

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

**CdS FİLİMLERİNİN ELEKTRODEPOZİSYON İLE ÜRETİMİNDE DEPOZİSYON
POTANSİYELİ VE ELEKTROT POZİSYONLARININ ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AKIN KENİŞ

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. AYÇA KIYAK YILDIRIM

BİLECİK, 2023
10579934

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

**CdS FİLİMLERİNİN ELEKTRODEPOZİSYON İLE ÜRETİMİNDE DEPOZİSYON
POTANSİYELİ VE ELEKTROT POZİSYONLARININ ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AKIN KENİŞ

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. AYÇA KIYAK YILDIRIM

BİLECİK, 2023
10579934

BEYAN

CdS filimlerinin elektrodpozisyon ile üretiminde depozisyon potansiyeli ve eletrot pozisyonlarının etkileri adlı yüksek lisans/doktora/sanatta yeterlik tezi/dönem projesinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

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

Akın Keniş

.....

Tarih

.....

İmza

.....

ÖN SÖZ

Tez çalışmalarında ihtiyaçlar doğrultusunda seçim yapmamda bana yardımcı olan, çalışmalarımı en iyi şekilde yürütmem için sürekli çaba gösteren, sürekli bilgi ve tecrübelerini aktaran çok saygıdeğer danışmanım Doç.Dr. Ayça KIYAK YILDIRIM hocama çok teşekkür ederim.

Tez deney çalışmalarında her türlü teknik destek veren bilgi birikimlerini aktaran Doç.Dr Barış ALTIOKKA hocama teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Özellikle Tez çevirmelerinde desteğini esirgemeyen arkadaşım İngilizce öğretmeni Kurtay Kağan İŞİTAN'a teşekkür ederim.

Tez jüri üyesi olarak bizlere destek veren Prof.Dr. Umut SARAÇ hocamada teşekkür ederim.

Bu zorlu süreçte her zaman bana destek veren aileme, kızım Elif Naz KENİŞ'e ve oğlum Mustafa Batu KENİŞ'e teşekkürlerimi sunarım.

Akın KENİŞ

2023

ÖZET

CdS FİLİMLERİNİN ELEKTRODEPOZİSYON İLE ÜRETİMİNDE DEPOZİSYON POTANSİYELİ VE ELEKTROT POZİSYONLARININ ETKİLERİ

Bu çalışmamızda CdS yarıiletken filimler elektrokimyasal depozisyon yöntemi ile elde edilmiştir. Filmlerin üretiminde kronoamperometri metodu kullanılmıştır. Filimlerin üretimi iki aşamalı olarak yapılmıştır. Birinci aşamada; farklı katodik potansiyel değerlerinde film üretimleri yapılmıştır. Üretilen filmler analiz edilerek optimum katodik potansiyel değeri belirlenmiştir. İkinci aşamada; filmlerin üretiminde beş farklı kapak kullanılmıştır. Böylece çalışma elektrodu, referans elektrot ve karşıt elektrot arasındaki mesafeler değişmiştir. İkinci aşamadaki tüm üretimler birinci aamada belirlenen optimum katodik potansiyel değeri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen tüm filmlerin optik özellikleri, UV-VIS cihazı kullanılarak dalga boylarına karşı absorbans değerleri ölçümleri sayesinde belirlenmiştir. Filmlerdeki yapısal karakteristik özellikler XRD analizleri ile belirlenmiştir. Filmlerin elementsel ve morfolojik yapıları SEM-EDX cihazı kullanılarak detaylandırılmıştır. Filimlerin yüzey pürüzlüğünün belirlenmesi için üretilen CdS filmlerin SEM görüntüleri Image J Software programında işlenmiştir ve yüzey derinlik katsayıları hesaplanmıştır. Yapılan tüm analizler değerlendirilerek, güneş pili alt tabanı üretimi için optimum koşulları sağlayan CdS filmler belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: CdS, katodik potansiyel , elektrot pozisyonları, XRD, UV-VIS, SEM-EDX

ABSTRACT

THE EFFECTS OF DEPOSITION POTENTIAL AND ELECTRODEPOSITION POSITIONS ON THE PRODUCTION OF CdS FILMS BY ELECTRODEPOSITION

In this study, CdS semiconductor films were obtained by electrochemical deposition method. Chronoamperometry method was used in the production of films. The production of films was carried out in two stages. In the first stage, films were produced at different cathodic potential values. The films produced were analysed and the optimum cathodic potential value was determined. In the second stage; five different covers were used in the production of films. Thus, the distances between the working electrode, reference electrode and counter electrode were changed. All the productions in the second stage were carried out using the optimum cathodic potential value determined in the first stage. The optical properties of all produced films were determined by measuring the absorbance values against wavelengths using a UV-VIS device. Structural characteristics of the films were determined by XRD analyses. The elemental and morphological structures of the films were detailed using SEM-EDX device. In order to determine the surface roughness of the films, SEM images of the CdS films produced were processed in Image J Software and surface depth coefficients were calculated. All analyses were evaluated and CdS films providing optimum conditions for the production of solar cell substrates were determined.

Keywords: CdS, cathodic potential, electrode positions, XRD, UV-VIS, SEM-EDX

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ	x
1.GİRİŞ.....	1
1.1.Güneş Pilleri.....	1
1.2.İnce Film Üretim Teknikleri.....	2
1.3. Elektrodpozisyon Yöntemi.....	6
1.4. Elektrodpozisyonu Etkileyen Faktörler	9
1.4.1.Çözeltiler, Çözücüler ve Biriktirme Elektrolitleri	9
1.4.2 Elektrolitik Banyo pH Değeri	11
1.4.3.Depozisyon Sıcaklığı.....	11
1.4.4. Depozisyon Akım Yoğunluğu.....	12
1.4.5. Depozisyon Süresi ve Kalınlık.....	12
1.5. Elektrodpozisyonun Güçlü Yönleri	13
1.5.1. Elektrolitik Banyo Ömrü Uzunluğu ve Kendi Kendine Arıtma	13
1.5.2. İntrinsik ve Ekstrinsik Doping Kolaylığı	14
1.5.3. Bant Aralığı Mühendisliği Kabiliyeti	15
1.5.4. Düşük Maliyet ve Basitlik.....	16
1.5.5. Ölçeklenebilirlik ve Üretilbilirlik.....	16
1.6.Elektrodpozisyonun Zayıf Yönleri.....	17

1.6.1. Depozisyon Sırasında Akım Yoğunluğunun Kararsızlığı.....	17
1.6.2. Çözelti Bazlı Komplekslerin Oluşumu.....	17
1.6.3. Elektrolitik Banyonun Elektrotlar Tarafından Ekstrinsik Katkılanması....	17
1.6.4. Elektrodepoze Yarı İletken Katmanların Düzensizliği.....	18
1.6.5. Büyüme Sonrası İşlem.....	18
1.7. Karakterizasyon Teknikleri.....	18
1.7.1. Yapısal Teknikler.....	18
1.7.1.1. X-Işını Kırınımı.....	19
1.7.1.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	20
1.7.2. Optik Karakterizasyon.....	21
1.7.2.1. UV-Vis Spektroskopisi	21
1.8 Literatür Taraması.....	23
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	29
2.1. CdS'nin Elektrokimyasal Oluşum Mekanizması.....	29
2.2. Alt Tabanların T emizlenmesi.....	29
2.3. Çözelt Hazırlama	29
2.4. CdS İnce Filmlerin Üretiminde Kullanılan Cihazlar ve Sistemler.....	30
2.4.1 CdS Filmlerin üretiminde kullanılan elektrot pozisyonları.....	30
2.5. CdS İnce Filmlerin Üretiminde Kullanılan DeneySEL Şartlar.....	31
3. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	33
3.1. CdS İnce Filmlerin Karakterizasyonu.....	33
3.1.1 CdS İnce Filmlerin XRD Analizi.....	33
3.1.2. CdS filmlerin Akım yoğunluğu ve Kalınlık ölçümleri.....	41
3.1.3. CdSe İnce Filmlerin Optik Analizleri.....	43
3.1.4. CdS Filmlerin SEM analizleri.....	48
3.1.5 CdS filmlerinin Yüzey Pürüzlülüğünün Belirlenmesi.....	57

4. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	64
KAYNAKLAR.....	66



TABLÖLER LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1 Sulu çözeltilerden elektrokaplama kullanılarak keşfedilen elektronik malzemelerin özeti.....	10
Tablo 2.1. Elektrotlar arası mesafe.....	31
Tablo 2.2. Set I'den üretilen CdS filmlerinin büyütme parametreleri.....	32
Tablo 2.3. Set 2'den üretilen CdS filmlerinin büyütme parametre.....	32
Tablo 3.1 SET I'den edilen filmlerin ilgili düzlemlerine ait, pik açısı, şiddet, yapılanma katsayısı değerleri.....	37
Tablo 3.2 SET II'den edilen filmlerin ilgili düzlemlerine ait, pik açısı, şiddet, yapılanma katsayısı değerleri.....	38
Tablo 3.3 SET I'den üretilen filmlerin tane büyüklükleri, dislokasyon yoğunlukları, doğrulanmış örgü parametreleri, mikro strain değerleri ve ortalama gerilme değerleri.....	40
Tablo 3.4 SET II'den üretilen filmlerin tane büyüklükleri, dislokasyon yoğunlukları, doğrulanmış örgü parametreleri, mikro strain değerleri ve ortalama gerilme değerleri.....	40
Tablo 3.5 SET I de üretilen filmlerin kalınlık ölçüleri.....	42
Tablo 3.5 SET II de üretilen filmlerin kalınlık ölçüleri.....	43
Tablo 3.7 SET I'den üretilen filmlere ait olan hesaplanan yüzey derinlik katsayıları.....	60
Tablo 3.8 SET II'den üretilen filmlere ait olan hesaplanan yüzey derinlik katsayıları.....	63

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa NO

Şekil 1.1. Güneş Pili Türleri.....	2
Şekil 1.2. İnce Film Üretim Teknikleri.....	3
Şekil 1.3. PVD Üretim Teknikleri.....	4
Şekil 1.4 Elektrodpozisyon biriktirme tekniği katagorisi.....	7
Şekil 1.5. Tipik iki elektrotlu ve üç elektrotlu elektrodpozisyon kurulumları.....	8
Şekil 1.6. Artan katodik voltajlarla CuInSe ₂ ve CuInGaSe ₂ için fotoelektrokimyasal (PEC) hücre ölçüm sinyali.....	14
Şekil 1.7. Farklı biriktirme katodik gerilimlerinde biriktirilmiş ve CdCl ₂ ile işlenmiş CdS ince filmlerde Cd'nin S'ye atomik bileşim oranları.....	15
Şekil 1.8. Katodik voltajın bir fonksiyonu olarak CuInGaSe ₂ için enerji bant aralığı değişimi.....	16
Şekil 1.9. X-Ray Cihazının Şematik Gösterimi.....	19
Şekil 1.10. Taramalı Elektron Mikroskopunun Şematik Gösterimi.....	21
Şekil 1.11. Bir Yarıiletkende Temel Soğurma Spektrumu.....	22
Şekil 2.1. IVIUM VERTEX cihazı.....	30
Şekil 2.2 Elektrot pozisyonlarını içeren kapak modelleri.....	31
Şekil 3.1. SET I'den üretilen CdS filmlerinin XRD kırınım grafikleri.....	34
Şekil 3.2. SET II'den üretilen Cds ince filmlerin XRD grafikleri.....	36
Şekil 3.3. SET I de üretilen filimlerin akım yoğunluğu zaman garfıği.....	41
Şekil 3.4. SET II de üretilen filimlerin akım yoğunluğu zaman garfıği.....	42
Şekil 3.5. SET I'den üretilen filmlerin dalgaboyuna karşı absorbans grafikleri	44
Şekil 3.6. SET II'den üretilen filmlerin dalgaboyuna karşı absorbans grafikleri.....	45
Şekil 3.7. SET I'den üretilen filmlerin dalgaboyuna karşı transmitans grafikleri	46
Şekil 3.8. SET II'den üretilen filmlerin dalgaboyuna karşı transmitans grafikleri.....	46
Şekil 3.9. SET I'den üretilen filmlerin hv'ye karşı (αhv) ² grafikleri	47

Şekil 3.10. SET II'den üretilen filmlerin $h\nu$ 'ye karşı $(\alpha h\nu)^2$ grafikleri.....	48
Şekil 3.11. D1'den elde edilen filmin 50000X SEM görüntüsü.....	49
Şekil 3.12. D4'den elde edilen filmin 50000X SEM görüntüsü.....	50
Şekil 3.13. D2'den elde edilen filmin 50000X SEM görüntüsü.....	51
Şekil 3.14. D3'den elde edilen filmin 100000X SEM görüntüsü.....	52
Şekil 3.15. D5'den elde edilen filmin 100000X SEM görüntüsü.....	53
Şekil 3.16. D6'dan elde edilen filmin 100000X SEM görüntüsü.....	54
Şekil 3.17. D7'den elde edilen filmin 100000X SEM görüntüsü.....	55
Şekil 3.18. D8'den elde edilen filmin 100000X SEM görüntüsü.....	56
Şekil 3.19. D9'dan elde edilen filmin 100000X SEM görüntüsü.....	57
Şekil 3.20. D1'den elde edilen filmin olan Image J Software görüntüsü.....	58
Şekil 3.21. D2'den elde edilen filmin olan Image J Software görüntüsü.....	59
Şekil 3.22. D3'den elde edilen filmin olan Image J Software görüntüsü.....	59
Şekil 3.23. D4'den elde edilen filmin olan Image J Software görüntüsü.....	60
Şekil 3.24. D5'den elde edilen filmin olan Image J Software görüntüsü.....	61
Şekil 3.25. D6'den elde edilen filmin olan Image J Software görüntüsü.....	61
Şekil 3.26. D7'den elde edilen filmin olan Image J Software görüntüsü.....	62
Şekil 3.27. D8'dan elde edilen filmin olan Image J Software görüntüsü.....	62
Şekil 3.28. D9'dan elde edilen filmin olan Image J Software görüntüsü.....	63

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

ρ : Yoğunluk

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

a : Örgü parametresi düzeltilmiş değeri

A : Yüzey alanı

a_0 : Örgü parametresi

a-Si: Amorf silisyum

cs: Kristalit boyutu (tane büyüklüğü)

d : Krisal örgüdeki düzlemsel boşluk

E_g : Yasak band genişliği

E_i : Denge potansiyeli

eV : Elektron volt

F: Faraday sabiti

FE-SEM : Alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu

GaAs: Galyum arsenik

hkl : Yansıma indisleri

I/I_0 : Işık şiddetleri arasındaki oran (geçirgenlik)

J : Akım yoğunluğu

m : filmin kütlesi

n : 1 mol madde oluşumu için kimyasal reaksiyonda transfer edilen elektron sayısı

nm : Tane büyüklüğü

R_a : Ortamam pürüzsüzlük değeri

R_q : Ortalama pürüzsüzlük karelerinin karekökü

R_z : On nokta pürüzsüzlüğü ortalama değeri

S : Ortalama gerilme

SOFC : Katı oksit yakıt hücreleri

T : Film kalınlığı

t: Depozisyon süresi

TC : Yapılanma katsayısı

TCO: Şeffaf iletken oksit

UV VIS NIR : Ultraviyole-görünür ışık-yakın kızılötesi

XRD : X-ışını kırınımı

ν : Poisson oranı

β : Maksimum tepe yüksekliğinin yarısındaki tam genişliği (FWHM)

δ : Dislokasyon yoğunluğu

ε : Mikro gerginlik

η : Depozisyon faktörü

σ : Poisson oranı

h : Planck sabiti

α : Absorbsiyon katsayısı

θ_c : Pik merkezinin konumu

λ : Dalga boyu

ν : Tarama hızı

1.GİRİŞ

1.1 Güneş Pilleri

“Fotovoltaik piller”, güneş enerjisinin doğrudan elektrik enerjisine dönüştürüldüğü yapılardır. Fotovoltaik güneş pil sistemleri yenilenebilir enerji alanında, her geçen gün daha da gelişen ve kullanım alanı da daha da gittikçe genişleyen bir teknolojidir. Yenilenebilen bir enerji kaynağı olmasının yanında kolay ulaşılır nitelikte olması gelecekte daha da kullanışlı bir teknoloji haline gelmesi öngörüsünü desteklemektedir. Günümüzde, güneş pillerinden taşıtlarda, çatı ve aydınlatma sistemlerinde, kurutma teknolojisinde, toprak ilaçlama sistemlerinde, uzay çalışmalarında, sulamada, zayıf akım sistemlerinde ve günlük yaşam alanları da dahil pek çok alanda faydalanılmaktadır (Tsoutsos, 2005: 290).

Yapılan araştırmalardan da anlaşılacağı üzere güneş pilleri farklı teknolojik aşamalardan geçmekte ve farklı yapılar halinde üretilmektedir. İlk aşama arsenik güneş pilleri, kristal silisyum ve arsenik güneş pilleri; sonraki aşama a-Si güneş pilleri, CuInSe₂, CdTe; en son aşama da organik güneş pilleri ve ince film güneş pilleri olarak sıralandırılabilir. Galyum arsenik (GaAs) bileşiği ve silisyum elementi birinci nesil güneş pillerinin üretiminde oldukça sık kullanılmaktadır (Küpeli, 2005: 71) .

Bell Laboratuvarı’nda 1954 yılında yapılan çalışmalarda ilk kez kullanılmış olan silisyum elementi güneş hücresi üretiminde en çok kullanılan elementtir. Kristalize olarak silisyumun yapısal olarak değişime dirençli olması, elektrik ve optik kazancının diğer elementlere göre daha fazla olması da güneş hücresi üretimindeki avantajlar arasındadır. Kristal silisyum teknolojisi üzerinde çok sayıda akademik çalışma yapılmış olması, bu teknolojinin gelişimine oldukça katkı sağlamıştır (Küpeli, 2005: 58). Mono-kristal silisyum güneş pillerinin enerji kazancı %15-20 seviyelerindedir. Mali harcamaların amortisman süresi dört ila altı yıl arasında değişmektedir. Ayrıca yirmi yıl kullanıldıktan sonra bile sadece %7’lik bir enerji kaybı yaşanmaktadır. Polikristal silisyum güneş hücrelerinin enerji verimi ise yaklaşık %12-16 olarak hesaplanmaktadır. Maliyetin telafi edilme süresi ise 2 ila 4 yıl arasında değişim göstermektedir. Yirmi yıl kullanımından sonraki verimi de %14 azalmaktadır (Akman vd., 2013:9).

Uzay sistemlerinde, en çok tercih edilen güneş hücresi Galyum Arsenit hücreleridir. Germanyum ve Silisyum gibi yarı iletken elementlere göre sıcaklık ve radyasyona karşı daha dirençli bir yapıya sahip olması, GaAs bileşiğini uzay çalışmalarında tercih edilen güneş hücresi yapmıştır (Akman vd. 2013: 9). Güneş pillerinde kullanılan GaAs elementi uygulama esnasında %22’lik bir verimsel orana sahip iken, deneysel koşullardaki verimsel oranı ise %25’den

fazladır. Silisyum, Galyum gibi yarı iletkenlerle beraber üretilen çok yapılı GaAs güneş hücrelerinin verimsel oranı ise %30 seviyelerindedir (Schnitzer,1993: 2174).

İkinci nesil güneş pili hücreleri üretilirken Kadmiyum, Germanyum, Amorf silisyum gibi yarıiletken elementler kullanılmıştır (Matsumoto vd., 1990: 6542). Amorf silisyum (a-Si) hücreler yapısal olarak kristalize olmadığından dolayı ortaya çıkan verimsel oran %10 seviyelerinde iken uygulamada kullanılan hücrelerin verimsel oranı ise %5-7 seviyelerindedir. Amorf silisyum güneş hücreleri, az enerji harcayan, yapısal olarak küçük güçteki elektronik aletlerin enerjisini sağlamak için kullanılmaktadır. Amorf silisyum kullanılarak üretilen güneş pili hücrelerinin; yapılarda birleşik cam yüzey şeklinde ve güneş pili olarak binaların dış yüzeyinde kullanıldığı bilinmektedir (Matsumoto vd., 1990: 6543).

Silisyum elementi katmanlı üç çeşit (Amorf Silisyum, Mono kristal Silisyum, Çoklu poli Silisyum) fotovoltaiik güneş hücresine ait örnekler Şekil 1.1’de verilmiştir.



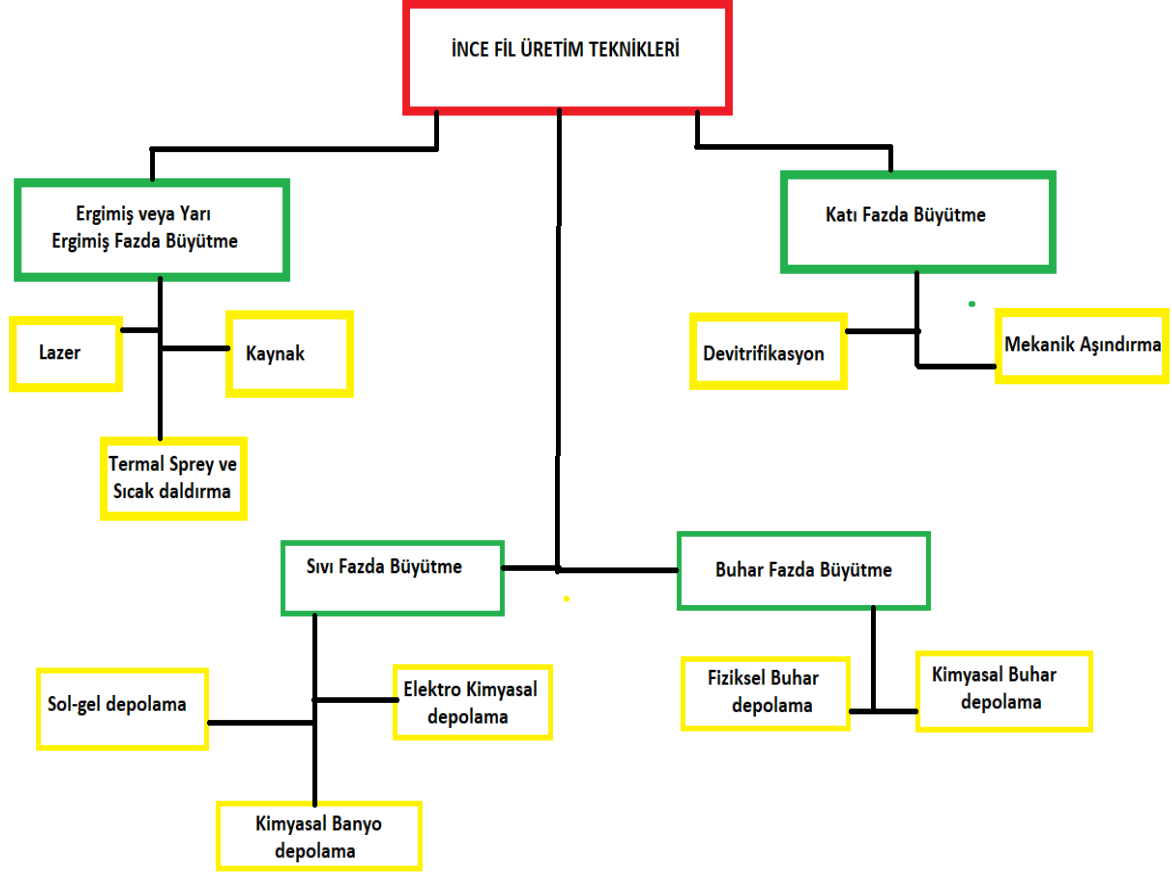
Şekil 1.1 Güneş Pili Türleri

Kaynak :[Erişim:28.08.2023,<https://solaravm.com/efs/G%C3%BCne%C5%9F-Panelli-Tipleri.webp>]

1.2 İnce Film Üretim Teknikleri

Üretim koşullarına ve kullanılan malzemelerin yapısal özelliğine bağlı olarak ince filmler, polikristal ve amorf yapıda olabilir. Hücresel ince katman ve hücrelerin yüzeyine monte edildiği alt kısım olmak üzere iki kısımdan oluşmakla birlikte yapıları, elektronik hücreler, filimsi güneş hücreleri vb. gibi çeşitli katmanlardan oluşabilir (Sönmezoğlu vd.,2012: 390).

İnce film üretim tekniklerinin aşamalarını gösteren şema Şekil 1.2’de gösterilmektedir. İnce film üretim teknikleri, katı fazda büyütme, sıvı safhada büyütme, ergimiş veya yarı ergimiş fazda büyütme ve buhar fazda büyütme şeklinde dört başlıkta kategorize edilebilir.



Şekil 1.2. İnce Film Üretim Teknikleri

Kaynak: (Yavuz,2021:9)

Kaplanacak yüzey alanına ve alt kısımtaki malzemeyi sınırlandırmadan kaliteli düzeyde kaplamalar gerçekleştirmeyi sağlayan buhar fazda yapılan kaplama yöntemleri;

- 1- Fiziksel buhar depolama (Physical Vapor Deposition)
- 2- Kimyasal buhar depolama (Chemical Vapor Deposition)

Bu metotlar içerisinde kimyasal buhar fazda depolama yönteminin aşamaları sırasıyla;

- i) Sistem içerisine öncül gaz girişi sağlanması,
- ii) Taşıyıcı gaz ya da vakum yardımıyla bu gazların taban malzeme üzerine taşınması
- iii) Reaktif gazların taban malzeme yüzeyine tutunması
- iv) Taban malzeme yüzeyinde ince film oluşumu gerçekleşmesi

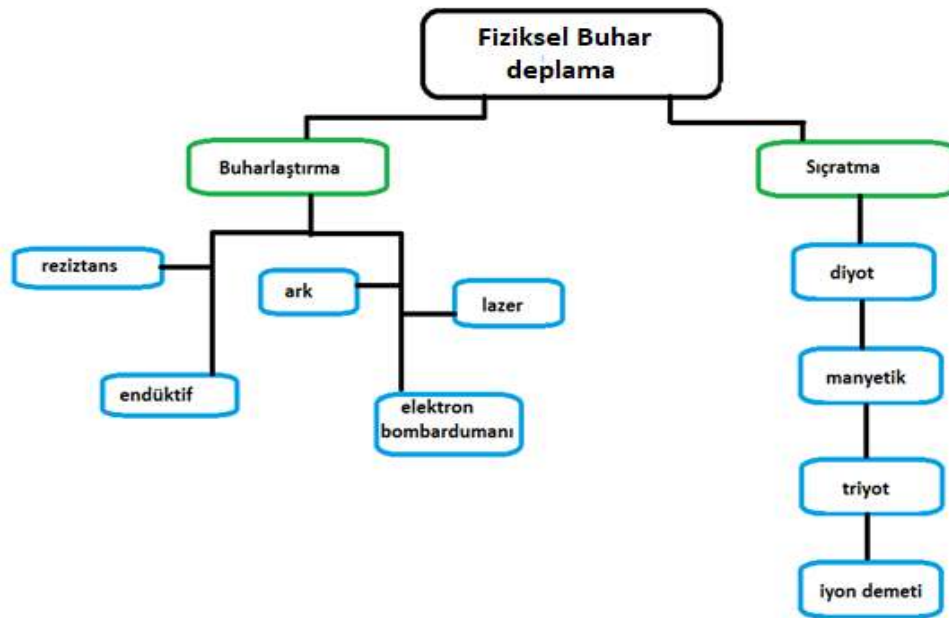
v) Reaksiyon sonucu taban malzemeye tutunamayan ve toz halinde kalmış olan reaksiyon ürünlerinin yüzeyden ayrılması

vi) Reaksiyon sonucu atık gazların taşıyıcı gaz ve/veya vakum yardımıyla taşınması

vii) Atık gazların egzoz sistemi ile reaksiyon odasından uzaklaştırılması olarak sayılabilir.

Kapalı bir alan içerisinde katı fazdan gaz faza geçen kimyasal bileşik, taşıyıcı gaz tarafından taşınarak taban malzeme üzerine difüzyon yolu ile depolanır, bu kimyasal buhar depolama (KBB) yöntemi olarak bilinir. Kaplama kalınlığı 10 mikrometreden daha incedir. Malzemenin cinsine bağlı olarak sıcaklık genellikle 1100 °C'ye kadar çıkmaktadır. İşlem süresi üretilmek istenen malzemenin kalınlığına bağlıdır. Malzemenin stokiyometrisi, morfolojisi ve kristal yapısı kaplama parametreleri değiştirilerek kontrol edilebilir (Çoşğun vd.,2021:353)

Üretim tönemlerinden fiziksel buhar depolama üretim yöntemlerine ait şema Şekil 1.3'de verilmiştir.



Şekil 1.3. Fiziksel buhar depolama Üretim Teknikleri

Kaynak: (Yavuz,2021:10)

Şekil 1.3 incelendiğinde bu teknik, sıçratma ve buharlaştırma olmak üzere iki aşamadan oluştuğu görülür.

Sıçratma ingilizcesi sputtering olarak bilinen sert bir yüzeysel alandan atomları mekanik olarak parçalayıp, koparma döngüsüne denir. İnce film kaplamalarda, buhar kaynağı olarak, genellikle sıçratma yöntemi kullanılmaktadır. Diğer yöntemlere göre birçok avantaj sunan bu yöntemde, katı malzeme pozitif iyonlarla bombardıman edilerek, atomlar yüzeyden kopartılır. Büyütülecek olan malzeme, hızlandırılmış iyonlar ile bombardıman edilirse, saçılan atomlar substrat (alttaban) yüzeyinde film tabakası oluştururlar. Buharlaştırma yönteminde ise malzeme çeşitli şekillerde ısıtılarak buhar fazı oluşturulur. Oluşan buhar, düşük sıcaklık bölgesine doğru taşınır ve burada bulunan taşıyıcılar üzerine yoğunlaşır. Bu işlem yüksek vakum ortamında yapılabildiği gibi asal bir gaz ortamında da gerçekleştirilebilir (Sönmezoğlu vd.,2012:393).

Sıvı fazda büyütme yöntemi, kimyasal banyo depolama, sol-jel depolama ve elektrokimyasal depolama olmak üzere üç ana teknikten oluşmaktadır.

Kimyasal banyo depolama yöntemi, Bu yöntem, uygun bir alt taban üzerinde çözelti halindeki bir bileşiğin kontrollü biriktirilmesini içerir. Bu yöntemde, üretilecek film için gerekli olan iyonlar tuzların karıştırılmasıyla çözelti içerisinde oluşturulur. Alt tabanın çözeltiye daldırılmasıyla film oluşumu sağlanır. Alt taban olarak camın yanı sıra ITO, titanyum, FTO, çelik gibi çeşitli malzemeler kullanılabilir. Bu yöntem ile homojen, düşük kristal kusurlu filmler, düşük maliyetli ve basit bir sistemle elde edilir. Değişen depolama süreleri ile filmlerin kalınlıkları arzu edilen düzeye getirilebilir. Kimyasal depolama yöntemi esasen iyon reaksiyonunun yavaşlatılması prensibine dayanır. Çünkü büyük parçacıkların çökmesinin engellenmesi, reaksiyonun yavaşlatılmasıyla mümkün olur (Bal,2019:29).

Sol-jel yöntemi, çeşitli uygulamaları olan esnek bir yöntemdir. Seramik malzemelerin belirli yapılarını ve özelliklerini kontrol etmek için kullanılabilir. Bu yöntemle ince filmler, kaplamalar, optik camlar, yüzey kaplamaları gibi birçok farklı ürün ve malzeme üretilebilir.

"Sol" kelimesi, çözelti veya süspansiyon aşamasını, "jel" ise bu çözeltinin bir jelleşme işlemiyle katılaştırıldığı aşamayı temsil eder. Sıvı faz içerisinde dağılmış nano boyutlu katı partiküller hızlı bir biçimde dibe çökmüyorsa, oluşuma sol denilmektedir. Sol oluşumunda dağılmış katı oluşumu merkezkaç gibi dış unsurlarla homojen bir şekilde ayrıştırabilir. (Temel, 2018: 3).

Mekanik aşındırma ve devitrifikasyon teknikleri katı fazda büyütme yöntemleridir. Mekanik aşındırma, çoğu malzemenin bozulması neticesinde de tekrardan nano boyuttaki malzemelerin üretilmesinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Mekanik aşındırma, enerjisi

yüksek olan öğütme merkezlerinde nano boyuttaki partiküllerin süre gelen birleşme, kırılma ve tekrar birleşme işlemlerini kapsar. Bunun sonuncunda bileşik ve metalik yapıda ki malzemeler birbirine yapışmaz ve ince film yapıdaki malzemeler oluşur (Sönmezoğlu vd.,2012:401).

Sıralı kristalografik düzenlenmeyle amorf (camsı) katıların kristal haline dönüşümü süreci de mekanik aşındırma tekniği ile yürütülmektedir Bu metot hızlı bir şekilde katı hale getirme işlemi olarak bilinmektedir. Ayrıca, bu metot camsı yapıları denetimli bir düzende kristal forma dönüştürülerek (büyümesini yavaşlatarak çekirdekleşme oranını hızlandırarak) küçük boyuttaki malzemelerin bütünleştirilmesinde de kullanılmaktadır (Beşergil,2021: 1).

Ergimiş ya da yarı ergimiş safha büyütme işlemi ise üç kategoride ele alınabilir: Kaynak yöntemi, lazer ışınlama yöntemi, termal sprey ve sıcak daldırma yöntemi.

Lazer ışınlama yöntemi, kullanılan malzemenin buharlaşıp, malzemin üzerini örtmesiyle kaplama işleminin gerçekleştirilmesidir. Tamamen havasız veya basıncı artırılmış bir gazın bulunduğu yerde lazer ışıması metodu kullanılabilir. Lazer ışını malzemeye temas ettiğinde, ışının salınımı malzeme sayesinde absorbe edilerek ısı enerjisi dönüşür. Süreç bitiminde buharlaşma oluşur ve yapısal olarak plazma açığa çıkar (Chrissey ve Hubler, 1994: 5).

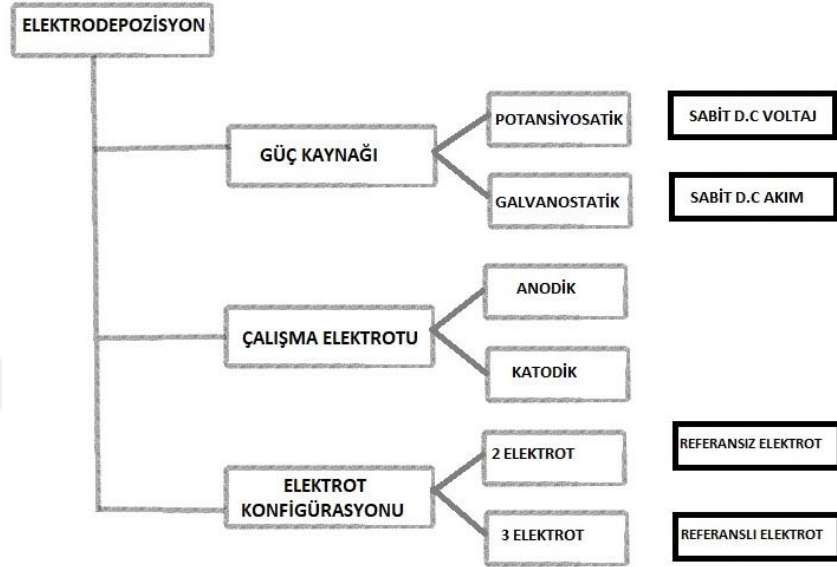
Termal sprey tekniğinde; kaplama yapılacak malzeme öncelikle toz veya tel formunda olmalıdır. Ardından enerji kaynağı olarak, genellikle bir alev plazma veya yüksek hızlı gaz akışı kullanılarak malzeme ısıtılır. Bu ısınma sonucunda malzeme erir veya yarı eriyik hale gelir. Daha sonra ısıtılan parçacıklar, gaz veya atomizasyon jetleriyle hızlandırılarak hedef yüzeylere püskürtülür. Bu parçacıklar hedef yüzeye çarparken soğur ve yapışır, böylece istenen kaplama oluşturulmuş olur. Termal sprey tekniği, genellikle yüzeylerin aşınma direncini artırmak, koruyucu kaplamalar oluşturmak veya termal yalıtım sağlamak gibi amaçlarla kullanılır (Davis,2004:56)

1.3 Elektrodpozisyon Yöntemi

Elektrodpozisyon, metal veya yarı iletken iyonların bulunduğu iyonik bir elektrolitten elektrik akımı geçirilerek iletken bir alt tabaka üzerinde elementel veya bileşik metallerin veya yarı iletkenlerin depolanması işlemidir. Akım geçişi, reaksiyonun pozitif serbest enerji değişimi ΔG 'nin bir sonucu olarak iletken alt taban üzerinde katı malzemenin depolanmasına neden olan kimyasal reaksiyonun kendi başına ilerleyememesi nedeniyle gereklidir

Elektrodpozisyon şekil 1.4'de gösterildiği gibi güç kaynağı kaynağı, çalışma elektrodu ve elektrot konfigürasyonuna göre kategorize edilir. Ancak temel depolama mekanizması ve kurulumu benzerdir. Temel depolama mekanizması, elektronların güç kaynağından katoda

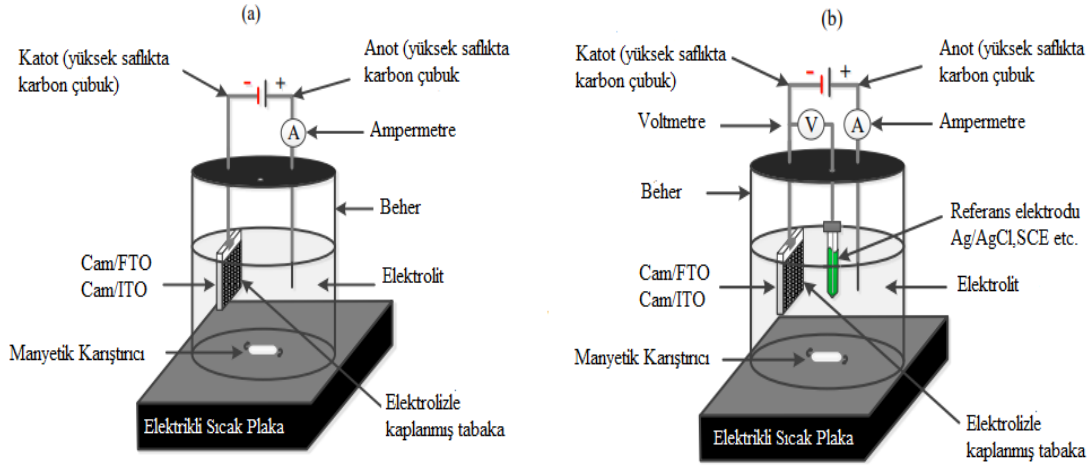
akışını gerektirir. Pozitif yüklü katyonlar katoda, negatif yüklü anyonlar ise anoda doğru çekilir. Katyonlar veya anyonlar sırasıyla elektron kazanarak (indirgeme işlemi yoluyla) veya elektron kaybederek (oksidasyon işlemi yoluyla) elektriksel olarak nötralize edilir ve çalışma elektrodu (WE) üzerinde depolanır. (McHardy ve Ludwig,1992:18-30)



Şekil 1.4 Elektrodpozisyon depolama tekniği katagorileri

Kaynak: (Ojo, 2018a:2)

iki elektrotlu (2E) bir konfigürasyonun tipik elektrodpozisyon kurulumu şekil 1.5 (a)'da gösterilmektedir. Bu sistem depolama kabı (beher), depolama elektroliti, manyetik karıştırıcı, ocak gözü, güç kaynağı, bir çalışma elektrodu, bir karşıt elektrotan oluşmaktadır. Üç elektrotlu (3E) bir konfigürasyon durumunda sistemde bir referans elektrottan (RE) içerir ve Şekil 1.5 (b)'de görüldüğü gibi kurulumunda yer alır. Potansiyostatik bir güç kaynağının kullanılması, depolama potansiyelinin, iletkenlik türünü belirleyen faktörlerden biri olan elektrodpozite olmuş tabakadaki elementlerin atomik yüzde bileşimi üzerindeki etkisinden kaynaklanmaktadır (Ojo vd.,2019:10-14,Dharmadasa vd.,2014:380-415). Katodik biriktirme esas olarak anodik biriktirmeye kıyasla alt tabakaya iyi yapışan stokiyometrik ince filmler üretme kabiliyeti nedeniyle kullanılmaktadır (Pandey,2015:93-103). Buna karşılık, galvanostatik elektro depozisyon, biriken elektrolizle kaplanmış tabaka nedeniyle dirençteki değişiklikleri göz ardı ederek bir elektrolitik hücre aracılığıyla sabit akım yoğunluğunu koruyarak kontrol edilir ve ölçülür.



Şekil 1.5. Tipik (a) iki elektrotlu ve (b) üç elektrotlu elektrodepozisyon kurulumları

Kaynak: (Ojo ve Dharmadasa 2018a:2)

İki elektrotlu elektrot biriktirme konfigürasyonlarının zorlukları yok değildir; ana zorluk, biriktirme sırasında katot ve anot boyunca ölçülen potansiyelde dalgalanma veya düşüştür. Bu, artan yarı iletken katman kalınlığı ve elektrolitin iyonik konsantrasyonundaki değişim ile alt tabakanın direncindeki değişiklikten kaynaklanmaktadır. Üç elektrotlu konfigürasyon için, potansiyel farkı çalışma ve referans elektrotları boyunca ölçülürken, ölçülen akım çalışma ve karşı elektrotlar arasındadır (Ojo ve Dharmadasa 2018a:3). Genel olarak, elektrolitin pH'ı (Meulenkamp ve Peter,1996:4077-4082) , uygulanan depozisyon potansiyeli (Ojo vd.,2016a:10-14,Dharmadasa vd.,2014:380-415), depozisyon sıcaklığı (Shenouda vd.,2015:341-346), karıştırma hızı (Atapattu vd.,2016:5415-5421), depozisyon akım yoğunluğu, biriktirme süresi ve kalınlığı (Ojo vd.,2017:3254-3263), altta yatan alt tabaka (De Alwis vd.,2018:12419-12428) ve biriktirme elektrolitindeki iyon konsantrasyon (Meulenkamp vd.,1996:4077-4082) gibi diğer faktörler elektrodepozisyon sürecini ve biriktirilen katmanların özelliklerini etkiler. Son yayınlar, üç elektrotlu ve iki elektrotlu elektrokaplama konfigürasyonları kullanılarak elektrodepoze edilen yarı iletkenler arasındaki benzerlikleri göstermiştir (Dharmadasa vd.,2017:7-17, Echendu vd.,2017:7) Hem elementlerin hem de bileşiklerin elektrodepozisyonu, matematiksel olarak Denklem (1.1)'de gösterildiği gibi Faraday'ın elektrodepozisyon yasaları tarafından yönetilir.

$$T = \left(\frac{1}{nF} \right) \left(\frac{itM}{\rho A} \right) = \left(\frac{JtM}{nF\rho} \right) \quad (1.1)$$

Burada T kalınlık (cm), J akım yoğunluğu ($A \text{ cm}^{-2}$), t depozisyon süresi (s), M moleküler kütle (g / mol^{-1}), n $g \text{ cm}^{-3}$, 1 mol madde oluşumu için kimyasal reaksiyonda transfer edilen elektron sayısı, F Faraday sabiti ($96,485 \text{ C mol}^{-1}$) ve ρ yoğunluktur ($g \text{ cm}^{-3}$). Faraday'ın elektroliz yasasının, sistemdeki direnç kayıpları ve çözücünün kendisini oluşturan iyonlara ayrışmasına elektronik yük katkısı dikkate alınmaksızın, elektrolitten geçen tüm elektronik yüklerin biriken malzeme katmanının birikmesine katkıda bulunduğunu varsaydığı unutulmamalıdır (Sun vd.,2010:1252-1261)

1.4 Elektrodepozisyonu Etkileyen Faktörler

1.4.1.Çözeltiler, Çözücüler ve Depozisyon Elektrolitleri

Kullanılan çözünen madde ve çözücünün etkileri elektrodepozisyonda önemlidir. CdS'nin elektrodepozisyonu dikkate alındığında, sodyum (Na) bazlı öncül ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) sıklıkla kullanılmıştır (Yamaguchi, vd.,1998:9677-9686, Das ve Morris,1993:305-316). Sodyum iyonları düşük katodik voltajlarda elektrodepoze edilmemesine rağmen, elektrolitik banyoda artan Na birikiminin bir sonucu olarak adsorpsiyon, absorpsiyon veya kimyasal reaksiyonlar yoluyla Na'nın CdS filmlerine dahil edilmesi sağlanabilir. Na'nın CdS'de p-tipi bir katkı olduğu ve Na birikimi nedeniyle sonraki CdS katmanlarının elektrik direncinin artmasına neden olduğu unutulmamalıdır. Buna ek olarak, Na bazlı öncül ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) elektrodepozisyon sırasında sülfür çökmesi ile de ilişkilidir. Son zamanlardaki anlayış, iyi bilinen sülfür öncüsünün tiyoüre (NH_2CSNH_2) ile değiştirilmesinin (daha çok kimyasal banyo biriktirme (CBD) tekniğiyle ilişkilidir) sülfür çökeltisinin azaltılması/ortadan kaldırılmasıyla sonuçlandığını göstermiştir (Ojo ve Dharmadasa,2016b:14-28, Salim vd.,2016:6786-6789, Daniel v ediğerleri,2008:105-235).

Kullanılacak çözücünün seçimi de kadmiyum iyodür (CdI_2) içeren etilen glikol ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$) elektrolitinden CdTe'nin biriktirilmesinde gösterildiği gibi elektrokaplama önemli bir faktördür (Chaure vd.,2003:303-317). Çözünen madde olarak sulu çözelti kullanıldığında, CdI^+ , CdI_2 , CdI^{-3} ve CdI_2^{-4} gibi CdI kompleksleri sulu çözeltide oluşur ve Cd'nin birikmesini ve CdTe'nin birlikte birikmesini engeller. Diğer Cd öncüllerinden elde edilen CdTe'nin literatürde araştırılmış ve rapor edilmiş olması dikkat çekicidir (Dharmadasa vd.,2017:2343-2352, Dharmadasa vd.,2015:4571-4583). Bu nedenle, elektrodepozisyon amacıyla çözünen madde ve çözücü seçimi, elektrodepozite edilmiş yarı iletken malzemelerin üstün niteliklerini

elde etmek için elektrodpozisyon işleminin doğasında bulunan bir dizi diğer faktöre ek olarak dikkate alınması gereken bir faktördür. Sheffield Hallam Üniversitesinde (SHU) 'da araştırılan ve literatürde belgelenen çok sayıda yarı iletken Tablo 1'de özetlenmiştir (Ojo ve Dharmadasa,2018a:4).

Tablo 1.1. Yazarların araştırma grubunda bugüne kadar sulu çözeltilerden elektrodpozisyon kullanılarak keşfedilen elektronik malzemelerin özeti.

Elektroliz Malzemesi	Eg (eV)	Galvaniz Kaplama İçin Kullanılan Malzemeler	Yorumlar	Referans
CuISe ₂	~ 1.00	Cu iyonları için CuSO ₄ , In iyonları için In ₂ (SO ₄) ₃ ve Se iyonları için H ₂ SeO ₃	Hem p hem de n tipi materyal yetiştirme yeteneği	(Dharmadasa vd., 2006: 2191-2200)
CdTe	1.45	Cd iyonları için CdSO ₄ veya Cd(NO ₃) ₂ veya CdCl ₂ ve Te iyonları için TeO ₂	CdTe kullanarak hem p- hem de n-tipi büyütme yeteneği Cd-sülfat, nitrat ve klorür öncülleri	(Salim vd.,2015:311 9-3128) (Abdul-Manaf vd.,2015a:10 883-10903)
CuInGaSe ₂	1.00-1.70	Cu iyonları için CuSO ₄ , In iyonları için In ₂ (SO ₄) ₃ ,Ga iyonları için Ga ₂ (SO ₄) ₃ ve Se için H ₂ SeO ₃ iyonlar	Hem p hem de n tipi materyal yetiştirme yeteneği	(Dharmadasa vd.,2007:466 -471)
CdSe	1.90	Cd iyonları için CdCl ₂ ve Siyonları için SeO ₂	-	(Olusola vd.,2015:106 6-1076)
InSe	1.90	In iyonları için InCl ₃ ve Se iyonları için SeO ₂	-	(Madugu vd.,2014:397 7-3983)
GaSe	2.00	Ga iyonları için Ga ₂ (SO ₄) ₂ ve Se iyonları için SeO ₂	-	-
ZnTe	1.90-2.60	Zn iyonları için ZnSO ₄ ve Te iyonları için TeO ₂	Hem p hem de n tipi materyal yetiştirme yeteneği	(Olusola vd.,2016:120 -130)
CdS	2.42	Cd iyonları ve Na ₂ S ₂ O ₃ ,NH ₄ S O için CdCl ₂ veya S için NH ₂ CSNH ₂	İletkenlik türü her zaman n tipi	(Ojo ve Dharmadasa, 2016b:14-28) (Abdul-Manaf vd.,2015b:24 18-2429)(Diso vd.,2010:647 -651)
CdMnTe	1.57-2.50	Cd iyonları için CdSO ₄ , Mn iyonları için MnSO ₄ ve Te iyonları için TeO ₂	-	-
ZnSe	2.70	Zn iyonları için ZnSO ₄ ve Se iyonları için SeO ₂	Hem p hem de n tipi materyal yetiştirme yeteneği	(Samantillek e vd.,1998:231 -238)
ZnO	3.30	Zn iyonları için Zn(NO ₃) ₂	-	(Wellings vd.,2008:389 3-3898)
Zns	3.75	Zn için ZnSO ₄ ve S iyonları için (NH ₄) ₂ S ₂ O ₃	Hem p hem de n tipi materyal yetiştirme yeteneği	(Madugu vd.,2016:271 0-2717)
PAni	-	C ₆ H ₅ NH ₂ ve H ₂ SO	Tıkama katmanı	(Abdul-Manaf vd.,2014:400 3-4010)

1.4.2 Elektrolitik Banyo pH Değeri

Bir elektrolitik banyonun bileşimi doğal olarak banyonun pH değerini belirler. Temel olarak, bir elektrolitin asitliği ($\text{pH} < 7.00$) bir asit eklenerek arttırılabilir. Ayrışmış asitten gelen hidrojen iyonları (H_3O^+) sulu çözeltideki su ile reaksiyona girerek hidronyum iyonları (H_3O^+) oluşturur. Öte yandan, H_3O konsantrasyonunun azalmasıyla çözeltinin alkalitesi artar ($\text{pH} > 7.00$). Bunun nedeni, alkalinin ortaya çıkmasıyla ayrılan hidroksit iyonlarının (OH^-), hidronyum iyonları yerine su (H_2O) oluşturmak üzere su ayrışmasından kaynaklanan H^+ iyonlarıyla reaksiyona girmesidir. Element ve bileşik birikiminin, esas olarak kimyasal banyo depolama ve elektro depozisyon teknikleri gibi sulu depolama tekniklerinde bu kimyasal dinamiğe yanıt verdiği iyi belgelenmiştir (Nasr vd.,2006:4-8, Wu vd.,2014:20-26). Elektrodpozisyona vurgu yaparak, pH'ın banyo ve depolanan tabakalar üzerindeki etkisi, elementin seçici depolanması (etching), biriktirilen tabakaların karakteristik özelliklerinin değiştirilmesi, elementel/bileşik çökmesi ve biriktirme akım yoğunluğundaki artış arasında değişmektedir (Kum vd.,2008:19; Londhe vd.,2012:671-672; Kafi vd.,2018:255; Rami vd.,1999:137-147). Ayrıca, pH'ın su gibi yaygın çözücülerin ayrışması üzerindeki etkisi de literatürde iyi bir şekilde belgelenmiştir, bir elektrodpozisyon banyosunun asitliğindeki artışın sulu çözeltideki ayrılmış iyonların konsantrasyonunda artışa neden olur. Buna dayanarak akım yoğunluğu, çözeltinin bileşimine bağlı olarak stabilize olana kadar artar yada artmaya devam eder (Hillel,2005:290-300).

1.4.3 Depozisyon Sıcaklığı

Bir maddenin sıcaklığındaki artışın içindeki moleküllerin hareketini arttırdığı bilinen bir gerçektir. Bu nedenle, elektrolitik depozisyon sıcaklığı çözücünün çözünürlüğünü artırır, reaksiyonları katalize eder, iyonlara enerji verir ve taşıma sayısını artırır, bu da depozisyon akım yoğunluğunda ve bileşen elementlerin veya bileşiklerin biriktirme hızında bir artışa neden olur. Buna ek olarak, elektrodpozisyon üzerine yapılan çalışmalar, daha yüksek depozisyon sıcaklığında depolanmış yarı iletken malzemenin kristallliğinde bir artış elde edilebileceğini göstermiştir (Panicker ve M.P.R.,1978:566-572; Huang vd.,2017:1-5). Sulu çözeltiden elektrokaplanan yarı iletken malzemeler için, standart atmosferik basınç altında $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de elektroddepolanan suyun kaynama sıcaklığı nedeniyle büyüme sıcaklığında bir sınırlama vardır, ancak diğer elektrolitik banyolardan elektrodpozisyon sıcaklığı 160°C 'ye kadar çıkabilir. Malzemelerin daha yüksek sıcaklıkta biriktirilmesi, iyonların/atomların hareket etmesi ve

düzenli bir kristal deseninde birikmesi için gereken enerjiyi sağlar (Chaure vd.,2003:303-317,Ojo ve Dharmadasa,2018a:5).

1.4.4. Depozisyon Akım Yoğunluğu

Faraday'ın elektrodpozisyon yasasına göre, depozisyon akım yoğunluğu doğrudan biriktirilen tabakanın kalınlığı ile ilişkilidir. Bu nedenle, depozisyon akımı yoğunluğu, diğer kısıtlamaların yanı sıra karıştırma hızı, banyo sıcaklığı, bileşen konsantrasyonu ve alt tabakanın elektrik iletkenliği gibi elektrolit içindeki doğal iyonların enerjilendirilmesini etkileyen faktörlere bağlıdır. Elektrolizle kaplanan katmanların elektrik iletkenliğine bağlı olarak depolama akımı yoğunluğunda kademeli bir değişiklik beklenir. CdTe gibi yarı iletken malzemelerle ilgili olarak literatür, akım yoğunluğunun biriktirilen katmanın morfolojik, bileşimsel ve yapısal özellikleri üzerindeki etkisini göstermektedir. Depozisyon konfigürasyonuna bağlı olarak, üç elektrotlu konfigürasyon ve iki elektrotlu depozisyon konfigürasyonunun depozisyon akım yoğunluğunun değiştiği sonucuna varılabilir. Üç elektrotlu depozisyondan elde edilen optimum karakteristik özelliklere sahip CdTe'nin $\sim(0.3-0.6) \text{ mA cm}^{-2}$ arasında olduğu bilinmektedir (Basol ve B.M.,1988:69-88; Donghwan vd.,2014:334-337). İki elektrotlu elektrot biriktirmenin ise yaklaşık olarak $\sim(0.15-0.18) \text{ mA cm}^{-2}$ akım yoğunluğuna sahip CdTe katmanları ürettiği belgelenmiştir (Ojo,2017:2-13). Potansiyostatik mod altında, Basol (1988) CdTe elektrokaplama için biriktirme akım yoğunluğunun elektrolitteki tellür konsantrasyonuna bağlı olduğunu açıklamıştır . Aşırı Te iyonu katılımı, depolanan CdTe'nin bileşimini, Te zenginliği nedeniyle p-CdTe'ye iletim tipini değiştirebilir ve alt tabakaya yapışmayı azaltabilir. CdTe'nin yapışmasındaki azalma, elektrolitik banyodaki Te konsantrasyonunun eksikliğinden de kaynaklanabilir. Elektrolitteki Te konsantrasyonunun fazlalığı veya eksikliğide, oluşan CdTe tabakasının kristallliği, morfolojisi ve yapışması zarar görür (Ojo ve Dharmadasa,2017a:14110-14120). Buna ek olarak, Fe-Ga alaşımlarının elektrokaplamasında Ga^{3+} ve Fe^{2+} gibi rakip iyonların birlikte depozisyon sırasındaki akım yoğunluğu, ortaya çıkan alaşımın Fe:Ga element bileşimi oranının belirleyicisidir (Ng vd.,2015:91-96)

1.4.5. Depozisyon Süresi ve Kalınlık

Yarı iletken ağırlıklı malzemelerin elektrodpozisyonu, en yüksek elektrik alanına sahip iletken alt tabakalar üzerindeki noktalarda en elektropozitif elementin çekirdeklenmesi ile başlar. Bu nedenle, yarı iletken malzemenin çekirdeklenme ve çekirdeklenme modlarının iletken alt tabakaya bağlı olduğu kesin olarak ifade edilebilir (Lincot,2005:40-48; De Alwis

vd.,2018:12419-12428; Allongue vd.,1990:217-237). Cam/flor katkılı kalay oksit (g/FTO) gibi alt çalışma elektrodunun altındaki yüzey pürüzlülüğünün bir sonucu olarak, en yüksek elektrik alanı pürüzlü yüzeylerin tepe noktalarında yaşanır. Elektrolizle kaplanan malzemenin çekirdeklenmesi, başlangıçtaki pürüzlü yüzey tepe noktalarından en alt çukur noktalara doğru yayılır ve biriken tabakaların sütunlu yapısına neden olur (Dharmadasa vd.,2014:380-415). Bu mekanizmanın gücü, yarı iletken malzeme içinde iğne delikleri (pinhole), boşluklar (void), aralık ve yüksek dislokasyon yoğunluğu ile karakterize edilen depozisyon tabaka kalınlığının düzensizliği nedeniyle biriktirmenin ilk aşamalarında oldukça etkilidir. Bu karakteristik özellik, <100 nm kalınlığında ince bir yarı iletken tabaka gerektiğinde zararlıdır (Ojo vd.,2017:354-3263)

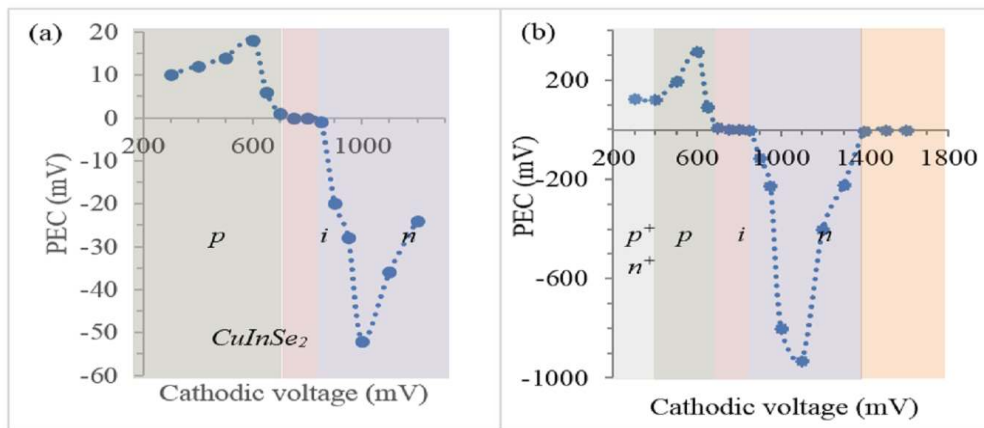
1.5. Elektrodepozisyonun Güçlü Yönleri

1.5.1. Elektrolitik Banyo Ömrü Uzunluğu ve Kendi Kendine Arıtma

Bir elektrolitik banyonun başlangıcında, banyonun elektro-saflaştırılması, diğer safsızlık kaynaklarının yanı sıra çoğunlukla öncüllere dahil olan safsızlık seviyesini azaltmak ve ortadan kaldırmak için son derece önemlidir. 99,999'luk saflığa sahip yüksek saflıkta bir öncülün bile 10 ppm'lik bir safsızlık seviyesi taşıyabileceği unutulmamalıdır. Safsızlıkların ppm seviyelerinde bile elektrolizle kaplanmış yarı iletken malzemelerin karakteristik özellikleri üzerindeki etkisi nedeniyle saflaştırma esastır. Bir banyonun elektro saflaştırılmasının, yarı iletken biriktirme ile benzer biriktirme parametreleri (banyo sıcaklığı, pH, karıştırma hızı vb.) kullanılarak gerçekleştirilmesi gerektiği unutulmamalıdır. Kullanılan elektro-saflaştırma potansiyeli, döngüsel voltammetri kullanılarak belirlenen gerekli elementlerin depozisyon potansiyeli aralığından daha düşük olmalıdır. Elektrodepozisyon tekniğinin bu karakteristik özelliğine dayanarak, ne kadar çok tabaka biriktirilirse, elektrolit ve elektrokaplanmış yarı iletken, arka plandaki safsızlıkların kademeli olarak azalması ve malzeme özelliğinin iyileştirilmesi nedeniyle o kadar saf hale gelir. Bu özellik sadece elektrolitin ve biriktirilen yarı iletkenin saflığını artırmakla kalmaz, aynı zamanda kimyasal banyo biriktirme (CBD) tekniğinin yığın (batch) işlemine kıyasla banyonun ömrünü de uzatır. Diğer safsızlık kaynaklarını daha da azaltmak için, araştırmacıların bir kısmı referans elektrottan gelebilecek olası safsızlıkları önlemek için üç elektrotlu konfigürasyon yerine iki elektrotlu konfigürasyonu seçmektedir. Elementel sodyum ve diğer dopantların cam kaplardan asidik elektrolitlere olası sızıntısı nedeniyle elektroliti barındırmak için Teflon kap (polipropilen beher) kullanımı gereklidir (Ojo,2017b:5127-5135,Akai vd.,2005:2962-2965,Ojo ve Dharmadasa,2018a:6).

1.5.2. Saf ve Dışsal Katkılama

Elektrolitin etkili bir şekilde saflaştırılmasıyla, depozisyon potansiyelini değiştirerek ikili , üçlü ve dördü yarı iletken malzemeler için saf katkılama literatürde gösterilmiştir. CuInGaSe₂ gibi bir I-III-VI yarı iletken malzeme örneği ele alındığında, stokiyometrik yarı iletken katman %25 grup I elementi, %25 grup III elementi ve %50 grup VI elementinden oluşmaktadır. Cu'nun pozitif indirgeme potansiyeli ($E_0 = 0,52$ V) nedeniyle, düşük biriktirme potansiyellerinde, Cu'nun yüksek element bileşimi yarı iletkene dahil edilir ve bu da p tipi iletim tipine neden olur. Ancak katodik potansiyeldeki bir artış, Şekil 1.6'da gösterilen CuInSe₂ örneğinde olduğu gibi n-tipi bir yarı iletken malzeme ile sonuçlanan elemental bileşimi artırır. Ara voltajlarda ise malzeme yalıtkan veya saf özellikler sergiler. Bu elektriksel karakteristik özellik, literatürde gösterildiği gibi, katodik potansiyel değişimi ile aynı banyodan p-, saf ve n- tipi malzemelerin büyütülebileceğini gösterir ve Şekil 1.6'da verilmiştir. Ga'nın CuInGaSe₂'ye dahil edilmesi bant aralığını artırır ve aynı zamanda malzemeyi p-tipi yapar. Bunun nedeni malzemede alıcı benzeri kusurların oluşması olmalıdır ve Şekil 1.6 b'de gösterilmektedir. (Dharmadasa ve Ojo,2017:16598-16617,Chaure vd.,2004:125-133, Chaure vd.,2005:212-216,Daharmadasa vd.,2017:466-471,Madugu vd.,2016:2710-2717)

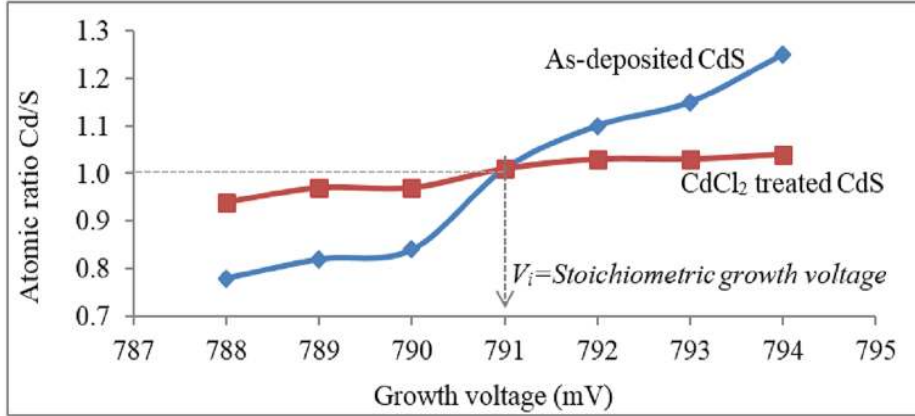


Şekil 1.6. Artan katodik potansiyellerde (a) CuInSe₂ ve (b) CuInGaSe₂ için fotoelektrokimyasal (PEC) hücre ölçüm sinyali. Sadece depozisyon voltajını değiştirerek aynı elektrolitten p⁺, p, i, n ve n⁺ malzemeleri büyütme yeteneğine dikkat edin.

Kaynak : (Chaure vd.,2004:125-133, Delsol vd.,2004:587-599)

Katodik potansiyelin ikili yarı iletkenlerin element bileşimi üzerindeki etkisi de literatürde gösterilmiş ve belgelenmiştir (Dharmadasa vd.,2014:380-415; Ojo vd.,2017a:14110-14120). Elektrodepzasyon potansiyelindeki değişikliğin elektrolizle kaplanmış malzemelerin

elementel bileşimi üzerindeki etkisi 1 mV kadar düşük bir adım için bile belgelenmiştir ve Şekil 1.7’de gösterilmiştir (Ojo ve Dharmadasa,2016b:14-28).



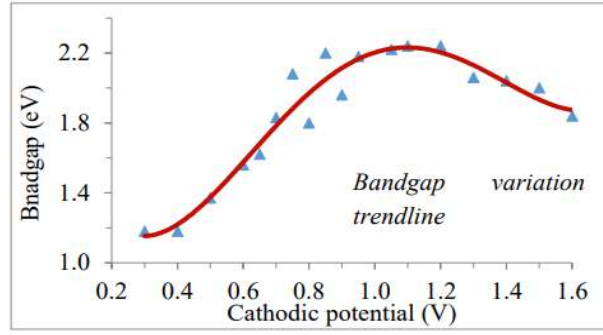
Şekil 1.7. Farklı depozisyon katodik potansiyelinde biriktirilmiş ve CdCl₂ ile işlenmiş CdS ince filmlerde Cd'nin S'ye atomik bileşim oranları

Kaynak: (Ojo ve Dharmadasa,2016:14-28)

Elektrolizle kaplanmış yarı iletken malzemelerin içsel katkılanmasının kolaylığı ve dışsal katkılanmasının etkisi literatür de iyi bir şekilde belirlenmiştir. Elektrodpozisyonun basitliği sayesinde ppm seviyesinde katkılama mümkün olmaktadır (Ojo vd.,2017b:5127-5135; Ojo ve Dharmadasa,2016c:5728-5738; Ojo ve Dharmadasas,2015:470-476).

1.5.3. Bant Aralığı Mühendisliği Kabiliyeti

Malzemelerin bant aralığının kontrolü veya değiştirilmesi (yarı iletken üzerinde durularak) elektrodpozisyon tekniklerinde kolayca başarılabilir. Tipik olarak bu, yarı iletken malzemenin temel bileşeninin atomik bileşiminin kontrol edilmesiyle sağlanabilir. Özünde, elektrodpozisyon, katodik potansiyel basit bir şekilde değiştirilmesiyle büyütülen malzemenin bileşimini değiştirme yeteneğine sahiptir (Madugu vd.,2016:2710-2717,Chaure vd.,2004:125-133,Delsol vd.,2004:587-599). Katodik potansiyelindeki değişiklik nedeniyle büyüyen yarı iletken malzemenin bant aralığında meydana gelen bir değişiklik literatürde belgelenmiştir (Dharmadasa vd.,2007:466-471). Katodik potansiyeli artırarak CuInGaSe₂'deki Ga atomik konsantrasyonundaki bir artışın CuInGaSe₂'nin bant aralığını artırdığı literatürde iyi bilinmektedir. CuInGaSe₂'nin katodik voltajındaki bir azalma ise Cu zenginliği nedeniyle bant aralığının azalmasına neden olur ve şekil 1.8’de gösterilmelidir. Bu yetenek, CuInGaSe₂ gibi yarı iletken malzemelerin ~1.00 ile 2.20 eV arasında bant aralığı mühendisliği kolaylığı sağlar (Ojo ve Dharmadasa,2017b:5127-5135; Ojo ve Dharmadasa,2016c:5728-5738).



Şekil 1.8 Katodik voltajın bir fonksiyonu olarak CuInGaSe₂ için enerji bant aralığı değişimi

Kaynak : (Dharmadasa vd.,2007:466-471)

1.5.4. Düşük Maliyet ve Basitlik

Elektrodepozisyon, kontrolsüz bir ortamda ve vakum sistemi olmadan gerçekleştirilebilen kimyasal biriktirme teknikleri kapsamına girer. Bir laboratuvar kurulumu için yaklaşık 1 milyon sterlin gibi yüksek bir başlangıç maliyeti olan iyi kurulmuş metalorganik kimyasal buhar biriktirme (MOCVD) veya yakın alan süblimasyon (CSS) sistemi gibi diğer tekniklerle karşılaştırıldığında, esas olarak bilgisayarlı bir potansiyostat ve sıcak plaka / manyetik karıştırıcıdan oluşan elektrodepozisyon kurulumu 5000 sterlinden daha az bir maliyete sahiptir. Buna ek olarak, bu sistemlerin büyütülebilecek malzemelerle ilgili sınırlamaları vardır. Ayrıca, büyütme ve büyütme sonrası işlem sırasında gereken nispeten düşük ısı enerjisi, elektrodepozisyonu çok sayıda diğer teknikle karşılaştırıldığında daha enerji açısından ekonomik bir büyütme tekniği haline getirmektedir. Daha da önemlisi, uygun maliyetli elektrodepozisyon teknikleri kullanılarak büyütülen yarı iletken tabakalar, oldukça pahalı teknikler kullanılarak büyütülen yarı iletken tabakalarla karşılaştırılabilir (Dharmadasa vd.,1999:441-445,Ojo ve Dharmadasa,2016b:14-28). Hepsi de biriktirme sonrası işlemler gerektirir (Ferekides vd.,2000:361-362; Bosio vd.,2006:247-279).

1.5.5. Ölçeklenebilirlik ve Üretilirlik.

Elektrokaplamanın ölçeklenebilirliği ve üretilirliği 1980'lerde ve 1990'larda British Petroleum (BP) Solar tarafından endüstriyel ölçekte gösterilmiştir . BP Solar, ~%10 dönüşüm verimliliğine sahip ~1 m² güneş paneli alanına sahip CdTe tabanlı güneş pilleri üretmiştir. (Şekil 1.5'de) gösterilen laboratuvar ölçekli kurulumla karşılaştırıldığında, ölçek büyütme, elektrolit ve çoklu iletken alt tabakalara bağlı çok plakalı katodu içermek için daha büyük bir tank gerektirir. Daha büyük tankların ve çok plakalı katodun kullanılması, biriktirilen

tabakaların verimini artırır ve karmaşık şekiller ve tasarımlar üzerinde elektrodpozisyon için ek bir avantaj sağlar (Cunningham vd.,2002:159-168; Turner vd.,1994:263-270).

1.6. Elektrodpozisyonun Zayıf Yönleri

Elektrodpozisyonun ana dezavantajlarından biri, nispeten düşük biriktirme oranları ve elektrodpozisyon kurulumunda çalışma elektrodu olarak iletken bir alt tabakaya ihtiyaç duyulmasıdır. Bu gereklilik nedeniyle, örneğin FTO üzerinde biriktirilen katmanların elektriksel özelliklerini belirlemek için Hall etkisi gibi geleneksel karakterizasyon tekniklerinin kullanılması, alttaki iletken katman nedeniyle mümkün olmayacaktır (Ojo ve Dharmadasa,2018a:9).

1.6.1. Depozisyon Sırasında Akım Yoğunluğunun Kararsızlığı

Artan depozisyon tabakası kalınlığı ile akım yoğunluğunun değişmesi nedeniyle elektrodpozisyon sürecinin kontrolü bir zorluktur (potansiyostatik koşul altında). Birincil alt tabakadan daha düşük elektrik iletkenlik seviyelerine sahip malzemelerin elektrodpozisyonu, biriktirilen malzemenin kalınlığı ile doğrudan bir ilişki ile akım yoğunluğunun azalmasına neden olur. Bu gözlem hem iki elektrotlu hem üç elektrotlu elektrokaplama konfigürasyonları için ortaktır, ancak uygulanan potansiyel iki elektrotlu konfigürasyonu da biraz değişebilir (Ehl vd.,1954:226, Ojo ve Dharmadasa,2018a:9).

1.6.2. Çözelti Bazlı Komplekslerin Oluşumu

Elektrolit içinde bir elementin birikmesini ve/veya bir bileşiğin birlikte birikmesini engelleyebilecek komplekslerin oluşma olasılığı vardır . Bu durum Cd öncüsü olarak CdI_2 içeren sulu çözeltiden CdTe biriktirilmesi için geçerlidir. Literatür, sulu çözeltide CdI komplekslerinin oluşumu nedeniyle, Te- zenginliğinden dolayı sadece p-CdTe tabakalarının mümkün olduğunu göstermektedir. Gereksiz çökeltme, kimyasalları elektrolitten uzaklaştırarak banyodaki element konsantrasyonunu değiştirir (Paterson vd.,1977:1773-1778; Paterson vd.,1980:1052-1061).

1.6.3. Elektrolitik Banyonun Elektrotlar Tarafından Dışsal Katkılanması

Bir elektrolitik banyoda saflığın elektrolitik banyo ömrü boyunca kontrolü esastır. Bir elektrolitik banyonun saflığının, banyonun biriktirme yaşlanmasıyla arttığı iyi bilinmektedir, ancak elektrotun aşınması, korozyonu veya çözünmesinden kaynaklanabilecek bir safsızlık akışı eğilimi vardır. Literatürde karbon elektrot kullanan elektrodpozisyon kurulumu için, biriktirilen yarı iletken tabakalarda artan karbon konsantrasyonu gözlemlenmiştir. Karbonun

elektrolitik banyoya dahil olması, elektrolitik hücre kurulumunda kullanılan anodun bozulmasından kaynaklanmaktadır (Ojo ve Dharmadasa,2018a:9)

1.6.4. Elektrodepoze Yarı İletken Katmanların Düzensizliği

Şeffaf iletken oksit (TCO) gibi alttaki iletken alt tabakanın düzensizliği nedeniyle, en yüksek elektrik alan pürüzlü iletken alt tabaka yüzeylerinin tepe noktalarında yaşanır. Çekirdeklenme tepe noktalarında başlar ve en alt çukur noktalara doğru yayılarak sütun şeklinde tabakalar oluşturur (Dharmadasa vd., 2014:380-415).

1.6.5. Büyüme Sonrası İşlem

Elektrodepozisyonla üretilmiş yarı iletken tabakaların yapısal, morfolojik, bileşimsel ve optik özelliklerini daha da iyileştirmek için genellikle biriktirme sonrası işlem gerektirdiği literatürde belgelenmiştir (Ojo ve Dharmadasa, 2018b:398-405, Ojo ve Dharmadasa, 2017c:7231-7242). Bununla birlikte, , MOCVD ve CSS gibi diğer yarı iletken biriktirme tekniklerinin de, bu tür işlemlere ihtiyaç duyduğu tartışılabilir. Yarı iletkenlerin yanı sıra, farklı işlem koşullarının elektrolizle kaplanmış malzemelerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi ve daha sonraki işlemlerle ilgili olarak elektrolizle kaplanmış katmanların bütünlüğünün kontrolü gibi diğer konular büyüme sonrası işlem dezavantajları arasında tartışılabilir (Schiavane vd.,2016:095013, Schiavane vd.,2017:323).

1.7 Karakterizasyon Teknikleri

Elektrodepozisyon yöntemi ile üretilen filmlerin karakterizasyonu için kullanılan yöntemlerden bazıları şunlardır; optik geçirme spektroskopisi (UV-vis spectrometer, X-ışını kırınımı (XRD), tarama ve transmisyon elektron mikroskobu (SEM, TEM) atomik kuvvet mikroskopisi (AFM) ve fourier dönüşümlü kızılötesidir (FTIR) (Razeghi, 2009:30).

1.7.1 Yapısal Teknikler

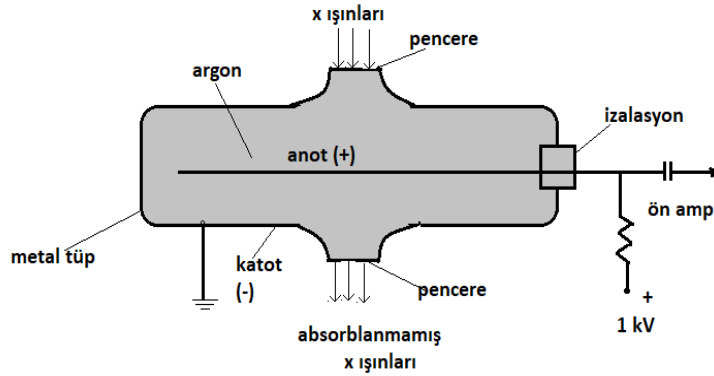
İnce filmlerin boyutlarının saptanmasında gravimetri tekniği kullanılmaktadır. Gravimetrik yöntemin formülü denklemi 1.2’de gösterilmektedir.

$$T = \frac{m}{\rho} \quad (1.2)$$

Denklemde, T film kalınlığını, m filmin kütlesini, ρ yoğunluğu ve A, yüzey alanını ifade etmektedir. ρ yoğunluğu CdS için 4.87 g/cm³ ’tür (Göde ve Ünlü, 2019:92-100; Jambure vd., 2014:420-425; Quiñonez-Urias vd., 2014:2280-2289).

1.7.1.1 X-Işını Kırınımı

XRD (X-Ray Difraksiyonu), kristal yapıların ve kristalin özelliklerin analiz edilmesi için kullanılan güçlü bir tekniktir. XRD'nin birçok avantajı vardır ve bu avantajlar onu malzeme karakterizasyonu ve analizinde popüler bir araç haline getirmiştir. (Hosokawa Masuo vd., 2007:521-527; Thomas vd., 2018:209-826). Kristalografik simetri, dokusal özellikler ve şekil değiştirme (strain), XRD (X-ray diffraction) süreci ile ilgili önemli unsurlardır. (Heideman vd.,1995:741-755). Difraktometre, X-ışını kırınım deneylerini gerçekleştirmek için kullanılan bir cihazdır Şekil 1.9'da gösterilmektedir. X-ışınlarını belirli bir açıda saçılmış halde algılar ve bu saçılma desenlerini analiz eder. Bu sayede, yarı iletken ince filmlerin kristal yapıları, kristal düzeni ve atomik aralıklar gibi özellikleri belirlenebilir.



Şekil 1.9. X-Ray Cihazının Şematik Gösterimi

Kaynak:[Erişim:28.08.2023, http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page_516.html]

XRD piklerinin konumları ve yoğunlukları, kristal yapı içindeki atomların düzenlemesi ve uzaklıkları hakkında bilgi verir. Bu veriler, kristal yapının bir matematiksel modelini oluşturmak ve bu yapıyı daha iyi anlamak için kullanılır. Her malzeme için XRD piklerinin konumları ve yoğunlukları kendine özgüdür, bu da farklı malzemelerin farklı kristal yapılarını yansıttığını gösterir. (Hosokawa Masuo vd., 2007:521-527).

Kusursuz bir kristal sonsuza kadar her yöne uzanabildiğinden sonu belli olan hiçbir kristal de kusursuz değildir. Kırınım piklerinin genişlemesi de kusursuz kristallenmeden sapıldığının bir işaretidir. Kristalit boyutu ve kafes gerilme seviyelerine (lattice strain) pik genişlik analizlerinden ulaşılabilir. İstikrarlı bir biçimde kırınan bir alanın boyutunun bir ölçüsü de kristalit boyutudur. Kristalit boyutu ve kafes gerilmesi gibi ölçümler, malzemenin performansını ve davranışını anlamak için kullanılır. (Mote vd., 2012:1-8).

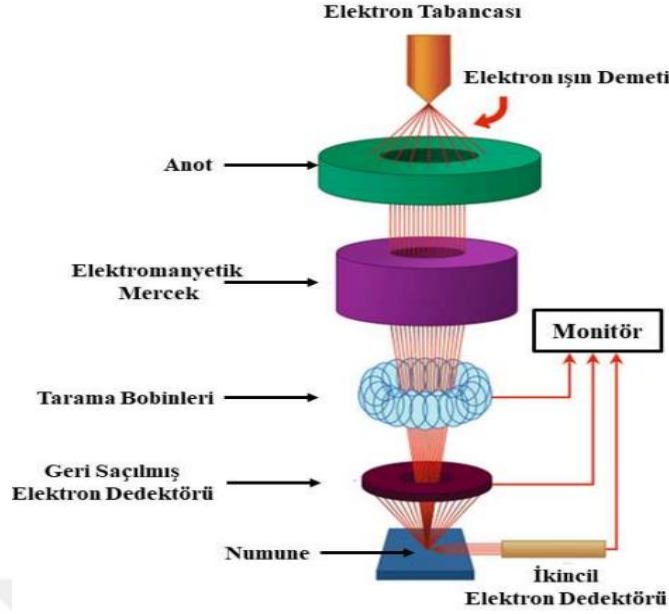
Bu çalışmadaki CdS filmlerin XRD analizleri, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Merkez Araştırma laboratuvsrında bulunan PANALYTICAL/EMPERYREAN XRD cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

1.7.1.2 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), sistemsal olarak yüksek kaliteli çözünürlükte ve büyütme genliğine sahip görüntüler sağlama yeteneği nedeniyle birçok uygulamada kullanılan güçlü bir karakterizasyon ve görüntüleme aracıdır. Genel olarak SEM sisteminin şeması, Şekil 1.10'da verilmiştir (Aktürk,2013:37). Taramalı elektron mikroskopları, numunenin yüzeyine yüksek çözünürlüklü görüntüler elde etmek için elektron demetini kullanır. SEM cihazı elektron tabancası, elektron koridoru, numune haznesi, prop numune işlemi ve elektron dedektörü gibi bileşenlerden oluşur. (Marturi vd., 2012:1-6)

Elektronlar bu süreçte termiyonik olarak bir tungsten katotundan veya alan emisyonu yoluyla yayılır ve birbirini takip eden iki kondanser lensi tarafından çok dar bir huzmeye kilitlenir. Bobinler, ışın demetini numune yüzey alanını dikdörtgen bir alan üzerinde yönlendirir. Işınlr numuneye çarptıktan sonra, birincil elektronlar enerjilerini elastik olmayacak bir şekilde diğer atom elektronlarına ve kafeslere aktararak arta kalan enerjileriyle geri saçılırlar. Birden fazla rastgele saçılma hareketiyle birlikte saçılan elektronlar numune malzemeye bakan bir detektör tarafından toplanır. Dedektör cihazı tarafından çekilen bu elektronlar genellikle yaklaşık birkaç angströmden daha büyük olmayan bir derinlikten oluşan numuneye ait karakteristik X- ışınları ve ikincil elektronlardır. Sinyali gücünü yükseltmek için bir optik artırıcı tüp (PMT) amplifikatörü kullanılır. Buda bir katot ışın tüpünün (CRT) yoğunluğunu dizayn etmeyi sağlar. SEM görüntüleri oluşurken elektron ışını ile numune alanının taranması ve bu işlem sırasında yayılan elektron datalarının kaydedilmesiyle aşamaları ile oluşturulur. SEM cihazından gri tonlamalı iki boyutlu görüntüler elde edilir. SEM'in sağladığı en büyük avantaj, yüksek derinliğe ve büyütme oranına sahip görüntüler kaydetme kabiliyetidir. Büyütme oranları genellikle 25r ile 250,000r arasında değişir. Bir tungsten tabancası SEM ile oluşabilecek maksimum çözünürlük 10 nm iken, bir alan etkili tabanca (FEG) için 1 nm'dir (Marturi vd., 2012:1-6).

Bu çalışmada Filmlerin morfolojik özelliklerinin SEM analizi Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Merkezi araştırma laboratuvarında bulunan Zeiss SUPRA 40VP SEM kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



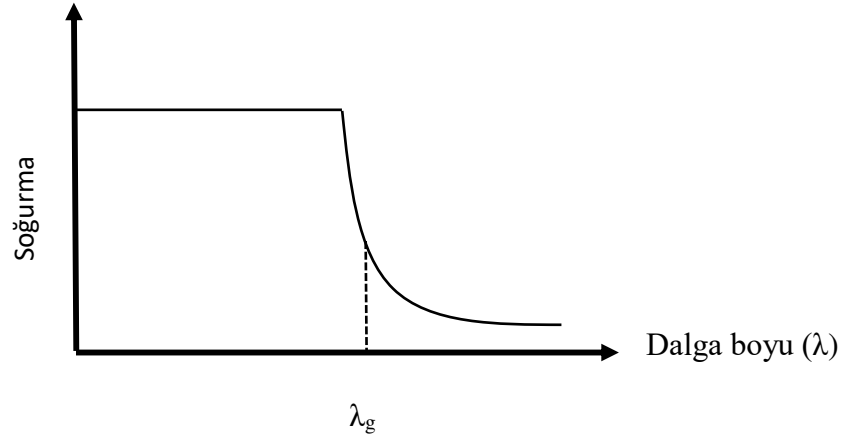
Şekil 1.10. Taramalı Elektron Mikroskopunun Şematik Gösterimi (Aktürk, 2013:37)

1.7.2 Optik Karakterizasyon

1.7.2.1 UV-Vis Spektroskopisi

Bir yarıiletkenin optik özellikleri, soğurma (absorpsiyon), kırınım (difraksiyon), polarite, kırınım, yansıma ve saçılma bileşenleri, elektromanyetik dalga veya ışık ile yarıiletken malzeme etkileşimleri olarak sıralayabiliriz (Cardona ve Yu, 2011:125-195).

Işığın absorbe edilmesi, analitik kimyada maddelerin karakterizasyonu ve niceliksel olarak tayini için ifade edilir. UV/VIS spektroskopisi fotonun bilinmeyen bir cisim veya bilinmeyen bir numune tarafından absorbe edilmesine dayanan bir tekniktir. Burada numuneyi aydınlatmak için, görünür (VIS), ultraviyole (UV) ve spektrumun alt kızılötesi bölgesinin (IR yakınında) bir kısmındaki farklı dalga uzunluklarında elektromanyetik ışınlar kullanılır. Numuneye bağlı olarak, ışık kısmen absorbe edilir. Geçirilen ışık miktarı ise örneğin UV/VIS spektrumunu sağlayan uygun bir dedektör tarafından dalga boyunun bir fonksiyonu olarak kaydedilir. Buna dayanarak, her numune ışığı farklı bir şekilde absorbe ettiği için, madde ve UV/VIS spektrumu arasında benzersiz ve spesifik bir ilişki olduğu ön görülmektedir. Spektrum maddeyi tanımlamak veya miktarını belirlemek için kullanılmaktadır (Caro, 2015:4-14, Temel, 2018:25). Şekil 1.11’de bir yarıiletkende meydana gelen temel soğurma spektrumu verilmiştir.



Şekil 1.11. Bir Yarıiletken'de Temel Soğurma Spektrumu

Kaynak: (Temel, 2018: 25)

İletim bandındaki tüm basamakların boş, valans bandının tamamen dolu olduğu bir durum var sayıldığında izinli direk geçiş için $(\alpha h\nu)^{1/2} \sim h\nu$ grafiğinden E_g bant değeri elde edilir. Bu grafikte oluşan eğrinin üst kısmından $h\nu$ eksenine çizilen doğrunun eksenini kestiği nokta bant aralığı değerini ifade eder.

Benzer durumda indirek geçişler için bant aralığı değeri çizilen $(\alpha h\nu)^{1/2} \sim h\nu$ grafiğinden elde edilir. Bu çalışmada A(δ)E LAB UV (AE-360-4UPC) tek yollu spektrometre kullanılarak elde edilen sonuçlarla, CdS filmlere ait optik absorpsiyon spektrumları, $h\nu$ 'ye karşı $(\alpha h\nu)^{1/2}$ grafikleri, transmitans spektrumları ve filmlerin yasak enerji aralıkları belirlenmiştir.

1.8 Literatür Taraması

Vazquez-Luna vd. tarafından yapılan bir çalışmada, kadmiyum sülfür polikristalin ince filmler, 80°C'de cam alt tabakalar üzerine kimyasal banyo biriktirme (CBD) yöntemiyle hazırlanmıştır. Geleneksel teknikte yapılan değişiklik, büyütme işlemi sırasında darbeli bir elektrik (E) dış alanının uygulanmasından ibarettir. Elektrik alan, alt tabaka düzlem yüzeyine (SPS) göre iki farklı yönde paralel ve dik olarak uygulanmıştır. Biriktirilen numunelerin sertleştiği ve parlak ve pürüzsüz bir yüzeye sahip sarımsı bir görünüme dönüştüğü görülmüştür. Her iki durumda da, X-ışını analizleri kristal yapıda küçük farklılıklar göstermiştir, ancak optik yansıma ölçümleri, özellikle dik durumdayken güçlü anizotropik özellikleri ortaya koymuştur. Atomik kuvvet mikroskobu resimleri kristal taneler arasında büyük miktarda farklılıklar olduğunu kanıtlamıştır. Bunun da elektrik alan etkisinin bir sonucu olduğu fikrine varmışlardır (Vazquez-Luna vd., 1998:329-333).

Vigil vd.nin bir çalışmasında CdS filmleri, Cd kaynağı olarak CdCl ve Z kullanılarak kimyasal banyo depozisyon CBD tekniği ile cam alt tabakalar üzerinde büyütülmüştür. Filmler sabit bir DC manyetik alanın etkisiyle ve etkisi olmadan büyütülmüştür. Manyetik alan alt tabakaya dik ve paralel olarak uygulanmış ve film biriktirme işlemleri farklı sabit manyetik alan yoğunluğu değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Üretilen filmlerin optik iletim, karanlık direnç, yüzey morfolojisi ve X-ışını kırınım desenleri gibi özellikleri incelenmiştir (Vigil vd., 1997:329-333).

Hashimoto vd. 1998 yılında Cu(In,Ga)Se₂ (CIGS) soğurucu tabakaları ve camları üzerine CdS ince filmlerinin kimyasal banyo depozisyon yöntemi üzerine araştırmalar yapmış ve stokiometrik bileşime sahip bir CdS katmanı kullanarak %17 verimliliğe sahip yüksek verimli bir CIGS güneş pilini başarıyla imal etmişlerdir (Hashimoto vd., 1998:71-77).

Popescu vd., yüzey aktif maddeler içeren banyolarda kimyasal banyo olarak depolamayla üretilen kadmiyum sülfür ince filmlerin optik özellikleri üzerine çalışmışlardır. Kalınlığı yaklaşık 0,2 mm olan bir filmin, yakın-IR geçirgenliğini %20±25 oranında azalttığı ve görünür geçirgenlik değerinin %40±80 arasında değiştiği ve yakın-IR geçirgenliği değerinin %13±22 ile sınırlı olduğu sonuçlarına ulaşmışlardır (Popescu vd., 1999:67-70).

Mane ve Lokhande, metal kalkojenit ince filmlerde kimyasal depozisyon yöntemi üzerine çalışmalar yapmış ve kimyasal depozisyon işleminin metal kalkojenit ince filmlerin kalitesini arttırdığı sonucuna varmışlardır (Mane ve Lokhande, 2000:1-31).

Torrecillas vd., CdS/OPAL kompozitlerini mikroyapısal açıdan incelemişlerdir. Kimyasal banyo depozisyonunun fotonik kristallerin güçlü yansıma gösterdiği elektromanyetik dalgaların iletimini engellendiği frekans aralığı malzemelerinin üretiminde önemli bir adım olan opal aralıkları doldurulması için kullanışlı bir yöntem olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Torrecillas vd., 2000:1933-1936).

Kostoglou vd., kimyasal banyo depozisyonu sürecinde CdS ince filmlerinin gelişimlerini modelleme üzerinde bir inceleme yapmışlardır. Çalıştıkları modelin, Kimyasal banyo depolama sürecinin tasarım değişkenlerine (reaktan konsantrasyonları, proses süresi, vb.) göre optimizasyonunun yanı sıra halihazırda belirsiz veya eksik parametre değerlerinin etkili deneysel tespiti için çok yararlı olabileceği çıkarımına ulaşmışlardır (Kostoglou vd., 2000:3272-3283).

Niesen ve Guire 2001 yılında, Seramik ince Filmlerin düşük sıcaklıklardaki su bazlı çözeltilerle depozisyon işleminden geçirilmesi üzerine çalışma yürütmüşler ve kimyasal çözeltilerin filmler üzerinde önemli etkileri olduğuna dair sonuçlara ulaşmışlardır (Niesen ve Guire, 2001:169-207).

Oliva vd., CdS ince filmlerinin kimyasal banyo depozisyonu ve yakın alan süblimasyonu (CSS) metodları ile geliştirilmesine dair karşılaştırmalı bir çalışma yapmışlardır. CBD ile geliştirilen ince filmlerin altıgen bir simetri edindiği, CSS ile geliştirilen ince filmlerin ise kübik bir yapıya sahip olduğu sonuçlarına ulaşmışlardır (Oliva vd., 2009:74-76).

Moutinho vd., güneş pili uygulamalarında CBD ve CSS ile üretilen CdS ince filmlerinin depozisyonu ve özellikleri üzerine çalışmışlar ve konformal kapsama alanı ve yoğun oksijenin varlığının, CBD filmlerinin fotovoltaiik uygulamalar için daha uygun hale getirilmesinde kilit konular olduğu sonucuna varmışlardır (Moutinho vd., 2003:175-183).

Soundeswaran vd., amonyum sülfatın kimyasal banyo depozisyon ile üretilen CdS ince filmleri üzerindeki etkisi üzerine çalışmışlardır. XRD çalışmaları, biriktirilen filmlerin kübik yapıya, tavlanmış filmlerin de altıgen yapıya sahip olduğu sonucuna varmışlardır (Soundeswaran vd., 2004:2381-2385).

Salazar vd., indiyum kalay oksit (ITO) alt tabakalar üzerinde kimyasal banyo depozisyonuna tutulan CdS ince filmler üzerinde çalışmıştır. Alt tabaka için, 37 Hz'de çalışan bir salınım cihazı, biriktirme sırasında alt tabakayı çalkalamak için her bir ITO alt tabakayı desteklemek üzere uyarlanmıştır. Bu işlem esnasında arada kimyasal çözelti ısıtılmış ve / veya çalkalanmamıştır. Biriktirilen filmler morfolojileri, bant aralığı enerjisi ve kalınlıkları açısından

karakterize edilmiştir. Alt tabaka salınımı için uygulanan yeni tekniğin, koloidal çökeltiler içermeyen kimyasal banyo ile elde edilen temiz film yüzeylerine bağlı olarak filmlerin kalitesini artırdığı gösterilmiştir. Çalkalama tekniğine bağlı olarak değişken depozisyon süresine sahip CdS filmleri elde edilmiştir. Yaklaşık 2.41 eV civarında elde edilen ortalama bant aralığı enerjisi, CdS için literatürde bildirilen tipik değere uyumlu olduğu belirlenmiştir. Buna ek olarak, depozisyon sırasında sadece alt tabakanın salınmasıyla temiz filmler elde edilmiştir. Normalde depozisyon sırasında manyetik veya ultrasonik olarak alt tabaka çalkalandığında kimyasal banyo üzerinde koloidal çökeltilerin oluşumun ortaya çıkışı önlenmesinin mümkün olduğu sonucuna varmışlardır (Salazar vd., 2005:1058-1061).

Calzadilla vd., kimyasal banyo depozisyonu işlemi esnasında manyetik işlem görmüş çözeltiler kullanarak üretilen CdS filmleri üzerine araştırmalar yapmışlar ve manyetik işlemlerin, ana malzemelerinin ince filmlere dönüşümü iyileştirdiği sonucuna ulaşmışlardır (Calzadilla vd., 2005:1933-1936).

Anuar vd. elektrodepozisyon periyotlarının ve çözelti sıcaklıklarının sodyum tartarat ile hazırlanan CdS ince filmlerinin özellikleri üzerine çalışmışlardır. Sodyum tartarat kullanılarak depozisyon uygulanan CdS ince filmlerin pürüzsüz olduğu ve alt tabakaya iyi yapıştığı sonucuna varmışlardır (Anuar vd., 2005:101-104).

Gomez-Barojas vd., AES ile CdS/CdTe hetero-yapısı için püskürtme derinlik profili oluşturmada interdifüzyon katsayısının belirlenmesi üzerine çalışmışlar ve AES derinlik profili ile difüzyon filmin kurucu unsurlarının süreçlerini incelemişlerdir (Gomez-Barojas vd., 2006:2235-2240).

Hiie vd., kimyasal banyo depozisyon ve spreyl piroliz ile hazırlanan nano yapıları CdS ince filmlerle ilgili karşılaştırmalı bir çalışma yapmışlardır. Tavlama etkisinin bir sonucu olarak CBD ile üretilen CdS filmler için bant aralığı 2,51 eV'den 2,42 eV'ye kayarken, püskürtülmüş filmlerin bant aralığının (2,46 eV) kaldığı belirlenmiştir. Tüm filmlerin görünür spektrumunda (520 - 850 nm) %80'in üzerinde yüksek transmitansa sahip olduğu sonuçlarına ulaşmışlardır(Hiie vd., 2006:443-447).

Li vd., kimyasal banyo depozisyon işlemiyle üretilen CdS ince filmlerin yapıları ve optik özelliklerinde pH değerinin etkisi üzerine çalışmışlar ve filmlerin optik iletiminin, bant aralığı emiliminin üzerindeki dalga boyu bölgesi için %75-95 aralığında olduğu, bu durumda filmleri güneş pillerinde pencere malzemesi olarak uygun hale getirdiği sonucuna varmışlardır(Li vd. 2007:270-273).

Ren vd., hidro termal metod kullanarak CdS nanopartiküller hazırlamıştır. Farklı pH ayarlayıcıların CdS oluşumu üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. NaOH ve NH₄OH pH ayarlayıcı olarak seçilmiştir. CdS partiküllerin optik özellikleri ve morfoljileri sırasıyla optik absorbasyon spektral analizi ve SEM kullanılarak gerçekleştirilmiştir. NaOH kullanılarak aynı pH değerinde üretilen CdS örneklerinin partikül büyüklüğünün NH₄OH kullanılarak üretilen CdS örneklerinin partikül büyüklüğünden olduğu sonucu görülmüştür. CdS partikülleri TiO₂ elektrotlarına adsorbe edildiğinde, CdS-duyarlılaştırılmış TiO₂ elektronu fotoelektrokimyasal özelliği pH değiştirici olarak NH₄OH içeren örneklerin NaOH içeren örneklerden daha yüksek fotoakıma sahip olduğu sonucunu göstermiştir (Ren vd., 2007:534-539).

Lazos vd., yaptıkları bir deneysel çalışmada CdS ince filmlerinin farklı sıcaklıktaki banyolarda nasıl değişim gösterdiğini çalışmışlardır. CdS ince filmleri 37 Hz'de elektrikli bir diş fırçasına bağlı bir teflon kanat kullanılarak kimyasal banyoda tutulmuştur. Banyo sıcaklığı aralığı 5°C seçilerek ve farklı bırakma süreleri belirlenerek banyo sıcaklığı 65 ile 85°C arasında değişkenlik göstermiştir. Bu çalkalama tekniği kullanılarak, X-ışını kırınım desenleriyle analizlerine göre 002 yönünde baskın biçimde yönelmiş hegzagonal yapıya -greenockite-sahip CdS filmleri elde etmişlerdir. Atomik kuvvet mikroskobu görüntüleri ve X-ışını ile enerji dağılım analizleri ile elde edilen stokiyometri değerleri, biriktirilen tüm filmlerin kalitesinin iyi olduğunu doğrulamaktadır. Bu çalışmada, CdS filmlerindeki yüksek stokiyometri, tüm örneklerde %3,5'ten daha az varyasyonlarla element analiz ile ölçülmüştür. Bant aralığı ortalama değeri, üretilen filmler için yakın bir değer olan yaklaşık 2,38 eV olarak rapor edilmiştir (Lazos vd., 2007:74-76).

Rodriguez vd., kaplama ajanı olarak amidon kullanarak CdS nanopartiküllerinin oluşturulması üzerine çalışmışlar ve CdS nanoparçacıklarının fotolüminesansı, merkez tuzak durumlarına atfedilen bant aralığı bu yarı iletkeninin altında güçlü bir emisyon piki gösterdiği sonucuna varmışlardır. Ayrıca genişleme piki elektron-fonon etkileşimi açısından yorumlamışlardır. (Rodriguez vd., 2010:1020-1026).

CdS ince filmler, asidik ve sulu CdCl₂xH₂O ve tiyüre (SC(NH₂)₂) çözeltisi kullanılarak cam/FTO alt tabakalar üzerine başarılı bir şekilde elektrodepoze edilmiştir. CdS ince filmlerin elektrodepozisyonu iki elektrotlu bir sistem kullanılarak potansiyostatik olarak gerçekleştirilmiştir. Etkili uygulanmış bir banyo sürecinden geçen hiç bir elementel S veya CdS partikül çökeltisinin depozisyon elektrolitinde oluşmadığı gözlemlenmiştir (Salim vd., 2016:6786-6799).

Ojo ve Dharmadasa, geniş alan elektroniğindeki yarı iletken malzemelerin elektodepozisyon uygulamaları üzerinde araştırmalar yapmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada, geniş alanlı ve nanoteknoloji tabanlı cihaz uygulamalarının imalatı için düşük maliyetli, basit, ölçeklenebilir ve üretilebilir bir yarı iletken biriktirme tekniği olarak elektodepozisyonun özellikleri tartışılmıştır. Elektodepozisyonun güçlü yönlerinin, X-ışını kırınımı, ultraviyole-görünür spektroskopisi, taramalı elektron mikroskobu, atomik kuvvet mikroskobu, enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi ve fotoelektrokimyasal hücre çalışmaları gibi teknikler kullanılarak deneysel olarak desteklendiği ve değerlendirilen yapısal, morfolojik, bileşimsel, optik ve elektronik özelliklerin sonuçlarına dayanarak, elektodepozisyonun kaliteli cihazlar üretmek için kullanılabilecek yüksek kaliteli yarı iletkenler üretme kapasitesine sahip olduğu sonuçlarına ulaşmışlardır. Ayrıca yarı iletken ince film malzemelerinin depozisyonu, bunların işlenmesi süreçlerini ve güneş pillerinin imalatı için elektrokaplama tekniklerinin gelişim süreçlerini açıklamışlardır (Ojo ve Dharmadasa, 2018a:398-405).

Altıokka ve Kıyak Yıldırım, CdS ince filmlerin çeşitli pH değeri aralıklarındaki elektodepozisyon süreçleri üzerine araştırmalar yürütmüşlerdir. Bu çalışmada, elektodepozisyon kullanılarak üretilen CdS ince filmler üzerinde pH değerinin etkileri ayrıntılı olarak incelemiştir. Öncelikle, nihai çözeltilerin pH değerleri 1 ile 5 arasında olacak şekilde ayarlanmış, pH'ı ayarlamak için HCl ve NaOH kullanılmış ve filmlerin yapısal, optik ve morfolojik özellikleri sırasıyla X-ışını kırınımı, ultraviyole-görünür spektroskopisi ve taramalı elektron mikroskobu kullanılarak analiz edilmiştir. İyi kristallığe sahip kompakt filmlerin 4 ve 5 pH değerlerinde elde edildiği sonucuna varılmıştır (Altıokka ve Kıyak Yıldırım, 2017:687-691).

Kıyak Yıldırım, CdS ince filmlerinin manyetik alanda etkisi altında elektodepozisyon üzerinde araştırmalar yapmıştır. Literatürdeki bu çalışmada, CdS ince filmlerin depozisyon süreçleri için elektodepozisyon manyetik alansız ve manyetik alanda gerçekleştirilmiş , manyetik alanın etkileri detaylı olarak incelenmiştir. Bu çalışmaya göre, film kalınlıklarından manyetik alanın reaksiyon hızını $7,39 \text{ g/cm}^2 \text{ s}$ 'den $3,66 \text{ g/cm}^2 \text{ s}$ 'ye düşürdüğü anlaşılmış, X-ışını kırınım sonuçlarının da tüm filmlerin hekzagonal yapıda oluştuğunu gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca, kristalit boyutları bu desenler üzerinden hesaplanmış ve reaksiyon hızına bağlı olarak 35 nm ile 15 nm arasında değiştiği sonucuna ulaşılmıştır. Taramalı elektron mikroskobu görüntüleri incelendiğinde ise manyetik alan altında elde edilen filmlerin yüzeylerinin daha pürüzlü olduğu sonucuna varmıştır (Kıyak Yıldırım, 2018:52).

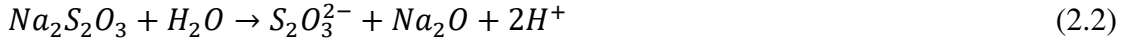
Kıyak Yıldırım, kimyasal banyo depozisyonu ile üretilen CdS/PbS ince film güneş pilleri üzerine araştırmalar yapmıştır. Literatürdeki bu çalışmada, ITO kaplı cam üzerine kimyasal banyo depozisyonu yöntemi kullanılarak CdS/PbS heteroeklemeli üretilmiştir. Bu çalışmada, ince PbS filmleri iki yolla elde edilmiştir. Bunlardan biri inhibitörsüz, diğeri ise inhibitörlüdür. İnhibitör olarak sodyum tiyosülfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) kullanılmıştır. PbS filmi inhibitör ile üretildiğinde, pik yoğunluğunun XRD sonucuna göre yaklaşık 6 kat arttığı gözlemlenmiş, aynı seviyedeki güneş radyasyonu altındaki güneş pilleri voltajı inhibitör olmadan 150 mV ve inhibitörlü ise 243 mV olarak ölçülmüştür. SEM görüntülerine göre de inhibitörü olmadan üretilen PbS filmlerinin yüzeyinde iğne deliği olduğu saptanmıştır (Kıyak Yıldırım, 2018:52).



2.MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. CdS'nin Elektrokimyasal Oluşum Mekanizması

CdS'nin elektro kimyasal oluşum mekanizması formülleri denklem (2.1), denklem (2.2) ve denklem (2.3) 'de gösterilmiştir.



2.2. Alt Tabanların Temizlenmesi

CdS yarıiletken filmleri üretilirken ITO kaplı camlar çalışma elektrodu olarak seçilmiştir ve bu camlar deneyden önce deiyonize su ile yıkanmıştır. Daha sonra, metil alkol karışımında 10 dakika bekletildikten sonra tekrar deiyonize suda durulanmıştır. Son olarak, yüzeylerinde nem kalmaması için ITO camlar oda sıcaklığında 30 dakika boyunca kurutulmuştur. Çalışma elektrodu olarak seçilen ITO (indiyum kalay oksit) kaplı camlar, ışık geçirgenliği olan, 4 cm² büyüklükte temas alanına, 25 Ω/cm² dirence ve 80 nm kalınlığa sahiptirler (Kıyak Yıldırım, 2015: 48).

2.3. Çözelti Hazırlama

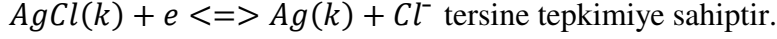
CdS çözelti konsantrasyonunu hazırlama aşamalarında; Cd kaynağı olarak $CdCl_2$, S kaynağı olarak $Na_2S_2O_3$ kullanılmıştır. Burada CdS bileşiğinin moleküler olarak ağırlığı 144,76 g/mol ve $Na_2S_2O_3$ bileşiğinin moleküler ağırlığı ise 158,11 g/mol olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan moleküler ağırlıklar denklem (2.4)'de yerlerine konularak deneylerde kullanılacak molariteye ait çözelti için gerekli kütle hesaplamaları yapılmıştır. Denklem (2.4)'de kullanılan M_A ; CdS bileşiğinin moleküler ağırlığı, M ; CdS bileşiğinin hacimsel olarak mol miktarı, m ; CdS bileşiğinin kütlesi, V ; CdS bileşiğinin hacmidir.

$$m = M \times V \times M_A \quad (2.4)$$

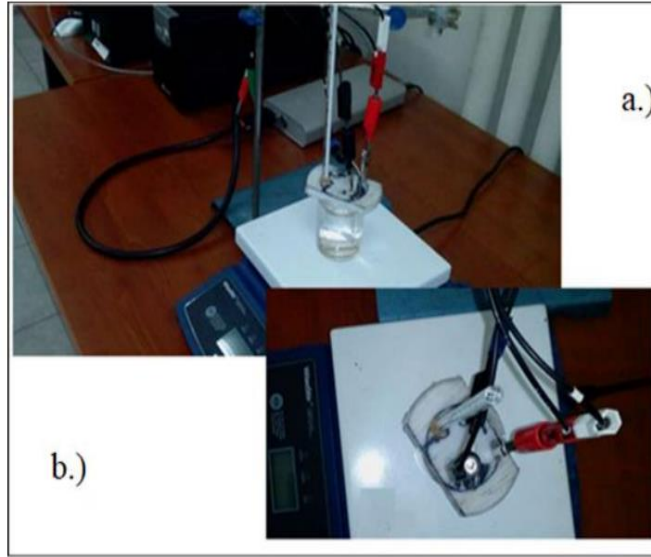
CdS filmlerinin üretimi için çözelti hazırlanırken 1 L DI su kaba boşaltılarak gerekli bileşikler 0,01 M $CdCl_2$, 0,01 M $Na_2S_2O_3$ eklenmiştir. Çözelti 800 rpm'e ayarlı olan manyetik karıştırıcı ile ortalama 1 saat karıştırılmıştır. Depozisyon banyo hüvresi olarak mL beher kullanılmıştır ve 100'er mL çözelti alınarak üretim yapılmıştır.

2.4. CdS Filmlerin Üretiminde Kullanılan Cihazlar ve Sistemler

CdS (Kadmiyum Sülfür) filmleri elektrokimyasal depozisyon yöntemi ile üretilmiştir. Bu işlem için, Şekil 2.1’de gösterilen üç elektrotlu IVIUM VERTEX Potentiostat/Galvanostat cihazı kullanılmıştır. Elektrodepozisyon yöntemi sırasında $Ag/AgCl$ referans elektrodu olarak tercih edilmiştir. Bu referans elektrot ;



Karşıt elektrot olarak platin ince tel kullanılmıştır. Çalışma elektrotu olarak ITO cam malzemeler kullanılmıştır. CdS film üretiminin gerçekleştirildiği , IVIUM VERTEX potentiostat/Galvanostat cihazı kronoampermetre ayarında kullanılmıştır.



Şekil 2.1. (a) IVIUM VERTEX Potentiostat/Galvanostat sistemi (b) elektrokimyasal depozisyon cihazının görünümü (Kıyak Yıldırım, 2015: 46).

2.4.1. CdS Filmlerin üretiminde kullanılan elektrot pozisyonları

Elektrodepozisyon metodu ile CdS film üretimi gerçekleştirilirken elektrot pozisyonlarının etkisini incelemek amacıyla beş farklı kapak modeli tasarlanmıştır. Tasarımlar Solid Works programı kullanılarak 3 boyutlu çizim yapıp Ultimaker 2+ marka 3D yazıcı ile üretilmiştir. Elektrot pozisyonlarını içeren kapak modelleri Şekil (2.2)’de gösterilmiştir. Tasarlanan ve üretime geçirilen elektrotların uzaklıkları Tablo (2.1)’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Elektrot pozisyonlarını içeren kapak modelleri

Tablo 2.1 Elektrotlar arası uzaklıklar

ELEKTROT MODELİ	ITO- PLATİN TEL ARASI UZAKLIK	ITO REFERANS ELEKTROT ARASINDAKİ UZAKLIK	PLATİN TEL REFERANS ELEKTROT ARASINDAKİ UZAKLIK
1	29,59 mm	37,60 mm	12,43 mm
2	44,28 mm	44,31 mm	10,20 mm
3	44,34 mm	44,61 mm	12,85 mm
4	10 mm	44,28 mm	44,28 mm
5	44,72 mm	16 mm	44,72 mm

2.5. CdS Filmlerin Üretiminde Kullanılan Deneysel Şartlar

CdS filmlerin üretiminde kullanılan setler sırasıyla SET I ve SET II olarak ismlendirilmiştir. SET I ve SET II için hazırlanan çözelti bileşikleri 0,01M CdCl_2 ve 0,01M $\text{Na}_2\text{Se}_2\text{O}_3$ 'tür. Çözeltilerin depozisyon asitliliğini ayarlamak için %23 derişik HCl kullanılmıştır.

SET I üretimleri gerçekleştirilirken katodik potansiyel değeri -0,05 V artırılarak -0,55V ve -0,70 V arasında değıştirilmiştir. Tablo (2.2)'de üretim şartları verilmiştir.

SET II üretimleri gerçekleştirilen SET I üretimimleri esnasında belirlenen optimum katodik potansiyel değeri olan -0,65 V kullanılmıştır. Ek olarak 5 farklı elektrot pozisyonunda 5 farklı kapak kullanılarak üretim yapılmıştır. Tablo (2.3)'de üretim şartları verilmiştir.

Tablo 2.2. Set I'den üretilen CdS filmlerinin büyütme parametreleri

SET 1	Çözelti Bileşiği		Katodik Potansiyel (V)	Depozisyon Sıcaklığı (°C)	pH	Depozisyon Süresi
	100 mL	100 mL				
D1	0,01 M CdCl ₂	0,01 M Na ₂ S ₂ O ₃	-0,55 V	80±2	6,5	1800
D2	0,01 M CdCl ₂	0,01 M Na ₂ S ₂ O ₃	-0,60 V			
D3	0,01 M CdCl ₂	0,01 M Na ₂ S ₂ O ₃	-0,65 V			
D4	0,01 M CdCl ₂	0,01 M Na ₂ S ₂ O ₃	-0,70 V			

Tablo 2.3. Set 2'den üretilen CdS filmlerinin büyütme parametresi

SET 2	Çözelti Bileşiği		Katodik Potansiyel (V)	Depozisyon Sıcaklığı (°C)	pH	Depozisyon Süresi	Elektrot Pozisyonları
	100 mL	100 mL					
D5	0,01 M CdCl ₂	0,01 M Na ₂ S ₂ O ₃	-0,65	80±2	6,5	1800	Kapak 1
D6	0,01 M CdCl ₂	0,01 M Na ₂ S ₂ O ₃					Kapak 2
D7	0,01 M CdCl ₂	0,01 M Na ₂ S ₂ O ₃					Kapak 3
D8	0,01 M CdCl ₂	0,01 M Na ₂ S ₂ O ₃					Kapak 4
D9	0,01 M CdCl ₂	0,01 M Na ₂ S ₂ O ₃					Kapak 5

Her iki set için tüm üretimler 80±2 °C depozisyon sıcaklığında; 1800 s depozisyon süresinde, 800 rpm karıştırma hızında, 100 mL'lik depozisyon banyo hücresinde 6,5 pH değerinde gerçekleştirilmiştir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

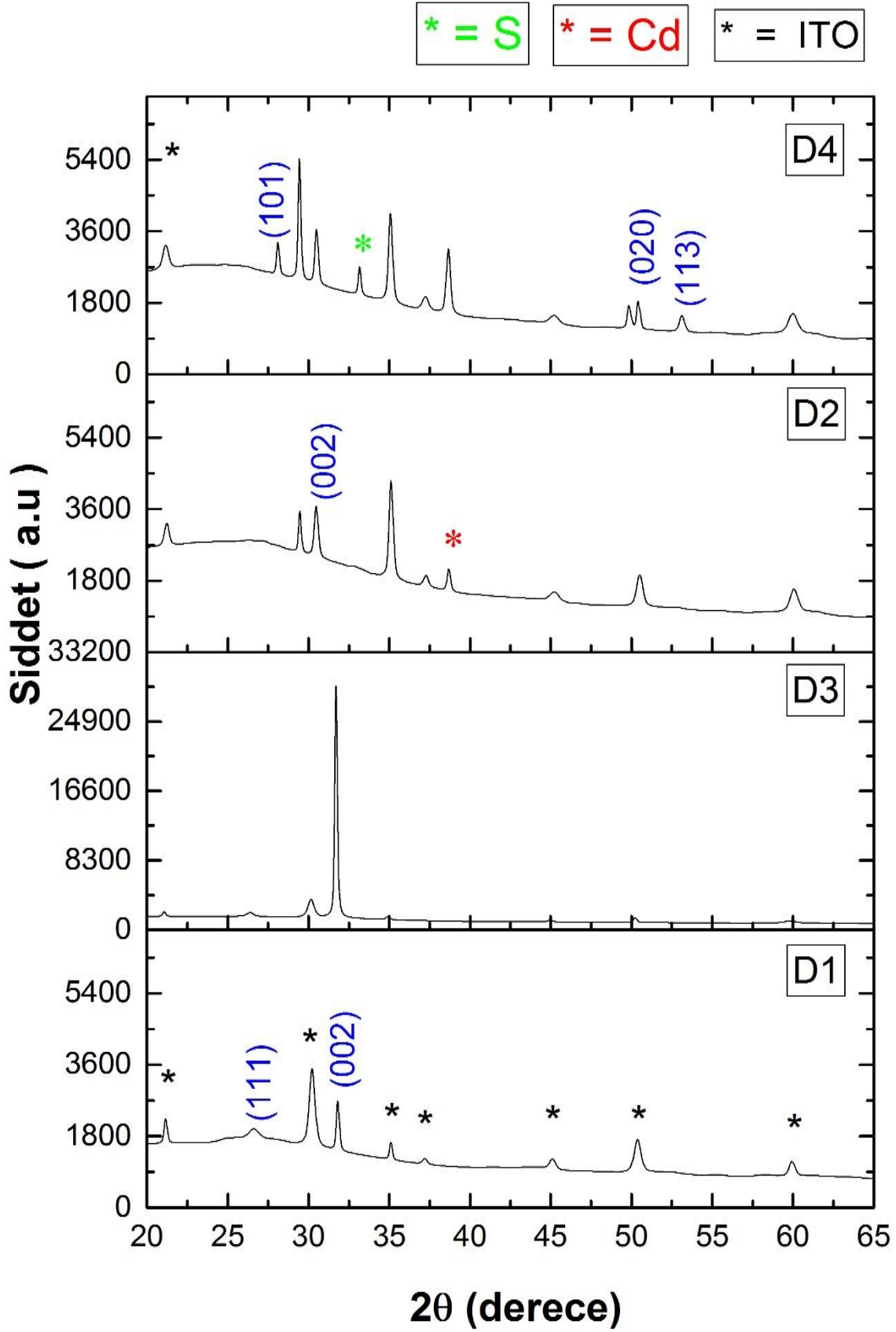
3.1 CdS Filmlerin Karakterizasyonu

3.1.1 CdS Filmlerin XRD Analizi

SET I ve SET II'den üretilen filmlerin X-ışınım kırınım grafikleri D1'den D9'a kadar sırası ile Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de verilmiştir.

Şekil 3.1'deki grafikler bakıldığında, D1, D2 ve D3 filmlerin kübik CdS yapısına sahip açılal piklerin mevcut olduğu saptanmıştır. D1 ve D3 filmlerinin sahip olduğu CdS piklerinin sırasıyla 26,61° ve 31,79° ile 26,38° ve 31,71° açılalarına karşılık geldiği tespit edilmiştir. Bu pikler (111) ve (002) yansıma düzlemlerine karşılık gelmektedir. Bu filmler incelendiğinde CdS tepe noktalarının yansıma doğrultusunda (98-062-0322) sayılı ICDD kartı ile uyumlu olduğu görölmüştür. D2 filmi incelendiğinde (002) yansıma düzlemine karşılık gelen 30,48° 'lik CdS piki gözlenmiştir. Gözlenen bu piki (98-002-9278) numaralı ICDD kartı ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Ayrıca D2 filminde 38,77° 'lik Cd pikine sahip olduğu tespit edilmiştir. Belirlenen Cd piki (98-061-9639) numaralı ICDD kartı ile uyumludur.

Şekil 3.1'deki grafikler incelendiğinde, D4 filminin kübik ve hegzagonal CdS yapısına ait olan 28,37°; 30,76°; 51,05° ve 53,33° değlerlerinde piklere sahip oldukları belirlenmiştir. D4 filmindeki belirlenen bu piklerin sırasıyla (011), (002), (020), (113) yansıma düzlemlerine ait oldukları görölmektedir. Bu pikler incelendiğinde yansıma düzlemlerine uygun olarak sırasıyla (98-067-0327), (98-002-9278), (98-067-0327) ve (98-062-0322) numaralı ICDD kartları ile uyumlu olduğu raporlanmıştır. Ek olarak D4 filminin S ve Cd piklerine sahip olduğu gözlenmiştir. Bu pik değlerlerine ait açı değleri şu şekilde sıralanmıştır; 33,13° ; 38,63° olarak belirlenmiştir. İnceleme yapıldığında S ve Cd piklerinin sırasıyla (98-041-2326), (98-061-9639) numaralı ICDD kartı ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.



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

SET II'den üretilen filmlerin kübik ve hegzagonal CdS örgüsüne sahip olan farklı açılara karşılık gelen pikler bulunmaktadır.

Şekil 3.2'deki grafikler incelendiğinde, D5 filminin (111) ve (002) yansıma düzlemlerine karşılık gelen $26,38^\circ$ ve $31,71^\circ$ pikleridir. Bu film için inceleme yapıldığında kübik CdS yapısında olduğu ve CdS pik noktalarının yansıma düzlemine uygun olarak (98-062-0322) numaralı ICDD kartı ile uyum içinde olduğu görülmüştür.

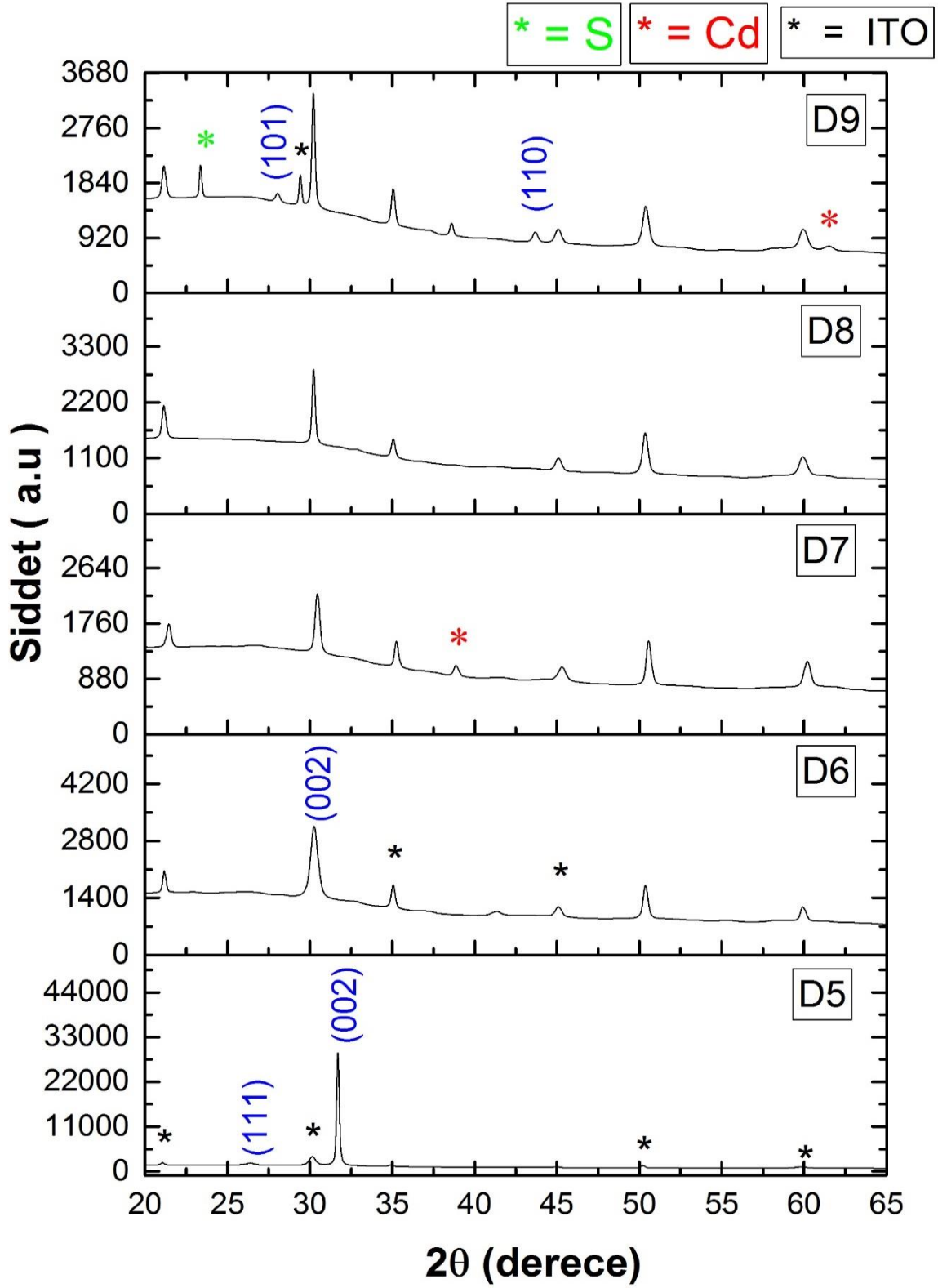
D6 filmi incelendiğinde (002) yansıma düzlemine karşılık gelen $30,27^\circ$ 'lik CdS piki gözlenmiştir. Gözlenen bu pikin (98-002-9278) numaralı ICDD kartları ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Ayrıca D6 filminde $30,8^\circ$ 'lik S pikine sahip olduğu tespit edilmiştir ve bu S pikinin (98-041-232) numaralı ICDD kartı ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

D7 filmi incelendiğinde (002) yansıma düzlemine karşılık gelen $30,45^\circ$ 'lik CdS piki gözlenmiştir. Gözlenen bu pikin (98-002-9278) numaralı ICDD kartları ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Ayrıca D7 filminde $38,86^\circ$ 'lik Cd pikine sahip olduğu belirlenmiştir ve bu Cd piki (98-061-9639) numaralı ICDD kartı ile uyumludur.

D8 filmi incelendiğinde (002) yansıma düzlemine karşılık gelen $30,23^\circ$ 'lik CdS piki gözlenmiştir. Gözlenen bu pikin (98-002-9278) numaralı ICDD kartları ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 3.2'deki grafikler incelendiğinde, D9 filminin kübik ve hegzagonal CdS yapısına ait olan $28,04^\circ$, $30,20^\circ$ ve $43,72^\circ$ açı değerlerine karşılık gelen piklere sahip oldukları belirlenmiştir. D9 filminde tespit edilen bu pikler sırasıyla (101), (002) ve (110) yansıma düzlemlerine karşılık gelmektedir. Ek olarak bu piklerin yansıma düzlemlerine uygun olarak sırasıyla (98-067-0327) , (98-002-9278 numaralı ICDD kartları ile uyumlu olduğu raporlanmıştır. Ayrıca D9 filminin S pikine sahip olduğu gözlenmiştir. Bu pik $23,33^\circ$ değerindedir ve inceleme yapıldığında (98-041-232) numaralı ICDD kartı ile uyumlu olduğu raporlanmıştır. Ayrıca bu filmin $61,50^\circ$ ve $38,60^\circ$ 'lik açı değerlerine karşılık gelen Cd piklerine sahip olduğu tespit edilmiştir ve bu pikler (98-0001-4339) numralı ICDD kartı ile uyumlu olduğu raporlanmıştır.

SET I ve SET II için üretim yapılırken kullanılan çalışma elektrotları olan ITO camlar standart değildir. İki farklı ICDD kartına uyum sağlayan iki farklı tip ITO cam bulunmaktadır. Bu durum Şekil 3.1 ve Şekil 3.2 incelendiğinde görülmektedir.



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

(Texture Coefficient - TC) terimi, filmlerin tercihli yönelimini belirlemek için kullanılan bir ölçüm veya değerlendirme yapılanma katsayısı olarak adlandırılmaktadır. Yapılanma katsayısı, filmin içerdiği kristal yapıların düzenliliğini veya kristalin yapısının nasıl dağıldığını ifade edebilir. Eğer bir filmde yapılanma katsayısı değeri 1'den büyük ve birden fazla yansıma düzlemi mevcutsa, o film için tek bir tercihli yönelimden bahsedilemeyeceği söylenebilir. Bu da, filmin içinde birden fazla kristalografî yönü veya düzeni bulunduğunu tek bir tercihli yönelimle sahip olmadığı sonucuna ulaşılmasını sağlayabilir (Nair ve vd., 1998: 340).

$$TC = \frac{I(hkl)/I_o(hkl)}{(1/N) \left[\sum_N I(hkl)/I_o(hkl) \right]} \quad (3.1)$$

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)
D1	26,6171	1988,88	12,45	0,44	111
	31,7911	2664,76	71,84	2,56	002
D2	30,4882	3676,991	50,19	1,00	002
D3	26,4091	2049,21	1,36	0,04	111
	31,7131	29167,41	100	2,96	002
D4	28,0502	3153,865	26,15	1,22	011
	30,4882	3659,603	41,92	1,95	002
	51,0522	1129,6	26,7	1,24	020
	53,1192	1481,27	12,73	0,59	113

SET I'den üretilen filmlerin yapılanma katsayısı değerleri incelendiğinde D1,D2 ve D3 filimlerinin (002) tercihli yönelimine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ancak D4 filminde tercihli yönelim rastgeledir. Bu durum Tablo 3.1 'de verilmiştir.

Tablo 3.2 incelendiğinde SET II 'den elde edilen tüm filmlerin (002) düzlemine ait tercihli yönelime sahip olduğu raporlanmıştır.

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)
D5	26,4091	2049,21	1,36	0,04	111
	31,7131	29167,4	100	2,96	002
D6	30,2571	3167,61	100	1,00	002
D7	30,4651	2228,424	100	1,00	002
D8	30,2311	2854,297	100	1,00	002
D9	28,0471	1666,27	7,16	0,25	101
	30,2051	3344,82	100	3,45	002
	43,7251	1014,34	8,77	0,30	110

Üretilen CdS filmlerine ait tane büyüklükleri, dislokasyon yoğunlukları, doğrulanmış örgü parametreleri, mikro strain değerleri ve ortalama gerilme değerleri Tablo 3.3 ve Tablo 3.4’de gösterilmiştir.

CdS filmlerin ortalama kristalit (tane büyüklüğü) boyutları, denklem (3.2)’de verilen Debye Scherrer denklemi ile hesaplanmıştır (Bhowmik vd., 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 üretilen filmlere ait tane büyüklükleri Tablo 3.3 ve Tablo 3.4’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, bir kristalin birim hacmi içinde bulunan dislokasyon çizgilerinin boyutunu ifade eder. Bu yoğunluğun değerinin küçük olması malzemenin

kristalize oluşumun güzel olduğunu belirtmektedir. Yarı iletken malzemelerin X ışınının kırınım analizleri ile örgü parametreleri de belirlenebilir. Bir epilayer (üst tabaka) ile alt taban arasındaki uyumsuzluk büyüme sırasında oluşan stres ve gerilmeleri gösteren önemli bir büyütme faktördür (Önal, 2020: 21). Üretilen filmlere ait dislokasyon yoğunluğu değerleri Tablo 3.3 ve Tablo 3.4’de gösterilmiştir.

Üretilen filmlere ait CdS filmlerin kübik ve hegzagonal yapıya sahip oldukları görülmüştür. Kübik yapılar için örgü parametresi (a) ile verilmiştir. a parametresi hesaplaması denklem 3.4 te verilmiştir.

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

Denklem 3.4 te verilen d , kristal örgüsündeki düzlemler arası boşluk, (hkl) ise yansıma indislerini göstermektedir. Ayrıca hegzagonal yapıya sahip olan CdS filimleri için c/a oranı hesaplanmıştır. Üretilen CdS filimlerinin örgü parametrelerinin sahip olduğu değerleri Tablo 3.3 ve Tablo 3.4’de gösterilmiştir.

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

$$\varepsilon = (\alpha - \alpha_0)/\alpha_0 \quad (3.5)$$

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

Burada a_0 ve a sırasıyla, bulk örneğinin örgü parametresi ve üretilen filmlerin numunelerinin örgü parametresinin düzeltilmiş değeridir. σ ve Y ise sırasıyla, bulk kristalinin Poisson oranı ve young modülüdür. (Altıokka ve Kıyak Yıldırım , 2018: 46). CdS filmler için Y ’nin değeri 55 GPa ve σ değeri olarak 0,33 alınmaktadır. SET I ve SET II’den elde edilen filimlereait olan mikro strain ve ortalama stres değerleri Tablo 3.3 ve Tablo 3.4’de gösterilmiştir.

Tablo 3.3 incelendiğinde SET I için tane büyüklüğünün sırasıyla D1 için 11 nm ile 46 nm arasında, D2 için 31 nm, D3 için 16 nm ile 53 nm arasında D4 için 28 nm ile 56 nm arasında

değiştii gözlemlenmiştir. Üretilen filmlerin mikro strain değerleri incelendiğinde D2 filmi hariç tüm filimlerde negatif mikro strain gözlenmiştir.

Dislokasyon yoğunlukları incelendiğinde D1 ve D3 filimlerinin dislokasyon yoğunluğu değerlerinin yaklaşık olarak 26°'lik pik için baskın biçimde büyük olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca D2 filmi haricindeki tüm filimler negatif stres değerine sahiptir.

Tablo 3.3 SET I'den üretilen filmlerin tane büyüklükleri, dislokasyon yoğunlukları, doğrulanmış örgü parametreleri, mikro strain değerleri ve ortalama gerilme değerleri

	2θ (açı)	Tane Büyüklüğü (nm)	Örgü Parametresi a(doğrulanmış) (Å)	c/a oranı	Mikro Strain *10⁻²	Dislokasyon Yoğunluğu (çizgi/m²)*10¹⁴	Ortalama Stres (10⁸N/m²)
D1	26,6171	11	5,804	-	2,34	78,8	195
	31,7911	46	5,6296	-	-1,25	4,81	-105
D2	30,4882	31	5,8706	-	1,04	10,3	86,7
D3	26,3831	16	5,8536	-	2,34	40,2	195
	31,7131	53	5,6482	-	-1,25	3,54	-105
D4	28,0502	52	2,05811	-	-50,2	3,74	-4180
	30,4882	39	5,86678	-	0,977	6,57	81,4
	51,0522	56	1,55394	1,83571	-62,4	3,23	-5200
	53,1192	28	5,72264		0,0461	12,7	3,84

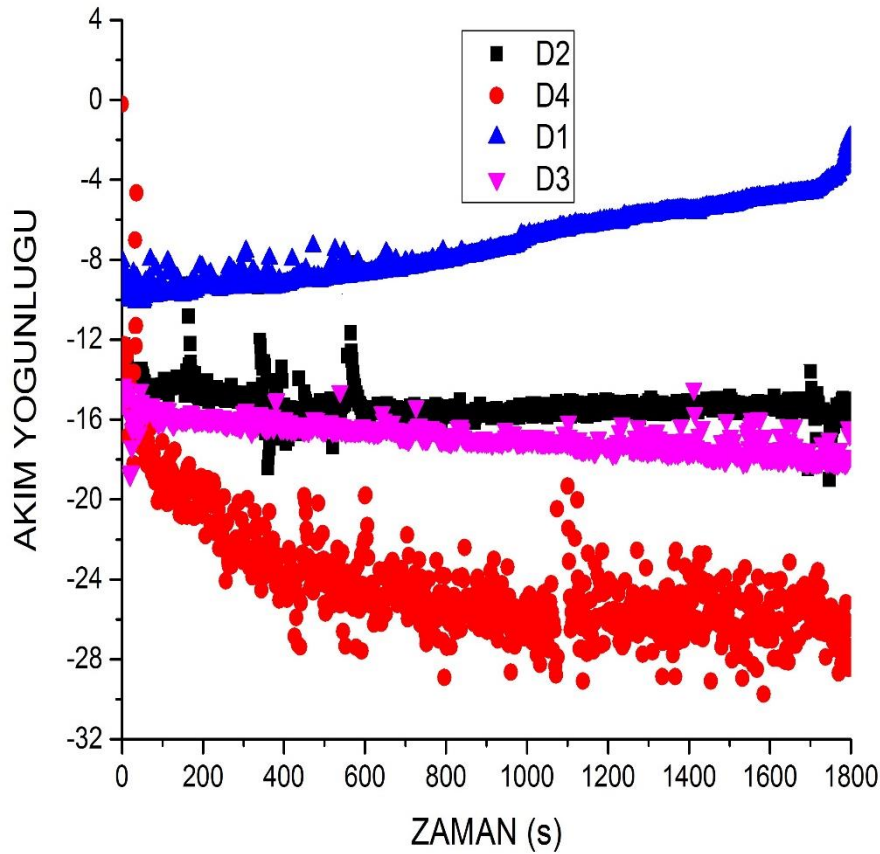
Tablo 3.4 SET II'den üretilen filmlerin tane büyüklükleri, dislokasyon yoğunlukları, doğrulanmış örgü parametreleri, mikro strain değerleri ve ortalama gerilme değerleri

	2θ (açı)	Tane Büyüklüğü (nm)	Örgü Parametresi a(doğrulanmış) (Å)	c/a oranı	Mikro Strain *10⁻²	Dislokasyon Yoğunluğu (çizgi/m²)*10¹⁴	Ortalama Stres (10¹⁰N/m²)
D5	26,4091	16	5,85362		2,34	40,2	1,95
	31,7131	53	5,64826		-1,25	3,54	-1,05
D6	30,2571	16	5,9113		1,74	39,6	1,45
D7	30,4651	27	5,8739		1,10	14,2	91,7
D8	30,2311	40	5,91732		1,85	6,33	1,54
D9	28,0471	26	3,67586	1,831951	-11	14,4	-9,20
	30,2051	40	5,9198		1,89	6,33	1,57
	43,7251	28	3,67586		-11	13,2	-9,20

Tablo 3.4 incelendiğinde SET II için tane büyüklüğünün D5 için 16 nm ile 53 nm arasında D6 için 16 nm, D7 için 27 nm, D8 için 40 nm ve D9 için 26 nm ile 40 nm arasında değiştiği hesaplanmıştır. SET II için üretilen CdS filimleri içinde D9 ve D5 filimlerinde negatif mikro strain gözlenmiştir. Ayrıca D8 filminin mikro strain ve dislokasyon yoğunluğu değerleri diğer üretilen SET II filimlerinden daha büyüktür. Dislokasyon yoğunlukları açısından karşılaştırma yapıldığında en yüksek dislokasyon yoğunluğu D6 filminde gözlemlenmiştir.

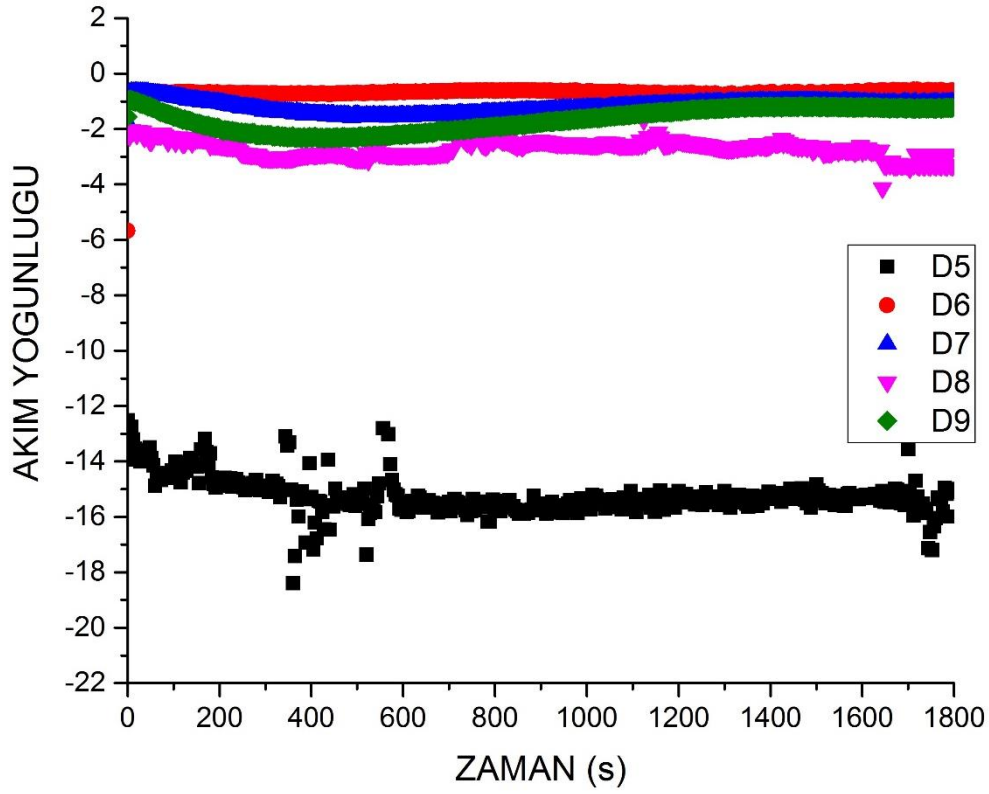
3.1.2 CdS Filimlerin Akım Yoğunluğu ve Kalınlık Ölçümleri

CdS filimlerine ait olan, akım yoğunluğunun zamana karşı değişimini gösteren grafikler Şekil 3.3 ve Şekil 3.4 de gösterilmektedir. Şekil 3.3 incelendiğinde, katodik potansiyel değeri arttıkça CdS filimlerin çektiği akım yoğunluklarının arttığı görülmektedir.



Şekil 3.3 SET I'den elde edilen filimlerin akım yoğunluğu zaman grafiği

Elektrot pozisyonlarının değişimi ile filimlerin çektiği akım yoğunluklarının değiştiği Şekil 3.4 incelendiğinde görülmektedir. D5'ten elde edilen film baskın biçimde yüksek akım yoğunluğuna sahiptir.



Şekil 3.4 SET II'den elde edilen filmlerin akım yoğunluğu zaman grafiği

Üretilen tüm CdS filmlerin kalınlık ölçüleri gravometrik metot kullanılarak yapılmıştır. Tablo 3.5 ve Tablo 3.6'da gösterilmiştir. Tablo 3.5 incelendiğinde, katodik potansiyel değeri arttıkça film kalınlıklarının arttığı rapor edilmiştir. Tablo 3.6 incelendiğinde kapak 1 den elde edilen filmin baskın biçimde diğer elektrot pozisyonlarından elde edilen filmlere göre baskın şekilde kalın olduğu rapor edilmiştir.

Tablo 3.5. SET I de üretilen filmlerin kalınlık ölçüleri

	Eg eV	Kalınlık nm	Ortalama Akım Yoğunluğu A/cm ²
D1	2,28	2023	-7,21
D2	2,37	4296	-15,24
D3	2,43	4751	-16,85
D4	2,03	6754	-23,95

Tablo 3.6. SET II de üretilen filmlerin kalınlık ölçüleri

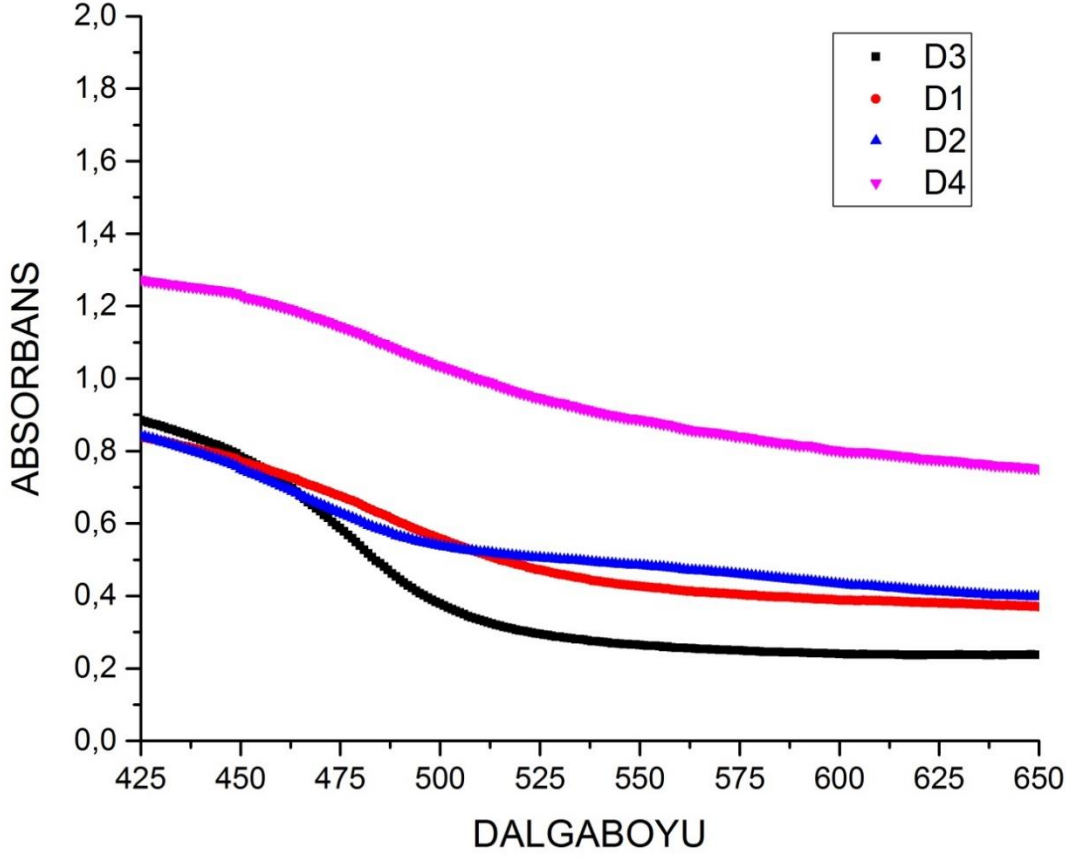
	Eg eV	Kalınlık nm	Ortalama Akım Yoğunluğu A/cm²
D5	2,41	4705	-16,55
D6	2,22	192	-0,69
D7	2,30	339	-1,20
D8	2,12	458	-2,68
D9	2,50	471	-1,68

3.1.3 CdS İnce Filmlerin Optik analizleri

SET I, SET II, SET III'den üretilen filmlerin optik incelemesi A&E LAB UV tek yollu UV-vis spektrofotometresi (AE-S60-4UPC) ile belirlenmiştir.

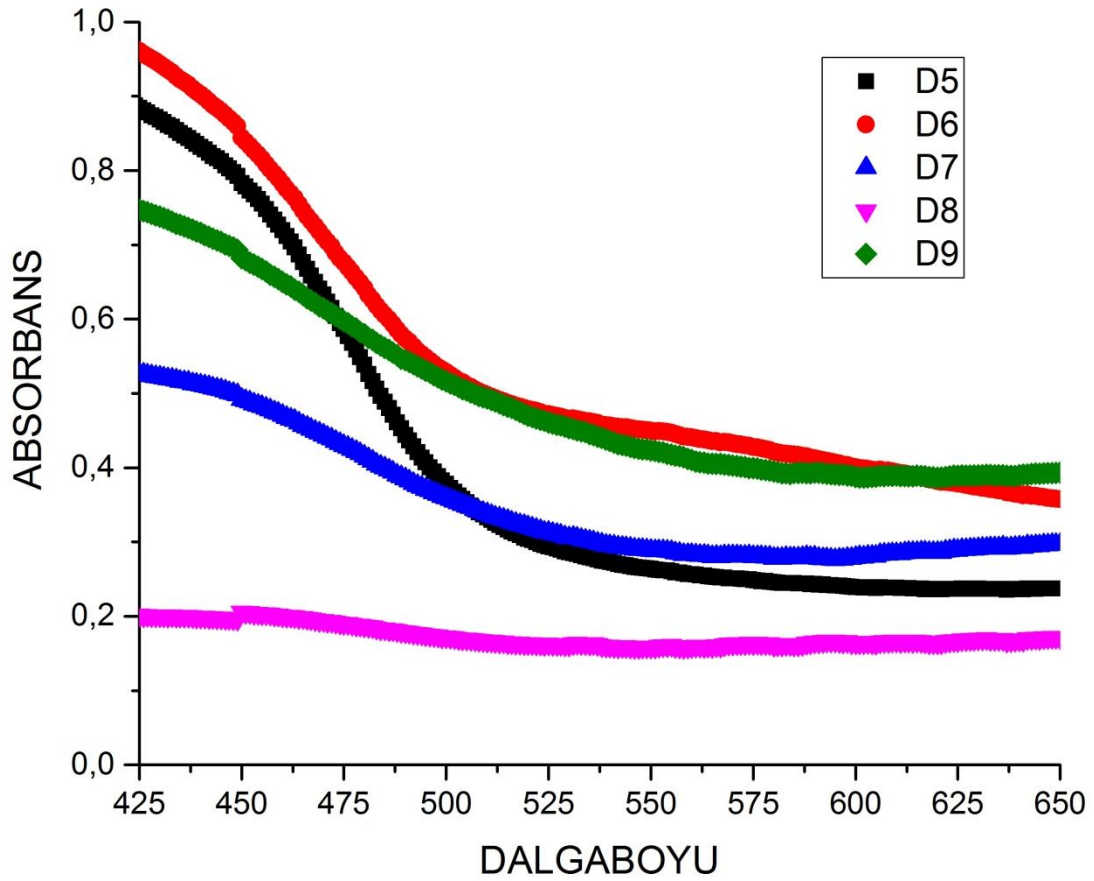
Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'de sırasıyla, üretilen tüm filmlerin dalgaboyuna karşı absorbands grafikleri verilmiştir

Şekil 3.5 bakıldığında, tüm filmlerin absorbands eğrilerinin belirgin biçimde yükseldiği görülmektedir. D3 ve D4 filmlerinin absorbands eğrisi oldukça baskın şekilde 650 ile 510 nm değerlerinde yükselmiştir. D1 filminin absorbands eğrisinin belirgin bir biçimde 650 ile 525 nm değerlerinde yükseldiği ve D2 filminin absorbands eğrisinin ise, 650 ile 504 nm arasında yükselişe geçtiği görülmektedir.



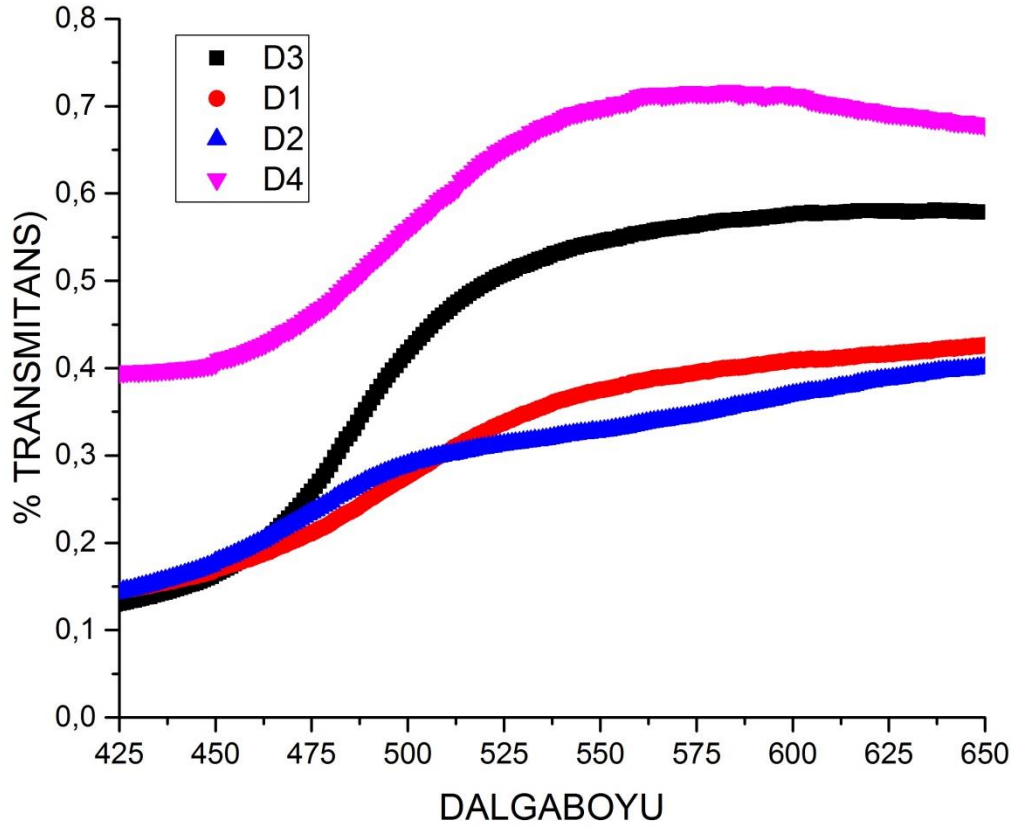
Şekil 3.5. SET I'den üretilen filmlerin dalgaboyuna karşı absorbanş grafikleri

Şekil 3.6 incelendiğinde D8 filminin absorbanş eğrisinin belirgin bir biçimde yükselişe geçtiği dalgaboyu aralığı görülmemektedir. D5 ve D6 filmlerinin absorbanş eğrilerinin sırasıyla belirgin bir biçimde 650 ile 510 nm; 650 ile 505 nm arasında yükselişe geçtikleri görülmektedir. Ek olarak, D9'dan elde edilen filmin absorbanş eğrisinin 650 ile 547 nm arasında yükselişe geçtikleri görülmektedir. Buna dayanarak, elektrot pozisyonun değişimine bağlı olarak absorbanş değeri değişim gösterdiği düşünülmektedir ve bu durum Şekil 3.6'dan tespit edilmiştir.

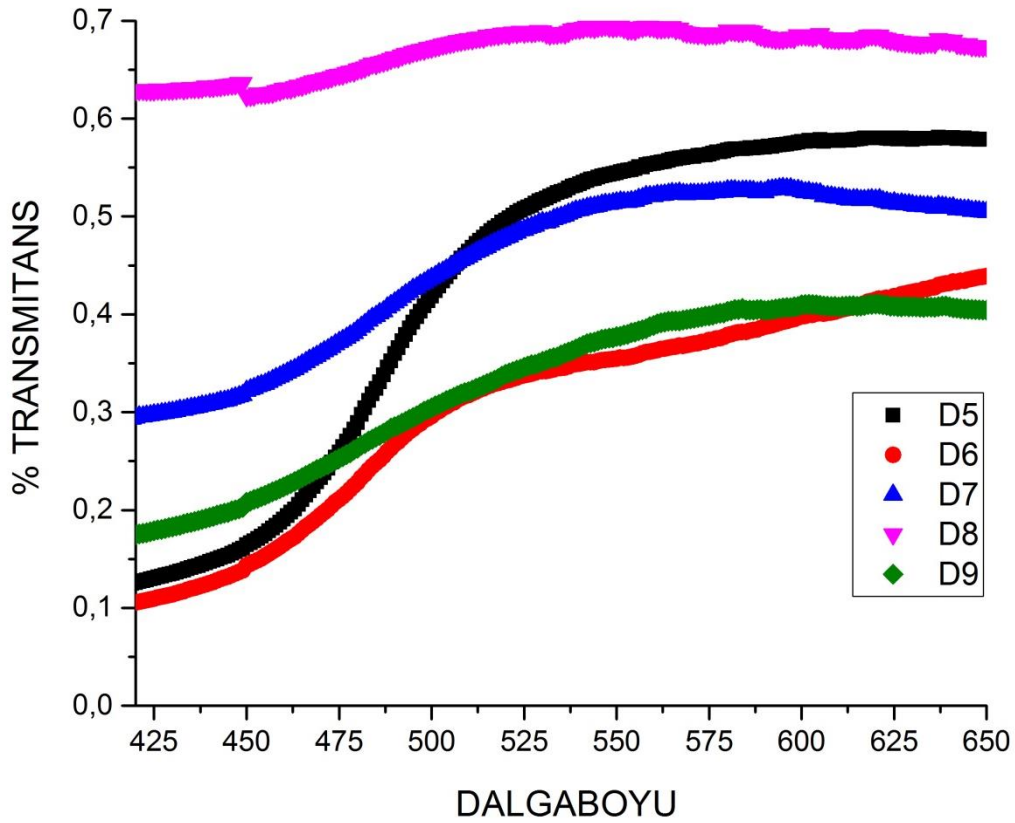


Şekil 3.6.SET II'den üretilen filmlerin dalgaboyuna karşı absorbans grafikleri

Üretilen filmlere ait olan dalga boyuna karşı transmitans grafikleri SET I ve SET II için sırasıyla, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Şekil 3.5 incelendiğinde, D4 ve D3 filmlerin baskın biçimde yüksek transmitans gösterdiği tespit edilmiştir. Şekil 3.7 incelendiğinde katodik potansiyel değeri -0,65 ve üzerine çıkınca üretilen filmlerin transmitans değerleri artmıştır. Şekil 3.8 incelendiğinde, elektrot pozisyonları değişikçe transmitans değerinin değiştiği gözlenmiştir.



Şekil 3.7.SET I'den üretilen filmlerin dalgaboyuna karşı transmittans grafikleri

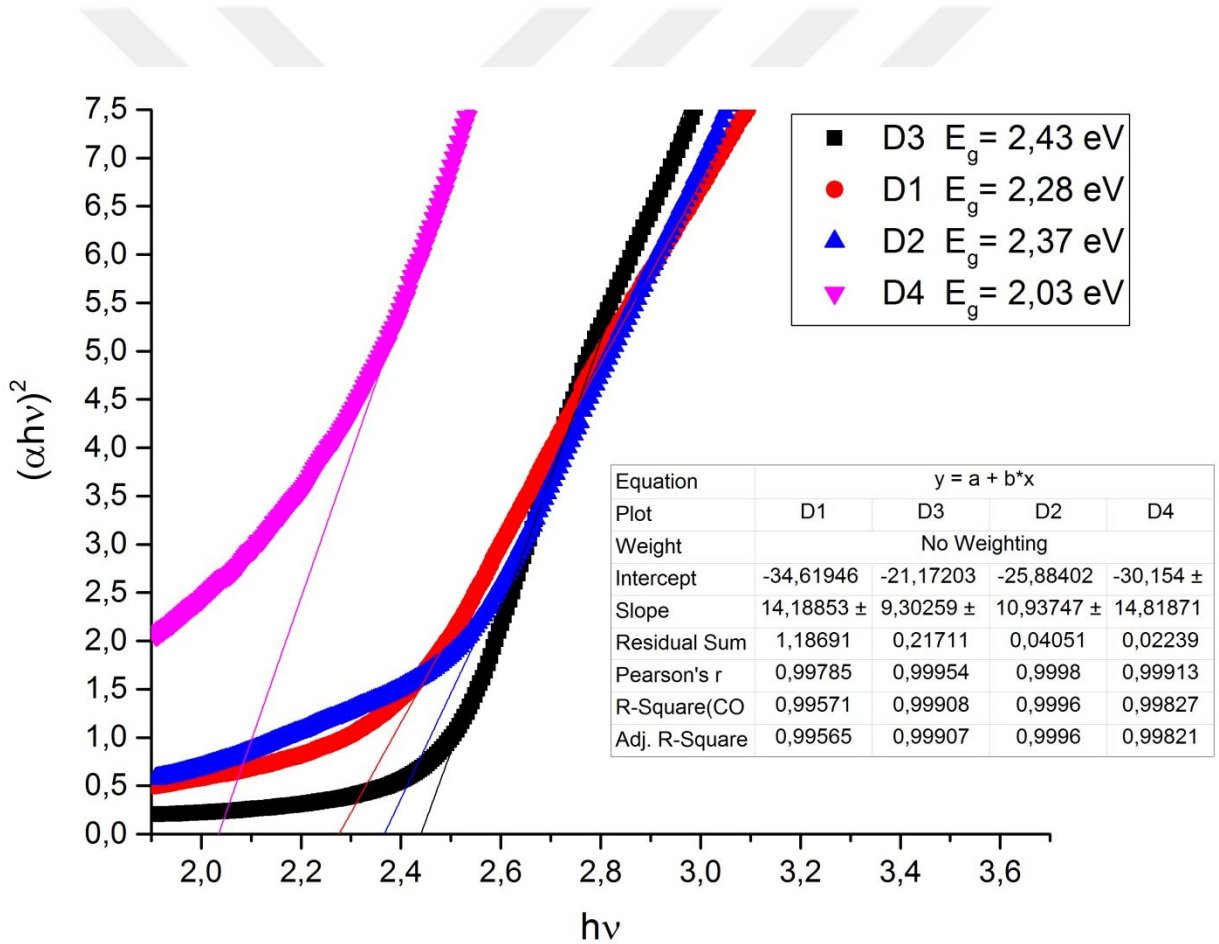


Şekil 3.8.SET II'den üretilen filmlerin dalgaboyuna karşı transmittans grafikleri

SET I ve SET II'den üretilen filmlerin yasak enerji mesafeleri Denklem 3.1'de verilen Tauc ilişkisinden yararlanılarak ve $h\nu$ 'ye karşı $(\alpha h\nu)^2$ grafikleri çizilerek elde edilmiştir. Bu eğriler sırasıyla Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da verilmiştir.

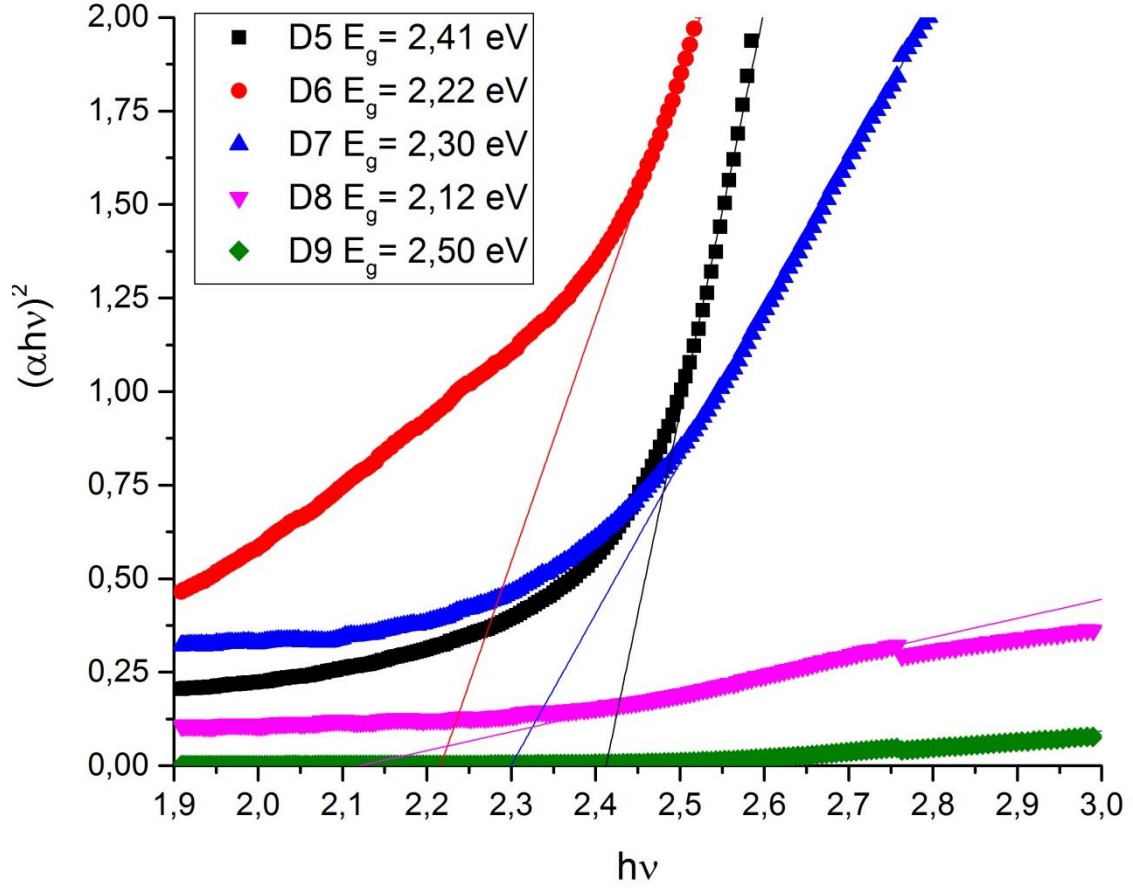
$$\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^n \quad (3.1)$$

burada $h\nu$ foton enerjisidir, A sabittir, yasak enerji aralığıdır, doğrudan bant aralığı malzemeleri için $n = 1$ ve dolaylı bant aralığı malzemeleri için $n = 2$, Şekil 3.9'daki grafiklere bakıldığında elde edilen filmlerin yasak enerji aralığı 2,03 eV ile 2,43 eV aralığında değişiklik gösterdiği görülmüştür. D3'den elde edilen film SET I içerisinde en fazla yasak enerji aralığında olan filmidir. Bu değerler literatür ile oldukça uyumludur. Filmlerin bant aralıkları kristal boyutundan etkilenmiştir.



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

Şekil 3.10 incelendiğinde ise, üretilen filmlerin yasak enerji aralığının 2,12 eV ile 2,41 eV arasında değiştiği görülmüştür. Elektrot pozisyonlarının değişimine bağlı olarak yasak enerji aralığı değişmiştir.



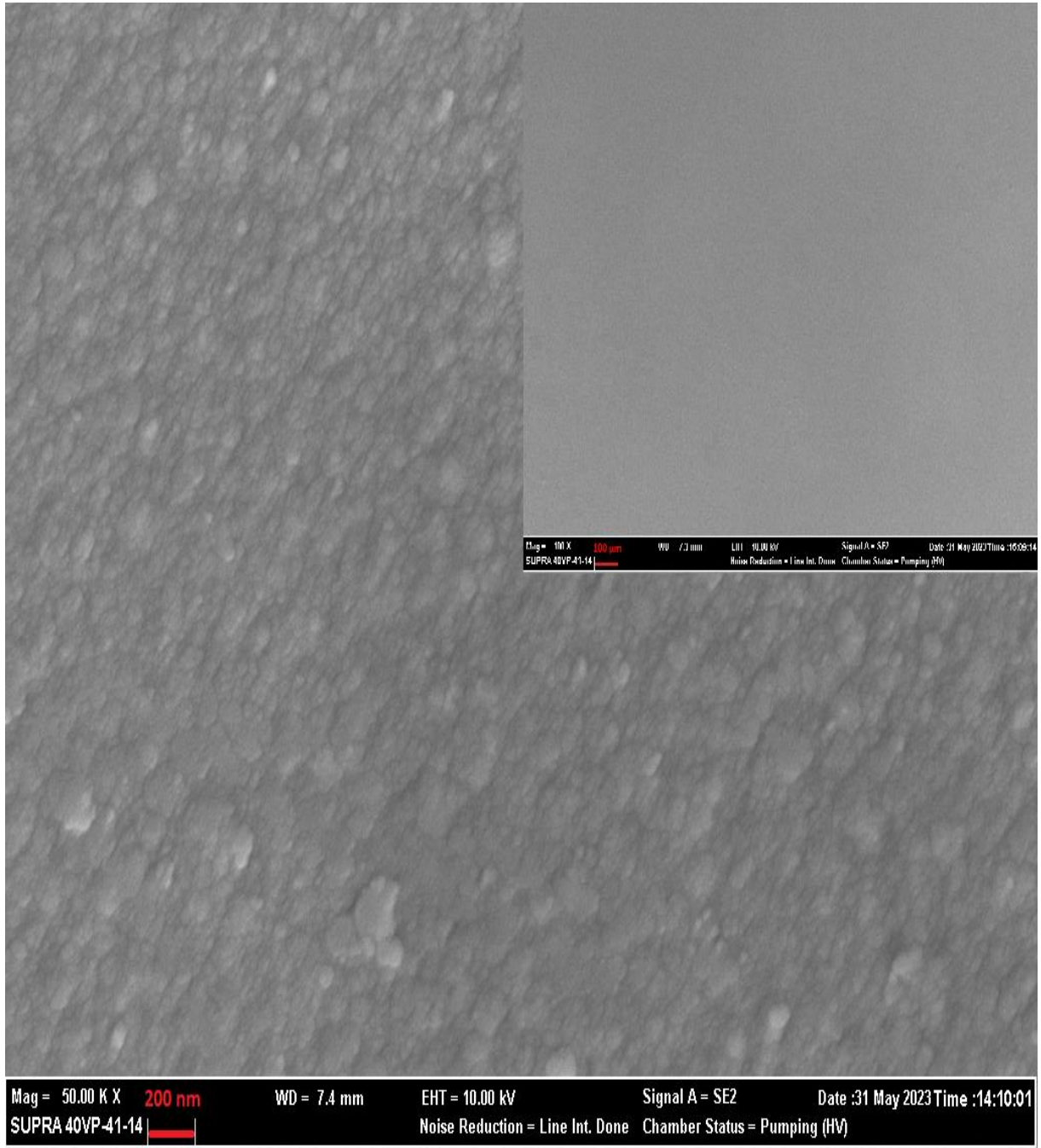
Equation	y = a + b*x				
Plot	D5	D6	D7	D8	D9
Weight	No Weighting				
Intercept	-25,96373 ± 0,64	-14,41155 ± 0,31	-9,29736 ± 0,02	-1,07145 ± 0,00	-0,46474 ± 0,00
Slope	10,76266 ± 0,25	6,50261 ± 0,127	4,04312 ± 0,010	0,50538 ± 0,003	0,18587 ± 0,001
Residual Sum of Squ	0,00818	8,06192E-4	5,00142E-4	3,06422E-4	2,57833E-6
Pearson's r	0,99618	0,9979	0,99988	0,99885	0,99905
R-Square(COD)	0,99238	0,9958	0,99977	0,99771	0,99809
Adj. R-Square	0,99184	0,99542	0,99976	0,99767	0,99801

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

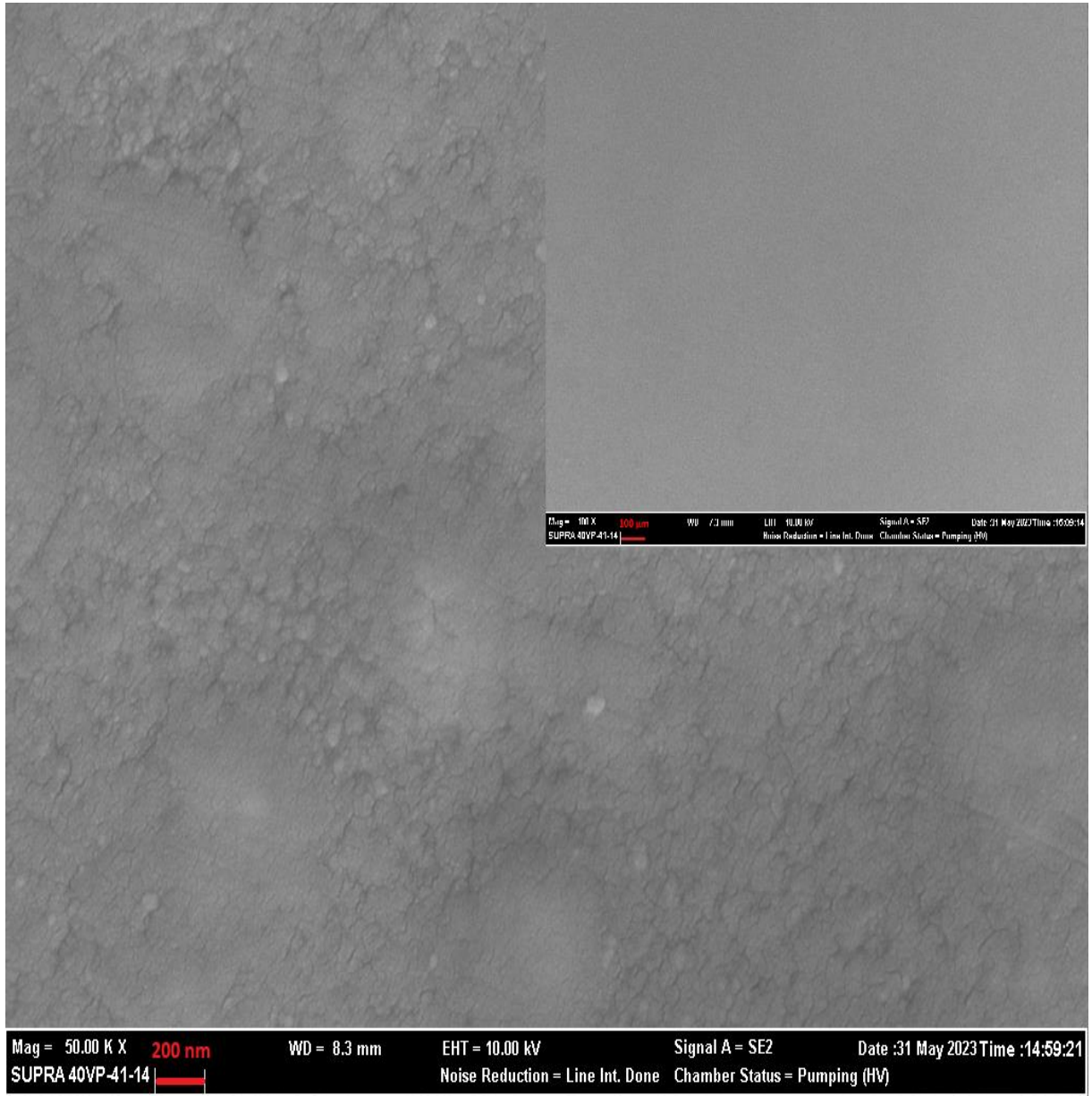
3.1.4 CdS Filmlerin SEM analizleri

Elde edilen CdS filmlerine ait 100000X yüzey görüntüleri D1'den D9'a kadar sırasıyla Şekil 3.9 ile Şekil 3.17 arasında görülmektedir.

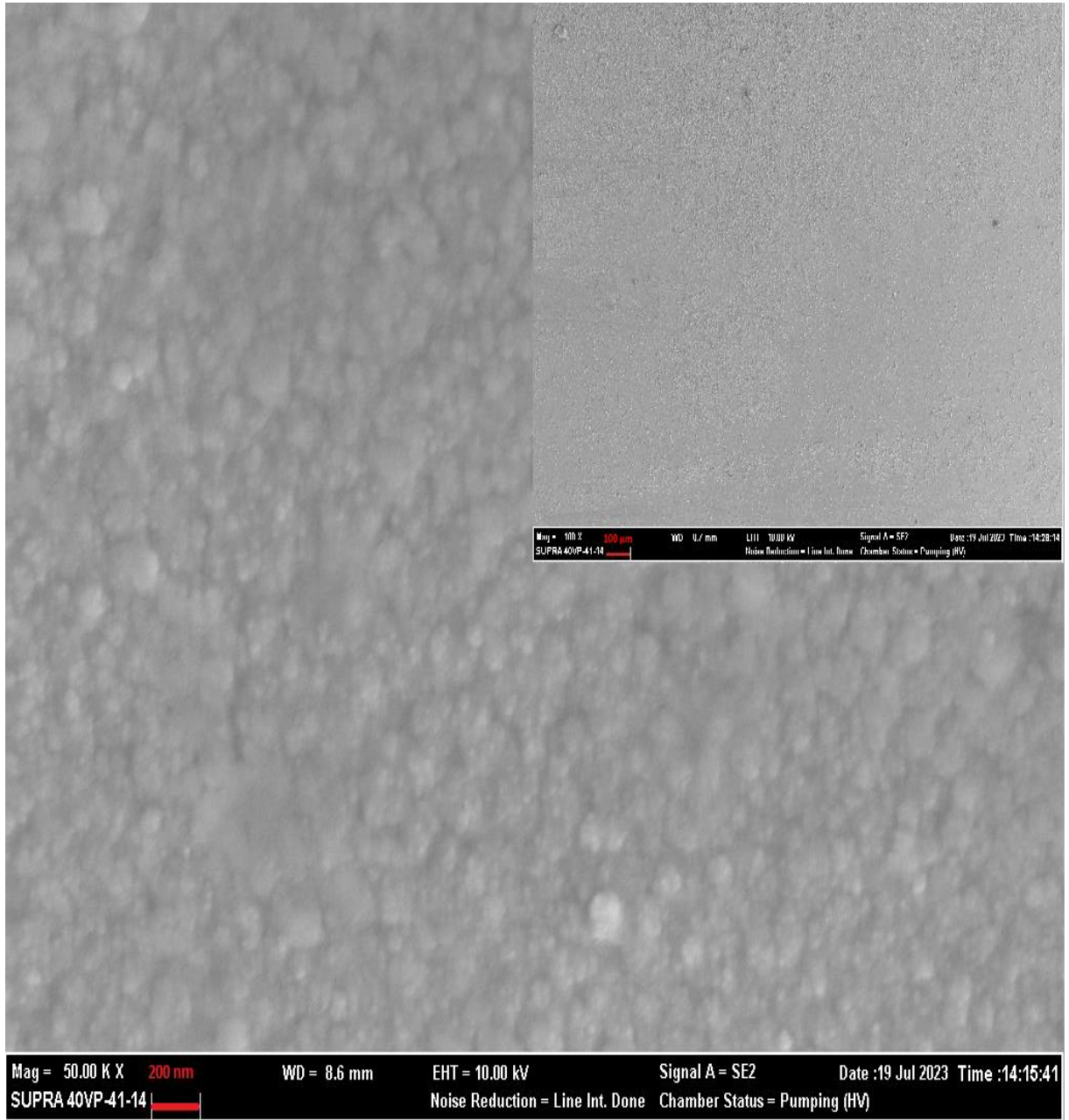
SET I'den elde edilen CdS filmlerine ait SEM görüntüleri analiz edildiğinde, tüm CdS yapıların karnabahara benzer yapıda taneciklerden meydana geldiği ve tüm yüzey alanını tabaka halinde kapladığı görülmektedir. Ayrıca D4 filmin yüzeyinde karnabahara benzer iki farklı yapı görülmüştür. Daha içerde kalan yapıdaki tanecikler daha büyüktür.



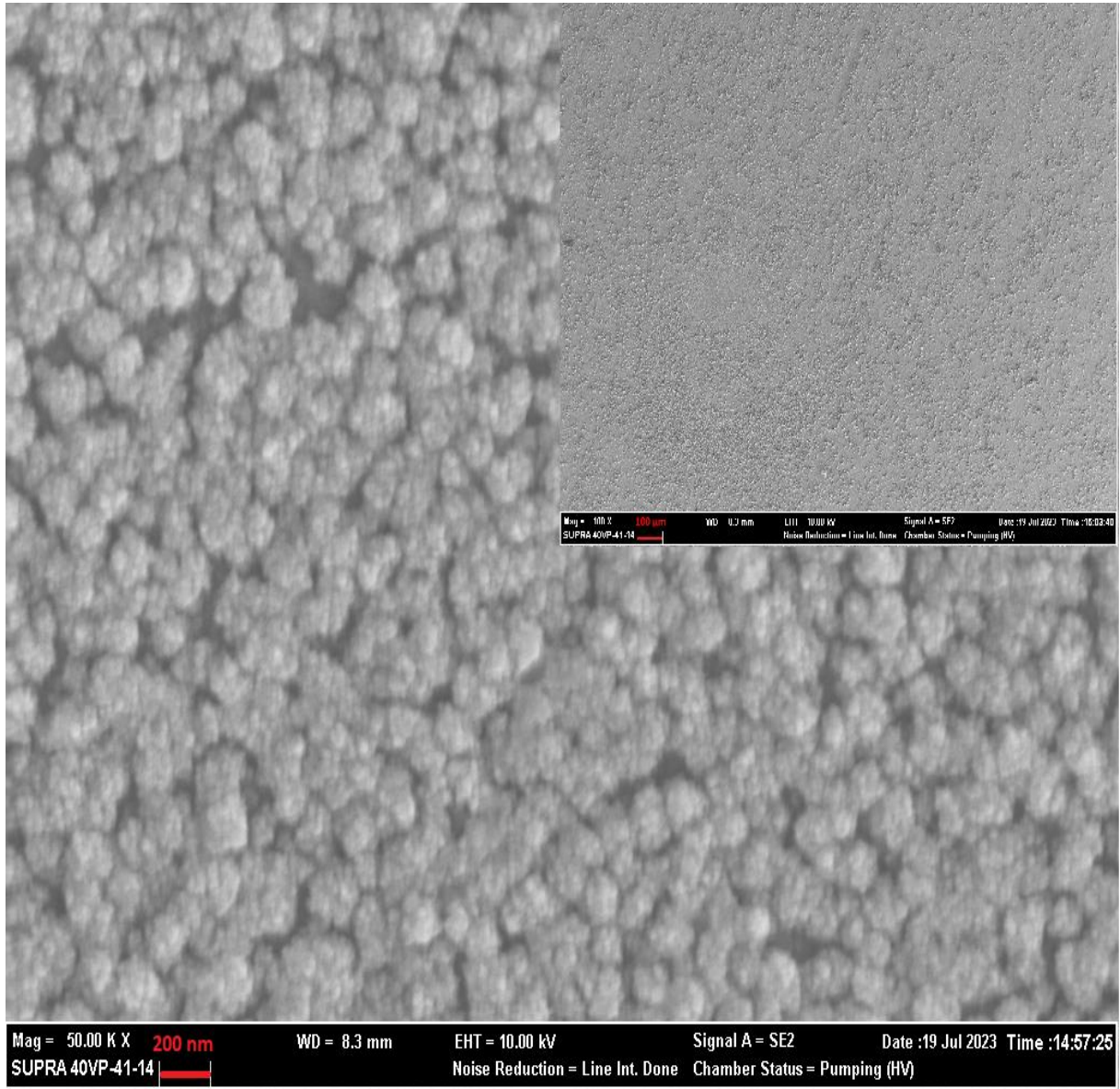
Şekil 3.11. D1'den elde edilen filmin 50000X SEM görüntüsü



Şekil 3.12. D4'den elde edilen filmin 50000X SEM görüntüsü

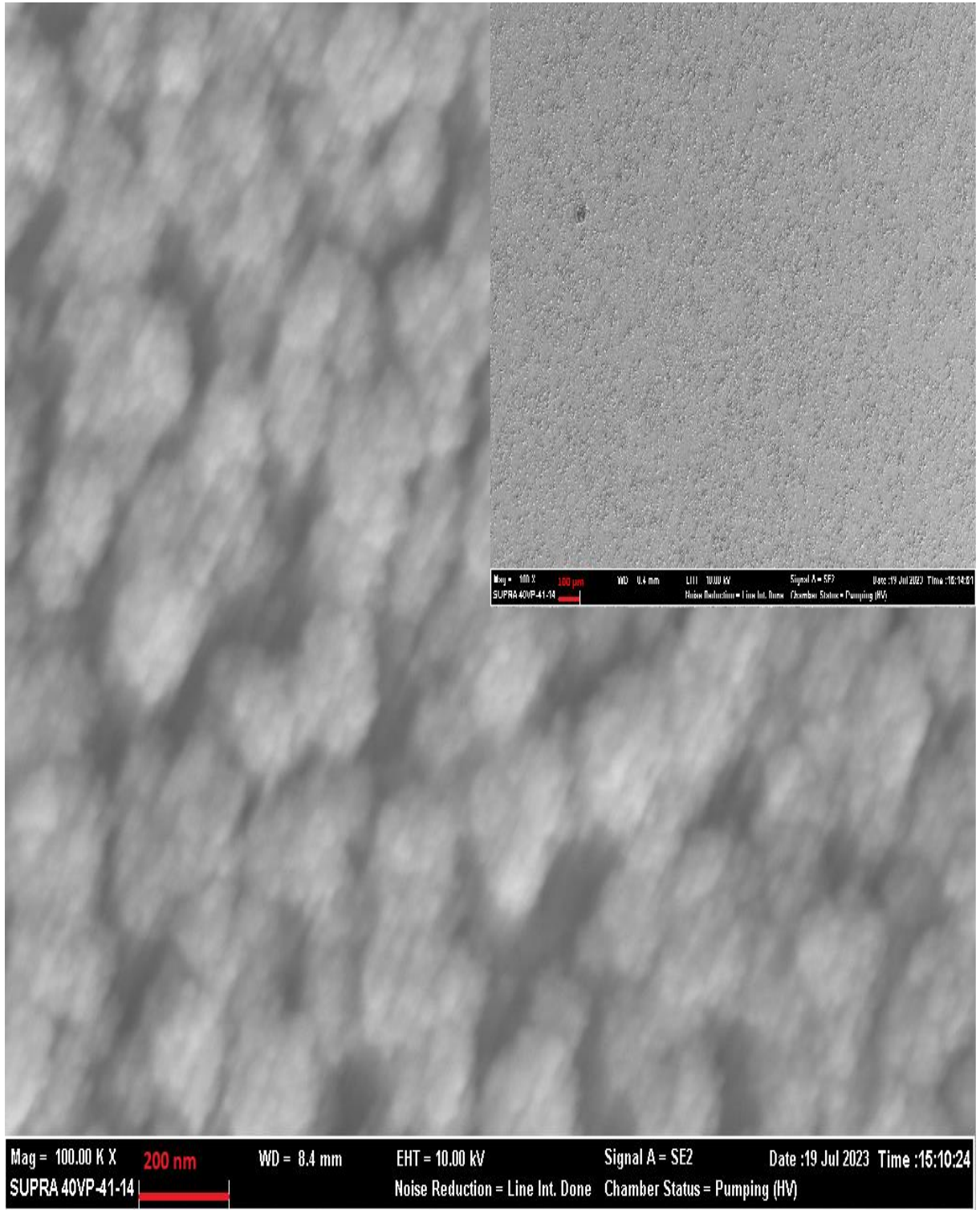


Şekil 3.13. D2'den elde edilen filmin 50000X SEM görüntüsü

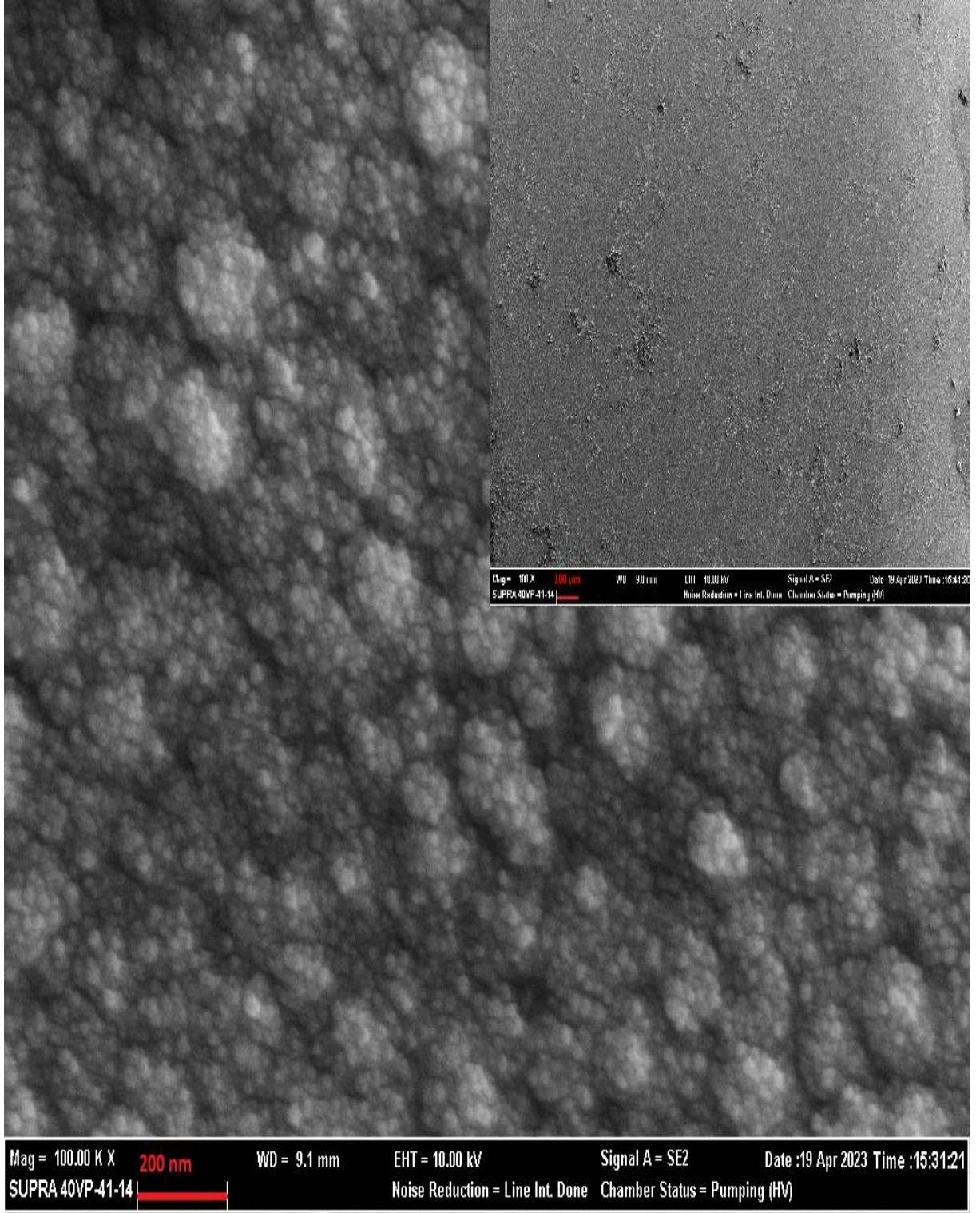


Şekil 3.14. D3'den elde edilen filmin 50000X SEM görüntüsü

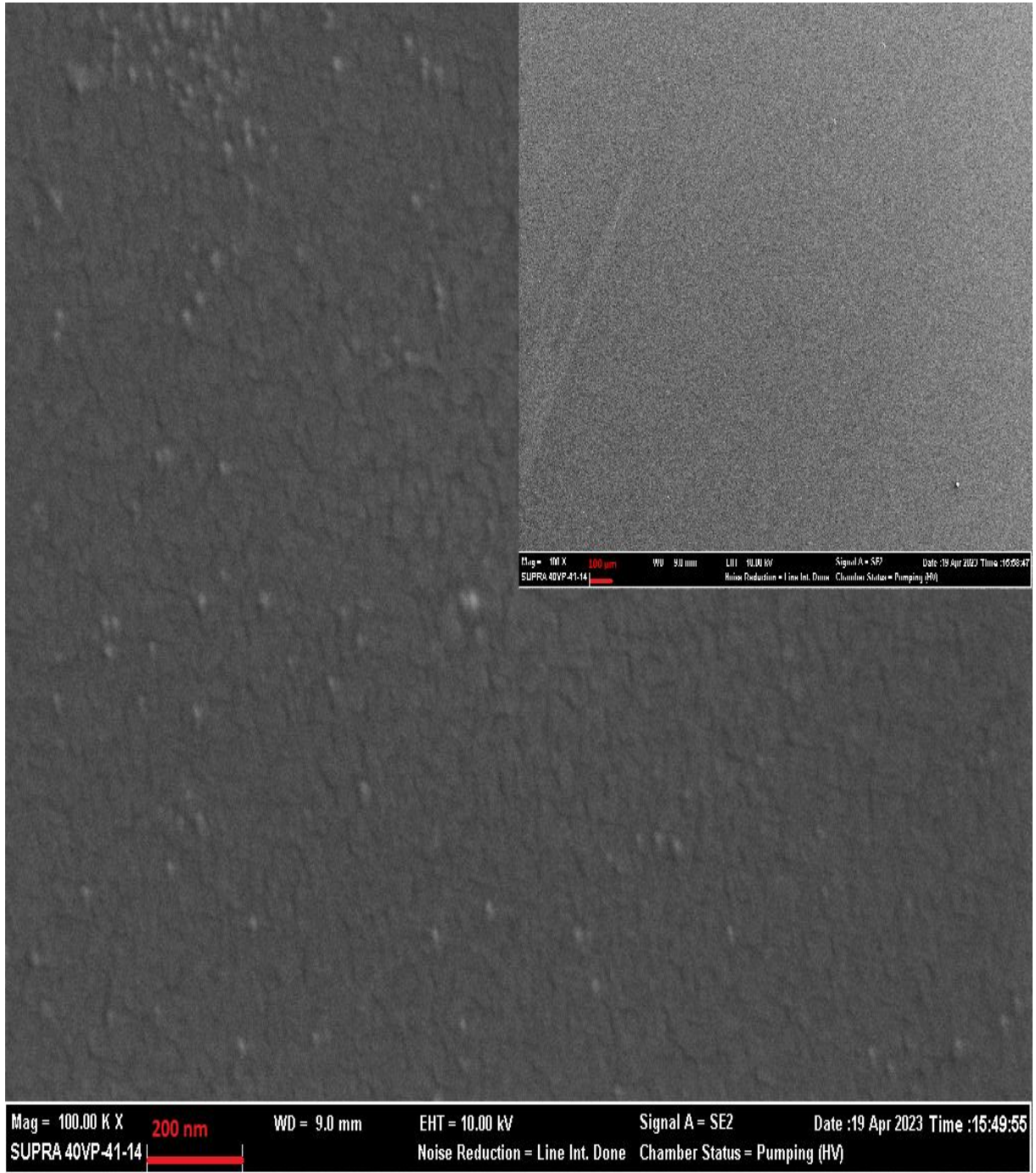
SET II'den elde edilen CdS filmlerine sahip SEM görüntüleri analiz edildiğinde, bütün CdS yapıların karnabahara benzeyen kümelerden oluştuğu gözlenmiştir. Bu kümelerin bütün yüzeyi kapladığı görülmektedir. D5, D6, D8 ve D9 filmlerindeki polimorfik taneciklerden oluşan karnabahara benzeyen kümelerin büyüklüğü sırasıyla, 143 nm ile 229 nm; 129 nm ile 271 nm; 43 nm ile 71 nm; 99 nm ile 243 nm aralığında değişmektedir. D7 filmindeki tanecikler büyüklüğü diğer filimlerden baskın bir biçimde küçüktür. Ayrıca bu filmi sıkı bir şekilde kaplamaktadır.



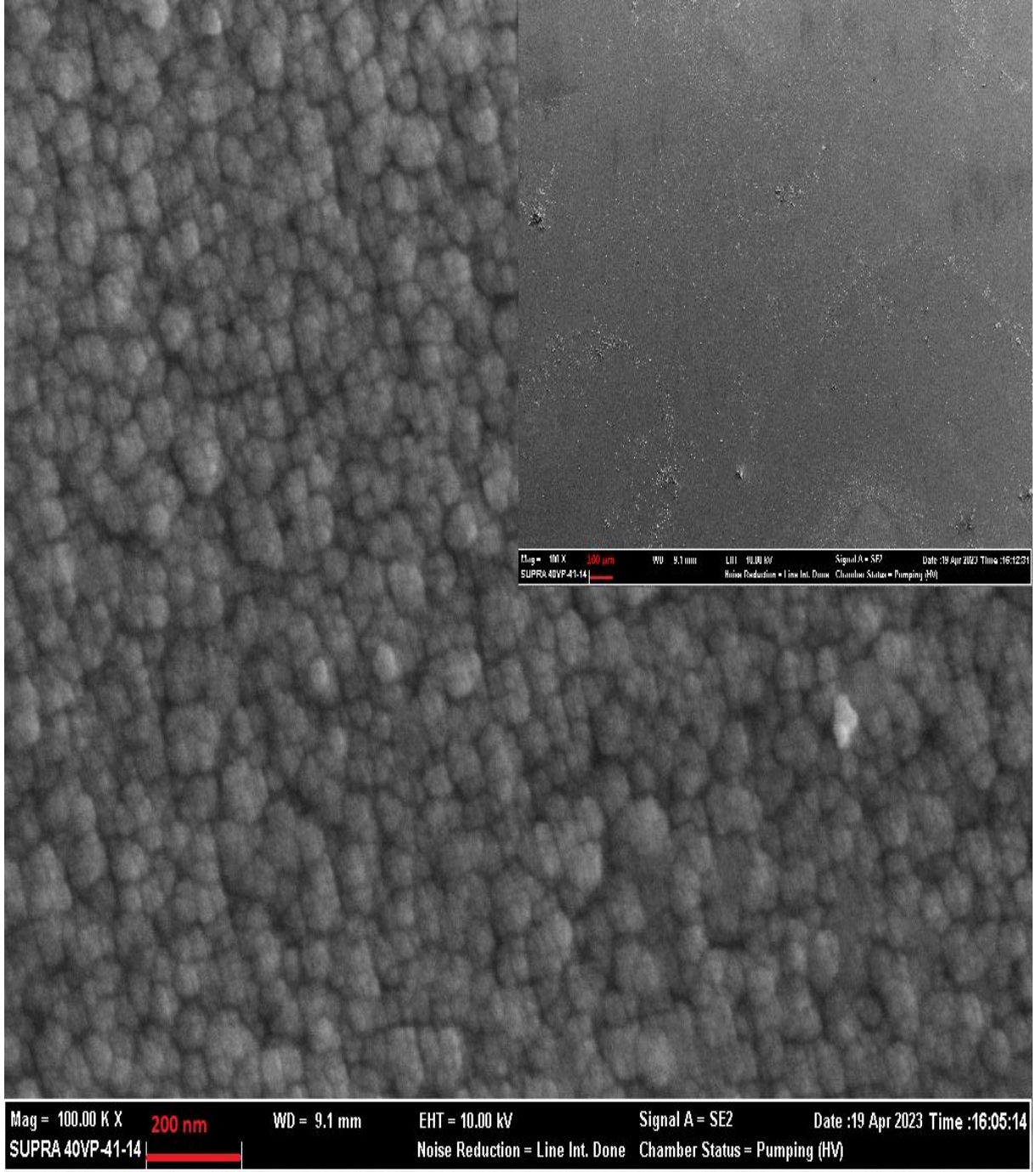
Şekil 3.15. D5'den elde edilen filmin 100000X SEM görüntüsü



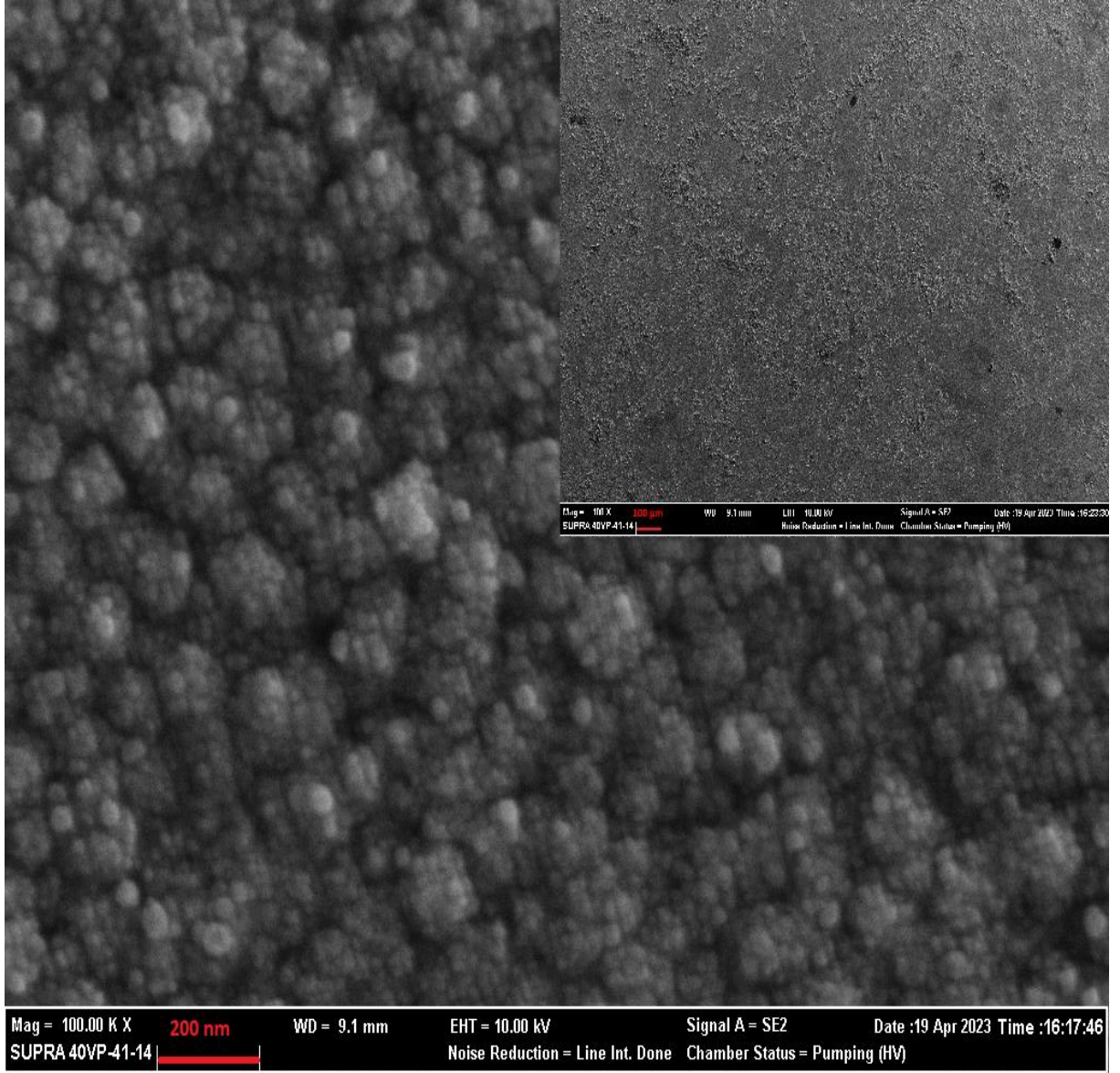
Şekil 3.16. D6'dan elde edilen filmin 100000X SEM görüntüsü



Şekil 3.17. D7'den elde edilen filmin 100000X SEM görüntüsü



Şekil 3.18. D8'den elde edilen filmin 100000X SEM görüntüsü

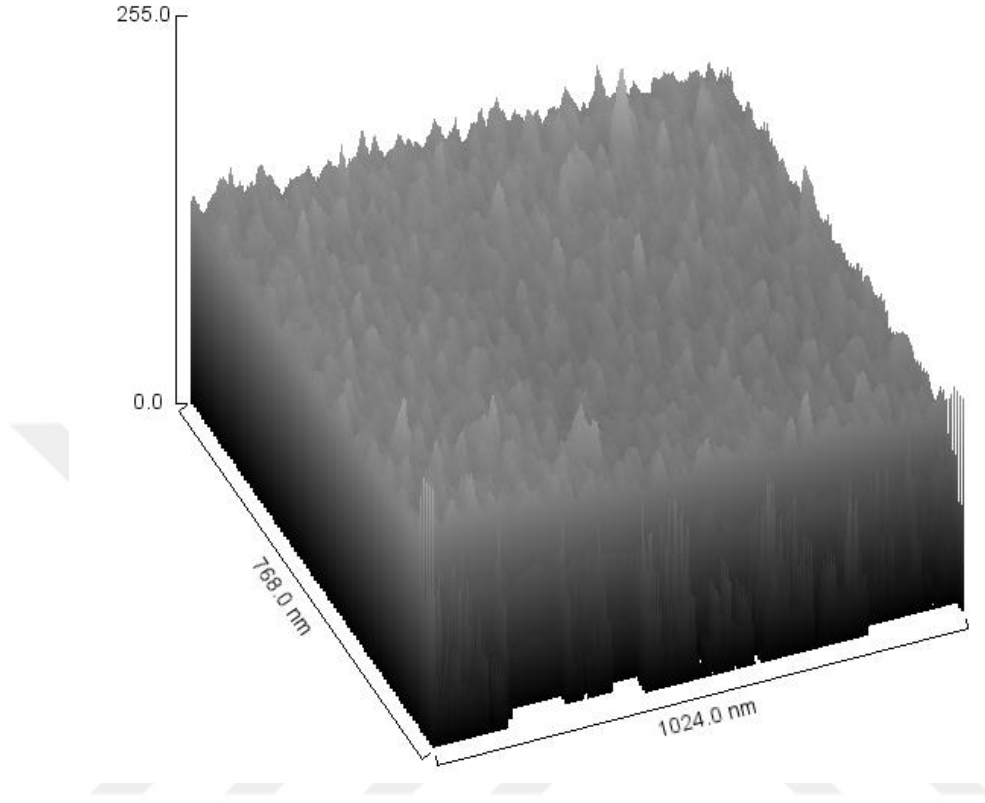


Şekil 3.19. D9’den elde edilen filmin 100000X SEM görüntüsü

3.1.5 CdS filmlerinin Yüzey Pürüzlülüğünün Belirlenmesi

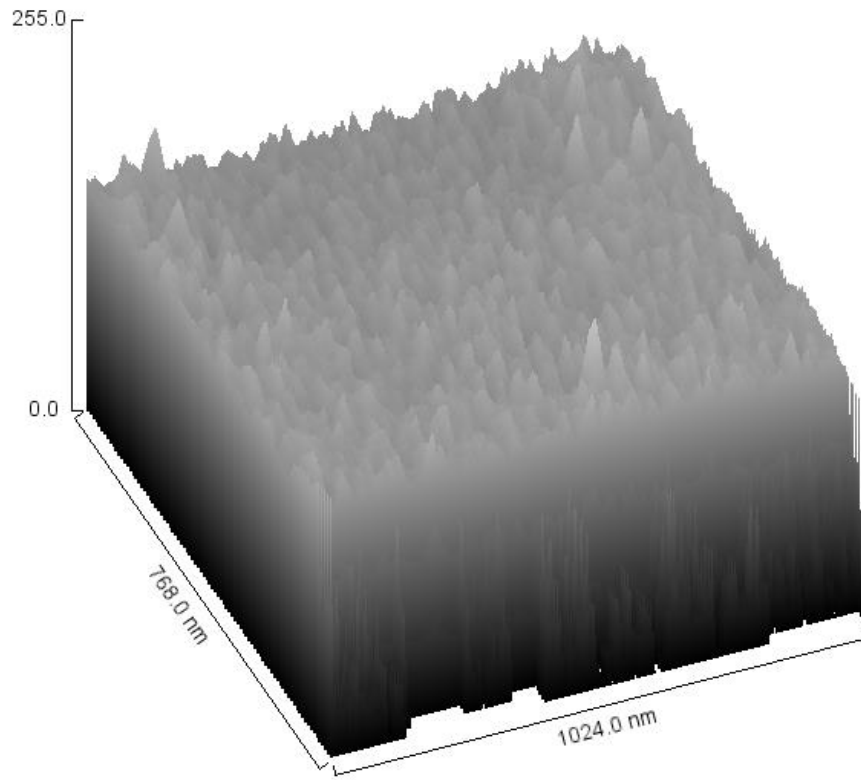
Yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesi için üretilen CdS filmlerin SEM görüntüleri Image J Software programında işlenmiştir ve yüzey derinlik katsayıları hesaplanmıştır. Yüzey derinlik katsayıları, Ortalama pürüzlülük değeri (R_a), on nokta pürüzlülüğü ortalama değeri (R_z), ortalama pürüzlülük karelerinin karekökü (R_q) değerleridir.

SET I'den üretilen tüm filmlere ait olan Image J Software görüntüleri sırasıyla, Şekil 3.20 ile 3.23 arasında verilmiştir. Aynı filmlere ait olan hesaplanan yüzey derinlik katsayıları Tablo 3.7'de gösterilmiştir.

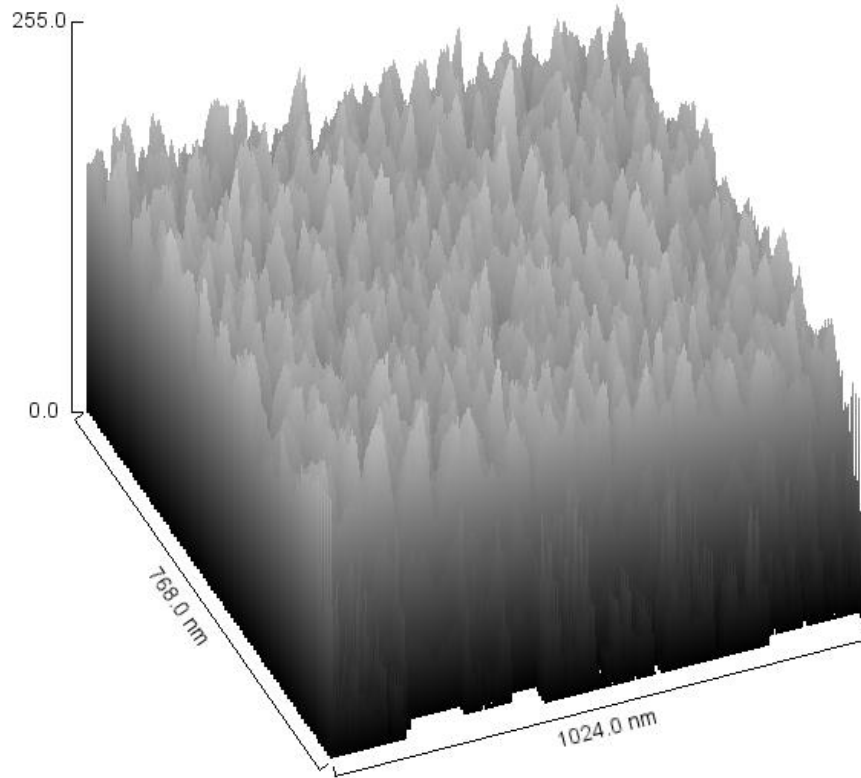


Şekil 3.20. D1'den elde edilen filmin olan Image J Software görüntüsü

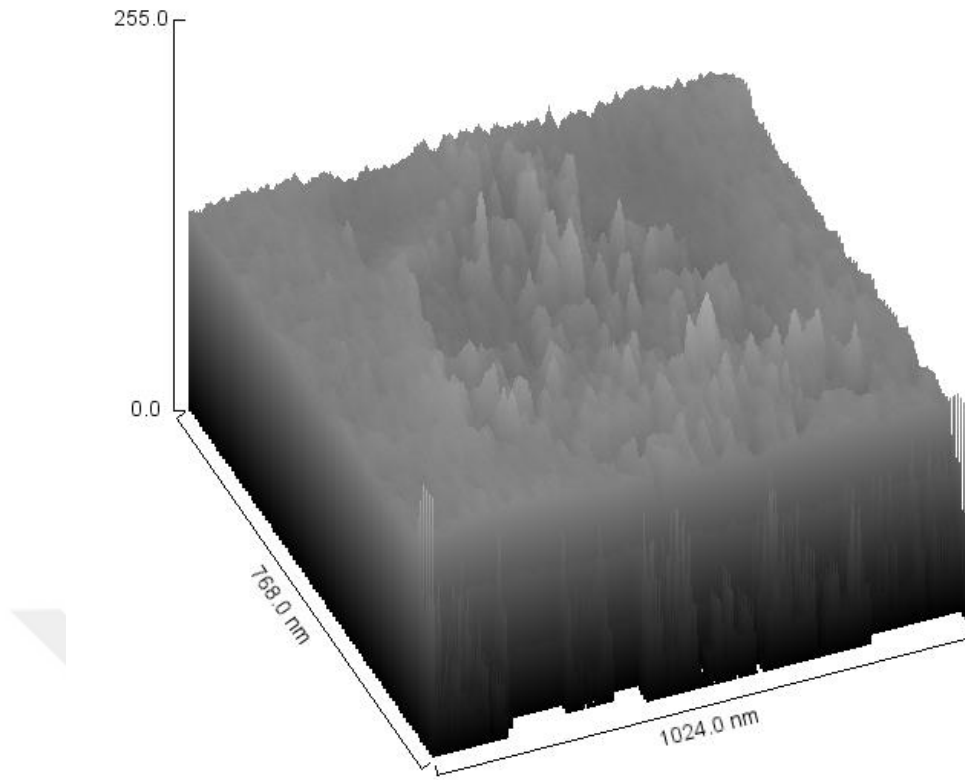
Tablo 3.7 incelendiğinde D3 filminin Ra ve Rq değerlerinin yüksek olduğu görülür. Ra değerinin yükselmesinin yüzey pürüzlülüğünün artmasına sebep olması düşünülmektedir (Tiryaki ,2014;Yamasa 2015;Özel ve Baydar,2016:1309). En düşük Ra ve Rq değerine sahip filmin D2 filmi olduğu raporlanmıştır.



Şekil 3.21. D2'den elde edilen filmin olan Image J Software görüntüsü



Şekil 3.22. D3'den elde edilen filmin olan Image J Software görüntüsü

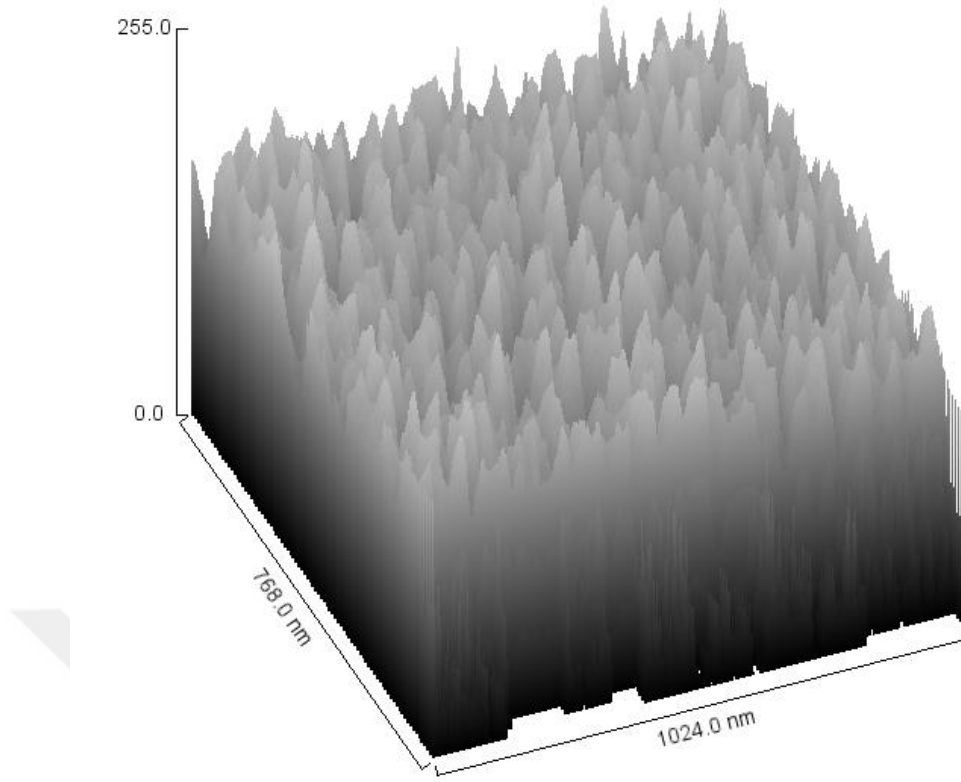


Şekil 3.23. D4'den elde edilen filmin olan Image J Software görüntüsü

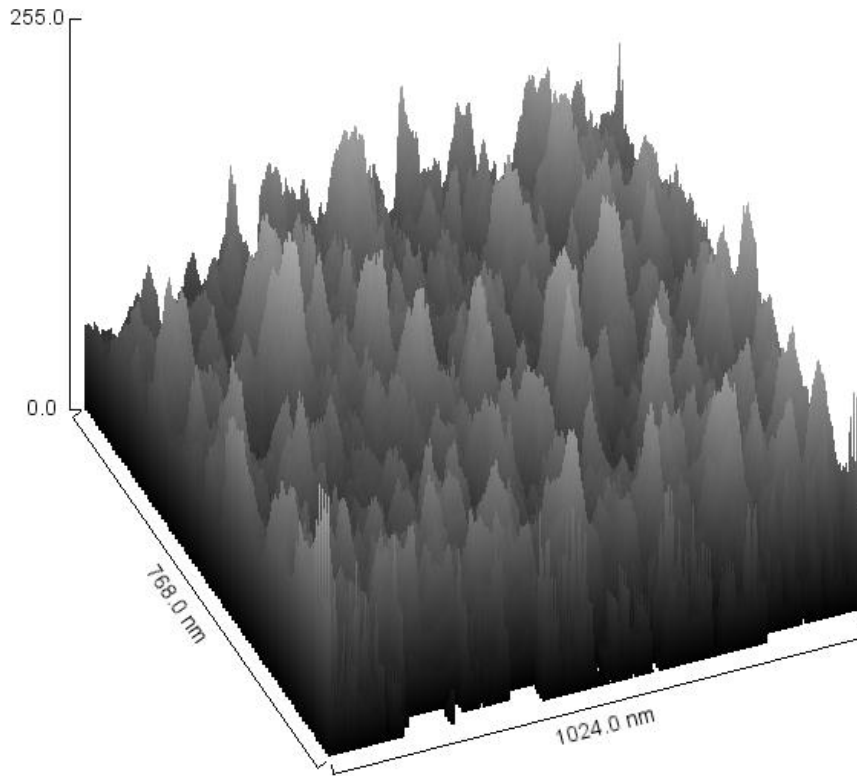
Tablo 3.7 SET I'den üretilen filmlere ait olan hesaplanan yüzey derinlik katsayıları

	Rq	Ra
D1	9,07	7,08
D2	8,27	6,55
D3	22,34	17,91
D4	9,35	7,33

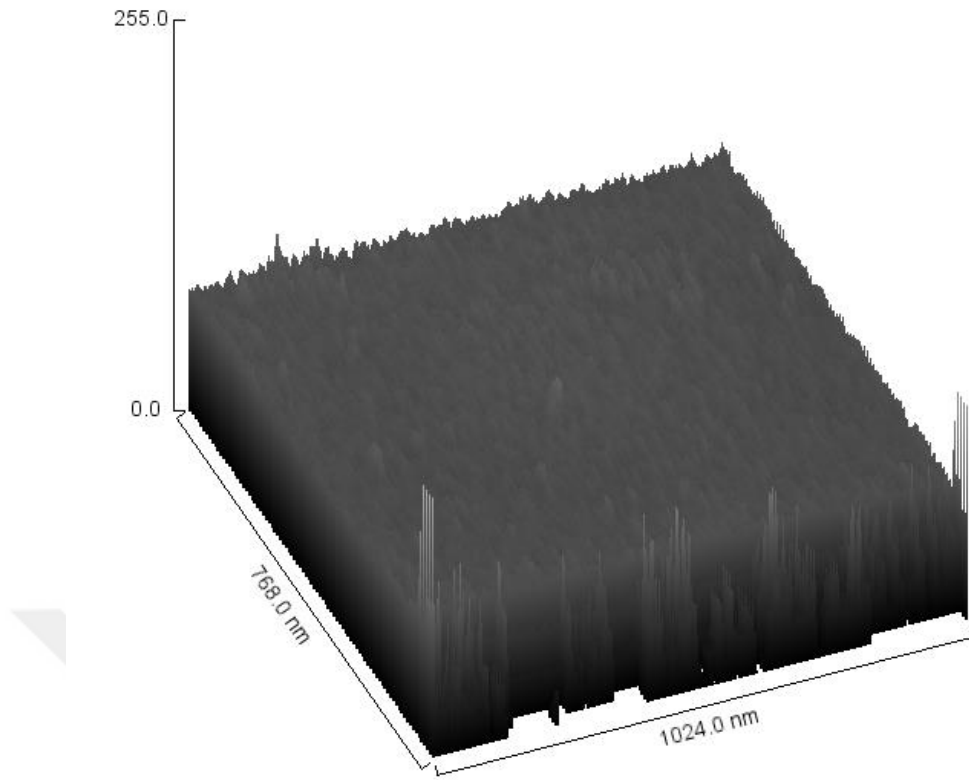
SET II'den üretilen tüm filmlere ait olan Image J Software görüntüleri sırasıyla, Şekil 3.24 ile 3.28 arasında verilmiştir. Aynı filmlere ait olan hesaplanan yüzey derinlik katsayıları Tablo 3.8'de gösterilmiştir. Tablo 3.8 incelendiğinde D5 ve D8 filmlerinin Ra ve Rq değerlerinin düşük olduğu görülmüştür. En düşük Ra ve Rq değeri D7 filmine ait olduğu raporlanmıştır.



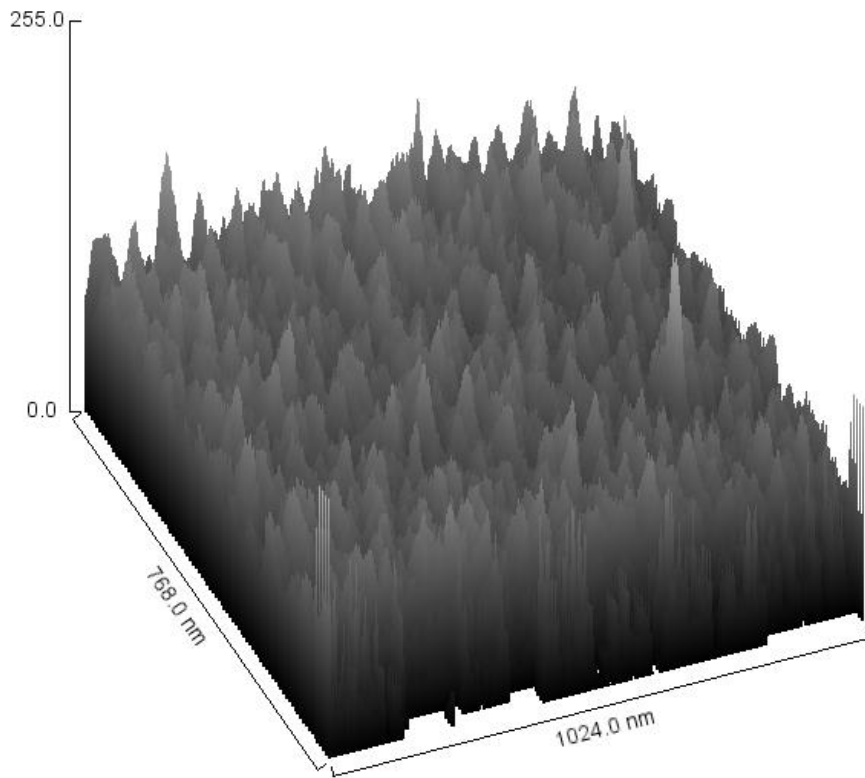
Şekil 3.24. D5'den elde edilen filmin olan Image J Software görüntüsü



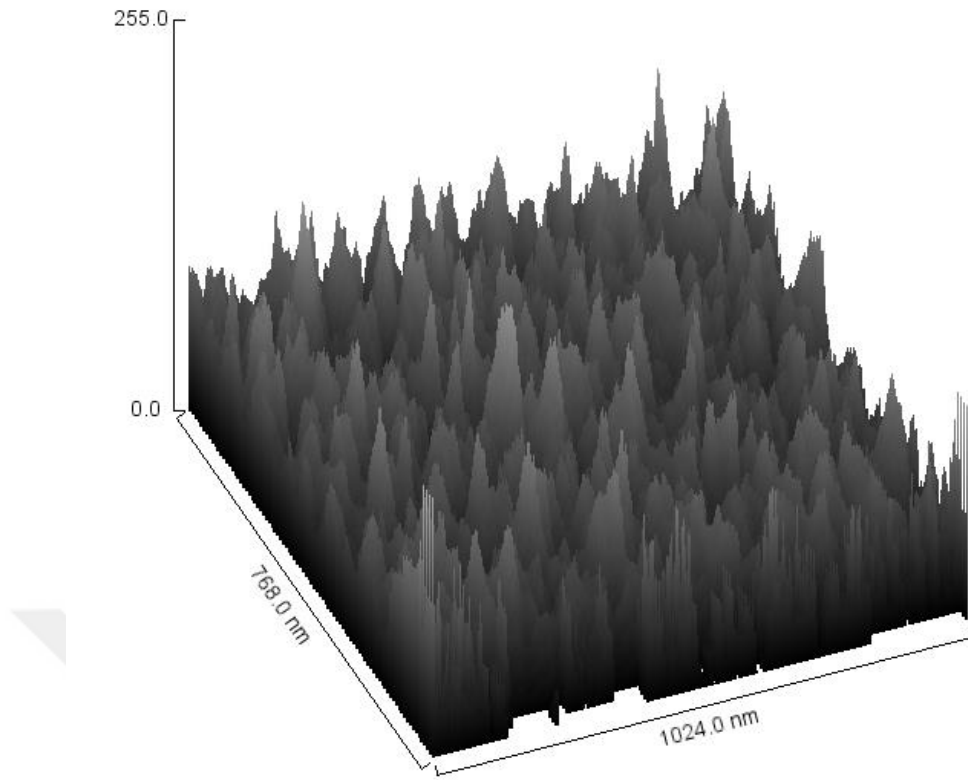
Şekil 3.25. D6'den elde edilen filmin olan Image J Software görüntüsü



Şekil 3.26. D7'den elde edilen filmin olan Image J Software görüntüsü



Şekil 3.27. D8'den elde edilen filmin olan Image J Software görüntüsü



Şekil 3.28. D9'dan elde edilen filmin olan Image J Software görüntüsü

Tablo 3.8. SET II'den üretilen filmlere ait olan hesaplanan yüzey derinlik katsayıları

	Rq	Ra
D5	21,47	17,53
D6	25,79	20,51
D7	7,61	5,96
D8	18,10	14,43
D9	21,23	16,77

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

CdS filimlerin üretimi esnasında farklı katodik potansiyel değerleri kullanılmıştır. Şekil 3.1 incelendiğinde D3 filminin $26,38^\circ$ ve $31,71^\circ$ açılara karşılık gelen (111) ve (002) yansıma düzlemlerine sahip olduğu $31,71^\circ$ açığa karşılık gelen XRD pikinin baskın pik olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca D3 filminde her hangi bir S veya Cd piklerine yada ara yapıya rastlanmamıştır. Bu sebepten dolayı elektrot pozisyonlarının değişimi ile film üretimim için katodik potansiyel değeri D3 filminin üretiminde kullanılan $-0,65$ V olarak belirlenmiştir. SET II içerisinde yer alan tüm filimlerin üretiminde bu katodik potansiyel değeri kullanılmıştır.

SET II için üretilen filimlerin XRD grafikleri incelendiğinde , D5 ve D8'den üretilen filimler hariç diğer tüm filimlerin Cd ve S piklerine sahip olduğu belirlenmiştir. D8 ve D5 filmlerinin elektrot pozisyonları incelendiğinde, çalışma elektrodu ile karşıt elektrot arasındaki mesafenin D8 filminde daha küçük değere sahip olduğu gözlenmiştir. Bu film için yüksek akım yoğunluğu beklenmektedir. Ancak aynı iki film için çalışma elektrodu ile referans elektrodu arasındaki mesafe karşılaştırıldığında D5 filminde daha küçük değere sahip olduğu görülür. Buna dayanarak bu filmde daha yüksek kristalleşme beklenir. Şekil 3.2 incelendiğinde D5 filminde kristalleşmenin daha baskın olduğu görülmektedir. Çalışma elektrotu ve referans elektrot arasındaki mesafe birbiriyle yaklaşık olarak aynı olan D6,D7 ve D8 filimleri incelendiğinde ise çalışma elektrodu ile karşıt elektrot arasındaki mesafe en az olan D8 filmindeki kristalleşmenin daha iyi olduğu ve bu filmde her hangi S veya Cd pikine rastlanmadığı raporlanmıştır.

Çalışma elektrodu ile referans elektrot arasındaki mesafenin en az olduğu D9 filmi için beklenen durum kristalleşmenin yüksek olmasıdır. Çünkü çalışma elektrodu referans elektrota ne kadar yaklaşırsa o kadar iyi elektrodpozisyon beklenir. Ancak bu durum gözlenmemiştir. Elektrodpozisyon işlemine karşıt elektrot çalışma elektrodu arasındaki mesafe ve karşıt elektrot ve referans elektrot arasındaki mesafelerinde etkisi büyüktür. Bu durumu açıklamak amacıyla D7 ve D9 filmlerinin XRD grafiklerin incelenmiştir.D7 ve D9 filmlerinin yaklaşık olarak çalışma elektrodu ile platin tel arasındaki mesafe aynıdır. Üretilen CdS filimlerin akım yoğunluğu zaman grafikleri incelendiğinde elektrot pozisyonu değişimiyle akım yoğunluğunu azaldığı belirlenmiştir. Bu durumla ilişkili olarak elektrot pozisyonu değişimiyle film kalınlıkları azalmıştır. Elektrot pozisyonları değiştirilerek daha ince film üretilebileceği sonucuna varılmıştır. Bunun sonucu D7 filmi D9 filmine göre daha iyi kristallenmiştir.

Üretilen filmlerin absorban dalgaları $h\nu$ 'ye karşı $(ah\nu)^2$ ve transmitans dalga boyu grafikleri incelendiğinde SET I'den üretilen filmler içinde D3 filminin absorban ve transmitans değerlerinin yüksek olduğu, aynı filmim yasak enerji aralığının 2,43 eV olduğu tespit edilmiştir. Bu değer literatürle uyumlu olduğu raporlanmıştır

SET II'den üretilen filmler incelendiğinde absorban ve transmitans değerlerinin elektrot pozisyonlarına bağlı olarak değiştiği görülmüştür. D5 ve D8'den elde edilen filmlerin yüksek absorban ve yüksek transmitans değerine sahip olduğu raporlanmıştır. D5 ve D8 filmlerinin sırasıyla yasak enerji aralığı değerleri 2,41 eV ve 2,12 eV olarak hesaplanmıştır. Ayrıca elektrot pozisyonu değiştikçe üretilen filmlerin yasak enerji aralığının değiştiği raporlanmıştır.

SEM görüntüleri incelendiğinde D3 filmindeki taneciklerin bir araya gelerek kümle oluşturduğu ve bu kümlelerin karnabahara benzer yapıda olduğu görülmüştür. Elektrot pozisyonları değiştirilerek üretim yapıldığında D5 ve D8 den üretilen filmlerin karnabahara benzeyen taneciklerinin büyüklüğü diğer SET II filmlerine kıyasla baskın biçimde büyüktür. Buna dayanarak elektrot pozisyonu değişimi tanecik büyüklüğünü etkilenmediği düşünülmektedir.

Üretilen filmlerin yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesi için SEM görüntüleri İmage J Software programında işlenmiştir ve yüzey derinlik katsayıları hesaplanmıştır. Sonuç olarak elektrot pozisyonu değiştikçe yüzey pürüzlülüğü değiştiği raporlanmıştır. Özellikle D8 ve D7 filmlerinde bu durum baskın bir biçimde görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü bu iki film için azalmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün azalması, üretilen bu filmleri güneş pili uygulamaları için daha uygun hale getirmektedir.

Bütün bu incelemeler ışığı altında seçilen elektrot pozisyonları içerisinde Kapak 1 ve Kapak 4 ile yapılan film üretimlerinin güneş pili uygulamaları için daha uygun olduğu ön görülmektedir.

KAYNAK

(Beşergil,2021:1) [<http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/devitrifikasyondevitrication.html>]

Abdul-Manaf, N. A., Echendu, O. K., Fauzi, F., Bowen, L., & Dharmadasa, I. M. (2014). Development of polyaniline using electrochemical technique for plugging pinholes in cadmium sulfide/cadmium telluride solar cells. *Journal of electronic materials*, 43, 4003-4010.

Abdul-Manaf, N. A., Salim, H. I., Madugu, M. L., Olusola, O. I., & Dharmadasa, I. M. (2019). Electro-plating and characterisation of CdTe thin films using CdCl₂ as the cadmium source. *Energies*, 8(10), 10883-10903.

Abdul-Manaf, N. A., Weerasinghe, A. R., Echendu, O. K., & Dharmadasa, I. M. (2016). Electro-plating and characterisation of cadmium sulphide thin films using ammonium thiosulphate as the sulphur source. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 26, 2418-2429.

Agnew, A., & Paterson, R. (1978). Transport in aqueous solutions of group IIB metal salts at 298.15 K. Part 6.—Irreversible thermodynamic parameters for zinc chloride and verification of Onsager's reciprocal relationships. *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions 1: Physical Chemistry in Condensed Phases*, 74, 2896-2906.

Akai, T., Kuraoka, K., Chen, D., Yamamoto, Y., Shirakami, T., Urabe, K., & Yazawa, T. (2005). Leaching Behavior of Sodium from Fine Particles of Soda–Lime–Silicate Glass in Acid Solution. *Journal of the American Ceramic Society*, 88(10), 2962-2965.

Akman, E., Akin, S., Karanfil, G., & Sönmezoğlu, S. (2013). Organik güneş pilleri. *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(1), 1-30.

Aktürk, C. (2013). ZnO nano sistemlerinin sentezlenmesi ve manyetik özelliklerinin elektron paramanyetik rezonans (EPR) spektroskopisi ile incelenmesi.

Allongue, P., & Souteyrand, E. (1990). Metal electrodeposition on semiconductors: Part I. Comparison with glassy carbon in the case of platinum deposition. *Journal of electroanalytical chemistry and interfacial electrochemistry*, 286(1-2), 217-237.

Altiocka, B., & Kiyak Yildirim, A. (2018). Electrodeposition of CdS thin films at various pH values. *Journal of the Korean Physical Society*, 72, 687-691.

- Anuar, K., Zulkarnain, Z., Saravanan, N., Nazri, M., & Sharin, R.** (2005). Effects of electrodeposition periods and solution temperatures towards the properties of CdS thin films prepared in the presence of sodium tartrate. *Materials Science*, 11(2), 101-104.
- Atapattu, H. Y. R., De Silva, D. S. M., Pathiratne, K. A. S., & Dharmadasa, I. M.** (2016). Effect of stirring rate of electrolyte on properties of electrodeposited CdS layers. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 27, 5415-5421.
- Aydoğan, Ş.** (2014). *Katıhal fiziği*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Bal İ.** (2019) *Kimyasal Banyo Biriktirme Yöntemiyle Üretilen CdS İnce Filmlerin Optiksel, Yapısal Özelliklerinin ve Morfolojisinin Nanokarakterizasyonu* Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Basol, B. M.** (1988). Electrodeposited CdTe and HgCdTe solar cells. *Solar Cells*, 23(1-2), 69-88.
- Berger, H., Niebsch, H. H., & Szczerbakow, A.** (1985). Lattice parameters in the solid-solution system PbS_xSe_{1-x}. *Crystal Research and Technology*, 20(1), K8-K10.
- Bosio, A., Romeo, N., Mazzamuto, S., & Canevari, V.** (2006). Polycrystalline CdTe thin films for photovoltaic applications. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, 52(4), 247-279.
- Calzadilla, O., Hernandez, E., Larramendi, E. M., Caballero-Briones, F., Zapata-Torres, M., Meléndez-Lira, M., & Zapata-Navarro, A.** (2005). Chemical bath deposited CdS films using magnetic treated solutions. *physica status solidi (b)*, 242(9), 1933-1936.
- Cardona, M. ve Yu, P. Y.** (2011). Optical Properties of Semiconductors. *Comprehensive Semiconductor Science and Technology*, 1–6, 125–195. doi:10.1016/B978-0-44-453153-7.00073-0
- Caro, C.** (2015). Uv/vis spectrophotometry–fundamentals and application. *Mettler-Toledo Publication*.
- Chaure, N. B., Samantilleke, A. P., & Dharmadasa, I. M.** (2003). The effects of inclusion of iodine in CdTe thin films on material properties and solar cell performance. *Solar energy materials and solar cells*, 77(3), 303-317.

- Chaure, N. B., Samantilleke, A. P., & Dharmadasa, I. M.** (2003). The effects of inclusion of iodine in CdTe thin films on material properties and solar cell performance. *Solar energy materials and solar cells*, 77(3), 303-317.
- Chaure, N. B., Samantilleke, A. P., Burton, R. P., Young, J., & Dharmadasa, I. M.** (2005). Electrodeposition of p+, p, i, n and n+-type copper indium gallium diselenide for development of multilayer thin film solar cells. *Thin Solid Films*, 472(1-2), 212-216.
- Chaure, N. B., Young, J., Samantilleke, A. P., & Dharmadasa, I. M.** (2004). Electrodeposition of p-i-n type CuInSe₂ multilayers for photovoltaic applications. *Solar energy materials and solar cells*, 81(1), 125-133.
- Chaure, N. B., Young, J., Samantilleke, A. P., & Dharmadasa, I. M.** (2004). Electrodeposition of p-i-n type CuInSe₂ multilayers for photovoltaic applications. *Solar energy materials and solar cells*, 81(1), 125-133.
- Cunningham, D., Rubcich, M., & Skinner, D.** (2002). Cadmium telluride PV module manufacturing at BP Solar. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 10(2), 159-168.
- Çoşgun, A., Taşcıoğlu, A., & Yılmaz, G.** (2021). İnce Film Üretiminde Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi ve Çeşitleri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(2), 351-363.
- Das, S. K., & Morris, G. C.** (1993). Preparation and characterisation of electrodeposited n-CdS/p-CdTe thin film solar cells. *Solar energy materials and solar cells*, 28(4), 305-316.
- Das, S. K., & Morris, G. C.** (1993). Preparation and characterisation of electrodeposited n-CdS/p-CdTe thin film solar cells. *Solar energy materials and solar cells*, 28(4), 305-316.
- Davis, J.R.** (2004). Termal püskürtme teknolojisi el kitabı . ASM uluslararası.
- De Alwis, A. C. S., Atapattu, H. Y. R., & De Silva, D. S. M.** (2018). Influence of the type of conducting glass substrate on the properties of electrodeposited CdS and CdTe thin films. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29, 12419-12428.
- Delsol, T., Samantilleke, A. P., Chaure, N. B., Gardiner, P. H., Simmonds, M., & Dharmadasa, I. M.** (2004). Experimental study of graded bandgap Cu (InGa)(SeS)₂ thin films grown on glass/molybdenum substrates by selenization and sulphidation. *Solar energy materials and solar cells*, 82(4), 587-599.

Dharmadasa, I. M., & Ojo, A. A. (2017). Unravelling complex nature of CdS/CdTe based thin film solar cells. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28, 16598-16617.

Dharmadasa, I. M., Bingham, P. A., Echendu, O. K., Salim, H. I., Druffel, T., Dharmadasa, R., & Abbas, A. (2014). Fabrication of CdS/CdTe-based thin film solar cells using an electrochemical technique. *Coatings*, 4(3), 380-415.

Dharmadasa, I. M., Burton, R. P., & Simmonds, M. (2006). Electrodeposition of CuInSe₂ layers using a two-electrode system for applications in multi-layer graded bandgap solar cells. *Solar energy materials and solar cells*, 90(15), 2191-2200.

Dharmadasa, I. M., Chaure, N. B., Tolan, G. J., & Samantilleke, A. P. (2007). Development of p+, p, i, n, and n+-type CuInGaSe₂ layers for applications in graded bandgap multilayer thin-film solar cells. *Journal of the Electrochemical Society*, 154(6), H466-H471

Dharmadasa, I. M., Echendu, O. K., Fauzi, F., Abdul-Manaf, N. A., Olusola, O. I., Salim, H. I., & Ojo, A. A. (2017). Improvement of composition of CdTe thin films during heat treatment in the presence of CdCl₂. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28, 2343-2352.

Dharmadasa, I. M., Echendu, O. K., Fauzi, F., Abdul-Manaf, N. A., Salim, H. I., Druffel, T., & Lavery, B. (2015). Effects of CdCl₂ treatment on deep levels in CdTe and their implications on thin film solar cells: A comprehensive photoluminescence study. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 26, 4571-4583.

Dharmadasa, I. M., Madugu, M. L., Olusola, O. I., Echendu, O. K., Fauzi, F., Diso, D. G., ... & Sumanasekera, G. (2017). Electroplating of CdTe thin films from cadmium sulphate precursor and comparison of layers grown by 3-electrode and 2-electrode systems. *Coatings*, 7(2), 17.

Dharmadasa, I. M., Samantilleke, A. P., Young, J., Boyle, M. H., Bacewicz, R., & Wolska, A. (1999). Electrodeposited p-type and n-type ZnSe layers for light emitting devices and multi-layer tandem solar cells. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 10, 441-445.

Diso, D. G., Muftah, G. E. A., Patel, V., & Dharmadasa, I. M. (2010). Growth of CdS layers to develop all-electrodeposited CdS/CdTe thin-film solar cells. *Journal of the electrochemical society*, 157(6), H647.

Echendu, O. K., Okeoma, K. B., Oriaku, C. I., & Dharmadasa, I. M. (2016). Electrochemical deposition of CdTe semiconductor thin films for solar cell application using

two-electrode and three-electrode configurations: A comparative study. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016.

Ehl, R. G., & Ihde, A. J. (1954). Faraday's electrochemical laws and the determination of equivalent weights. *Journal of Chemical Education*, 31(5), 226.

Ferekides, C. S., Marinskiy, D., Viswanathan, V., Tetali, B., Palekis, V., Selvaraj, P., & Morel, D. L. (2000). High efficiency CSS CdTe solar cells. *Thin Solid Films*, 361, 520-526.

Geohegan, D. B., Chrisey, D. B., & Hubler, G. K. (1994). Pulsed laser deposition of thin films. *Chrisey and GK Hubler (eds), Wiley, New York*, 59-69.

Gómez-Barojas, E., Silva-González, R., & Pantoja-Enríquez, J. (2006). Determination of the interdiffusion coefficient for the CdS/CdTe heterostructure by AES sputter depth profiling. *Solar energy materials and solar cells*, 90(15), 2235-2240.

Göde, F., & Ünlü, S. (2019). Synthesis and characterization of CdS window layers for PbS thin film solar cells. *Materials science in semiconductor processing*, 90, 92-100.

Hashimoto, Y., Kohara, N., Negami, T., Nishitani, N., & Wada, T. (1998). Chemical bath deposition of Cds buffer layer for GIGS solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 50(1-4), 71-77.

Heideman, R. G., Lambeck, P. V., & Gardeniers, J. G. (1995). High quality ZnO layers with adjustable refractive indices for integrated optics applications. *Optical Materials*, 4(6), 741-755.

Hiie, J., Dedova, T., Valdna, V., & Muska, K. (2006). Comparative study of nano-structured CdS thin films prepared by CBD and spray pyrolysis: annealing effect. *Thin Solid Films*, 511, 443-447.

Hillel, D. (2005) Water properties. In *Encyclopedia of Soils in the Environment*; Academic Press: Cambridge, MA, USA, pp. 290–300.

Hosokawa, M., Nogi, K., Naito, M., Yokoyama, T., Masuo, H., Kiyoshi, N., ... & Toyokaz, U. (2007). Development of new cosmetics based on nanoparticles. *Nanoparticle Technology Handbook. Elsevier Science & Technology Books*, 521-527.

Huang, C., Chuang, C., Hsu, F., & Li, K. (2017). The properties of ZnO deposits electroplated on an ITO glass substrate with direct-and pulse currents. *Int. J. Mater. Mech. Manuf*, 5, 1-5.

- Jambure, S. B., Patil, S. J., Deshpande, A. R., & Lokhande, C. D.** (2014). A comparative study of physico-chemical properties of CBD and SILAR grown ZnO thin films. *Materials research bulletin*, 49, 420-425.
- Kafi, F. S. B., Jayathileka, K. M. D. C., Wijesundera, R. P., & Siripala, W.** (2018). Effect of Bath pH on Interfacial Properties of Electrodeposited n-Cu₂O Films. *physica status solidi (b)*, 255(6), 1700541.
- Kıyak Yıldırım, A.** (2015). Electrodeposition of CdS thin films under a magnetic field. *Materiali in tehnologije*, 52(5).
- Kim, D., Pozder, S., Zhu, Y., & Trefny, J. U.** (1994, December). Polycrystalline thin film CdTe solar cells fabricated by electrodeposition. In *Proceedings of 1994 IEEE 1st World Conference on Photovoltaic Energy Conversion-WCPEC (A Joint Conference of PVSC, PVSEC and PSEC)* (Vol. 1, pp. 334-337). IEEE.
- Kostoglou, M., Andritsos, N., & Karabelas, A. J.** (2000). Modeling thin film CdS development in a chemical bath deposition process. *Industrial & engineering chemistry research*, 39(9), 3272-3283.
- Kum, M. C., Yoo, B. Y., Rheem, Y. W., Bozhilov, K. N., Chen, W., Mulchandani, A., & Myung, N. V.** (2008). Synthesis and characterization of cadmium telluride nanowire. *Nanotechnology*, 19(32), 325711.
- Küpeli, A. Ö.** (2005). Güneş pilleri ve verimleri. *Osmangazi Üniversitesi, Fen bilimleri, enstitüsü Yüksek lisans tezi*.
- Lazos, C. G., Rosendo, E., Ortega, M., Oliva, A. I., Tapia, O., Díaz, T., ... & Rubín, M.** (2009). Structural analysis of CdS thin films obtained by multiple dips of oscillating chemical bath. *Materials Science and Engineering: B*, 165(1-2), 74-76.
- Li, X., Yin, Y., & Dong, X.** (2007). Effect of pH value on the structures and optical properties of chemical bath deposition cadmium sulfide thin films. In *2007 IEEE International Conference on Solid Dielectrics* (pp. 270-273). IEEE.
- Lincot, D.** (2005). Electrodeposition of semiconductors. *Thin solid films*, 487(1-2), 40-48.
- Lincot, D., Froment, M., & Cachet, H.** (1999). Chemical deposition of chalcogenide thin films from solution. *Advances in electrochemical science and engineering*, 6, 165-235.

- Londhe, P. U., & Chaure, N. B.** (2012). Effect of pH on electrodeposited ZnO thin films. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1447, No. 1, pp. 671-672). American Institute of Physics.
- Madugu, M. L., Bowen, L., Echendu, O. K., & Dharmadasa, I. M.** (2014). Preparation of indium selenide thin film by electrochemical technique. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 25, 3977-3983.
- Madugu, M. L., Olusola, O. I. O., Echendu, O. K., Kadem, B., & Dharmadasa, I. M.** (2016). Intrinsic doping in electrodeposited ZnS thin films for application in large-area optoelectronic devices. *Journal of Electronic Materials*, 45, 2710-2717.
- Mane, R. S., & Lokhande, C. D.** (2000). Chemical deposition method for metal chalcogenide thin films. *Materials Chemistry and physics*, 65(1), 1-31.
- Marturi, N., Dembélé, S., & Piat, N.** (2012). Performance Evaluation of Scanning Electron Microscopes using Signal-to-Noise Ratio. In *The 8th International Workshop on MicroFactories, IWMF'12*. (pp. 1-6).
- 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 μ c-SiC/polycrystalline silicon heterojunction. *Journal of applied physics*, 67(10), 6538-6543.
- McHardy, J.; Ludwig, F.** (1992) *Electrochemistry of Semiconductors and Electronics: Processes and Devices*; William Andrew: Norwich, NY, USA; ISBN 9780815513018.
- Meulenkamp, E. A., & Peter, L. M.** (1996). Mechanistic aspects of the electrodeposition of stoichiometric CdTe on semiconductor substrates. *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions*, 92(20), 4077-4082.
- Mote, V. D., Purushotham, Y., & Dole, B. N.** (2012). Williamson-Hall analysis in estimation of lattice strain in nanometer-sized ZnO particles. *Journal of theoretical and applied physics*, 6, 1-8.
- Moutinho, H. R., Albin, D., Yan, Y., Dhere, R. G., Li, X., Perkins, C., ... & Al-Jassim, M. M.** (2003). Deposition and properties of CBD and CSS CdS thin films for solar cell application. *Thin Solid Films*, 436(2), 175-180.
- 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.

- Nasr, T. B., Kamoun, N., Kanzari, M., & Bennaceur, R.** (2006). Effect of pH on the properties of ZnS thin films grown by chemical bath deposition. *Thin solid films*, 500(1-2), 4-8.
- Ng, J. H. G., Record, P. M., Shang, X., Wlodarczyk, K. L., Hand, D. P., Schiavone, G., ... & Desmulliez, M. P.** (2015). Optimised co-electrodeposition of Fe–Ga alloys for maximum magnetostriction effect. *Sensors and Actuators A: Physical*, 223, 91-96.
- Niesen, T. P., & De Guire, M. R.** (2001). Deposition of ceramic thin films at low temperatures from aqueous solutions. *Journal of Electroceramics*, 6, 169-207.
- Ojo, A. A.** (2017). *Engineering of electroplated materials for multilayer next generation graded bandgap solar cells* (Doctoral dissertation, Sheffield Hallam University).
- Ojo, A. A., & Dharmadasa, I. M.** (2015). Electrodeposition of fluorine-doped cadmium telluride for application in photovoltaic device fabrication. *Materials Research Innovations*, 19(7), 470-476.
- Ojo, A. A., & Dharmadasa, I. M.** (2016a). 15.3% efficient graded bandgap solar cells fabricated using electroplated CdS and CdTe thin films. *Solar Energy*, 136, 10-14.
- Ojo, A. A., & Dharmadasa, I. M.** (2016b). Investigation of electronic quality of electrodeposited cadmium sulphide layers from thiourea precursor for use in large area electronics. *Materials Chemistry and Physics*, 180, 14-28.
- Ojo, A. A., & Dharmadasa, I. M.** (2016c). The effect of fluorine doping on the characteristic behaviour of CdTe. *Journal of Electronic Materials*, 45, 5728-5738.
- Ojo, A. A., & Dharmadasa, I. M.** (2017a). Analysis of electrodeposited CdTe thin films grown using cadmium chloride precursor for applications in solar cells. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28, 14110-14120.
- Ojo, A. A., & Dharmadasa, I. M.** (2017b). Effect of gallium doping on the characteristic properties of polycrystalline cadmium telluride thin film. *Journal of Electronic Materials*, 46, 5127-5135.
- Ojo, A. A., & Dharmadasa, I. M.** (2017c). Optimisation of pH of cadmium chloride post-growth-treatment in processing CdS/CdTe based thin film solar cells. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28, 7231-7242.

Ojo, A. A., & Dharmadasa, I. M. (2018a). Electroplating of semiconductor materials for applications in large area electronics: A review. *Coatings*, 8(8), 262.

Ojo, A. A., & Dharmadasa, I. M. (2018b). Optimisation of pH of the $\text{CdCl}_2 + \text{Ga}_2(\text{SO}_4)_3$ activation step of CdS/CdTe based thin-film solar cells. *Solar Energy*, 170, 398-405.

Ojo, A. A., Salim, H. I., Olusola, O. I., Madugu, M. L., & Dharmadasa, I. M. (2017). Effect of thickness: a case study of electrodeposited CdS in CdS/CdTe based photovoltaic devices. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28, 3254-3263.

Olusola, O. I., Madugu, M. L., Abdul-Manaf, N. A., & Dharmadasa, I. M. (2016). Growth and characterisation of n-and p-type ZnTe thin films for applications in electronic devices. *Current Applied Physics*, 16(2), 120-130.

Olusola, O. I., Madugu, M. L., Abdul-Manaf, N. A., & Dharmadasa, I. M. (2016). Growth and characterisation of n-and p-type ZnTe thin films for applications in electronic devices. *Current Applied Physics*, 16(2), 120-130.

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).

ÖZEL, C. ve BAYDAR, U. (2016). Onarım ve güçlendirmede kullanılan polimer betonların aderans özelliklerinin beton yüzey karakteristikleri ile ilişkileri. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 8 (3), 46-61.

Pandey, J., Khare, R., Khare, S., & Singh, D. (2015). Solar cell harvesting: green renewable technology of future. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Applied Sciences*, 4(11), 93-103.

Panicker, M. P. R., Knaster, M., & Kroger, F. A. (1978). Cathodic deposition of CdTe from aqueous electrolytes. *Journal of the Electrochemical Society*, 125(4), 566-572

Paterson, R., & Devine, C. (1980). Transport in aqueous solutions of Group IIB metal salts. Part 7.—Measurement and prediction of isotopic diffusion coefficients for iodide in solutions of cadmium iodide. *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions 1: Physical Chemistry in Condensed Phases*, 76, 1052-1061.

Paterson, R.; Anderson, J.; Anderson, S.S. Lutfullah transport in aqueous solutions of group IIB metal salts at 298.15 K. Part 2—Interpretation and prediction of transport in dilute solutions

of cadmium iodide: An irreversible thermodynamic analysis. *J. Chem. Soc. Faraday Trans. 1 Phys. Chem. Condens. Phases* 1977, 73, 1773–1778.

Popescu, V., Pică, E. M., Pop, I., & Grecu, R. (1999). Optical properties of cadmium sulfide thin films, chemically deposited from baths containing surfactants. *Thin solid films*, 349(1-2), 67-70.

Quinonez-Urias, D., Vera-Marquina, A., Berman-Mendoza, D., Leal-Cruz, A. L., García-Delgado, L. A., Zaldívar-Huerta, I. E., ... & Gómez-Fuentes, R. (2014). Annealing effect on structural, morphological, and optical behaviors of CBD-CdS nanostructured films for solar cells. *Optical Materials Express*, 4(11), 2280-2289.

Rami, M., Benamar, E., Fahoume, M., & Ennaoui, A. (1999). Growth analysis of electrodeposited CdS on ITO coated glass using atomic force microscopy. *Physica status solidi (a)*, 172(1), 137-147.

Razeghi, M. (2009). *Fundamentals of Solid State Engineering*. Boston, MA: Springer US. doi:10.1007/978-0-387-92168-6

Ren, X., Zhao, G., Li, H., Wu, W., & Han, G. (2008). The effect of different pH modifier on formation of CdS nanoparticles. *Journal of alloys and compounds*, 465(1-2), 534-539.

Rios-Flores, A., Pena, J. L., Castro-Pena, V., Ares, O., Castro-Rodríguez, R., & Bosio, A. (2010). A study of vapor CdCl₂ treatment by CSS in CdS/CdTe solar cells. *Solar Energy*, 84(6), 1020-1026.

Salazar, Y. A., Patiño, R., Peña, J. L., Cauich, W., & Oliva, A. I. (2006). Physical properties of CdS/ITO thin films growth by CBD technique with substrate oscillating agitation. *Brazilian Journal of Physics*, 36, 1058-1061.

Salim, H. I., Olusola, O. I., Ojo, A. A., Urasov, K. A., Dergacheva, M. B., & Dharmadasa, I. M. (2016). Electrodeposition and characterisation of CdS thin films using thiourea precursor for application in solar cells. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 27, 6786-6799.

Salim, H. I., Patel, V., Abbas, A., Walls, J. M., & Dharmadasa, I. M. (2015). Electrodeposition of CdTe thin films using nitrate precursor for applications in solar cells. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 26, 3119-3128.

- Samantilleke, A. P., Boyle, M. H., Young, J., & Dharmadasa, I. M.** (1998). Growth of n-type and p-type ZnSe thin films using an electrochemical technique for applications in large area optoelectronic devices. *Journal of Materials Science: materials in electronics*, 9, 231-235.
- Schiavone, G., Murray, J., Perry, R., Mount, A. R., Desmulliez, M. P., & Walton, A. J.** (2017). Integration of electrodeposited Ni-Fe in MEMS with low-temperature deposition and Etch processes. *Materials*, 10(3), 323.
- Schiavone, G., Murray, J., Smith, S., Desmulliez, M. P. Y., Mount, A. R., & Walton, A. J.** (2016). A wafer mapping technique for residual stress in surface micromachined films. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 26(9), 095013.
- Schnitzer, M. J.** (1993). Theory of continuum random walks and application to chemotaxis. *Physical Review E*, 48(4), 2553.
- Schwartz, M.** (1994), "Deposition technologies for films and coating," (R. Bunshah), New Jersey
- 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.
- Soundeswaran, S., Kumar, O. S., & Dhanasekaran, R.** (2004). Effect of ammonium sulphate on chemical bath deposition of CdS thin films. *Materials letters*, 58(19), 2381-2385.
- Sönmezoğlu, S., Koç, M. ve Akın S.** (2012). İnce film üretim stili. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi , 28 (5), 389-404
- Sun, J., Zhong, D. K., & Gamelin, D. R.** (2010). Composite photoanodes for photoelectrochemical solar water splitting. *Energy & Environmental Science*, 3(9), 1252-1261.
- Temel, S., Nebi, M. ve Peker, D.** (2017). Sol- Gel Döndürerek Kaplama Tekniği ile Saydam İletken Zn O İnce Filmlerin Üretilmesi ve Karakterizasyonu, 5(3), 51–59.
- Thomas, B., Deepa, S., & Prasanna Kumari, K.** (2019). Influence of surface defects and preferential orientation in nanostructured Ce-doped SnO₂ thin films by nebulizer spray deposition for lowering the LPG sensing temperature to 150° C. *Ionics*, 25, 809-826.
- Tiryaki, S.** (2014). Odunun işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü üzerine etkili faktörler. *Turkish Journal of Forestry*, 15(2), 176-182.
- Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N. ve Gekas, V.** (2005). Güneş enerjisi teknolojilerinin çevresel etkileri. *Enerji politikası* , 33 (3), 289-296.

Turner, A. K., Woodcock, J. M., Özsan, M. E., Cunningham, D. W., Johnson, D. R., Marshall, R. J., ... & Walls, I. A. (1994). BP solar thin film CdTe photovoltaic technology. *Solar energy materials and solar cells*, 35, 263-270.

Vázquez-Luna, J., Flores, R. L., Rubin-Falfán, M., Gómez-Pavón, L. D. C., Lozada-Morales, R., Juárez-Santiesteban, H., ... & González, A. (1998). CdS thin-films deposited by a modified chemical-bath deposition method. *Journal of crystal growth*, 187(3-4), 380-386.

Vigil, O., Rodriguez, Y., Zelaya-Angel, O., Vazquez-Lopez, C., Morales-Acevedo, A., & Vazquez-Luna, J. G. (1998). Properties of CdS thin films chemically deposited in the presence of a magnetic field. *Thin Solid Films*, 322(1-2), 329-333.

Wellings, J. S., Chaure, N. B., Heavens, S. N., & Dharmadasa, I. M. (2008). Growth and characterisation of electrodeposited ZnO thin films. *Thin solid films*, 516(12), 3893-3898.

Wu, W., Eliaz, N., & Gileadi, E. (2014). The effects of pH and temperature on electrodeposition of Re-Ir-Ni coatings from aqueous solutions. *Journal of The Electrochemical Society*, 162(1), D20.

Yamaguchi, K., Yoshida, T., Sugiura, T., & Minoura, H. (1998). A novel approach for CdS thin-film deposition: electrochemically induced atom-by-atom growth of CdS thin films from acidic chemical bath. *The Journal of Physical Chemistry B*, 102(48), 9677-9686.

Yamasa, (2015). Yüzey Ölçüm Parametreleri.

[Erişim:09.10.2015,<http://yamasa.com.tr/242/1/4/yamasa/yuzeyolcumparametreleri.as>]

Yavuz, F. (2021). *Elektrodepozisyon yöntemi ile üretilen ve güneş pili üretimine uygun olan CdSe/PbS hetero yapıların bazı fiziksel özellikleri* (Master's thesis, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).