



**FARKLI ALTTABANLAR ÜZERİNE KİMYASAL  
DEPOLAMA YÖNTEMİ İLE II-VI YARIİLETKEN  
BİLEŞİKLERİNİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MATAR DIALLO**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK  
ANABİLİM DALI**

**MERSİN  
AĞUSTOS - 2023**

**FARKLI ALTTABANLAR ÜZERİNE KİMYASAL  
DEPOLAMA YÖNTEMİ İLE II-VI YARIİLETKEN  
BİLEŞİKLERİNİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MATAR DIALLO**

**ORCID ID: 0009-0006-1925-4547**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK  
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. Hülya METİN GÜBÜR  
ORCID ID:0000-0002-5796-5028**

**İKİNCİ DANIŞMAN  
ÖĞR. GÖR. DR. Sevda İLDAN ÖZMEN  
ORCID ID:0000-0002-4222-0330**

**MERSİN  
Ağustos- 2023**

## ÖZET

### FARKLI ALTTABANLAR ÜZERİNE KİMYASAL DEPOLAMA YÖNTEMİ İLE II-VI YARIİLETKEN BİLEŞİKLERİNİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

Bu çalışmada farklı alttabanlar (Cam, FTO ve ITO) üzerine kimyasal depolama yöntemi kullanılarak 80 °C'de CdS filmleri oluşturuldu. Oluşturulan CdS filmlerinin üzerine 4 saat, 6 saat ve 10 saatlik CdSe ince filmleri kaplanarak Cam/CdS/CdSe, FTO/CdS/CdSe ve ITO/CdS/CdSe heteroeklemleri elde edildi. Bu heteroeklemlerin optiksel, yapısal, elektriksel ve fotoelektrokimyasal özellikleri belirlendi. Heteroeklemlerin SEM görüntüleri incelendiğinde hem nanotancıklı yapı hem de nanotellerin oluştuğu gözlemlendi. UV-Vis spektroskopisi ve fotolüminesans spektroskopisi ile yarıiletken filmlerin yasak enerji bant aralığı ( $E_g$ ) değerleri belirlendi. XRD analizi ile tüm filmlerin kristal yapısı incelendi ve filmlerin polikristal yapıya sahip olduğu bulundu. Hall ölçümü ile elektriksel özellikleri incelenen tüm filmlerin iletkenlik türü n-tipi olarak belirlendi. FTO/CdS/CdSe ve ITO/CdS/CdSe heteroeklemlerinin fotoelektrokimyasal özellikleri karanlık ve aydınlık koşullarda doğrusal taramalı voltametri (LSV), amperometrik (akım-zaman) ve elektrokimyasal empedans ölçümleri ile incelendi.

**Anahtar Kelimeler:** Cam/n-CdS/n-CdSe, FTO/n-CdS/n-CdSe, ITO/n-CdS/n-CdSe, Heteroeklem, Fotolüminesans.

**Danışman:** Prof. Dr., Hülya METİN GÜBÜR, Mersin Üniversitesi, Fizik Anabilim Dalı, Mersin.

**İkinci Danışman:** Öğr. Gör. Dr. Sevda İLDAN ÖZMEN, Mersin Üniversitesi, İleri Teknoloji Eğitim Araştırma ve Uygulama Merkezi, Mersin.

## ABSTRACT

### PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF II-VI SEMICONDUCTOR COMPOUNDS BY CHEMICAL DEPOSITION ON DIFFERENT SUBSTRATES

In this study, CdS films were formed by the chemical bath deposition method at 80 °C on different substrates (Glass, FTO, and ITO). Glass/CdS/CdSe, FTO/CdS/CdSe, and ITO/CdS/CdSe heterojunctions were obtained with deposition of CdSe thin films for 4 hours, 6 hours, and 10 hours on CdS films. The optical, structural, electrical, and photoelectrochemical properties of these heterojunctions were determined. It was observed by the investigation of the SEM images that the heterojunctions have both nanoparticle and nanowire structures. The energy band gap ( $E_g$ ) value of the semiconductor films was determined with UV-Vis spectroscopy and photoluminescence spectroscopy. The crystal structure of the films was investigated with XRD and it was found that the films have polycrystalline structure. The conductivity type of all films whose electrical properties were examined by Hall measurement was determined as n-type. The photoelectrochemical properties of the FTO/CdS/CdSe and ITO/CdS/CdSe heterojunctions were investigated under dark and light conditions with linear sweep voltammetry (LSV), amperometry (current-time), and electrochemical impedance measurements.

**Keywords:** Cam/n-CdS/n-CdSe, FTO/n-CdS/n-CdSe, ITO/n-CdS/n-CdSe, Heterojunction, Photoluminescence

**Advisor:** Prof. Dr. Hülya METİN GÜBÜR, Department of Physics, University of Mersin, Mersin

**Second Advisor:** Dr. Sevda ILDAN OZMEN, Advanced Technology Education Research and Application Center, University of Mersin, Mersin.

## TEŞEKKÜR

Değerli danışmanlarım Prof. Dr. Hülya METİN GÜBÜR' e ve Öğr. Gör. Dr. Sevda İLDAN ÖZMEN' e özverili çalışmaları ve desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

Her türlü yardımı benden esirgemeyen ve bana ilham veren sayın hocalarım Prof. Dr. Selma ERAT, Prof. Dr. Oktay AYDOĞDU, Doç. Dr. Mustafa SALTİ, Prof. Dr. Kasım KURT' a ayrı ayrı teşekkürlerimi sunuyorum

Pandemi döneminde tanıştığım sevgili arkadaşım Arş. Gör. Kevser YAŞAR' a herşeye rağmen yardımlarını esirgemediği için çok teşekkür ediyorum.

Sevgili sınıf arkadaşım Basir BİLİM' e ve sevgili doktora öğrencisi Emel YILDIRIM' a herşey için teşekkür ederim.

Beni bu yaşa getiren ve bana maddi, manevi destek olan sevgili annem Aissatou DIALLO ve sevgili babam Amadou Wopa DIALLO' ya destekleri için şükranlarımı sunuyorum.

Çalışmamı yürüttüğüm sevgili Mersin Üniversitesine' de şükranlarımı borç bilirim.

Çalışmam sırasında benden desteğini esirgemeyen küçük, büyük herkese çok teşekkür ederim.

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X ışını kırınımı (XRD) ölçümleri için Mersin Üniversitesi İleri Teknoloji Eğitim Araştırma ve Uygulama Merkezi (MEİTAM)'a ve Çukurova Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı (ÇÜMERLAB)' a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın tamamlanmasında 2022-1-TP2-4649 numaralı proje ile destek sunan Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Birimine (BAP) teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<b>İÇ KAPAK</b>	<b>i</b>
<b>ONAY</b>	<b>ii</b>
<b>ETİK BEYAN</b>	<b>iii</b>
<b>ÖZET</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>v</b>
<b>TEŞEKKÜR</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>vii</b>
<b>TABLolar DİZİNİ</b>	<b>viii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b>	<b>ix</b>
<b>KISALTMALAR ve SİMGELER</b>	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI</b>	<b>2</b>
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b>	<b>5</b>
3.1. İnce Film Üretim Teknikleri	5
3.2. Kimyasal Depolama Yöntemi	6
3.3. Kimyasal Depolama Yöntemiyle Farklı Alttabanlar Üzerine CdS/CdSe İnce Filmlerinin Üretilmesi	7
3.3.1. Cam/CdS, FTO/CdS ve ITO/CdS İnce Filmlerinin Elde Edilmesi	7
3.3.2. CdS İnce Filmlerinin Elde Edilmesi	7
3.3.3. İnce Film Heteroeklemler	8
<b>4. BULGULAR ve TARTIŞMA</b>	<b>10</b>
4.1. İnce Filmlerin Optiksel Özellikleri	10
4.1.1. Cam/CdS, Cam/CdS/CdSe, FTO/CdS, FTO/CdS/CdSe, ITO/CdS ve ITO/CdS/CdSe Heteroeklemlerinin Optiksel Özellikleri	10
4.1.2. Cam/CdS, Cam/CdS/CdSe, FTO/CdS, FTO/CdS/CdSe, ITO/CdS ve ITO/CdS/CdSe Filmlerinin Fotoluminesans (PL) Analiz Sonuçları	16
4.2. İnce Filmlerin Yapısal Özellikleri	19
4.2.1. Cam/CdS, Cam/CdS/CdSe, FTO/CdS, FTO/CdS/CdSe, ITO/CdS ve ITO/CdS/CdSe Filmlerinin XRD Analiz Sonuçları	19
4.2.2. Cam/CdS, Cam/CdS/CdSe, FTO/CdS, FTO/CdS/CdSe, ITO/CdS ve ITO/CdS/CdSe Filmlerinin Raman Analiz Sonuçları	27
4.2.3. Cam/CdS, Cam/CdS/CdSe, FTO/CdS, FTO/CdS/CdSe, ITO/CdS ve ITO/CdS/CdSe Filmlerinin SEM görüntüsü	29
4.3. Cam/CdS, Cam/CdS/CdSe, FTO/CdS, FTO/CdS/CdSe, ITO/CdS ve ITO/CdS/CdSe Heteroeklemlerinin Elektriksel Ölçümleri	34
4.3.1. Cam/CdS ve Cam/CdS/CdSe İnce Filmlerin Elektriksel Özellikleri	35
4.3.2. FTO/CdS ve FTO/CdS/CdSe İnce Filmlerin Elektriksel Özellikleri	35
4.3.3. ITO/CdS ve ITO/CdS/CdSe İnce Filmlerin Elektriksel Özellikleri	36
4.4. Fotoelektrokimyasal Ölçümler	36
4.4.1. Doğrusal Taramalı Voltametri (LSV) Ölçüm Sonuçları	36
4.4.2. Amperometrik Ölçüm Sonuçları	38
4.4.3. Elektrokimyasal Empedans (EIS) Ölçüm Sonuçları	38
<b>5.SONUÇLAR ve ÖNERİLER</b>	<b>40</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>41</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>46</b>

## TABLULAR DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Tablo 4.1.</b> Cam alt tabanındaki heteroeklemlerin kalınlık ve yasak enerji aralıkları	14
<b>Tablo 4.2.</b> FTO alt tabanındaki heteroeklemlerin kalınlık ve yasak enerji aralıkları	15
<b>Tablo 4.3.</b> ITO alt tabanındaki heteroeklemlerin kalınlık ve yasak enerji aralıkları	16
<b>Tablo 4.4.</b> Cam/CdS (4 sa) ve 4, 6, 10 saatlik Cam/CdS/CdSe filmlerinin enerji bant aralığı ( $E_g$ ) değerleri	17
<b>Tablo 4.5.</b> FTO/CdS (4 sa) ve 4, 6, 10 saatlik FTO/CdS/CdSe filmlerinin enerji bant aralığı ( $E_g$ ) değerleri	18
<b>Tablo 4.6.</b> ITO/CdS (4 sa) ve 4, 6, 10 saatlik ITO/CdS/CdSe filmlerinin enerji bant aralığı ( $E_g$ ) değerleri	19
<b>Tablo 4.7.</b> Cam/CdS (4 sa), 4, 6 ve 10 saatlik Cam/CdS/CdSe yarıiletken heteroeklemlerin XRD analizi	23
<b>Tablo 4.8.</b> FTO/CdS (4 sa), 4, 6 ve 10 saatlik FTO/CdS/CdSe yarıiletken heteroeklemlerin XRD analizi	25
<b>Tablo 4.9.</b> ITO/CdS 4 saat, (b) 4, 6 ve 10 saat'lik ITO/CdS/CdSe yarıiletken heteroeklemlerin XRD analizi	25
<b>Tablo 4.10.</b> Cam/CdS (4 sa) filmi ve 4, 6 ve 10 saatlik Cam/CdS/CdSe filmleri için belirlenen Hall ölçüm değerleri	35
<b>Tablo 4.11.</b> FTO/CdS (4 sa) filmi ve 4, 6 ve 10 saatlik FTO/CdS/CdSe filmleri için belirlenen Hall ölçüm değerleri	35
<b>Tablo 4.12.</b> ITO/CdS (4sa) filmi ve 4, 6 ve 10 saatlik ITO/CdS/CdSe filmleri için belirlenen Hall ölçüm değerleri	36
<b>Tablo 4.13.</b> FTO/CdS/CdSe (10 sa) filminin EIS ölçümünün simüle edilen eşdeğer devre sonucu	39

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. İnce Film Üretim Teknikleri	5
Şekil 3.2. CBD yöntemi diyagramı	6
Şekil 3.3. Farklı p ve n tipi yarıiletkenlerle elde edilen cihaz yapılarının şematik gösterimi, a) FTO/CdS/CdTe/Au, b) FTO/CdS/CdSe/CdTe/Au, c) FTO/(ZnO/TiO <sub>2</sub> /SnO <sub>2</sub> )/CdSe/CdTe/Au	9
Şekil 4.1. (a) Cam/CdS, (b) 4 saat (c) 6 saat ve (d) 10 saat'lik Cam/CdS/CdSe yarıiletken heteroeklemlerin dalgaboyuna karşı geçirgenlik grafiği	11
Şekil 4.2. (a) FTO/CdS, (b) 4 saat (c) 6 saat ve (d) 10 saat'lik FTO/CdS/CdSe yarıiletken heteroeklemlerin dalgaboyuna karşı geçirgenlik grafiği	12
Şekil 4.3. (a) ITO/CdS, (b) 4 saat (c) 6 saat ve (d) 10 saat'lik ITO/CdS/CdSe yarıiletken heteroeklemlerin dalgaboyuna karşı geçirgenlik grafiği	13
Şekil 4.4. (a) Cam/CdS, (b) 4 saat (c) 6 saat ve (d) 10 saat'lik Cam/CdS/CdSe yarıiletken heteroeklemlerin $\alpha^2$ - Enerji grafiği	14
Şekil 4.5. (a) FTO/CdS, (b) 4 saat (c) 6 saat ve (d) 10 saat'lik FTO/CdS/CdSe yarıiletken heteroeklemlerin $\alpha^2$ - Enerji grafiği	15
Şekil 4.6. (a) ITO/CdS, (b) 4 saat (c) 6 saat ve (d) 10 saat'lik ITO/CdS/CdSe yarıiletken heteroeklemlerin $\alpha^2$ - Enerji grafiği	16
Şekil 4.7. Cam/CdS (4 sa) ve 4, 6, 10 saatlik Cam/CdS/CdSe filmlerinin PL ölçüm sonuçları	17
Şekil 4.8. FTO/CdS (4 sa) ve 4, 6, 10 saatlik FTO/CdS/CdSe filmlerinin PL ölçüm sonuçları	18
Şekil 4.9. ITO/CdS (4 sa) ve 4, 6, 10 saatlik ITO/CdS/CdSe filmlerinin PL ölçüm sonuçları	19
Şekil 4.10. (a) Cam/CdS (4 sa), (b) 4, 6 ve 10 saatlik Cam/CdS/CdSe yarıiletken heteroeklemlerin X-ışını kırınım deseni	22
Şekil 4.11 (a) FTO/CdS (4 sa), (b) 4, 6 ve 10 saatlik FTO/CdS/CdSe yarıiletken heteroeklemlerin X-ışını kırınım deseni	24
Şekil 4.12. (a) ITO/CdS, (b) 4, 6 ve 10 saat'lik ITO/CdS/CdSe yarıiletken heteroeklemlerin X-ışını kırınım deseni	26
Şekil 4.13. Cam/CdS (4 sa) ve 4, 6 ve 10 saatlik Cam/CdS/CdSe filmlerinin Raman analiz sonuçları	27
Şekil 4.14. FTO/CdS (4 sa) ve 4, 6 ve 10 saatlik FTO/CdS/CdSe filmlerinin Raman analiz sonuçları	28
Şekil 4.15. ITO/CdS (4 sa) ve 6 ve 10 saatlik ITO/CdS/CdSe filmlerinin Raman analiz sonuçları	29
Şekil 4.16. (a) Cam/CdS (4 sa), (b) 4, (c) 6 ve (d) 10 saatlik Cam/CdS/CdSe yarıiletken filmlerinin SEM görüntüsü	30
Şekil 4.17. (a) FTO/CdS (4 sa), (b) 4, (c) 6 ve (d) 10 saatlik FTO/CdS/CdSe yarıiletken filmlerinin SEM görüntüsü	31
Şekil 4.18. FTO/CdS/CdSe (6 sa) yarıiletken heteroekleminin 5 000 büyütmedeki SEM görüntüsü	32
Şekil 4.19. FTO/CdS/CdSe (10 sa) yarıiletken heteroekleminin 5 000 büyütmedeki SEM görüntüsü	32
Şekil 4.20. (a) ITO/CdS (4 sa), (b) 4, (c) 6 ve (d) 10 saatlik ITO/CdS/CdSe yarıiletken filmlerinin SEM görüntüsü	33
Şekil 4.21. ITO/CdS/CdSe (6 sa) yarıiletken heteroekleminin 2.000 büyütmedeki SEM görüntüsü	34
Şekil 4.22. FTO/CdS/CdSe (10 sa) filminin aydınlık ve karanlık ortamlarda ölçülen LSV eğrileri	37
Şekil 4.23. ITO/CdS/CdSe (10 sa) filminin aydınlık ve karanlık ortamlarda ölçülen LSV eğrileri	37



	<b>Sayfa</b>
<b>Şekil 4.24.</b> FTO/CdS/CdSe (10 sa) ve ITO/CdS/CdSe (10 sa) filmlerinin ışığın açılıp kapatılmasıyla elde edilen Akım – Zaman diyagramı	38
<b>Şekil 4.25.</b> FTO/CdS/CdSe (10 sa) filminin karanlıkta ve ışık aydınlatması altında 0,1M KCl’ de OCP’ de kaydedilen Nyquist grafiği	39
<b>Şekil 4.26.</b> FTO/CdS/CdSe (10 sa) filminin eşdeğer devresi	39



## KISALTMALAR ve SİMGELER

Kısaltma/Simgesi	Tanım
MEİTAM	Mersin Üniversitesi İleri Teknolojiler Araştırma Merkezi
CBD	Kimyasal depolama Yöntemi
CdS	Kadmiyum Sülfür
CdSe	Kadmiyum Selenür
ITO	İndiyum katkılı kalay oksit
FTO	Flor katkılı kalay oksit
ZnS	Çinko Sülfür
SEM	Tramalı Elektron Mikroskobu
XRD	X-Işını Kırınımı
FWHM	Yarı Maksimum Genişlik
CRT	Katot Işın Tüpleri
TEA	Trietanolamin
TA	Tiyoasetamid
$\lambda$	Dalgaboyu
$\alpha$	Soğurma katsayısı
R	Özdirenç
$\mu$	Mobilite
%T	Optik Geçirgenlik
C	Santigrat
$E_g$	Yasak Enerji Aralığı
$\beta$	Maksimum Pikin Yarı Genişliği
$\rho$	Dislokasyon Yoğunluğu
k	Boltzaman Sabiti
V	Gerilim
I	Akım

## 1. GİRİŞ

İnsanlığın enerjiye olan gereksinimi artıkça bilinen enerji üretim teknolojilerinin yerini yenilenebilir enerji kaynakları almaktadır. Bu enerji kaynakları arasında güneş, temiz ve sınırsız bir enerji kaynağı olmasıyla oldukça önemlidir. Güneş ışınlarını elektrik enerjisine dönüştürmek için fotovoltaik güneş hücreleri kullanılmaktadır. Fotovoltaik uygulamalarda kullanılan güneş hücrelerinin yüksek verimlilikte ve düşük maliyetlerle üretilmesi önemlidir. Güneş hücrelerinin temel yapı taşlarından olan II-VI yarıiletken ince filmleri; düşük maliyetli, geniş yüzeylere uygulanabilir ve tekrarlanabilir olmasından dolayı oldukça ilgi görmektedir. Son yıllarda II-VI bileşikleri (CdS, CdSe, ZnSe, CdTe vb.) fotovoltaik, fotoelektrokimyasal (PEC) ve elektrolüminesans gibi uygulamalardaki kullanımları nedeniyle oldukça ilgi çekmeye başlamıştır. Yarıiletken ince filmleri elde etmek için moleküler demet epitaksi, elektrokimyasal depolama, püskürtme yöntemi, vakumlu ve vakumsuz film depolama yöntemleri ve kimyasal banyo depolama yöntemi (Chemical Bath Deposition) (CBD) gibi birçok yöntem kullanılmaktadır. Bilinen yöntemlere CBD maliyeti düşük ve geniş yüzeyli alanlara kaplanması için daha uygun bir yöntemdir. Bu yöntem çözelti içerisindeki reaksiyonun yavaşlatılması esasına dayandığından, çözeltinin pH' ı, konsantrasyonu, depolama sıcaklığı ve süresi kontrol edilebildiğinden daha kaliteli filmler oluşturulabilmektedir.

Bu çalışmada, kadmiyum sülfür (CdS) ve kadmiyum selenür (CdSe) yarıiletken ince filmleri kimyasal depolama yöntemi (CBD) kullanılarak sırasıyla Cam, FTO (flor katkılı kalay oksit) ve ITO (indiyum katkılı kalay oksit) alttabanlar üzerine depolanmıştır. Bu yöntemle Cam/CdS/CdSe, FTO/CdS/CdSe ve ITO/CdS/CdSe heteroeklemleri üretilmiş, bu heteroeklemlerin yapısal, optiksel, elektriksel ve fotoelektrokimyasal özellikleri incelenmiştir.

Bu karakterizasyonları yaparken optiksel özellikleri belirlemede UV-visible spektrometresi ve fotolüminesans spektroskopisi, yapısal özellikleri belirlemede X-ışını kırınımı difraktometresi (XRD), Raman spektroskopisi ve taramalı elektron mikroskobu (SEM), elektriksel özellikler için Hall-effect ölçüm cihazı, fotoelektrokimyasal özellikleri için ise CHI-660D elektrokimyasal çalışma ünitesi kullanıldı.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

Teknolojideki gelişmelerin yaygınlaşmasıyla, ince filmler çeşitli alanlarda kullanımı nedeniyle önem kazanmıştır. Günümüzde ince film teknolojisinin uygulama alanındaki en büyük pazar, yarıiletken sanayisidir. Işık yayan diyotlar (LED), transistörler, entegre devreler (IC), ekranlar, lazerler yarıiletken teknolojisi kullanılarak yapılmaktadır. Gece görüş dürbünleri, güneş hücreleri gibi araçlar da bu teknolojinin ürünleridir. Doğada Si ve Ge gibi bulunan saf yarıiletken elementlerin yanı sıra IIB-VIA (CdS, CdTe ve CdSe), ve IIIA-VA elementlerinin oluşturduğu bileşiklerle de yarıiletken malzemeler elde etmek mümkündür. Özellikle IIB-VIA grup bileşikleri oldukça geniş band aralığı, yüksek optiksel soğuruma sahip olması ve elektron alma eğiliminin yüksek olması nedeniyle bilimsel ve teknolojik uygulamalarda önemli yarıiletkenlerdir.

Teknolojideki bu gelişmelerle birlikte, ince filmlerin üretilmesinde birbirine alternatif olabilecek yeni üretim teknolojileri ortaya çıkmış ve geliştirilmiştir. CBD yöntemi, elektrokimyasal depolama yöntemi, yakın alan süblimasyonu, fiziksel buhar depolama, nanobaskı litografisi, termal evaporasyon, sprey pirolizi, püskürtme, moleküler demet epitaksi, gibi çeşitli teknikler ince filmlerin üretilmesinde kullanılmıştır.

Bu tekniklerden CBD yöntemi, çeşitli avantajları nedeniyle üretim teknikleri içerisinde önemli bir yer kaplamaktadır. Metin H. ve arkadaşları birçok çalışmada bu yöntemi kullanarak (Metin et al. 2003 - 2008 - 2010), CdS yarıiletken ince filmlerini farklı sıcaklıklarda farklı alttabanlar üzerine depolayarak, farklı ortamlarda farklı sıcaklıklarda tavlarken karakterizasyonlarını yapmışlardır. Tavlanmamış filmler polikristal yapıdayken, tavlандıkları zaman filmlerin hekzagonal yapıda olduğunu belirlemişlerdir. Tavlama sıcaklığının artması ile tanecik büyüklüğünün arttığı, geçirgenlik ve yasak enerji aralığının azaldığını görmüşlerdir. Filmlerin elektriksel iletkenliğinin sıcaklık artışına bağlı olarak arttığını ve dolayısıyla yarıiletken karakteristik gösterdiği deneysel verilerle desteklenmiştir.

Behrang Bagheri ve arkadaşlarının çalışmasında (Behrang Bagheri, et al. 2019), termal buharlaşma yöntemi kullanılarak elde edilen CdSe heteroeklem ince filmleri incelenmiştir. CdSe ince filmi, güneş hücresi için uygun bir band genişliğine (1,72 eV) sahiptir. CdSe malzemeleri ve heteroeklem CdSe güneş hücreleri FTO/Cam, üst ve alt tabakaya metal yüzeyler kaplanarak incelenmiştir. CdSe katmanı, termal buharlaştırma kullanılarak biriktirilmiş ve daha sonra tane boyutunu iyileştirmek ve tane sınırlarını pasifleştirmek için CdCl<sub>2</sub> ile son işlemde geçirilmiştir. Yaptıkları önemli bir nokta, CdCl<sub>2</sub> ısıtma işlemi kullanılarak biriktirme işleminden sonra CdSe filmlerinin tavllanmasıyla cihaz performansının ve tane boyutunun önemli ölçüde iyileştirilebilmesidir. Büyümeden sonra film üzerine su içinde CdCl<sub>2</sub> çözeltisi bir ince film depolandıktan sonra farklı sıcaklıklarda azot atmosferinde tavlannmıştır. Optimum tavlama sıcaklığının 450 °C olduğu bulunmuştur. Film 10 saat tavlannmıştır. Daha yüksek sıcaklıkta tavlандığı zaman Se kaybına ve cihaz performansının düşük olmasına neden olduğu görülmüştür. CdCl<sub>2</sub> tuzu kullanılarak hazırlanan filmler

diğerleriyle karşılaştırıldığında daha sıkı yapıda, nispeten daha büyük band aralıklarına ve daha iyi özelliklere sahip olduğu görülmüştür.

M. Ashry ve arkadaşları çalışmalarında (M. Ashry et al. 2012), tek kristal p-tipi bir silikon substrat üzerinde buharlaşma yöntemi ile hazırlanan CdSe/p-Si heteroeklemlili güneş hücrelerinin elektriksel ve fotovoltaik özelliklerini radyasyon etkisi altında incelemiştir. 25 °C altında güneş simülatörü (100 mW/cm<sup>2</sup>) öncesi ve sonrası incelemelerini gerçekleştirmişlerdir. Üretilen en iyi filmin açık devre potansiyeli güneş simülatörü öncesi 0,62 V, güneş simülatörü sonrası ise 0,44 V olarak bulunmuştur. Kısa devre akım yoğunluğu ışınlama öncesi 34 mA/cm<sup>2</sup> ve ışınlama sonrası 13 mA/cm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Güneş simülatörü öncesi doluluk faktörünü (FF) %53 ve güneş simülatöründen sonra %44,7 olarak bildirilmiştir. Dönüşüm verimliliği (aktif alan) güneş simülatörü öncesi %11,1 ve güneş simülatörü sonrası %2,5 olduğunu tespit edilmiştir. İnce CdSe/p-Si güneş hücresi 500, 1400 Mrad'lık  $\gamma$ - dozları ile incelenmiştir. Radyasyonun etkisine bağlı olarak, yani radyasyon dozu arttıkça elektriksel performansta bir düşüş olduğu kaydedilmiştir. CdSe' deki donör konsantrasyonu, akım – voltaj ve kapasite voltajı gibi parametreler açıklanmaktadır. CdSe' deki donör konsantrasyonu, akım-voltaj ve kapasite voltajı gibi parametrelerle açıklanmıştır. En iyi performanslı CdSe/Si güneş hücresi için verimlilik yaklaşık % 11' e yaklaşmıştır.

James Keith Walton tarafından yapılan çalışmada (James Keith Walton. 2010), kullanılan bileşikler şunlardır: %99,999 kadmiyum selenür (CdSe), %99,999 kadmiyum tellür (CdTe), %99,9 kadmiyum sülfür (CdS) ve %99,98 çinko tellür (ZnTe). Güneş hücreleri, ön kaplama olarak 100 nm kalınlığında bir indiyum kalay oksit (ITO) ((222) kübik bixbite (zümrüt kırmızısı)) tabakası ile önceden kaplanmış cam alttabanlar üzerine ince yarıiletken filmlerin buharlaştırılmasıyla üretilmiştir. Arka kontak kaplama olarak bir alüminyum tabakası uygulanmıştır. Yarıiletken yarıiletken bağlantıları aşağıdaki kombinasyonlarla oluşturulur: ITO/ CdS / CdSe /Al; ITO/ ZnTe/CdSe/Al; ITO/ CdTe/ CdSe/ Al; ITO/ ZnTe/ CdTe/ CdS/ Al. Bu araştırma, tek bir teknik kullanarak güneş hücreleri üretmek için katkılanmamış grup II-VI bileşiklerini kullanmaya odaklanmıştır. Bu üçlü bileşiklerin uzun zaman önce PV hücre araştırmalarında bazı kullanımları olmuştur ancak II-VI nanoçubuklar üzerine bazı araştırmalar, II-VI üçlü bileşik nanotellerin ve II-VI üçlü nanotanecek kullanımı tam olarak araştırılmamıştır.

Betul Guzeldir ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada (Betul Guzeldir et al. 2011), Cd/CdSe/n-Si/Au-Sb yapısının elektriksel özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada Cd/CdSe/n-Si / Au-Sb yapıları ardışık iyonik tabaka adsorpsiyonu ve reaksiyonu (SILAR) yöntemi ile üretilmiştir. SILAR döngüsünün bir fonksiyonu olarak Cd/CdSe/n-Si/Au-Sb yapılarının I-V ve C-V özellikleri araştırılmıştır.

Ali Çiriş ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada (Ali Çiriş et al. 2019) CBD yöntemini kullanarak FTO alttaban üzerine, önce 50 nm kalınlığında bir CdS tabakası ve ardından eşit kalınlıkta bir CdSe filmi oluşturularak CdS/CdSe iki tabakalı yapılar elde edilmiştir. Bu iki tabakalı yapıların

özellikleri, inert bir atmosferde tavlama etkisine ya da  $\text{CdCl}_2$  işlemine tabi tutulmasına bağlı olarak incelemiştir.  $\text{CdS/CdSe}$  400 °C' de 10 dakikaya kadar tavlendiğinde, iki katman arasında kayda değer bir alaşım olmadığı bulunmuştur. Bununla birlikte,  $\text{CdSe}$  filmi üzerine yerleştirilmiş bir  $\text{CdCl}_2$  tabakasının varlığında 5-10 dakika ısıtıldıktan sonra XRD, optiksel geçirgenlik ve oda sıcaklığında yapılan fotoluminesans ölçümleri ile doğrulaması yapılarak  $\text{CdSSe}$  alaşımının oluştuğu gözlenmiştir. Ayrıca, XRD verileri  $\text{CdS/CdSe}$  yapısındaki  $\text{CdS}$  tabakasının, inert atmosferde tavlama ile değişmediğini ve nano-amorf yapıya sahip olduğunu göstermiştir.  $\text{CdS/CdSe}$  yapısındaki kübik bir yapıya sahip olan  $\text{CdSe}$  tabakası inert atmosferde tavlandıktan sonra fazını korumuştur.  $\text{CdS/CdSe}$  ikili tabaka,  $\text{CdCl}_2$  ile işleme tabi tutulduğunda, oluşan  $\text{CdSSe}$  alaşımının fazı hekzagonal yapıya dönüşmüştür. Aynı zamanda bu yapıların oda sıcaklığında fotoluminesansları ve optiksel özellikleri incelenmiştir.

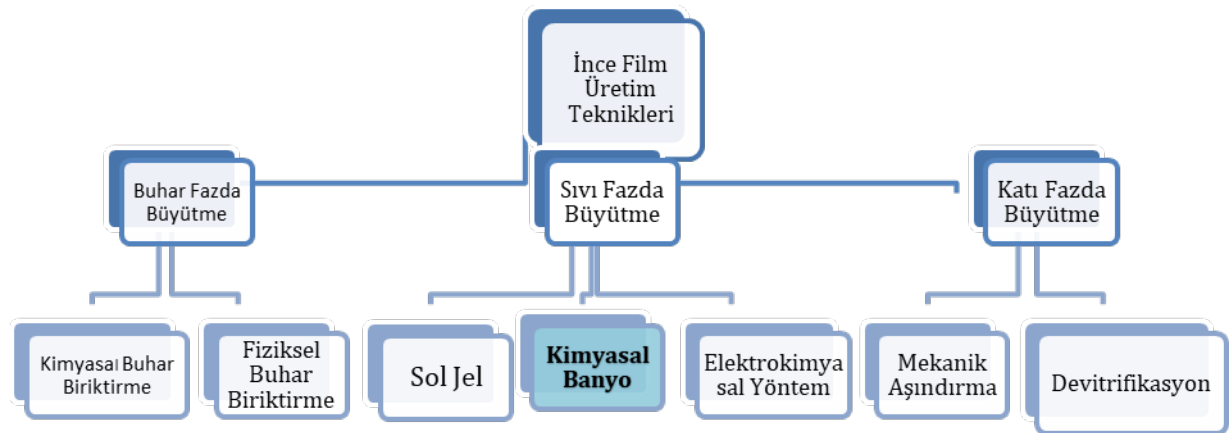
C. Lu., L. Zhang ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada (C. Lu. L. Zhang et al. 2014), CBD ve elektrodepolama (ED) yöntemleriyle ITO iletken cam üzerine  $\text{CdS}$  ve  $\text{CdS/CdSe}$  ince filmleri üretmişlerdir. Bu filmlerin XRD, XRF, SEM ve optik absorpsiyon ile karakterizasyonu yapılmıştır. Ayrıca fotoelektrokimyasal özellikleri de araştırılmıştır. İlk olarak, iki farklı  $\text{CdS}$  ince filmi CBD veya ED ile ITO iletken cam üzerine depolanmıştır. Farklı iki  $\text{CdS}$  filminin farklı bileşimler ve kristal yapılar gösterdiği bulunmuştur. CBD tarafından hazırlanan  $\text{CdS}$  filmi S bakımından zengindir ve kübik (çinko katkılı) yapısına sahipken, ED tarafından hazırlanan  $\text{CdS}$  filmi Cd açısından zengindir ve hekzagonal yapıya sahiptir. Ayrıca  $\text{CdSe}$ , elde edilen  $\text{CdS}$  filmleri üzerine bir galvanostatik ED yöntemiyle depolanarak  $\text{CdS/CdSe}$  çift katmanlı ince filmler elde edilmiştir. Elde edilen  $\text{CdS/CdSe}$  iki katmanlı ince filmler, tek katmanlı ince filmde daha fazla optik soğurma göstermiştir. Fotoelektrokimyasal özellikler için, ayrıca  $\text{CdS/CdSe}$  iki katmanlı ince film,  $\text{CdS}$  tek katmanlı ince film ile karşılaştırıldığında fotoakım yoğunluğu ve foto dönüşüm verimliliği sergilediği görülmüştür. Özellikle,  $\text{CdS}$  katmanının ED ile elde edildiği  $\text{CdS/CdSe}$  iki tabakalı ince film, yaklaşık 6  $\text{mA/cm}^2$ 'lik bir maksimum fotoakım yoğunluğu ve %3.41'lik maksimum fotodönüşüm verimi göstermişlerdir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada CBD yöntemi kullanılarak farklı alttabanlar üzerine sırasıyla CdS ve CdSe yarıiletken ince filmleri kaplandı. Elde edilen Cam/CdS/CdSe, FTO/CdS/CdSe ve ITO/CdS/CdSe heteroeklemlerin optiksel, yapısal, elektriksel özellikleri incelendi. İnce filmlerin ve heteroeklemlerin yapısal özellikleri; SEM analizi Çukurova Üniversitesi Merkez laboratuvarında, XRD analizi İleri Teknoloji Eğitim, Araştırma ve Uygulama Merkezi (MEİTAM)' da gerçekleştirildi. Elektriksel özellikleri Hall ölçümü kullanılarak Çukurova Üniversitesi, Fen ve Edebiyat Fakültesi, Plazma Destekli Üretim Laboratuvarında ve elektrokimyasal ölçümler ise Mersin Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya araştırma laboratuvarında yapıldı. Optiksel özellikleri UV-Visible Spektrofotometre kullanılarak Mersin Üniversitesi Fen Fakültesi Yarıiletken İnce Film Laboratuvarında belirlendi.

#### 3.1. İnce Film Üretim Yöntemleri

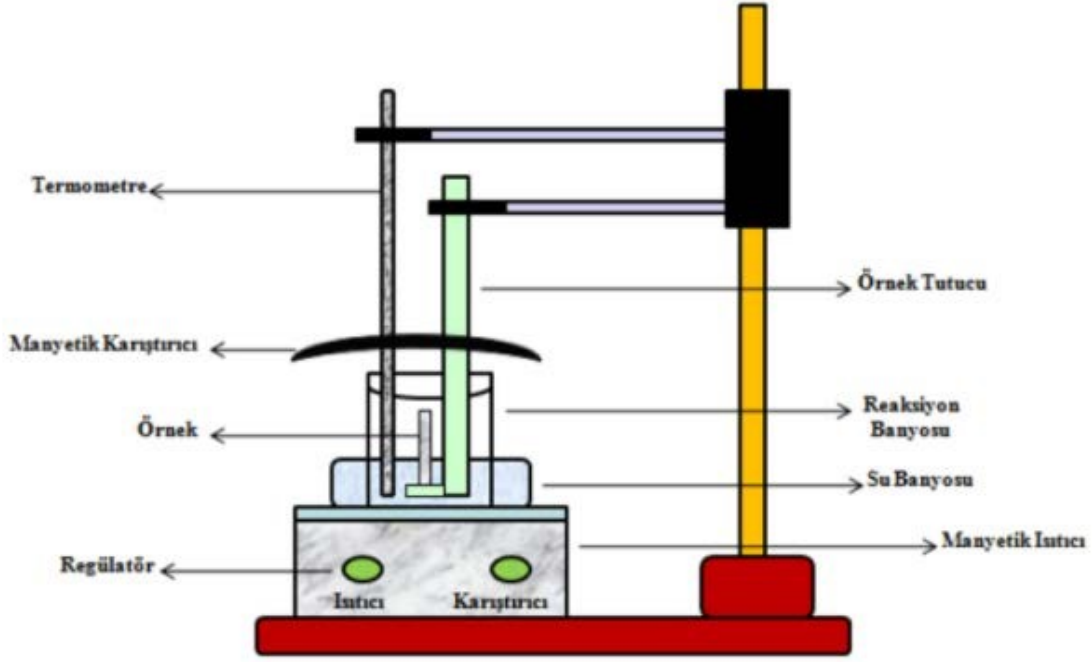
İnce filmler çeşitli yöntemler kullanılarak atomların ya da moleküllerin yüzeyi kaplanacak alttaban malzemenin üzerinde dizilmesiyle oluşturulur. Oluşturulan ince filmlerin kalınlıklarının 1  $\mu\text{m}$ ' nin altında olması istenir İnce film üretim teknikleri Şekil 3.1.'de gösterildiği gibi buhar fazda, sıvı fazda ve katı fazda büyütme olmak üzere üç farklı fazda gerçekleştirilebilmektedir. Sıvı fazda büyütme tekniği olan CBD yöntemi ile çözelti ortamında bulunan iyonların reaksiyonunun yavaşlatılması esasına bağlı olarak film oluşturulmaktadır. Herhangi bir yüzey üzerine bu yöntemle ince film büyütülmesi işleminin birinci adımında kimyasal çözelti içerisinde atom, molekül veya iyon grupları oluşturulur, bir sonraki adımda oluşan bu atom, molekül ve iyon grupları uygun alttaban üzerine hareket ederler ve son aşamada ise alttaban üzerinde film tabakası elde edilmiş olur. Biz sıvı fazda büyütme grubuna ait CBD yöntemiyle CdS ve CdSe filmlerini elde edeceğiz. Sönmezoğlu ve arkadaşları (2012)' nin çalışmasında, bu yöntemler ayrıntılı olarak tartışılmıştır.



Şekil 3.1. İnce Film Üretim Yöntemleri.

### 3.2. Kimyasal Depolama Yöntemi

CBD yöntemi, genel olarak çözeltiyi oluşturan iyonların yavaşlatılması esasına dayanır. Bu yöntem için gerekli olan malzemeler; ısıtıcı tabla, su banyosu, reaksiyon banyosu, alttaban, termometre ve pH metredir. Bu yöntemle film elde etmek için kullanılan düzenek Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. CBD yöntemi düzeneği.

Bu yöntemde ilk olarak cam alttabanlar deterjanlı su ile yıkanıp kurutuldu ve kromik asitle dağlandıktan sonra saf su ile durulanır ve kurutulur. Sonrasında sırasıyla farklı üç alkole daldırılarak temizlenir. Temizlenen alttabanlar hazırlanan çözelti içine daldırılarak ince film oluşturulur. Cam/ITO ve Cam/FTO alttabanları temizlerken kromik asitle dağlama işlemi yapılmadan sadece deterjanla yıkayıp kuruttuktan sonra sırasıyla 3'er dakika propanol, metanol ve etanolde bekletilerek temizlenmiştir.

Bu yöntemle ince filmin kalitesi ve kalınlığı; pH değeri, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresi gibi parametreler değiştirilerek kontrol edilebilir CBD yönteminin ucuz, tehlikesiz, hızlı olması bu yöntemin en önemli avantajlarıdır.



### 3.3. CBD Yöntemiyle Farklı Alttabanlar Üzerine CdS/CdSe İnce Filmlerinin Üretilmesi

#### 3.3.1. Cam/CdS, FTO/CdS ve ITO/CdS İnce Filmlerinin Elde Edilmesi

CdS yarıiletken ince filmleri 80 °C' de CBD yöntemi ile elde edildi. CdS yarıiletken ince filmleri elde edilmesinde kullanılan kimyasallar sırasıyla, kadmiyum sülfat ( $\text{CdSO}_4$ ), hidrazin ( $\text{N}_2\text{H}_4$ ), amonyak ( $\text{NH}_3$ ), tiyoüre ( $\text{NH}_2\text{CSNH}_2$ )' den oluşmaktadır. CdS ince filmleri aşağıda verilen miktar ve derişimlerde kullanılan kimyasallar ile elde edilen çözültiden hazırlandı. 0,15 M 10 ml Kadmiyum sülfat ( $\text{CdSO}_4$ )

- 10 ml Tiyoüre ( $\text{NH}_2\text{CSNH}_2$ )
- 0,50 M 10 ml Hidrazin ( $\text{N}_2\text{H}_4$ )
- %25 5 ml Amonyak ( $\text{NH}_3$ )
- 65 ml Ultra saf su

100 ml' lik beher içerisinde hazırlanan çözülti, ısıtıcı tabla üzerinde bulunan  $80 \pm 2$  °C' lik su banyosu içerisine yerleştirildi. Ardından da temizlenen cam alttaban, çözülti içerisine 45 °'lik açı ile daldırıldı. Çözülti su banyosu içerisinde 2 saat bekletildi. Böylelikle cam alttaban üzerine CdS yarıiletken ince filmlerinin eldesi sağlandı. CdS yarıiletken ince filmlerinin optik özelliklerinin ölçülmesi için cam alttabanların iki yüzünde oluşan filmin bir tarafı %5' lik HF ile silindi ve ultra saf su ile durulanıp kurutuldu. CdS yarıiletken ince filmleri oluşurken meydana gelen reaksiyonlar, (Metin, H. 2002) tez çalışmasında verilmiştir.

#### 3.3.2. CdSe İnce Filmlerinin Elde Edilmesi

CdSe ince filmleri, 70 °C' de CBD yöntemi kullanılarak Cam/CdS, FTO/CdS ve ITO/CdS alttabanları üzerine depolanarak elde edildi. CdSe tabakaları elde edilirken kadmiyum nitrat tetrahidrat ( $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), trietanolamin [ $\text{N}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3$ ], amonyak ( $\text{NH}_3$ ), sodyum sülfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ), sodyum selenosülfat çözülteleri ve saf su eklenerek 100 ml' lik beher içinde çözülti hazırlandı. 0,225 M olarak hazırlanan selenosülfat çözültisi çeker ocakta manyetik karıştırıcılı ısıtıcı ve geri soğutucu sistem yardımıyla 90 °C' de, 6 saatte elde edildi. Daha sonra süzülen çözülti film oluşumu için hazırlandı. 0,225 M olan bu çözülti  $\text{Se}^{2-}$  iyon kaynağı olarak kullanıldı.

- 1 M 3 ml kadmiyum nitrat ( $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )
- 1 M 4 ml trietanolamin (TEA)
- % 25 5 ml Amonyak ( $\text{NH}_3$ )
- 0,225 M 27 ml selenosülfat çözültisi
- 3 gr sodyum sülfat
- 80,5 ml ultra saf su

Hazırlanan çözeltiler ısıtıcı tabla üzerine yerleştirilerek 2 saat bekletildi. Her biriktirme süresi 2 saat olup, çözeltiler her seferinde yeniden hazırlanarak 4, 6 ve 10 saate tamamlanacak şekilde Cam/CdS/CdSe, FTO/CdS/CdSe ve ITO/CdS/CdSe heteroeklemleri elde edildi.

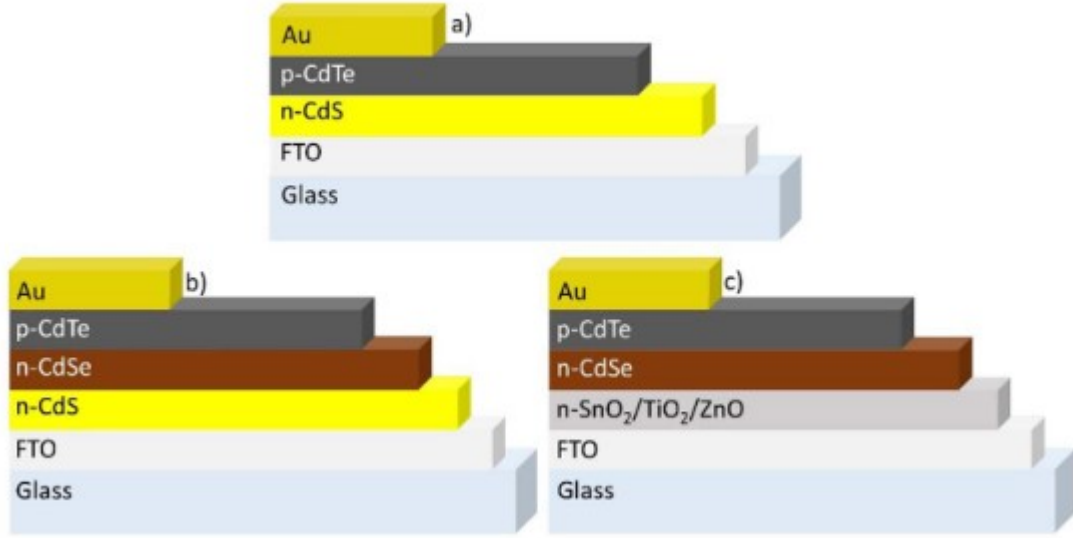
### 3.3.3. İnce Film Heteroeklemler

Yarıiletken literatüründe birbirinden farklı iki yarıiletkenin bir araya getirilmesiyle oluşan yapıya heteroeklem adı verilir. Heteroeklemi oluşturan yarıiletken malzemelerin benzer yapıda olmaları, uygulamada önemli sonuçların alınmasını sağlar. Aynı zamanda bu koşul ile elektron dalga vektörünün ara yüzeyde değişmemesi de sağlanmış olur. Heteroeklemi oluşturan bir yarıiletkenin kristal potansiyeli ile elektronik yapısının ara yüzey düzlemine kadar değişmediği kabul edilir. Ara yüzeyde elektronik yapı ve kristal potansiyel aniden değişir. Çoğunlukla teknolojik uygulamada önemli olan yarıiletkenlerin çoğu aynı simetri grubuna sahip olduklarından, heteroeklem için kabul edilen koşullar sağlanmış olur. Genel olarak yarıiletken malzemelerin örgü sabiti heteroeklem oluşumu için uygunluk sabiti olarak değerlendirilir.

Heteroeklemi oluşturan yarıiletken malzemelerin dağıtım bağıntılarının ayrıntılarına bakmaksızın, ara yüzeyin her iki yanında band yapısının yapıyı oluşturan yarıiletkenlerin band yapıları ile benzer olduğunu kabul ederek, heteroeklemin elektronik dağılımını oluşturabiliriz. Başka bir deyişle, sistemimizin band yapısını elde etmek için yarıiletken malzemelerin enerji bandlarını bir araya getirebiliriz. Burada en önemli nokta ise, heteroeklemi oluşturan yarıiletken malzemelerin band yapılarının konumlarıdır. Çünkü iletkenlik ve değerlik bandlarındaki kesiklilikler bu konumlara bağlı olacaktır. Ara yüzeyin her iki kenarında ortalama elektron yoğunluğunun aynı olduğu kabul edilirse, serbest elektron modeline göre Fermi enerjisi aynı zamanda her iki yarıiletken malzemelerin yasak band aralığının ortasını temsil edecektir. Sözü edilen yük transferi önemsiz büyüklükte olduğu için ihmal edilebilir. Böylece saf yarıiletkenler için yük transferinin neden olduğu çift yüklü tabaka olgusu ara yüzey için göz ardı edilir (Metin, H. 2002).

Son yıllarda kolay ve ucuz olarak elde edilen çok kristalli II-VI bileşiklerinde oluşan ince film heteroeklemler üzerinde çalışılmaktadır. İnce filmler CBD yöntemi, elektrodepolama yöntemi vb. birçok farklı yöntemler kullanılarak farklı alttabanlar üzerinde kaplanmaktadır. İnce film heteroeklemlerin fiziği büyütülme esnasında oluşan bozukluklardan (tanecik sınırı, boşluk, safsızlık vb.) dolayı çok karmaşıktır. Heteroeklemi meydana getiren iki yarıiletkenin örgü uyumsuzluğu ve ısıl yayılım katsayısındaki fark ekleme yeniden birleşme merkezleri veya tuzaklar gibi arayüzey durumlarını ortaya çıkarır. Arayüzey durumlarının büyüklüğüne ve tanecik sınırlarına bağlı olarak ekleme taşıyıcı iletimine karşı direnç oluşabilir. İnce film heteroeklemlerin performansı arayüzeyde yeniden birleşme işlemi, tanecik sınırları ve film direnci ile sınırlıdır. Heteroeklemlerdeki iletim çok iyi olarak bilinmemektedir. Çok kristalli heteroeklem ince filmlerin elektriksel özellikleri, enerji

süreksizlikleri, arayüzey durumları ve tanecik sınırlarının bulunmasından dolayı karmaşıktır (Özyurt Kuş, F. 2010).



**Şekil 3.3.**Farklı p ve n tipi yarıiletkenlerle elde edilen cihaz yapılarının şematik gösterimi, a) FTO/CdS/CdTe/Au, b) FTO/CdS/CdSe/CdTe/Au, c) FTO/(ZnO/TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub>)/CdSe/CdTe/Au (Baines, T. ve ark. 2018).

Bu çalışmada CBD yöntemi kullanılarak Cam/CdS/CdSe, FTO/CdS/CdSe ve ITO/CdS/CdSe heteroeklemleri elde edildi ve tüm karakterizasyonları çalışılmıştır. Hall ölçümlerine bakıldığında bu yarıiletkenlerin n-CdS ve n-CdSe olduğu tespit edildi. Bu yapılar Şekil 3.3 de görüldüğü (FTO/CdS/CdSe) gibi güneş hücrelerinin tampon tabakası olarak kullanılabilir.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. İnce Filmlerin Optiksel Özellikleri

Bu çalışmada farklı alttabanlar üzerine elde edilen CdS/CdSe ince filmlerinin optiksel özelliklerini belirlemek için her daldırma süresi sonunda Shimadzu UV-1700 spektrometresi kullanılarak oda sıcaklığında geçirgenlik ölçümleri alındı. Filmlerin optiksel özelliklerinin çalışmada kullanılan alttabandan bağımsız olması için, öncelikle alttaban yüzeyden alttaban yüzeye zemin ölçümü alınır. Daha sonra bu filmlerin dalgaboyuna karşı geçirgenlik grafikleri elde edilir. Bu grafiklerden yararlanılarak ince filmlerin kalınlıkları dalgaboyuna karşı geçirgenlik (%T) grafiğinden ardışık iki tepe noktası değerleri  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  kullanılarak,

$$d = \lambda_1 \lambda_2 / 2n(\lambda_2 - \lambda_1) \quad (4.1.)$$

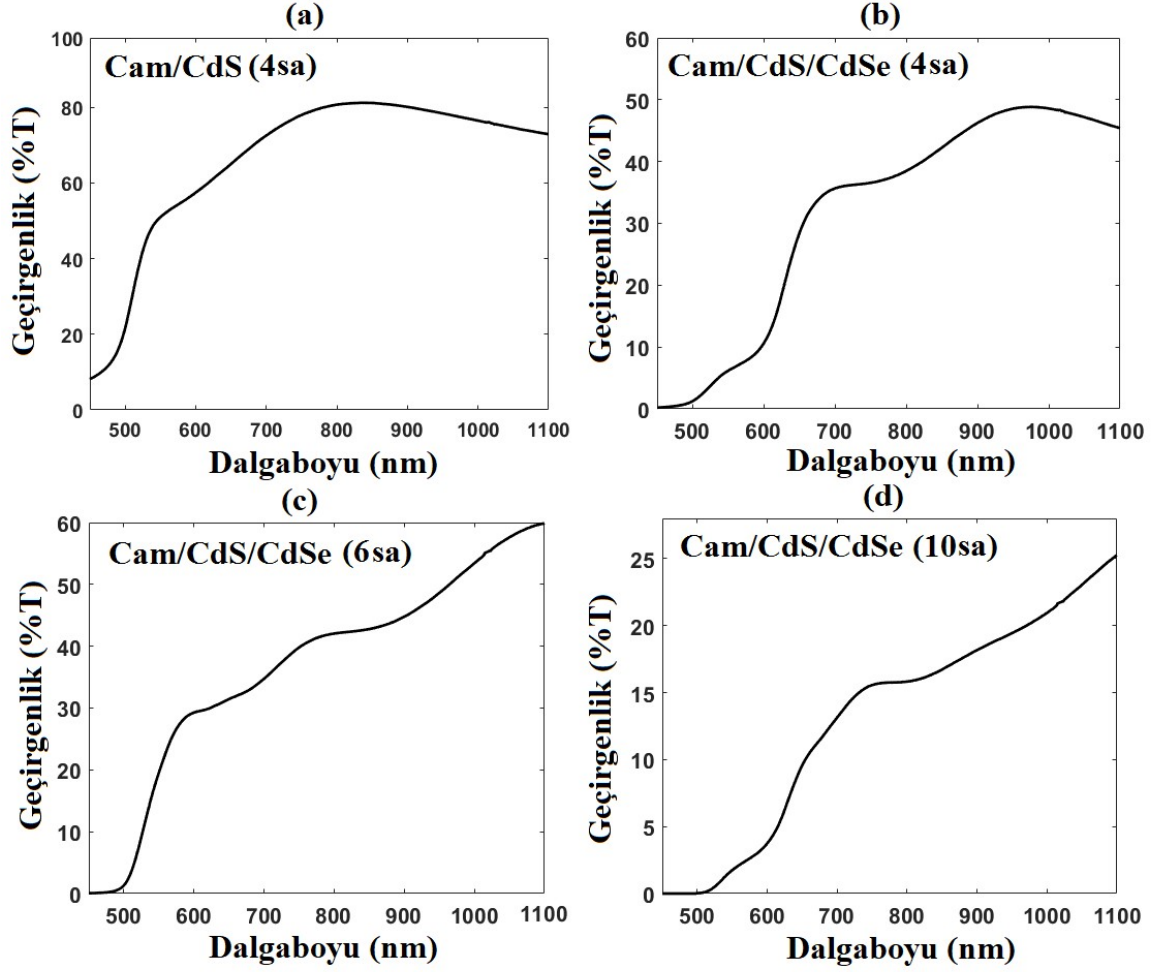
denklemleri ile film kalınlığı hesaplanır. Filmlerin soğurma katsayısı Beer-Lambert yasası ( $I = I_0 \exp(-\alpha d)$ ) kullanılarak elde edilen soğurma katsayısı ( $\alpha = -\ln(\%T)/d$ ) bulunur. Sonrasında yarıiletken ince filmlerinin soğurma katsayısı ( $\alpha$ ) ile yasak enerji aralığı ( $E_g$ ) arasında,

$$\alpha = A(h\nu - E_g)^n / h\nu \quad (4.2.)$$

denklemleri kullanılarak filmlerin yasak enerji aralığı belirlenir. Bu denklemden  $n$  direkt band aralığına sahip yarıiletkenler için  $1/2$  alınarak  $\alpha^2$ - enerji grafikleri elde edilir. Filmlerinin  $\alpha^2$ - enerji grafiklerinin eğiminin enerji eksenini kestiği yer yani  $\alpha^2 = 0$  olduğu yer filmin yasak enerji aralığı olarak belirlenir.

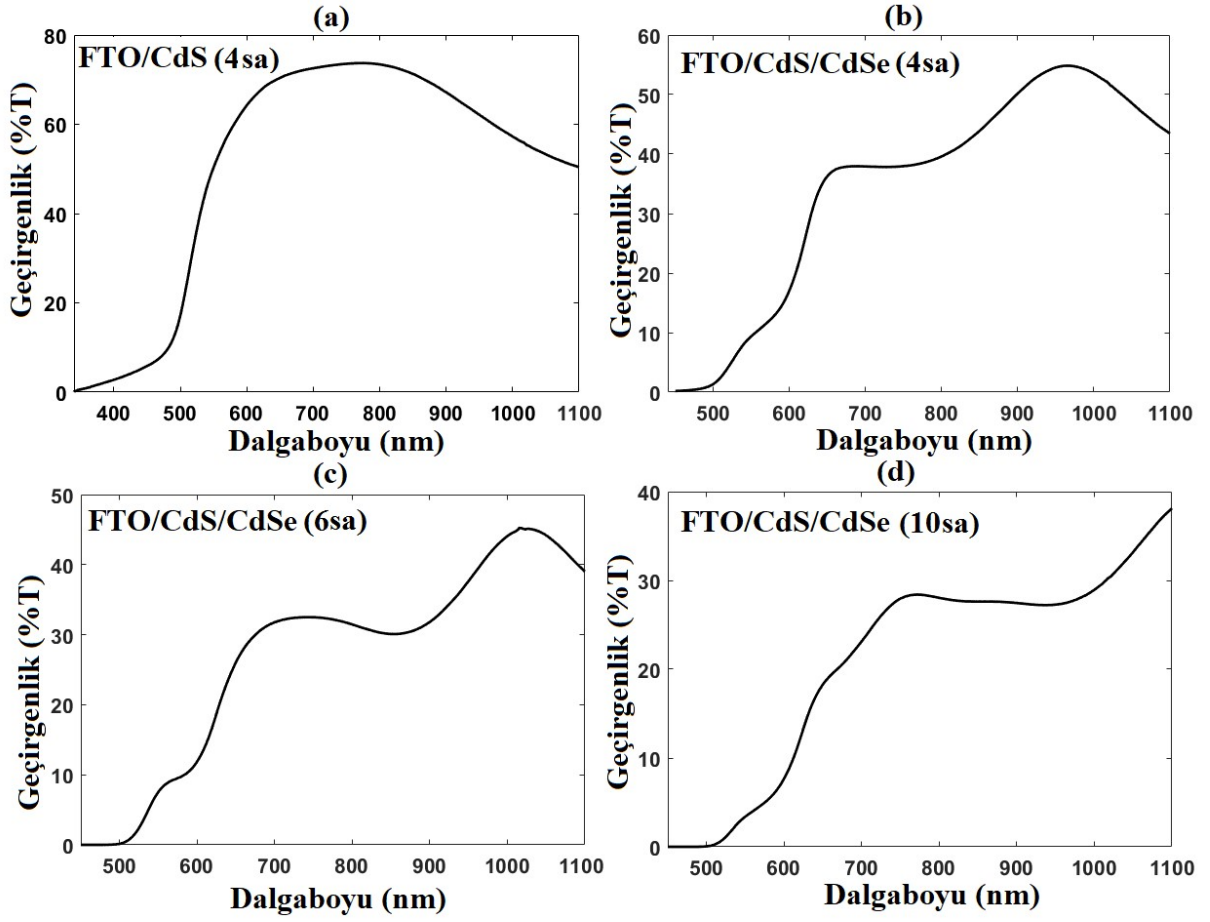
#### 4.1.1. Cam/CdS, Cam/CdS/CdSe, FTO/CdS, FTO/CdS/CdSe, ITO/CdS ve ITO/CdS/CdSe Filmlerinin Optiksel Özellikleri

Bu çalışmada, CBD yöntemi kullanılarak öncelikle Cam/CdS, FTO/CdS ve ITO/CdS filmleri ardışık 2 şer saatlik daldırma sonucunda 4 saatlik filmler elde edildi. CdS oluşturulan farklı alttabanlar üzerine 4, 6 ve 10 saatlik CdSe eklenerek Cam/CdS/CdSe, FTO/CdS/CdSe ve ITO/CdS/CdSe heteroeklemleri elde edildi. Bu heteroeklemlerin optiksel ölçümleri, kalınlık ve soğurma hesaplamaları kesim 4.1'de anlatıldığı gibi gerçekleştirildi. UV- visible spektrometresi ile gerçekleştirilen farklı alttabanlardaki heteroeklemlerin geçirgenlik grafikleri Şekil 4.1. (a)-(d), Şekil 4.2. (a)-(d) ve Şekil 4.3. (a)-(d)'de,  $\alpha^2$  - enerji grafikleri de Şekil 4.4. (a)-(d), Şekil 4.5. (a)-(d) ve Şekil 4.6. (a)-(d)'de verildi.

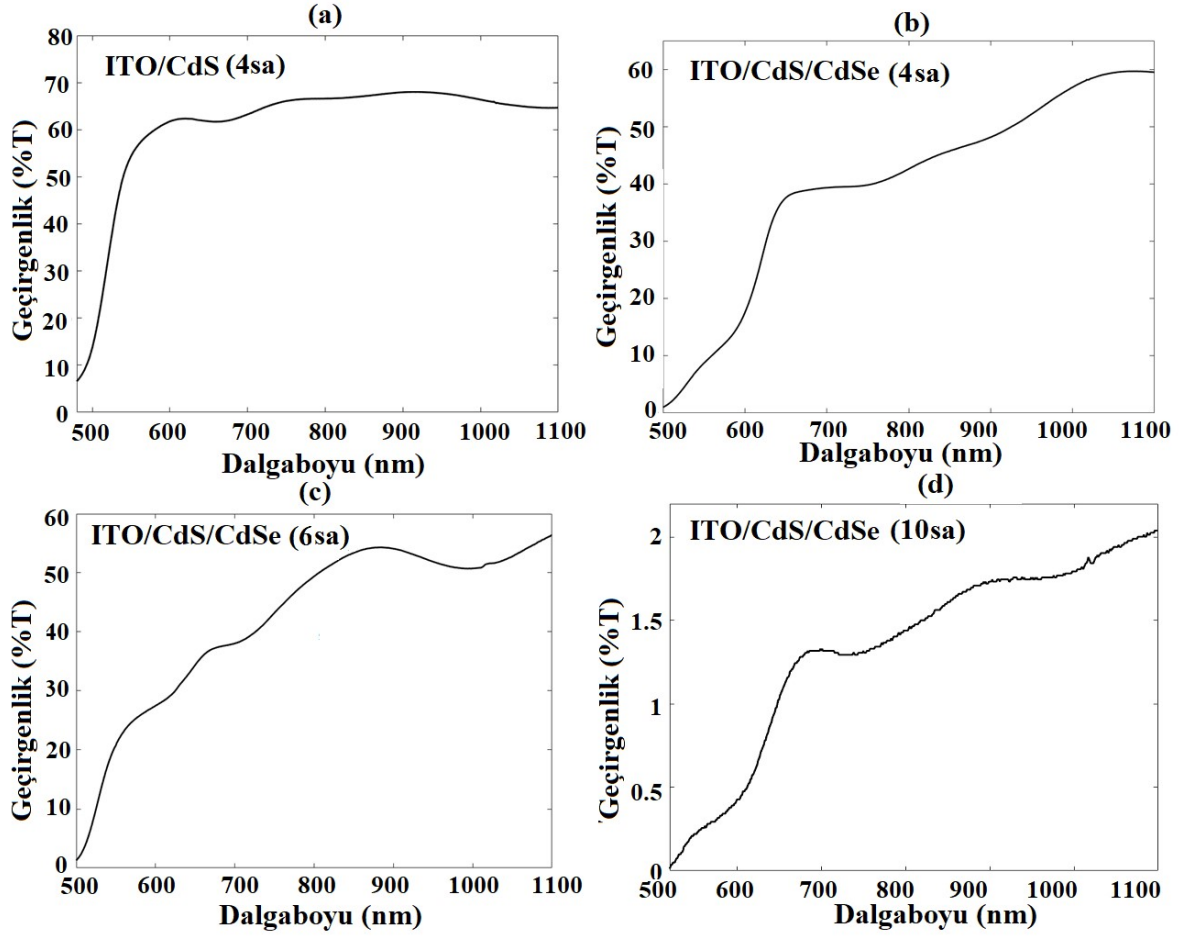


**Şekil 4.1.** (a) Cam/CdS, (b) 4 saat, (c) 6 saat ve (d) 10 saatlik Cam/CdS/CdSe yarıiletken heteroeklemlerin dalgaboyuna karşı geçirgenlik grafiği.

Şekil 4.1. (a)-(d), Şekil 4.2. (a)-(d) ve Şekil 4.3. (a)-(d), geçirgenliğe karşı dalgaboyu grafikleri incelendiğinde, Şekil 4.1, 4.2. ve 4.3 (a) farklı alttabanlara (Cam/CdS, FTO/CdS ve ITO/CdS) 4 saat' de oluşturulan filmlerin grafiklerinde geçirgenliklerin %80 civarında olduğu görülür. Şekil 4.1, Şekil 4.2. ve Şekil 4.3. (b)-(c)' de Cam/CdS/CdSe, FTO/CdS/CdSe ve ITO/CdS/CdSe 4 ve 6 saatlerde geçirgenliklerinin biraz azalma olmasına rağmen her ikisinde de geçirgenlikleri hemen hemen aynı değerlerdedir. Şekil 4.1, Şekil 4.2. ve Şekil 4.3. (d)' deki 10 saat olan heteroeklemler de geçirgenliğin azaldığı görüldü. Cam/CdS, FTO/CdS ve ITO/CdS (4 saat) ve Cam/CdS/CdSe, FTO/CdS/CdSe ve ITO/CdS/CdSe (4 saat, 6 saat ve 10 saat) ince filmlerin kalınlıkları geçirgenlik spektrumlarından Denklem 4.1 kullanılarak hesaplandı. Veriler sırasıyla Tablo 4.1, Tablo 4.2 ve Tablo 4.3' de gösterildi. Tablolardaki kalınlık değerlerine bakıldığında kalınlık değerlerinin artmasıyla geçirgenlik spektrumlarının azalması görüldü. Böylece, kalınlık arttıkça geçirgenlik azalır, soğurma band kenarları artar.

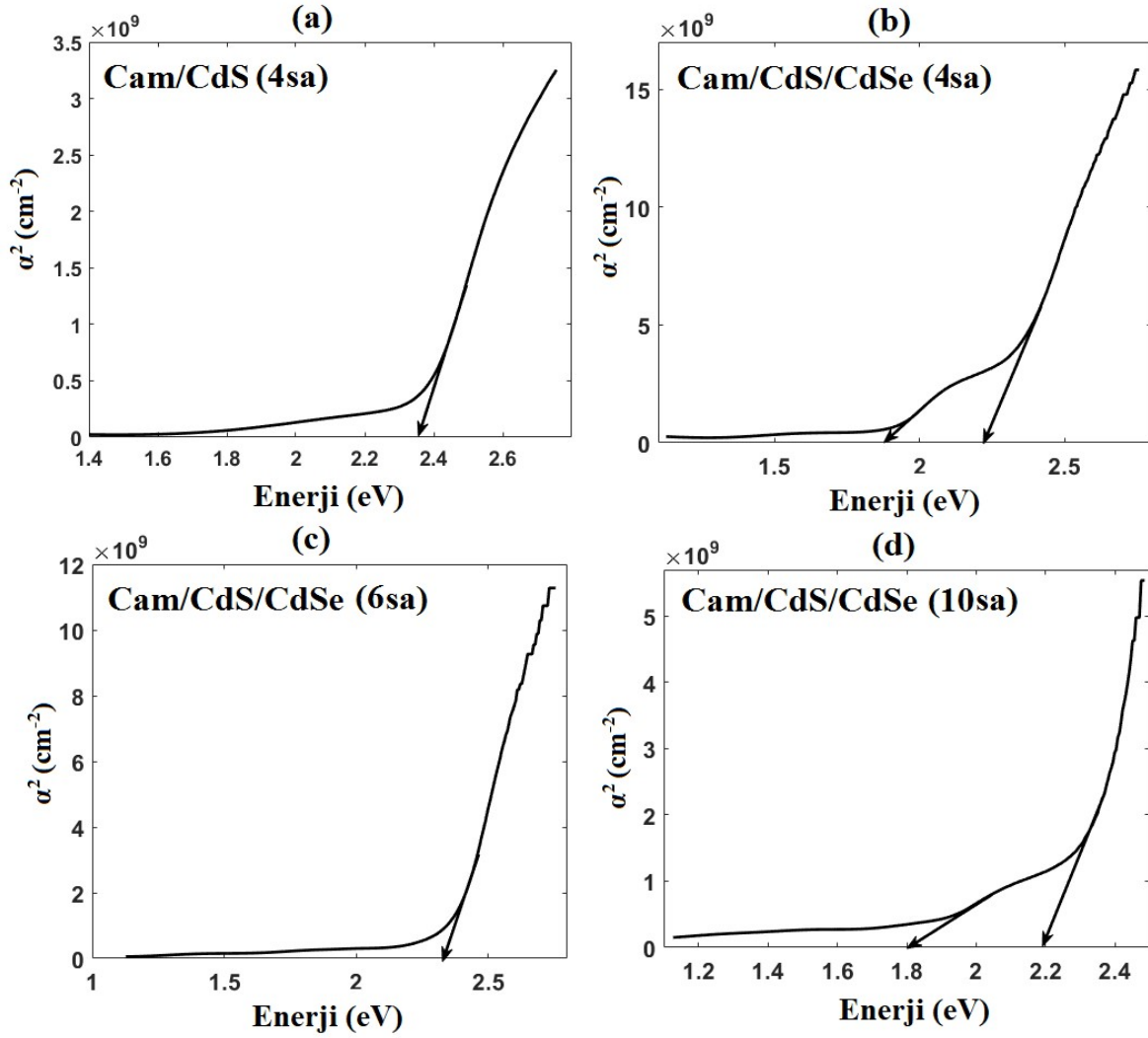


Şekil 4.2. (a)FTO/CdS, (b) 4 saat, (c) 6 saat ve (d) 10 saatlik FTO/CdS/CdSe yarıiletken heteroeklemlerin dalgaboyuna karşı geçirgenlik grafiği.



Şekil 4.3. (a) ITO/CdS, (b) 4 saat, (c) 6 saat ve (d) 10 saatlik ITO/CdS/CdSe yarıiletken heteroeklemlerin dalgaboyuna karşı geçirgenlik grafiği.

Heteroeklemlerin soğurma katsayısı ise Beer-Lambert yasası kullanılarak belirlendi. Soğurma katsayısı ( $\alpha$ ) ile yasak enerji aralığı ( $E_g$ ) arasında Denklem 4.2 kullanılarak heteroeklemlerin yasak enerji aralığı belirlendi. Bu denklemde  $n$  direkt band aralığına sahip yarıiletkenler için  $1/2$  alınarak  $\alpha^2$ -enerji grafikleri elde edildi. Şekil 4.4. (a)-(d), Şekil 4.5. (a)-(d) ve Şekil 4.6 (a)-(d)'de  $\alpha^2$ -enerji grafiklerini gösterilmektedir. Bu grafiklerin eğiminin enerji eksenini kestiği  $\alpha^2 = 0$  olduğu yer filmin yasak enerji aralığı olarak belirlendi ve  $E_g$  değerleri sırasıyla Tablo 4.1., Tablo 4.2 ve Tablo 4.3.' de verildi. CdS için bulk  $E_g$  değerinin 2,42 eV (Baines et al. 2018) ve CdSe için 1,74 eV (Sönmezoğlu, S., Koç, N., Akın, S. 2012) olduğu daha önce literatürde rapor edilmiştir. Filmler için elde edilen  $E_g$  değerleri, standart bulk değerlerine yakındır. Filmlerin enerji bant aralığı, tanecik boyutu ve yüzey gerilimi gibi çeşitli parametrelere bağlı olarak değişebilir (Özyurt, K., 2010). Filmlerin  $E_g$  değerleri yapılan benzer çalışmalarla uyumludur (Metin, H., 2002).

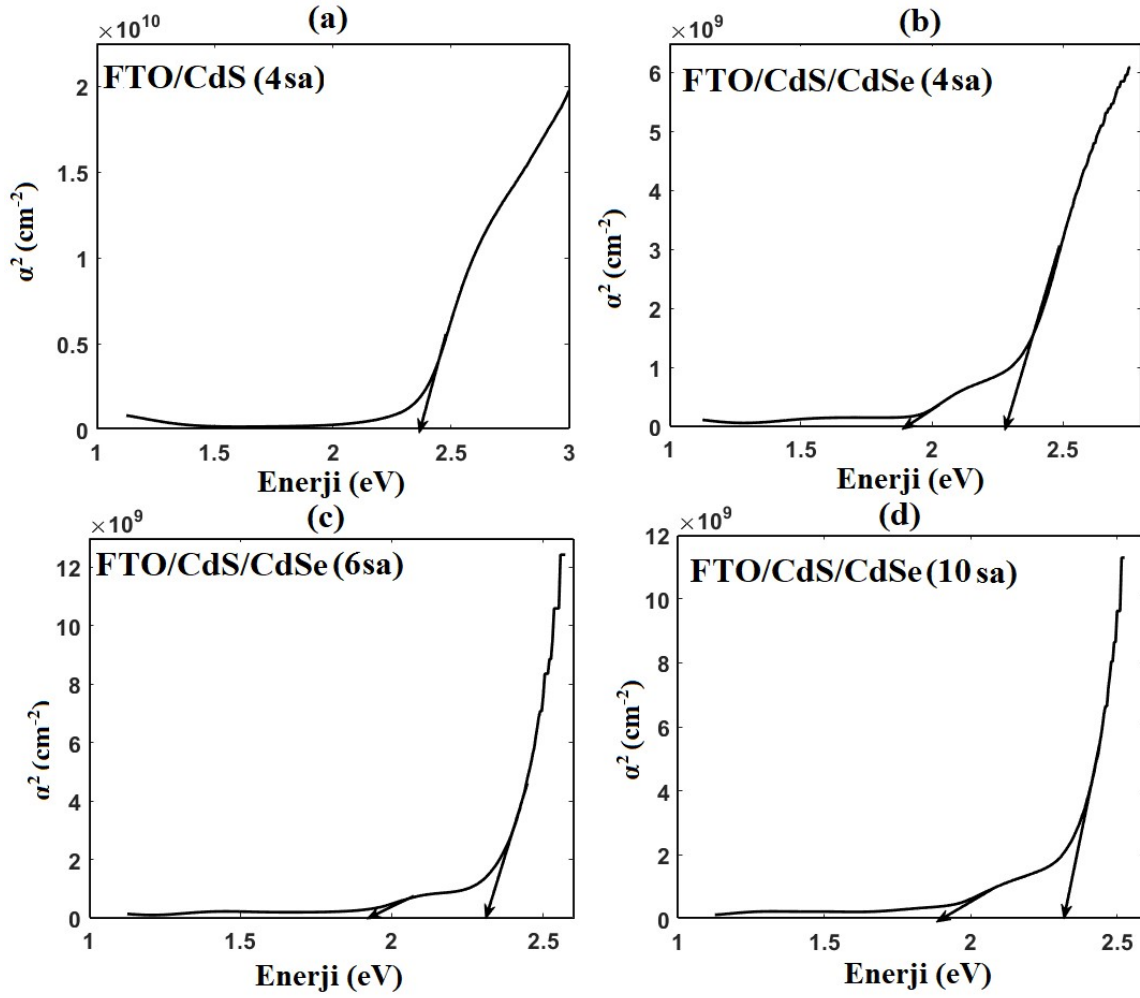


Şekil 4.4.(a) Cam/CdS, (b) 4 saat (c) 6 saat ve (d) 10 saat'lik Cam/CdS/CdSe yarıiletken heteroeklemlerin  $\alpha^2$  - Enerji grafiği.

**Tablo 4.1.** Cam alt tabanındaki heteroeklemlerin kalınlık ve yasak enerji aralıkları.

	Kalınlık (nm)	CdS $E_g$ (eV)	CdSe $E_g$ (eV)
Cam/CdS (4sa)	440	2,35	-
Cam/CdS/CdSe (4sa)	490	2,21	1,86
Cam/CdS/CdSe (6sa)	697	2,33	-
Cam/CdS/CdSe (10sa)	1120	2,20	1,80

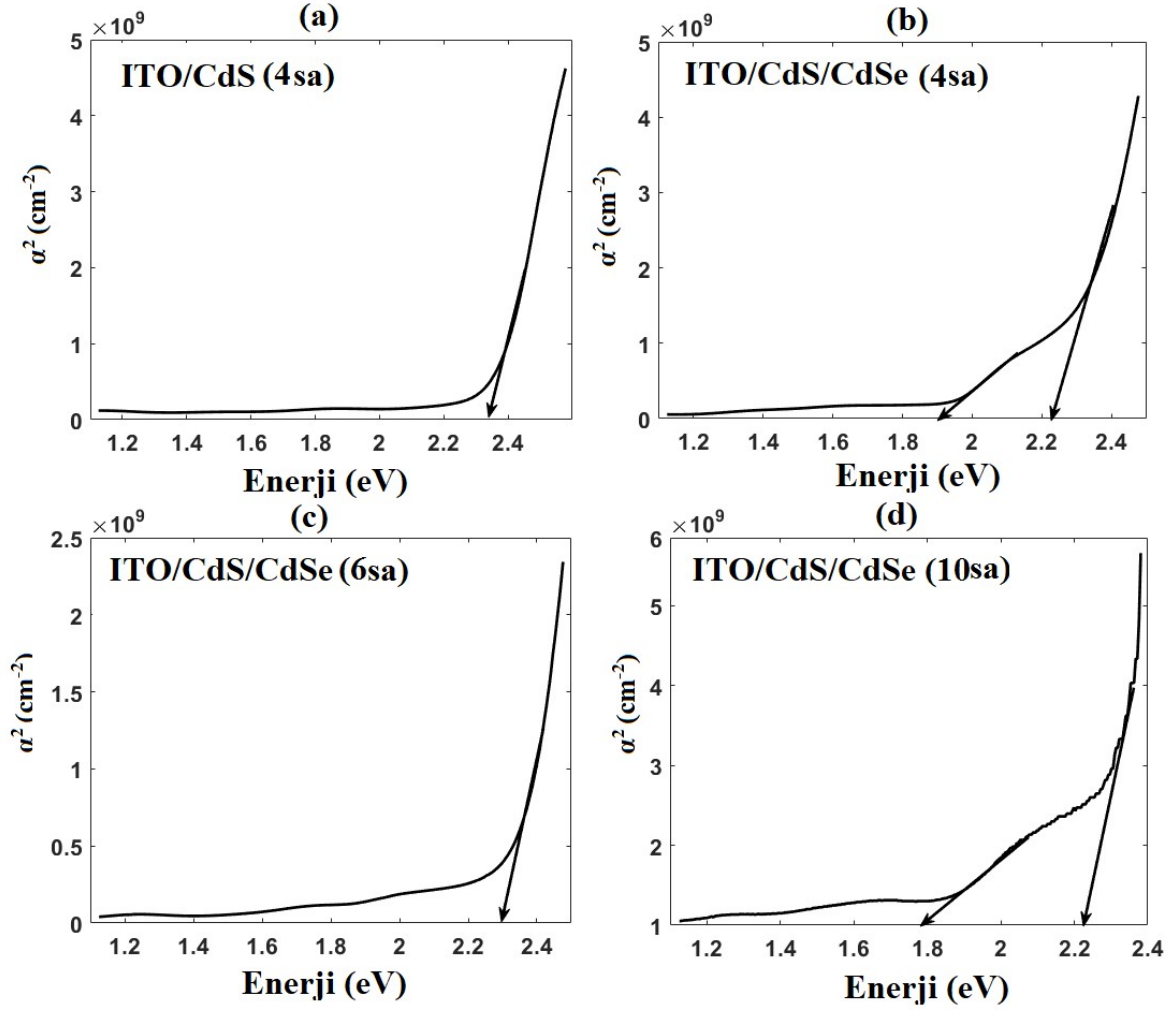




Şekil 4.5. (a) FTO/CdS, (b) 4 saat, (c) 6 saat ve (d) 10 saatlik FTO/CdS/CdSe yarıiletken heteroeklemlerin  $\alpha^2$  - Enerji grafiği.

Tablo 4.2. FTO alt tabanındaki heteroeklemlerin kalınlık ve yasak enerji aralıkları.

	Kalınlık (nm)	CdS $E_g$ (eV)	CdSe $E_g$ (eV)
FTO/CdS (4sa)	400	2,36	-
FTO/CdS/CdSe (4sa)	700	2,27	1,87
FTO/CdS/CdSe (6sa)	900	2,31	1,89
FTO/CdS/CdSe (10sa)	1200	2,32	1,88



Şekil 4.6. (a) ITO/CdS, (b) 4 saat, (c) 6 saat ve (d) 10 saatlik ITO/CdS/CdSe yarıiletken heteroeklemlerin  $\alpha^2$  - Enerji grafiği.

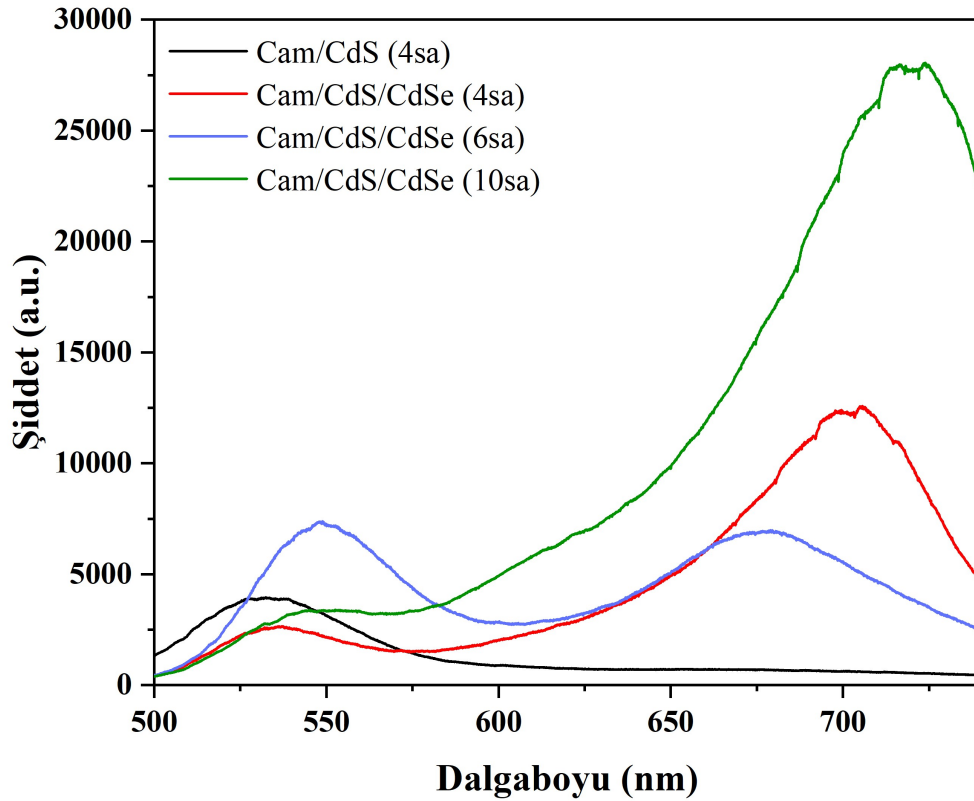
Tablo 4.3. ITO alt tabanındaki heteroeklemlerin kalınlık ve yasak enerji aralıkları.

	Kalınlık	CdS $E_g$ (eV)	CdSe $E_g$ (eV)
ITO/CdS (4sa)	240	2,36	-
ITO/CdS/CdSe (4sa)	800	2,27	1,91
ITO/CdS/CdSe (6sa)	810	2,29	-
ITO/CdS/CdSe (10sa)	850	2,23	1,78

#### 4.1.2. Cam/CdS, Cam/CdS/CdSe, FTO/CdS, FTO/CdS/CdSe, ITO/CdS ve ITO/CdS/CdSe Filmlerinin Fotolüminesans (PL) Analiz Sonuçları

Cam/CdS (4 sa) ve 4, 6, 10 saatlik Cam/CdS/CdSe filmlerinin fotolüminesans ölçüm sonuçları Şekil 4.7.' de verildiği gibidir. Şekilde de görüldüğü gibi Cam/CdS filmi ~533 nm dalga boyunda CdS' e ait bir emisyon piki vermiştir. Bu dalga boyu değerinin eV cinsinden enerji değeri hesaplanarak 2,33 eV olarak bulunmuştur. 4, 6, 10 saatlik Cam/CdS/CdSe filmleri ise biri CdS' e

diğeri de CdSe' e ait olan iki emisyon piki vermiştir. Cam/CdS/CdSe (4 sa) filminde ~536 nm ve ~702 nm' de, Cam/CdS/CdSe (6 sa) filminde ~549 nm ve ~677 nm' de ve Cam/CdS/CdSe (10 sa) filminde ~544 nm ve ~719 nm' de iki emisyon piki görülmektedir. 4, 6, 10 saatlik Cam/CdS/CdSe filmlerinin de emisyon piklerinin enerji değerleri hesaplanarak Tablo 4.4.' de verilmiştir. Bu sonuçlar CdS (Quang et al. 2020; Slejko et al. 2021) ve CdSe (Venugopal et al. 2005; Çiriş et al. 2019) fotoluminesans ölçüm sonuçlarını gösteren çalışmalarda bulunan değerlerle uyumludur. PL ölçüm sonuçları ile elde edilen enerji band aralığı değerleri  $\alpha^2 - hv$  grafiği ile elde edilen enerji band aralığı değerleri ile de oldukça yakın bulunmuştur.



Şekil 4.7. Cam/CdS (4 sa) ve 4, 6, 10 saatlik Cam/CdS/CdSe filmlerinin PL ölçüm sonuçları.

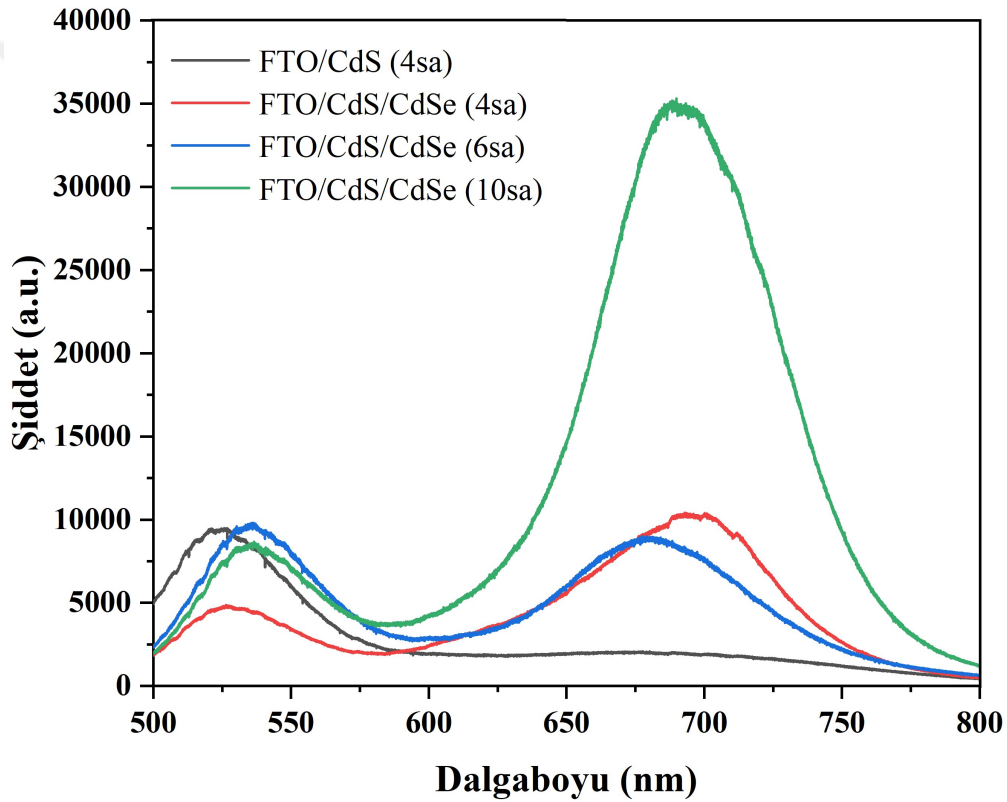
Tablo 4.4. Cam/CdS (4 sa) ve 4, 6, 10 saatlik Cam/CdS/CdSe filmlerinin enerji band aralığı ( $E_g$ ) değerleri.

	CdS (eV)	CdSe (eV)
<b>Cam/CdS (4sa)</b>	2.33	-
<b>Cam/CdS/CdSe (4sa)</b>	2.31	1.77
<b>Cam/CdS/CdSe (6sa)</b>	2.26	1.83
<b>Cam/CdS/CdSe (10sa)</b>	2.28	1.72

Cam/CdS (4sa) ve Cam/CdS/CdSe (4sa) filmlerinin fotoluminesans şiddetleri incelendiğinde, CdS' in PL şiddetinin CdSe' ün depolanması ile azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni, CdSe' ün ışığı soğurması ve CdS soğurmasının azalmasıdır. 4, 6, 10 saatlik Cam/CdS/CdSe filmleri kendi arasında değerlendirildiğinde, PL şiddetinin artan biriktirme süresi ile arttığı görülmektedir (Haddad et al.

2015). PL şiddeti partikül boyutu, yüzey alanı ve kristal kusurundan da etkilenmektedir (Ghanaatian Jobzari et al. 2019). Ayrıca, yüksek PL şiddeti, yük taşıyıcıların daha fazla rekombinasyonu ile de ilişkilidir (Sarma et al. 2016; Fatima et al. 2017).

FTO/CdS (4 sa) ve 4, 6, 10 saatlik FTO/CdS/CdSe filmlerinin fotoluminesans ölçüm sonuçları Şekil 4.8.' de verildiği gibidir. Şekilde de görüldüğü gibi FTO/CdS (4 sa) filmi ~523 nm dalgaboyunda CdS' e ait emisyon piki vermiştir. 4, 6, 10 saatlik FTO/CdS/CdSe filmleri biri CdS' e diğeri de CdSe' e ait iki emisyon piki vermiştir. FTO/CdS/CdSe (4 sa) filminde ~527 nm ve ~695 nm' de, FTO/CdS/CdSe (6 sa) filminde ~534 nm ve ~680 nm' de ve FTO/CdS/CdSe (10 sa) filminde ~535 nm ve ~690 nm' de olmak üzere iki emisyon piki görülmektedir. FTO/CdS (4 sa) ve 4, 6, 10 saatlik FTO/CdS/CdSe filmlerinin emisyon piklerinin enerji değerleri hesaplanarak Tablo 4.5.' de verilmiştir.



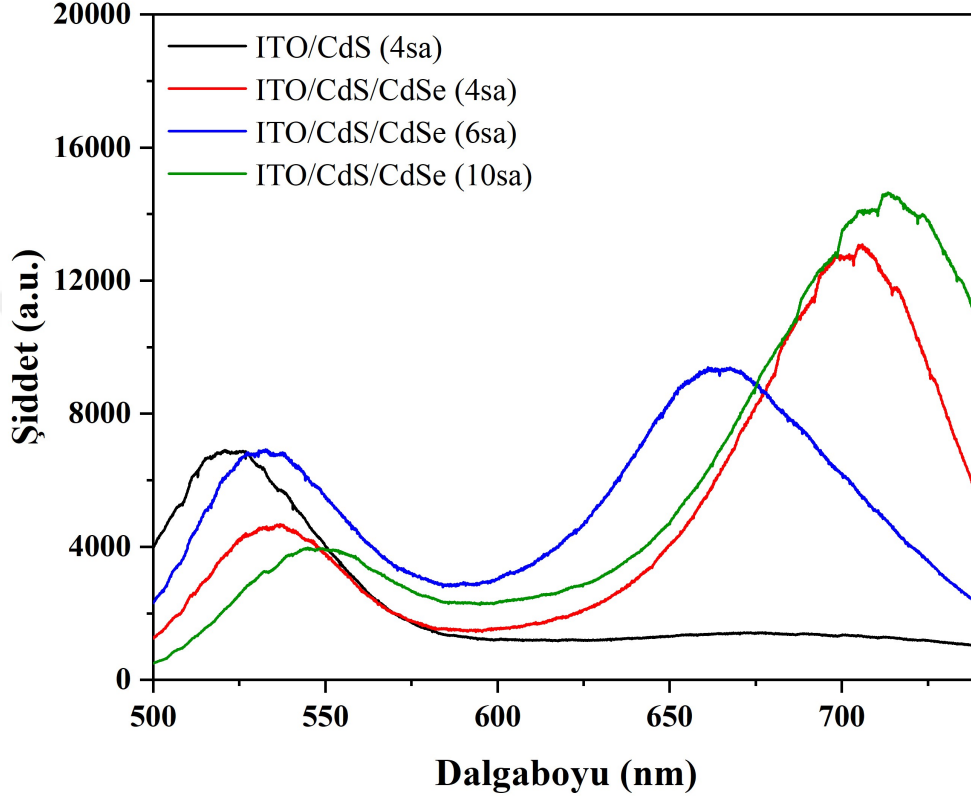
Şekil 4.8.FTO/CdS (4 sa) ve 4, 6, 10 saatlik FTO/CdS/CdSe filmlerinin PL ölçüm sonuçları.

Tablo 4.5. FTO/CdS (4 sa) ve 4, 6, 10 saatlik FTO/CdS/CdSe filmlerinin enerji bant aralığı ( $E_g$ ) değerleri.

	CdS (eV)	CdSe (eV)
FTO/CdS (4sa)	2.37	-
FTO/CdS/CdSe (4sa)	2.35	1.78
FTO/CdS/CdSe (6sa)	2.32	1.82
FTO/CdS/CdSe (10sa)	2.32	1.79

ITO/CdS (4 sa) ve 4, 6, 10 saatlik ITO/CdS/CdSe filmlerinin fotoluminesans ölçüm sonuçları Şekil 4.9.' da verildiği gibidir. Şekilde de görüldüğü gibi ITO/CdS (4 sa) filmi ~522 nm dalgaboyunda

CdS' e ait emisyon piki vermiştir. 4, 6, 10 saatlik ITO/CdS/CdSe filmleri biri CdS' e diğeri de CdSe' e ait iki emisyon piki vermiştir. ITO/CdS/CdSe (4 sa) filminde ~532 nm ve ~669 nm' de, ITO/CdS/CdSe (6 sa) filminde ~536 nm ve ~711 nm' de ve ITO/CdS/CdSe (10 sa) filminde ~549 nm ve ~720 nm' de olmak üzere iki emisyon piki görülmektedir. ITO/CdS (4 sa) ve 4, 6, 10 saatlik ITO/CdS/CdSe filmlerinin emisyon piklerinin enerji değerleri hesaplanarak Tablo 4.6.' da verilmiştir.



Şekil 4.9. ITO/CdS (4 sa) ve 4, 6, 10 saatlik ITO/CdS/CdSe filmlerinin PL ölçüm sonuçları.

Tablo 4.6. ITO/CdS (4 sa) ve 4, 6, 10 saatlik ITO/CdS/CdSe filmlerinin enerji bant aralığı ( $E_g$ ) değerleri.

	CdS (eV)	CdSe (eV)
ITO/CdS (4sa)	2.38	-
ITO/CdS/CdSe (4sa)	2.33	1.85
ITO/CdS/CdSe (6sa)	2.31	1.74
ITO/CdS/CdSe (10sa)	2.26	1.72

## 4.2. İnce Filmlerin Yapısal Özellikleri

### 4.2.1. Cam/CdS, Cam/CdS/CdSe, FTO/CdS, FTO/CdS/CdSe, ITO/CdS ve ITO/CdS/CdSe Filmlerinin XRD Analiz Sonuçları

Cam/CdS, Cam/CdS/CdSe, FTO/CdS, FTO/CdS/CdSe, ITO/CdS ve ITO/CdS/CdSe filmlerinin yapısal özelliklerini belirlemek için X-ışını kırınım (XRD) desenleri Rigaku marka X-ışını

difraktometresi ile ölçülmüştür. XRD ölçümleri  $\text{CuK}\alpha$  ışınması ( $\lambda=1.5406 \text{ \AA}$ ) ile  $20^\circ \leq 2\theta \leq 70^\circ$  aralığında  $0,02^\circ$  adımlar ile yapılmıştır.

Filmlerdeki kristallerin tanecik büyüklüğü X-ışını kırınım verilerinden Debye-Scherrer denklemi kullanılarak hesaplanabilmektedir. Debye-Scherrer formülüne göre tanecik büyüklüğü

$$D_{hkl} = \frac{K \cdot \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (4.3.)$$

ile verilir. Burada  $K$  bir sabit,  $\lambda$  kullanılan X-ışınının dalga boyunu,  $\theta$  Bragg yansıma açısını,  $\beta$  ise radyan olarak yansımaların yarı maksimum genişliğini (FWHM) gösterir. Hesaplamalar için  $K$  sabiti 0,9 alınmıştır. Tanecik büyüklüğü hesabı için denklem 4.3 kullanılmıştır. Filmlerdeki kristallerin dislokasyon yoğunluğu (Denklem 4.4), tanecik büyüklüğü kullanılarak hesaplanmaktadır. Dislokasyon yoğunluğu ( $\delta$ ), bir malzemenin belli bir kısmında (örneğin bir tanesinde) bulunan dislokasyonların sayısının bir ölçüsüdür. Kristalin çizgisel diziliminin düzenliliği olarak da adlandırılan  $\delta$ , dislokasyon yoğunluğu çizgisel bir kusur olduğundan birim alanı kesen çizgisel düzensizliğin sayısı olarak da tanımlanabilir. Dislokasyon yoğunluğu;

$$\delta = \frac{1}{D_{hkl}^2} \quad (4.4.)$$

bağıntısı kullanılarak hesaplanır.

$$N = \frac{d}{D_{hkl}^3} \quad (4.5.)$$

$$\varepsilon = \beta \cos \theta / 4 \quad (4.6.)$$

Denklem 4.5.'deki  $d$  değeri filmin kalınlığını göstermektedir.  $N$ ; birim yüzey alanındaki kristallerin sayısını, Denklem 4.6.  $\varepsilon$  ise gerilmeyi gösterir. Burada  $\beta$ , yarı maksimum genişliktir.

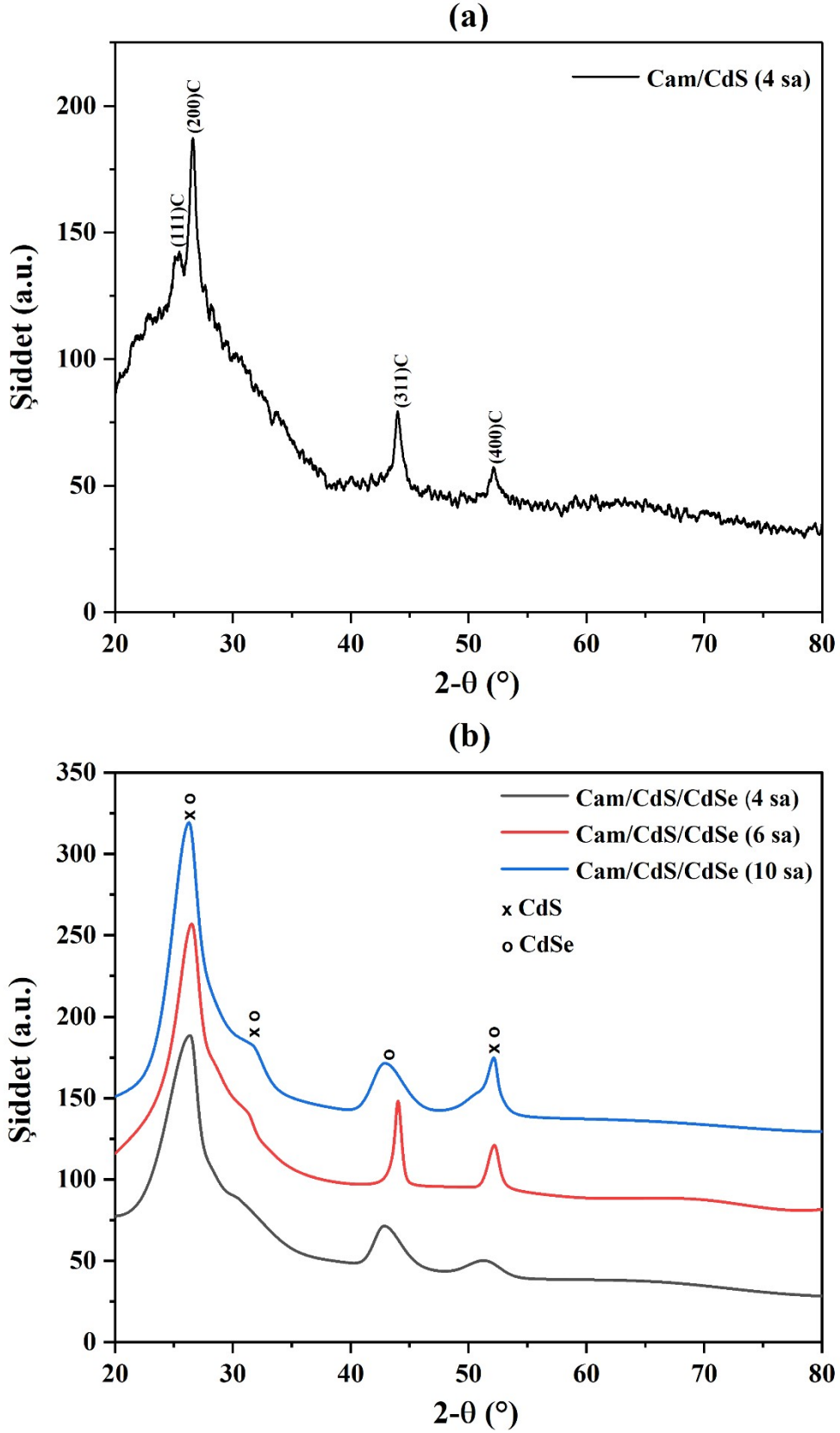
Şekil 4.10.' de (a) Cam/CdS (4 sa) ve (b) 4, 6 ve 10 saatlik Cam/CdS/CdSe yarıiletken heteroeklemlerin X-ışını kırınım desenlerini göstermektedir. Filmlerin kırınım piklerinin  $2\theta$  açısı değerleri ve  $d$  değerleri, standart JCPDS (Toz Kırınım Standartları Ortak Komitesi) verileriyle eşleştirilerek kristal yapı ve düzlem indisleri belirlenmiştir. Cam/CdS (4 sa) filminde yaklaşık  $26^\circ$ ,  $31^\circ$ ,  $52^\circ$  ve  $64^\circ$  lerde görülen kırınım pikleri kübik (C) yapıda CdS' e ait 01-080-4441 numaralı JPDS kartı ile eşleştirilerek sırasıyla (111), (200), (311) ve (400) düzlem indislerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Cam/CdS/CdSe (4 sa) yarıiletken filminde yaklaşık  $26^\circ$  de görülen pik Cam/CdS (4 sa) filminde belirlendiği gibi kübik yapıda CdS' le eşleştiği gibi (002) hegzagonal (H) CdSe' le de

eşleşmektedir.  $31^\circ$  deki kırınım piki (200)C CdS ve CdSe,  $43^\circ$  deki kırınım piki 01-075-5679 numaralı JPDS kartı ile eşleştirilerek (110)H CdSe' e ait olduğu belirlenmiştir.  $51^\circ$  de görülen kırınım piki ise CdS ve (201)H CdSe kristal yapısı ile eşleşmektedir.  $26^\circ$ ,  $43^\circ$  ve  $51^\circ$  de düzlem indisleri 01-075-5679 numaralı JPDS kartı ile,  $31^\circ$  deki kırınım piki ise 01-077-7287 numaralı kart ile eşleştirilmiştir.

Cam/CdS/CdSe (4 sa) filminde yaklaşık  $26^\circ$ ,  $31^\circ$  ve  $43^\circ$  de görülen kırınım pikleri, Cam/CdS/CdSe (6 sa) ve Cam/CdS/CdSe (10 sa) filmlerinde de görülmektedir. Ancak  $\sim 51^\circ$  de görülen kırınım pikinin 6 ve 10 saatlik heteroeklemlerde  $\sim 52^\circ$  ye kaydığı 01-088-2346 numaralı kart ile (222)C CdSe ile daha iyi eşleştiği belirlenmiştir. Cam/CdS (4 sa) ve 4, 6 ve 10 saatlik Cam/CdS/CdSe filmlerinin XRD verileri kullanılarak filmlerin kristal boyutu (D), dislokasyon yoğunluğu ( $\delta$ ), birim yüzey alana düşen kristal sayısı (N) ve örgü gerinimi ( $\epsilon$ ) değerleri hesaplanarak Tablo 4.7 de verilmiştir.





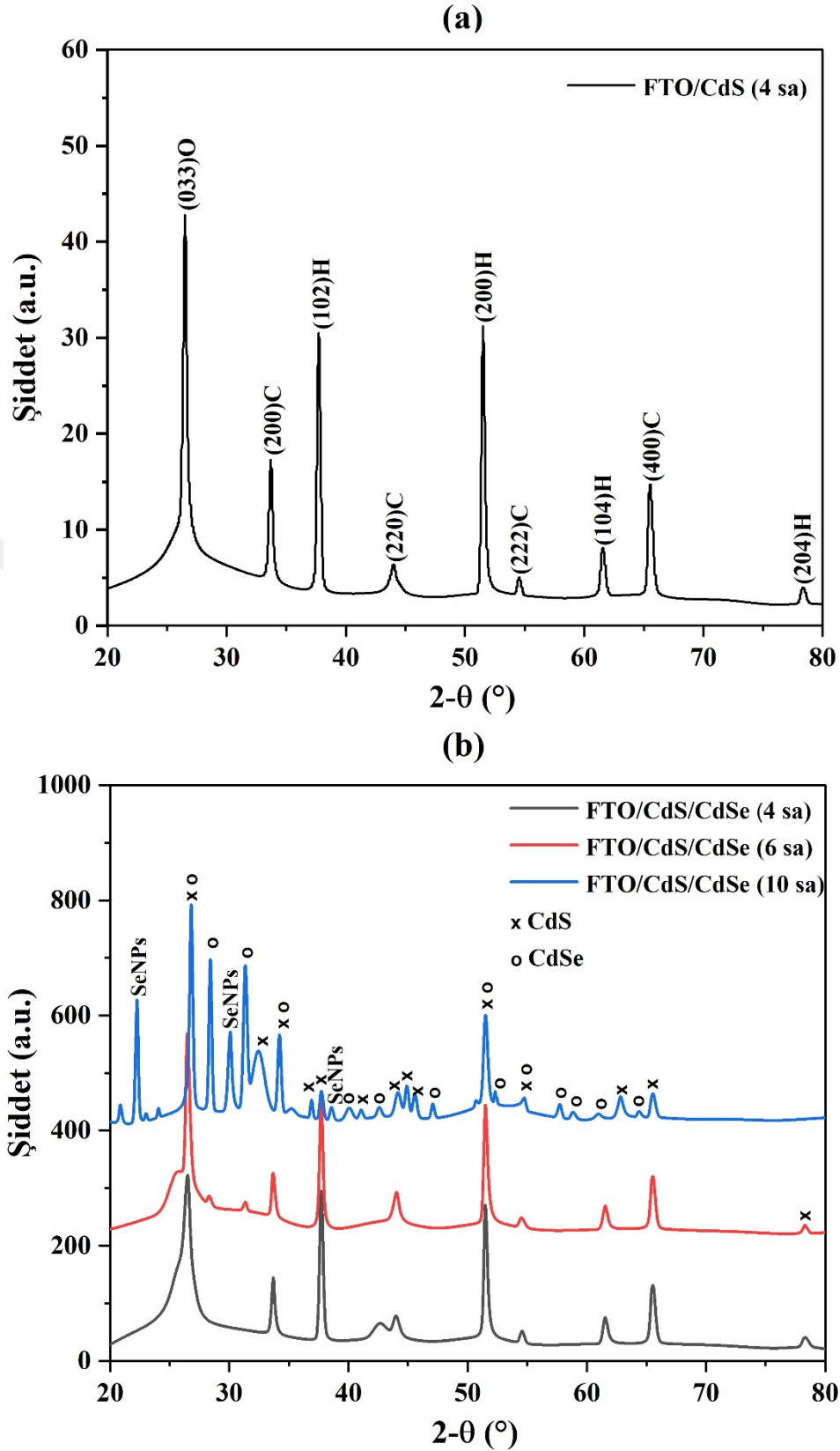
Şekil 4.10. (a) Cam/CdS (4 sa), (b) 4, 6 ve 10 saatlik Cam/CdS/CdSe yarıiletken heteroeklemlerin X-ışını kırınım deseni



**Tablo 4.7.** Cam/CdS (4 sa), 4, 6 ve 10 saatlik Cam/CdS/CdSe yarıiletken heteroeklemlerin XRD analizi.

	<b>2θ</b> (°)	<b>d-Value</b> (Å)	<b>FWHM</b> (°)	<b>D</b> (nm)	<b>δ</b> (10 <sup>17</sup> lines/m <sup>2</sup> )	<b>N</b> (10 <sup>19</sup> m <sup>-2</sup> )	<b>ε</b> (10 <sup>-2</sup> )
<b>Cam/CdS (4sa)</b>	26,61	3,34	2,86	2,86	1,23	1,89	1,21
<b>Cam/CdS/CdSe (4sa)</b>	26,39	3,38	3,44	2,37	1,78	3,67	1,46
<b>Cam/CdS/CdSe (6sa)</b>	26,50	3,36	2,77	2,95	1,15	2,72	1,18
<b>Cam/CdS/CdSe (10sa)</b>	26,25	3,39	2,90	2,81	1,26	5,03	1,23

Şekil 4.11. (a) FTO/CdS (4 sa) ve (b) 4, 6 ve 10 saatlik FTO/CdS/CdSe filmlerinin XRD desenlerini göstermektedir. Filmlerin ortorombik (O), kübik (C) ve altıgen (H) kristal yapılarına sahip olduğu yani polikristal olduğu belirlenmiştir. FTO/CdS (4 sa) (033)O olarak atanan kırınım piki 00-047-1179 kart numarasıyla, (200)C, (220)C, (222)C ve (400)C olarak atanan kırınım pikleri 01-074-5617, 01-089-0440 ve 01-079-7043 kart numarasıyla ve (102)H, (200)H, (104)H ve (204)H olarak atanan kırınım pikleri ise 01-074-9665 ve 01-077-2306 kart numaraları ile karşılaştırılarak belirlenmiştir. Şekil 4.11. (b) 'de 4, 6, 10 saatlik FTO/CdS/CdSe filmlerinin XRD desenleri gösterilmektedir. 26°, 28°, 31°, 34°, 42°, 47°, 52°, 57°, 58°, 60° ve 64° civarında görülen kırınım pikleri CdSe' e ait (101)H, (111)C, (200)C, (102)H, (110)H, (220)C, (201)H, (004)H, (222)C, (104) ve (203)H düzlem indisleri ile ilişkilidir. Bu sonuçlar JCPDS kartları ile de eşleştirilerek bulunmuştur. 10 saat depolanan FTO/CdS/CdSe heteroekleminin, 23° ve 30° civarında selenyum nanoparçacıklarına ait kırınım tepe noktalarına sahip olduğu belirlenmiştir (R. S, et al. 2019; Saeed et al. 2019; Shar et al. 2019). FTO/CdS (4 sa) ve 4, 6, 10 saatlik FTO/CdS/CdSe filmlerinin yarı maksimum genişlik (FWHM), tanecik büyüklüğü (D), dislokasyon yoğunluğu (δ), birim yüzey başına düşen kristal sayısı (N) ve örgü gerilimi (ε) gibi yapısal özelliklerine ait sonuçlar Tablo 4.8.'de verilmiştir. Tablo incelendiğinde, 4, 6 ve 10 saatlik FTO/CdS/CdSe yarıiletken heteroeklemleri depolama süresindeki artışa bağlı olarak kristal boyutlarının arttığı, yarı maksimum genişlik, dislokasyon yoğunluğu, birim alan başına düşen kristal sayısı ve örgü gerilimi değerlerinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.11. (a) FTO/CdS (4 sa), (b) 4, 6 ve 10 saatlik FTO/CdS/CdSe yarıiletken heteroeklemlerin X-ışını kırınım deseni.

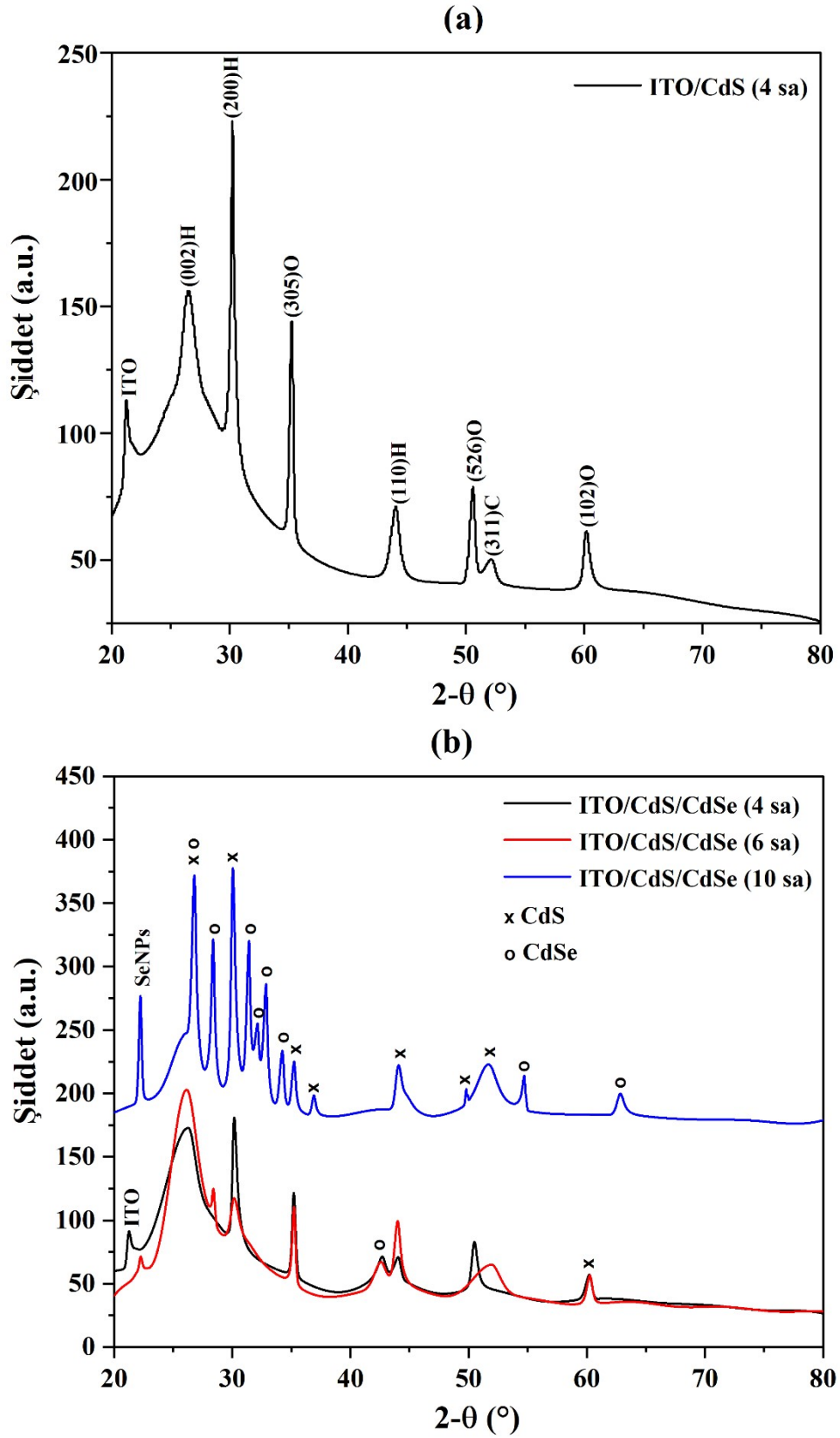
**Table 4.8.** FTO/CdS (4 sa), 4, 6 ve 10 saatlik FTO/CdS/CdSe yarıiletken heteroeklemlerin XRD analizi.

	<b>2θ</b> (°)	<b>d-Value</b> (Å)	<b>FWHM</b> (°)	<b>D</b> (nm)	<b>δ</b> (10 <sup>15</sup> lines/m <sup>2</sup> )	<b>N</b> (10 <sup>16</sup> m <sup>-2</sup> )	<b>ε</b> (10 <sup>-3</sup> )
<b>FTO/CdS (4sa)</b>	26.48	3.36	0.33	24.67	1.64	2.66	1.41
<b>FTO/CdS/CdSe (4sa)</b>	26.49	3.36	0.82	9.96	10.08	70.8	3.48
<b>FTO/CdS/CdSe (6sa)</b>	26.45	3.37	0.39	21.02	2.26	9.69	1.65
<b>FTO/CdS/CdSe (10sa)</b>	26.77	3.33	0.29	27.87	1.29	5.54	1.24

Şekil 4.12. (a) ITO/CdS (4 sa) ve (b) 4, 6, 10 saatlik ITO/CdS/CdSe filmlerinin XRD desenlerini göstermektedir. ITO/CdS (4 sa) filminin kırınım pikleri JPDS kartlarıyla eşleştirilerek ortorombik, kübik ve altıgen yapılar içermektedir yani polikristal yapıda belirlenmiştir. Ortorombik olarak belirlenen kırınım pikleri 00-047-1179 ve 01-082-4658 kart numaralarıyla, kübik pikler 01-079-6256 kartla ve altıgen pikler 01-074-9665 ve 01-074-9665kart numaralarıyla eşleştirilmiştir. 4, 6, 10 saatlik ITO/CdS/CdSe filmleri de polikristal yapıda, 21° de görülen kırınım piki 01-089-4598 numaralı kart eşleşmesi sonucu ITO ile ilişkili, 22° de görülen kırınım piki ise selenyum nanopartikülleri (SeNPs) (Deepa and Ganesan 2013; Vu et al. 2022) ile ilişkili bulunmuştur. ITO/CdS (4 sa) ve 4, 6, 10 saatlik ITO/CdS/CdSe filmlerinin XRD verileri ile hesaplanarak bulunan yapısal özelliklerine ait veriler Tablo 4.9.'da verilmiştir.

**Table 4.9.** ITO/CdS 4 saat, (b) 4, 6 ve 10 saatlik ITO/CdS/CdSe yarıiletken heteroeklemlerin XRD analizi.

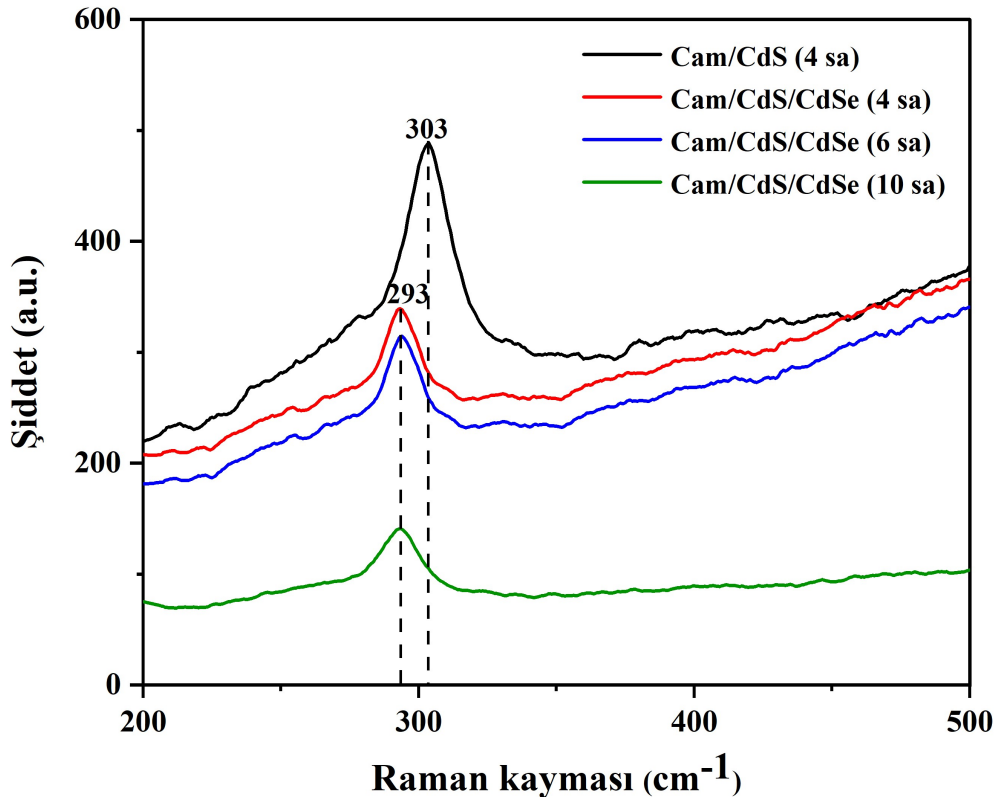
	<b>2θ</b> (°)	<b>d-Value</b> (Å)	<b>FWHM</b> (°)	<b>D</b> (nm)	<b>δ</b> (10 <sup>16</sup> lines/m <sup>2</sup> )	<b>N</b> (10 <sup>18</sup> m <sup>-2</sup> )	<b>ε</b> (10 <sup>-2</sup> )
<b>ITO/CdS (4sa)</b>	26,46	3,37	2,04	4,00	6,25	3,75	0,87
<b>ITO/CdS/CdSe (4sa)</b>	26,26	3,39	3,41	2,39	17,48	58,4	1,45
<b>ITO/CdS/CdSe (6sa)</b>	26,78	3,33	0,45	2,95	11,51	31,6	1,18
<b>ITO/CdS/CdSe (10sa)</b>	26,13	3,41	3,13	2,81	12,64	38,2	1,23



Şekil 4.12. (a) ITO/CdS, (b) 4, 6 ve 10 saatlik ITO/CdS/CdSe yarıiletken heteroeklemlerin X-ışını kırınım deseni

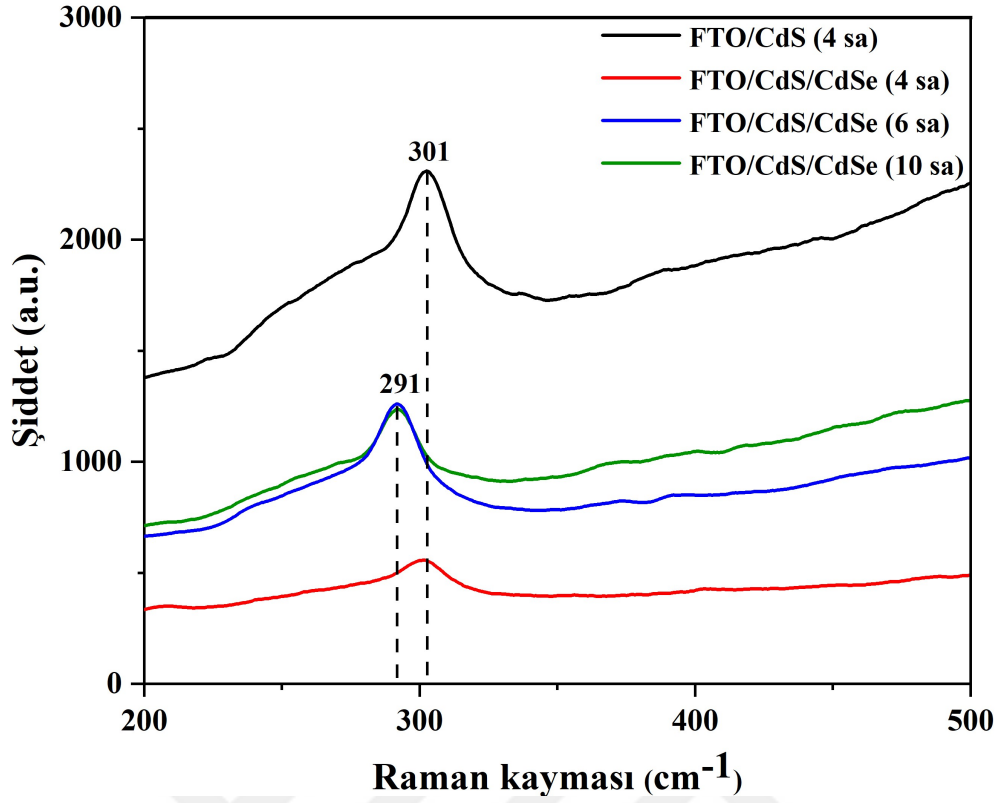
#### 4.2.2. Cam/CdS, Cam/CdS/CdSe, FTO/CdS, FTO/CdS/CdSe, ITO/CdS ve ITO/CdS/CdSe Filmlerinin Raman Analiz Sonuçları

Jobin Yvon tipi Raman spektrometresi kullanılarak Cam/CdS (4 sa) ve 4, 6 ve 10 saatlik Cam/CdS/CdSe filmlerinin Raman analizi  $200 \text{ cm}^{-1}$  ile  $500 \text{ cm}^{-1}$  aralığında yapılmıştır. Raman analiz sonuçları Şekil 4.10' da gösterildiği gibidir. Cam/CdS (4 sa) filmin spektrumunda yaklaşık  $303 \text{ cm}^{-1}$ ' de bir tepe noktası görülmektedir. Bu Raman kayması değeri CdS' ün  $A_1$  uzunlamasına optik fonon (LO) fonon modlarına karşılık gelmektedir (Chun et al. 2011; Isik et al. 2019; Shkir et al. 2020). 4, 6 ve 10 saatlik Cam/CdS/CdSe filmlerinin Raman kayması değeri  $293 \text{ cm}^{-1}$ ' de görülmektedir. Cam/CdS/CdSe filmlerinin Raman spektrumunda Cam/CdS (4 sa) filminde görülen  $303 \text{ cm}^{-1}$ ' deki değer  $293 \text{ cm}^{-1}$ ' e kaydığı görülmektedir. Bu kaymanın yüzey morfolojisindeki değişikliğe ve CdSe nanotellerinin (NW' ler) varlığına bağlı olarak yüzey fonon (SOP) modu etkisi (Ren et al. 2006; Kim et al. 2015; Trajić et al. 2015; Saxena et al. 2018) ile ilişkilidir. Spektrumdaki piklerin geniş olduğu görülmektedir. Filmlerin görülen Raman piklerinin geniş olmasının nedeni polikristal yapıdır (Ahmed et al. 2016; Azmi et al. 2020).



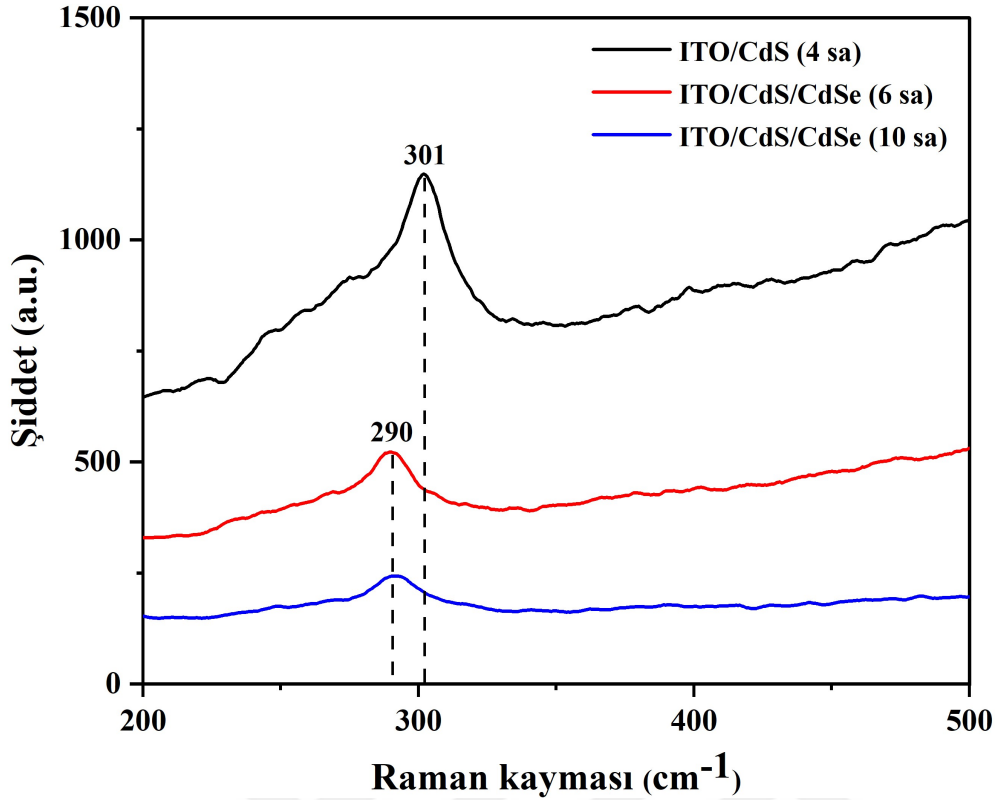
Şekil 4.13. Cam/CdS (4 sa) ve 4, 6 ve 10 saatlik Cam/CdS/CdSe filmlerinin Raman analiz sonuçları.

FTO/CdS (4 sa) ve 4, 6 ve 10 saatlik FTO/CdS/CdSe filmlerinin Raman analiz sonuçları Şekil 4.14' de gösterilmektedir. FTO/CdS (4 sa) ve FTO/CdS/CdSe (4 sa) filmlerinde Raman kayma değeri  $301 \text{ cm}^{-1}$ ' de görülürken, 6 ve 10 saatlik FTO/CdS/CdSe filmlerinde  $291 \text{ cm}^{-1}$ ' e kaydığı görülmektedir. Buradaki Raman kayması değerleri de CdS' e ait LO fonon modları ile ilişkilidir.



Şekil 4.14. FTO/CdS (4 sa) ve 4, 6 ve 10 saatlik FTO/CdS/CdSe filmlerinin Raman analiz sonuçları.

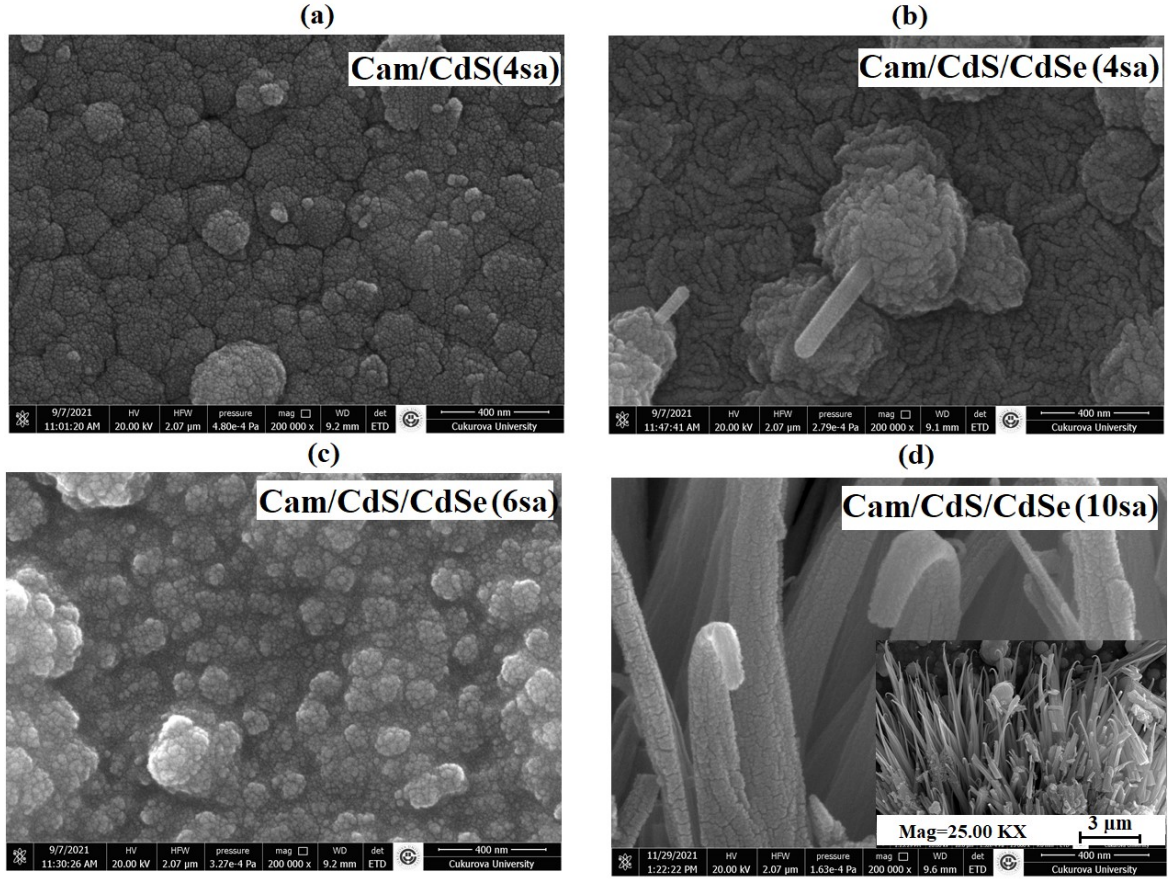
ITO/CdS (4 sa), ITO/CdS/CdSe (6 sa) ve ITO/CdS/CdSe (10 sa) filmlerinin Raman analiz sonuçları Şekil 4.15' de gösterilmektedir. ITO/CdS (4 sa) filminde Raman kayma değeri 301 cm<sup>-1</sup>' de görülürken, 6 ve 10 saatlik ITO/CdS/CdSe filmlerinde 290 cm<sup>-1</sup>' e kaydığı görülmektedir.



Şekil 4.15. ITO/CdS (4 sa) ve 6 ve 10 saatlik ITO/CdS/CdSe filmlerinin Raman analiz sonuçları.

#### 4.2.3. Cam/CdS, Cam/CdS/CdSe, FTO/CdS, FTO/CdS/CdSe, ITO/CdS ve ITO/CdS/CdSe Filmlerinin SEM görüntüsü

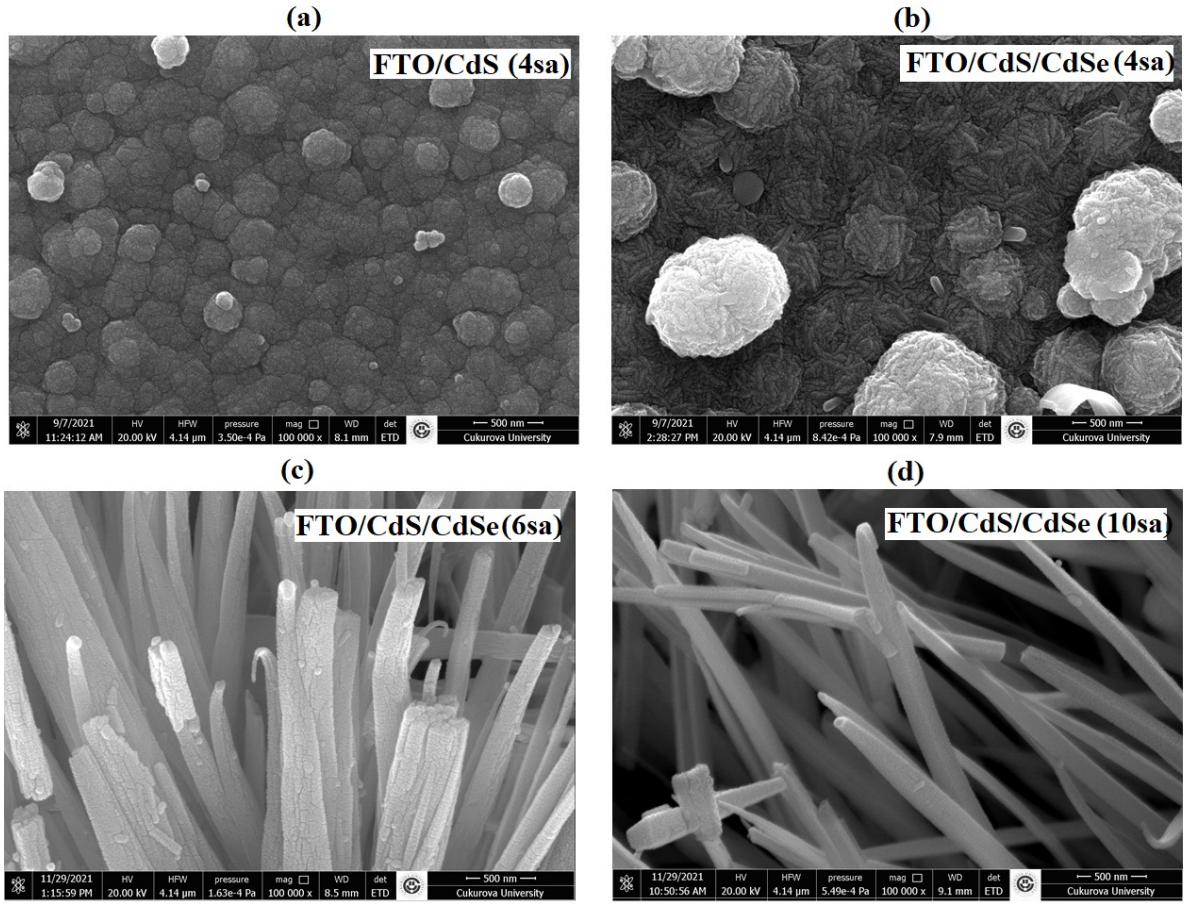
Filmlerin morfolojik analizleri bir FEI marka Quanta 650 alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile gerçekleştirildi. Şekil 4.16. (a) Cam/CdS (4 sa) ve (b) 4 saat, (c) 6 saat, (d) 10 saatlik Cam/CdS/CdSe filmlerinin 200.000 büyütmedeki görüntülerini göstermektedir. Cam' da 4 saat biriktirilen CdS ince filminin,  $\sim 14$  nm ve  $\sim 18$  nm aralığında küçük boyutlu nanotaneçiklerden oluştuğu, tüm yüzeye düzgün ve homojen olarak dağıldığı görülmektedir. Şekil 4.16. (b)' de Cam/CdS üzerine 4 saatlik CdSe filminin eklenmesiyle oluşan Cam/CdS/CdSe heteroekleminde  $\sim 15$  nm ve  $\sim 30$  nm aralığında nanotaneçiklerden oluşan mısır benzeri nanotellerin oluşmaya başladığı yüzey görüntüsünden anlaşılmaktadır. Şekil 4.16. (c)' de 6 saatlik CdSe kaplanmasıyla nanotaneçiklerin tüm yüzeye dağıldığı görülmektedir. Şekil 4.16. (d)' de 10 saatlik kaplamayla yüzeyin tamamen CdSe nanotelleri ile kaplandığı görüntülerden görülebilmektedir. Ayrıca Şekil 4.16. (d)' nin içinde 25.000 büyütmedeki nanoteller görülmektedir. Daha önceki çalışmalarımızda da aynı yöntem kullanarak nanotel yapısında CdSe filmleri elde edilmiştir ( H. Gubur Metin, et al., 2015; H. Metin Gubur, et al., 2018; H. Metin Gubur, et al.. 2016 ve F. Oksuzoglu, et al. 2020).



**Şekil 4.16.** (a) Cam/CdS (4 sa), (b) 4,(c) 6 ve (d) 10 saatlik Cam/CdS/CdSe yarıiletken filmlerinin SEM görüntüsü.

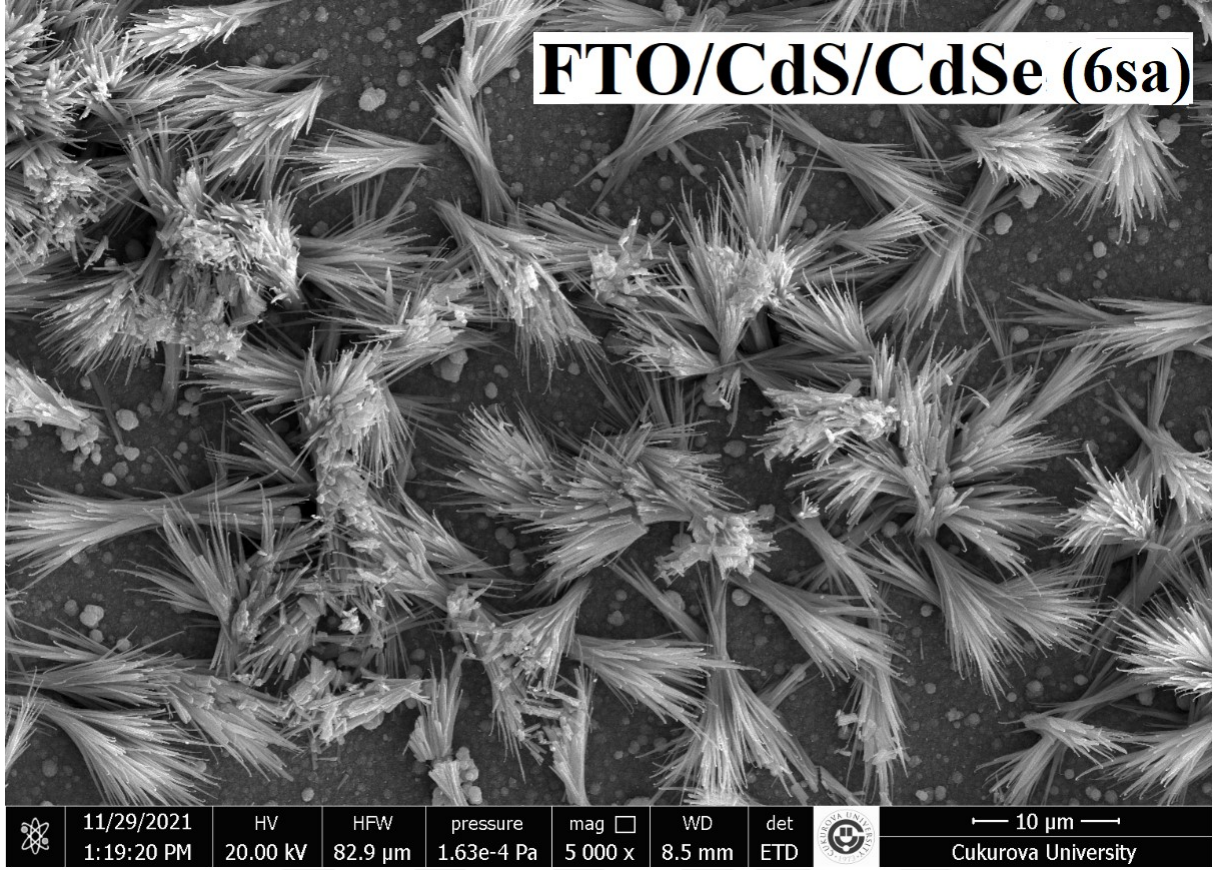
Şekil 4.17. (a) FTO/CdS (4 sa) ve (b) 4, (c) 6 ve (d) 10 saatlik FTO/CdS/CdSe filmlerinin 100.000 büyütmedeki görüntülerini göstermektedir. FTO/CdS (4 sa) ince filminin,  $\sim 25$  nm küçük taneciklerin bir araya toplanmasıyla 141–274 nm aralığında bir nanotaneçikli yapıya sahip olduğu bulundu. Kümelenmiş nanotaneçikler tüm yüzeye homojen olarak yayılmıştır. Şekil 4.17. (b) FTO/CdS üzerine 4 saatlik CdSe filminin depolanması sırasında hem nanotaneçikli ( $\sim 14$  nm taneciklerin bir araya toplanmasından oluşan) yapı hem de nanotellerin küçük miktarlarda oluşmaya başladığı yüzey görüntüsünden anlaşılmaktadır. Şekil 4.17. (c) FTO/CdS/CdSe (6 sa) filminde nanotellerin net bir şekilde oluştuğu, Şekil 4.17. (d) FTO/CdS/CdSe (10 sa) filminde ise yüzeyin tamamen CdSe nanotellerle kaplandığı görüntülerden görülebilmektedir. Nanotellerin ortalama çapı FTO/CdS/CdSe (6 sa) için 174 nm ve FTO/CdS/CdSe (10 sa) için 142 nm olarak belirlendi. FTO/CdS/CdSe (6 sa) ince filmdeki nanotellerin  $\sim 23$  nm nanoparçacıklar içerdiği belirlenirken, FTO/CdS/CdSe (10sa) nanotellerdeki nanoparçacıkların boyutları tane sınırları net olmadığı için belirlenememiştir.



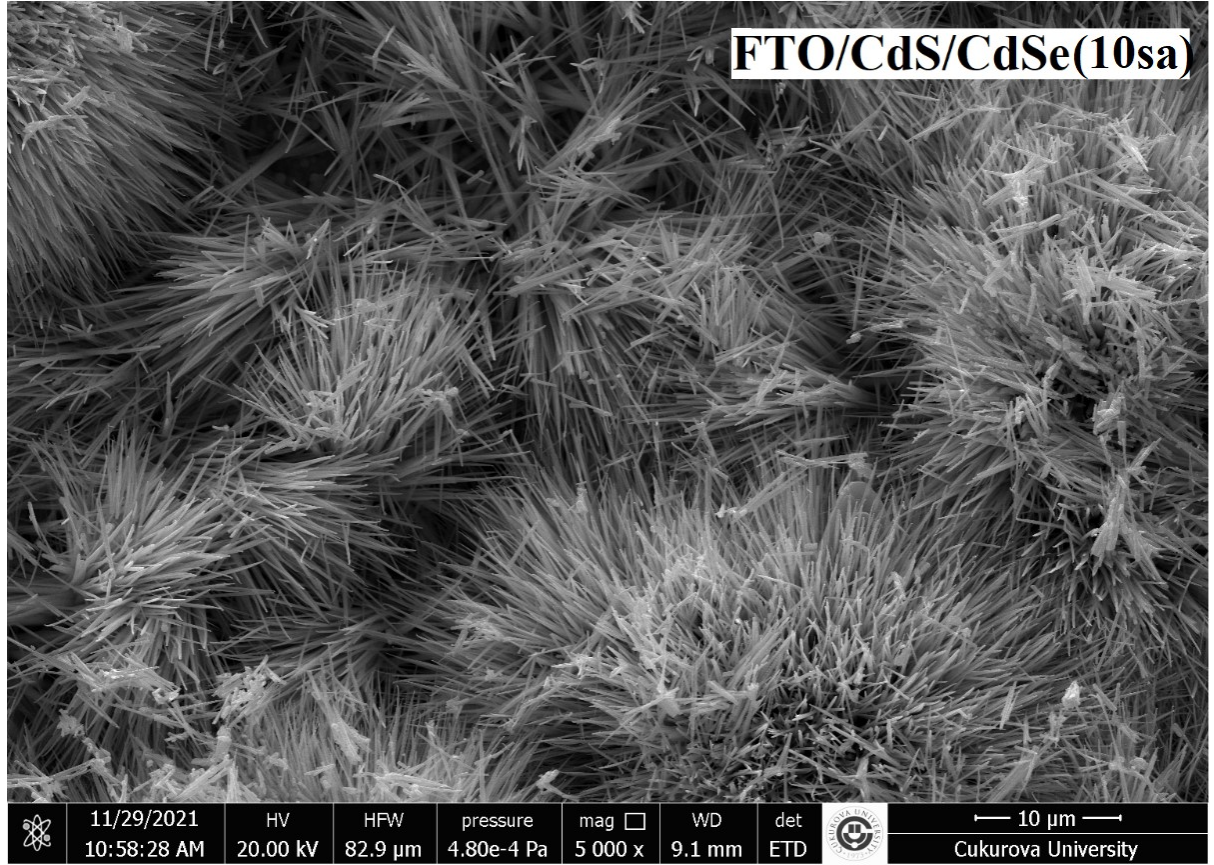


Şekil 4.17. (a) FTO/CdS (4 sa), (b) 4, (c) 6 ve (d) 10 saatlik FTO/CdS/CdSe yarıiletken filmlerinin SEM görüntüsü.

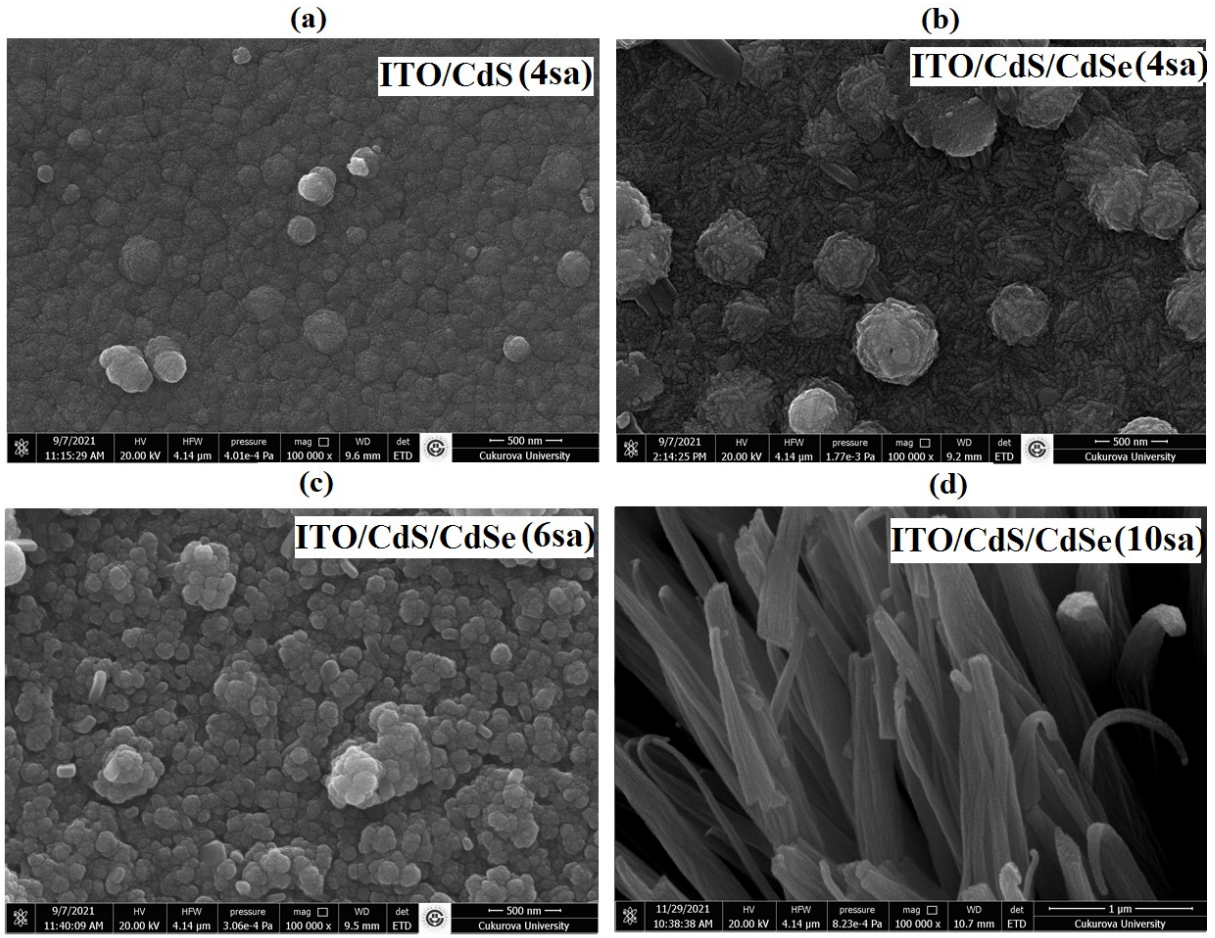
Şekil 4.18. FTO/CdS/CdSe (6 sa) heteroekleminin 5000 büyütmedeki görüntüsü incelendiğinde alt tarafında nanotanecekli CdS' ler görünürken hemen yüzeyinde CdSe nanotellerin oluştuğu görülmektedir. Şekil 4.19. FTO/CdS/CdSe (10 sa) heteroekleminin 5000 büyütmedeki görüntüsü incelendiğinde tüm yüzeyin nanotellerden oluştuğu görülmektedir.



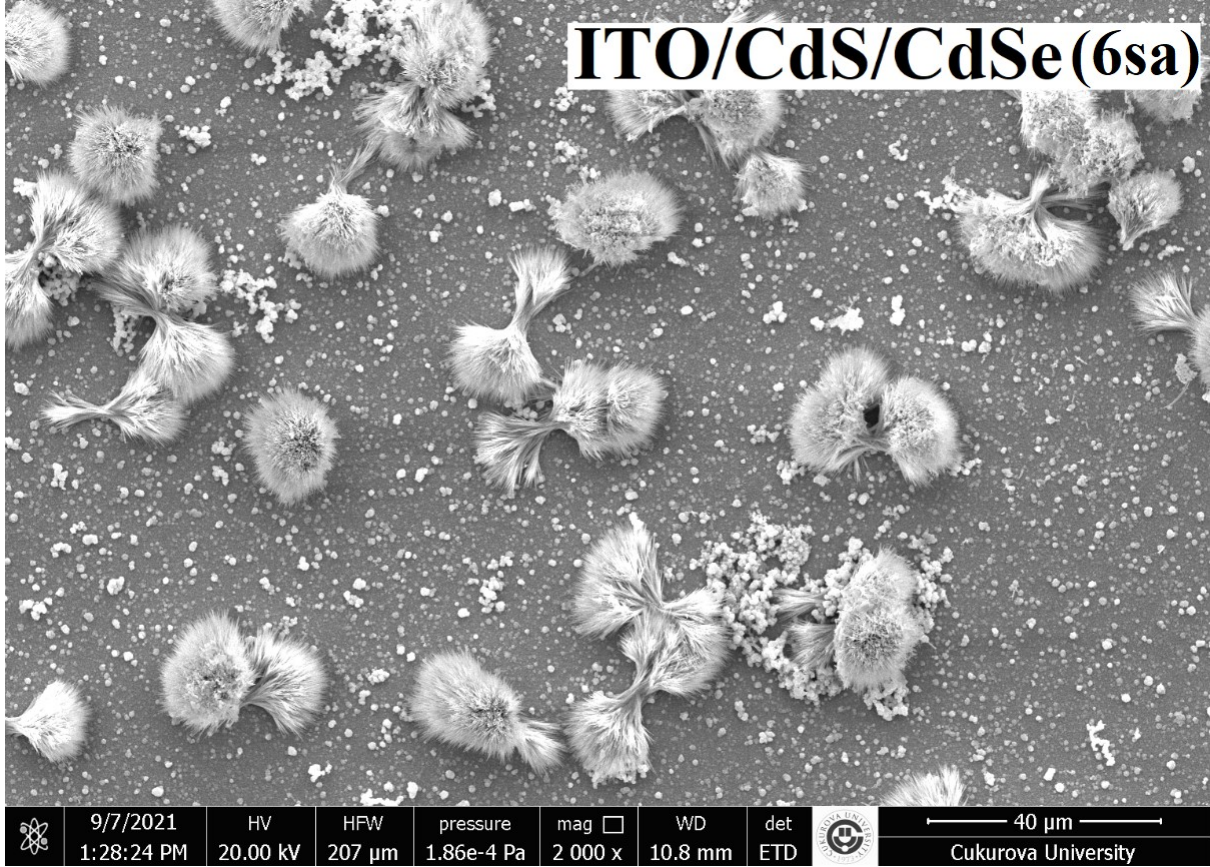
Şekil 4.18. FTO/CdS/CdSe (6 sa) yarıiletken heteroekleminin 5 000 büyütmedeki SEM görüntüsü.



Şekil 4.19. FTO/CdS/CdSe (10sa) yarıiletken heteroekleminin 5 000 büyütmedeki SEM görüntüsü.



Şekil 4.20. (a) ITO/CdS (4 sa), (b) 4, (c) 6 ve (d) 10 saatlik ITO/CdS/CdSe yarıiletken filmlerinin SEM görüntüsü.



**Şekil 4.21.** ITO/CdS/CdSe (6sa) yarıiletken heteroekleminin 2.000 büyütmedeki SEM görüntüsü.

Şekil 4.20. (a) ITO/CdS (4 sa) ve (b) 4, (c) 6 ve (d) 10 saatlik ITO/CdS/CdSe filmlerinin 100.000 büyütmedeki görüntülerini göstermektedir. ITO/CdS (4 sa) ince filminin  $\sim 14$  nm boyutlarında nanotancıklı bir yapıya sahip olduğu ve yüzeye homojen dağıldığı görülmektedir. Şekil 4.20. (b) ITO/CdS üzerine CdSe filminin 4 saat depolanmasıyla  $\sim 16$  nm boyutlarında nanotancıkların kümelendiği yapılar görülmektedir. Şekil 4.20. (c) ITO/CdS/CdSe 6 saatlik kaplamayla hem tancıklı yapı hem de Şekil.4.21.'deki 2.000 büyütmede görüldüğü üzere demetler halinde nanotellerin oluştuğu görülmektedir. Şekil 4.20. (d) ITO/CdS/CdSe (10 sa) filminde ise yüzeyin tamamen CdSe nanotelleri ile kaplandığı görüntülerden görülebilmektedir. Nanotellerin ortalama çapı ITO/CdS/CdSe (6 saat) için 100 nm ve ITO/CdS/CdSe (10 saat) için 190 nm olarak belirlenmiştir.

#### 4.3. Cam/CdS, Cam/CdS/CdSe, FTO/CdS, FTO/CdS/CdSe, ITO/CdS ve ITO/CdS/CdSe Heteroeklemlerinin Elektriksel Ölçümleri

Cam/CdS, Cam/CdS/CdSe, FTO/CdS, FTO/CdS/CdSe, ITO/CdS ve ITO/CdS/CdSe yarıiletken heteroeklemlerin oda koşullarında gerçekleştirilen Hall analizi ile taşıyıcı konsantrasyonu, mobilite, öz direnç, taşıyıcı tipi gibi elektriksel özellikleri belirlenmiştir. Bu ölçümlerde Ecopia Hall

Effect Mesasurement System (HMS-3000VER 3.5) kullanıldı. Kare şeklinde kesilmiş yarıiletken ince filmlerin köşelerinden altın plaka ile tutturularak ölçümler alınmıştır.

#### 4.3.1. Cam/CdS ve Cam/CdS/CdSe İnce Filmlerin Elektriksel Özellikleri

Filmlerin elektriksel özellikleri, oda sıcaklığında 0.54 T manyetik indüksiyonlu altın kontaklar kullanan bir Van der Pauw dört noktalı prob Hall cihazı ile incelenmiştir. Cam/CdS (4sa) filmi ve 4, 6 ve 10 saatlik Cam/CdS/CdSe filmleri için taşıyıcı konsantrasyonu, mobilite, özdirenç ve iletkenlik değerleri belirlendi. Ayrıca filmlerin taşıyıcı türü Hall katsayısının işareti ile belirlenmiş ve tüm filmlerin n-tipi iletkenliğe sahip olduğu bulunmuştur. Tablo 4.10. filmler için Hall etkisi ölçüm sonuçlarını göstermektedir.

**Tablo 4.10.** Cam/CdS (4sa) filmi ve 4, 6 ve 10 saatlik Cam/CdS/CdSe filmleri için belirlenen Hall ölçüm değerleri.

	Taşıyıcı Yoğunluğu ( $\text{cm}^{-3}$ )	Mobilite ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )	Özdirenç ( $\Omega\text{-cm}$ )	İletkenlik ( $\Omega\text{-cm}$ ) <sup>-1</sup>	Taşıyıcı Tipi
<b>Cam/CdS (4sa)</b>	$3,52 \times 10^{11}$	149,00	$1,19 \times 10^5$	$8,38 \times 10^{-6}$	n
<b>Cam/CdS/CdSe (4sa)</b>	$1,49 \times 10^{11}$	169,00	$2,47 \times 10^5$	$4,04 \times 10^{-6}$	n
<b>Cam/CdS/CdSe (6sa)</b>	$8,90 \times 10^{10}$	$1,88 \times 10^4$	$3,72 \times 10^3$	$2,68 \times 10^{-4}$	n
<b>Cam/CdS/CdSe (10sa)</b>	$4,82 \times 10^{11}$	23,51	$5,50 \times 10^5$	$1,82 \times 10^{-6}$	n

#### 4.3.2. FTO/CdS ve FTO/CdS/CdSe İnce Filmlerin Elektriksel Özellikleri

FTO/CdS (4sa) filmi ve 4, 6 ve 10 saatlik FTO/CdS/CdSe filmlerinin Hall ölçümü ile belirlenen taşıyıcı konsantrasyonu, mobilite, özdirenç ve iletkenlik değerleri Tablo 4.11.' de gösterildiği gibidir. Tüm filmlerin n-tipi iletkenliğe sahip olduğu bulunmuştur. Sonuçlardan, biriktirme süresi arttıkça FTO/CdS/CdSe filmlerinin taşıyıcı yoğunluklarının azalmasına bağlı olarak iletkenliğinin azaldığı, ITO/CdS filminin iletkenliğinin ve taşıyıcı yoğunluğunun yüksek olduğu Tablo 4.11'den görülmektedir.

**Tablo 4.11.** FTO/CdS (4sa) filmi ve 4, 6 ve 10 saatlik FTO/CdS/CdSe filmleri için belirlenen Hall ölçüm değerleri.

	Taşıyıcı Yoğunluğu ( $\text{cm}^{-3}$ )	Mobilite ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )	Özdirenç ( $\Omega\text{-cm}$ )	İletkenlik ( $\Omega\text{-cm}$ ) <sup>-1</sup>	Taşıyıcı Tipi
<b>FTO/CdS (4sa)</b>	$2,48 \times 10^{21}$	36,67	$6,84 \times 10^{-5}$	$1,46 \times 10^4$	n
<b>FTO/CdS/CdSe (4sa)</b>	$9,80 \times 10^{20}$	21,01	$3,03 \times 10^{-4}$	$3,30 \times 10^3$	n
<b>FTO/CdS/CdSe (6sa)</b>	$2,17 \times 10^{11}$	78,02	$3,68 \times 10^5$	$2,71 \times 10^{-6}$	n
<b>FTO/CdS/CdSe (10sa)</b>	$1,14 \times 10^{12}$	43,51	$1,26 \times 10^5$	$7,93 \times 10^{-6}$	n

### 4.3.3. ITO/CdS ve ITO/CdS/CdSe İnce Filmlerin Elektriksel Özellikleri

ITO/CdS (4sa) filmi ve 4, 6 ve 10 saatlik ITO/CdS/CdSe filmlerinin Hall ölçümü ile belirlenen taşıyıcı konsantrasyonu, mobilite, özdirenç ve iletkenlik değerleri Tablo 4.12.' da gösterilmektedir. ITO/CdS (4sa) filmi ve 4, 6 ve 10 saatlik ITO/CdS/CdSe filmlerinin n-tipi iletkenlik gösterdiği bulunmuştur. Tablo incelendiğinde en iyi iletkenliğin ITO/CdS olduğu görülmektedir. ITO/CdS/CdSe hetroeklemlerinin kalınlıkları arttıkça taşıyıcı yoğunluğunda ve buna bağlı olarak da iletkenliklerinde bir değişiklik olmadığı görüldü.

**Tablo 4.12.** ITO/CdS (4sa) filmi ve 4, 6 ve 10 saatlik ITO/CdS/CdSe filmleri için belirlenen Hall ölçüm değerleri.

	Taşıyıcı Yoğunluğu (cm <sup>-3</sup> )	Mobilite (cm <sup>2</sup> /Vs)	Özdirenç (Ω-cm)	İletkenlik (Ω-cm) <sup>-1</sup>	Taşıyıcı Tipi
ITO/CdS (4sa)	4,71 x 10 <sup>20</sup>	27,43	4,82x 10 <sup>-4</sup>	2,07 x 10 <sup>3</sup>	n
ITO/CdS/CdSe (4sa)	2,07 x 10 <sup>11</sup>	123,10	2,45 x 10 <sup>5</sup>	4,07 x 10 <sup>-6</sup>	n
ITO/CdS/CdSe (6sa)	1,96 x 10 <sup>11</sup>	25,97	1,22 x 10 <sup>6</sup>	8,15 x 10 <sup>-7</sup>	n
ITO/CdS/CdSe (10sa)	8,08 x 10 <sup>11</sup>	281,70	2,73 x 10 <sup>4</sup>	3,65 x 10 <sup>-5</sup>	n

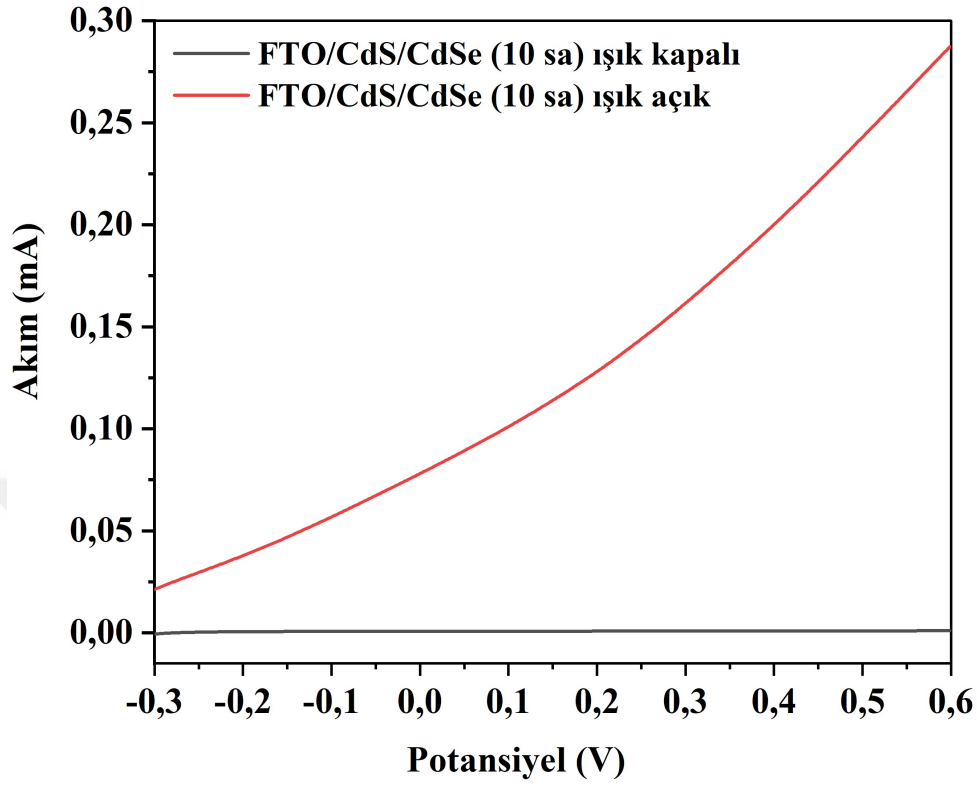
### 4.4. Fotoelektrokimyasal Ölçümler

FTO ve ITO üzerinde elde edilen 10 saatlik CdS/CdSe filmlerinin elektrokimyasal ölçümleri CHI-660 D elektrokimyasal çalışma ünitesi kullanılarak üç elektrotlu sistemde gerçekleştirilmiştir. Karşı elektrot olarak platin levha, referans elektrot olarak Ag/AgCl (3 M KCl) ve çalışma elektrodu olarak da FTO ve ITO üzerinde elde edilen filmler kullanılmıştır. Tüm elektrokimyasal ölçümler 0,1 M KCl çözeltisi kullanılarak aydınlık ve karanlık koşullarda yapılmıştır. Aydınlatma için Kessil H150 model mavi bir ışık kaynağı kullanılmıştır. Doğrusal taramalı voltametri ölçümleri belirli bir potansiyel aralığında 10 mV/s tarama hızı ile gerçekleştirilmiştir. Fotoakım-zaman grafikleri ışığın açılıp kapatılmasıyla elde edilmiştir.

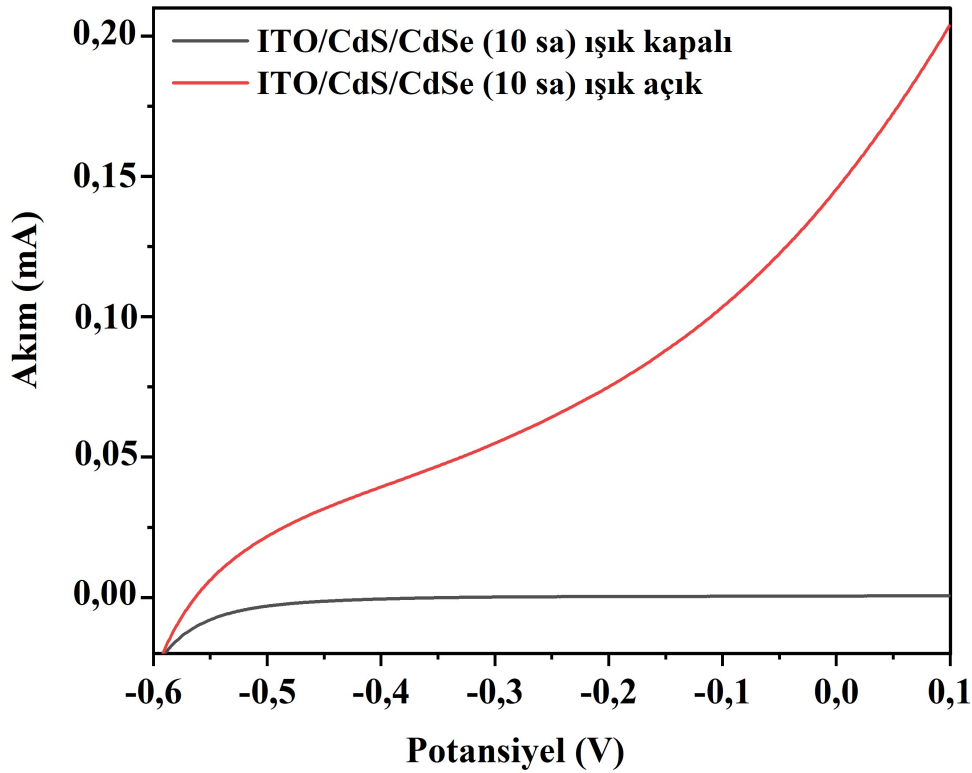
#### 4.4.1. Doğrusal Taramalı Voltametre (LSV) Ölçüm Sonuçları

FTO ve ITO üzerinde elde edilen CdS/CdSe (10 sa) filmlerinin fotoelektrokimyasal (PEC) davranışını araştırmak için lineer tarama voltametre (LSV) metodu kullanılmıştır. FTO/CdS/CdSe (10 sa) filminin LSV ölçümü, karanlık ve aydınlık koşullarda -0,3 V ile 0,6 V aralığında gerçekleştirildi ve ölçüm sonuçları Şekil 4.22.' verildiği gibidir. Karanlık koşullarda oldukça düşük akım geçerken, ışık açıldığında FTO/CdS/CdSe (10 sa) filminin potansiyel artışına bağlı olarak akımda artış olduğu ve 0,6 V' da geçirdiği fotoakımın 0,3 mA' e yaklaştığı görülmektedir. ITO/CdS/CdSe (10 sa) filminin LSV ölçümü karanlık ve aydınlık koşullarda -0,6 V ile 0,1 V potansiyel aralığında gerçekleştirilmiş ve ölçüm sonuçları Şekil 4.23.' de verilmiştir. ITO/CdS/CdSe (10 sa) filminde de karanlık koşullarda oldukça düşük akım geçerken, ışık aydınlatması ile akımda artış olduğu ve 0,1 V' da 0,2 mA' lik bir

fotoakıma ulaştığı şekilden anlaşılmaktadır. FTO/CdS/CdSe (10 sa) ve ITO/CdS/CdSe (10 sa) filmlerinin ışık etkisiyle bir fotoakım oluşturdukları görülmektedir.



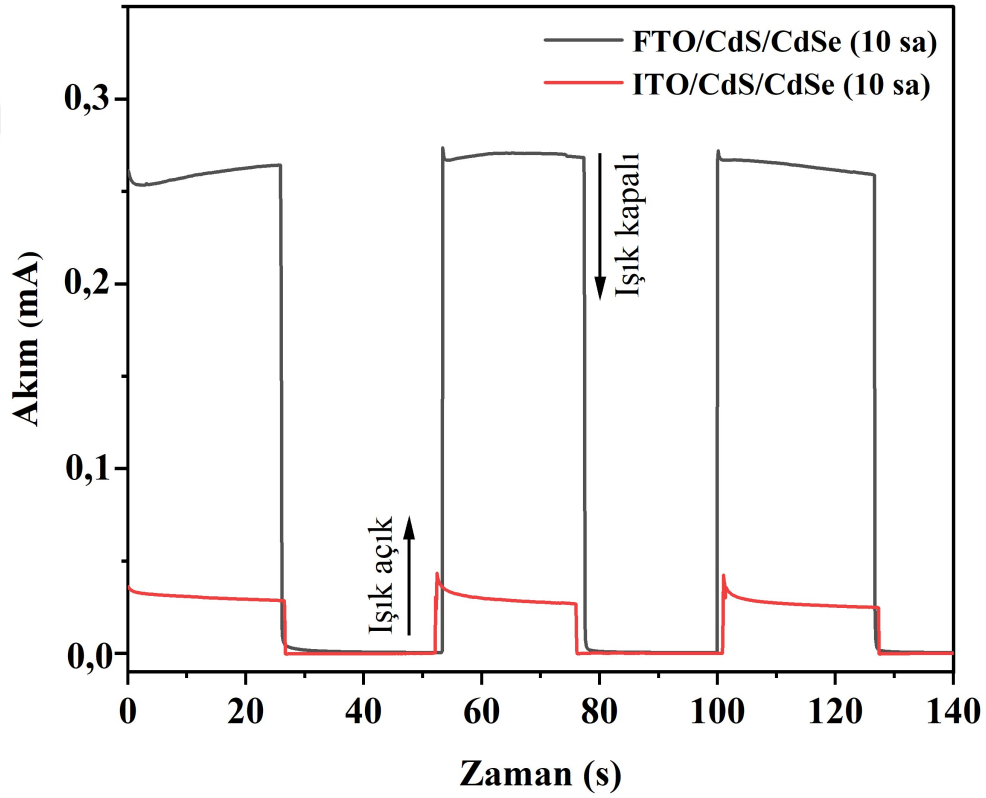
Şekil 4.22. FTO/CdS/CdSe (10 sa) filminin aydınlık ve karanlık ortamlarda ölçülen LSV eğrileri.



Şekil 4.23. ITO/CdS/CdSe (10 sa) filminin aydınlık ve karanlık ortamlarda ölçülen LSV eğrileri.

#### 4.4.2. Amperometrik Ölçüm Sonuçları

FTO/CdS/CdSe (10 sa) ve ITO/CdS/CdSe (10 sa) filmlerinin fotoelektrokimyasal performansı, amperometrik ölçümlerle gerçekleştirilmiş ve fotoakım-zaman diyagramları karşılaştırmalı olarak Şekil 4.24.' de verilmiştir. FTO/CdS/CdSe (10 sa) ve ITO/CdS/CdSe (10 sa) filmlerinin akımının ışığa maruz kalmasıyla arttığı görülmektedir. Işık ile aydınlatma koşullarında ITO/CdS/CdSe (10 sa) filminin FTO/CdS/CdSe (10 sa) filmine kıyasla daha düşük fotoakım değerine sahip olduğu şekilden de anlaşılmaktadır. Bu nedenle FTO/CdS/CdSe (10 sa) filminin fotoakım tepkisinin daha iyi olduğu ve yüksek fotoakım yoğunluğuna sahip olduğu anlaşılmaktadır.



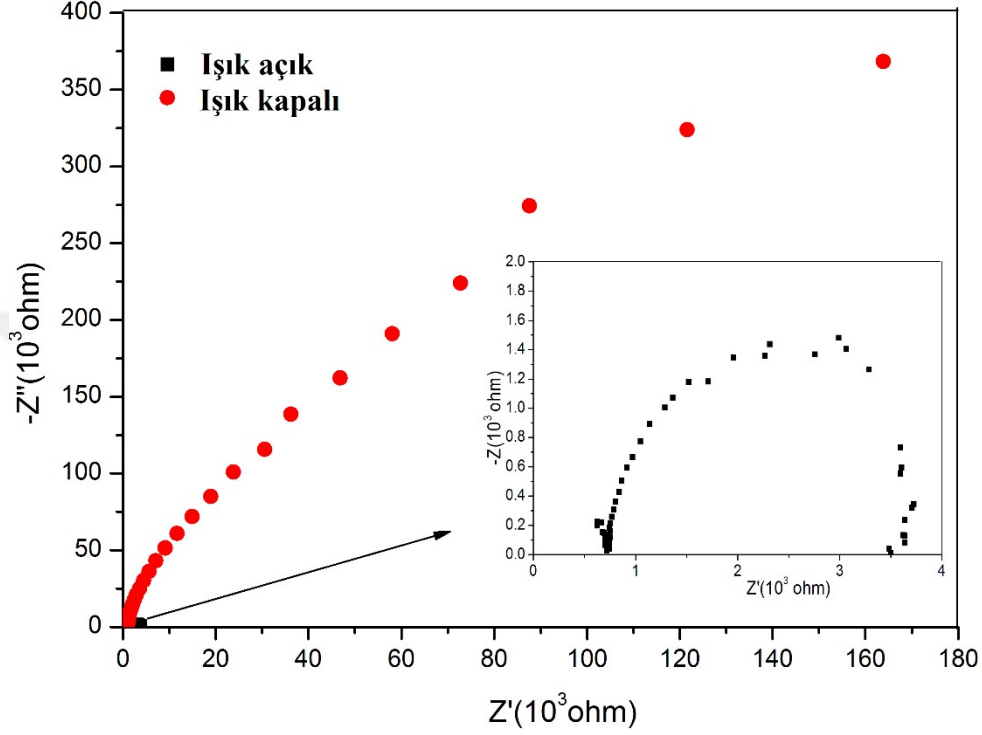
Şekil 4.24. FTO/CdS/CdSe (10 sa) ve ITO/CdS/CdSe (10 sa) filmlerinin ışığın açılıp kapatılmasıyla elde edilen Akım – Zaman diyagramı.

#### 4.4.3. Elektrokimyasal Empedans (EIS) Ölçüm Sonuçları

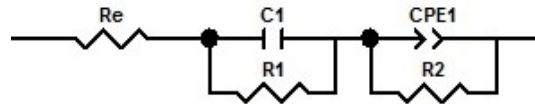
Işık aydınlatması ile yük taşıma kapasitesinin nasıl değiştiğini incelemek için, açık devre potansiyelinde (OCP) FTO/CdS/CdSe (10 sa) filminin elektrokimyasal empedans (EIS) ölçümü gerçekleştirildi. Empedans ölçümü hem elektrot kapasitesi hem de yük transfer mekanizması ile ilgili bilgiler sağlayan bir tekniktir. Şekil 4.25. FTO/CdS/CdSe (10 sa) filminin karanlıkta ve ışık aydınlatması altında kaydedilen Nyquist grafiğini göstermektedir. Karanlıkta ve ışık aydınlatması altında kaydedilen iki grafik de yüksek ve düşük frekans bölgelerinden oluşur ve Şekil 4.26.' de gösterildiği gibi bir eşdeğer devre ile simüle edilmiştir. Zview 2.1b yazılımıyla simüle edilen eş değer



devreye ait bilgiler Tablo 4.13.' da özetlenmiştir.  $R_e$ ,  $R_1$  ve  $R_2$  sırasıyla elektrolit direncini, film direncini ve yük transfer direncini göstermektedir.  $C_1$  elektrolit-elektrot ara yüzeyinde meydana gelen kapasitansı ve CPE ise sabit faz elementini göstermektedir. Işık açık iken elektrolit direnci, film direnci ve yük transfer direncinin ışığın kapalı olduğu koşullara göre oldukça düşük olduğu tablodan görülebilmektedir.



Şekil 4.25. FTO/CdS/CdSe (10 sa) filminin karanlıkta ve ışık aydınlatması altında 0,1M KCl' de OCP' de kaydedilen Nyquist grafiği.



Şekil 4.26. FTO/CdS/CdSe (10 sa) filminin eşdeğer devresi.

Tablo 4.13. FTO/CdS/CdSe (10 sa) filminin EIS ölçümünün simüle edilen eşdeğer devre sonucu.

Durum	$R_e$ ( $\Omega$ )	$C_1$ ( $\mu F$ )	$R_1$ ( $\Omega$ )	$CPE_{1-T}$ ( $\mu F$ )	$CPE_{1-P}$ ( $\mu F$ )	$R_2$ ( $10^3 \Omega$ )
Işık açık	128,7	0,00141	592,6	1,79	0,92	3,061
Işık kapalı	208	0,00115	725,3	0,33	0,94	1087,1

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Cam, FTO ve ITO alttabanlar üzerine CBD yöntemi kullanılarak 80 °C' de CdS filmleri oluşturulmuştur. Oluşturulan CdS filmleri üzerine 4 saat, 6 saat ve 10 saatlik CdSe ince filmleri 70 °C'de CBD yöntemi ile kaplanarak Cam/CdS/CdSe, FTO/CdS/CdSe ve ITO/CdS/CdSe heteroeklemleri elde edilmiştir. Cam, FTO ve ITO alttabanlar üzerinde elde edilen CdS filmleri ve CdS/CdSe heteroeklemlerinin optiksel, yapısal ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. FTO/CdS/CdSe (10 sa) ve ITO/CdS/CdSe (10 sa) heteroeklemlerinin fotoelektrokimyasal özellikleri karanlık ve aydınlık koşullarda doğrusal taramalı voltametri (LSV), amperometri ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. UV-Vis ve fotoluminesans spektroskopisi yöntemleri ile optiksel özellikleri incelenen filmlerde CdS ve CdSe için yasak enerji bant aralığı ( $E_g$ ) değerleri belirlenmiştir. XRD, Raman ve SEM analizleri ile filmlerin yapısal özellikleri incelenmiştir. XRD analizi ile filmlerin polikristalin yapıya sahip olduğu tespit edilmiş, Raman analizi ile filmlerin optiksel titreşim fonon modları belirlenmiş, SEM analizi ile de filmlerin nanotaneçikli yapıya sahip olduğu ve 6 saatlik Cam/CdS/CdSe, FTO/CdS/CdSe ve ITO/CdS/CdSe heteroeklemlerinde nanotel yapıların oluştuğu, 10 saatlik Cam/CdS/CdSe, FTO/CdS/CdSe ve ITO/CdS/CdSe heteroeklemlerinde ise yüzeyin tamamen nanotellerle kaplı olduğu SEM fotoğraflarıyla görülmüştür. Hall ölçümü ile elektriksel özellikleri belirlenen filmlerin tamamının n-tipi iletkenliğe sahip olduğu anlaşılmıştır. Fotoelektrokimyasal özellikleri incelenen FTO/CdS/CdSe (10 sa) ve ITO/CdS/CdSe (10 sa) heteroeklemlerinin ışık aydınlatması altında iletkenliğinin arttığı ve akım artışına bağlı bir foto cevap verdiği görülmüştür. FTO/CdS/CdSe (10 sa) heteroekleminin ITO/CdS/CdSe (10 sa) heteroeklemine oranla daha yüksek bir fotoakım oluşturduğu da ölçüm sonuçları ile tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, n-CdS/n-CdSe heteroeklemleri farklı alttabanlar üzerinde elde edilmiş ve fotoelektrokimyasal (PEC) ve güneş hücresi uygulamaları için optiksel, yapısal, elektriksel ve fotoelektrokimyasal özellikleri açısından incelenerek alttaban etkisi tartışılmıştır. Bu heteroeklemlerin farklı şekillerde modifiye edilmesiyle daha iyi sonuçların alınabileceği bilimsel çalışmalara katkı sunacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

Ahmed B, Kumar S, Kumar S, Ojha AK (2016) Shape induced (spherical, sheets and rods) optical and magnetic properties of CdS nanostructures with enhanced photocatalytic activity for photodegradation of methylene blue dye under ultra-violet irradiation. *J Alloys Compd* 679:324–334. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.03.295>

Azmi N, Chelvanathan P, Yusoff Y, et al (2020) A comprehensive study on the effects of alternative sulphur precursor on the material properties of chemical bath deposited CdS thin films. *Ceram Int* 46:18716–18724. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.04.186>

Baines, T., et al. (2018) “Incorporation of CdSe layers into CdTe thin film solar cells” *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 180 pp.196–204

Behrang Bagheri, et al. “Efficient Heterojunction Thin Film CdSe Solar Cells Deposited Using Thermal Evaporation” 446<sup>th</sup> IEEE Photovoltaic, Specialists conference, (PVSC46), June 16-21, 2019, Chicago, IL

Betul Guzeldir et al. “Effects of SILAR cycle on the electrical characteristics of Cd/CdSe/n-Si/Au-Sb structure”, *Turk J Phys* 35 (2011), p.1 – 12.

Burhan Şahan. (2016). “Characterization of CdS thin films produced with CBD in different thicknesses”. Master of Science in Physics, Mersin University, Mersin

C. Lu., L. Zhang et al. (2014). Electrodeposition of CdSe layers of various thickness to improve the photocatalytic performance of the CdS/CdSe bilayer structure. *Chalcogenide Letters* Vol. 11, No. 9, p. 425- 431.

C. LU., L. ZHANG et al. (2014). Fabrication of CdS/CdSe bilayer thin films by chemical bath deposition and electrodeposition, and their photoelectrochemical properties. *Applied Surface Science* 319, 278–284

Chun S, Jung Y, Kim J, Kim D (2011) The analysis of CdS thin film at the processes of manufacturing CdS/CdTe solar cells. *J Cryst Growth* 326:152–156. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2011.01.086>

Çiriş A, Başol B M, Yılmaz S, et al (2019) Alloying and phase transformation in CdS/CdSe bilayers annealed with or without CdCl<sub>2</sub>. Mater Sci Semicond Process 91:90–96. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2018.11.009>

Deepa B, Ganesan V (2013) Biogenic synthesis and characterization of selenium nanoparticles using the flower of Bougainvillea spectabilis Willd. Int J Sci Res 4:690–695

Fatima S, Ali SI, Iqbal MZ, Rizwan S (2017) The high photocatalytic activity and reduced band gap energy of la and Mn co-doped BiFeO<sub>3</sub>/graphene nanoplatelet (GNP) nanohybrids. RSC Adv 7:35928–35937. <https://doi.org/10.1039/c7ra04281g>

Fatih Öksüzöğlü. (2019). The production and structural properties of nanowires CdSe thin films on p-type Si substrates”. Master of Science in Advanced Technology Research and Application Center, Mersin University, Mersin

F. Oksuzoglu, H. Metin Gubur, A.K. Havare, S. Ildan Ozmen, M. Unal, C. Tozlu, (2020). Structural properties of cadmium selenide nanowires prepared by chemical bath deposition for the electrical and photosensitive characteristics of the p-Si/CdSe heterojunction. Journal Of Photonics For Energy, 10, 1.

Ghnaatian Jobzari H, Iranmanesh P, Sabet M, Saeednia S (2019) Effect of synthesis method and chemical reagents on the structural parameters, particle size, and optical and photoluminescence properties of ZnS nanostructures. Luminescence 34:689. <https://doi.org/10.1002/bio.3650>

Haddad H, Chelouche A, Talantikite D, et al (2015) Effects of deposition time in chemically deposited ZnS films in acidic solution. Thin Solid Films 589:451–456. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2015.06.013>

H. Gubur Metin, F. Septekin, S. Alpdogan. (2015). CdSe Nanowires Grown by Using Chemical Bath Deposition. Journal of The Korean Physical Society 67, 1222.

H. Metin Gubur, F. Septekin, S. Alpdogan, S. Ildan Ozmen. (2018). Effect of Annealing Temperature on the CdSe/FTO (SnO<sub>2</sub>:F) Nanowires Grown by Chemical Bath Deposition. IOSR Journal Of Applied Physics, 10, 7-14

H. Metin Gubur, F. Septekin, S. Alpdogan, B. Sahan, B. Kesik Zeyrek. (2016). Structural properties of CdSe corn-like nanowires grown by chemical bath deposition. Journal Of Materials Science: Materials In Electronics, 27, 7640-7645.

Isik M, Gullu HH, Delice S, et al (2019) Structural and temperature-dependent optical properties of thermally evaporated CdS thin films. Mater Sci Semicond Process 93:148–152. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2019.01.001>

James Keith Walton(2010), “Thin Film Group II-VI Solar Cells Based On Band-Offsets”,Master of Science in Physics,Portland StateUniversity.

Kim D, Park Y, Kim M, et al. (2015). Optical and structural properties of sputtered CdS films for thin film solar cell applications. Mater Res Bull 69:78–83. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2015.03.024>

M. Ashryet al. “Electrical Characteristic Measurement of the Fabricated CdSe/P-Si Heterojunction Solar Cell under Radiation Effect” American Journal of Materials Science August 2012, 2(3): 72-76

Metin, H. (2002). Fabrication and Modeling of Multibase Semiconductor Thin Film Devices, PhD Thesis, University of Çukurova, Adana, Turkey.

Metin, H., Ari, M., Erat, S., Durmuş, S., Bozoklu, M., Braun, A. (2010). The effect of annealing temperature on the structural, optical, and electrical properties of CdS films. Journal of Materials Research, 25(01), 189-196.

Metin, H., Sat, F., Erat, S., Ari, M. (2008). Cadmium sulphide thin films grown by CBD: The effect of thermal annealing on the structural, electrical and optical properties. Journal of Optoelectronic and advance Materials, 10(10), 2622-30.

Metin, H., Erat, S., Durmuş, S., Ari, M. (2010). Annealing effect on CdS/SnO<sub>2</sub> films grown by chemical bath deposition. Applied Surface Science, 256(16), 5076-5081.

Metin, H., Esen, R. (2003). Annealing effects on optical and crystallographic properties of CBD grown CdS films. Semiconductor science and technology, 18(7), 647.

MEITAM, “Powder diffraction data (PDF Card No: 01-075-5680),” in JCPDS, Mersin University. Mersin: MEITAM.

MEITAM, “Powder diffraction data (PDF Card No: 01-077-7288),” in JCPDS, Mersin University. Mersin: MEITAM.

MEITAM, "Powder diffraction data (PDF Card No: 01-075-5679)," in JCPDS, Mersin University.

MEITAM, "Powder diffraction data (PDF Card No: 01-071-4157)," in JCPDS, Mersin University.  
Mersin: MEITAM.

MEITAM, "Powder diffraction data (PDF Card No: 01-088-2346)," in JCPDS, Mersin University.

Özyurt, Kuş, F. (2010). Electrical And Optical Properties Of Copper Oxide/Zinc Oxide/Ato Heterojunction Devices, University of Ankara, Ankara, Turkey.

Quang ND, Majumder S, Choi GS, et al (2020) Optimization strategy for CdSe@CdS core-shell nanorod structures toward high performance water splitting photoelectrodes. Mater Res Bull 129:110914. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2020.110914>

R S, M M, Yogananda Murthy V. (2019) Biosynthesis and Characterization, Antioxidant and Antimicrobial Activities of Selenium Nanoparticles from Ethanol Extract of Bee Propolis. J Nanomed Nanotechnol 10:1-7. <https://doi.org/10.4172/2157-7439.1000522>

Ren T, Lei Z, Luan G, et al (2006) Fabrication of CdS-ZnS layered thin films by hydrothermal seeded growth method. Thin Solid Films 513:99-102. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2006.01.029>

Saeed M, Ansari MT, Kaleem I, et al (2019) Assessment of Antimicrobial Features of Selenium Nanoparticles (SeNPs) Using Cyclic Voltammetric Strategy. J Nanosci Nanotechnol 19:1-6. <https://doi.org/10.1166/jnn.2019.16627>

Sarma B, Deb SK, Sarma BK (2016) Photoluminescence and photocatalytic activities of Ag/ZnO metal-semiconductor heterostructure. J Phys Conf Ser 765:. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/765/1/012023>

Saxena N, Kalsi T, Uttam P, Kumar P (2018) Morphological evolution in nanocrystalline CdS thin films from flowers to salt rock like structures. Opt Mater (Amst) 84:625-630. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2018.07.068>

Shar AH, Lakhan MN, Wang J, et al (2019) Facile synthesis and characterization of selenium nanoparticles by the hydrothermal approach. Dig J Nanomater Biostructures 14:867-872

Shkir M, Ashraf IM, Khan A, et al (2020) A facile spray pyrolysis fabrication of Sm:CdS thin films for high-performance photodetector applications. *Sensors Actuators, A Phys* 306:111952. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2020.111952>

Slejko EA, Lughfi V (2021) Upconversion photoluminescence in colloidal CdSe/CdS nanocrystal based solid films. *Nano-Structures and Nano-Objects* 26:100742. <https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2021.100742>

Sönmezoğlu, S., Koç, N., Akın, S. (2012). Thin film production techniques. *University of Erciyes, Journal of Natural and Applied Sciences*, 28(5).

Trajić J, Gilić M, Romčević N, et al (2015) Raman spectroscopy of optical properties in cds thin films. *Sci Sinter* 47:145–152. <https://doi.org/10.2298/SOS1502145T>

Venugopal R, Lin PI, Liu CC, Chen YT (2005) Surface-enhanced Raman scattering and polarized photoluminescence from catalytically grown CdSe nanobelts and sheets. *J Am Chem Soc* 127:11262–11268. <https://doi.org/10.1021/ja044270j>

Vu TT, Nguyen PTM, Pham NH, et al (2022) Green Synthesis of Selenium Nanoparticles Using *Cleistocalyx operculatus* Leaf Extract and Their Acute Oral Toxicity Study. *J Compos Sci* 6:. <https://doi.org/10.3390/jcs6100307>

