
Tablo 3.8. SET IV’te üretilen ince filmlerin tane büyüklükleri, dislokasyon yoğunlukları, doğrulanan örgü parametreleri, mikro strain değerleri ve ortalama gerilme değerleri	50
Tablo 3.9. SET V’de üretilen CdS/CdTe güneş pillerinin kalınlıkları ve pn eklem açık devre voltajları	71

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

XPS : X-Işını Fotoelektron Spektroskopisi

FE-SEM : Alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu

ZnS : Çinko sülfür

HRTEM : Yüksek çözünürlüklü geçirmeli elektron mikroskobu

SILAR : Ardışık iyonik tabaka absorpsiyon ve reaksiyonu

EDX : Enerji Dağılımlı X-Ray

Na_2SeO_3 : Sodyum selenit

AgCl : Gümüş klorür

H_2SeO_3 : Selenous asit

EDTA : Etilendiamin tetra asetik asit

N_2H_4 : Hidrazin

ITO : İndiyum kalay oksit

DI : Deiyonize

KCl : Potasyum klorür

HCl : Hidroklorik asit

$Pb(NO_3)_2$: Kurşun (II) nitrat

m : Kütle

M : Mol

V : Hacim

M_A : Molekül ağırlığı

$Na_2S_2O_3$: Sodyum tiyo sülfat

$CdCl_2$: Kadmiyum klorür

rpm : Dakikadaki devir sayısı

H_2SO_4 : Sülfirik asit

HNO_3 : Nitrik asit

$HClO_4$: Perklorik asit

TC : Yapılanma katsayısı

hkl : Düzleme ait indisler

I/I_0 : Işık şiddetleri arasındaki oran (geçirgenlik)

cs : Kristalit boyutu

θ_c : Pik merkezinin konumu

β : Maksimum tepe yüksekliğinin yarısındaki tam genişliği (FWHM)

δ : Dislokasyon yoğunluğu

a : Örgü parametresi düzeltilmiş değeri

a_0 : Örgü parametresi

d : Krisal örgüdeki düzlemsel boşlu

ε : Mikro gerginlik

S : Ortalama gerilme

Y : Poisson oranı

σ : Young modülü

$\text{\AA}$: Armstrong (ışığın dalga boyunu ölçen uzunluk birimi)

Ag : Gümüş

Hg : Civa

Sn : Kalay

Sb : Antimon

As : Arsenik

$SOFC$: Katı oksit yakıt hücreleri

$UV\ VIS\ NIR$: Ultraviyole-görünür ışık-yakın kızılötesi

XRD : X-ışını kırınımı

EDS : Enerji dağılım spektrometre

λ : Işık dalga boyu

CuInSe₂ : Bakır indiyum diselenid

eV : Elektron volt

Cu₂O : Bakır (I) oksit

TiO₂ : Titanyum dioksit

GaAs : Galyum Arsenit

a-Si : Amorf silisyum

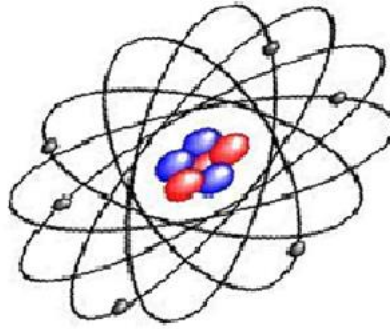


1. GİRİŞ

1.1. Yarı İletkenler

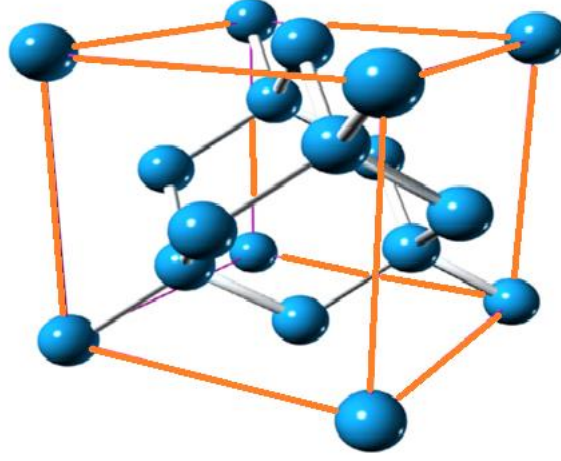
Bir atomun en dış yörüngesindeki elektron sayısına bakıp iletkenlik durumu hakkında yorum yapılabilir. Bu bilgi sonucunda bir elementin dış yörüngesindeki elektron sayısı az ise (1, 2, 3) bu elementin dış yörüngesindeki elektronlar; atomun çekirdeği tarafından zayıf bir kuvvet ile çekileceğinden ve çok kolay bir şekilde serbest hale geçeceğinden elektronlar hareket etmeye başlayacaktır. Elektronların hareketi sonucunda ise iletkenlik durumu oluşacaktır. Sonuç olarak bir elementin atomunun son yörüngesindeki elektronlar az sayıda ise bu tür elementler iletkendir. (Sakarya üniversitesi, 2020: 9)

Atom yapısı olarak en dış yörüngelerinde (5, 6, 7, 8) elektron bulunduran elementler literatürde yalıtkan madde olarak bilinir. Yalıtkan maddeler elektriği ya az iletirler ya da çok az iletirler. Yalıtkan maddelerde atomlar arası boşlukta serbest halde elektron bulunmaz. Elektronlar çekirdekdeki proton etkisiyle sıkı sıkıya çekirdeğe bağlıdırlar. Aslında doğada hiçbir madde tamamen yalıtkan değildir. Her maddenin iletken hale geçeceği bir voltaj değeri vardır. Son yörüngesinin üzerinde 4 elektron bulunduran malzemelere yarıiletken malzeme adı verilir. İletkenlik bakımından yalıtkan ve iletken maddeler arasında yer alır (Harran üniversitesi, 2020: 51). Şekil 1.1 de serbest elektronların durumu verilmiştir. Şekil 1.2 de silisyum ve germanyum kristal yapısı verilmiştir.



Şekil 1.1. Serbest Elektronların İletken İçindeki Hareketi

Kaynak: Modern fizik (2021)



Şekil 1.2. Yarı İletkenlerin Kristal Yapısı

Kaynak: Fujii, K. (2016): 20

Yarıiletken malzemelerin bazı özellikleri şunlardır :

- Yarıiletken malzemelerin iletkenlik derecesi yalıtkan ve iletken malzemelerin iletkenlik derecesi arasında yer alır.
- Dışarıdan herhangi bir dış etki gösterilmeksizin yalıtkanlıklarını korurlar.
- termik, ışık, manyetik etki veya gerilim gibi dış etkilere maruz kaldıklarında iletken hale geçerler.
- Valans elektronlarının serbest hale geçmesi için dış etkinin varlığına ihtiyaç duyulur. Dış etki ortadan kalkınca tekrar eski haline dönerler.
- Tabiatta element halinde bulunduğu gibi laboratuvar koşullarında bileşikte elde edilebilir.
- Yarı iletkenler kristal yapıya sahiptirler. Bu yapı mono kristal veya poli kristal yapıda olabilir.
- Yarı iletkenler çeşitli iletkenlerin katkılanmasıyla elektronik devrelerde kullanılır. Bununla ilgili detey aşağıdaki şekilde verilmiştir. (Numanoğlu, 2020: 6).

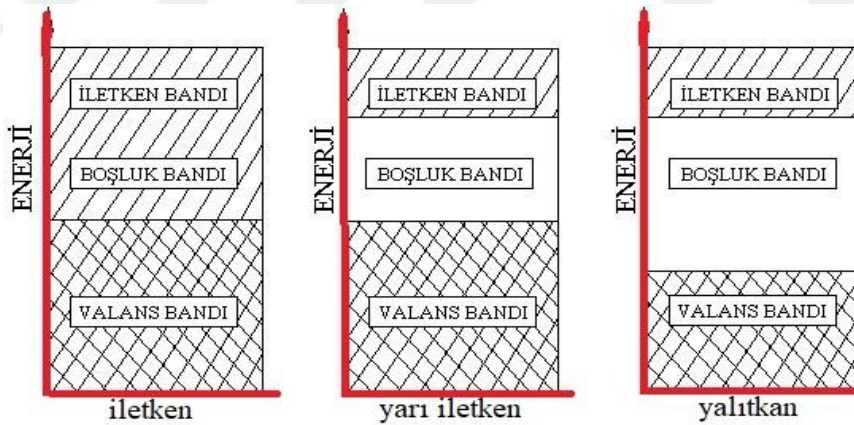
Bazı yarı iletkenlerin elektronik devre elemanlarında kullanımı Tablo1.1 verilmiştir.

Tablo 1.1. Yarı İletkenlerin Kullanımı

ADI	KULLANIM YERİ
Germanyum (Ge) element	Diyot, Transistör, Entegre, Devre
Silisyum (Si) element	Diyot, Transistör, Entegre, Devre
Selenyum (Se) element	Diyot
Bakır Oksit (CuO) bileşik	Diyot
Galyum Arsenid (GaAs) bileşik	Tünel diyot, Laser, Foto diyot, LED
İndiyum Fosfor (InP) bileşik	Diyot, Transistör
Kurşun Sülfür (PbS) bileşik	Güneş pili, Fotosel

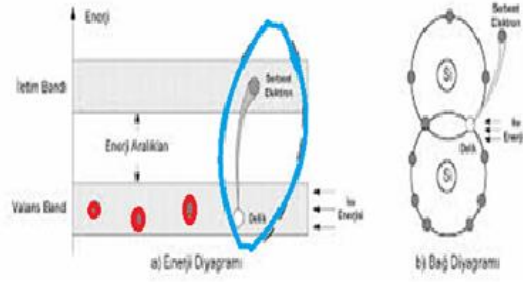
Kaynak: Numanoglu. (2020): 7

Maddelerin iletkenlik durumları bant enerjileri ile açıklanabilir. Şekil 1.3. te bant enerjileri durumu verilmiştir. İletkenlerin valans bandı enerji seviyesi ile iletkenlik bandı enerji seviyesi yan yanadır. Bu sebepten ötürü uygulanan düşük bir enerjiyle, birçok valans elektronu serbest hale geçebilir. Yarı iletken malzemelerin valans bandı ile iletkenlik bandı arasında bir miktar boşluk bandı bulunmaktadır ve yarı iletken bir malzemeyi, iletken duruma dönüştürebilmek için valans elektronlarına, hole bandının sahip olduğu kadar fazla enerji vermek gerekmektedir. Yalıtkan malzemelerde ise oldukça geniş aralıklı boşluk bandı bulunmaktadır. Bu sebeple, elektronları, valans bandından iletkenlik bandına atlatabilmek için çok büyük bir enerji uygulanması gereklidir (Kittel 1995: 185).

**Şekil 1.3.** Bant Enerji Grafiği

Kaynak: Kimyasımya (2020)

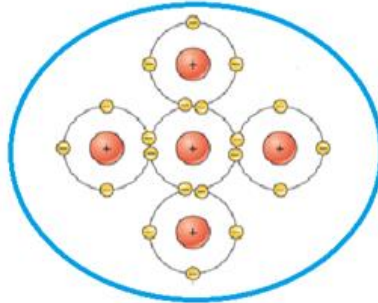
Yarı iletkenlerin elektriği iletme durumu iletken maddelerden daha farklıdır. İletkenlerde elektrik akımı elektronlar sayesinde olur. Yarı iletkenlerde ise elektrik akımı elektronlar ve boşluklar (hole) sayesinde olur. Elektronlar iletim bandında yer alırken holeler ise valans bandında yer alır. Yarı iletkenlerde ısı, ışık, manyetik etki, yüksek gerilim gibi etkenlerle elektron ve boşlukların yoğunluğu artmaktadır. (Feynman, 1963: 11). Şekil 1.4 de silisyum elementinin ısı etkisiyle iletkenlik durumuna geçişi verilmektedir.



Şekil 1.4. Silisyum Elementinin Isı Etkisiyle İletken Duruma geçişi

Kaynak: Koçyiğit, Y (2020).

Maddelerin içinde bulunan atomların elektronları dizilirken kimyasal olarak kovalent yapı ile birbirlerine bağlanırlar. Bu durumun oluşması için yarı iletken materyallerin son yörüngelerinde bulunan elektronların karşılıklı olarak ortaklaşması gerekir. Bir başka deyişle silisyumun (ya da germanyumun) dört elektronu karşıdaki silisyum atomlarının elektronlarını ortaklaşa olarak kullanır. Ortak olarak kullanılan elektronlar hem kendi etrafında hem de komşu atomun etrafında döner. Oluşan bu bağ yapısına "kovalent bağ" denilir. (Yıldız üniversitesi, 2020: 55). Şekil 1.5. te kovalent bağlı 4 değerlik elektronuna sahip bir elementin oluşturduğu kovalent bağ yapısı gösterilmektedir.



Şekil 1.5. Kovalent Bağ Yapısı

Kaynak: Malzeme bilimi (2020)

1.1.1. Katkısız Yarı İletkenler

Has yarı iletkenler, elektron bant yapısıyla tanımlanır. 0 K'de tamamen dolu olan valans bandı, nispeten dar ve 2 eV' tan daha az enerjiye sahip bir yasak bant aralığı ile tamamen boş olan iletim bandından ayrılmıştır. Yarı iletken olan silisyum (Si) ve germanyum (Ge) elementlerinin yasak bant enerji aralığı yaklaşık 1,1 ve 0,7 eV değerlerine sahiptir.

Bu elementlerin her ikisi periyodik tablonun IVA grubunda bulunur ve kovalent bağ yapısına sahiptir. İlave olarak, bileşik yarı iletken malzemelerin ana metali de has yarı iletken

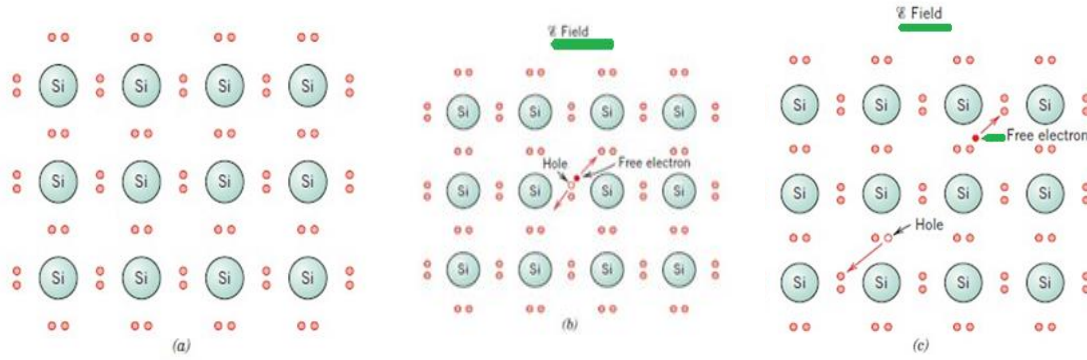
özellik gösterir. Bu tür yarı iletken bileşikler IIIA ve VA gurubu arasında oluşmaktadır. Grup IIB ve VIA elementlerinin oluşturduğu bileşiklerde yarıiletken malzemelerin özelliklerin sahiptir. Böylece atomsal bağ daha fazla iyonik özellik kazanır ve yasak bant aralığı enerjisinin büyüklüğü artarak, malzeme yalıtkan olma eğilimine girer. Bazı yarı iletken bileşikler için yasak bant aralıklarına ait enerji değerleri Tablo 1.2’de verilmiştir. (Atatürk Üniversitesi, 2020: 34).

Tablo 1.2. Bazı Yarı İletkenlerin Yasak Bant Aralığına Ait Değerleri

Malzeme	Bant aralığı (eV)	iletkenlik ($Q. m^{-1}$)	Elektron hareketliliği ($m^2/v. s$)	Boşluk hareketliliği ($m^2/v. s$)
Si	1.11	4×10^{-4}	0.14	0.05
Ge	0.67	2.2	0.38	0.18
GaP	2.25	-	0.03	0.015
GaAs	1.42	10^{-6}	0.85	0.04
InSb	0.17	2×10^4	7.70	0.07
CdS	2.40	-	0.03	-
ZnTe	2.26	-	0.03	0.01

Kaynak: Atatürk Üniversitesi (2020)

Has yarı iletkenlerde, iletim bandına uyarılan her bir elektrona karşılık kovalent bağlardan birisi kopar ve geride bir boşluk bırakır, valans bandında bir boş elektron konumu oluşur. Elektrik alan etkisi altındaki kristal kafeste, bağın kopması sonucu oluşan elektron boşluğu, hareket eden diğer valans elektronlarınca aralıksız olarak doldurulduğu düşünülebilir. Bu işlem, valans bandından elektron kaybı ile hızlanır ve pozitif yüklü boşlukların oluşmasıyla sonuçlanır. Bir boşluğun, bir elektron ile aynı yükte, ancak zıt işaretli olduğu düşünülür. Böylece, elektrik alanının etkisiyle uyarılan elektron ve boşluklar birbirlerine zıt yönde hareket eder. Yarı iletkendeki kafes kusurları, hem elektronların hem de boşlukların saçılmalarına yol açar. (Atatürk Üniversitesi, 2021: 35). Şekil 1.6’da boşluk ve serbest elektronların hareketleri verilmiştir.



Şekil 1.6. Silisyumda Elektrik İletkenliğine Ait Elektron Bağlanma Modeli (a) uyarılma öncesi, (b) ve (c) uyarılma sonrası

Kaynak: Atatürk Üniversitesi (2020)

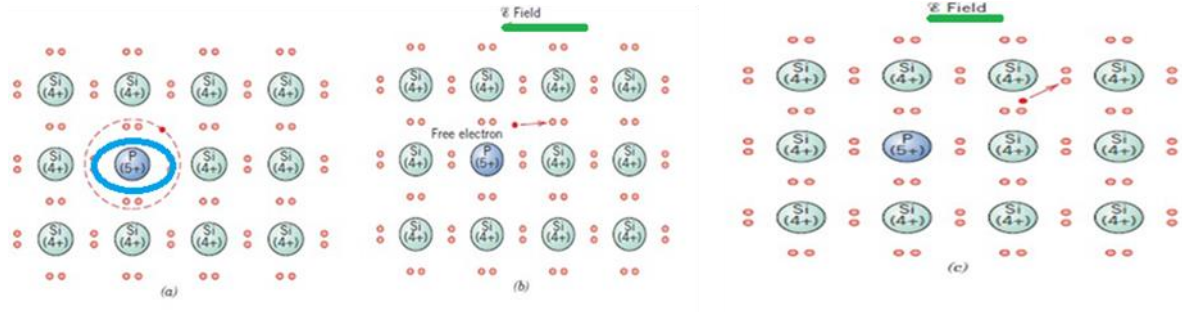
1.1.2. Katkılı Yarı İletkenler

Yarı iletken malzemeler hakkında ne bir iletkenlik durumunda bahsedebiliriz ne de yalıtkan olarak isimlendirebiliriz. Çünkü valans bandında bulunan holelerin ve ilettim bandındaki serbest elektronların sayısı sınırlıdır. Katkısız yarıiletkenlerin serbest elektron sayısı veya hole sayısı artırılarak iletkenlik seviyesi değiştirilebilir. İletkenlik seviyesi değiştirilebilen bazı yarıiletkenler, elektronik devre malzemelerinin imalatında kullanılır. Örneğin, Germanyum veya silisyumun iletkenlik derecesi ancak katkısız yarıiletken katkılı malzemesi eklenmesi (doping) ile sağlanır. Doping olayında saf yarı iletken çok küçük oranlarda başka elementlerin ilavesi yapılır. Bu olay sonucunda ortamdaki akım taşıyıcıları olan hole ve elektronların oranı artar. Katkılı malzemesi katkılanarak elde edilen iki tane yarı iletken malzeme vardır. Bu oluşan malzemelere n-tipi yarı iletken malzeme ve p-tipi malzeme denir (Tripod, 2020: 1).

1.1.2.1. N-tipi Yarı İletkenler

Son yörüngesinde 4 elektron bulunduran silisyum ya da germanyumun içine (yaklaşık olarak 100 milyonda 1 oranında), son yörüngesinde 5 elektron bulunduran arsenik (ya da fosfor, antimuan) elementi eklenirse, arseniğin 4 elektronu komşu elektronlarla kovalent bağ oluşturur. Serbest hale geçen beşinci arsenik elektronu, kristal yapıdaki malzeme içinde serbest halde dolaşır. Elektron yönünden zengin olan bu yapıya N tipi yarı iletken denir. N tipi yarı iletken haline gelmiş olan maddenin serbest hale geçmiş elektronları çok olduğu için, bunlara

“çoğunluk taşıyıcılar” denir. N-tipi malzemede holeler azınlık taşıyıcıları olarak adlandırılır. N tipi yarı iletkenin oluşumunda kullanılan malzemeler elektron artışına sebep olduklarından, bunlara verici (donör) adı verilir (Sakarya üniversitesi, 2020: 12). Şekil 1.7 de fosfor (P) Katkılı N- tipi yarı iletken modeli (elektronun bağlanması) verilmiştir.

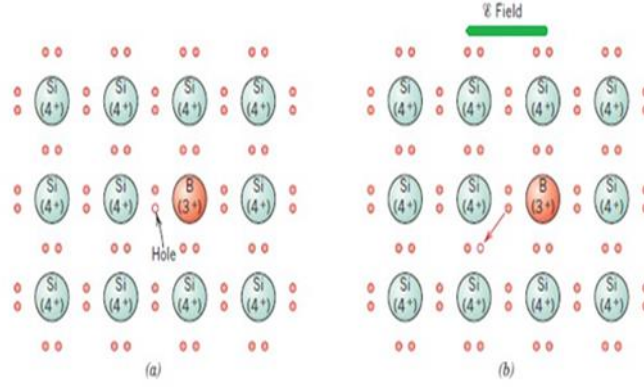


Şekil 1.7. Fosfor Katkılı N-Tipi Yarı İletken Modeli (a) Bir empürite atomu, örneğin beş değerlikli fosforun, bir Si atomunun yerini alması. Sağlanan ilave elektronun, bu empürite atomuna ve onun orbitaline bağlanması. (b) Serbest elektron oluşturmak için ilave elektronun ayrılması. (c) Uygulanan elektrik alanı etkisiyle serbest elektronun hareket etmesi

Kaynak: Atatürk Üniversitesi (2020)

1.1.2.2. P-tipi Yarı iletkenler

Silisyum veya germanyumun son yörüngesinde 4 elektronu bulunur. Bunların üzerine (yaklaşık 100 milyonda 1 oranında) son yörüngesinde üç elektron bulunan indiyum galyum ya da bor, alüminyum gibi elementler eklenirse, indiyum atomunun dış yörüngesindeki üç elektronu komşu atomun elektronlarıyla kovalent bağ yapar. Silisyum ya da germanyumun dış yörüngesindeki elektronlarından birisi ise boşta kalır ve bağ yapacak indiyum elektronu bulamaz ve dışarıdan elektron koparmak ister. Elektron ihtiyacı olan yere ise bir “oyuk (hole, delik, boşluk)” denilir ve boşluklar pozitif yüklü olarak kabul edilir. Boşluk sayısı fazla olan böyle yapılara P tipi yarıiletken malzeme denilir. P tipi yarıiletken elde edilirken kullanılan maddeler (indiyum, galyum, bor) elektronların sayısının düşmesine sebep olduklarından, bunlara alıcı (akseptor) adı verilir. P-tipi yarıiletken malzemede çoğunluk akım taşıyıcıları holelerdir. Elektronlar bu malzeme yapısında ise azınlık akım taşıyıcılarıdır. (Sakarya üniversitesi, 2020: 13). Şekil 1.8 da bor katkılı P-tipi yarı iletken malzeme (elektron bağlanması) verilmiştir.



Şekil 1.8. Bor Katkılı P-Tipi Yarı İletken Modeli (a) Empürite atomu olan, 3 değerliğe sahip bir bor atomunun yerini alması. Bunun sonucu silisyumun bir valans elektronunu kaybetmesi veya empürite atomuyla ilişkili bir boşluk oluşumu. (b) Elektrik alanı etkisinde boşluk hareketi

Kaynak: Atatürk Üniversitesi (2020)

1.2. Yarı İletken İnce Filmler

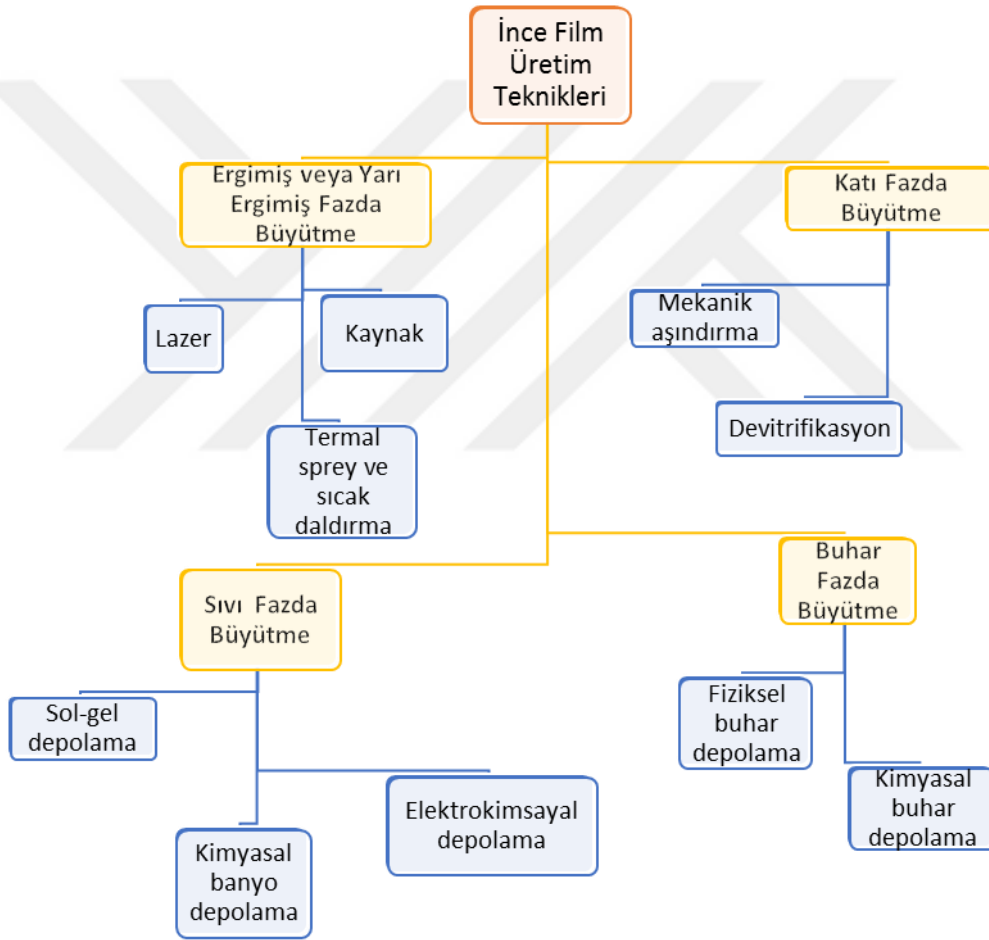
İnce film, kalınlığı birkaç nanometreden birkaç mikrometreye kadar olabilen tek katmanlı bir materyal tabakasıdır. Günümüzde ince filmler, yarı iletken bileşimlerin yapımında, güneş hücreleri, gaz sensörleri optik kaplamalarda ve manyetik kayıt ve algılama sistemlerinde tercih edilmektedir. İnce filmler, nano teknoloji ve nano bilim gelişiminde önemli bir rolü vardır. Örneğin, güneş enerjisinin radyasyonunu yararlı hale getiren, küresel açıdan kriz oluşturabilecek elektrik enerjisine; dönüştürebilirler. İnce filmlerin bazı önemli görevleri bulunmaktadır (Erdem, 2016: 9).

- Klasik laboratuvar koşullarında oluşturulamayacak seviyedeki çok küçük geometrilerin üç boyutta eldesi mümkündür.
- Atomik büyütme işlemlerinden kaynaklı filme özgü malzeme özellikleri görülebilir.
- Kalınlık, kristal yönlenmesi ve çok katlı yapılardan kaynaklan kuantum boyut etkileri ve diğer boyut etkilerini görmek mümkündür.
- Camın çeliğin plastiğin veya elastik gibi yüzey yapısı esnek olan malzemeler üzerine uygulanabilir
- Üretimleri tümüyle entegreli yapıdadır. Bundan dolayı yerli olarak üretimi sağlanabilir (Uslu, 1995: 51).

1.3. İnce Film Üretim Teknikleri

İnce filmlerin yapısı üretim koşullarına ve materyalin yapısına bağlı olarak amorf ve polikristal yapıda olabilir. İnce filmler iki kısımdan oluşur: katman ve filmlerin üzerine yerleştirildiği alt tabaka. Ayrıca ince filmlerin yapısı; ince film güneş pilleri, elektrokromik hücreler vb. gibi farklı tabakalardan oluşabilir. (Sönmezoğlu vd., 2012: 390)

Şekil 1.9 'da ince film üretim tekniklerine ait olan şema verilmiştir. İnce film üretim tekniklerini 4 ana başlıkta toplayabiliriz. Bu başlıklar Katı fazda büyütme, sıvı fazda büyütme, ergimiş veya yarı ergimiş fazda büyütme ve buhar fazda büyütme olarak gruplandırılabilir.



Şekil 1.9. İnce Film Üretim Teknikleri

Kaplamaya veya taban malzemeye herhangi bir sınırlama getirmeksizin yüksek kalitede kaplamalar elde etmeyi sağlayan buhar fazında yapılan kaplama teknikleri;

1- Fiziksel buhar biriktirme (Physical Vapour Deposition - PVD)

2- Kimyasal buhar biriktirme (Chemical Vapour Deposition - CVD)

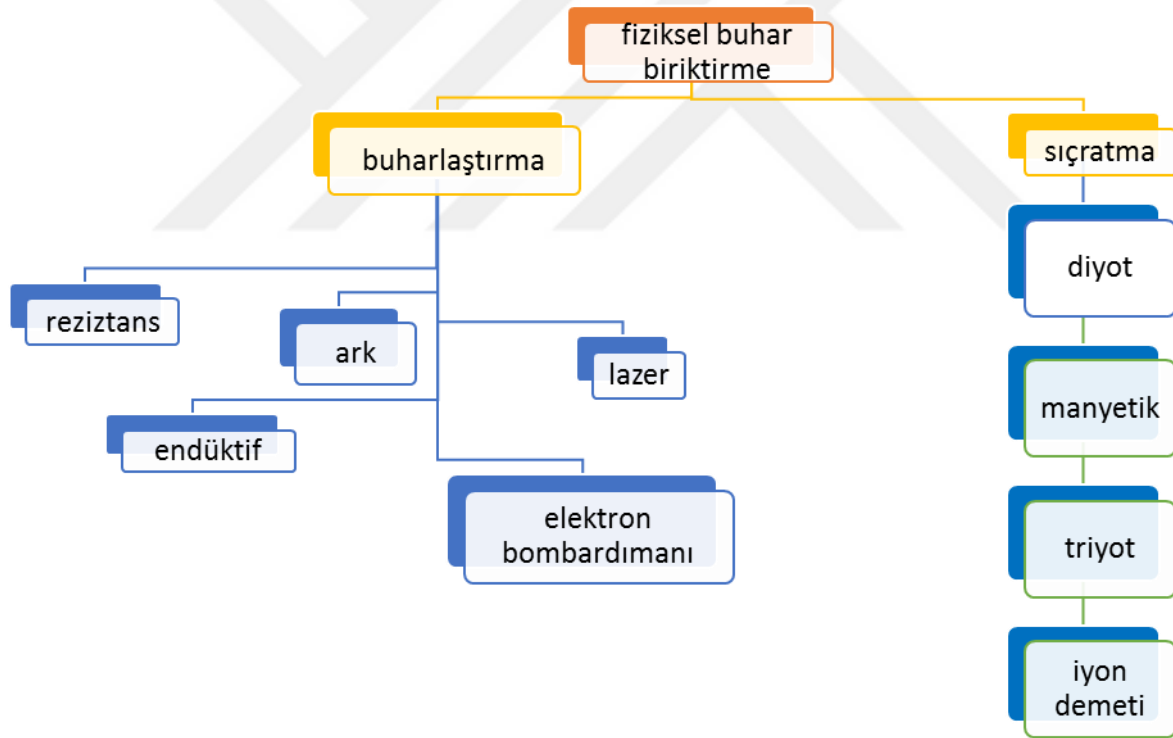
olmak üzere ikiye ayrılır.

PVD tekniğinde;

i) Eldeki kaplayıcı madde ısıtıcı vasıtasıyla ısıtılıp buharlaştırılarak havası alınmış vakumlu bir ortamda kaplanacak madde üzerinde ince bir film tabakası olarak biriktirilebilir.

ii) Yüksek enerji vasıtasıyla iyonlaştırılan ve reaktif gazlarla elde edilen plazma haline getirilip kontrollü olarak kaplama yapılacak malzemenin üzerine eklenmesi (Sönmezoğlu ve diğerleri, 2012: 390)

iii) Hedef malzeme yüzeyinin, genellikle plazma veya iyon tabancası aracılığı ile hızlandırılmış atomik boyuttaki yüksek enerjili gaz iyonlarıyla bombardıman edilmesi esasına dayanır. Böylelikle atomların yüzeyden saçılması ve hedef malzeme yüzeyinden koparılan atomların buhar fazına geçerek altlık malzeme üzerine biriktirilmesi sağlanmaktadır (Erdem, 2016: 10). PVD üretim tekniklerine ait şema Şekil 1.10 da verilmiştir.



Şekil 1.10. PVD Üretim Teknikleri

PVD yöntemi buharlaştırma ve sıçratma olarak 2 grupta incelenebilmektedir. Buharlaştırma tekniğinde ince bir film halinde kaplama yapmak istediğimiz malzeme öncelikle buharlaşması için gereken sıcaklığa kadar ısıtılır. Daha sonra ısıtılarak buharlaştırılan malzemenin alt taşlar üstüne eklenerek yoğunlaştırma mekanizması gerçekleşir (Erdem, 2016: 10).

Sıçratma yöntemi, hedef malzeme yüzeyinin, genellikle plazma veya iyon tabancası aracılığı ile hızlandırılmış atomik boyuttaki yüksek enerjili gaz iyonlarıyla bombardıman edilerek, atomların yüzeyden sıçratılması ve hedef malzeme yüzeyinden koparılan atomların buhar fazına geçerek altlık malzemesi üzerine biriktirilmesi esasına dayanır. Bugün sıçratma yaygın olarak yüzey temizlemede, yüzey aşındırmada, ince film biriktirmede ve yüzey analizinde kullanılmaktadır. (Sönmezoğlu ve diğerleri, 2012:393).

Kimyasal buhar biriktirme (CVD kapalı kap içerisinde bulunan saçırma hedefinin bir taşıyıcı gaz vasıtasıyla kimyasal reaksiyonu sonucu elde edilen katı bir malzeme ile kaplanması tekniğidir (İ.Uslu ve Zümrüt Varol, 2014: 5).

Sıvı fazda büyütme tekniği 3 farklı şekilde incelenebilir. Sol-gel tekniği, kimyasal depolama tekniği ve elektrokimyasal depolama yöntemidir.

Sol jel yöntemi seramik imalatında kullanılan kimyasal bir süreçtir. Sol jel yöntemi sıvı içerisinde etrafa yayılmış nano ebatlı katı parçacıkların (sol) aglomerasyonu sonrasında karışım içerisinde üç ebatlı ve sürekli bir ağ şekli oluşturması (jel) süreciyle tanımlanır (Temel, 2018: 2). Sol yapısının bileşimi sürekli faz sıvı halde, yayılmış faz ise katı halden oluşan yapıdır. Sıvı faz içerisinde disperse olmuş çok küçük boyutlu katı partiküller şayet anında çökmüyorsa, yapıya sol denilir. Sol içerisinde disperse olmuş katı hali santrifüj gibi dış etkenlerle homojen bir şekilde ayrıştırmak mümkündür. Jel, içerisinde katı ağ yapısını oluşturan çok küçük parçacıkların üç ebatlı olarak yerleştiği katıya benzer ve ıslak yapılıdır. Jel içerisindeki sürekli hal; nano parçacıkların oluşturduğu katı ağ yapısı, disperse olmuş faz ise sıvı halledir. Jeller hem katı hem de sıvı haller gösterirler. (Temel, 2018: 3)

Kimyasal banyo yöntemi, kimyasal maddelerin uygun stökiyometriye sahip sulu çözeltisi ile hazırlanan kimyasal maddeleri kullanarak nominal sıcaklıkta nominal altlıklar üzerinde film büyütme tekniği olarak bilinir. Kimyasal banyo yöntemindeki altlık, hazırlanan kimyasal banyo içine daldırılır. Kimyasal banyo yönteminde film oluşumu esnasında çözeltinin pH'ı ve sıcaklığı sabit tutulmalıdır. Diğer yandan bazı filmler için çözeltinin karıştırma hızı da film oluşumun hızına etki etmektedir. Kimyasal banyo tekniği bazı sülfütlü ve selenitli filmlerin üretilmesinde verimli olmuştur (Temel, 2018: 35).

Katı fazda büyütme tekniğinin 2 farklı uygulamasını mekanik aşındırma ve devitrifikasyon teknikleridir (Temel, 2018: 3).

Mekanik aşındırma, plastik malzemelerin yapısal bozukluğunun sonucu olarak büyük tanelerin yapısal dekompozisyonu ile nano yapılı materyalleri imal etmede kullanılır. Mekanik

aşındırma, yüksek enerjili odalarda toz parçacıkların tekrar birleşme, parçalanma ve ayrılma işlemlerini içeren tekniktir. Bu işlemlerde katkısız metallerde, intermetalik ve alaşım (metal-metal) yapılarında nanokristalli ince film malzemeler imal edilir (Temel, 2018; 4).

Devitrifikasyon, ardışık kristalografik düzenlenmeyle amorf (camsı) katıların kristal haline dönüşümüdür (Bilsen beşergil blog, 2021: 1). Yüksek hızda katılaştırma tekniği olarak da isimlendirilir. Bu teknik amorf alaşımların kontrollü bir şekilde kristalize edilerek (çekirdeklenme oranını artırılıp ve büyüme oranı azaltılarak) nano yapılı materyallerin birleştirilmesinde kullanılır.

Ergimiş ya da yarı ergimiş fazda büyütme tekniğini 3 grupta inceleyebilir. Lazer yöntemi, kaynak yöntemi, termal sprey ve sıcak daldırma yöntemi. Termal sprey tekniğinde Kaplama yapılacak madde (toz/tel) bir enerji kaynağı aracılığıyla ısıtılır ve eriyik/yarı eriyik faza çevrilir ve sonrasında ısıtılan parçacıkların gaz veya atomizasyon jetiyle hızı artırılır. (Davis,2004: 56).

Lazer biriktirme tekniğinde vakum girdabı içerisindeki numuneye yüksek frekanslı lazer ışması çarptırılır. Lazer ışması, hedefteki numunenin buharlaşıp, substrat üzerinde kaplama oluşmasına sebep olur. Lazer biriktirme yüksek basınçlı havası alınmış ortamlarda veya bir gazın bulunduğu ortamlarda yapılabilir. Lazer ışın demeti, numuneye ulaştığında, ışık enerjisi numune tarafından absorblanarak ısı enerjisiye çevrilir. Bunun sonucunda buharlaşma meydana gelir ve plazma yapı meydana gelir. (Chrissey ve Hubler, 1994: 5).

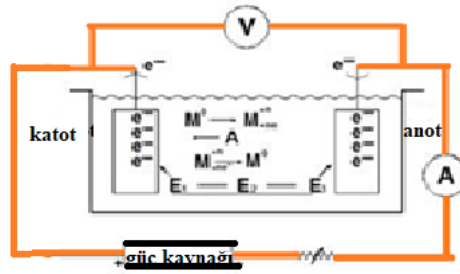
1.4. Elektrokimyasal Depolama (Elektro Depozisyon) Tekniği

Metallerin oksitlerinin ya da metallerin elektrodpozisyonu elektrokimya alanının en eski dallarından birisidir. Bu dal ile ilgili ilk araştırmalar akım kaynağı olarak galvanik sistemlerin denendiği 19. yüzyılın ilk zamanlarına dayanmaktadır (Kıyak Yıldırım, 2015: 15). Son zamanlarda ise, elektrokimyasal sistemli aletler ve süper kapasitörler gibi alanlarda sürdürülen çalışmalarda dikkat çekici bir gelişme artışı sağlanmıştır (Kıyak Yıldırım, 2015: 16).

Elektrodpozisyon yöntemi benzeri olmayan ilkeleri ve oksit elektrotlarının karakteristik ve morfolojik denetiminin esnek yapısında ötürü çok fazla ilgi görmektedir (Garcia ve diğerleri. 2013). Elektrodpozisyon tekniğinin şematik gösterimi Şekil 1.11 de verilmiştir. Oksit elektrodpozisyonunun en çağdaş uygulamalarından biri güneş pilleridir. Çevre duyarlılığı olan az maliyetli güneş pilleri ile beraber daha ucuz yarıiletken malzemelerin arge çalışmaları yeşil ve temiz enerji sektörünün gelişimi için yadsınmayacak şekilde önem arz etmektedir. (Garcia ve diğerleri, 2013: 2). Cu_2O , TiO_2 , ZnO gibi pek çok oksit bileşiğin

elektrodepozitesi, elektrodepozisyon tekniğinin yüksek verimi ve az maliyetinden dolayı çok değerli bir araştırma tekniğidir. Bunun dışında, dikkatleri üstüne toplayan iki yeni alan katı oksit yakıt hücreleri (SOFC) ve metallerin yeniden kullanıma kazandırılması ile ilgili elektrodepozisyon çalışmalarıdır. SOFC konusunda, elektrodepozisyon tekniği elektriksel ara bağlantılar üstüne koruyucu kaplama oluşturmak nedeniyle üretilmektedir. Diğer bir taraftan, metallerin yeniden kullanımının sağlanması, elektrodepozisyon ile çalışmaların yapılması daha maliyetli ve kolay bir tekniktir. (Garcia ve diğerleri 2013: 2).

Katot elektrolit birikiminde; biriktirilecek madde (metal) bir çözelti içinde bulunur veya iyonlar şeklinde erir. Çözeltiye iki elektrot yerleştirirsek (veya eritirsek), metalin pozitif iyonları metalin biriktirileceği katoda çekilecektir. Yatırılan maddenin kütlesi kullanılan elektrik miktarıyla orantılıdır. Orantı sabiti, verilen maddenin elektrokimyasal eşdeğeridir. Örneğin; $2,04 \cdot 10^{-3}$ g/C for Au and $0,09 \cdot 10^{-3}$ g/C for Al biriktirilen filmlerin özellikleri, örneğin alt tabakaya yapışması, kristal yapısı (mikro kristalin boyutu), vb. elektrolitin bileşiminden etkilenebilir. Bu yöntemle, filmleri yalnızca metalik substratlar üzerine bırakmak mümkündür ve filmler, elektrolit içindeki maddelerle kirlenebilir. (Ludmila, 1977: 15)



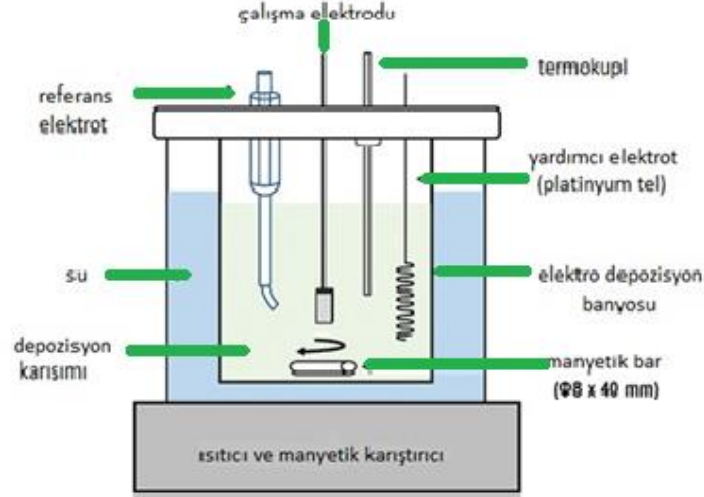
Şekil 1.11. Elektro Depozisyonun Basit Şematik Gösterimi

Kaynak: Kıyak Yıldırım. (1994): 17

Anot oksitleme (anot elektrolitik biriktirme); esas olarak Al, Ta, Nb, Ti ve Tr dahil olmak üzere belirli metallerin oksitlerinin filmlerinin oluşumunda kullanılır. Oksitlenmiş metal, oksijen iyonlarını çektiği elektrolite daldırılmış bir anottur. İyonlar, güçlü bir elektrik alanı tarafından zorlanan difüzyon ile oluşturulmuş oksit filminden geçer ve oksit moleküllerini oluşturmak için metalik atomlarla birleşir. Çünkü filmin büyüme hızı üstel olarak elektrik alanın yoğunluğuna bağlıdır. Bu şekilde oluşturulan film, rastgele dalgalanmaların derhal düzelmesi nedeniyle homojendir. Anot oksidasyonu için sabit akım veya sabit voltaj yöntemini kullanmak mümkündür. Çeşitli tuzların çözeltileri veya eriyikleri veya bazı durumlarda asitler elektrolit olarak kullanılır. Bazı elektrolitler, oluşan oksidi kolaylıkla çözer, böylece ortaya

çıkan film gözeneklidir ve oksidasyon gözeneklerden geçer. Filmin kalınlığı daha sonra oksidasyon ve oksitleme akımı ile orantılıdır (Ludmila, 1977: 15).

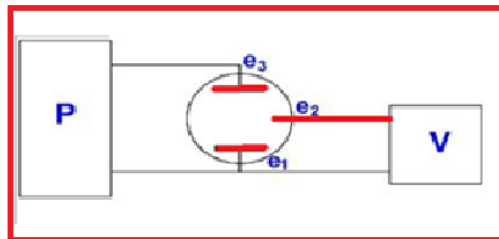
Elektrokimyasal depolama cihazının gösterimi Şekil 1.12 de verilmiştir.



Şekil 1.12. Elektro Kimyasal Depolama Cihazı

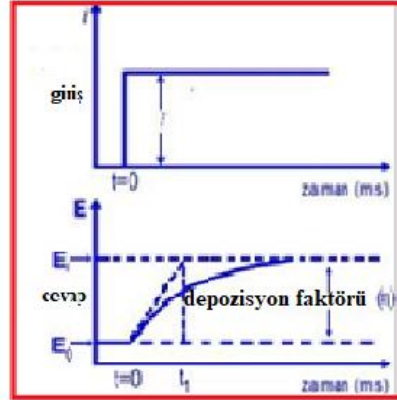
Kaynak: Jeon, S.-H. (2016): 3

Elektrodepozisyon galvanostatik ve potansiyostatik diye iki başlık altında incelenebilir. Galvanostatik adlı yöntemde, çalışma elektrotu ile karşıt elektrot arasındaki akım değeri, Şekil 1.14'te gösterilen galvanostat isimli alet ile ayarlanıp belli bir değerde sabitlenir. Çalışma elektrotu ile karşıt elektrot arasındaki voltaj zamanın bir bileşeni olarak kabul edilir. Akım değerinin sabit tutulduğu bu çalışmada gerilimin süreye olarak ne şekilde değiştiği Şekil 1.13'te verilmiştir. E_i 'ye ulaşmak için gerekli olan kesin zamanın t_1 olduğu Şekil 1.14'te görülmektedir (Kıyak Yıldırım, 2015: 24)



Şekil 1.13. Galvanostatik Elektro Depozisyonda Kullanılan Cihazın Şematik Diyagramı; P, sabit akımlı güç kaynağı, e1, çalışma elektrotu; e2, referans elektrot ve e3, karşıt elektrotu

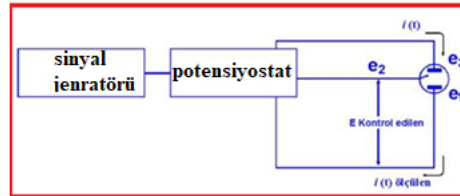
Kaynak: Yıldırım, K. (2015): 24



Şekil 1.14. Galvanostatik Elektrodpozisyon Süresince Çalışma Elektrotunun Potansiyelinin Değişimi; E_0 , denge potansiyeli; E_1 , sabit akım yoğunluğunda elektrodpozisyonla başlayan çalışma elektrotunun potansiyeli

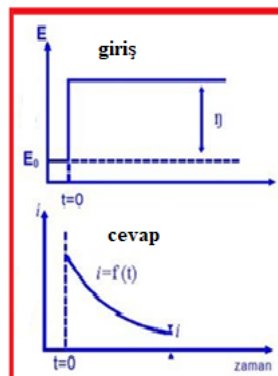
Kaynak: Yıldırım, K. (2015): 25

Potansiyostatik adlı yöntemde, çalışma elektrotu ve karşıt elektrot arasında voltaj farkı ayarlanır. Voltaj farkı altında, zamanın bir bileşeni olarak akım değerinin nasıl değiştiği gözlemlenir. Çalışma elektrotu ve karşıt elektrot arasındaki voltaj farkı Şekil 1.15'te gösterilen potansiyostat aleti aracılığıyla tespit edilir. Sabit potansiyel altında sabit voltaj değerine karşı akımın nasıl değiştiğini belirten grafik Şekil 1.16'da verilmiştir. (Kıyak Yıldırım, 2015: 25)



Şekil 1.15. Potansiyostatik Elektrodpozisyonunda Kullanılan Cihazın Şematik Diyagramı; E, kontrol edilen potansiyel, e_1 , çalışma elektrotu; e_2 , referans elektrot ve e_3 , karşıt elektrot

Kaynak: Yıldırım, K. (2015): 27



1.5. Güneş Pilleri

Fotovoltaik güneş pilleri yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en çok ilerleyen bir teknolojidir ve uygulama alanı çok geniş yelpazeye hitap eden bir teknolojidir. Sınırsız enerji kaynağı olduğundan ve ulaşması basit olduğundan dolayı da gelecekte daha fazla kullanılacaklardır. Direkt olarak güneş enerjisinin kullanılıp elektrik enerjisine dönüştürüldüğü sistemler “fotovoltaik pil” sistemleridir.

Güneş pilleri günümüzde ulaşım araçlarında, çatı sistemlerinde, aydınlatma sistemlerinde, kurutmada, toprak dezenfeksiyonunda, uydu ve uzay araştırmalarında, sulama sistemlerinde, zayıf akım sistemlerinde akıllı evlerde otoyollarda vb. pek çok yerde kullanılmaktadır (Tsoutsos, 2005: 290).

Günümüze kadar yapılan güneş pilleri çalışmalarını göz önüne alındığında güneş pillerinin farklı teknolojik safhalardan geçtiğini görebiliriz. Bu teknolojik safhaları;

- ☐ Birinci Nesil (kristal silisyum, galyum arsenik güneş pilleri)
- ☐ İkinci Nesil (ince filmler: $CuInSe_2$, CdTe, a-Si güneş pilleri)
- ☐ Üçüncü Nesil (boya duyarlı güneş pilleri, organik güneş pilleri) (Küpeli, 2005: 71)

olarak sınıflandırabiliriz.

Birinci nesil güneş pillerinin üretiminde en etkili biçimde kullanılan element ve bileşikler, silisyum (Si) ve galyum arsenik (GaAs)’tir. İlk olarak 1954 yılında Bell laboratuvarında kullanılan silisyum elementi güneş hücresi üretiminde en çok öne çıkan elementtir. Silisyumun kristal yapısının ve özelliklerinin kolay kolay değişmemesi, optiksel ve elektriksel özelliklerinin kalıcı olmasını sağlar. Bunun yanı sıra kristal silisyum teknolojisi yoğun bir şekilde çalışılması sayesinde oldukça gelişmiştir (Küpeli, 2005: 58).

Tek kristal silisyum güneş pillerinin verimi %15-20 civarındadır. Yapılan maliyetin çıkarılma zamanı 4-6 yıl arası ve 20 yıl kullanımdan sonra %7 civarı verim kaybı oluşur. Polikristal silisyum güneş hücrelerinin verimi ise %12-16 civarındadır. Maliyetin çıkarılma zamanı 2 ile 4 yıl arasındadır. Fakat 20 yıl kullanımdan sonra verimi %14 azalmaktadır. Ek olarak, kristal yapısı tam homojen olmadığından maliyeti hesaplıdır. (Akman ve diğerleri 2013: 9)

GaAs güneş hücreleri en çok uzay uygulamalarında tercih edilir. GaAs bileşiğinin uzay uygulamalarındaki güneş hücrelerinde tercih edilmesinin nedeni, silisyuma ve germanyuma göre sıcaklığa ve radyasyona karşı daha az hassas olmasından dolayıdır. (Akman ve diğerleri 2013: 9). GaAs güneş pillerinin sanayideki verimi %22, deneysel koşullardaki verimi ise %25'in üzerindedir. Diğer yarıiletkenlerle birlikte oluşturulan çok tabakalı GaAs güneş hücrelerinde ise verim %30 olarak tespit edilmiştir (Schnitzer, 1993: 2174).

İkinci nesil güneş hücreleri içerisinde üç tane hücre öne çıkmaktadır. Bunlar; amorf silisyum(a-Si), kadmiyum (Cd) ve tellür (Te) atomlarından oluşan bileşik yarıiletken kadmiyum tellür (CdTe) ve bakır, indiyum, selenyum (Se) elementlerinin bileşkesi olan kalkoprit yapılı (kristalize dörtgen yapı) $CuInSe_2$ (CIS) bileşik yarıiletkenlerdir (Matsumoto ve diğerleri, 1990: 6542).

Amorf silisyum (a-Si) hücreler kristal yapı özelliği göstermemekle birlikte ortaya çıkan verim %10 civarında, ticari hücrelerde ise %5-7 mertebesinde. Günümüzde az enerji tüketen, yapısı basit olan elektronik aletlerin güç kaynağı olarak kullanılabilir. Amorf silisyum güneş hücreleri yapılar bütünlük olarak yarı opak cam yüzeyler olarak, bina dış katmanı ve elektrik pili olarak kullanıldığı görülmektedir. (Matsumoto ve diğerleri, 1990: 6543). Si tabanlı üç farklı (amorf Si, tek kristal Si, polikristal Si) güneş pili türüne ait örnekler Şekil 1.17'de verilmiştir.



Şekil 1.17. Güneş Pili Türleri

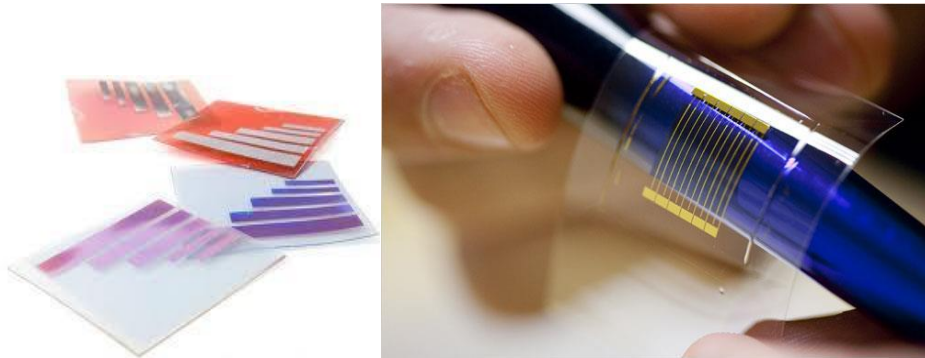
Kaynak: Akman ve diğerleri (2013): 10

Periyodik cetvelin ikinci grubunda bulunan Cd atomunun ve altıncı grubunda bulunan tellür atomunun bir araya gelmesiyle meydana gelen yarıiletken bileşik CdTe'dür ve oda

sıcaklığında yasak enerji aralığı (E_g) 1.5 eV'tur. Bu değer, güneş spektrumundan verimli dönüşümü yakalamak için gerekli olan değere oldukça yakındır. (Fauzi, Fijay, 2015: 156) Yüksek soğurma katsayısı yanında; ince film büyütme teknikleri sayesinde rahatça üretiminin yapılabilmesi, büyük yüzey alanlı güneş hücresi imalatında CdTe bileşiğinin önem kazanmasını sağlamıştır. Ayrıca CdS/CdTe hetero yapısı gerekli enerji oluşturulabilmesi için gerekli elektrik voltajını sağlar. Bu tarz güneş panellerinde verim değerleri %11'e kadar olurken, panel maliyeti minimum seviyeye düşmüştür.

Bakır, indiyum ve Se'dan yapılan üçlü tümleşik yarıiletkenle başlayan eklemli çoklu bileşikler CIS ($CuInSe_2$) yarı iletken ince filmler adıyla bilinir. Doğrudan bant yapısı ve yüksek soğurma katsayısı gibi bazı özelliklerinden dolayı bu eklemli çoklu bileşikler soğurucu katman olarak büyütülmekte ve güneş hücresi çalışmalarının temel taşını inşa etmektedir. (Fauzi, Fijay, 2015: 62). CIS ($CuInSe_2$) güneş pillerinin en büyük dezavantajı yasak enerji bant aralığının bir güneş pili için ideal olduğu düşünülen (1.44-1.5 eV) yasak enerji bant aralığından düşük olmasıdır. (Fauzi, Fijay, 2015: 156)

Günümüzde anorganik maddelerle üretilen güneş pillerinin sert olması, uygulama alanlarının kısıtlı olması, maliyeti yüksek ve ham madde sıkıntısının olması gibi sebepler bu malzemelerin kullanımını düşürmüştür. Bununla birlikte, maliyeti düşük olması, iletkenliği iyi olması ve molekül ağırlığının fazla olması gibi sebeplerden ötürü, güneş pili çalışmalarını organik malzemelere teşvik etmiştir. Yarıiletken polimerlerin yer aldığı organik güneş pilleri, iletken polimer teknolojisinin bulunmasından ve ilerlemesinden itibaren araştırmalara konu olmuştur. Bu belirtilen organik malzemeleri kullanılarak üretilen 3. nesil güneş pilleri, boya duyarlı güneş pilleri (BDGP) ve organik güneş pilleri olarak iki dalda geliştirilmiştir. (Akman ve diğerleri 2013: 13). Yeni nesil güneş pilleri Şekil 1.18 de verilmiştir.





Şekil 1.18. Yeni Nesil Güneş Pilleri

Kaynak: Akman, E. (2013): 15

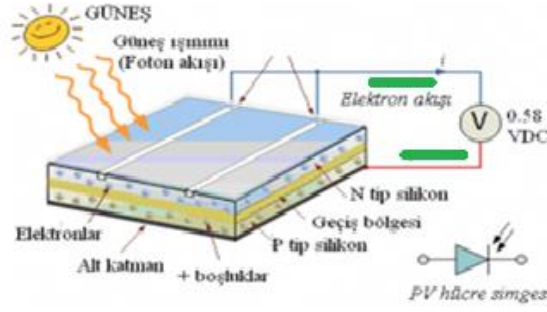
1.5.1. Güneş Pillerinin Elektriksel Özellikleri

Fotovoltaik sistemlerin yapısı iki tabakalı bir silisyum malzemeden meydana gelmektedir. N tipi taban üzerinde bir P tipi malzeme bulunur. Işık bu iki materyalin eklemesinin (junction) üzerine geldiğinde, N-tipi malzemenin P-tipi malzemeye göre pozitif yük aldığı görülür ve bir gerilim farkı meydana gelir. Çıkış voltajı, malzemenin üstüne gelen ışık şiddetine bağlıdır. Çıkışa bir yük bağlandığında, yük akım çekecektir. Bu akımın şiddeti, ışık şiddetiyle orantılıdır. Bu hücreler (piller), seri ya da paralel bağlanabilir. Güneş paneli hücrelerinin üst katmanları dezenformasyon ve enerji verimi düşümünün engellenmesi için yansımayı önleyen kaplamadan oluşur. Bu katmanların altında ise N tipi ve P tipi yarı iletken malzeme bulunur. Güneş paneli üzerine düşen güneş ışığı fotovoltaik hücreler tarafından absorbe edilir. Radyasyon etkisiyle polarize olan katkılı yarıiletken malzeme fotonların enerjisini alarak serbest halde bulunan elektronlar sebebiyle bir enerji kaynağına dönüşür. P tipi maddeden ayrılarak N malzemesinde biriken elektronlar, dış devre ile P tipi malzeme üzerinde oluşan boşluklara dönerler. Bu sabit ve tek yönlü hareketlilikle DC (direkt current) akım meydana gelir. (Çarkıt, 2016: 65)

1.5.2. Güneş Pillerinin Çalışma ilkesi

Fotovoltaik güneş pilleri; panel yüzeyine düşen güneş ışınlarını, doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilen düzeneklerdir. Bu enerji dönüşümünde, herhangi bir kinetik bir parça bulunmaz. Güneş pilleri, çok küçük ebatlara sahip olan yarı iletken diyotların, geniş yüzey alanlara uygulanmış şeklidir. Kullanılan malzemeler ve üretim şekilleri, diyotların çalışma ilkeleriyle temel olarak birbirlerine benzemektedir. Güneş pillerinin çalışma ilkesi, fotovoltaik çevirim olayına dayanır. Fotovoltaik dönüşümde güneş ışığını soğuracak malzeme, yasak enerji aralığı güneş spektrumu ile çalışabilecek yapıda ve elektrik yüklerinin bir birinden ayrılabilmesine izin verebilecek uzunlukta yasak enerji aralığına sahip bir yarı iletken olmalıdır.

Fotovoltaik olay, iki aşamada meydana gelir. Bunlar, birer taşıyıcı yük çifti olan elektron-boşluk çiftinin oluşturulması, ardından da bu yük çiftlerinin birbirinden ayrılmasıdır. Güneş pilinin elektrik üretimi şeması Şekil 1.19’da verilmiştir (Boz, 2011: 57).

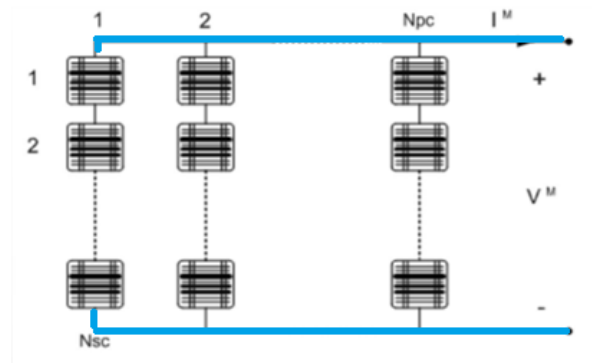


Şekil 1.19. Güneş Pili Elektrik Üretimi

Kaynak: Leblebicioglu, E. (2018): 1

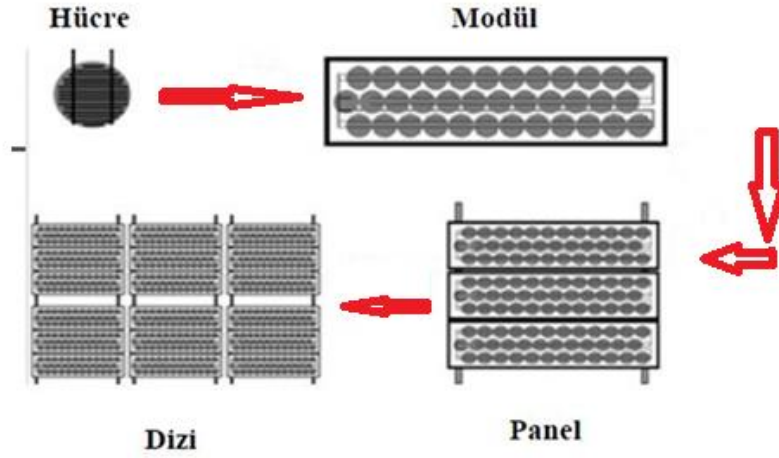
1.5.3. Güneş Pillerinin Eşdeğer Devreleri

Güneş pilleri, üretim şekilleri ve verim farklılığı sebebiyle, güneş ışınları altında yaklaşık olarak 1-1.5 watt civarında elektrik enerjisi üretebilmektedir. Sadece bir diyet kullanılması durumunda elde edilebilecek akım değeri, 2-2.5 amper, voltaj potansiyeli ise 0.5-0.6 volt arasında olduğundan, çok sayıda güneş pili birbirine seri ya da paralel bağlanarak, akım veya gerilim artırılabilir. Akım artışı sonucu yaklaşık olarak 30-340W arasında güce sahip modüller üretilebilir. Güneş pilleri, Şekil 1.20’de görüldüğü gibi N_{pc} tane paralel kollardan oluşur. Her bir N_{pc} kol, N_{sc} sayıda güneş pili ile seri olarak birbirlerine bağlanmıştır. Seri ya da paralel bağlı fotovoltaik panel sayıları üretici kataloğundan belirlenebilir. Bir panelin; hücresel, modül, dizi, panel yapısı Şekil 1.21’de verilmiştir (Bayrak ve Cebeci, 2007: 200).



Şekil 1.20. Güneş Pillerinin Konumlandırılması

Kaynak: Bayrak ve Cebeci, (2007): 200



Şekil 1.21. Hücreden Dizi Yapısına

Kaynak: Turhan-Çetiner, (2012): 3

1.6. Karakterizasyon Teknikleri

Materyalin yüzeyini tanımak gerçek yapısını ve güçlendiricilerin, aktif bileşenlerin yüzeyde nerelerde olduğunu bilmek önemlidir. Karakterizasyonun amacı moleküler boyutta reaksiyon durumunda ya da normal koşullarda yüzeyle ilgili bilgi elde etmek ve yüzey yapısını parçacıklarını incelemektir. Uygun karakterizasyon tekniklerinin uygulanması ile çok küçük boyutlarda karakterizasyon elde edilebilmektedir. Katı yüzeyini analiz etmek için çok sayıda spektroskopik teknik bulunmaktadır (Docplayer, 2019: 3).

Yarıiletkenlerin uygulamalarda kullanılabilmesi için fiziksel, yapısal ve yüzeysel özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Kristal kusurlarının, bant yapılarının, elektriksel iletim özelliklerinin ve yüzeysel özelliklerin bilinmesi ile uygulama amacına göre uygun malzemeler seçilebilir. (Temel, 2018: 3).

Nano malzemeleri karakterize etmek için kullanılan birkaç analitik teknik vardır. Bu teknikler üç ana gruba ayrılır: Mikroskopi; Spektroskopi; Spektrometri.

□ *Mikroskopi*, örnek morfolojisi hakkında bilgi verir; nano yapı, şekil ve boyut belirlenmesine yardımcı olur.

□ *Spektroskopi*, bileşim analizin yapılmasını ve kimyasal bilgilerin elde edilmesini sağlar.

□ *Kantitatif ve derinlik profili karakterizasyonu* ise spektrometri teknikleri ile elde edilir (Bersani, 2018: 12).

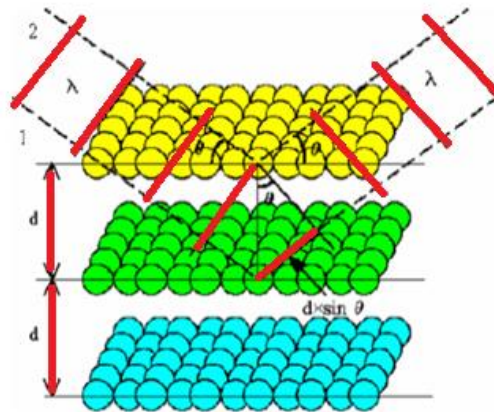
1.6.1 Yapısal Karakterizasyon Teknikleri

1.6.1.1 XRD Tekniği

X ışını kırınımı (XRD) doğal ve imal edilen malzemelerin kimyasal bileşimi ve kristal yapısı ile ilgili ayrıntılı bilgiler veren çok yönlü ve zararsız bir tekniktir. Bu teknik sadece nano karakterizasyon aracı olarak tanımlanmaz; ancak çok küçük boyuttaki tüm uygun uzamsal çözünürlükler tespit edilebilir. Dolayısıyla nano parçacıklar da XRD ile çözümlenebilir. Lamda (λ) dalga boyuna sahip monokromatik x ışını dalgası, teta (θ) açısıyla bir kristal malzeme üstüne gönderilirse, kırınım olayı; yalnızca ardışık düzlemlerden yansıyan ışınların kat ettiği yol, n sayısı kadar λ farklı olduğunda gerçekleşir. Bu ilişki denklem (1.1) ile tanımlanmıştır ve Bragg Kanunu olarak isimlendirilmiştir.

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \theta \quad (1.1)$$

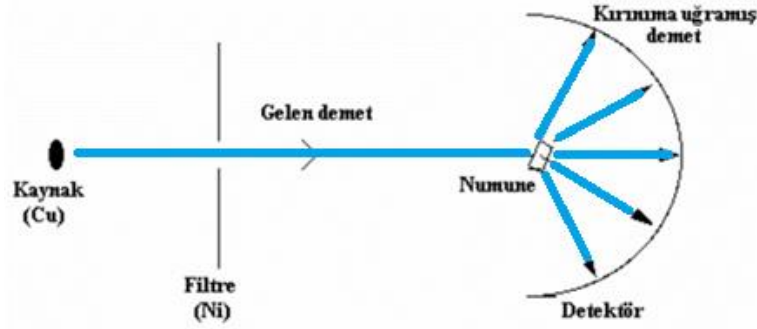
Bragg Kanunu 1922 yılında Sir W.L. Bragg tarafından geliştirilmiştir ve kristal materyallerdeki X ışını kırınımı için temel yasadır. Teta açısı değiştirildiğinde Bragg Kanunu şartları, polikristal materyallerdeki d boşlukları ile sağlanır. Radyasyondan elde edilen kırılmış piklerin açısal pozisyonları ve piklerin şiddetleri grafiğe döküldüğünde bir model ortaya çıkar ve bu model eldeki numuneye özgüdür. Farklı fazlardan oluşan bir karışım söz konusu olduğunda elde edilen kırınım grafiği, her modelin toplanmasıyla oluşur (Bersani, 2018: 62) X ışınının kırınımı şekil 1.22 de verilmiştir.



Şekil 1.22. X-Işınları Kırınimleri

Kaynak: Temel, (2018). ince film üretim ve karakterizasyon teknikleri ders notları: 8

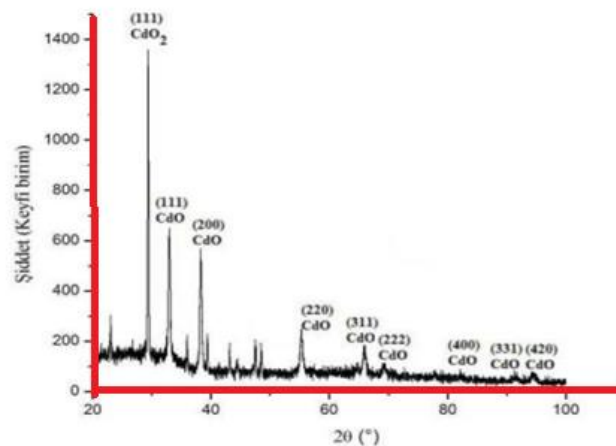
X-ışınları kırınımı deney şeması; X-ışınları kaynağı, incelencek malzeme (numune), kırınıma uğramış X-ışınlarını toplayacak bir dedektörden oluşur. Şekil 1.23 te bir x-ışınları toz difraktometresinin şematik diyagramı verilmiştir.



Şekil 1.23. X Işınları Şematik Diyagramı

Kaynak: Temel, (2018). ince film üretim ve karakterizasyon teknikleri ders notları: 8

Katı materyallerin kristal yapısının analizinde kullanılan en önemli yöntemlerden biri XRD yöntemidir. Malzemelerin kristal yapılarının incelenmesi toz kırınım desenlerinden faydalanılarak ve ICDD kartları kullanılarak yapılmaktadır. Şekil 1.24'te CdO'ya ait kristalleşme grafiği verilmiştir. XRD ile analizde kullanılacak materyal zarar görmez. Ayrıca analiz için malzemenin küçük bir boyutu yeterli ve gereklidir. XRD tekniği ile oluşan desenler materyalin en belirgin özelliğidir ve her bir materyal için farklı bir kırınım deseni oluşur. Bu özellik ile insandaki parmak izi gibi belirleyici ve özel bir özelliktir. XRD desenleri ile bilinmeyen bir malzeme belirlenebilir. Desenlerde oluşan piklerin seviyeleri ve yarı piklerin enleri baz alınarak filmlerin kristalleşme durumlarıyla ilgili yorum yapılabilir (Temel, 2018: 10).



Şekil 1.24. Kristalleşme Seviyeleri

Kaynak: Temel, (2018) ince film üretim ve karakterizasyon teknikleri ders notları: 12

1.6.1.2 SEM Tekniği

Teknolojik ilerlemeler, farklı malzemelerin imal edilmesi ve eldeki malzemelerin geliştirilmesinden önemli ölçüde etkilenir. Elektron mikroskopisi kullanılarak materyallerin etap ayrışması, taneciklerin boyutları ve yüzeyin şekli, saflığı, homojenliği, malzemelerin içeriği, farklı bölgeler, gözenekli yapı gibi makro ve mikro özellikleri SEM ve EDS kullanılarak incelenebilir (Temel, 2018: 34). Şekil 1.25’de SEM cihazı gösterilmiştir.

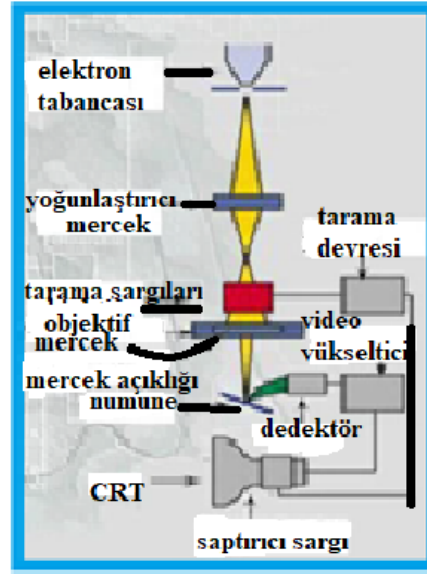
SEM analizi esnasında malzemeye çarpan elektronlar, armut biçimli etkileşim oylumunda saçılmış şekildedir ve elastik olabilir. Elektronların çok az bir kısmı yüzeyden kaçabilmekte ve sonuç olarak SEM görüntüsünü oluşturan topoğrafik ve bileşimsel kontrast verisini sağlamaktadır. Yüzey sinyal yanıtı, hedeften birçok yöne doğru yayılan ve çeşitli yapılandırmalarda yerleştirilen algılayıcılar aracılığıyla toplanan bir çeşit elektron akışıdır. Algılayıcı bir kamera değildir; sonrasında güçlendirilen elektrik sinyali parlaklık derecesi doğrultusunda dönüştürülürken elektronlar tutulur. SEM görüntüsü, tarama pozisyonlarını görüntü piksel koordinatları ile senkronize ederek toplanan, numunedeki her noktadan çıkarılan elektronların yoğunluğuna karşılık gelen tüm ardışık parlaklık derecesi noktalarının toplamı olan iki boyutlu bir veri dizisinden oluşmaktadır (Mario Barozzi, 2018: 21).



Şekil 1.25. SEM Cihazı

Kaynak: Temel, (2018) ince film üretim ve karakterizasyon teknikleri ders notları: 32

SEM’ de kimyasal analiz yapılırken (mikroanaliz) örnek üzerinde odaklanan elektron yumağının oluşturduğu X-ışınları dalgalarının şiddet dağılımı ve enerjilerinin belirlenmesi ile gerçekleştirilir. Enerji dağılım spektrometresinin eklenmesi ile malzemelerin elemental bileşimleri hakkında bilgi edinilebilir. Taramalı Elektron Mikroskobu; optik kolon, numune hücresi ve görüntüleme sistemi olmak üzere üç temel kısımdan oluşmaktadır ve sözü edilen bölümlere dair gösterim Şekil 1.26 da verilmiştir (Temel, 2018: 36).

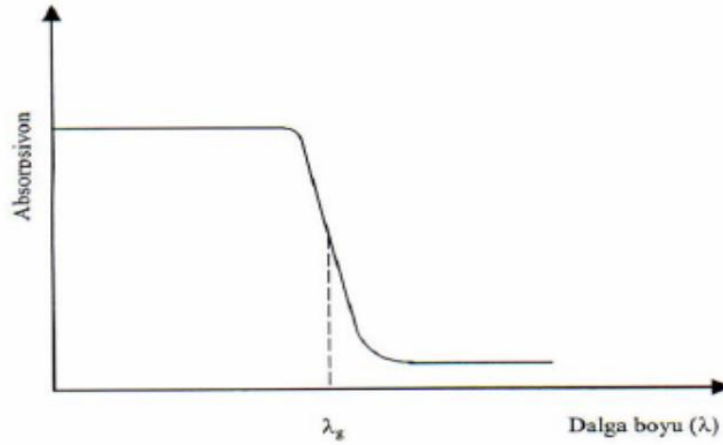


Şekil 1.26. Taramalı Elektron Mikroskobu Kısımları

Kaynak: Temel. (2018). ince film üretim ve karakterizasyon teknikleri ders notları: 33

1.6.2. Optik Karakterizasyon Tekniği

Yarı iletkenlerin optiksel özelliklerinin incelenmesi ile bant yapıları hakkında bilgilerin yanında malzeme içerisindeki elektronların ve hollerin davranışları ile ilgili bilgiler de elde edilebilir. Her bir malzemenin yayınladığı dalga boyları birbirinden farklıdır ve kendine özgüdür. Aynı şekilde her malzemenin soğuracağı dalga boyları da diğer malzemelerinkinden farklı olacaktır. Bu nedenle soğurma spektrumları kullanılarak bir yarıiletkenin bant yapısı incelenip, yasak enerji aralığı hesaplanabilir. Bu metot optik metot olarak bilinir. Ayrıca elde edilen soğurma spektrumu yardımı ile bir takım teorik hesaplamalar sonucu, geçirgenlik, kırılma indisi, soğurma katsayısı, yansıtırlık, dielektrik sabiti gibi bazı optik parametreler de belirlenebilir (Temel, 2018: 24). Şekil 1.27’de yarı iletkenlere ait absorbsiyon grafiği verilmiştir.



Şekil 1.27. Yarı iletkenlere Ait Absorbsiyon Grafiği

Kaynak: Temel. (2018). ince film üretim ve karakterizasyon teknikleri ders notları: 25

1.6.2.1. UV-VIS Spektroskopisi

Elektromanyetik dalgalar ile madde arasındaki ilişkiyi araştırıp inceleyen bilimsel alana Spektroskopi denir. Malzemelerin elektromanyetik ışınımı absorplamasını inceleyen spektroskopi dalına Absorpsiyon Spektroskopisi, malzemelerin elektromanyetik ışınımı yaymasını inceleyen spektroskopi dalına ise Emisyon Spektroskopisi denir.

Molekül ya da atomlar tarafından elektromanyetik ışınımın absorblanması;

- ☐ Moleküldeki atomların türüne,
- ☐ Düzenlenmesine,
- ☐ Moleküllerin şekline ve boyutuna bağlı olarak değişir.

Kimyanın her dalında yaygın bir şekilde kullanılan spektroskopi yardımıyla;

- ☐ Kantitatif ve kalitatif analiz,
- ☐ Tepkime kinetiğinin incelenmesi,
- ☐ Denge sabitlerinin bulunması,
- ☐ Molekül yapılarının ve stereo kimyasal özelliklerinin belirlenmesi,
- ☐ Atom ve molekül yapısının tanınması,
- ☐ Saflık derecesinin belirlenmesi

sağlanabilmektedir. (On dokuz mayıs üniversitesi, 2020: 4)

UV-VIS cihazları genellikle yaklaşık olarak 200-800 nm arasında çalışan hassas cihazlardır. UV cihazının gösterimi Şekil 1.28’de verilmiştir. Elektronun uyarılması için yeterli

olan enerji molekül tarafından absorplanınca UV-VIS cihazı etkisiyle ile bu absorpsiyon UV-VIS spektrumu olarak kaydedilir. Dalga boyuna karşı absorpsiyon seviyesi olarak çeşitli ünitelerle (absorbans, transmittans...) çizilen bu spektrumlar bir absorpsiyon bandı olarak gözlenir. Bunun sebebi, temel ve uyarılmış hallerdeki elektron enerji seviyelerinin her birinin titreşim ve dönme enerji düzeylerini de kapsamasıdır (On dokuz mayıs üniversitesi, 2020: 9).



Şekil 1.28. UV Cihazı

Kaynak: Temel. (2018). ince film üretim ve karakterizasyon teknikleri ders notları: 26

1.7. Literatür Taraması

1.7.1. PbS İnce Filmler

Fouda ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada; PbS ince filmler kimyasal banyo biriktirme tekniği ile oda sıcaklığında farklı film kalınlıklarında depozisyon edilmiştir. Hazırlanan filmlerin yapısal ve optik özellikleri X-ışınımı kırınımı (XRD) kullanılarak elektron taraması mikroskopi (SEM) ve UV-VIS-NIR spektrofotometri edilerek incelenmiştir. (Fouda ve diğerleri, 2016: 810)

Kotadiya ve arkadaşlarının araştırmasında kurşun asetat tiyoüre ve amonyum hidroksit kimyasal banyo biriktirme tekniği ile iyi foto iletkenlik özellik sergileyen nanokristalin PbS filmlerini üretmiştir. Nanokristalin PbS filmlerin 1,65 eV'luk bant aralığında ve 11 nm kristalit boyutunda oldukları belirlendi. Kotadiya ve arkadaşlarının yaptıkları bu çalışmada kimyasal

banyo biriktirme sentezi ve foto iletkenlik özellikler raporlandı (Kotadiya ve diğerleri, 2012: 820).

Pentia yaptığı bir çalışmada, hazırlanan metal iyonlu kimyasal banyo ile PbS filmlerinin kimyasal özelliklerini incelemiştir. Çeşitli metal iyonlarla hazırlanan kimyasal banyoların (Ag, Hg, Cu, Sn, Sb, As) PbS'nin farklı fotoiletken özellikleri üzerine etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Ancak PbS katmanları üzerinde uygulanan Bi katkılı kimyasal banyo sonucu bazı farklı morfolojik ve fotoiletken durumlar gözlemlenmiştir (Pentia, 2003: 163).

Gaiduk ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada kimyasal olarak biriktirilen nanokristalin (PbS) katmanlarının özellikleri Si, Ge ve GaAs yüzeylerinde karşılaştırma yapılmıştır. Sözü geçen araştırmada hem "ıslak" hem de "kuru" biriktirme yöntemleri kullanılmıştır. Kuru biriktirme yöntemi olarak vakum buharlaşma, sıcak duvar epitaksi ve moleküler ışın epitaksi, ıslak biriktirme yöntemi olarak sprey pirolizi, kimyasal banyo biriktirme ve elektrokimyasal biriktirme kullanılmıştır (Gaiduk ve diğerleri, 2007: 3791).

Soetedjo ve arkadaşları püskürtme etkisi altında Pb-S ve Pb-O bağına kapsayan XPS (X-Işını Fotoelektron Spektroskopisi) kullanarak malzemenin yapı özelliklerini incelemişlerdir. Bu çalışmada, bir dc püskürtme tekniği kullanılarak Cu ve Fe katkılı PbS ince filmlerin üretimi zorlu olmasına karşın gerçekleştirilmiştir. Vakum odasında püskürtme tekniğinin kullanılması, çökeltme işleminde yer alan ögelerin daha fazla saflığını gösterir ve ayrıca sağlam ve kısa çökeltme süresine yol açabilir. Bu arada, doping malzemesi doğrudan vakum odasındaki tabanda PbS'nin hedef malzemesinin merkezine yerleştirilmiştir (Soetedjo, 2017: 56).

Rajathi ve arkadaşları tarafından sistematik bir inceleme gerçekleştirilmiştir. Kurşun sülfür üzerinde ince filmlerin kimyasal banyo biriktirmesi büyütme tekniği olarak kullanılmıştır. Üretilen PbS filmler X-ışını kırınımı ile karakterize edilmiştir, optik analizi yapılmıştır ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile analiz edilmiştir. Yapılan optik çalışmalarda, hazırlanan PbS filmlerin kırılma indisi gibi optik sabitleri ve dielektrik sabitleri değerlendirilmiştir (Rajathi ve diğerleri 2014: 2).

1.7.2. CdSe İnce Filmler

Atef ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada 0,1 M Cd^{2+} ve Se ile Te kaynağı için farklı iyon konsantrasyonları kullanarak CdSe (kadmiyum selenid) ve CdTe filmlerini elektrostatik olarak biriktirmişlerdir. Ayrıca sıcaklığın elektro depozisyon sürecine etkisini de incelenmişlerdir. Biriktirilen CdSe ve CdTe'nin kristal yapısı X-ışını kırınımı (XRD) ile analiz edilmiştir. Optimize edilmiş parametrelerde biriktirilen örneklerin taramalı elektron

mikroskobu (SEM) görüntüleri CdSe filmlerin süngerimsi küresel tanelere sahip olduğunu ve CdTe filmlerin koraloid morfolojiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Optik absorpsiyon doğrudan geçişin varlığında, sırasıyla CdSe ve CdTe filmleri için yasak enerji bant aralığının 1.96 ve 1.51 eV olduğunu göstermiştir. Elektro depozisyon ile biriktirilmiş CdSe ve CdTe filmlerinin en yüksek enerji dönüştürme verimliliği basit laboratuvar koşullarında elde edilen birim alan başına sırasıyla % 6 ve % 9,6 olarak rapor edilmiştir (Atef ve diğerleri, 2014: 341).

Kowalik ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada CdSe filmler için elektrolit bileşen konsantrasyonunun etkisi ve Stokiyometrik bileşik sentezi olasılığı üzerine pH ile altın elektrotun etkileri üzerine ön testler yapılmıştır.. Kaplamaların kalitesi, tarama kullanılarak test edilmiştir. Elektronmikroskopi elemental ve faz bileşimi varlığı X ışını spektrofotometrisi ve X ışını kırınımı ile onaylanmıştır (Kowalik ve diğerleri, 2016: 43).

Chowdhury ve arkadaşları CdSe ince filmleri iletken cam yüzeyler üzerine elektrodepozisyon yöntemi kullanılarak çöktürmüştür. X-ışınımı tekniği (XRD) biriktirilen filmlerde bulunan fazları tanımlamak için kullanılmıştır. Foto elektrokimyasal hücre ölçümleri CdSe'nin elektriksel iletimde n-tipi olduğunu göstermiştir. Optik absorpsiyonda biriktirilmiş CdSe filmler için yasak enerji bant aralığının 2,1 eV olduğu görülmüştür. Hava ortamında 30 dakikada 723 K'de ısıtıl işleminden sonra CdSe filmler için yasak enerji bant aralığı 1,8 eV'a düşürülmüştür. Filmlerin yapısı taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak karakterize edilmiştir (Chowdhury ve diğerleri, 2011: 137).

Vanita ve arkadaşları tarafından yapılmış olan mevcut bir çalışmada, paslanmaz çelik ve flor katkılı kalay oksit kaplı cam substratlar üzerinde CdSe ince filmlerin kimyasal sentezi açıklamaktadır. Bu çalışmada üretilen filmler, pH'ın yapısal, optik ve morfolojik özellikler üzerindeki etkisini incelemek için X-ışını kırınimleri (XRD), UV-Görünür spektrofotometri, temas açısı ölçümü ve alan emisyon seviyesi taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM) teknikleri ile karakterize edilmiştir. Morfolojik özellikler analiz edildiğinde çöktürme banyosunun pH'ındaki değişimle, filmlerin kristalliğinin faz dönüşümü ile birlikte etkilendiği görülmüştür. Optik çalışmalar, banyonun pH'ı ayarlandığında filmlerin yasak enerji bant aralığı ve absorpsiyon sınırındaki değişimi göstermektedir. CdSe ince filmlerin yüzey morfolojisinin, banyonun pH'ına bağlı olarak büyük ölçüde değiştiği tespit edilmiştir (Vanita ve diğerleri 2017: 568).

Erat tarafından yapılan bir çalışmada CdSe ince filmleri kimyasal depozisyon yöntemi kullanılarak cam alt tabanlar üzerine depolanmıştır. Üretilen bu filmlerin yapısal, optiksel,

elektriksel ve fotoelektriksel karakteristik özellikleri incelenmiştir. Depolama sıcaklığının, depolama süresinin etkisi, hava ortamında ve azot ortamında tavlamanın etkileri incelenmiştir. (Erat 2007: 1)

1.7.3. CdSe/PbS Güneş Pilleri

Shi ve arkadaşlarının yaptığı bir incelemede, iyonik tabaka absorpsiyonu ve reaksiyonu (SILAR) tekniği kullanılmıştır. Tek boyutlu PbS / ZnS kuantum noktaları CdSe ile birlikte kullanılarak foto elektrotlar hazırlanmıştır. Hazırlanan elektrot malzemeleri XRD, XPS, FESEM, HRTEM ile karakterize edilmiştir ve EDX analizi yapılmıştır. Sentezlenen bileşenlerin fotoelektrokimyasal performansı araştırılmıştır (Shi ve diğerleri 2019: 7).

Mahapatra ve arkadaşlarının PbS ve CdSe ile yaptıkları bir araştırmada, polikristalin n-tipi CdSe-PbS elektrotları ve n-tipi CdS-CdSe elektrotları elektrodepozisyon ile hazırlanmıştır. Her iki karışık kalkojenit elektrotunda basit CdS'den daha iyi foto yanıt sergilendiği gözlemlenmiştir (Mahapatra ve diğerleri, 1984: 1435).

Fekadu ve arkadaşlarının yaptıkları bir araştırmada CdSe ve kurşun sülfür selenid ($PbS_{1-x}Se_x$) ince filmler, kimyasal banyo biriktirme tekniği (CBD) ile başarıyla biriktirilmiştir. Filmler, toz X-ışını kırınımı, taramalı elektron mikroskobu ve optik absorpsiyon spektrofotometresi ile karakterize edilmiştir. CdSe ince filmler 85 °C banyo sıcaklığında kadmiyum asetat, tartarik asit, amonyak ve sodyum selenosülfat içeren kimyasal banyoda çöktürülmüştür. Filmler 350 °C'de 1 saat havada tavlansmıştır. Depolanan filmlerin kırmızımsı renkli olduğu tavlansmış filmlerin koyu gri renkte olduğu gözlenmiştir (Fekadu ve diğerleri, 2015: V).

Bu çalışmada birinci bölümde yarı iletkenler, ince filmler, ince film üretim teknikleri, güneş pilleri, karakterizasyon teknikleri konuları incelenmiştir. İkinci bölümde ise, elektrodepozisyon yöntemi kullanılarak elde edilen CdSe ve PbS nin elektrokimyasal oluşum mekanizmaları ile ince filmlerin üretiminde kullanılan deneysel koşullar ve sistemler incelenmiştir. Üçüncü bölümde üretilen CdSe ve PbS filmlerin karakterizasyonları yapılmıştır. CdSe ve PbS filmlerin XRD, optik ve SEM analizleri araştırılıp yorumlanmıştır.

Bu tez çalışmasındaki amacımız CdSe ve PbS ince filmlerini üst üste ekleyerek hetero bileşimini oluşturup pn-eklem yapısını elde edebilmektir. Ayrıca bu yapının kalınlığı ve bazı fiziksel özellikleri yorumlanmıştır. Özellikle belirtilmelidir ki, bu çalışmamda özgün olarak Se'ü elde etmek için Na_2SeO_3 adlı bileşik kullanılmıştır. Bu bileşik ortamın asitliği arttıkça

ortama salınan Se miktarının artmasını sağlayarak CdSe ince film oluşumunun hızlanmasını sağlamak amacıyla tercih edilmiştir.



2.MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. PbS'nin Elektrokimyasal Oluşum Mekanizması

Thirumoorthy ve Murali tarafından yapılan bir çalışmada, PbS'nin elektrokimyasal olarak üretilmesi yöntemine ve aşamalarına değinilmiştir. Ag/AgCl referans eletroduna göre, depozisyon potansiyeli 0,7 V olarak sabitlenmiştir ve pH derecesi 2,8 olarak ayarlanmıştır. Genel olarak elektro depozisyon tekniğinde bir metal veya bileşik oluşturmak için bir dış etkiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu dış etki akım veya gerilim olabilir ve elektroda uygulanmalıdır (Thirumoorthy ve Murali, 2010: 73). PbS'nin oluşum aşamasının denklemlerini 2.1, 2.2 ve 2.3 teki tepkimelerle ifade edebiliriz.



Ancak yüksek pH değerinde katot elektrodu çevresinde çökelti oluşumu görülmektedir. Bunu denklem 2.4 ve 2.5 tepkimeleriyle ifade edebiliriz.



Denklem 2.4 ve 2.5'teki tepkimelere göre elde etmek istenilen PbS bileşiği yerine; $Pb(OH)_2$ adlı bir bileşik oluşabilir. Bu duruma çökelti (kristalleşme) denilir ve bu istenmeyen bir durumdur (Han ve diğerleri, 2009: 218).

Kurşun sülfür (PbS) oda sıcaklığında dar bant enerji aralığı 0,37 - 0,40 eV civarındadır. Ancak bu dar bant enerji aralığı nanokristal malzemeler için daha yüksek değerdedir (1,6 - 2,44 eV). Dolayısıyla bu fark PbS nanokristallerinin kuantum hapsetme etkisine bağlanabilir (Abdallah ve diğerleri, 2018: 1).

2.2. CdSe'nin Elektro Kimyasal Oluşum Mekanizması

Chowdhury ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, CdSe ince filminin üretiminde hazırlanan elektro depozisyon çözeltisi içerisine pH değerini dengede tutmak için amonyum çözeltisi eklenmiştir. Daha sonra alt tabanlar (substratlar) karışım içeren beherin duvarına karşı elektrodpozite edilmiştir. Elektrodpozisyon esnasında karışım manyetik karıştırıcı vasıtasıyla orta hızda sürekli karıştırılmıştır. Depozisyon süresi 40 dakika için ayarlanıp voltaj seviyesi 1,2 V'a sabitlenmiştir. Depozisyonundan sonra CdSe ince filmler 725 K°

de 30 dakika süre ile tavlannmıştır. CdSe oluşum tepkimeleri denklem 2.6, 2.7, 2.8 ve 2.9'da gösterilmiştir (Chowdhury ve diğerleri, 2011: 138).

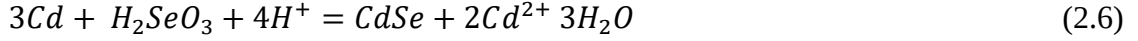
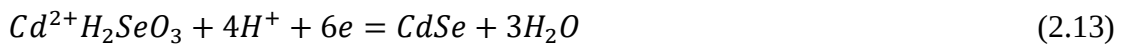


Foto elektrokimyasal (PEC) hücre ölçümleri, CdSe filmlerin elektriksel iletimde n-tipi olduğunu ve optik absorpsiyon ölçümleri, biriktirilen filmler için bant aralığının 2,1 eV olduğu tahmin edilmiştir. Havada 30 dakika 723 K'da ısıtılma işleminden sonra CdSe filmlerin bant aralığının 1,8 eV'a düştüğü görülmüştür (Chowdhury ve diğerleri, 2011: 138).

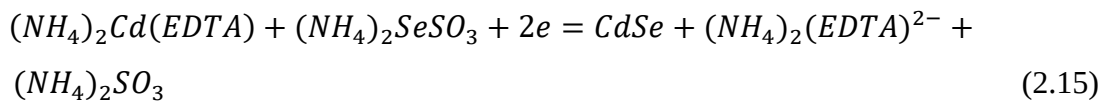
Diğer bir çalışmada asidik ve alkali ortam olmak üzere iki farklı elektrodpozisyon durumu incelenmiştir (Shaikh ve diğerleri, 2017: 2519). Asidik ortam için, Se ve Cd için biriktirme potansiyelleri, denklemler 2.10 ve 2.11'de verilmiştir.



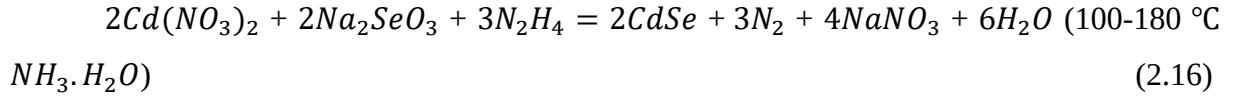
Se depozisyon potansiyeli Cd'den daha pozitifdir. Dolayısıyla eş zamanlı iyonik boşalmayı sağlamak için çözelti bileşimi ve konsantrasyonu için iki elementin potansiyeli yaklaştırılabilir. Katot üzerindeki elektrokimyasal tepkimeler 2.12 ve 2.13 te verilmiştir (Shaikh ve diğerleri, 2017: 2519).



Alkali ortam için, CdSe filmler, elektrodpozisyon ile sentezlenmiştir. Denklem 2.14 ve 2.15'teki gibi verilmiştir (Shaikh ve diğerleri, 2017: 2519).



Peng ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, Na_2SeO_3 ile $Cd(NO_3)_2$ reaktan olarak ve indirgeyici olarak N_2H_4 ile H_2O bileşikleri kullanılmıştır. CdSe nanokristallerinin oluşma reaksiyonu denklem 2.16 'daki gibi formülize edilebilmiştir.



Denklem 2.16'daki bu reaksiyonda, Na_2SeO_3 ilk olarak N_2H_4 tarafından Se'ye indirgenmiştir. Yüksek reaktiviteye sahip yeni üretilen "Se" iyonları N_2H_4 ve H_2O tarafından daha fazla indirgenmiş veya alkali çözelti içinde ($pH \cong 11$) orantısız olarak Se^{2-} oluşturmuştur (Peng ve diğerleri, 2002: 5251).

2.3. Alt Tabanların Temizlenmesi

PbS yarıiletken filmlerini üretmek için optik olarak geçirgen $1,65 \text{ cm}^2$ yüzey alanına, $25 \text{ } \Omega/\text{cm}^2$ dirence ve 80 nm kalınlığa sahip ITO (indiyum kalay oksit) kaplı camlar kullanılmıştır. ITO kaplı camlar öncelikle deiyonize suda bekletilmiştir. İzopropil alkol çözeltisinde 10 dakika bekletildikten sonra DI (deiyonize) suda durulanmıştır. Durulanan ITO kaplı camlar oda sıcaklığında ($25 \text{ } ^\circ\text{C}$) 30 dakika kadar yüzeyinde nem kalmaması için kurutulmuştur.

CdSe yarıiletken filmlerini üretmek için optik olarak geçirgen $1,65 \text{ cm}^2$ yüzey alanına, $25 \text{ } \Omega/\text{cm}^2$ dirence ve 80 nm kalınlığa sahip ITO (indiyum kalay oksit) kaplı camlar kullanılmıştır. ITO kaplı camlar öncelikle deiyonize suda bekletilmiş. İzopropil alkol çözeltisinde 10 dakika bekletildikten sonra DI (deiyonize) suda durulanmıştır. Durulanan ITO kaplı camlar oda sıcaklığında ($25 \text{ } ^\circ\text{C}$) 30 dakika kadar yüzeyinde nem kalmaması için kurutulmuştur (Kıyak Yıldırım, 2015: 48).

2.4. Çözelti Hazırlama

PbS bileşiği için çözelti hazırlama aşamaları; Pb kaynağı olarak $Pb(NO_3)_2$, S kaynağı olarak $Na_2S_2O_3$, reaksiyon hızlandırıcı olarak EDTA ve destekleyici elektrolit olarak bileşikler (KCl) kullanılmıştır. PbS bileşiğinin molekül ağırlığı 331,21 g/mol, $Na_2S_2O_3$, bileşiğinin molekül ağırlığı 158,11 g/mol, EDTA bileşiğinin 292,24 g/mol ve KCl bileşiğinin molekül ağırlığı 74,5513 g/mol olarak belirlenmiştir. Belirlenen molekül ağırlıkları denklem 2.17'de yerine konularak

$$m = M \times V \times M_A \quad (2.17)$$

istenilen molaritede çözelti hazırlamak için kullanılması gereken kütleler hesaplanmıştır. Denklemde verilen m; kütle, M; birim hacim başına düşen mol miktarı, M_A ; molekül ağırlığı ve V; hacimdir.

Film üretimlerinde, çözücü madde olarak DI su kullanılmıştır. pH farklılığı oluşmaması amacıyla çözeltiler önce 1L olarak hazırlanmış ve içlerinden 100'er mL alınarak üretimler gerçekleştirilmiştir. 0,01 M $Pb(NO_3)_2$; 0,05 M $Na_2S_2O_3$; 0,0025 M EDTA ve 0,1 M KCl sulu çözeltisi hazırlamak için 1L DI su bir kaba boşaltılmıştır. 1L DI su içine 3,31 g $Pb(NO_3)_2$ bileşiği, 7,905 g $Na_2S_2O_3$, 0,73 g EDTA ve 7,455 g KCl konulmuştur. Bu bileşikler eklendikten sonra manyetik karıştırıcı ile 1 saat karıştırılmıştır.

CdSe bileşiği için çözelti hazırlama aşamaları; Cd kaynağı olarak SET1 için $CdCl_2$; Se kaynağı olarak $Na_2Se_2O_3$ ve destekleyici elektrolit olarak KCl bileşikler kullanılmıştır. Destekleyici elektrolit olarak (KCl) kullanılmıştır. Belirlenen molekül ağırlıkları denklem 2.17'de yerine konularak istenilen molaritede çözelti hazırlamak için kullanılması gereken kütleler hesaplanmıştır. Film üretimlerinde, çözücü madde olarak DI su kullanılmıştır. pH farklılığı oluşmaması amacıyla çözeltiler önce 1L olarak hazırlanmış ve içlerinden 100'er mL alınarak üretimler gerçekleştirilmiştir. 5×10^{-2} M $CdCl_2$; $2,5 \times 10^{-2}$ M $Na_2Se_2O_3$ ve 0,1 M KCl sulu çözeltisi hazırlamak için 1L DI su bir kaba boşaltılmıştır. 1L DI su içine 9,166 g $CdCl_2$; 6,297g $Na_2Se_2O_3$ 7,455 g KCl konulmuştur.

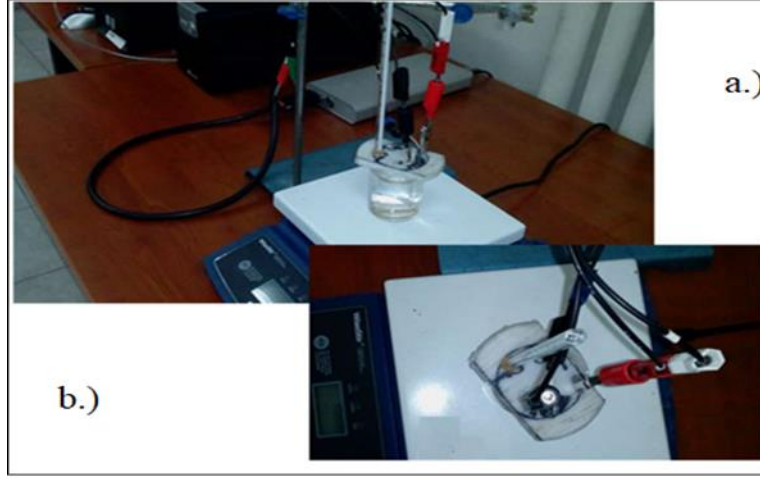
Film üretimlerinde, kullanılan çözeltilerin pH değerlerini azaltmak için yarım litre DI suya 1 mL HCl (Hidroklorik asit) konulmuştur ve damlalık kullanılarak çözeltilerin pH değerleri azaltılmıştır. Kütle ölçümü için KERN marka ABJ 220-4m modeli ve 0,1 mg hassasiyetli maksimum 220 g tartabilen hassas terazi kullanılmıştır. pH ölçümü için Hanna marka HI9025 modeli mikro bilgisayarlı pH metre kullanılmıştır.

2.5. CdSe -PbS İnce Filmlerin Üretiminde Kullanılan Cihazlar ve Sistemler

Elektrokimyasal depozisyon yöntemi ile PbS-CdSe filmlerin üretimi, Şekil 2.1 de gösterilen üç elektrotlu IVIUM VERTEX Potentiostat/Galvanostat cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

Elektrokimyasal depozisyon işlemi gerçekleştirilirken Ag/AgCl referans Elektrodu kullanılmıştır. Seçilen referans elektrodun standart potansiyeli 25 °C de 0,222 V'dur. $AgCl(k) + e \rightleftharpoons Ag(k) + Cl^-$ yarı tepkime reaksiyonuna sahiptir.

Karşıt elektrot olarak platin düz tel kullanılmıştır. Çalışma elektrodu olarak hazırlanan ITO kaplı cam alt tabanlar kullanılmıştır. Film üretimleri sırasında çözeltileri karıştırmak ve ısıtmak için WiseStir marka MSH-20D modeli elektronik manyetik karıştırıcı ve ısıtıcı kullanılmıştır.



Şekil 2.1. (a) IVIUM VERTEX Potentiostat/Galvanostat sistemi (b) elektrokimyasal depozisyon hücresinin üstten görünüşü

2.6. CdSe ve PbS İnce Fimlerin Üretiminde Kullanılan Deneysel Şartlar

Elektro depozisyon tekniği kullanılarak elde edilen ince filmlerin üretiminde 100'er mili litrelik depozisyon hücreleri kullanılmıştır. Bunun yanı sıra oluşan çözeltiler depozisyon öncesi manyetik karıştırıcı vasıtasıyla 1100 rpm'de döndürülmüştür. Oluşan bütün alt deneyler (setler) için pH değerleri ölçülmüştür.

SET1 için $5 \times 10^{-2} \text{ M CdCl}_2$; $2,5 \times 10^{-2} \text{ M Na}_2\text{Se}_2\text{O}_3$ ve 0,1 M KCl bileşikleri 100 mL'lik çözelti karışımı için CdSe filmlerinin üretiminin yapılabilmesi için deneylerde kullanılan bileşiklerdir. Ortamın asitliğini düzenlemek için %23 HCl kullanılmıştır. Çözeltilerin pH değerleri sırasıyla 2,51 - 3,08 - 3,5 - 4,1 olarak ayarlanmıştır. Katodik potansiyel değeri -1V; depozisyon süresi 1800 saniye; depozisyon sıcaklığı ise $50 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye ayarlanmıştır. Çözelti manyetik karıştırıcı vasıtasıyla 1100 rpm'de döndürülmüştür.

SET2 için $5 \times 10^{-2} \text{ M CdCl}_2$; $2,5 \times 10^{-2} \text{ M Na}_2\text{Se}_3\text{O}_3$ ve 0,1 M KCl bileşikleri 100mL'lik çözelti karışımı için CdSe filmlerinin üretiminin yapılabilmesi için deneylerde kullanılan bileşiklerdir. Ortamın asitliğini düzenlemek için %23 HCl kullanılmıştır. Çözeltilerin pH değerleri sırasıyla 2,58; 3,07; 3,53; 4,06; 4,54 ve 5,01 olarak belirlenmiştir. Katodik potansiyel değeri -1V; depozisyon süresi 1800 saniye; depozisyon sıcaklığı ise $80 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak belirlenmiştir. Çözelti manyetik karıştırıcı vasıtasıyla 1100 rpm'de döndürülmüştür.

SET3 için $5 \times 10^{-2} \text{ M CdCl}_2$; $2,5 \times 10^{-2} \text{ M Na}_2\text{Se}_3\text{O}_3$ ve 0,1 M KCl bileşikleri 100mL'lik çözelti karışımı için CdSe filmlerinin üretiminin yapılabilmesi için deneylerde kullanılan bileşiklerdir.

Ortamın asitliğini düzenlemek için %23 HCl (hidroklorik asit), %58 H_2SO_4 (Sülfirik asit), %70 HNO_3 (Nitrik asit) ve %68 $HClO_4$ (Per klorik asit) kullanılmıştır. Çözeltinin pH değeri 3,5 olarak belirlenmiştir. Katodik potansiyel değeri -0,7V; Çözeltinin pH değeri 3,5 olarak belirlenmiştir.

SET4 için 0,01 M $Pb(NO_3)_2$ 0,05 M $Na_2Se_2O_3$ ve 0,0025 M EDTA ayrıca 0,1 M KCl bileşikleri 100mL'lik çözelti karışımı için PbS filmlerinin üretiminin yapılabilmesi için deneylerde kullanılan bileşiklerdir. Ortamın asitliğini düzenlemek için %23 HCl kullanılmıştır. Çözeltinin pH değeri 2,88 olarak belirlenmiştir. Katodik potansiyelleri sırasıyla S15, S16, S17, S18 ve S19 için -0.55, -0.60, -0.65, -0.70, -0.75 V olarak belirlenmiştir. Depozisyon süresi 1200 saniye; depozisyon sıcaklığı ise 25°C olarak belirlenmiştir. Çözelti manyetik karıştırıcı vasıtasıyla 1100 rpm'de döndürülmüştür.

Deney sonuçlarının XRD, UV ve SEM analizleri incelendikten sonra, en uygun SET'ler ile tekrar üretim gerçekleştirilerek SET V oluşturulmuş ve CdSe/PbS hetero yapısı üretilmiştir. CdSe alt yapı için S3, S12, S13, S14 değerleri alınmış ve PbS alt yapı için ise S15 değerleri alınmıştır.

Tablo 2.1 Set 1de üretilen CdSe filmlerinin büyütme parametreleri

SET1	Çözelti bileşiği			Katodik Potansiyel (V)	Depozisyon Sıcaklığı (°C)	pH HCl	Depozisyon Süresi (s)
	100 mL	100 mL	100 mL				
S1	0,05M $CdCl_2$	0,025M $Na_2Se_2O_3$	0,1M KCl	-1V	50±2	2,51	1200
S2	0,05M $CdCl_2$	0,025M $Na_2Se_2O_3$	0,1M KCl			3,08	
S3	0,05M $CdCl_2$	0,025M $Na_2Se_2O_3$	0,1M KCl			3,50	
S4	0,05M $CdCl_2$	0,025M $Na_2Se_2O_3$	0,1M KCl			4,10	

Tablo 2.2. Set 2 de üretilen CdSe filmlerinin büyütme parametreleri

SET2	Çözelti bileşiği			Katodik Potansiyel (V)	Depozisyon Sıcaklığı (°C)	pH HCl	Depozisyon Süresi (s)
	100 mL	100 mL	100 mL				
S5	0,05M $CdCl_2$	0,025M $Na_2Se_2O_3$	0,1M KCl	-0,7V	80±2	2,58	1200
S6	0,05M $CdCl_2$	0,025M $Na_2Se_2O_3$	0,1M KCl			3,07	
S7	0,05M $CdCl_2$	0,025M $Na_2Se_2O_3$	0,1M KCl			3,53	
S8	0,05M $CdCl_2$	0,025M $Na_2Se_2O_3$	0,1M KCl			4,06	
S9	0,05M $CdCl_2$	0,025M $Na_2Se_2O_3$	0,1M KCl			4,54	
S10	0,05M $CdCl_2$	0,025M $Na_2Se_2O_3$	0,1M KCl			5,01	

Tablo 2.3. Set 3 te üretilen CdSe filmlerinin büyütme parametreleri

SET3	Çözelti bileşiği			Katodik Potansiyel (V)	Depozisyon Sıcaklığı (°C)	pH=3.5	Depozisyon Süresi (s)
	100 mL	100 mL	100 mL				
S11	0,05M $CdCl_2$	0,025M $Na_2Se_2O_3$	0,1 M KCl	-0.7V	80±2	HCl	1500
S12	0,05M $CdCl_2$	0,025M $Na_2Se_2O_3$	0,1 M KCl			H_2SO_4	
S13	0,05M $CdCl_2$	0,025M $Na_2Se_2O_3$	0,1 M KCl			HNO_3	
S14	0,05M $CdCl_2$	0,025M $Na_2Se_2O_3$	0,1 M KCl			$HClO_4$	

Tablo 2.4. Set 4 te üretilen PbS filmlerinin büyütme parametreleri

SET4	Çözelti bileşiği			Katodik Potansiyel (V)	Depozisyon Sıcaklığı (°C)	pH	Depozisyon Süresi (s)
	100 mL	100 mL	100 mL				
S15	0,01M $Pb(NO_3)_2$	0,05M $Na_2Se_2O_3$	0,0025M EDTA	-0.55	25±2	2.88	1200
S16	0,01M $Pb(NO_3)_2$	0,05M $Na_2Se_2O_3$	0,0025M EDTA	-0.60			
S17	0,01M $Pb(NO_3)_2$	0,05M $Na_2Se_2O_3$	0,0025M EDTA	-0.65			
S18	0,01M $Pb(NO_3)_2$	0,05M $Na_2Se_2O_3$	0,0025M EDTA	-0.70			
S19	0,01M $Pb(NO_3)_2$	0,05M $Na_2Se_2O_3$	0,0025M EDTA	-0.75			

Tablo 2.5. Set 5 te üretilen PbS filmlerinin büyütme parametreleri

SET5	Çözelti Bileşigi			Depozisyon sıcaklığı (°C)	Kathodik Potansiyel (V)	pH	Depozisyon süresi (s)
S20	0,05M $CdCl_2$	0,025M $Na_2Se_2O_3$	0,1 M KCl	20±2	-1	HCl 3.5	1200
	0,01M $Pb(NO_3)_2$	0,05M $Na_2Se_2O_3$	0,0025M EDTA	-0.55	25±2	HCl 2.88	1200
S21	0,05M $CdCl_2$	0,025M $Na_2Se_2O_3$	0,1 M KCl	-0.7V	80±2	H_2SO_4 3.5	1500
	0,01M $Pb(NO_3)_2$	0,05M $Na_2Se_2O_3$	0,0025M EDTA	-0.55	25±2	HCl 2.88	1200
S22	0,05M $CdCl_2$	0,025M $Na_2Se_2O_3$	0,1 M KCl	-0.7V	80±2	HNO_3 3.5	1500
	0,01M $Pb(NO_3)_2$	0,05M $Na_2Se_2O_3$	0,0025M EDTA	-0.55	25±2	HCl 2.88	1200
S23	0,05M $CdCl_2$	0,025M $Na_2Se_2O_3$	0,1 M KCl	-0.7V	80±2	$HClO_4$ 3.5	1500
	0,01M $Pb(NO_3)_2$	0,05M $Na_2Se_2O_3$	0,0025M EDTA	-0.55	25±2	HCl 2.88	1200

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

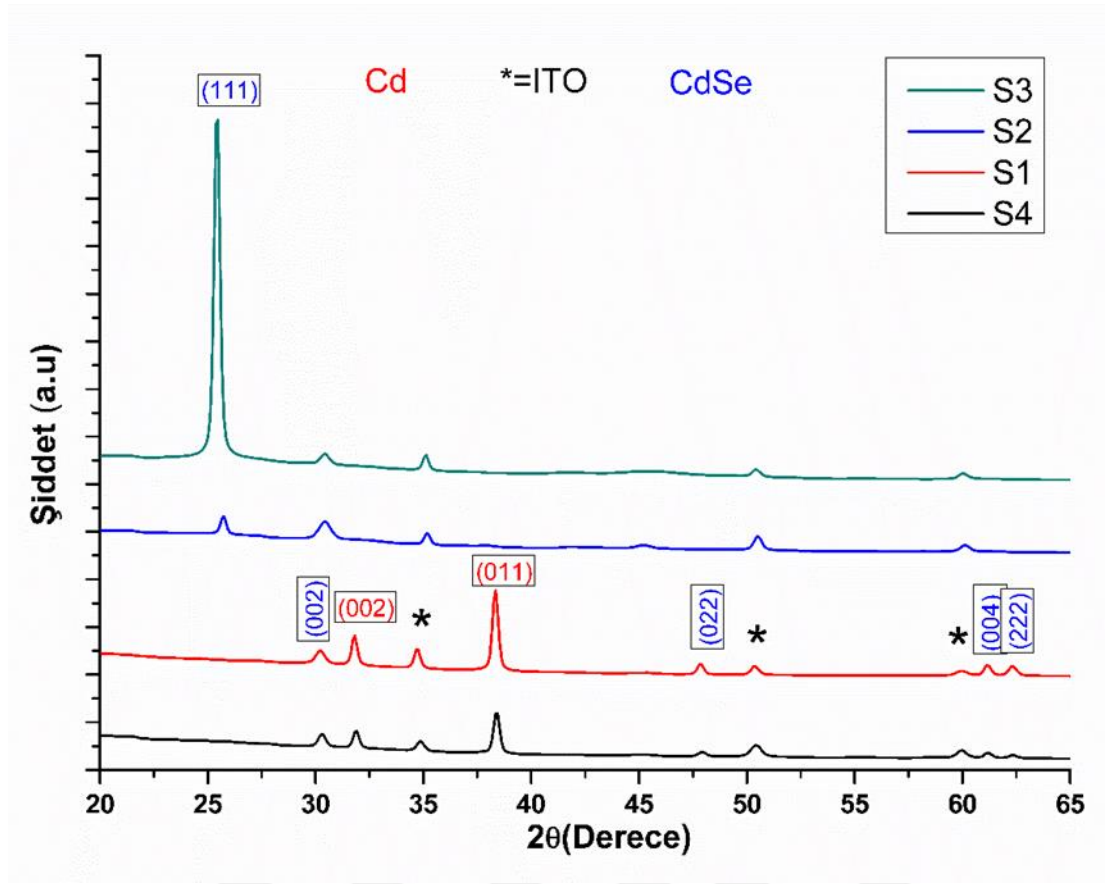
3.1 CdSe ve PbS İnce Filmlerin Karakterizasyonu

3.1.1. CdSe ve PbS İnce Filmlerin XRD Analizi

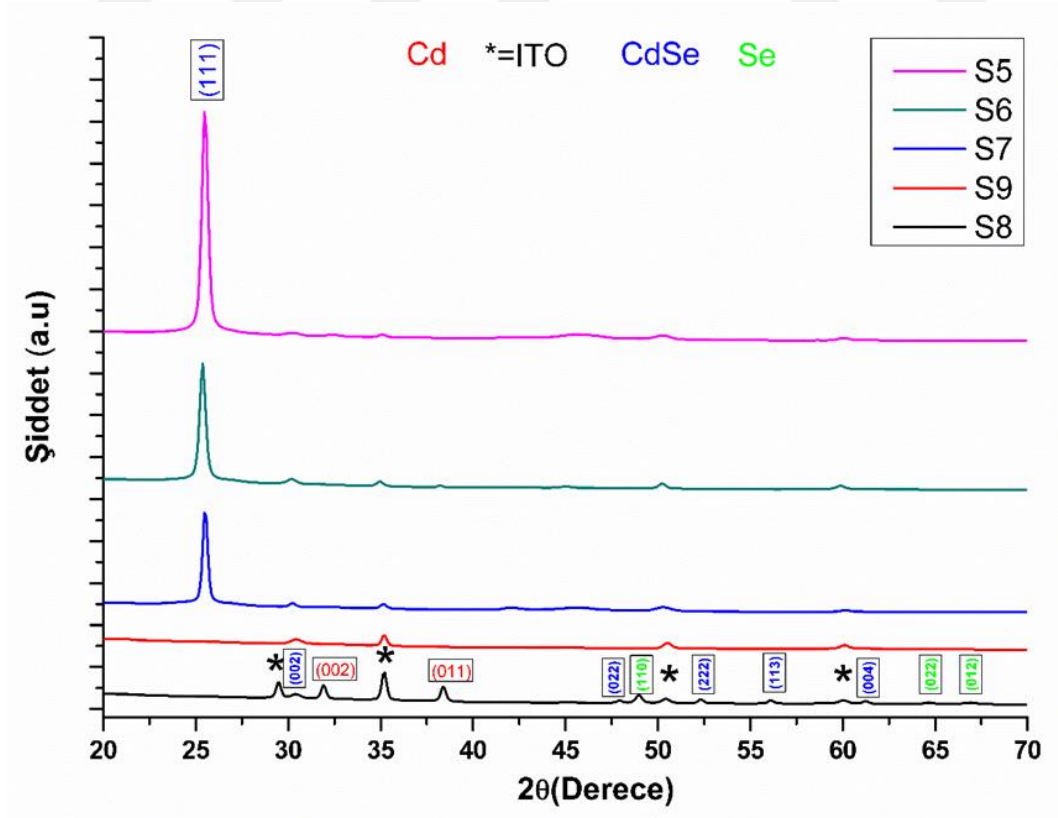
SET I, SET II, SET III ve SET IV'den üretilen filmlerin X-ışınım kırınım grafikleri S1'den S19'a kadar sırası ile Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'de verilmiştir.

Şekil 3.1'deki grafikler incelendiğinde, SET1'den üretilen filmlerin kübik CdSe yapısına ait olan farklı açılar değerlerinde 5 adet pike sahip oldukları tespit edilmiştir. Bu pikler sırasıyla 25,42°; 30,21°; 47,85°; 61,16° ve 62,32°'ye (111), (002), (022), (004), (222) yansıma düzlemlerine karşılık gelmektedir. Bu pikler incelendiğinde yansıma düzlemlerine uygun olarak sırasıyla (98-062-0421), (98-018-1027), (98-018-1026), (98-062-0421) ve (98-018-1027) numaralı ICDD kartları ile uyumlu oldukları belirlenmiştir. Ayrıca S2'den ve S3'den üretilen film hariç SET1 içerisinde üretilen tüm filmlerin Cd piklerine sahip oldukları gözlenmiştir. Bu pikler sırasıyla 31,85°; 38,37° Cd pikleridir. Yansıma düzlemleri ise, sırasıyla (002) ve (011) olarak belirlenmiştir. İnceleme yapıldığında Cd piklerinin yansıma düzlemlerine uygun olarak (98-061-9639) numaralı ICDD kartı ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

SET2 için üretilen filmlerin kübik CdSe yapısına ait olan farklı açılar değerlerinde 9 adet pike sahip oldukları tespit edilmiştir. Bu pikler yaklaşık olarak sırasıyla 25,49°; 30,40°; 47,93°; 52,31°; 56,10°; 61,19° ve (111), (002), (022), (222), (113), (004) yansıma düzlemlerine karşılık gelmektedir. Bu pikler incelendiğinde yansıma düzlemlerine uygun olarak sırasıyla (98-062-0421), (98-018-1027), (98-018-1026), (98-062-0436), (98-018-1026) ve (98-062-0439) numaralı ICDD kartları ile uyumlu oldukları belirlenmiştir. İlaveten 31,89°, 38,36° piklerinin Cd'a ait oldukları gözlemlenmiştir ve yansıma düzlemleri ise sırasıyla, (002) ve (001), olarak belirlenmiştir. 48,92°; 64,64° ve 66,86°; piklerinin Se'a ait oldukları ve yansıma düzlemlerinin ise sırasıyla (110), (022), (012) olduğu tespit edilmiştir. İnceleme yapıldığında, Cd piklerinin yansıma düzlemlerine uygun olarak (98-061-9639) numaralı ICDD kartı ile ve Se piklerinin ise (98-002-3073), (98-016-4265), (98-065-6547) numaralı ICDD kartları ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

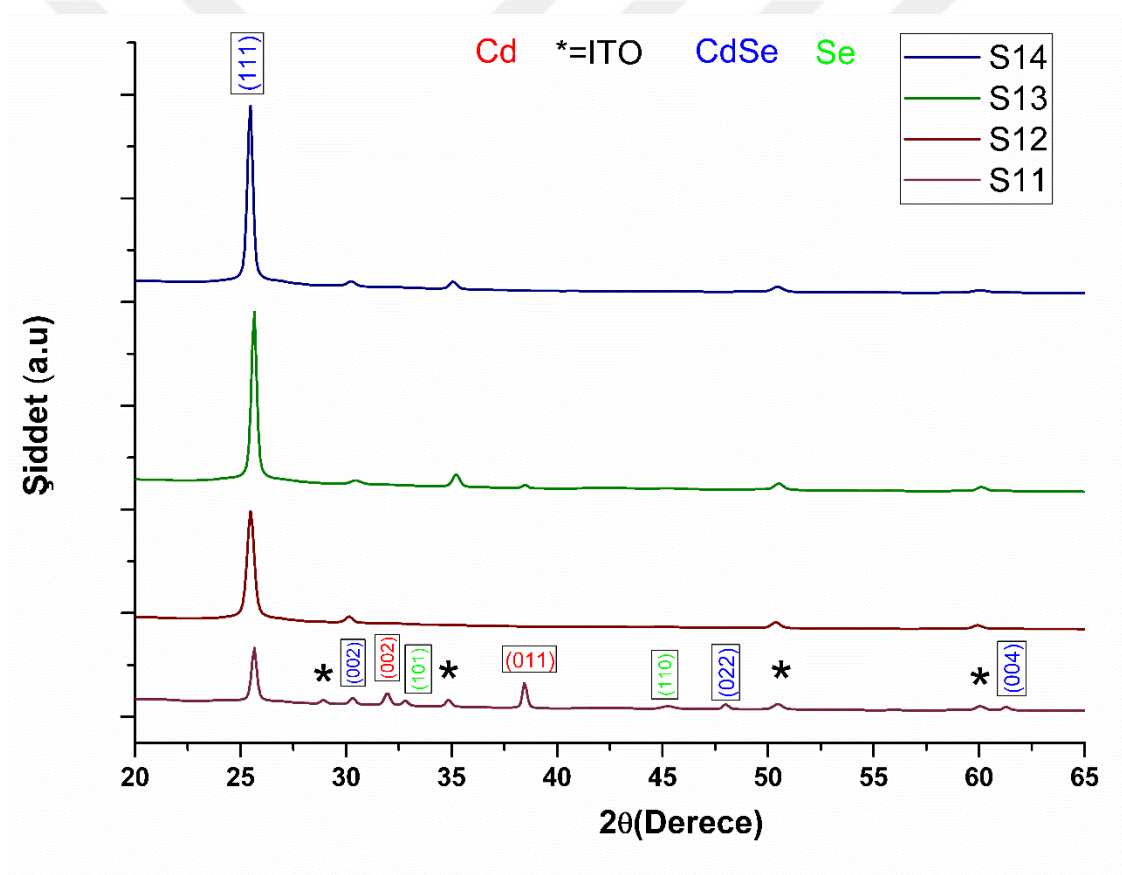


Şekil 3.1. SET I'den üretilen CdSe filmlerinin XRD kırınım grafikleri



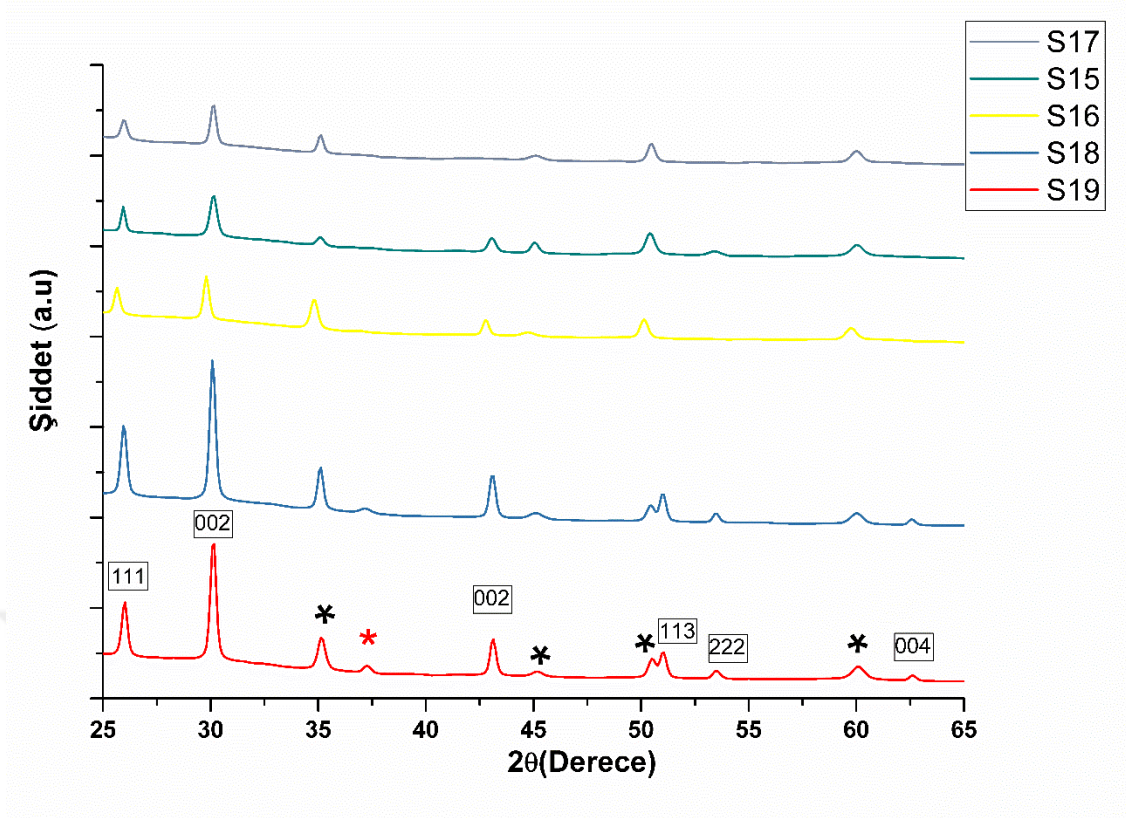
Şekil 3.2. SET II'den üretilen CdSe filmlerinin XRD kırınım grafikleri

SET 3 incelendiğinde CdSe yapısına ait olan farklı açı değerlerinde 5 adet pike sahip oldukları tespit edilmiştir. Bu pikler sırasıyla 25,64°; 30,31°; 47,98°; 61,28° ve (111), (002), (022), (004) yansıma düzlemlerine karşılık gelmektedir. Bu pikler incelendiğinde yansıma düzlemlerine uygun olarak sırasıyla (98-062-0439), (98-018-1027), (98-062-0421), (98-018-1027) numaralı ICDD kartları ile uyumlu oldukları belirlenmiştir. Bununla birlikte S11'den üretilen filmde görülen 31,92°, 38,43° piklerinin Cd'a ait oldukları belirlenmiş ve (002) ile (011) yansıma düzlemlerine karşılık geldikleri görülmüştür. 32,78° ve 45,21° piklerin ise Se'a ait oldukları görülmüş ve (101) ile (110) yansıma düzlemlerine karşılık geldikleri belirlenmiştir. Ek olarak, sözü edilen bu piklerin sırasıyla (98-061-9639), (98-061-9639), (98-002-3073) ve (98-002-3069) numaralı ICDD kartları ile uyumlu oldukları belirlenmiştir. Ayrıca S10 şartlarında CdSe film üretilmemiştir.



Şekil 3.3. SET III'ten üretilen CdSe filmlerinin XRD kırınım grafikleri

SET 4 için üretilen filmlerin galena PbS yapısına ait 6 adet pik tespit edilmiştir. Bunlar sırasıyla 25,96°; 30,12°; 43,06°; 51,01°; 53,48°; 62,58° olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu piklere karşılık gelen yansıma düzlemleri ise sırasıyla (111), (002), (022), (113), (222), (004) olarak görülmüştür. PbS piklerin tamamının (98-003-8293) numaralı ICDD kartları ile uyumlu oldukları tespit edilmiştir.



Şekil 3.4. Set IV'te üretilen PbS filmlerinin pik XRD kırınım grafikleri

SET I, SET II, SET III ve SET IV'den edilen CdSe ve PbS filmlerin ilgili düzlemlerine ait, pik açısı, şiddet, yapılanma katsayısı değerleri Tablo 3.1, Tablo 3.2, Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'de verilmiştir.

Filmlerin tercihli yönelimini belirlenebilmesi amacıyla yapılanma katsayısı TC (Texture coefficient) kullanılmaktadır. Bu çalışmada üretilen tüm filmlerin yapılanma katsayısı değeri denklem (3.1) kullanılarak hesaplanmıştır ve Tablo 3.1, Tablo 3.2, Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'de verilmiştir. Üretilen CdSe ve PbS filmler incelendiğinde yapılanma katsayısı değeri 1'den büyük bir den fazla yansıma düzlemi mevcut ise, sözü edilen filmler için tek bir tercihli yönelimden bahsedilemez (Nair ve ark., 1998: 340)

$$T_C = \frac{I(hkl)/I_o(hkl)}{(1/N) \cdot [\sum_N I(hkl)/I_o(hkl)]} \quad (3.1)$$

Tablo 3.1, Tablo 3.2 ve Tablo 3.3 incelendiğinde SET I'deki CdSe filmleri içerisinde S1'den üretilen film ve SET II'deki CdSe filmleri içerisinde S8'de üretilen film hariç tüm filmlerin yapılanma katsayılarının 1'den büyük olduğu tek bir yansıma düzlemi olduğu görülmüştür. Buna dayanarak; S2, S3, S5, S6, S7, S11, S12, S13 ve S14'den elde edilen filmlerin (111) düzleminde tercihli yönelime sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ek olarak, S4

ve S8'den elde edilen filmlerin tercihli yöneliminin değiştiği gözlenmiştir ve (002) düzleminde tercihli yönelime sahip olduğu raporlanmıştır.

Tablo 3.1. SET I'den edilen filmlerin ilgili düzlemlerine ait, pik açısı, şiddet, yapılanma katsayısı değerleri

	2θ (açı)	Şiddet (sayı/saniye)	I/I₀	TC	(hkl)
S1	30,211	1525,895	15,20	1,07	002
	47,854	1222,656	14,45	1,02	022
	61,168	1227,787	15,24	1,07	004
	62,329	1126,8	12,01	0,84	222
S2	25,722	2135,364	100	1,05	111
	30,427	2271,356	91,01	0,95	002
S3	25,428	41346,81	100	1,95	111
	30,421	1344,477	2,73	0,05	002
S4	30,298	1355,73	28,04	1,88	002
	47,928	520,646	10,63	0,71	022
	61,194	566,477	13,29	0,89	004
	62,345	356,771	7,67	0,51	222

Tablo 3.2. SET II'den edilen filmlerin ilgili düzlemlerine ait, pik açısı, şiddet, yapılanma katsayısı değerleri

	2θ(açı)	Şiddet (sayı/saniye)	I/I₀	TC	hkl
S5	25,497	56848,65	100	1,98	111
	30,180	816,627	1,11	0,02	002
S6	25,374	29622,14	100	1,92	111
	30,162	1270,068	3,96	0,08	002
S7	25,511	24299,26	100	4,73	111
	30,233	1061,655	3,74	0,18	002
	42,117	534,746	1,98	0,09	022
S8	30,400	1225,288	13,31	1,07	002
	47,936	626,614	9,32	0,75	022
	52,319	1050,66	14,95	1,20	222
	56,103	824,675	12,54	1,01	113
S9	61,647	386,796	10,30	0,83	004
	30,428	1186,419	37,36	1,00	002
S10	OLUŞMADI				

Tablo 3.3. SET III'den edilen filmlerin ilgili düzlemlerine ait, pik açısı, şiddet, yapılanma katsayısı değerleri

	2 θ (Açı)	Şiddet Sayı/saniye	I/I_0	TC	hkl
S11	25,6579	13257,73	100	3,81	111
	30,2579	3562,53	13,67	0,52	002
	47,9219	2304,117	10,03	0,38	004
	61,2619	1895,676	7,65	0,29	222
S12	25,4739	23800,87	100	1,89	111
	30,1659	3442,503	5,85	0,11	002
S13	25,6579	35854,33	100	1,95	111
	30,4419	3452,021	2,32	0,05	002
S14	25,4739	37202,12	100	1,95	111
	30,2579	3406,265	2,77	0,41	002

Tablo 3.4 incelendiğinde setteki tüm PbS filmlerin yapılanma katsayısı değeri 1'den büyük birden fazla yansıma düzlemine sahip olduğu görülmüştür. Sözü edilen filmler için tek bir tercihli yönelim gözlemlenmemiştir.

Tablo 3.4. SET IV'den edilen filmlerin ilgili düzlemlerine ait, pik açısı, şiddet, yapılanma katsayısı değerleri

	2 θ (açı)	Şiddet (sayı/saniye)	I/I_0	TC	hkl
S15	25,936	1469,05	61,68	1,52	111
	30,130	2521,005	93,10	2,29	002
	43,066	890,237	33,26	0,82	022
	53,384	290,884	6,82	0,17	222
S16	25,651	1615,07	59,6	1,45	111
	30,124	2470,497	100	2,43	002
	42,786	966,08	38,89	0,94	022
S17	25,966	1207,471	47,76	1,54	111
	30,124	2470,497	100	3,22	002
S18	25,964	4359,78	50,11	1,17	111
	30,092	8401,84	100	2,33	002
	51,005	1798,24	32,44	0,76	113
	53,482	583,361	20,53	0,48	222
	62,581	363,850	7,08	0,16	004
S19	25,997	3349,24	43,01	1,04	111
	30,122	7389,591	100	2,42	002
	43,12	2223,766	30,21	0,73	022
	51,008	1709,161	21,74	0,53	113
	53,503	530,911	6,63	0,16	222
	62,613	344,609	4,85	0,12	004

Bu çalışmada edilen tüm CdSe ve PbS filmlerin tane büyüklükleri, dislokasyon yoğunlukları, doğrulanmış örgü parametreleri, mikro strain değerleri ve ortalama gerilme değerleri Tablo 3.5, Tablo 3.6, Tablo 3.7 ve Tablo 3.8'de verilmiştir.

CdSe ve PbS filmlerin ortalama kristalit (tane büyüklüğü) boyutları, denklem (3.2)'de verilen Debye Scherrer denklemi ile hesaplanmıştır (Bhowmik ve diğerleri, 2008: 5).

$$cs = \frac{0,89.180.\lambda}{3,14.\beta.\cos \theta_c} nm \quad (3.2)$$

Bu denklemde cs kristalit boyutunu, λ X-ışını radyasyonunun dalga boyunu (1,54056 Å) $2\theta_c$ pik merkezinin konumudur (dikkate alınan pikin Bragg yansıma açısı) ve β ise maksimum tepe yüksekliğinin yarısındaki tam genişliği ifade etmektedir (FWHM). Tüm setlere ait tane büyüklükleri Tablo 3.5, Tablo 3.6, Tablo 3.7 ve Tablo 3.8’de verilmiştir.

Kristal yapıdaki çizgisel kusurlar dislokasyon olarak tanımlanmaktadır. Bir malzemenin belli bir kısmında bulunan dislokasyonların miktarı, dislokasyon yoğunluğu ifadesiyle tanımlanmaktadır ve denklem 3.3’te verilmektedir.

$$\delta = \frac{1}{cs^2} \quad (3.3)$$

Dislokasyon yoğunluğu (δ) kristalin birim başına düşen hacmindeki dislokasyon çizgilerinin uzunluğunu ifade eder. Küçük değerli olması numunenin kristalleşme seviyesinin iyi olduğunu göstermektedir. Yarı iletken malzemeler üzerindeki X ışınının kırınım ölçümleri ile örgü parametreleri de bulunabilir. Örgü parametreleri ile büyüme düzlemine dik olan epilayer ve altlık arasındaki uyumsuzluk belirlenebilir, bu sonuçlarda bize stres ve gerilme hakkında bilgi verir. (Önal, 2020: 21) Setlere ait dislokasyon değerleri Tablo 3.5, Tablo 3.6, Tablo 3.7 ve Tablo 3.8’de gösterilmiştir.

Yapılan incelemelerde elde edilen CdSe ve PbS filmlerin kübik yapıya sahip olduğu görülmüştür. Kübik yapılar için örgü parametresi (a) ile verilmiştir. a parametresine ait denklem 3.4 te verilmiştir.

$$a = d.\sqrt{(h^2 + k^2 + l^2)} \quad (3.4)$$

Denklem 3.3 te verilen d , kristal kafesindeki düzlemler arasındaki boşluk, (hkl) ise yansıma indislerini göstermektedir. Setlerin örgü parametrelerine ait değerler Tablo 3.5, Tablo 3.6, Tablo 3.7 ve Tablo 3.8’de gösterilmiştir.

Ayrıca mikro gerginlik (strain) ve ortalama gerilme (stres) sırasıyla denklem 3.5 ve denklem 3.6’da verilmiştir.

$$\varepsilon = (a_0 - a)/a_0 \quad (3.5)$$

$$S = \varepsilon.Y/2.\sigma \quad (3.6)$$

Burada a_0 ve a sırasıyla, bulk örneğinin örgü parametresi ve ince film numunelerinin örgü parametresinin düzeltilmiş değeridir. σ ve Y ise sırasıyla, bulk kristalinin Poisson oranı ve

young modülüdür. (Kıyak Yıldırım ve Altıokka, 2018: 46). CdSe filmler için Y'nin değeri 55 GPa, σ değeri ise 0,3; PbS filmler için Y'nin değeri 70,2 GPa, ve σ değeri ise 0,28 olarak alınmaktadır. Setlere ait olan mikro strain ve ortalama stres değerleri Tablo 3.5, Tablo 3.6, Tablo 3.7 ve Tablo 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.5. SET 1'den üretilen ince filmlerin tane büyüklükleri, dislokasyon yoğunlukları, doğrulanmış örgü parametreleri, mikro strain değerleri ve ortalama gerilme değerleri

	2 θ	Tane Büyüklüğü (nm)	Örgü Parametresi (Doğrulanmış) (Å)	Mikro Strain $\times 10^{-3}$	Dislokasyon Yoğunluğu (çizgi/m ²)*10 ¹⁴	Ortalama Stres(10 ⁸ N/ m ²)
S3	25,428	26,34	6,07215	184	14,4	153
	30,421	14,79	5,87932	146	45,7	122
S1	30,211	16,20	5,91984	154	38,1	128
	447,8 54	26,19	5,38060	48,9	14,6	40,7
	61,168	23,88	6,06516	182	17,5	152
	62,329	19,65	5,16435	6,70	25,9	5,58
S4	30,298	26,72	5,90422	151	14	126
	47,928	22,15	5,37262	47,3	20,4	39,4
	61,194	25,92	6,06244	182	14,9	151
	62,345	21,85	5,16258	6,35	20,9	5,29
S2	25,722	26,85	6,00325	170	13,9	142
	30,427	10,68	5,87930	146	87,7	122

Tablo 3.6. SET 2’den üretilen ince filmlerin tane büyüklükleri, dislokasyon yoğunlukları, doğrulanan örgü parametreleri, mikro strain değerleri ve ortalama gerilme değerleri

	20	Tane Büyüklüğü (nm)	Örgü Parametresi a (Doğrulan) (Å)	Mikro Strain *10 ⁻³	Dislokasyon Yoğunluğu (çizgi/m ²)*10 ¹⁴	Ortalama Stres(10 ⁸ N/m ²)
S6	25,374	22,61	6,084643	186	19,6	155
	30,162	12,40	5,92654	155	65,1	129
S5	25,497	21,41	6,055787	180	21,8	150
	30,18	6,49	5,91206	152	237	127
S9	30,428	11,43	5,8764	145	76,5	121
S8	30,400	11,49	5,8802	146	75,7	122
	47,936	25,28	5,372626	47,3	15,7	39,4
	52,319	25,36	6,061797	182	15,5	151
	56,103	26,25	5,441022	60,6	14,5	50,5
	61,647	14,34	6,05852	22,8	48,6	19
S7	25,511	27,29	6,052669	180	13,43	150
	30,233	19,14	5,9157	153	27,3	128
	42,117	8,92	6,075914	184	125,6	154

Tablo 3.7. SET 3’den üretilen ince filmlerin tane büyüklükleri, dislokasyon yoğunlukları, doğrulanmış örgü parametreleri, mikro strain değerleri ve ortalama gerilme değerleri

	2θ	Tane Büyüklüğü (nm)	Örgü Parametresi a (Doğrulanmış)(Å)	Mikro Strain *10 ⁻³	Dislokasyon Yoğunluğu (çizgi/m ²)*10 ¹⁴	Ortalama Stres(10 ⁸ N/m ²)
S12	25,478	22,18	6,060151	181	20,33	151
	30,134	19,98	5,9348	157	25,05	131
S11	25,641	29,83	6,02144	174	11,2	145
	30,314	28,35	5,90176	150	12,4	125
	47,986	28,65	5,366346	46,1	12,2	38,4
	61,285	24,47	6,05444	180	16,7	150
S13	25,639	28,76	6,023068	17,4	12,1	145
	30,442	13,21	5,87366	145	57,3	121
S14	25,543	29,39	6,066196	182	11,6	152
	30,221	15,55	5,91604	153	41,3	128

S2, S3’den elde edilen filmlerin (111) düzlemlerine ait olan tane büyüklüğü, dislokasyon yoğunluğu mikro strain ve ortalama stres değerleri incelendiğinde yaklaşık olarak aynı değere sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. S5, S6 ve S7’den elde edilen filmlerin (111) düzlemlerine ait olan aynı değerler incelendiğinde ise, S7’den elde edilen filmin dislokasyon yoğunluğu, mikro strain ve ortalama stres değerleri yaklaşık olarak aynı değere sahip olmasına karşın tane büyüklüğünün S5 ve S6’dan elde edilen filmlerden daha büyük olduğu raporlanmıştır.

S11, S12, S13 ve S14’den elde edilen filmlerin (111) düzlemlerine ait olan tane büyüklüğü, dislokasyon yoğunluğu mikro strain ve ortalama stres değerleri incelendiğinde S12’den elde edilen filmin tane büyüklüğünün S11, S13 ve S14’den daha küçük olduğu raporlanmıştır. S15’den elde edilen film incelendiğinde negatif mikro strain ve ortalama stres gözlenmiştir.

Tablo 3.8. SET 4'den üretilen ince filmlerin tane büyüklükleri, dislokasyon yoğunlukları, doğrulanmış örgü parametreleri, mikro strain değerleri ve ortalama gerilme değerleri

	20	Tane Büyüklüğü(nm)	Örgü Parametresi a (Doğrulanmış) (Å)	Mikro Strain *10 ⁻³	Dislokasyon Yoğunluğu (çizgi/m ²)*10 ¹⁴	Ortalama Stres(10 ⁸ N/m ²)
S15	25,936	35,9753	5,954098	2,88	7,73	3,60
	30,13	20,8524	5,93666	-0,06	23	-0,07
	43,066	19,2304	5,945128	1,37	27	1,71
	53,384	10,9052	5,947343	1,74	84,1	2,18
S16	25,651	26,3199	6,019136	13,8	14,4	17,3
	30,124	26,9282	6,0104	12,4	13,8	15,5
	42,786	24,0973	5,982321	7,63	17,2	9,54
S17	25,966	24,7207	5,947014	1,69	16,4	2,11
	30,124	26,9282	5,93798	0,17	13,8	0,21
S18	25,964	25,5839	5,948521	1,94	15,3	2,43
	30,092	27,5652	5,944	1,18	13,2	1,47
	51,005	21,9714	5,942131	0,86	20,7	1,08
	53,482	23,6382	5,939514	0,42	17,9	0,53
	62,581	22,7466	8,59264	447	19,3	559
S19	25,997	26,5114	5,941298	0,72	14,2	0,91
	30,122	27,1983	5,93856	0,26	13,5	0,33
	43,12	27,4147	5,93817	0,2	13,3	0,25
	51,008	19,2070	5,940174	0,54	27,1	0,67
	53,503	19,3279	5,937401	0,07	26,8	0,08
	62,613	21,9885	5,93828	0,22	20,7	0,27

3.1.2 CdSe İnce Filmlerin Optik analizleri

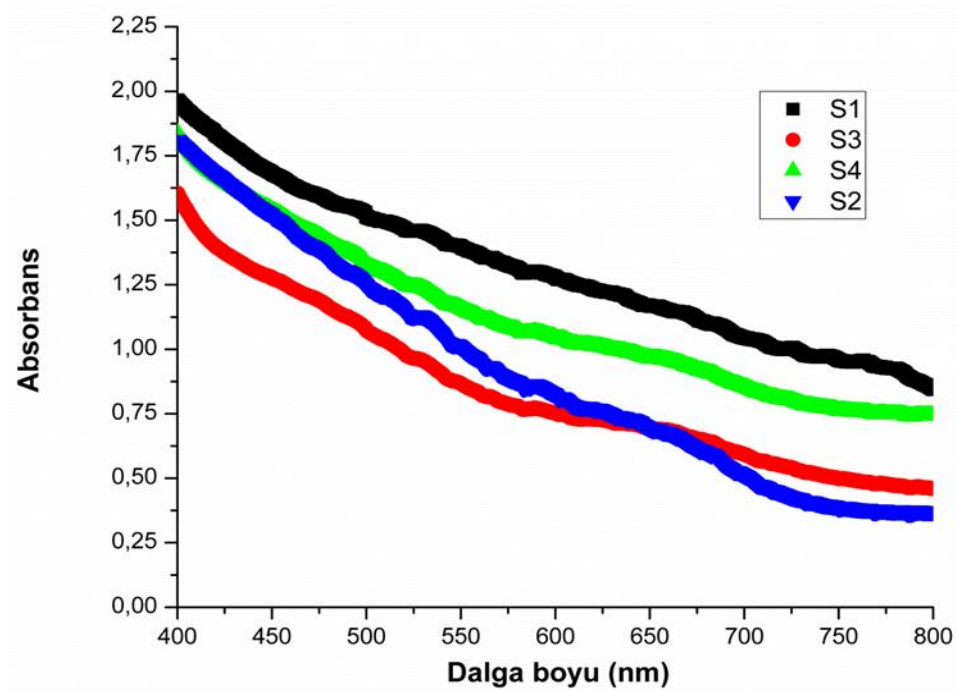
SET I, SET II, SET III'den elde edilen filmlerin optik analizleri A&E LAB UV tek yollu UV-vis spektrofotometresi (AE-S60-4UPC) ile yapılmıştır.

Üretilen tüm filmlerin dalgaboyuna karşı absorbands grafikleri sırasıyla, Şekil 3.5; Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'de verilmiştir.

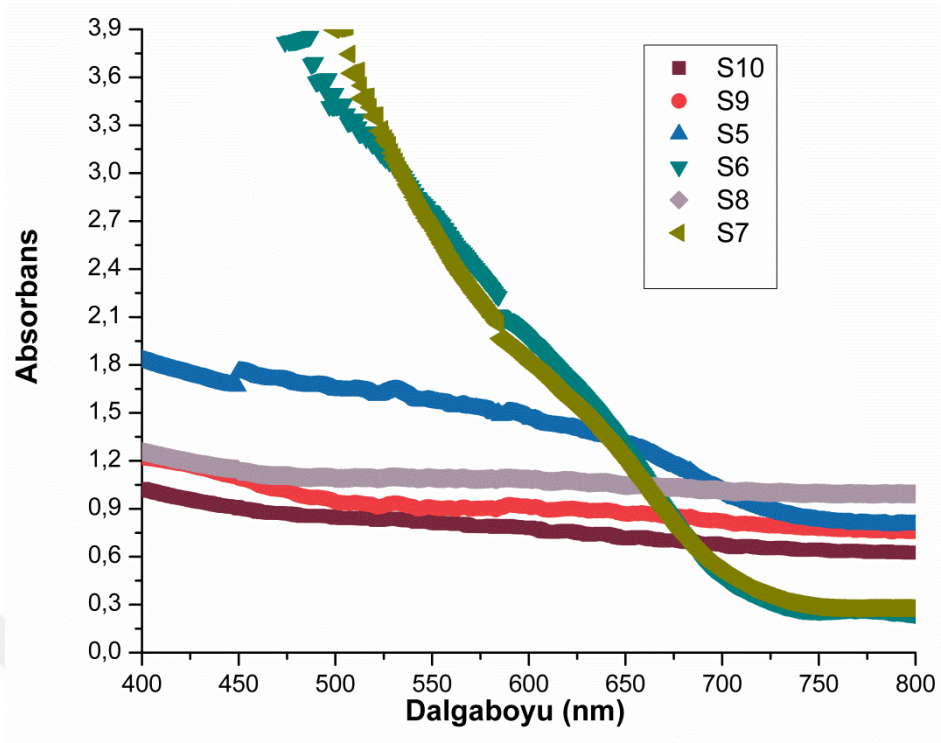
Şekil 3.5 incelendiğinde, absorbands eğrilerinin belirgin bir biçimde yükselişe geçtikleri görülmektedir. S2 ve S3'den üretilen filmlerin absorbands eğrilerinin belirgin bir biçimde 600 ile 400 nm arasında yükselişe geçtikleri görülmektedir. Ancak, SET 1'den elde edilen diğer absorbands eğrileri incelendiğinde belirgin bir biçimde yükselişe geçtikleri dalgaboyu aralığı görülmemektedir.

Şekil 3.6 incelendiğinde absorbands eğrilerinin belirgin bir biçimde yükselişe geçtikleri görülmemektedir. S6 ve S7'den üretilen filmlerin absorbands eğrilerinin belirgin bir biçimde 650 ile 500 nm arasında yükselişe geçtikleri görülmektedir. Ayrıca, S8, S9 ve S10'dan elde edilen absorbands eğrileri incelendiğinde 800 ile 400 nm arasında belirgin bir biçimde yükselişe geçtikleri dalgaboyu aralığı görülmemektedir. Ek olarak, S5'den elde edilen filmlerin 650 ile 400 nm arasında yükselişe geçtikleri görülmektedir.

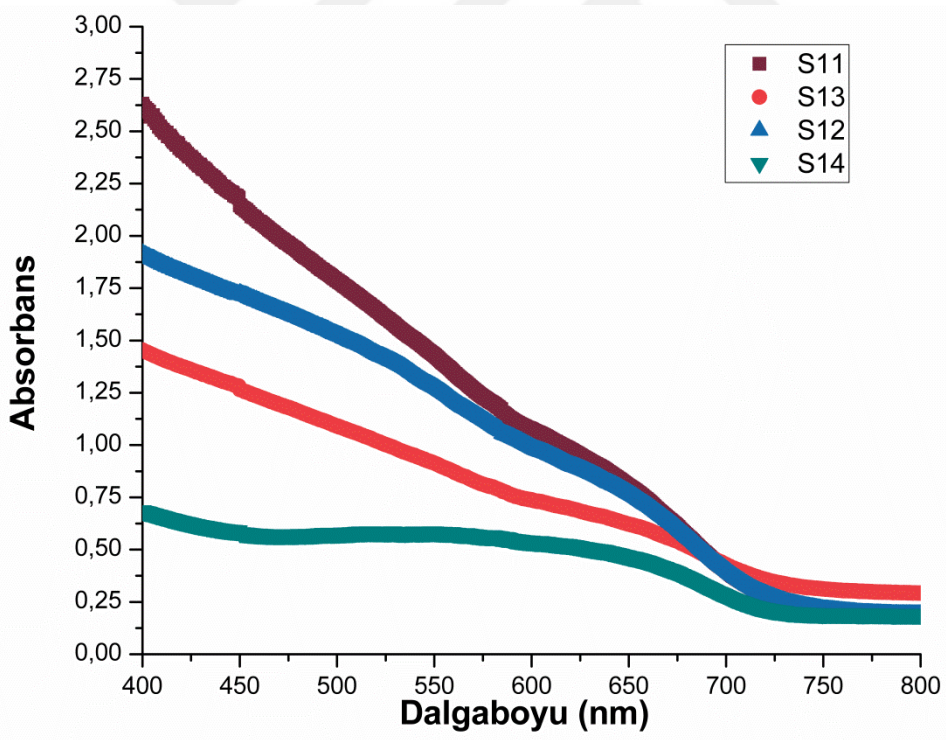
Şekil 3.7 incelendiğinde, kuvvetli asit değişimine bağlı olarak S11'den S14'e doğru absorbands değeri artmıştır.



Şekil 3.5. SET I'den üretilen filmlerin dalgaboyuna karşı absorbands grafikleri



Şekil 3.6. SET II'den üretilen filmlerin dalgaboyuna karşı absorbans grafikleri



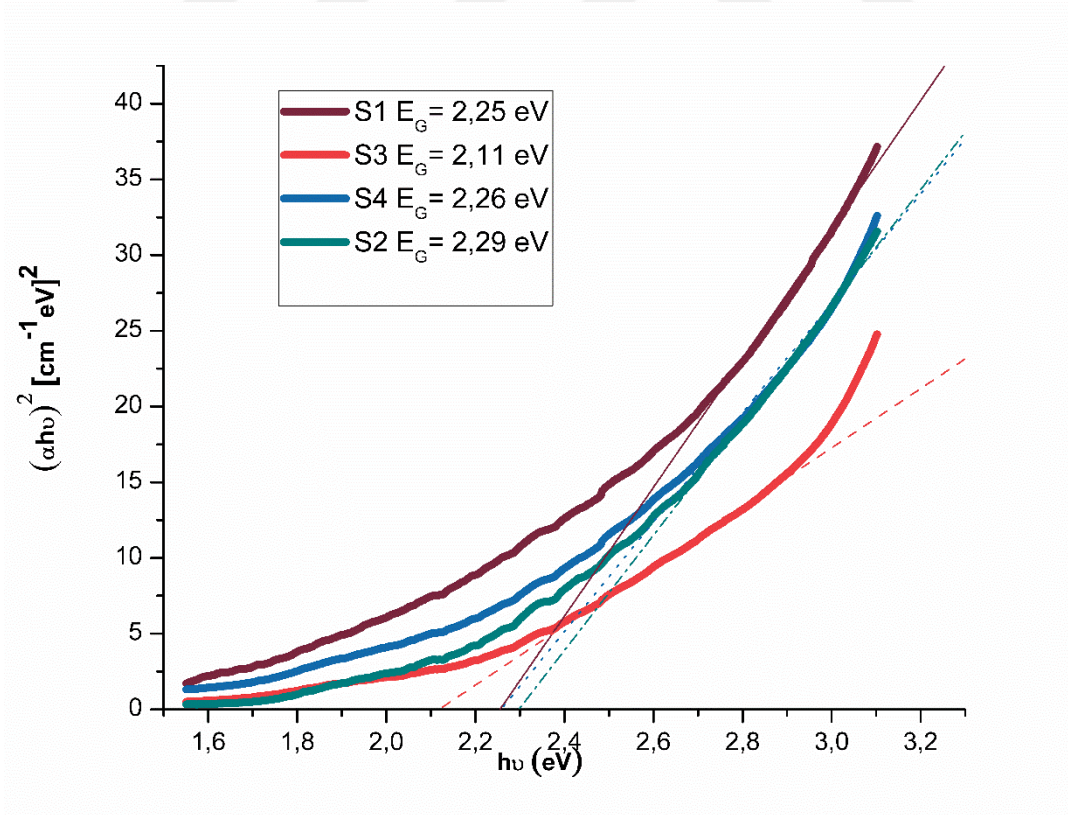
Şekil 3.7. SET III'den üretilen filmlerin dalgaboyuna karşı absorbans grafikleri

SET I, SET II, SET III'den elde edilen filmlerin yasak enerji aralıkları $h\nu$ 'ye karşı $(\alpha h\nu)^2$ grafiklerinden yararlanılarak bulunmuştur. Bu grafikler sırasıyla Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da verilmiştir.

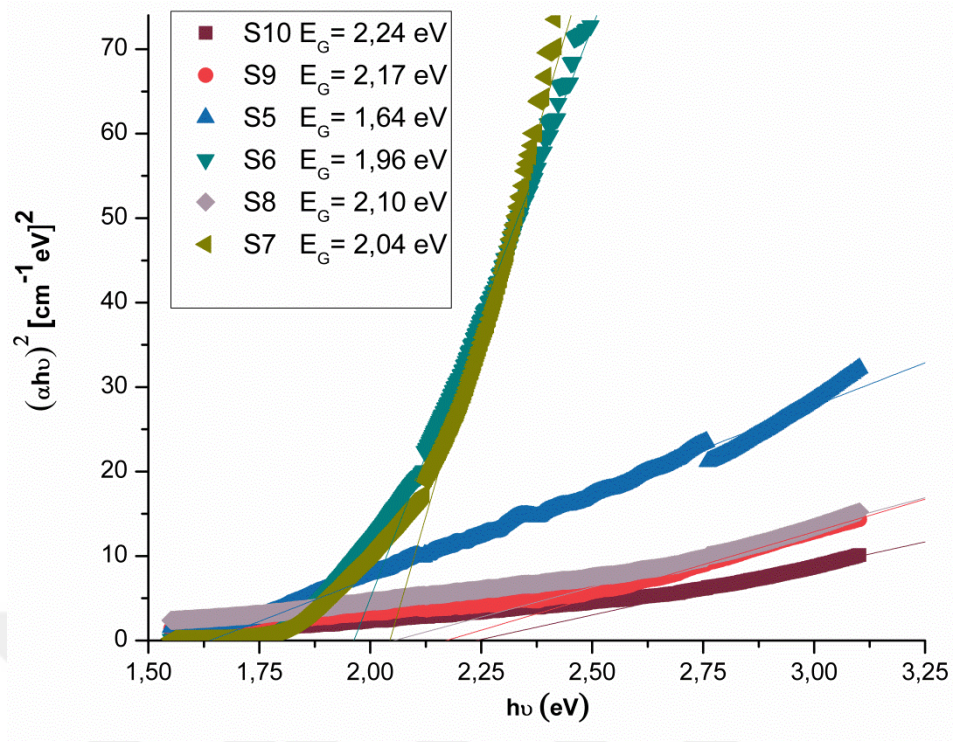
Şekil 3.8'deki grafikler incelendiğinde üretilen filmlerin yasak enerji aralığının S1'den S4'e 2,11 ile 2,29 eV arasında değiştiği görülmüştür. S2'den elde edilen SET1 içerisinde en yüksek yasak enerji aralığına sahip olan filmidir.

Şekil 3.9 incelendiğinde üretilen filmlerin yasak enerji aralığının S5'den S10'a 1,64 ile 2,24 eV arasında değiştiği görülmüştür. Çözelti pH değeri arttıkça yasak enerji aralığının S5'den S10'a arttığı gözlenmiştir. Bunun sebebi olarak, artan çözelti pH değerine bağlı olarak film kalınlıklarının artması düşünülmektedir. Ek olarak film kalınlıklarının artmasının kristalit büyüklüğünün artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Çünkü kristalit büyüklüğü arttıkça yasak enerji aralığının azaldığı daha önceki çalışmalardan bilinmektedir.

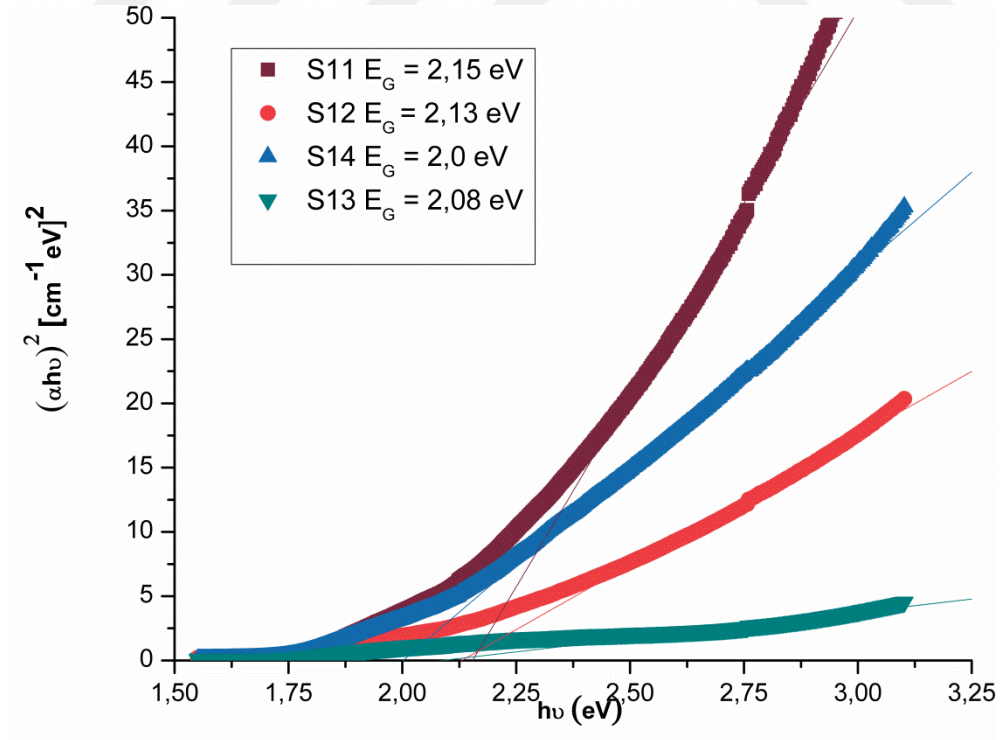
Şekil 3.10 incelendiğinde ise, üretilen filmlerin yasak enerji aralığının S11'den S14'e 2,0 ile 2,15 eV arasında değiştiği görülmüştür. Çözeltide kullanılan kuvvetli asitin gücü arttıkça üretilen filmlerin yasak enerji aralığı S11'den S14'e azalmıştır.



Şekil 3.8. SET I'den üretilen filmlerin $h\nu$ 'ye karşı $(\alpha h\nu)^2$ grafikleri

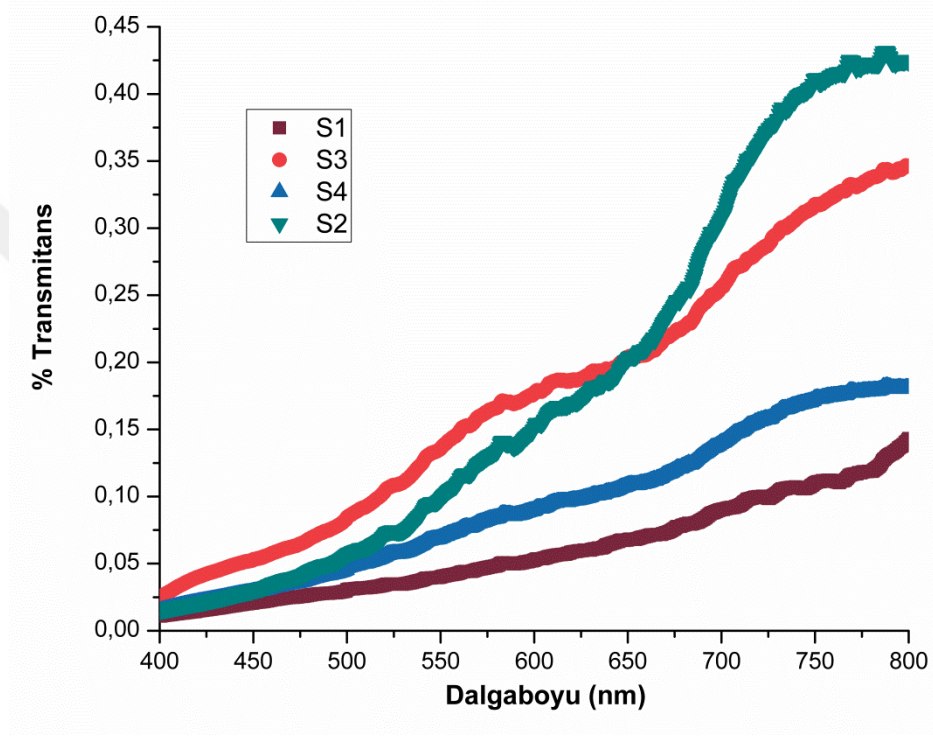


Şekil 3.9. SET II'den üretilen filmlerin $h\nu$ 'ye karşı $(\alpha h\nu)^2$ grafikleri

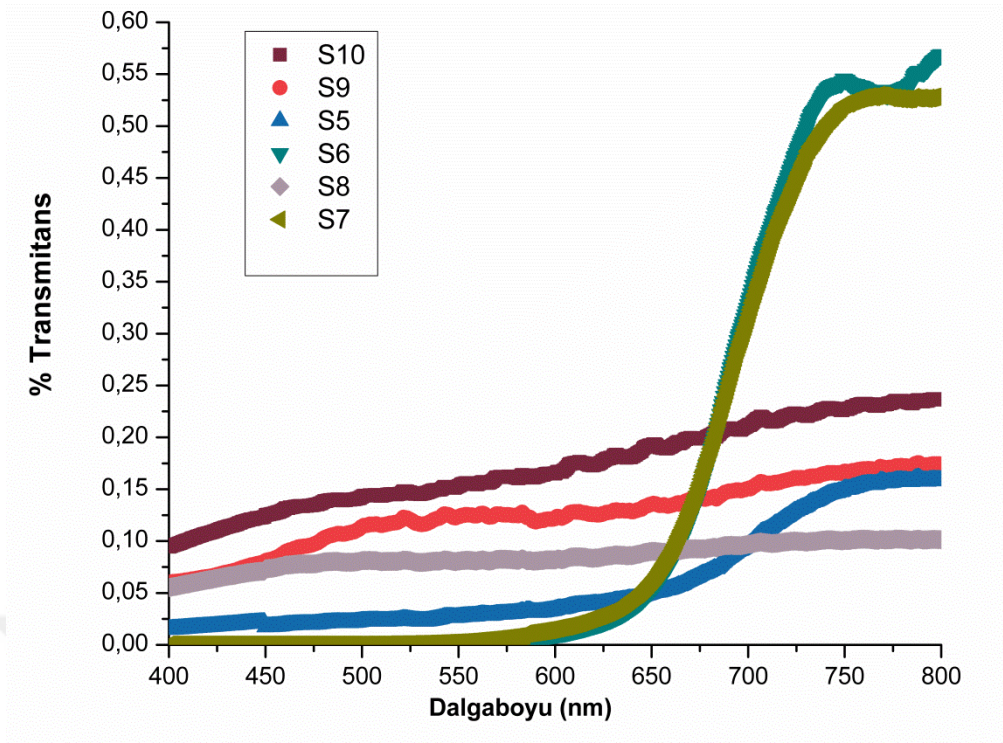


Şekil 3.10. SET III'den üretilen filmlerin $h\nu$ 'ye karşı $(\alpha h\nu)^2$ grafikleri

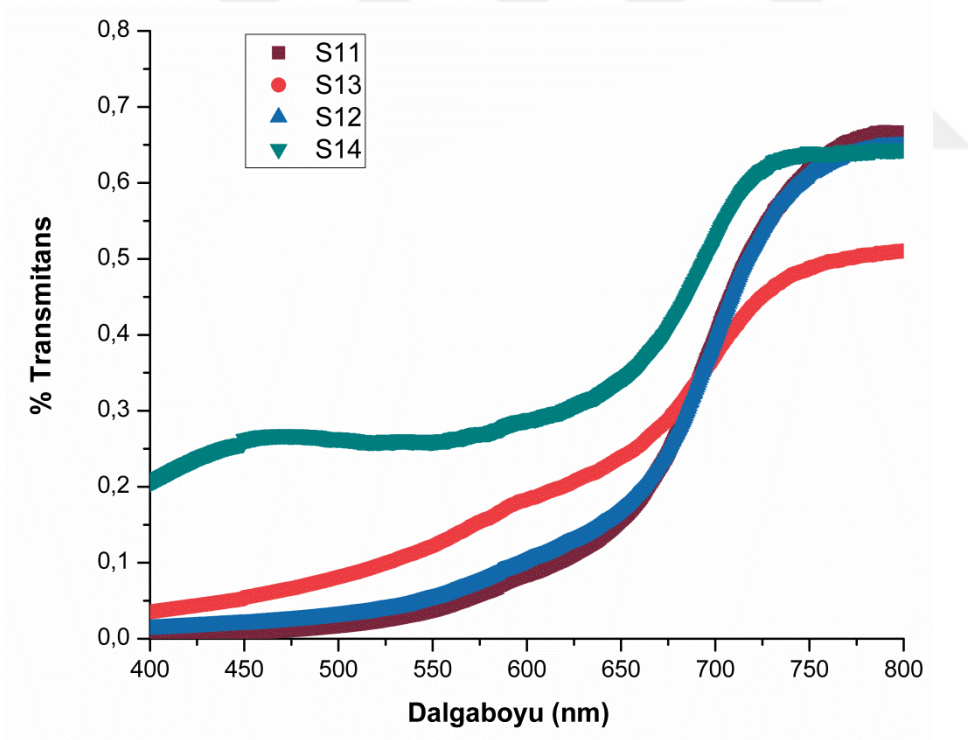
Üretilen filmlere ait olan dalga boyuna karşı transmittans grafikleri SET 1, SET2 ve SET 3 için sırasıyla, Şekil 3.12, Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’de gösterilmiştir. Şekil 3.12 incelendiğinde, ise, S2 ve S3 ‘den elde edilen filmlerin sırasıyla yüksek transmittans gösterdiği belirlenmiştir. Şekil 3.13 incelendiğinde çözelti pH değeri arttıkça üretilen filmlerin transmittans değerleri artmıştır. Özellikle S6 ve S7’den üretilen filmlerin transmittans değeri baskın biçimde büyüktür. Şekil 3.14 incelendiğinde ise, çözeltideki kuvvetli asitin gücü değiştikçe asit kuvvetiyle ters orantılı olarak transmittans değerinin değiştiği gözlenmiştir.



Şekil 3.11. SET I’den üretilen filmlerin dalgaboyuna karşı transmittans grafikleri



Şekil 3.12. SET II'den üretilen filmlerin dalgaboyuna karşı transmittans grafikler

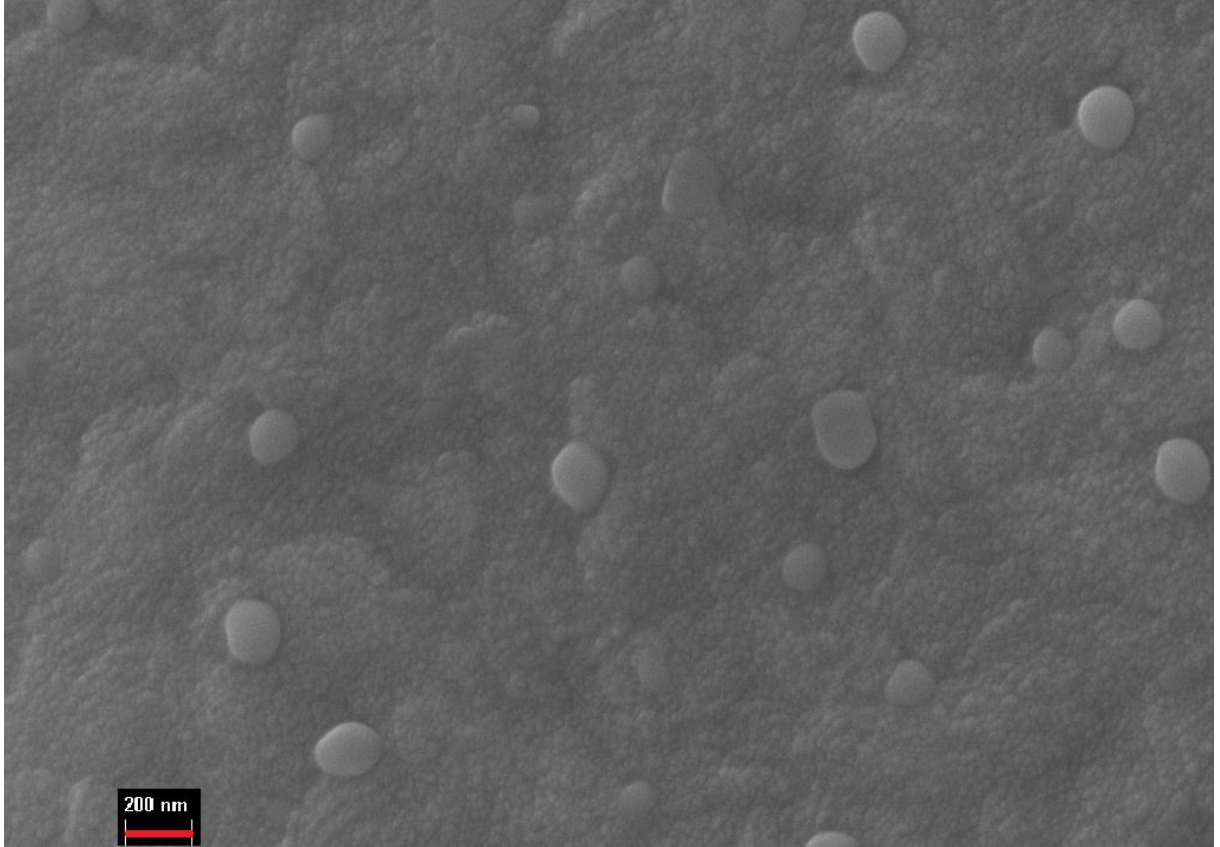


Şekil 3.13. SET III'den üretilen filmlerin dalgaboyuna karşı transmittans grafikler

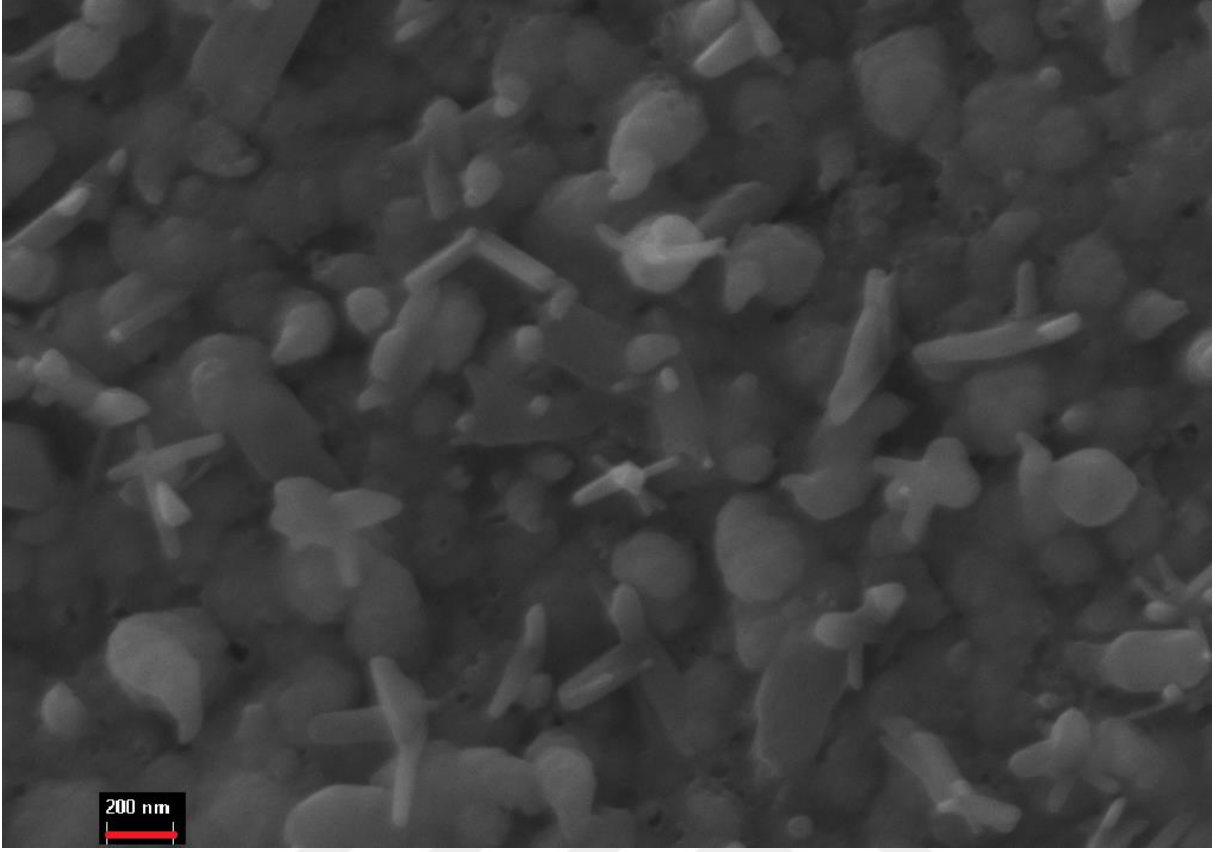
3.1.3 CdSe ve PbS İnce Filmlerin SEM analizleri

Üretilen CdSe filmlerine ait 50000X yüzey görüntüleri sırasıyla S1'den S14'e kadar sırasıyla Şekil 3.15 ile Şekil 3.26 aralığında gösterilmektedir.

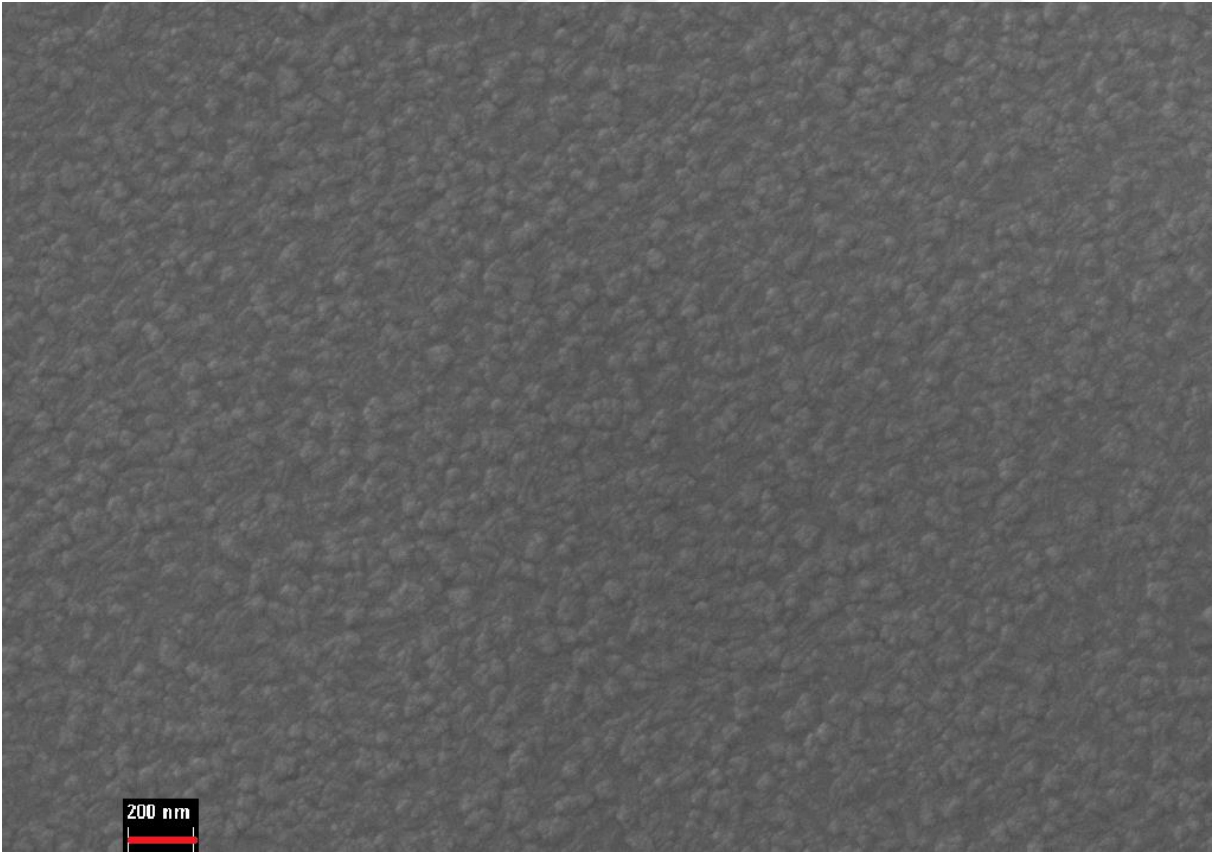
SET 1'den üretilen CdSe filmlerine ait olan SEM görüntüleri incelendiğinde, bütün CdSe yapıların polimorfik taneciklerden oluştuğu ve bütün yüzeyi tabaka halinde kapladığı görülmektedir. S3'den üretilen film hariç bu seride yer alan tüm filmlerin yüzeylerinin üzerlerinde farklı biçimde ve seyrek halde CdSe yapılarına rastlanmaktadır. S2'den elde edilen filmin polimorfik tanecikler SET 1 içerisinde yer alan diğer film filmlerin yüzey görüntülerindeki polimorfik taneciklerden daha farklı ve belirgin biçimde daha büyük olduğu tespit edilmiştir.



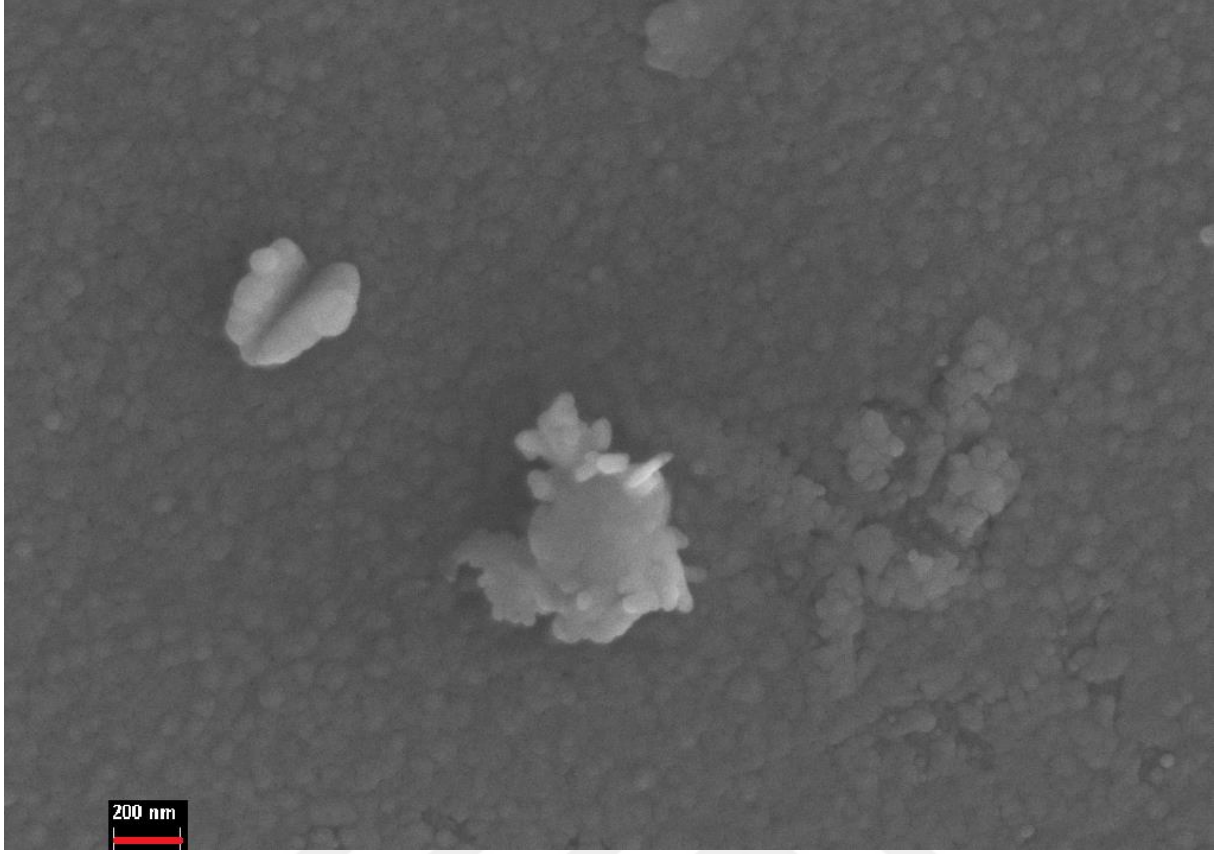
Şekil 3.14. S1'den elde edilen filmin 50000X SEM görüntüsü



Şekil 3.15. S2'den elde edilen filmin 50000X ve SEM görüntüsü

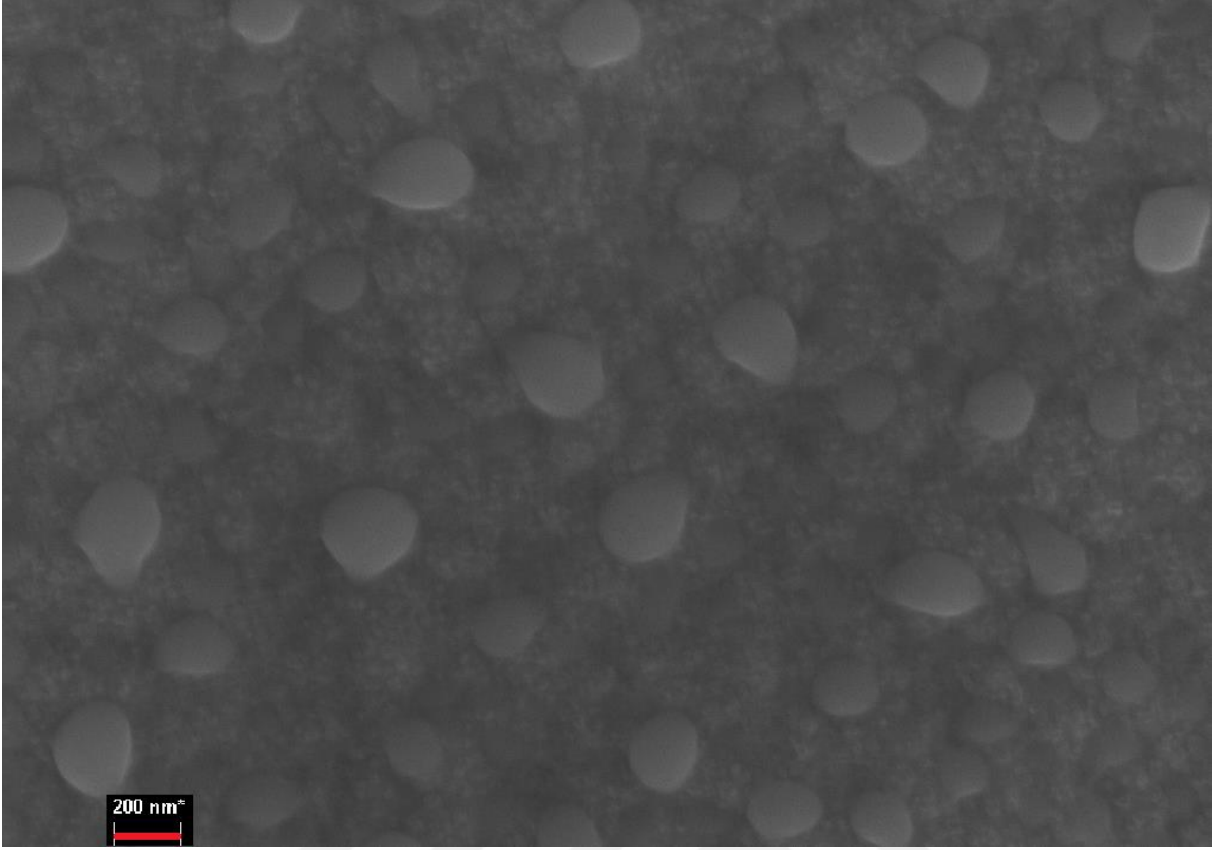


Şekil 3.16. S3'ten elde edilen filmin 50000X SEM görüntüsü

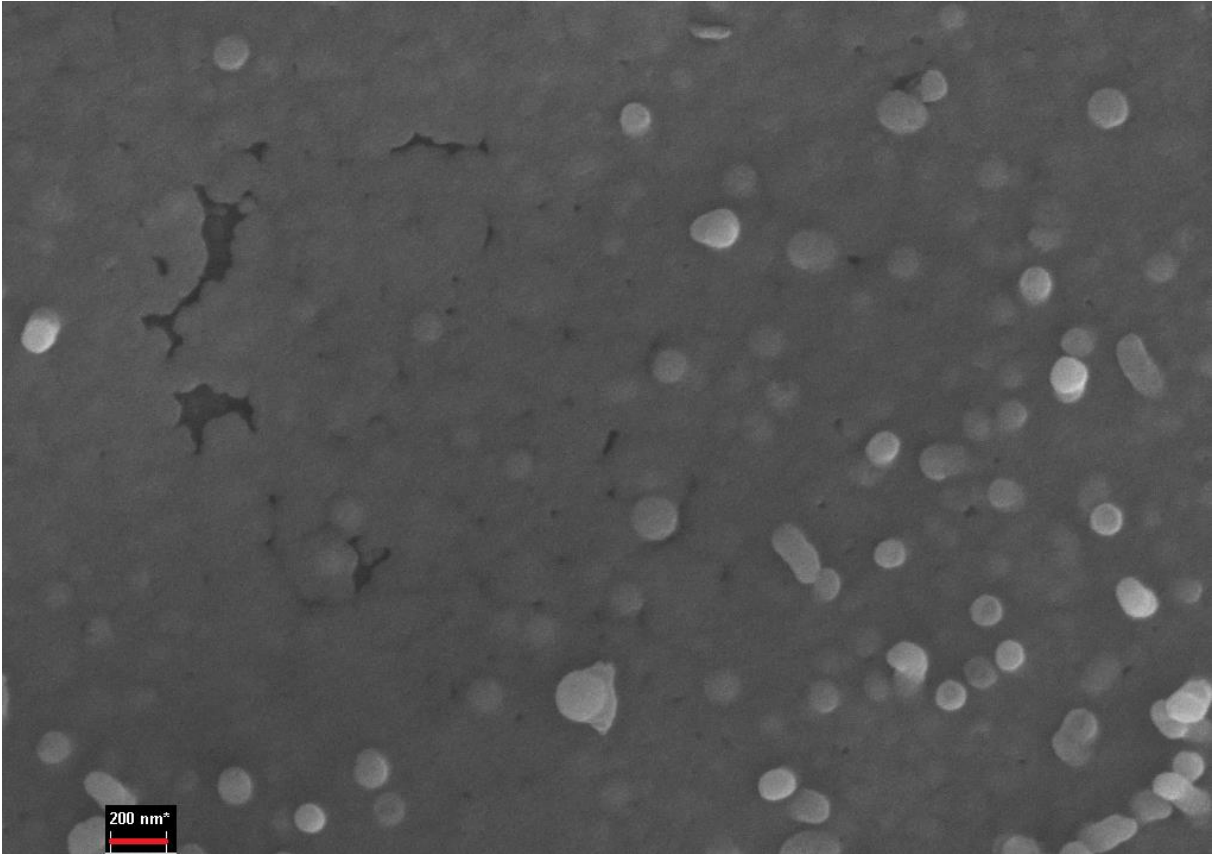


Şekil 3.17. S4'ten elde edilen filmin 50000X SEM görüntüsü

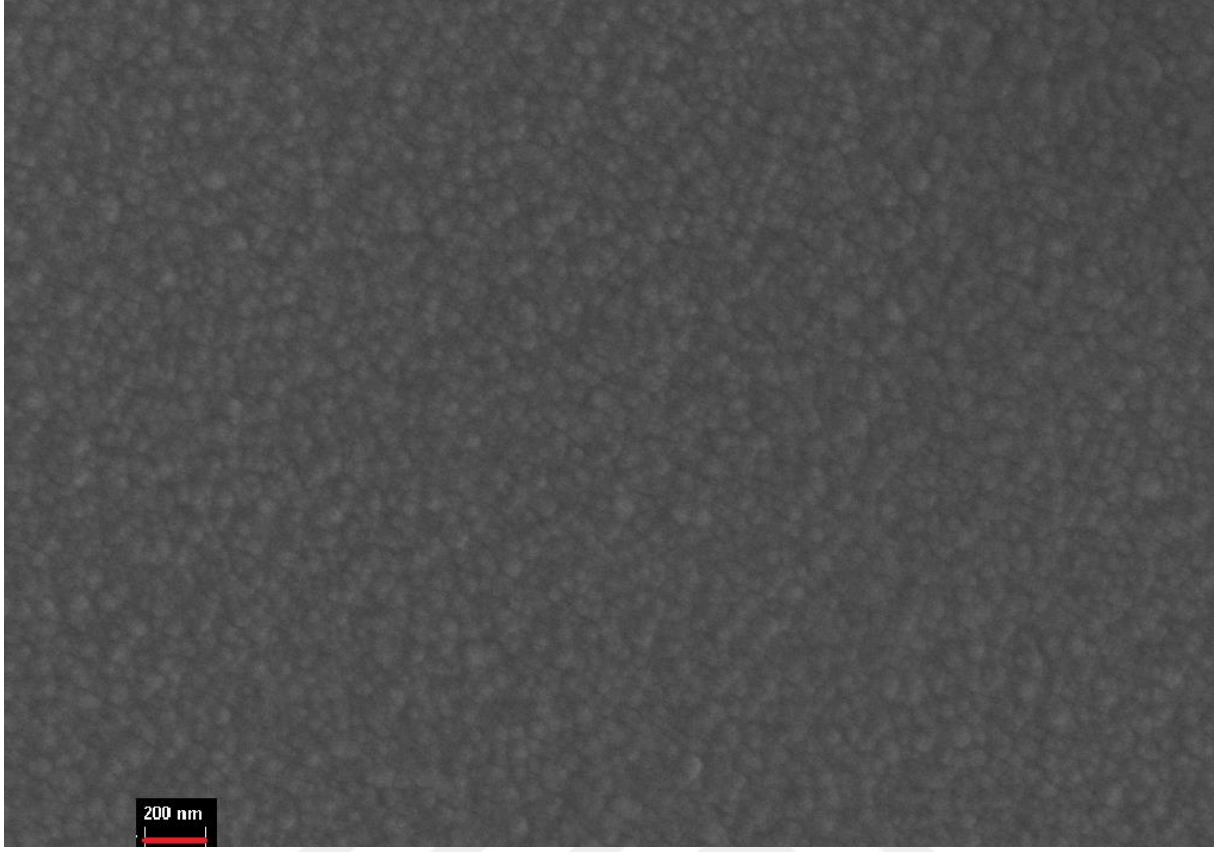
SET 2'den üretilen CdSe filmlerine ait olan SEM görüntüleri incelendiğinde S6, S7 ve S8'den elde edilen filmlerin yüzeylerindeki CdSe yapıların küreye benzer taneciklerden oluştuğu ve bütün yüzeyi tabaka halinde kapladığı görülmektedir. Ek olarak, bu filmler içerisinde S6'dan elde edilen filmin küreye benzer tanecikleri diğer filmlerin yüzey görüntülerindeki küreye benzer taneciklerden belirgin biçimde daha büyük olduğu belirlenmiştir. S5'den ve S9'dan üretilen filmlerin yüzeyindeki polimorfik CdSe taneciklerde ise bozulmalara rastlanmaktadır.



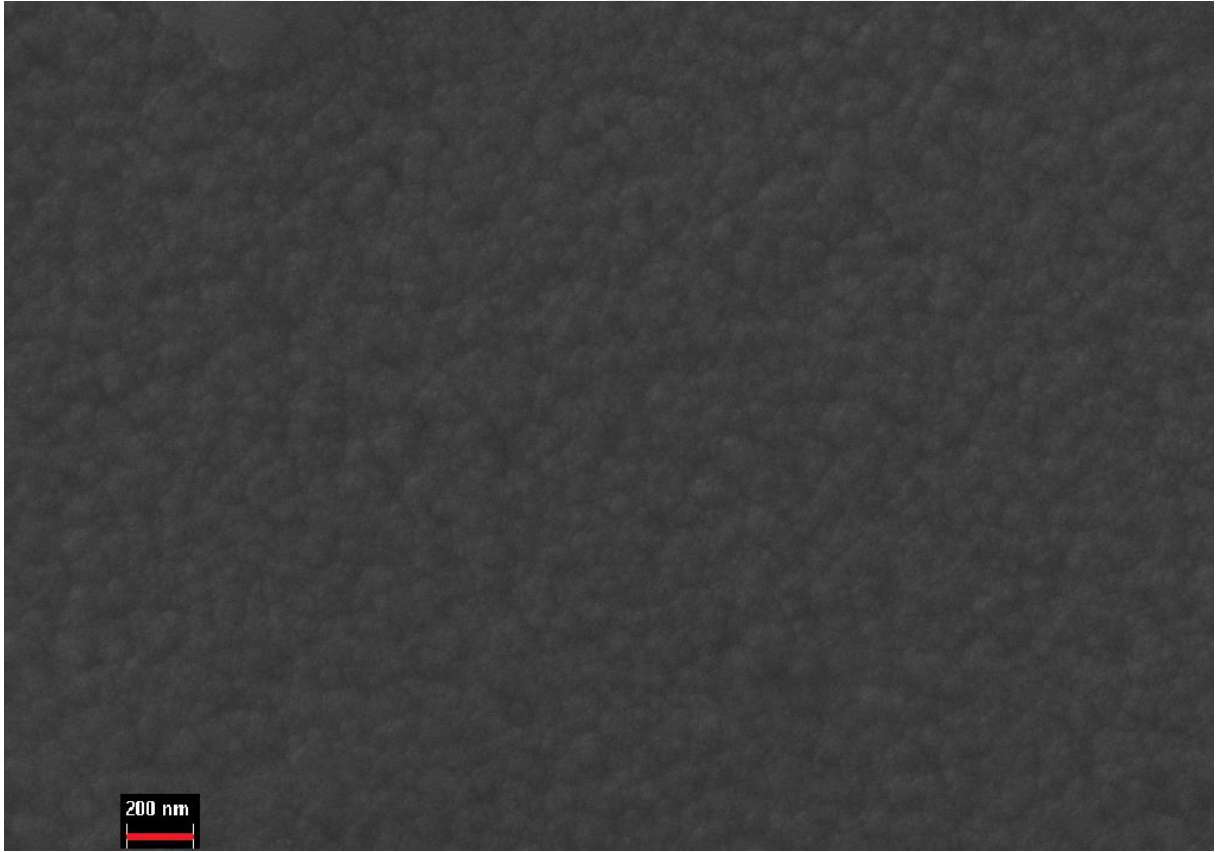
Şekil 3.18. S5'ten elde edilen filmin 50000X SEM görüntüsü



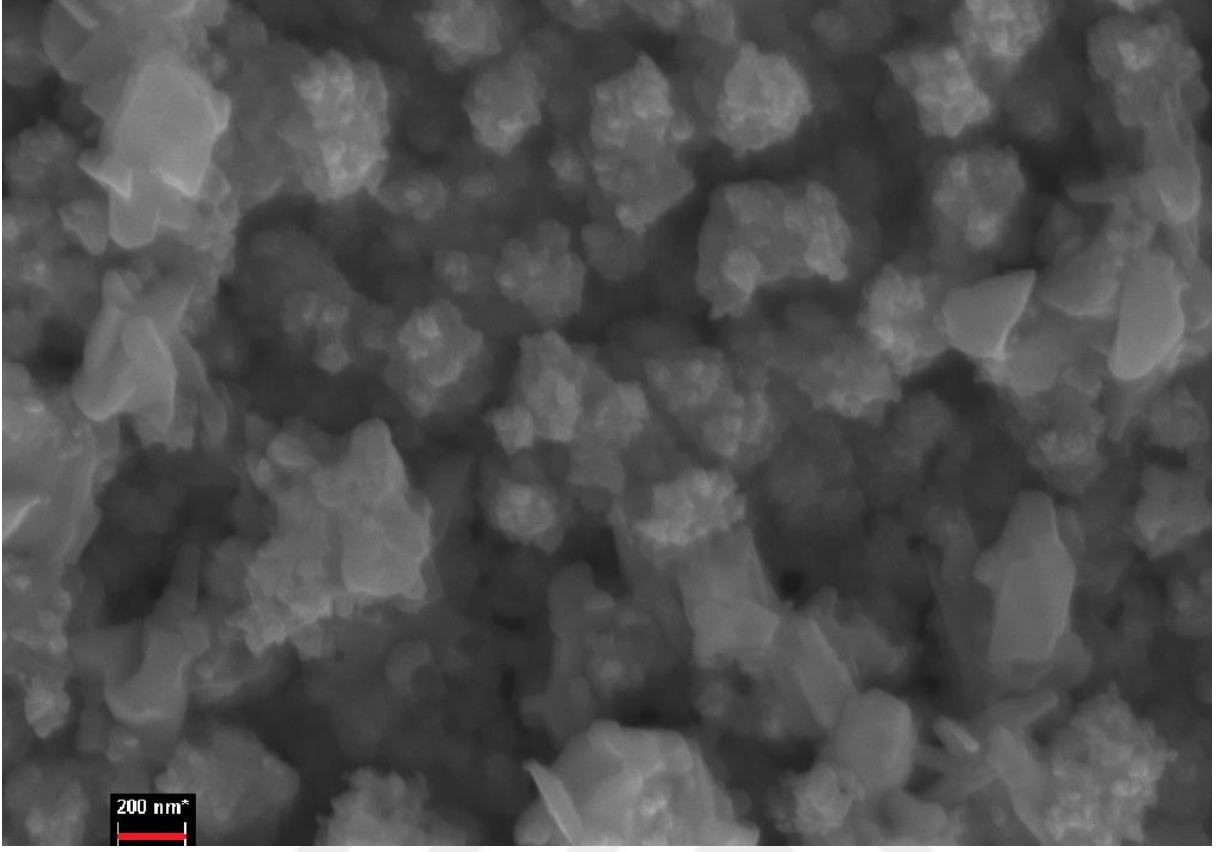
Şekil 3.19. S6'dan elde edilen filmin 50000X SEM görüntüsü



Şekil 3.20. S7'den elde edilen filmin 50000X SEM görüntüsü

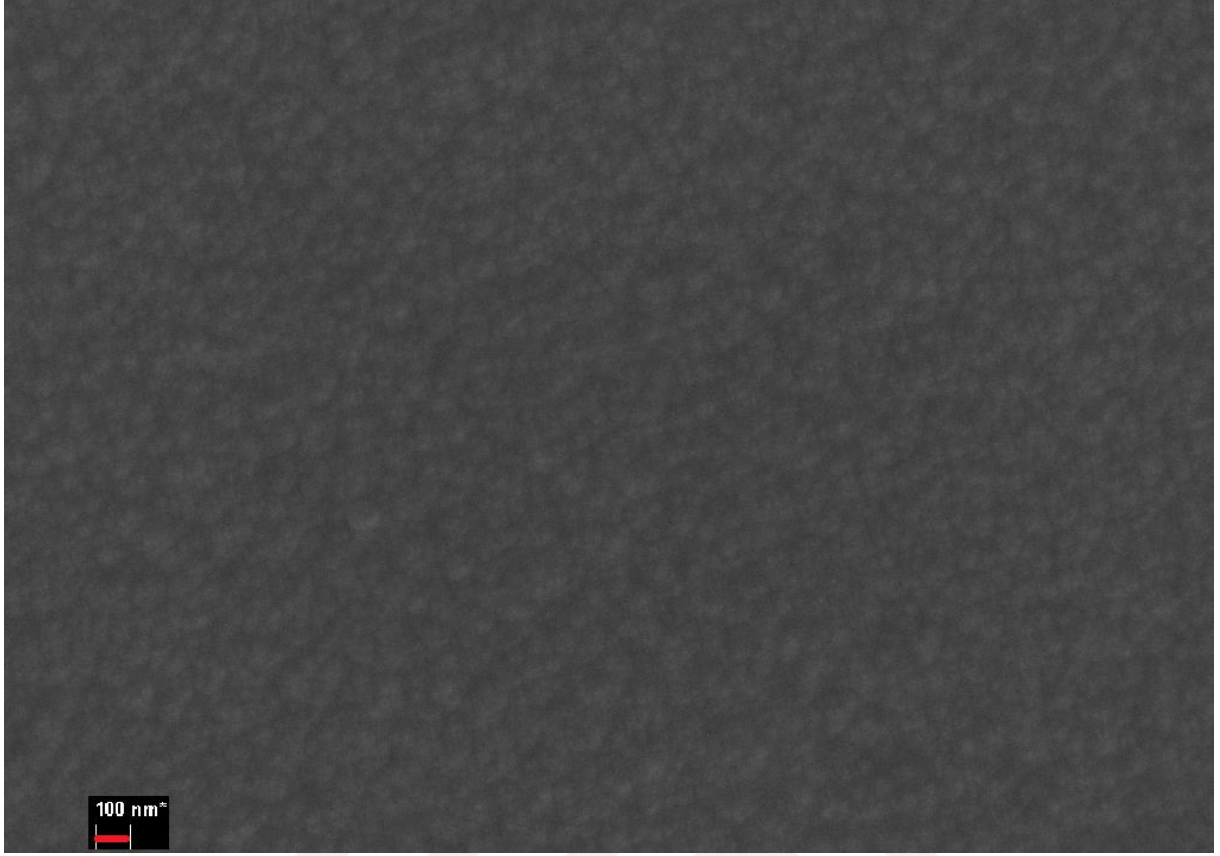


Şekil 3.21. S8'den elde edilen filmin 50000X SEM görüntüsü

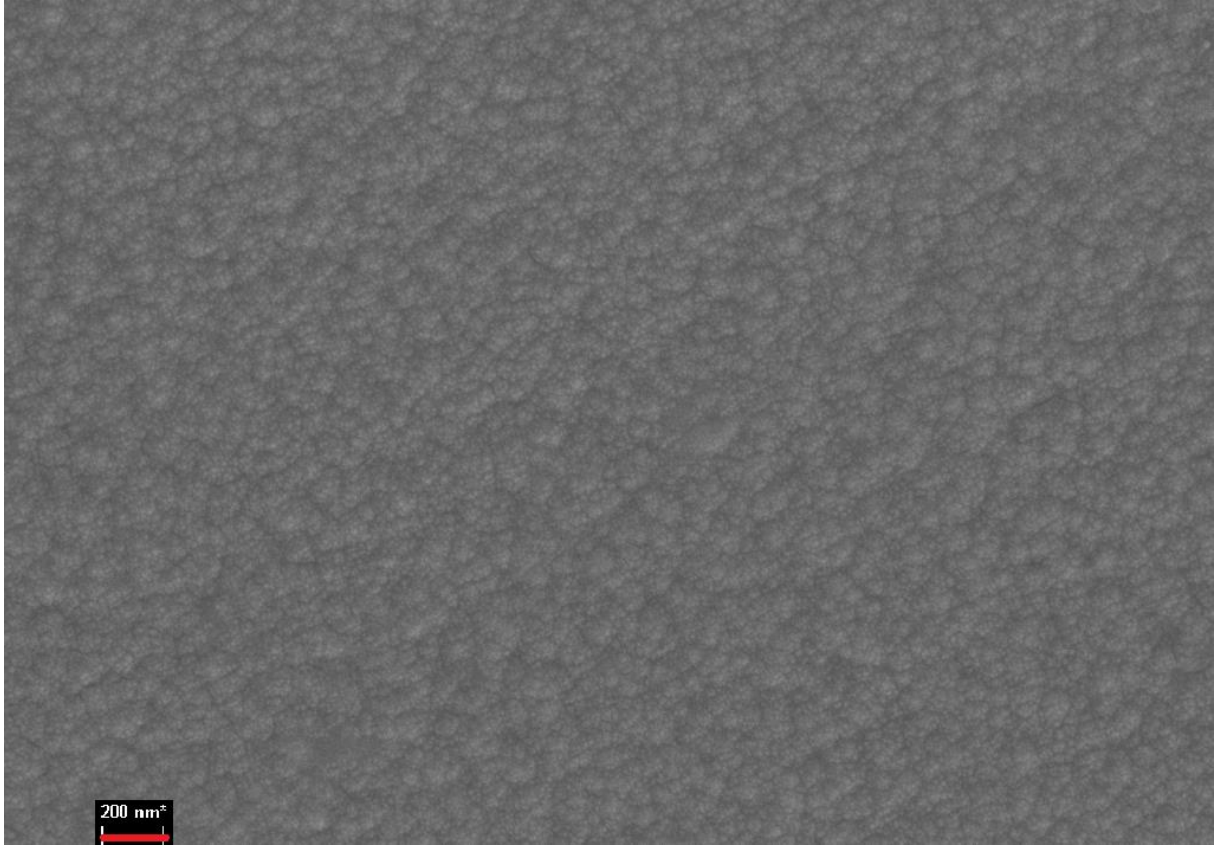


Şekil 3.22. S9'dan elde edilen filmin 50000X SEM görüntüsü

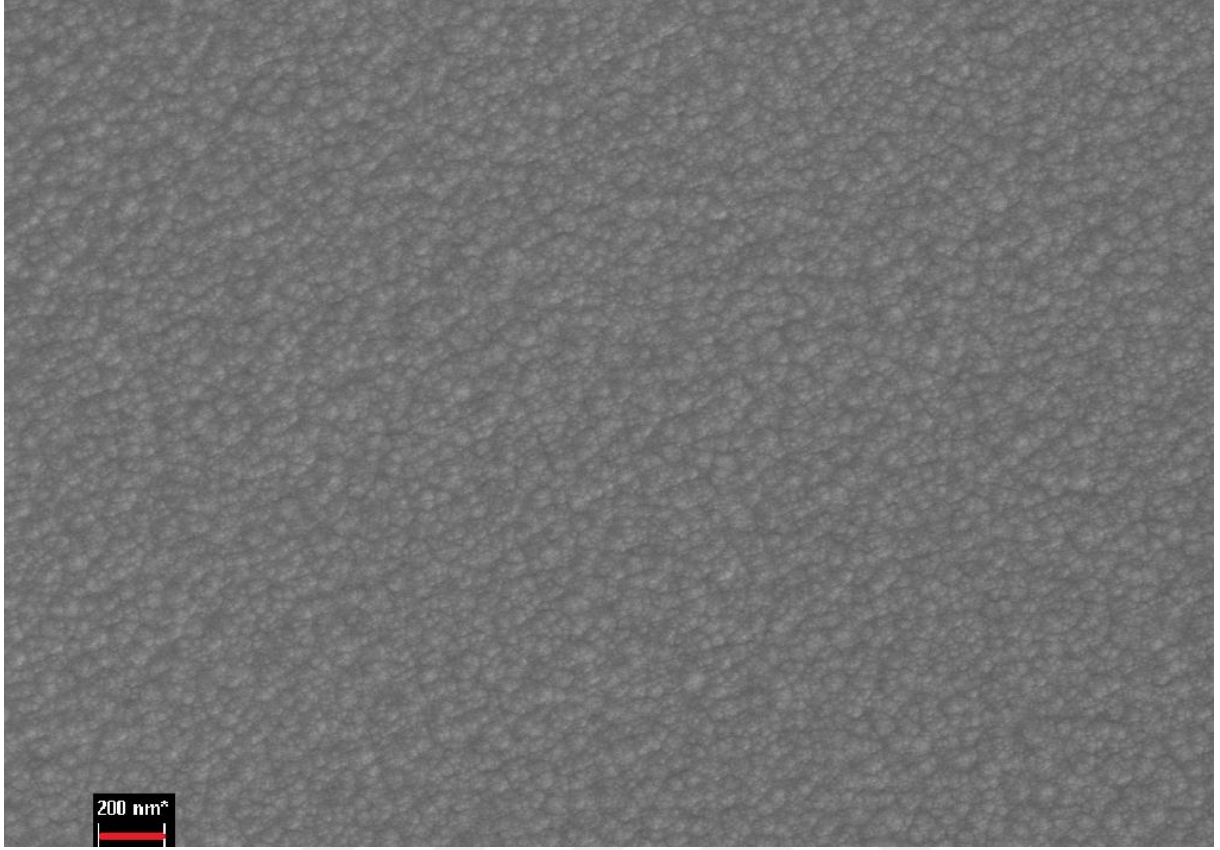
SET 3'den üretilen CdSe filmlerine ait olan SEM görüntüleri incelendiğinde polimorfik CdSe yapıların tüm filmlerin yüzeylerini kompakt ve sıkı bir biçimde kapladığı raporlanmıştır.



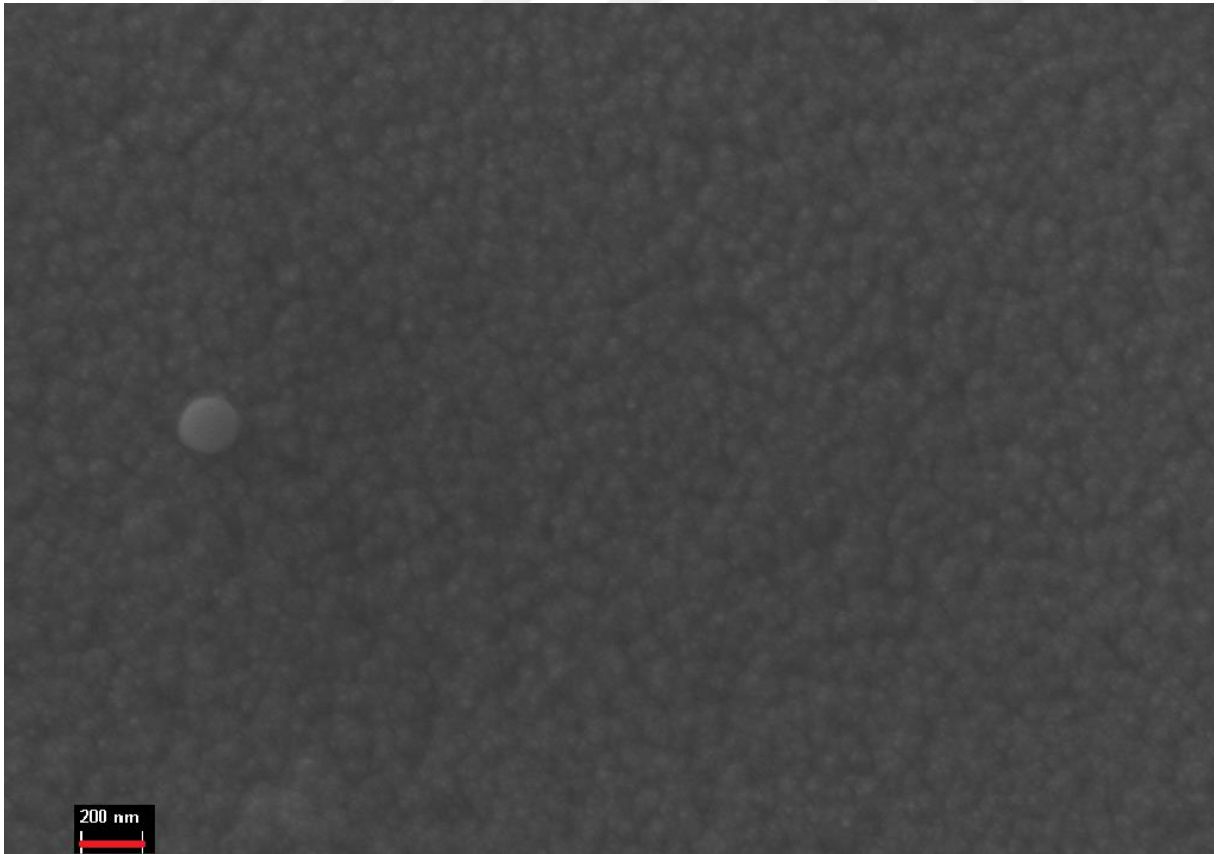
Şekil 3.23. S11’den elde edilen filmin 50000X SEM görüntüsü



Şekil 3.24. S12’den elde edilen filmin 50000X SEM görüntüsü



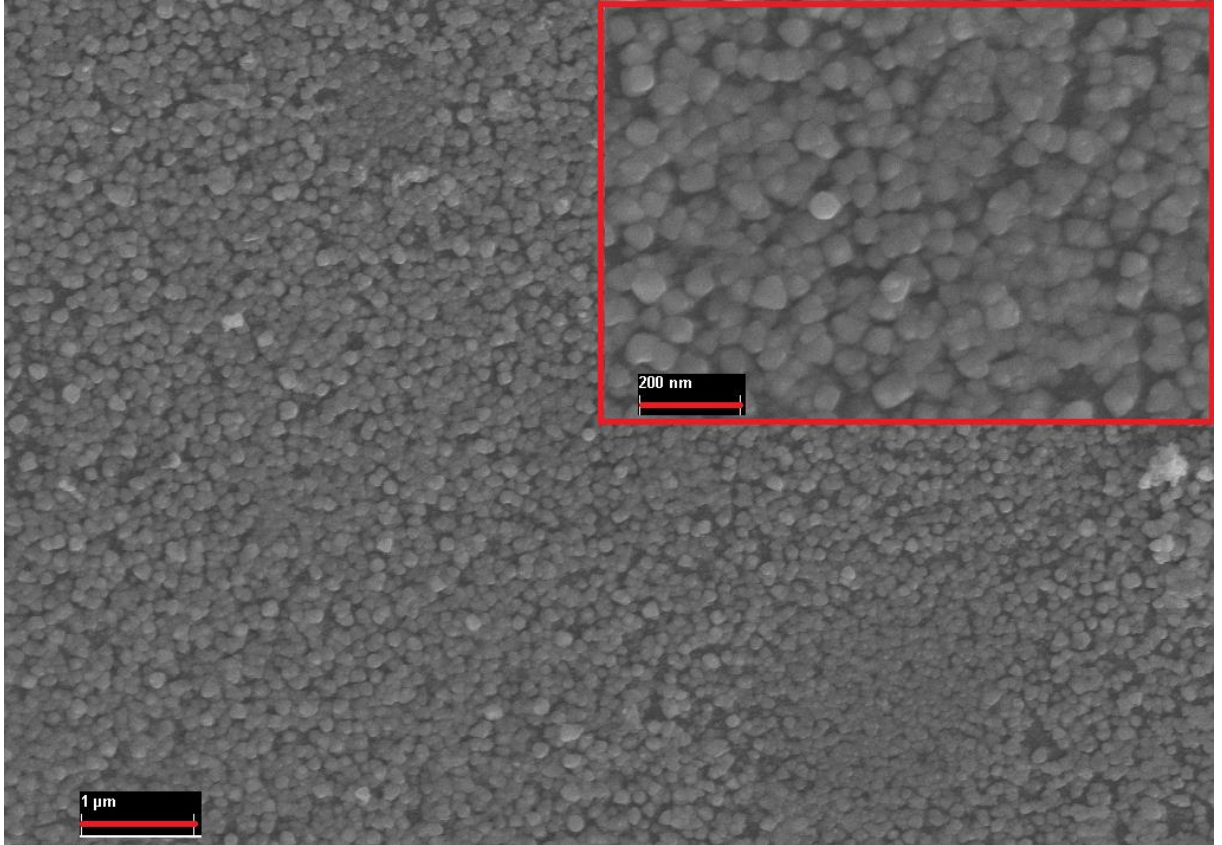
Şekil 3.25. S13'ten elde edilen filmin 50000X SEM görüntüsü



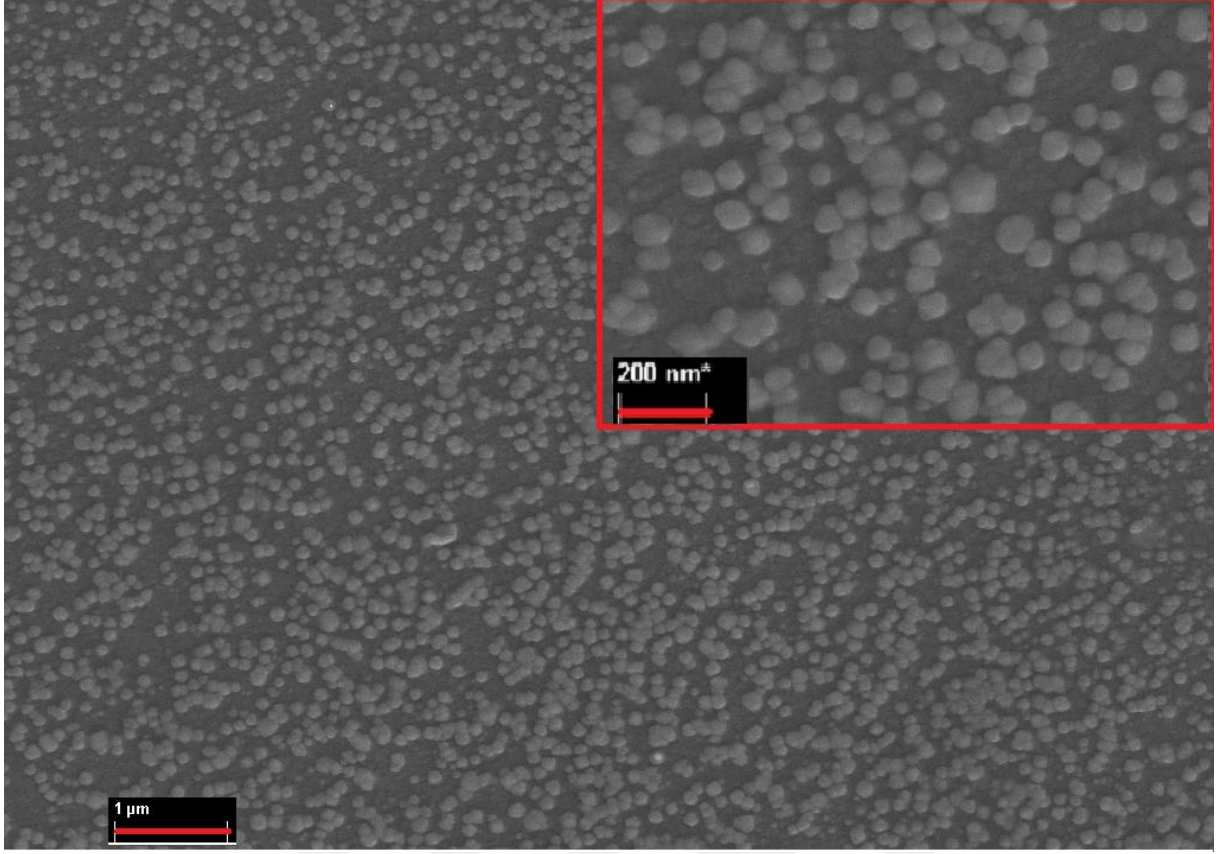
Şekil 3.26. S14'ten elde edilen filmin 50000X SEM görüntüsü

Üretilen PbS filmlerine ait 20000X ve 50000X yüzey görüntüleri sırasıyla S14'den S19'a kadar sırasıyla Şekil 3.27 ile Şekil 3.31 aralığında gösterilmektedir.

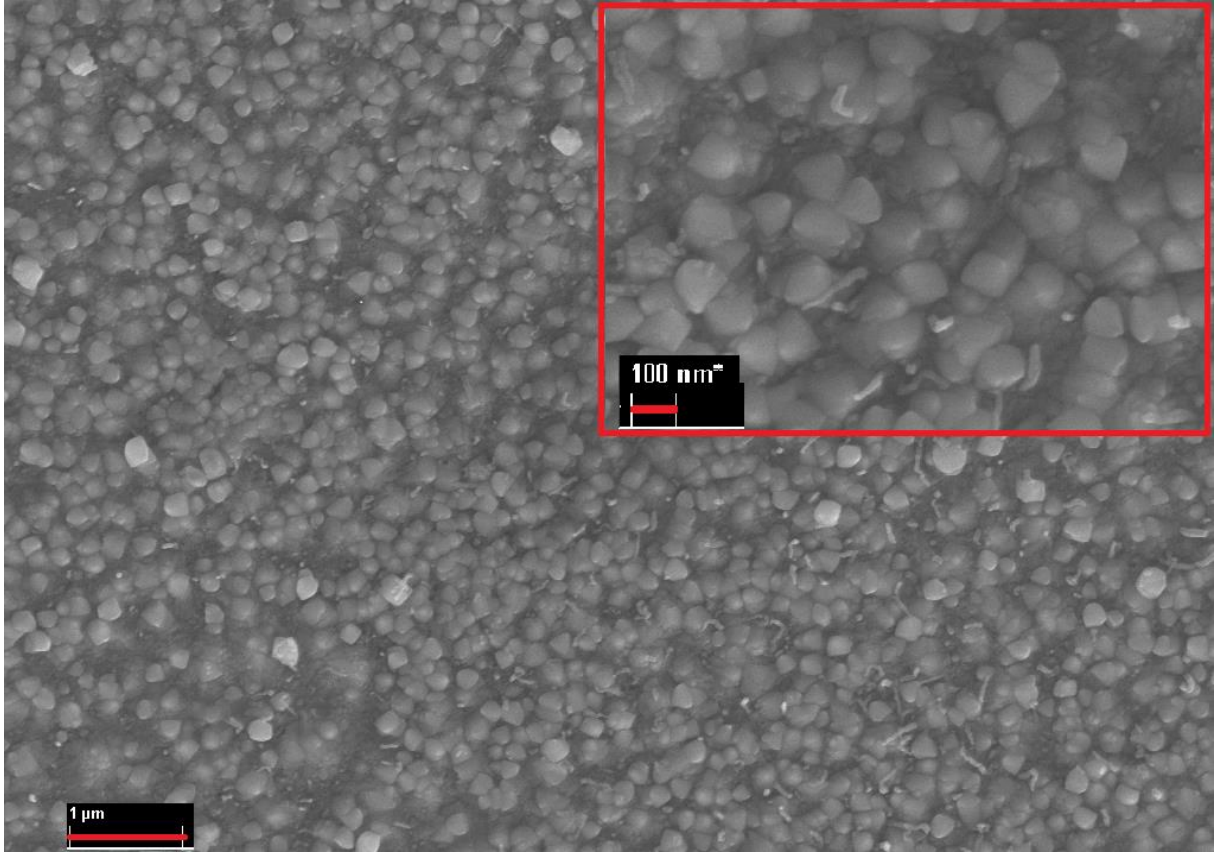
SET 4'den üretilen filmlere ait olan SEM görüntüleri incelendiğinde S15 ve S16'dan elde edilen filmlerin yüzeylerindeki PbS yapıların küreye benzer taneciklerden oluştuğu görülmektedir. Ancak, S15'den elde edilen filmin yüzeyindeki PbS yapılarının bütün film yüzeyini sıkı bir biçimde kaplamasına karşın S16'dan elde edilen filmin yüzeyindeki PbS yapılarının daha seyrek biçimde yüzeyde yer aldığı tespit edilmiştir. S17, S18 ve S19'dan elde edilen filmlerin yüzeylerinde yer alan PbS yapılarının polimorfik olduğu görülmektedir. Özellikle S19'dan elde edilen filmin yüzeyindeki polimorfik PbS yapılarının şeklinin pramide benzediği görülmektedir. Ek olarak bu polimorfik PbS yapılarının belirgin biçimde S17 ve S18'den elde edilen filmlerin yüzeylerinde yer alan polimorfik PbS yapılarından büyük olduğu belirlenmiştir. S15'ten S19'a doğru üretilen filmlerin yapısındaki taneciklerin sayısı azalırken büyüklüğü artmaktadır.



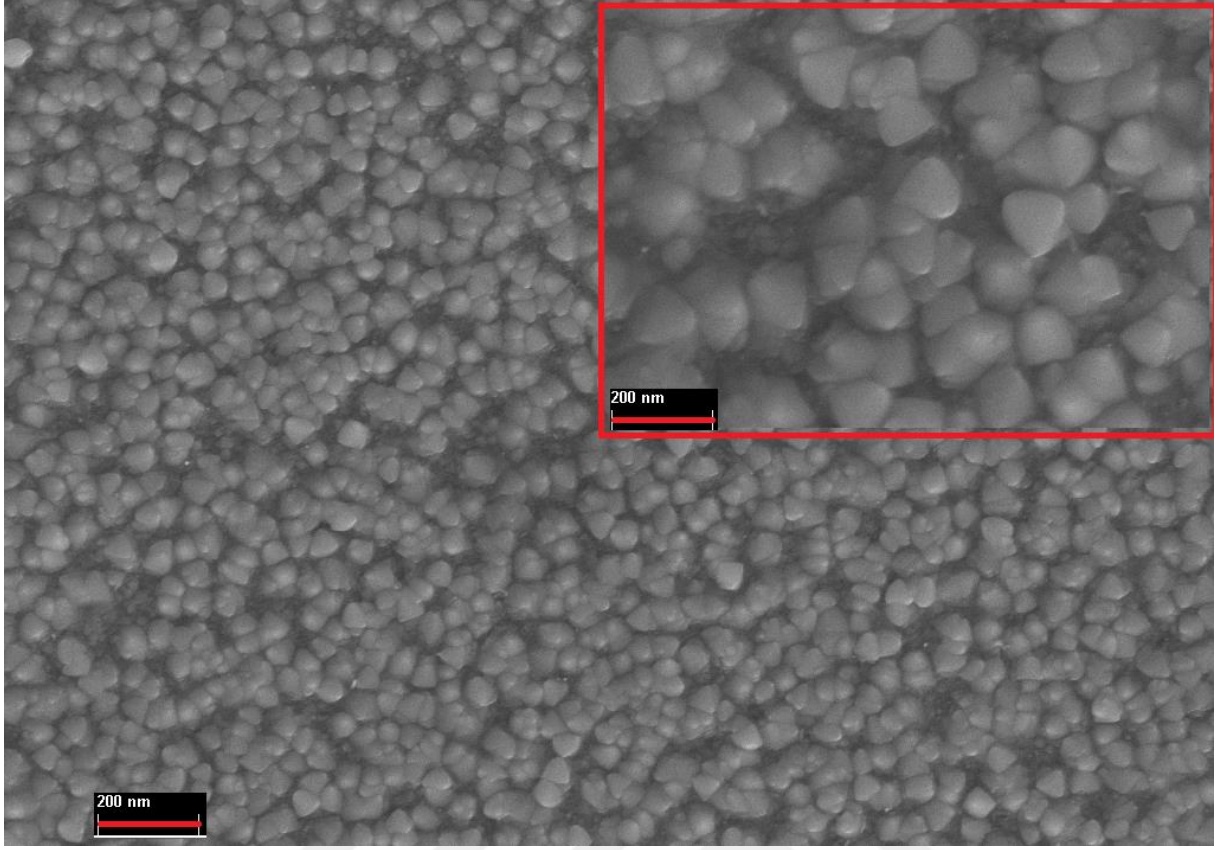
Şekil 3.27. S15'den elde edilen filmin 20000X ve 90000X SEM görüntüsü



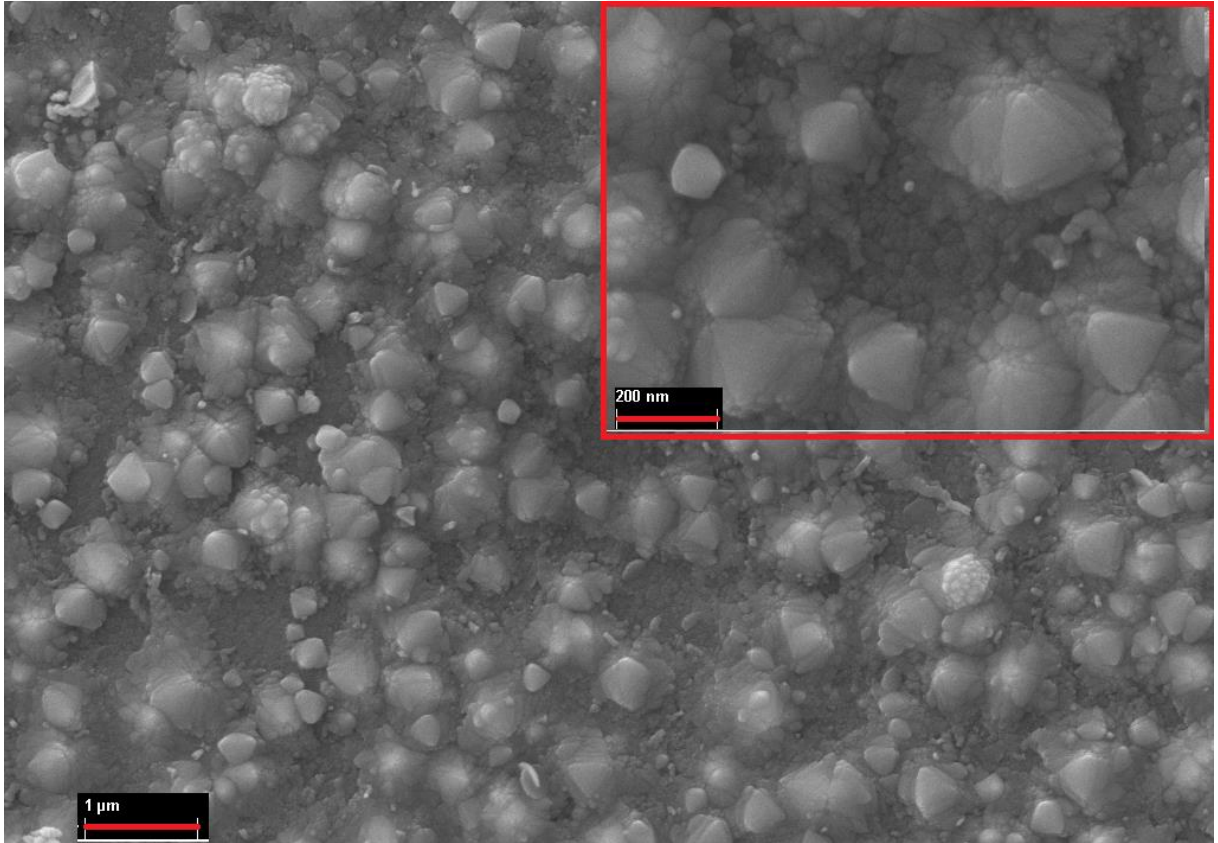
Şekil 3.28. S16'dan elde edilen filmin 20000X ve 90000X SEM görüntüsü



Şekil 3.29. S17'den elde edilen filmin 20000X ve 90000X SEM görüntüsü



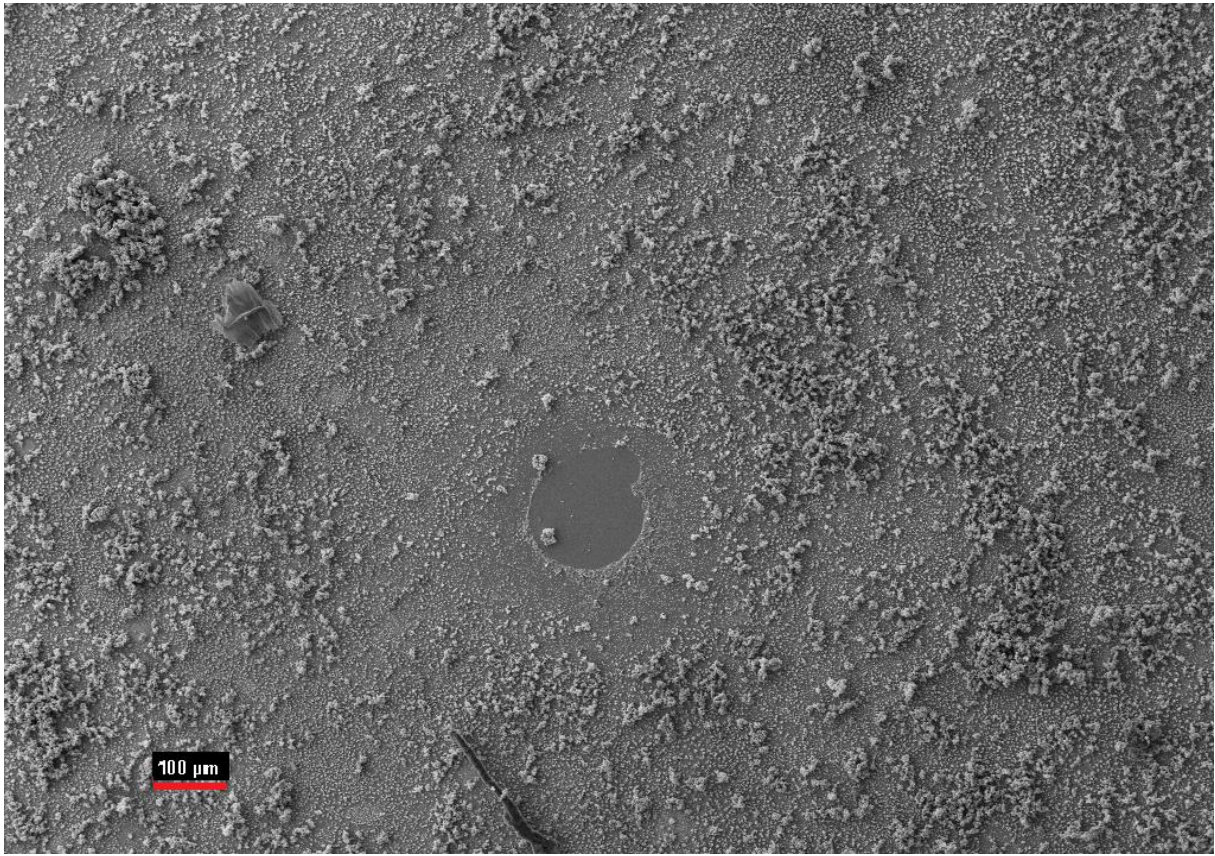
Şekil 3.30. S18'den elde edilen filmin 20000X ve 90000X SEM görüntüsü



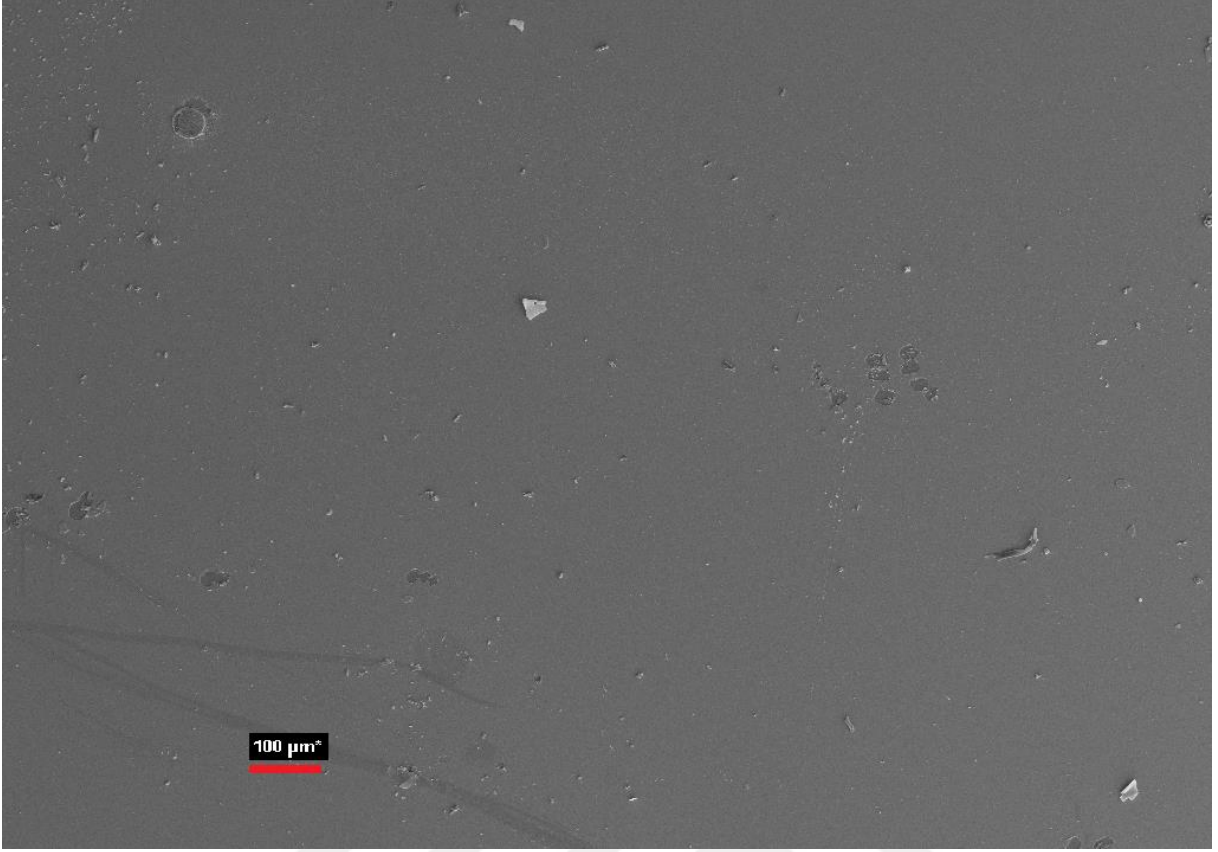
Şekil 3.31. S19'dan elde edilen filmin 20000X ve 90000X SEM görüntüsü

3.2 CdSe/ PbS güneş pilleri

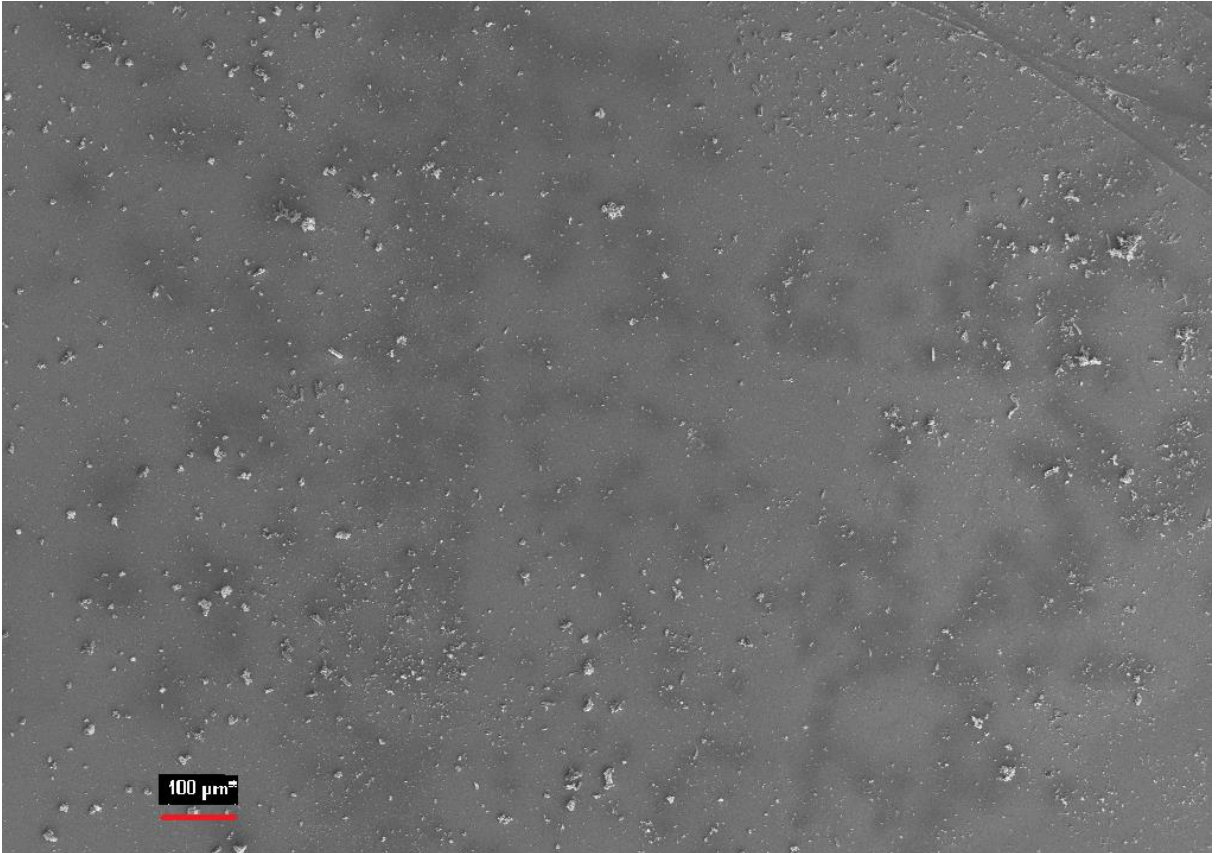
Üretilen CdSe filmlerine ait ve PbS filmlerine ait 100 büyütmedeki yüzey görüntüleri, S3, S12, S13, S14 ve S15'te sırasıyla Şekil 32 ile Şekil 36 aralığında gösterilmektedir. Şekil 32, Şekil 33, Şekil 34, Şekil 35 ve Şekil 36'da güneş pili üretiminde istenmeyen kısa devre oluşumuna ve sızıntı akımına sebep verecek olan pinhole oluşumu ve çatlak gözlenmemiştir ve yüzeyde sadece kirlilik mevcuttur. Şekil 32'de ise, yüzeyde kirlilik ve dalgalanma SET 5'den üretilen diğer filmlerle kıyasla çok daha fazladır. Dolayısıyla azda olsa kısa devre oluşumuna ve sızıntı akımına sebep vereceği düşünülmektedir.



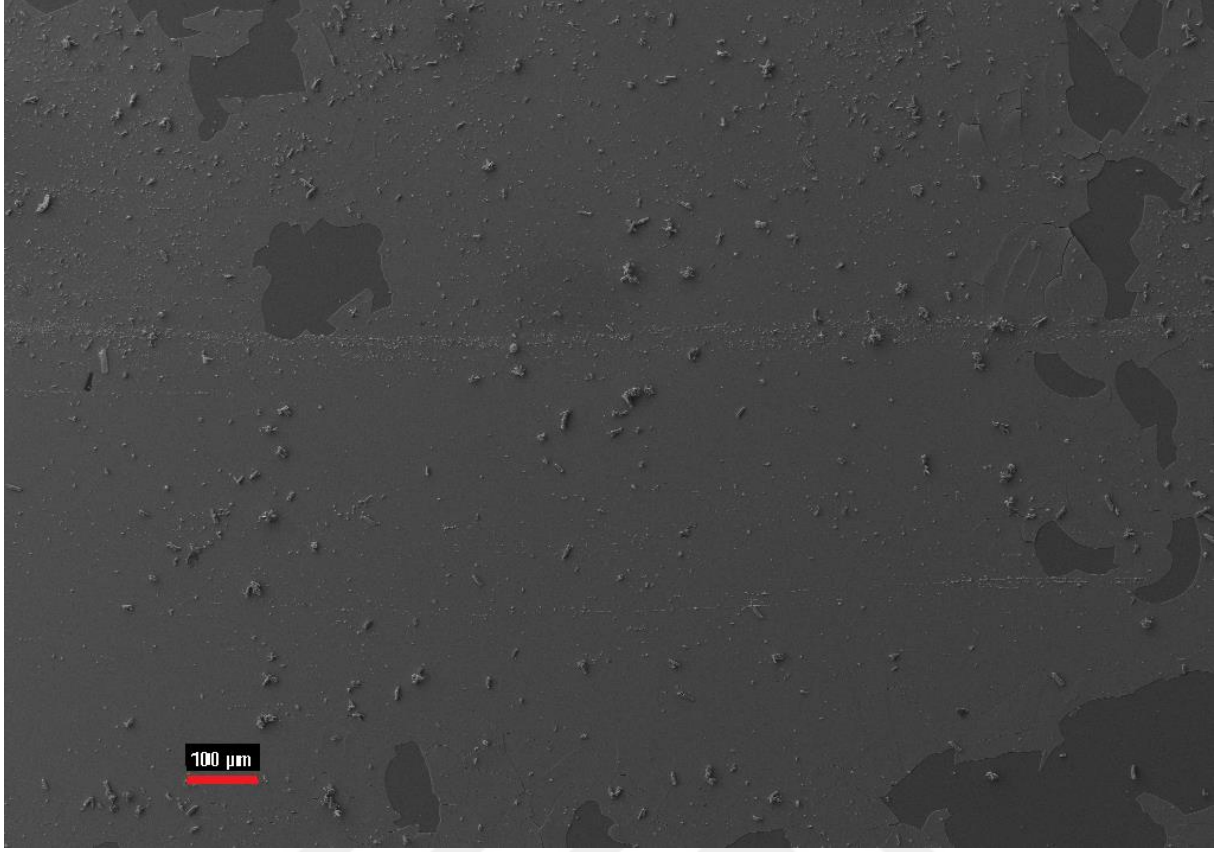
Şekil 3.32. S3'ten elde edilen filmin 100 büyütmedeki SEM görüntüsü



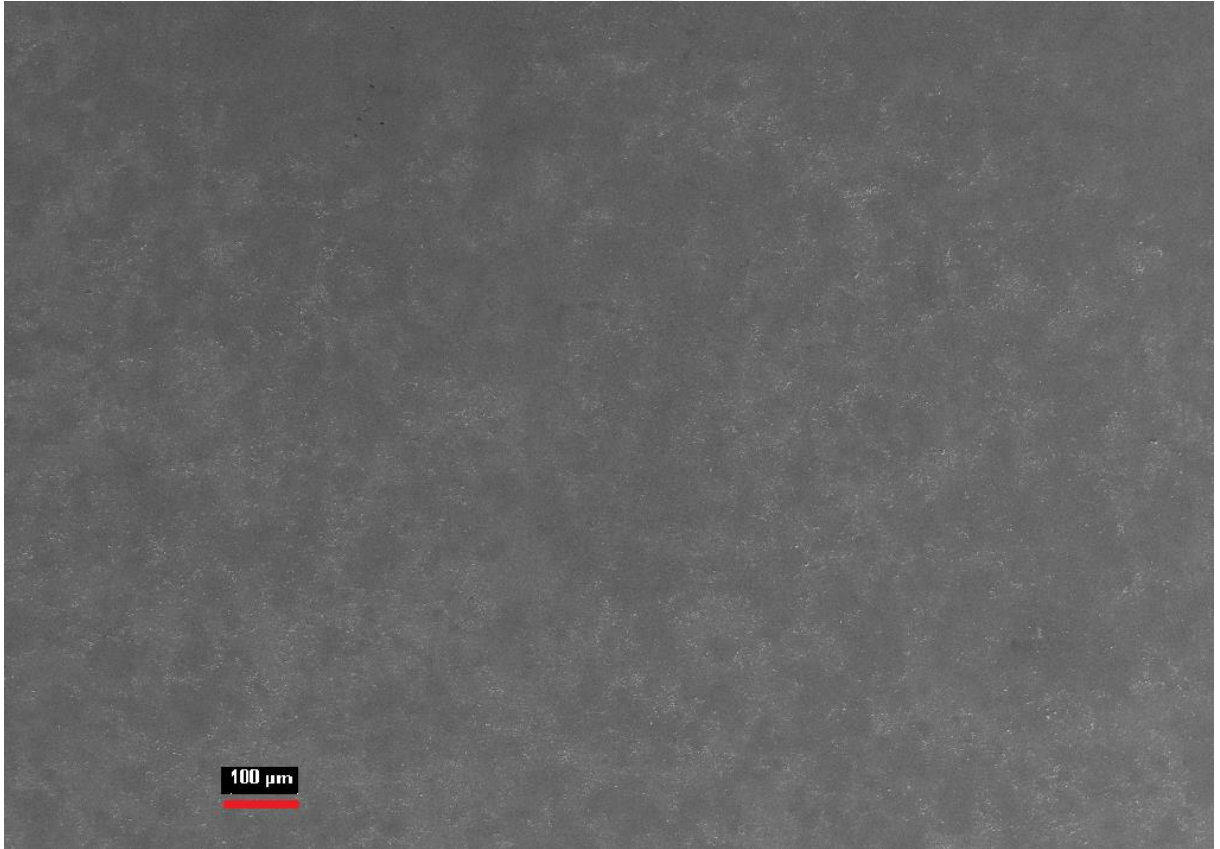
Şekil 3.33. S12'den elde edilen filmin 100 büyütmedeki SEM görüntüsü



Şekil 3.34. S13'ten elde edilen filmin 100 büyütmedeki SEM görüntüsü



Şekil 3.35. S14'ten elde edilen filmin 100 büyütmedeki SEM görüntüsü



Şekil 3.36. S15'den elde edilen filmin 100 büyütmedeki SEM görüntüsü

SET V’de üretilen CdSe/PbS güneş pillerinin kalınlıkları ve ortalama pn eklem açık devre voltajları S20’den S23’e kadar sırasıyla Tablo 3.8’de verilmiştir. Ortalama pn eklem açık devre voltajları eklem üzerindeki 4 farklı noktadan alınan voltaj ölçümlerinin ortalaması olarak tespit edilmiştir. Tablo 3.8 incelendiğinde S21’den üretilen CdSe/PbS güneş pilinin daha yüksek pn eklem açık devre voltajına sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 3.9. SET V’de üretilen CdSe/PbS güneş pillerinin kalınlıkları ve pn eklem açık devre voltajları

SET V	Film kalınlığı nm	E _g eV	pn EKLEM AÇIK DEVRE VOLTAJI mV
S20	419	2,35	348
	416		
S21	253	2,13	547
	416		
S22	295	2,08	509
	416		
S23	223	2,0	492
	416		

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

CdSe film üretimi esnasında $\text{Na}_2\text{Se}_2\text{O}_3$ tercih edilmiştir. $\text{Na}_2\text{Se}_2\text{O}_3$ asidik ortamın pH'ı azaldıkça ortama Se salmaktadır. Cd iyonları ile Se iyonları elektro depozisyon işlemi esnasında birleşerek ITO cam üzerine yapışırlar. Ortamda ne kadar fazla Se iyonu varsa tepkime o denli hızlanmaktadır. Bu durum kristalit büyüklüğünün artmasına ve yasak enerji aralığının azalmasına neden olur. İdeal bir güneş pili üretimi için yasak enerji aralığı 2,3 eV yaklaşmalıdır. Bu yüzden optimum özelliklere sahip olan CdSe ince film üretimi için en uygun pH değeri olarak 3,58 olduğu belirlenmiştir. Depozisyon sıcaklığı artınca reaksiyon daha hızlı gerçekleşmektedir. Bu durum kristalit büyüklüğünün artmasına ve buna bağlı olarak yasak enerji aralığının azalmasına neden olduğu bilinmektedir. CdSe film üretimi için seçilen sıcaklık değerleri ile çözelti içerisinde kullanılan asitin gücü ilişkilendirilerek en uygun sıcaklık değeri 80 °C olarak belirlenmiştir.

PbS ince film üretiminde farklı katodik potansiyel değerleri kullanılmıştır. Katodik potansiyel değeri arttıkça üretilen filmlerin kalınlaşması beklenmektedir. Bu durum PbS filmlerin kristalit büyüklüğünün artmasına yasak enerji aralıklarının azalmasına ve Pb iyonun çökmesine neden olacağı için PbS ince film üretiminde -055V optimum katodik potansiyel olarak belirlenmiştir.

Hetero yapı oluşturulurken n tipi CdSe ince filmi ince p tipi PbS ince filmi ise kalın olmalıdır. Üretilen filmlerin yüzeyinde eklem açık devre voltajının azalmasına sebep olacak pin hole, çatlak, dalgalanma ve kirlilik bulunmamalıdır veya mümkün olduğunca az olmalıdır. Ayrıca n tipi yarı iletkenin yasak enerji aralığı mümkün olduğunca 2,3 eV'a yakın olmalıdır. Bu şartlar göz önünde bulundurularak yapılan tüm tez çalışması boyunca S21, S22 ve S23'den elde edilen hetero yapıların güneş pili üretimi için uygun olduğuna kanaat getirilmiştir.

KAYNAKLAR

- Akman, E., Akın, S., Karanfil, G., & Sönmezoğlu, S. (2013). Organik güneş pilleri. *Trakya Univ J Sci*, 14(1), 1-30.
- Barakli Sakarya Üniversitesi (2021) <https://barakli.sakarya.edu.tr/sites/barakli.sakarya.edu.-tr/file/h1.pdf>
- Bayrak ve Cebeci, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 28(3):198-204
- Bersani ve Barozzi 2018 Nanoteknoloji-2 karakterizasyon ve uygulamalar <https://ec.europa.eu/programmes/.pdf>
- Bilsenbesergil.blogspot.com (2020) (<http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/devitrifikasyon-devitrification.html>)
- Bhowmik, RN, Murty, MN ve Srinadhu, ES (2008). Mekanik alaşımlı Cr 1.4 Fe 0.6 O 3 oksitte manyetik modülasyon. *PMC Fiziği B*, 1 (1), 1-18.
- Boz O.H. (2011) “Günümüzün alternatif enerji kaynağı fotovoltaiik güneş pilleri”, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Charles Kittel, (1995) (Introduction to Solid State Physics by Charles Kittel)
- Chowdhury, RI, Islam, MS, Sabeth, F., Mustafa, G., Farhad, SFU, Saha, DK, ... & Islam, ABMO (2012). Elektro birikmiş kadmiyum selenid ince filmlerin karakterizasyonu. *Dhaka University Journal of Science*, 60 (1), 137-140.
- Chrissey ve Hubler, 1994 Pulsed laser deposition of thin films (<https://xiaoshanxu.unl.edu/system/files/.pdf>)
- Çarkıt, T. (2016). Pv panellerin yapısı ve panellerden elektrik üretimine sıcaklığın etkisi. *Elektrik Mühendisliği Dergisi, TMMOB, Temmuz S*, 457.
- Davis, JR (Ed.). (2004). *Termal püskürtme teknolojisi el kitabı*. ASM uluslararası.
- Dell'Anna, R., Iacob, E., Barozzi, M., Vanzetti, L., Hübner, R., Böttger, R., ... & Pepponi, G. (2018). Orta enerjili Au iyonları tarafından ışınlanan Ge yüzeylerinin morfolojik evriminde geliş açısının rolü. *Journal of Physics: Yoğun Madde*, 30 (32), 324001.
- Docplayer.biz (2019) (<https://docplayer.biz.tr/113407042-Karakterizasyon-teknikleri.html>)
- Erat s. (2007) kimyasal depolama yöntemiyle elde edilen cdse ince filmlerinin optik özellikleri ve karakterizasyonu yüksek lisans tezi mersin üniversitesi fen bilimleri ensititüsü

- Erdem K.E** (2016) ‘Sıçratma yöntemi ile kaplanmış iletken camların optik ve yapısal karakterizasyonları’ yüksek lisans tezi Süleyman demirel üniversitesi fen bilimleri ensitüsü
- Fauzi, FB** (2015). *ZnTe katmanlarını içeren CdS / CdTe güneş pillerinin araştırılması ve geliştirilmesi* . Sheffield Hallam University (Birleşik Krallık).
- Fekadu, G. H.** (2015). *Synthesis and characterization of cadmium selenide (CdSe) and lead sulphur selenide (PbS_{1-x}Sex) thin films by chemical bath deposition method* (Doctoral dissertation).
- Feynman, RP, Leighton, RB ve Sands, M.** (1963). Feynman Lectures on Physics, ed. *RP Feynman, RB Leighton ve M. Sands* (Okuma: Addison-Wesley)
- Fouda, AN, Marzook, M., Abd El-Khalek, HM vd.**(2017) Kimyasal Olarak Çökeltilmiş PbS İnce Filmlerin Yapısal ve Optik Karakterizasyonu. *Silicon* **9**, 809–816 (2017).
- Fujii, K., Bettin, H., Becker, P., Massa, E., Rienitz, O., Pramann, A., ... & Borys, M.** (2016). XRCd yöntemi ile kilogramın gerçekleştirilmesi. *Metroloji* , 53 (5), A19.
- 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.
- Garcia, J., Tombesi, F., McClintock, J. E., Eikmann, W., Wilms, J., Brenneman, L., ... & Reynolds, C. S.** (2013). *Improved Reflection Models of Black-Hole Accretion Disks: Treating the Angular Distribution of X-rays* (No. arXiv: 1312.3231).
- Hcgurlek.com** 2021 (<https://hcgurlek.tripod.com/ana3.htm>)
- Han, W., Cao, LY, Huang, JF ve Wu, JP** (2009). Elektrodpozisyon ile hazırlanan PbS ince filmlere pH değerinin etkisi. *Malzeme Teknolojisi*, 24 (4), 217-220.
- Jazmati, AK, Abdallah, B.** (2018). RF Magnetron Püskürtme ile Farklı Kalınlıklarda Bırakılan ZnO İnce Filmlerin Optik ve Yapısal Çalışması: Tek Kristal ile Karşılaştırma. *Malzeme Araştırması*. 21 (3), e20170821.
- Kıyak Yıldırım, A., Altıokka, B.** (2018). Farklı molaritede Pb No₃ 2 çözeltisi kullanılarak kimyasal banyo depolaması yöntemi ile elde edilen Pbs filmlerin bazı fiziksel özellikleri. *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7 (1) , 42-49. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/dufed/issue/52849/698174>

- Kıyak Yıldırım, A.** Nispeten Yüksek Sıcaklığın Kimyasal Banyoda Kaplama Yöntemiyle Üretilen İnce PbS Filmlerine Etkileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22, 414-420.
- Kıyak Yıldırım, A.** (2018). Electrodeposition of CdS thin films under a magnetic field. *Materiali in tehnologije*, 52(5), 667-672.
- Kimyasimya.blog** <https://kimyasimya.blogspot.com/> (2021)
- 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*, 108(4), 819-824.
- Kowalik, Remigiusz & Kazimierczak, Honorata & Zabinski, Piotr.** (2016). Electrodeposition of cadmium selenide. *Materials Science in Semiconductor Processing*. 50. 43-48. 10.1016/j.mssp.2016.04.009.
- Küpeli A.Ö.** (2005) “Güneş Pilleri ve Verimleri”, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Lasia A.** (2002). Elektrokimyasal empedans spektroskopisi ve uygulamaları. *Genel elektrokimya Modern yönleri* (s. 143-248). Springer, Boston, MA.
- Ludmila, E.** (2012) Physics of thin films kitap. *İnce filmlerin fiziği*. Springer Science & Business Media.)
- Mahapatra, P. K., & Roy, C. B.** (1984). Photoelectrochemical cells with mixed polycrystalline n-type CdS□ PbS and CdS□ CdSe electrodes. *Electrochimica acta*, 29(10), 1435-1438.
- Malzemebilimi.net** 2021 <https://malzemebilimi.net/atomik-baglar.html>
- Matsumoto, Y., Hirata, G., Takakura, H., Okamoto, H., & Hamakawa, Y.** (1990). A new type of high efficiency with a low cost solar cell having the structure of a $\mu\text{c-SiC}$ /polycrystalline silicon heterojunction. *Journal of applied physics*, 67(10), 6538-6543.
- Modernfizik.blogspot** 2020 <http://modern-fizik.blogspot.com/2011/10/elektronlar-neden-cekirdege-dusmezler.html>
- Mustafa Numanoğlu** Ankara Üniversitesi (2020) <https://acikders.ankara.edu.tr.pdf>

- Nair, J. P., Jayakrishnan, R., Chaure, N. B., & Pandey, R. K.** (1998). In situ Sb-doped CdTe films. *Semiconductor science and technology*, 13(3), 340.
- On dokuz mayıs üniversitesi (2020)** <https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/hkutuk-/120963/UV.pdf>
- Önal, M.** (2020). *Güneş pilleri için kimyasal banyo biriktirme yöntemi ile üretilen ZnO, CdS, PbS ince filmlerinin bazı fiziksel özelliklerinin incelenmesi* (Master's thesis, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Peng, Q., Dong, Y., Deng, Z. ve Li, Y.** (2002). CdSe nanorodlarının ve fraktal nanokristallerin seçici sentezi ve karakterizasyonu. *İnorganik kimya*, 41 (20), 5249-5254.
- Pentia, E., Pintilie, L., Botila, T., Pintilie, I., Chaparro, A., & Maffiotte, C.** (2003). Bi influence on growth and physical properties of chemical deposited PbS films. *Thin Solid Films*, 434(1-2), 162-170.
- 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.
- Raut, V. S., Lokhande, C. D., & Killedar, V. V.** (2017). Studies on effect of pH on structural, optical and morphological properties of chemisynthesized CdSe grains. *International Journal of Engineering*, 10(1), 2017.
- Schnitzer, MJ** (1993) *Physical Review E*, 48, 2553-2568
- Sheikh, AD, Munir, R., Haque, MA, Bera, A., Hu, W., Shaikh, P., ... & Wu, T.** (2017). Yüksek sıcaklık ve termal çevrimin perovskit güneş pillerinin performansı üzerindeki etkileri: yük rekombinasyonunun hızlanması ve yük ekstraksiyonunun bozulması. *ACS uygulanan malzemeler ve arayüzler*, 9 (40), 35018-35029.)
- Shenouda, A. Y., & El Sayed, M.** (2015). Electrodeposition, characterization and photo electrochemical properties of CdSe and CdTe. *Ain Shams Engineering Journal*, 6(1), 341-346.
- Shi, B., Qi, Y., Tian, L., & Liu, L.** (2019). The enhanced photoelectrochemical performance of PbS/ZnS quantum dots co-sensitized CdSe nanorods array heterostructure. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 98, 7-12.
- Sinan Temel** (2018) ince film üretim ve karakterizasyon teknikleri ders notları

- Soetedjo, H., Siswanto, B., Aziz, I., Sudjarmoko, S., & Babarsari, J.** (2017). Low resistivity of Cu and Fe doped PbS thin films prepared using dc sputtering technique. *Journal of Non-Oxide Glasses*, 9(2), 55-63.
- Soon-Hyeok Jeon,** 2016 (Jeon, SH, Song, GD ve Hur, DH (2016). Depozisyon potansiyellerinin, alkali bir çözelti içinde karbon çelik substrat üzerindeki demir bazlı filmlerin morfolojisi ve yapısı üzerindeki etkileri. *Malzeme Bilimi ve Mühendisliğinde Gelişmeler*, 2016 .
- Sönmezoğlu, S., Koç, M. ve Akın S.** (2012). İnce film üretim stili. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi* , 28 (5), 389-404.
- Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N. ve Gekas, V.** (2005). Güneş enerjisi teknolojilerinin çevresel etkileri. *Enerji politikası* , 33 (3), 289-296.
- Turhan ve Çetiner** 2012 <http://catider.org.tr/pdf/sempozyum6/26.pdf>
- Uslu, İ.** (1995). The production, characterization and burnup of uranium dioxide-gadolinium oxide fuel and boron nitride coated uranium dioxide-gadolinium oxide.
- Varol ve Uslu** (2014) kimyasal buhar biriktirme Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İleri Teknolojiler ABD
- Yıldız üniversitesi** 2020 <https://avesis.yildiz.edu.tr/>
- Yongkuan Wu, Kun Liu, Dawei Li, Yingnan Guo, Shi Pan,** In situ AFM and Raman spectroscopy study of the crystallization behavior of Ge₂Sb₂Te₅ films at different temperature, *Applied Surface Science*, Volume 258, Issue 4, 2011, Pages 1619-1623,)
- Yoon, S., Schwartz, M. ve Nobe, K.** (1994). Bakır elektrodpozisyonunun döner halka disk elektrot çalışmaları: klorür iyonlarının ve organik katkı maddelerinin etkisi. *Kaplama ve yüzey bitirme*, 81 (12), 65-74.