



**T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ
SONUÇ RAPORU**

**CdSe/CdTe GÜNEŞ PİLLERİNİ ELEKTRODEPOZİSYON YÖNTEMİ İLE
ÜRETMEK**

PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ: Dr. Öğr. Üyesi Barış ALTIOKKA

ARAŞTIRMACILAR: Dr. Öğr. Üyesi Ayça KIYAK YILDIRIM

BAŞLAMA TARİHİ: 02.07.2018

BİTİŞ TARİHİ: 01.01.2019

**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
BİLECİK, 2020**

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

İÇİNDEKİLER	
TABLOLAR DİZİNİ	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
1. LİTERATÜR TARAMASI	1
2. BAP DÖNEMİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR	7
2.1. Kullanılan malzemeler.....	7
2.2. Yapılan çalışmalar.....	7
3. DENEYSEL SONUÇLAR	9
3.1. Film üretimi.....	9
3.2 Film Karakterizasyonu.....	12
3.2.1. Optik Analizler	12
3.2.2. SEM Analizleri	22
3.2.3. XRD Analizleri, Film Kalınlığı ve Film Tipleri.....	35
3. MALİ ETKİNLİKLER	35
4. SONUÇ	36
KAYNAKLAR	37

TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. SET I’de üretilen CdSe filmlerinin büyütme parametreleri	11
Tablo 2. SET II’de üretilen CdSe filmlerinin büyütme parametreleri	11
Tablo 3. SET III’de üretilen CdSe filmlerinin büyütme parametreleri	11
Tablo 4. SET IV’de üretilen CdTe filmlerinin büyütme parametreleri	12
Tablo 5. SET V’de üretilen CdTe filmlerinin büyütme parametreleri	12

ÖZET

Bu çalışmadaki amaç güneş pilleri olan CdSe/CdTe filmleri üretebilmektir. Üretim işlemi için Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Meslek Yüksekokulunda bulunan potansiyostat/galvanostat cihazı kullanılacaktır. Üretilen CdSe/CdTe filmlerin büyütme şartları literatüre göre değiştirilerek en iyi sonuçlar araştırılacaktır. Çalışmanın sonucunda üretilen CdSe/CdTe filmlerin yapısal ve optik analizleri sırasıyla XRD, SEM - EDX, UV analizleri yapılarak incelenecek ve kaliteli hücre oluşma koşulları belirlenecektir.

Anahtar kelimeler:Elektrokimyasal depozisyon, CdS/CdTe, XRD, SEM - EDX, UV

ABSTRACT

The aim of this study is to produce CdSe / CdTe films which are solar cells. Potentiostat / galvanostat device at BilecikSeyhEdebali University Vocational School will be used for the production process. The growth conditions of CdSe / CdTe films produced will be changed according to the literature and the best results will be investigated. The structural and optical analyzes of CdSe / CdTe films produced as a result of the study will be analyzed by XRD, SEM - EDX, UV analysis and the quality of cell formation will be determined.

Keywords:Electrochemicaldeposition, CdSe/CdTe, XRD, SEM - EDX, UV

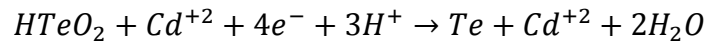
1. LİTERATÜR TARAMASI

CdTe ile ilgili yapılmış çalışmalar

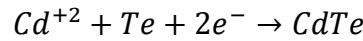
CdTe, güneş pili uygulamaları için en umut verici fotovoltaik (PV) ince film malzemelerden biridir. % 21,5 dönüşüm verimliliği Şubat 2015'teki bir çalışmada rapor edilmiştir. CdTe oda sıcaklığında (300 K) 1,45 eV doğrudan bant aralığına sahiptir (**abdul-manaf**). CdTe ince filmlerini büyütme için çeşitli teknikler kullanılmıştır. Bunlar süblimasyon (CSS), serigrafi, püskürtme, spreysel piroliz, vakum buharlaşma ve elektrodepozisyon (ED) olarak sıralanabilir. Tüm bu tekniklerin kendi değerleri vardır, bununla birlikte, sulu çözelti kullanılanelektrodepozisyonun düşük maliyetli ve enerji verimli bir yöntem olduğu düşünülmektedir(**salim elektrodeposition**).

Yarı iletken oluşturma tekniği olarak elektrodepozisyon, biriktirme işleminin sürekliliği, düşük maliyet, basitlik, ölçeklenebilirlik ve Cd içeren atık azaltımı açısından avantajları nedeniyle seçilmiştir (**ojodarmhasa**).

Sella ve arkadaşları (1986) tarafından elektrokimyasal depolama ile CdTe büyütme işlemini gerçekleştirmişlerdir. CdTe elektrokimyasal yöntemle asidik ortamda büyütülebilmektedir. Buna göre CdTenegatif katodik potansiyel altında;



ve sonrasında yine negatif katodik potansiyelde



oluşumu gerçekleşir.

CdSe ile ilgili yapılmış çalışmalar

Farklı alanlardaki uygulamalarından dolayı çeşitli yöntemlerle üretilen CdSe ince filmleri çokça araştırılmaktadır (Baban, 2003). Kaliteli bir fotovoltaik olan

CdSeyüksek soğurma katsayısına sahip olduğundan dolayı ince film güneş pilleri için geleceği parlak bir materyaldir (BasheerAhamed ark. 2010).

CdSe ince filmleri 2002'de SILAR ile üretilmiş ve hegzagonal yapıda olan bu filmlerin yasak enerji aralığının 1.8eV olduğu belirlenmiştir (Pathan ark. 2002).

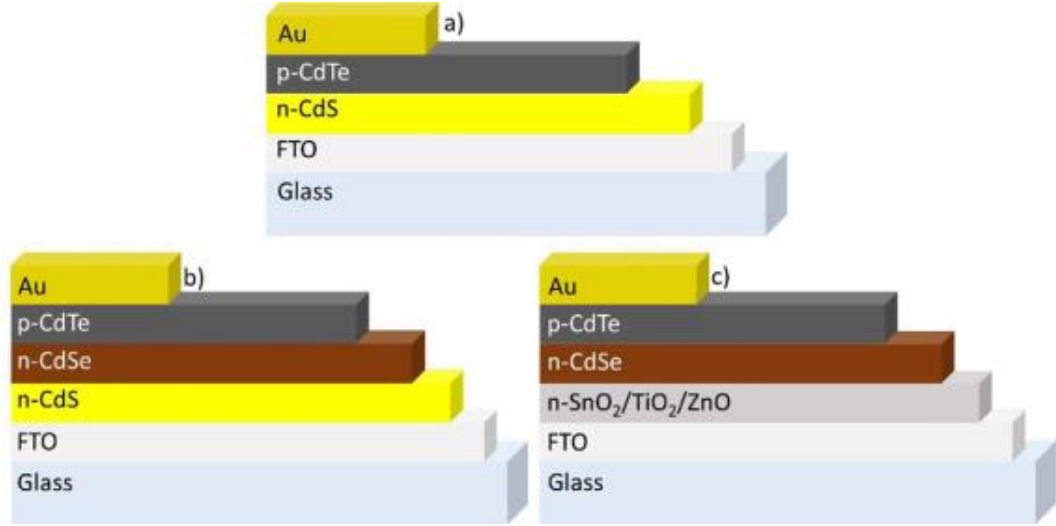
Kale ve Lokhande 2004 yılında kimyasal biriktirme yöntemi ile CdSe filmlerini üretmişler ve bu yöntemle üretilen filmlerin yasak enerji aralıklarının 2.30eV olacak kadar arttığı belirlenmiştir (Kale ve Lokhande, 2005).

Termal buharlaştırma yöntemiyle ile 2006 yılında Mahmoud ve arkadaşları CdSe ince filmleri üretmişlerdir. Üretilen filmler bir fırında tavllanmış ve tavlamanın etkileri araştırılmıştır. Dikkati çekecek bir biçimde özdirencin tavlamaıyla düştüğü belirlenmiştir (Mahmoud ark. 2006).

2009'da ise Girija ve arkadaşları amonyak banyosunda CdSe ince filmlerini üretmişlerdir. Üretim sıcaklığının etkileri bu çalışmada belirlenmiştir. Bu yöntemle üretilen filmin kübik yapıda olduğu belirlenmiştir. Artan üretim sıcaklığına bağlı olarak yasak bant aralığının 2.12eV tan 1.52 eV a kadar düştüğü rapor edilmiştir (Girija, 2009).

CdSe /CdTe ile ilgili yapılmış çalışmalar

CdSe/CdTe ile ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunun yerine CdS/CdTe tercih edilmiştir. CdS/CdTe tercih edilmiştir. Bu çalışmada CdSe/CdTe güneş piline yoğunlaşmıştır. Bir çalışmada (Baines ve ark. 2018) CdSe bileşiminin kalınlığının etkilerini araştırmıştır. Bu araştırma için aşağıdaki şekli kullanmışlardır.



Şekil 1

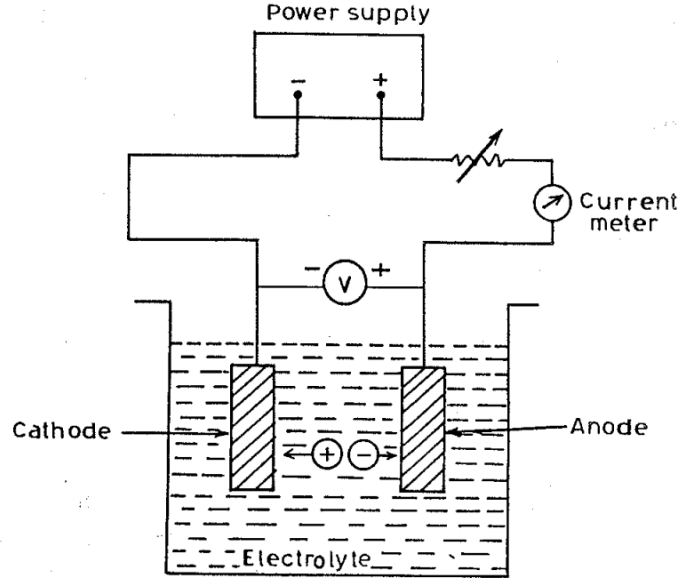
Bu araştırmanın sonuçlarını bir tablo ile özetlemiştir.

CdSe thickness (nm)	η (%)	J_{sc} (mA cm ⁻²)	V_{oc} (V)	FF (%)
0	9.9 (7.7 ± 0.6)	18.7 (16.8 ± 0.5)	0.78 (0.73 ± 0.03)	68.2 (61.5 ± 1.9)
50	8.0 (5.7 ± 0.8)	15.0 (13.9 ± 0.6)	0.76 (0.73 ± 0.01)	65.3 (54.7 ± 4.5)
100	7.1 (5.3 ± 0.3)	15.6 (13.4 ± 0.4)	0.76 (0.71 ± 0.01)	59.7 (55.1 ± 0.9)

Elektrokimyasal Depozisyon

Elektrodepozisyon son derece önemli bir teknolojidir. Kaplayan kaplama katmanları ile ucuz ve yaygın olarak kullanılabilir temel malzemeler üstün özelliklere sahip farklı metaller kullanımlarını uygulamalara genişletir aksi takdirde yasaklayıcı bir şekilde pahalı olurdu. Ancak, Elektrokaplamanın basit bir dip ve dunk işlem olmadığına dikkat edilmelidir. Muhtemelen bilinen en karmaşık birim operasyonlarından biridir. Olağan dışı çok sayıda kritik temel fenomen veya süreç, genel süreci kontrol eden adımlar. Mükemmel bir örnek Metal dağılımı

gösteren Rudzki (Şekil 1) sistem modeli Kaplama değişkenlerinin ve karmaşıklığının birbiri ile ilişkileri.



Şekil 2.Elektrodepozisyonun basit şematik gösterimi (R.K Pandey ve ar. 1996)

Elektrokimyasal depozisyon teknikleri galvanostatik ve potansiyostatik olmak üzere iki temel prensibe ve bunların sahip olduğu alt prensipleri içerir. Potansiyostatik tekniklerde elektrot-çözelti ara yüzünde yük-transfer prosesleri (redüksiyon ve/veya oksidasyon) gerçekleştirilir. Voltmetri ve kronoamperometri bu tekniklerdendir (R.K Pandey ve ar. 1996).

Elektrodepozisyonkronoamperometri ve voltmetri olmak üzere iki moda çalışmaktadır. Bunlardan kronoamperometri kullanarak CdSe/CdTe filmleri üretmek için potansiyostat/galvonastad cihazına ihtiyaç vardır. Cihazı kullanabilmek için referans elektrot ve platin tel kullanılmalıdır. (Asıl, 2010).

Elektrodepozisyonun bir yöntemi olan kronoamperometri ile CdSe/CdTe hücrelerini üretmek için gerekli olan potansiyostad/galvonastad cihazı Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Meslek Yüksek okulunda bulunan IVIUM VERTEX marka cihazıdır. Depozisyon koşulları kaydedilecek ve en yüksek voltaj veren hücrenin üretilme şartları belirlenecektir.

2. BAP PROJESİ DÖNEMİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Kullanılan malzemeler

CdSe filmlerinin üretiminin gerçekleştirilmesi için Cd^{+} kaynağı olarak 0,02 M $CdCl_2$, Se kaynağı olarak 0,02 M $Na_2Se_2O_3$ (Sodyum Selenit) ve 0,02 M $CSe(NH_2)_2$ (Selenourea) bileşikleri sırasıyla yapılan deneylerde kullanılmıştır. Final çözeltinin pH değerini düzenlemek için %58 H_2SO_4 (Sülfirik Asit), %23 HCl (Hidroklorik Asit) kullanılmıştır.

Cd^{+} kaynağı olarak 0,01 M $CdCl_2$ ve Te içeren bileşik kaynağı olarak 0,005 M Na_2TeO_3 (Sodyum Tellürit) bileşikleri sırasıyla CdTe filmlerinin üretiminin gerçekleştirilmesi için yapılan deneylerde kullanılmıştır. Ortamın asitliğini düzenlemek için %23 HCl (Hidroklorik Asit) kullanılmıştır.

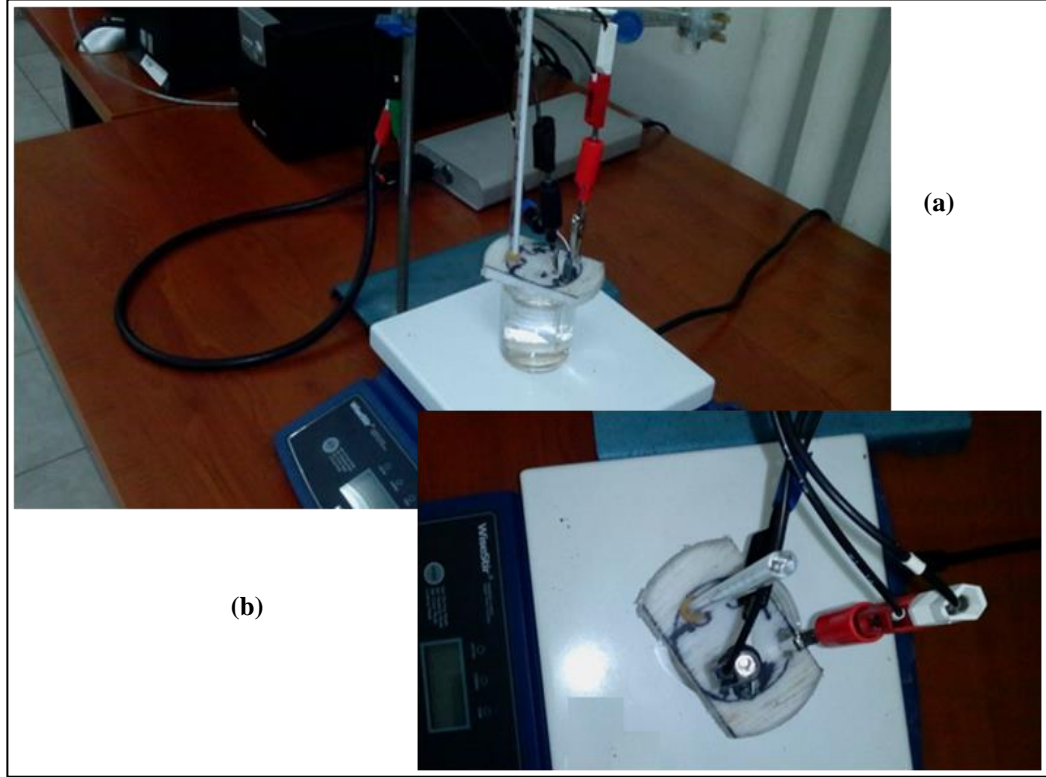
Çözelti hazırlıkları esnasında kütle ölçümü için KERN marka ABJ 220-4m modeli ve 0,1 mg hassasiyetli maksimum 220 g tartabilen hassas terazi kullanılmıştır. Çözeltilerin pH ölçümü için Hanna marka HI9025 modeli mikro bilgisayarlı pH metre kullanılmıştır. CdSe ve CdTe filmlerinin üretiminin gerçekleştirilmesi için alt taban olarak $1,65 \text{ cm}^2$ yüzey alanına, $25 \text{ } \Omega/\text{cm}^2$ dirence ve 80 nm kalınlığa sahip ITO kaplı camlar kullanılmıştır. ITO kaplı camlar izopropil alkol çözeltisinde 8dk bekletilmiştir. Daha sonra DI suda durulanmıştır. Durulanmış ITO kaplı camlar yüzeylerinde nem kalmaması için 25°C 'de 1200 s boyunca kurutulmaya bırakılmıştır.

2.2. Yapılan çalışmalar

CdSe ve CdTe filmlerin üretimi, elektrokimyasal depozisyon yöntemi kullanılarak, Şekil 1'de gösterilen üç elektrotlu IVIUM VERTEX Potentiostat/Galvanostat cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Kronoamperometri yöntemiyle bütün CdSe ve CdTe filmler için üretimler gerçekleştirilmiştir [12].

Elektrokimyasal depozisyon işlemi yürütülürken Ag/AgCl referans elektrodü seçilmiştir. Belirlenen referans elektrodün standart potansiyeli 25°C 'de 0,222 V'dur [12]. Platin düz tel karşıt elektrot olarak kullanılmıştır. Hazırlanan ITO

kaplı cam alt tabanlar çalışma elektrodu olarak kullanılmıştır. CdSe ve CdTe film üretimleri sırasında çözeltileri karıştırmak ve ısıtmak için IKA marka C MAG HS 7 modeli kontak termometre elektronik manyetik karıştırıcı ve ısıtıcı kullanılmıştır [12].



Şekil 3.(a) IVIUM VERTEX Potentiostat/Galvanostat sistemi (b) elektrokimyasal depozisyon hücresinin üstten görünüşü

Çalışmalar 5 ana gruba ve çeşitli alt gruplara ayrılmıştır. 5 ana grup sırasıyla SET I, SET II, SET III, SET IV, SET V ve SET VI olarak adlandırılmıştır. Tüm alt gruplar ise D1'den D23'e kadar sırasıyla toplam 23 alt grup oluşturacak şekilde adlandırılmıştır.

Daha farklı katodik potansiyel değerlerinde, depozisyon sürelerindeki depozisyon sıcaklıklarında, farklı pH değerlerindeki film üretimleri gerçekleştirilmiş ancak UV ve XRD analizleri istenilen sonuçları vermemiştir.

3. DENEYSEL SONUÇLAR

3.1. Film üretimi

Film üretimlerinin tümü 100'ermL'likdepozisyon hücreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca aynı çözeltiler depozisyondan önce manyetik karıştırıcı vasıtasıyla 800 ve 1100 rpm'e ayarlanarak döndürülmüştür. Bütün alt gruptaki üretimler için çözelti pH değerleri ölçülmüştür.

SET I 0,05 M CdCl₂; 0,025 M Na₂S_{e2}O₃bileşikleri 100mL'likçözelti karışımıCdSe filmlerinin üretiminin gerçekleştirilmesi için yapılan deneylerde kullanılmıştır. Ortamın alkaliliğini düzenlemek için 1 mg NaOHkullanılmıştır. Çözelti pHdeğeri sırasıyla 8;8,5 ve 9'a ayarlanmıştır. Katodik potansiyel değeri -1 V değerine ve depozisyon süresi 2400 s'ye ayarlanmıştır. Depozisyon sıcaklığı 50° değerine ayarlanmıştır. Çözelti manyetik karıştırıcı vasıtasıyla 1100 rpm'e ayarlanarak döndürülmüştür.

SET II 0,05 M CdCl₂; 0,025 M CSe(NH₂)₂bileşikleri 100mL'likçözelti karışımıCdSe filmlerinin üretiminin gerçekleştirilmesi için yapılan deneylerde kullanılmıştır. Ortamın alkaliliğini düzenlemek için 1 mg NaOHkullanılmıştır. Çözelti pH değeri sırasıyla 8;8,5;9 ve 9,5'a ayarlanmıştır. Katodik potansiyel değeri -0,70 V değerine ve depozisyon süresi 1800 s'ye ayarlanmıştır. Depozisyon sıcaklığı 80° değerine ayarlanmıştır. Çözelti manyetik karıştırıcı vasıtasıyla 1100 rpm'e ayarlanarak döndürülmüştür.

SET III 0,05 M CdCl₂; 0,025 M Na₂S_{e2}O₃bileşikleri 100mL'likçözelti karışımıCdSe filmlerinin üretiminin gerçekleştirilmesi için yapılan deneylerde kullanılmıştır. Ortamın asitliğini düzenlemek için damla damla farklı asit çeşitleri kullanılmıştır. Kullanılan asitler sırasıyla %23 HCl (Hidroklorik Asit), %58 H₂SO₄ (Sülfirik Asit), %70 HNO₃ (Nitrik Asit) ve %68 HClO₄ (Perklorik Asit)'dir. Çözelti pH değeri 5'e ayarlanmıştır. Katodik potansiyel değeri -0,75 V değerine ve depozisyon süresi 1800 s'ye ayarlanmıştır. Depozisyon sıcaklığı 80° değerine ayarlanmıştır. Çözelti manyetik karıştırıcı vasıtasıyla 1100 rpm'e ayarlanarak döndürülmüştür.

SET IV 1,5 M CdCl₂; 0,03 M Na₂TeO₃bileşikleri 100mL'likçözelti karışımıCdTe filmlerinin üretiminin gerçekleştirilmesi için yapılan deneylerde

kullanılmıştır. Ortamın asitliğini düzenlemek için %70 HNO₃ (Nitrik Asit), kullanılmıştır. Çözelti pH değeri 2,75 değerine ayarlanmıştır. Katodik potansiyel değeri sırasıyla -0,45 V değerine ve depozisyon süresi 1750 s'ye ayarlanmıştır. Depozisyon sıcaklığı 40° ile 80° aralığında değiştirilmiştir. Çözelti manyetik karıştırıcı vasıtasıyla 1100rpm'e ayarlanarak döndürülmüştür.

SET V 0,01 M CdCl₂; 0,005 M Na₂TeO₃ bileşikleri 100mL'lik çözelti karışımı CdTe filmlerinin üretiminin gerçekleştirilmesi için yapılan deneylerde kullanılmıştır. Ortamın asitliğini düzenlemek için damla damla %23 HCl (Hidroklorik Asit) kullanılmıştır. Çözelti pH değeri 1,7 değerine ayarlanmıştır. Katodik potansiyel değeri -0,35 V; -0,40 V; -0,45 V ve -0,50 V değerine ve depozisyon süresi 600 s'ye ayarlanmıştır. Depozisyon sıcaklığı 20° aralığında değiştirilmiştir. Çözelti manyetik karıştırıcı vasıtasıyla 1100rpm'e ayarlanarak döndürülmüştür.

Yapılan araştırma ve deney sonuçlarının XRD, UV ve SEM analizleri incelendikten sonra en uygun SET'ler ile tekrar üretim gerçekleştirilerek SET VI oluşturularak CdSe/CdTe üretilmiştir.

SET I, SET II, SET III, SET IV, SET V ve SET VI'da kullanılan kimyasallar ve molariteleri ve büyütme parametreleri Tablo 1, Tablo 2, Tablo 3, Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'da özetlenmiştir.

Tablo 1. SET I'da üretilen CdSe filmlerinin büyütme parametreleri

SET I	Çözelti Bileşimi		Katodik Potansiyel V	Depozisyon sıcaklığı (°C)	pH HCl	Depozisyon Süresi (s)
	0,05 M CdCl ₂	0,025 M Na ₂ Se ₂ O ₃				
D1	100 mL	100 mL	-1	50±2	8	2400
D2	100 mL	100 mL			8,5	
D3	100 mL	100 mL			9	

Tablo 2. SET II’de üretilen CdSe filmlerinin büyütme parametreleri

SET II	Çözelti Bileşiği		Depozisyon sıcaklığı (°C)	pH	Depozisyon Süresi (s)	Katodik Potansiyel V
	0,05 M $CdCl_2$	0,0025 M $Na_2Se_2O_3$				
D4	100 mL	100 mL	80±2	8	1800	-0,70
D5	100 mL	100 mL		8,5		
D6	100 mL	100 mL		9		
D7	100 mL	100 mL		9,5		

Tablo 3. SET III’de üretilen CdSe filmlerinin büyütme parametreleri

SET III	Çözelti Bileşiği		Depozisyon sıcaklığı (°C)	pH=5	Depozisyon Süresi (s)	Katodik Potansiyel V
	0,05 M $CdCl_2$	0,0025 M $Na_2Se_2O_3$				
D8	100 mL	100 mL	80±2	HCl	1800	-0,75
D9	100 mL	100 mL		H ₂ SO ₄		
D10	100 mL	100 mL		HNO ₃		
D11	100 mL	100 mL		HClO ₄		

Tablo 4. SET IV’de üretilen CdTe filmlerinin büyütme parametreleri

SET IV	Çözelti Bileşiği		Depozisyon sıcaklığı (°C)	HNO ₃ pH	Katodik Potansiyel V	Depozisyon Süresi (s)
	1,5 M $CdCl_2$	0,03 M Na_2TeO_3				
D12	100 mL	100 mL	40±2	2,75	-0,45	1750
D13	100 mL	100 mL	60±2			
D14	100 mL	100 mL	80±2			

Tablo 5. SET V’de üretilen CdTe filmlerinin büyütme parametreleri

SET V	Çözelti Bileşiği		Depozisyon sıcaklığı (°C)	HCl	Katodik Potansiyel V	Depozisyon Süresi (s)
	0,01 M $CdCl_2$	0,005 M Na_2TeO_3				
D15	100 mL	100 mL	20±2	1,7	-0,50	600
D16	100 mL	100 mL			-0,45	
D17	100 mL	100 mL			-0,40	
D18	100 mL	100 mL			-0,35	
D19	100 mL	100 mL			-0,55	

Tablo 6. SET VI'da üretilen CdSe/CdTe güneş pillerinin büyütme parametreleri

SET VII	Çözelti Bileşiği		Katodik Potansiyel V	Depozisyon sıcaklığı (°C)	pH	Depozisyon Süresi (s)
D20	0,01 M <i>CdCl₂</i>	0,005 M <i>Na₂TeO₃</i>	-0,40	20±2	1,7	600
	0,05 M <i>CdCl₂</i>	0,0025 M <i>Na₂Se₂O₃</i>	-0,70	80±2	9	1800
D21	1,5 M <i>CdCl₂</i>	0,03 M <i>Na₂TeO₃</i>	-0,45	60±2	2,75	1750
	0,05 M <i>CdCl₂</i>	0,025 M <i>Na₂Se₂O₃</i>	-1	50±2	8	2400
D22	0,05 M <i>CdCl₂</i>	0,0025 M <i>Na₂Se₂O₃</i>	-0,75	80±2	HNO ₃ 5	1800
	1,5 M <i>CdCl₂</i>	0,03 M <i>Na₂TeO₃</i>	-0,45	40±2	2,75	1750
D23	0,05 M <i>CdCl₂</i>	0,0025 M <i>Na₂Se₂O₃</i>	-0,75	80±2	HClO ₄ 5	1800
	1,5 M <i>CdCl₂</i>	0,03 M <i>Na₂TeO₃</i>	-0,45	60±2	2,75	1750

3.2. Film karakterizasyonu

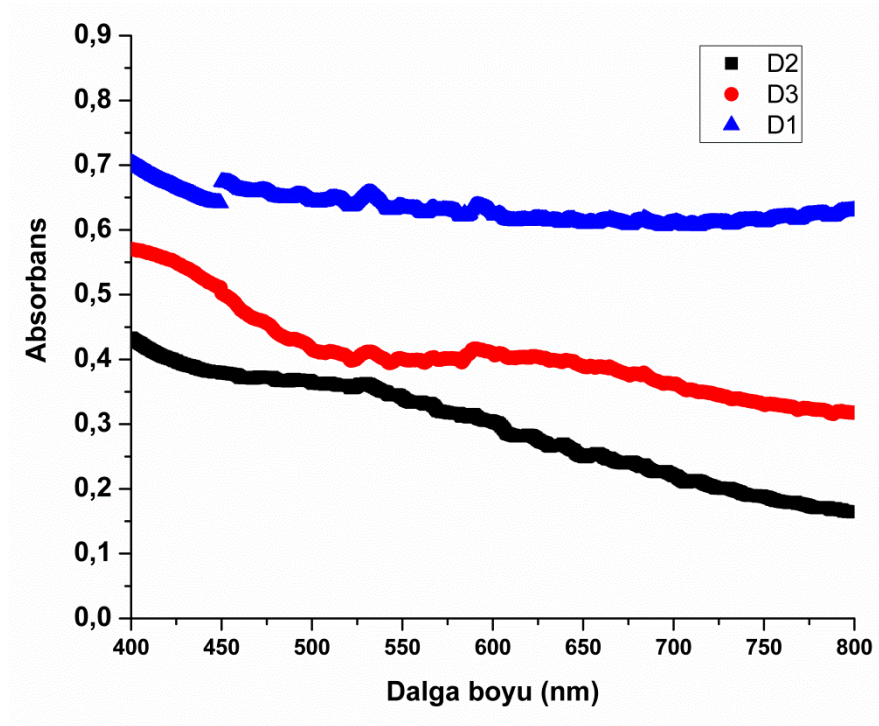
3.2.1 Optik analizler

Elde edilen filmlerin optik analizleri A&E LAB UV tek yollu UV-vis spektrofotometresi (AE-S60-4UPC) ile yapılmıştır.

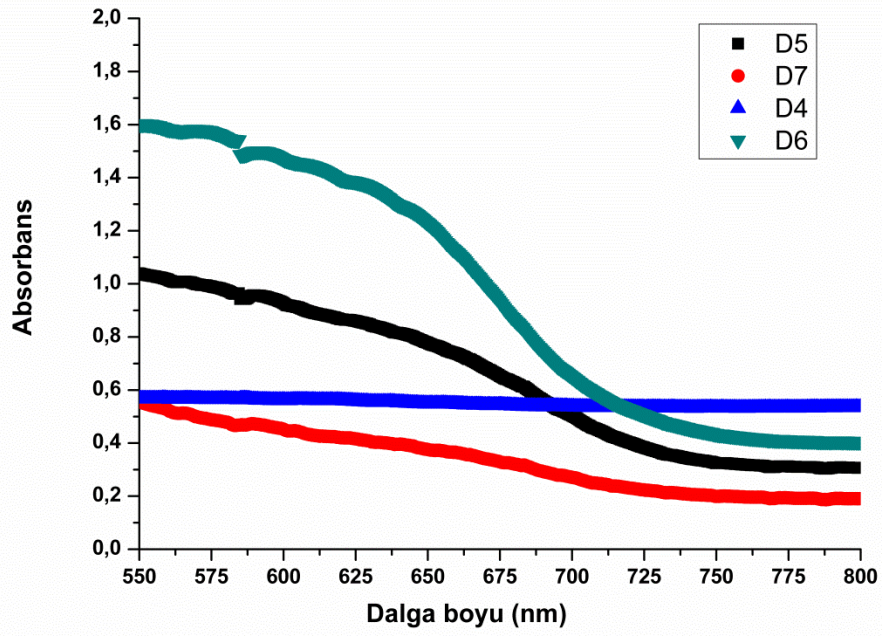
Üretilen tüm CdSe filmlerin ve CdTe filmlerinde algal boyuna karşı absorban grafikleri sırasıyla, Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 4, incelendiğinde absorban eğrilerinin belirgin bir biçimde yükselişe geçtikleri görülmektedir. Şekil 5 incelendiğinde, D4 ve D7'deki filmler düşük absorpsiyon ve D6'daki film ise, yüksek absorpsiyon göstermiştir. Buna

dayanarak, D6'dan üretilen filmin daha kalın D4 ve D7 'den üretilen filmlerin ise daha ince olduğu düşünülmektedir. Şekil 6 incelendiğinde D9 ve D10'daki filmlerin absorbanseğrisinin 450 ile 800nm arasında 700 nm'debelirgin bir biçimde yükselişe geçtikleri görülmektedir. Ayrıca kuvvetli asit değişimine bağlı olarak D8'den D9'a doğru absorbans değeri artmıştır.

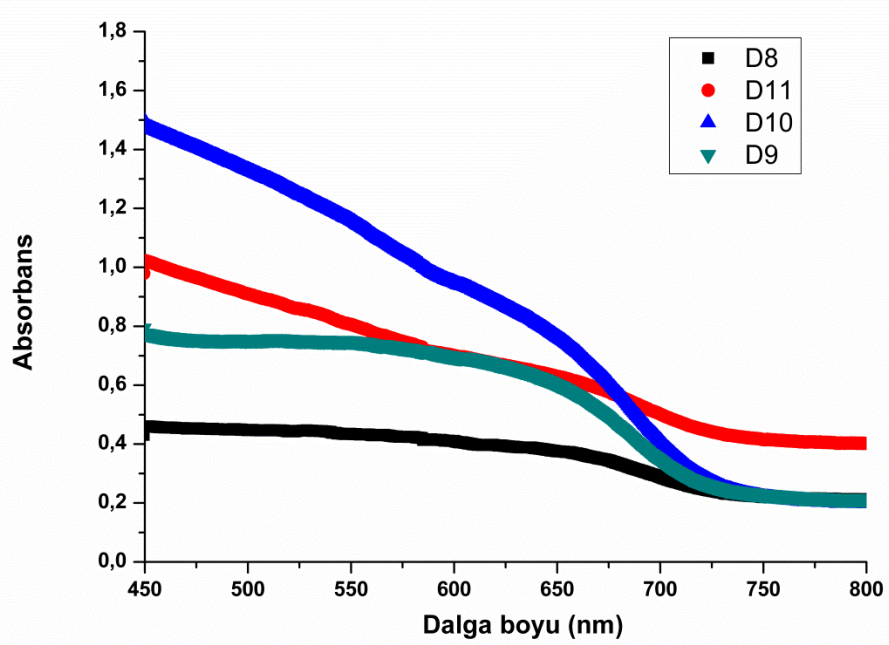
Şekil 7 incelendiğinde depozyon sıcaklığı arttıkça üretilen CdTefilmlerin daha yüksek absorbsiyon gösterdikleri belirlenmiştir. Şekil 8 incelendiğinde, katodik potansiyel değeri arttıkça üretilen CdTefilmlerin daha yüksek absorbsiyon gösterdikleri belirlenmiştir.



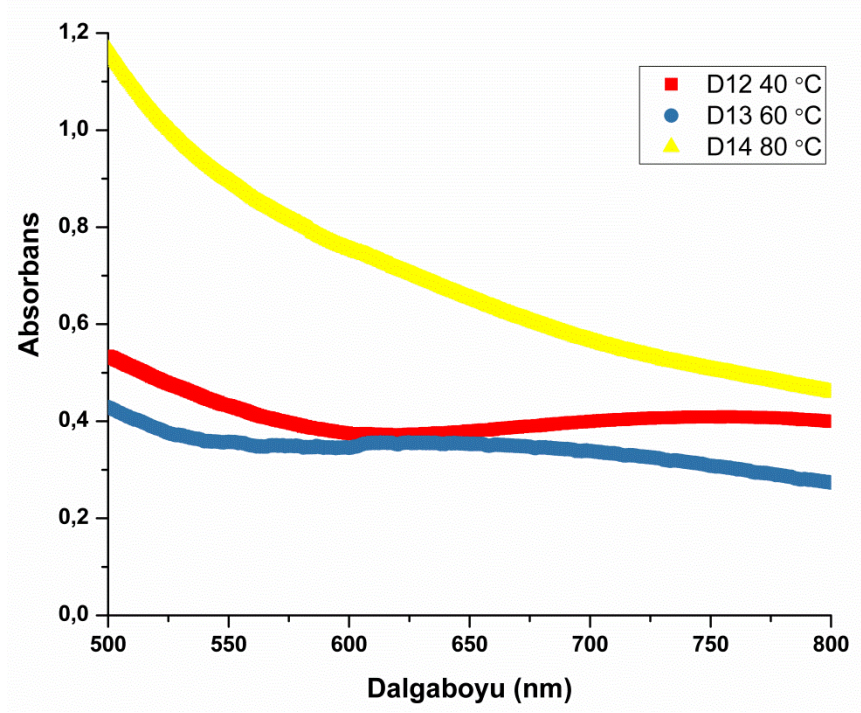
Şekil 4. SET I'den üretilen filmlerinde dalga boyuna karşı absorbans grafikleri



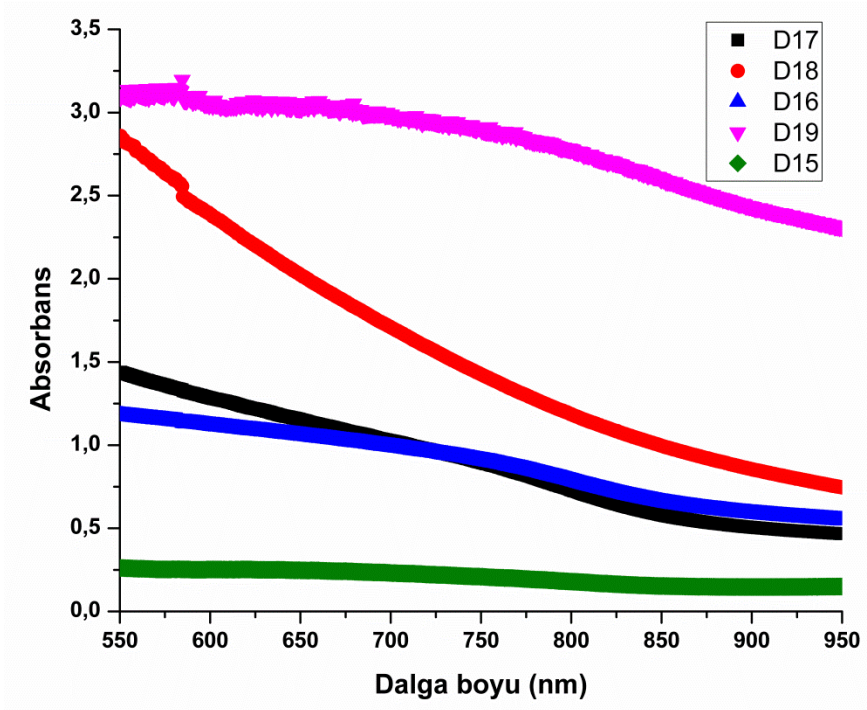
Şekil 5. SET II'denüretilen filmlerin dalgaboyuna karşı absorban grafikleri



Şekil 6. SET III'denüretilen filmlerindalgaboyuna karşı absorban grafikleri



Şekil 7. SET IV'den üretilen filmlerin dalgaboyuna karşı absorbands grafikleri



Şekil 8. SET V'den üretilen filmlerin dalgaboyuna karşı absorbands grafikleri

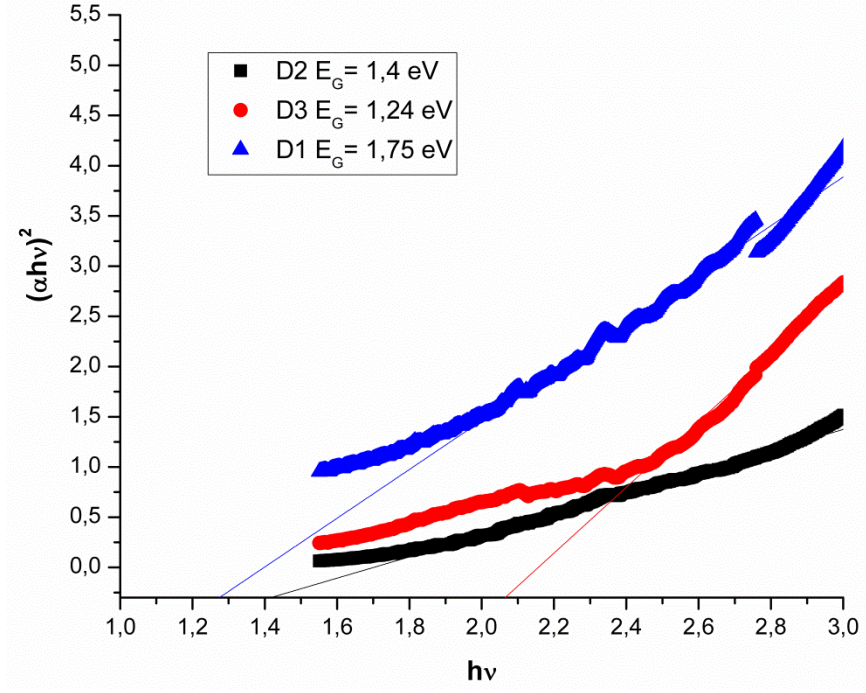
Elde edilen filmlerin yasak enerji aralıkları $h\nu$ 'ye karşı $(\alpha h\nu)^2$ grafiklerinden yararlanılarak bulunmuştur. Bu grafikler sırasıyla Şekil 9, Şekil 10, Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13'de verilmiştir.

Şekil 9'daki grafikler incelendiğinde çözelti pH değeri arttıkça yasak enerji aralığının D1'den D3'e azaldığı gözlenmiştir. Bunun sebebi çözelti pH değeri arttıkça $\text{Na}_2\text{Se}_2\text{O}_3$ bileşiğine bağlı olarak reaksiyon hızının yavaşlaması düşünülmektedir. Çünkü $\text{Na}_2\text{Se}_2\text{O}_3$ bileşiği asidik ortamda çözelti ortamına Se^{+2} salar. Buna dayanarak film kalınlığının artması ve kristalit büyüklüğü artması düşünülmektedir. Çünkü kristalit büyüklüğü arttıkça yasak enerji aralığının azaldığı daha önceki çalışmalardan bilinmektedir.

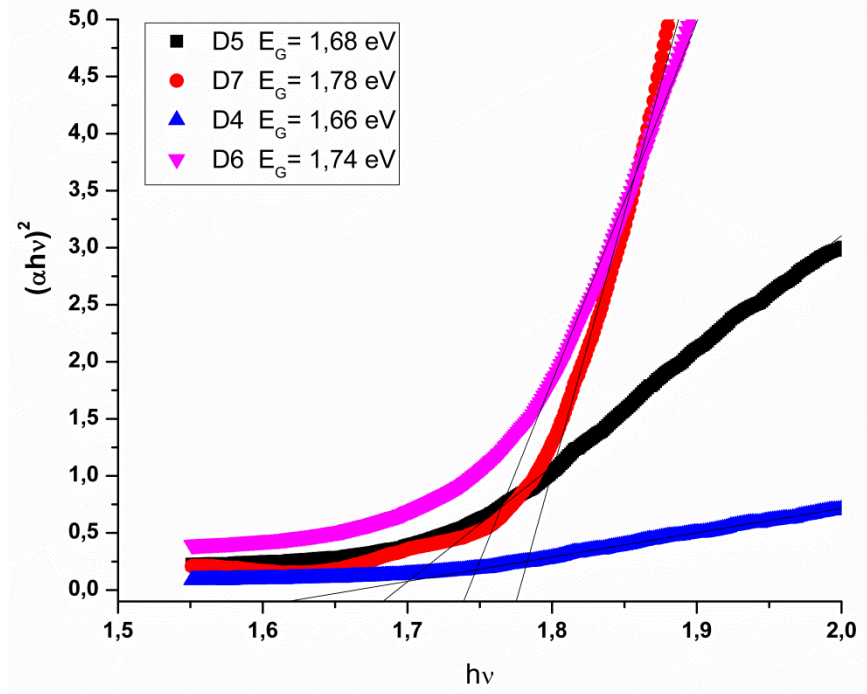
Şekil 10 incelendiğinde, üretilen filmlerin yasak enerji aralığının D4'ten D7'ye çözelti pH değeri arttıkça 1,66'dan 1,78 eV'a arttığı görülmüştür. Bunun sebebi çözelti pH değeri arttıkça $\text{CSe}(\text{NH}_2)_2$ bileşiğine bağlı olarak reaksiyon hızının artması düşünülmektedir. Çünkü $\text{CSe}(\text{NH}_2)_2$ bileşiği alkali ortamda çözelti ortamına Se^{+2} salar. Ortamın alkaliliği arttıkça çözelti ortamına salınan Se^{+2} artar. Buna dayanarak film kalınlığının azalması ve kristalit büyüklüğü azalması düşünülmektedir. Çünkü kristalit büyüklüğü azaldıkça yasak enerji aralığının arttığı daha önceki çalışmalardan bilinmektedir.

Şekil 11 incelendiğinde çözeltilerde kullanılan kuvvetli asit değıştikçe üretilen filmlerin yasak enerji aralığı D8'den D11'e artmıştır.

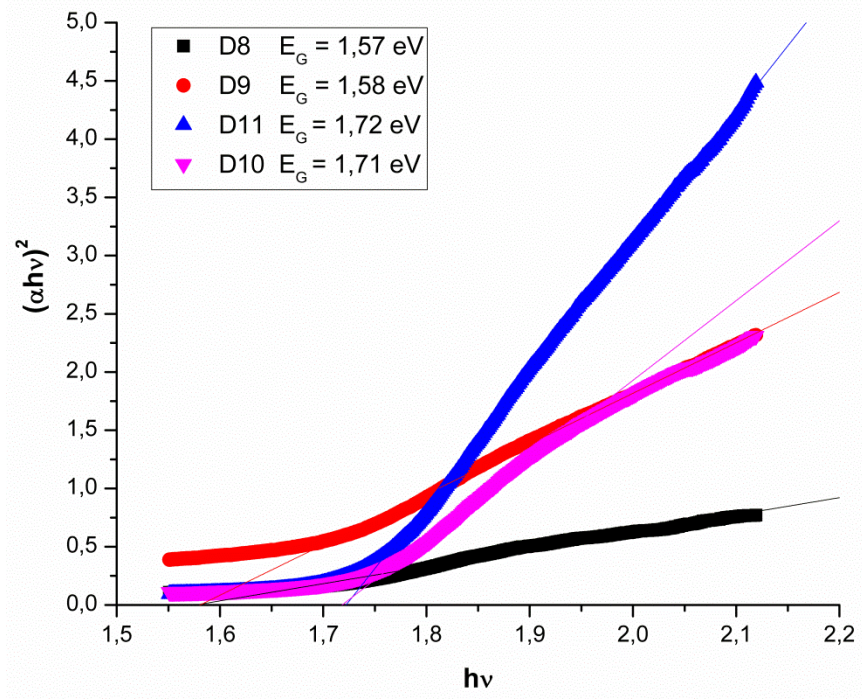
Şekil 12 incelendiğinde depozisyon sıcaklık değeri arttıkça yasak enerji aralığı arttığı görülmektedir. Şekil 13'deki grafikler incelendiğinde katodik potansiyel değeri arttıkça yasak enerji aralığının katodik potansiyel değerine bağlı olarak azaldığı gözlenmiştir. Bunun sebebi olarak katodik potansiyel arttıkça film kalınlığının artması ve buna dayanarak kristalit büyüklüğü artması düşünülmektedir. Çünkü kristalit büyüklüğü arttıkça yasak enerji aralığının azaldığı daha önceki çalışmalardan bilinmektedir.



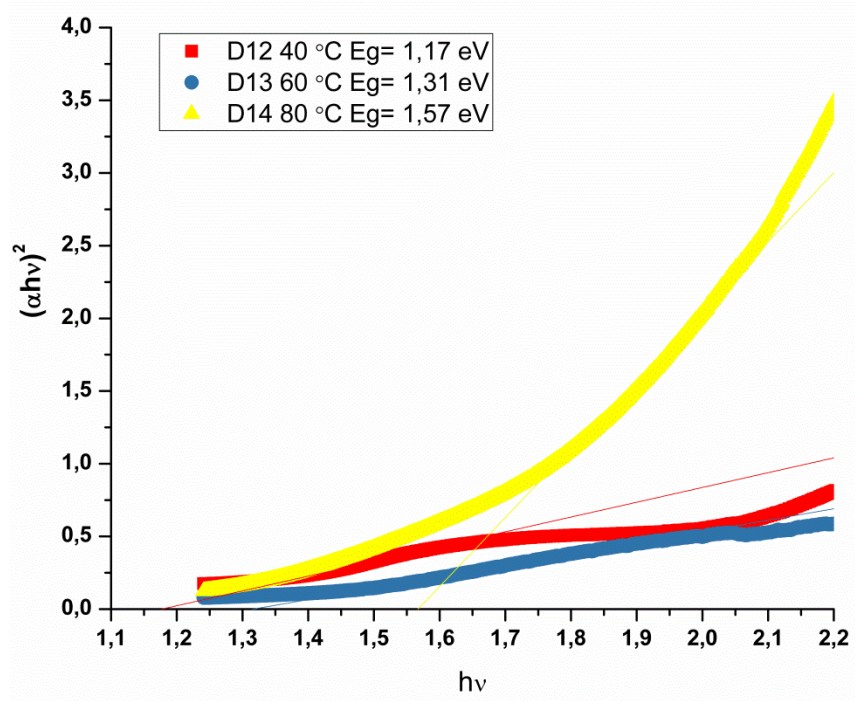
Şekil 9. SET I'den üretilen filmlerin $h\nu$ 'ye karşı $(\alpha hv)^2$ grafikleri



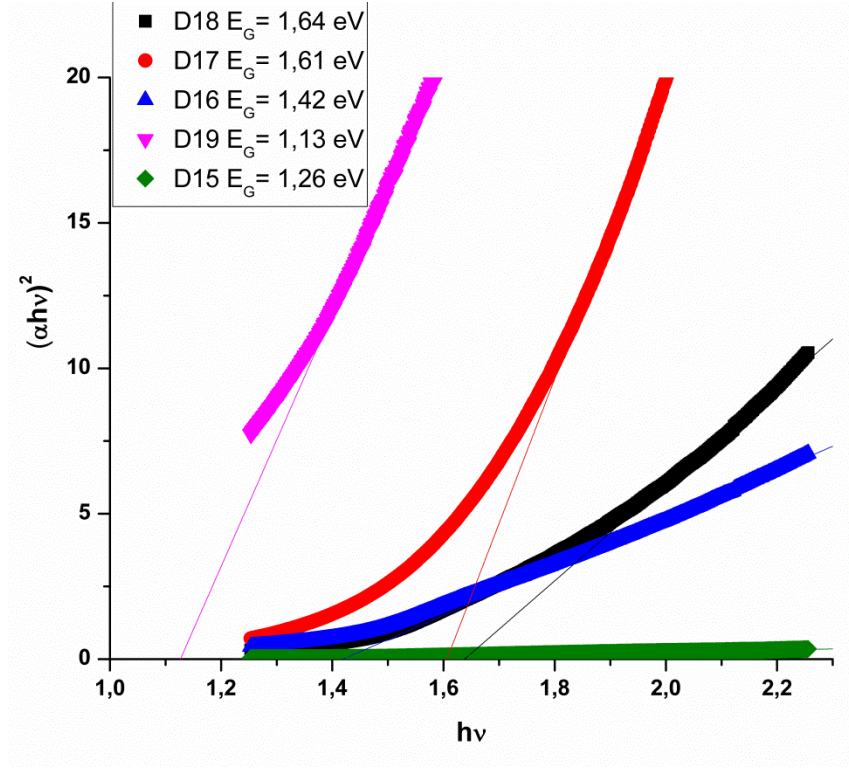
Şekil 10. SET II'den üretilen filmlerin $h\nu$ 'ye karşı $(\alpha hv)^2$ grafikleri



Şekil 11. SET III'den üretilen filmlerin $h\nu$ 'ye karşı $(\alpha hv)^2$ grafikleri



Şekil 12. SET IV'den üretilen filmlerin $h\nu$ 'ye karşı $(\alpha hv)^2$ grafikleri



Şekil 13. SET V'den üretilen filmlerin $h\nu$ 'ye karşı $(\alpha h\nu)^2$ grafikleri

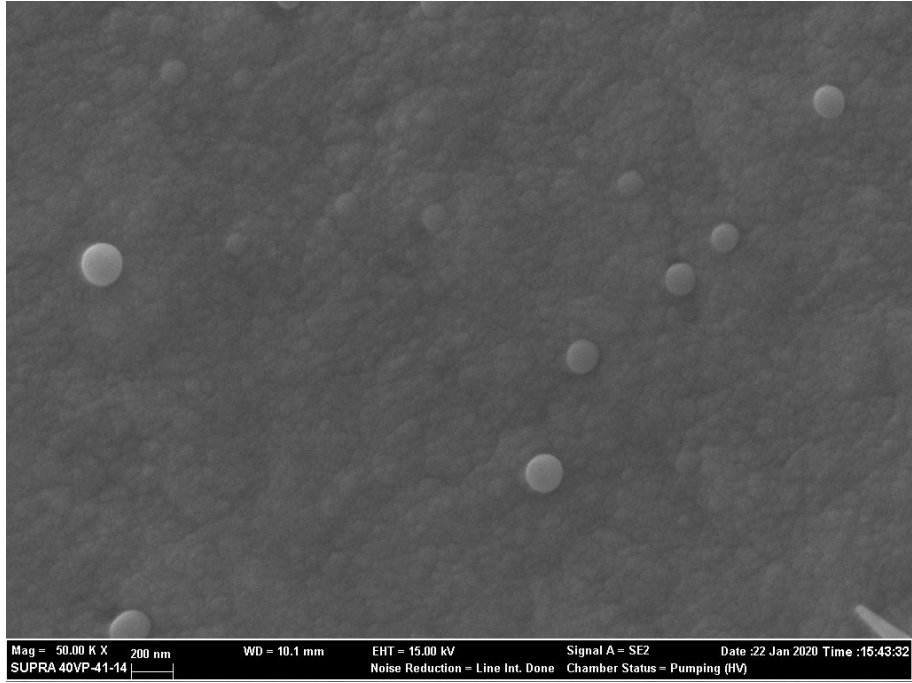
3.2.2 SEM Analizleri

Üretilen filmlere ait 30000, 50000 ve 90000 büyütmedeki yüzey görüntüleri sırasıyla D1'den D19'a kadar sırasıyla Şekil 14 ile Şekil 33 aralığında gösterilmektedir.

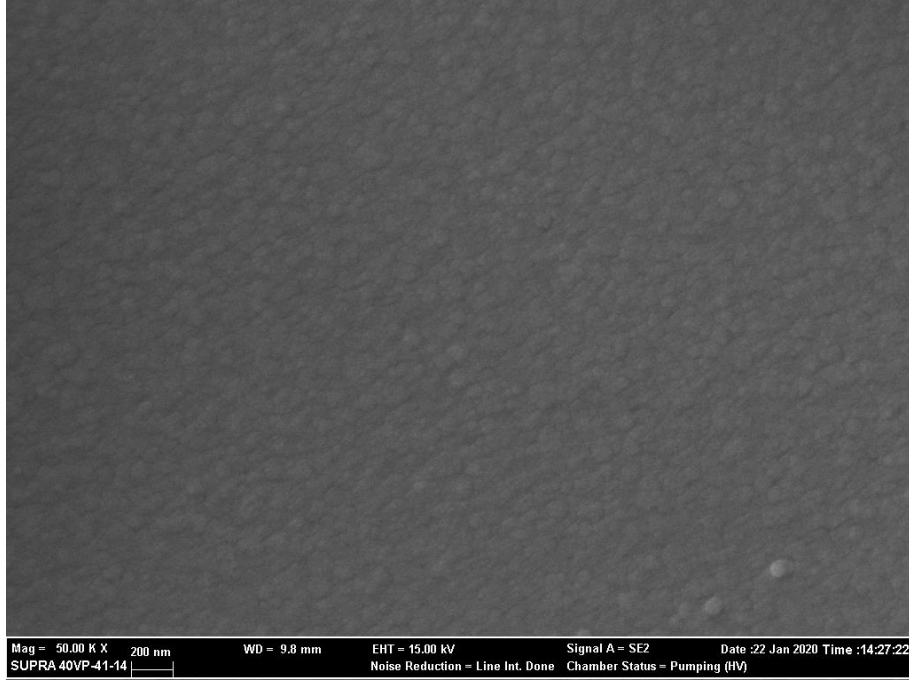
Şekil 14 ile Şekil 16 arasındaki yer alan SEM görüntüleri incelendiğinde bütün CdSe yapıların tanecikli halde yüzeyi kapladığı görülmektedir.



Şekil 14. D1'den elde edilen filmlerin 50000 büyütmedeki SEM görüntüsü

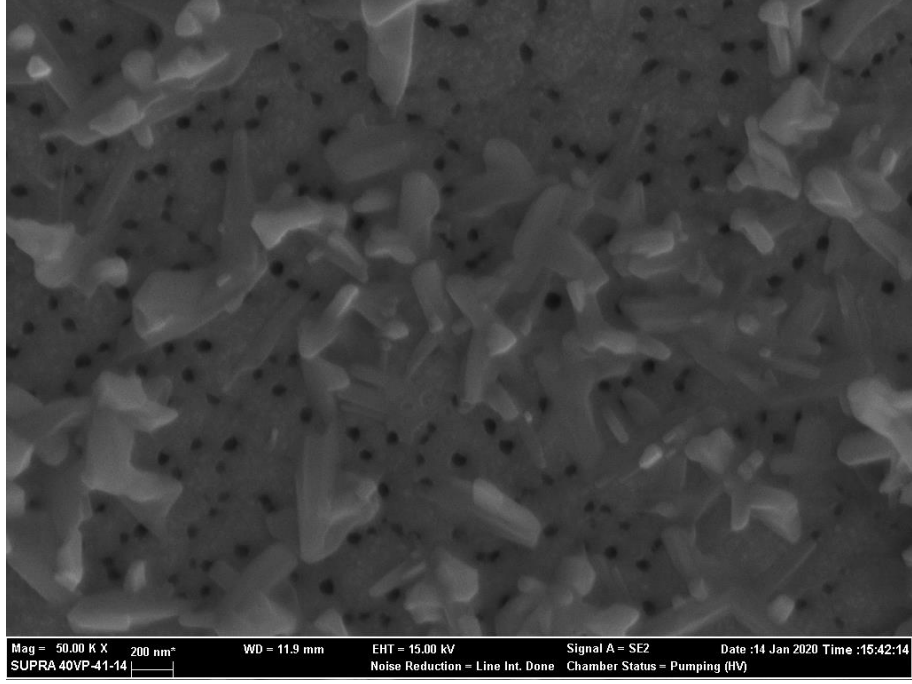


Şekil 15. D2'den elde edilen filmlerin 50000 büyütmedeki SEM görüntüsü

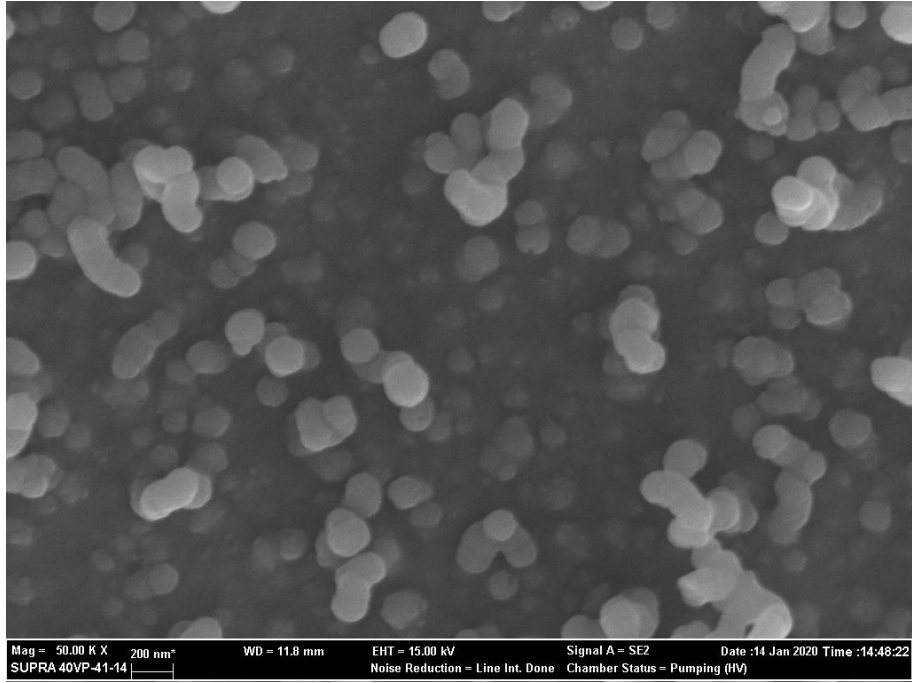


Şekil 16. D3'den elde edilen filmlerin 50000 büyütmedeki SEM görüntüsü

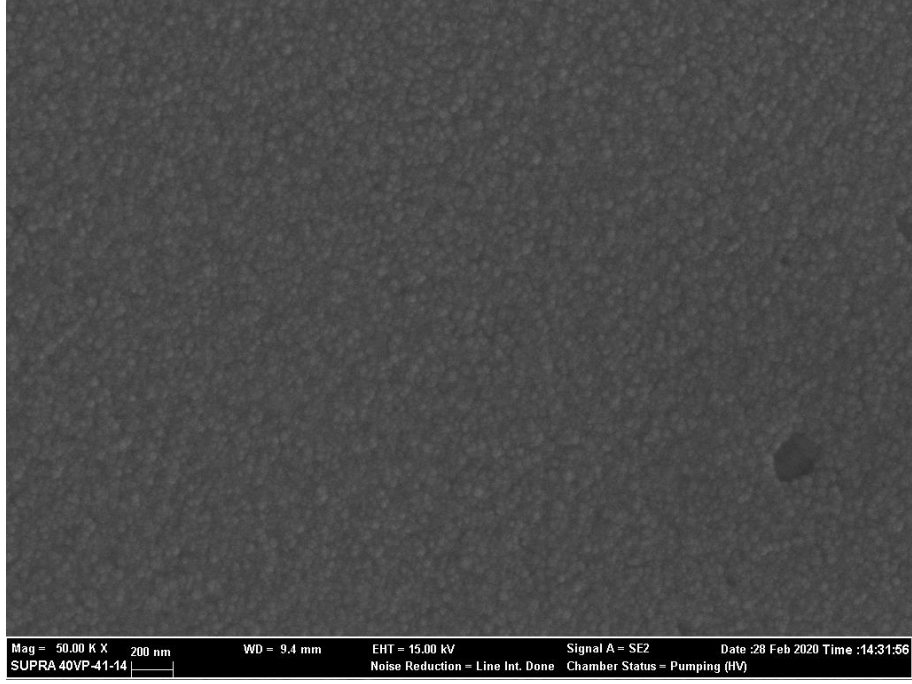
Şekil 18 ve Şekil 20'de yer alan SEM görüntüleri incelendiğinde bütün CdSe yapıların tanecikli halde ve kompakt biçimde yüzeyi kapladığı görülmektedir. Ancak, Şekil 17'de yer alan SEM görüntüsü incelendiğinde tanecikli yapının bozulduğu ve yüzeyde yoğun biçimde delikler olduğu görülmektedir.



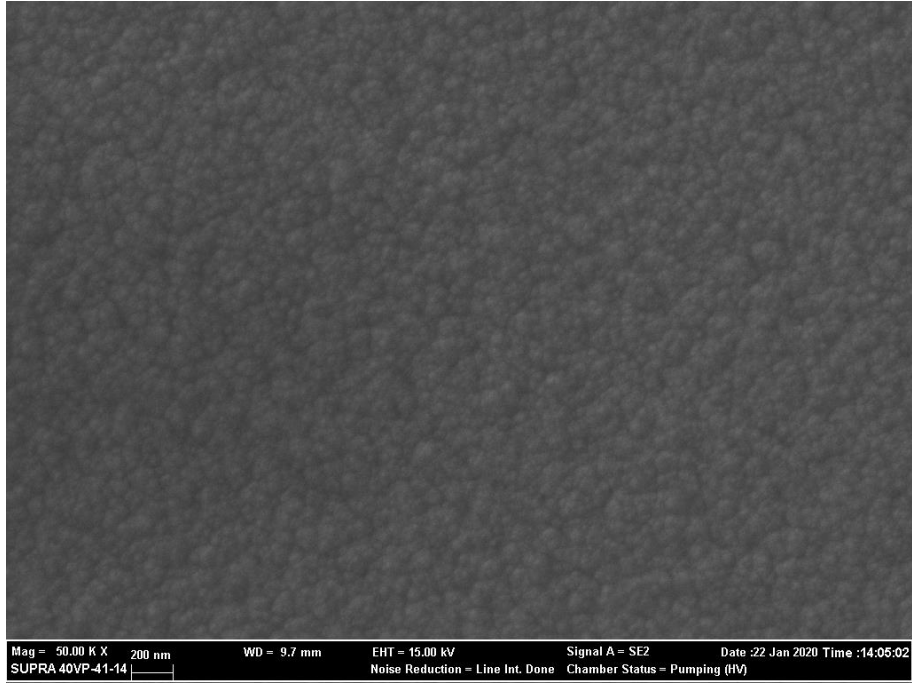
Şekil 17. D4'den elde edilen filmlerin 50000 büyütmedeki SEM görüntüsü



Şekil 18. D5'den elde edilen filmlerin 50000 büyütmedeki SEM görüntüsü

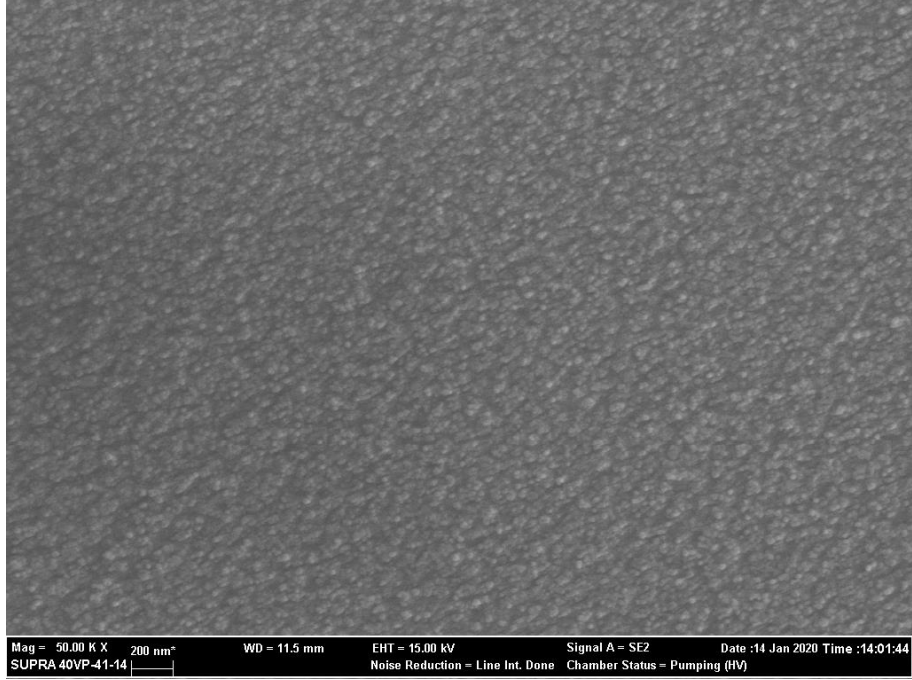


Şekil 19. D6'dan elde edilen filmlerin 50000 büyütmedeki SEM görüntüsü

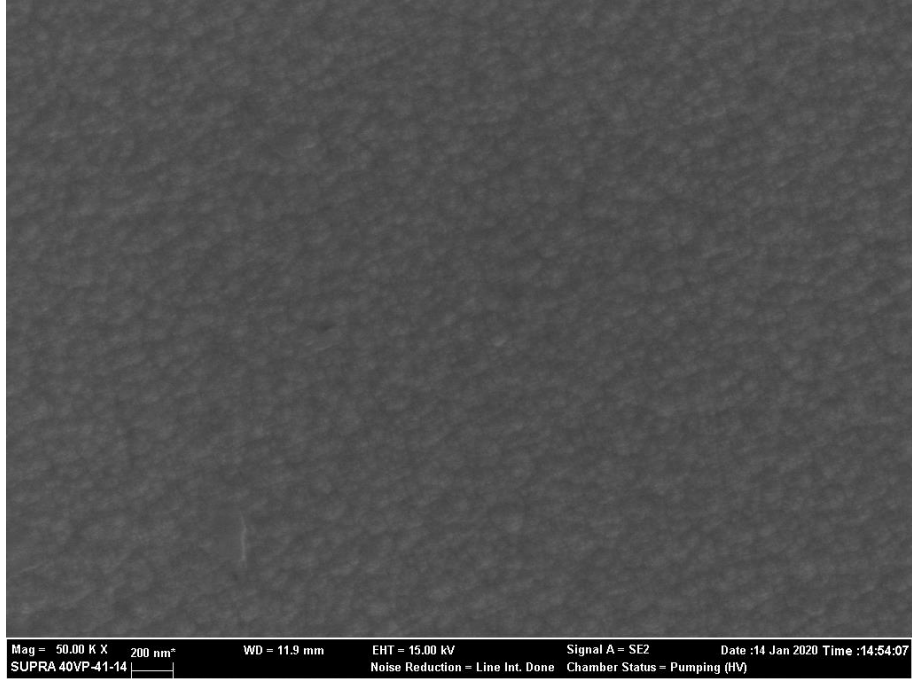


Şekil 20. D7'den elde edilen filmlerin 50000 büyütmedeki SEM görüntüsü

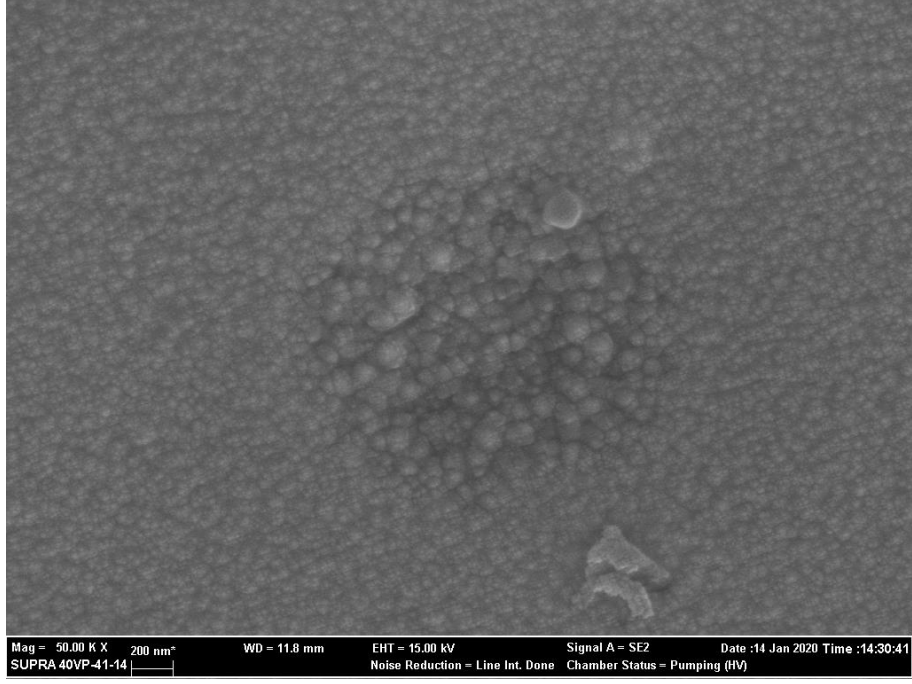
Şekil 21'den Şekil 24'e yer alan SEM görüntüleri incelendiğinde bütün CdSe yapıların tanecikli halde ve kompakt biçimde yüzeyi kapladığı görülmektedir.



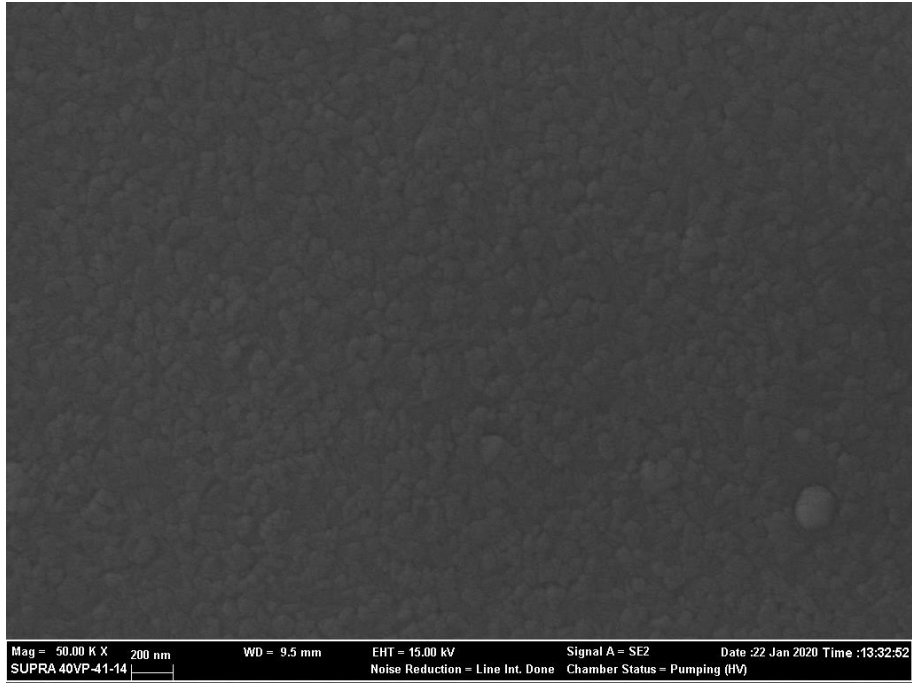
Şekil 21. D8'den elde edilen filmlerin 50000 büyütmedeki SEM görüntüsü



Şekil 22. D9'dan elde edilen filmlerin 50000 büyütmedeki SEM görüntüsü

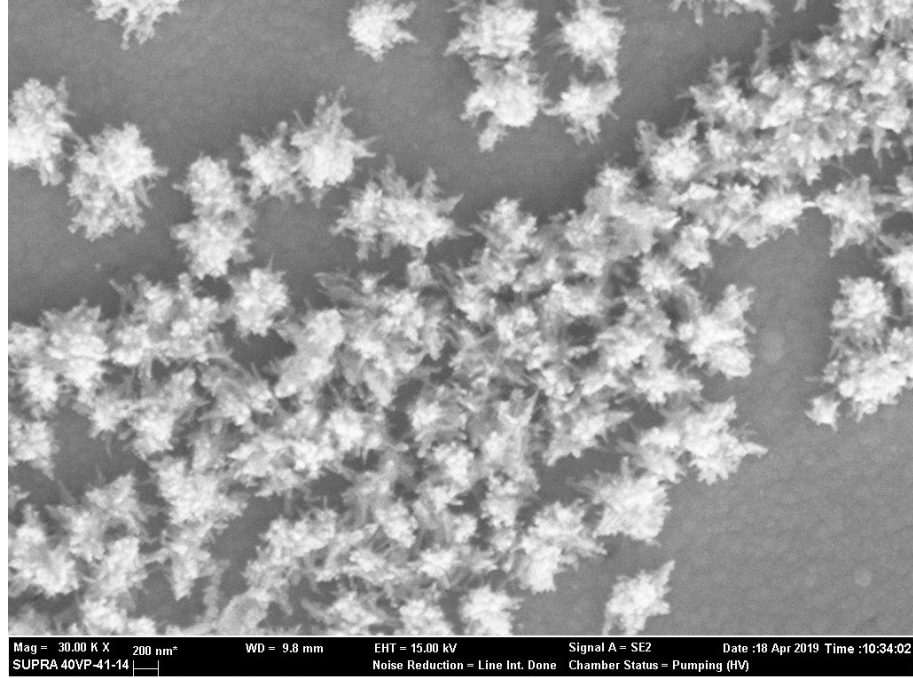


Şekil 23. D10'dan elde edilen filmlerin 50000 büyütmedeki SEM görüntüsü

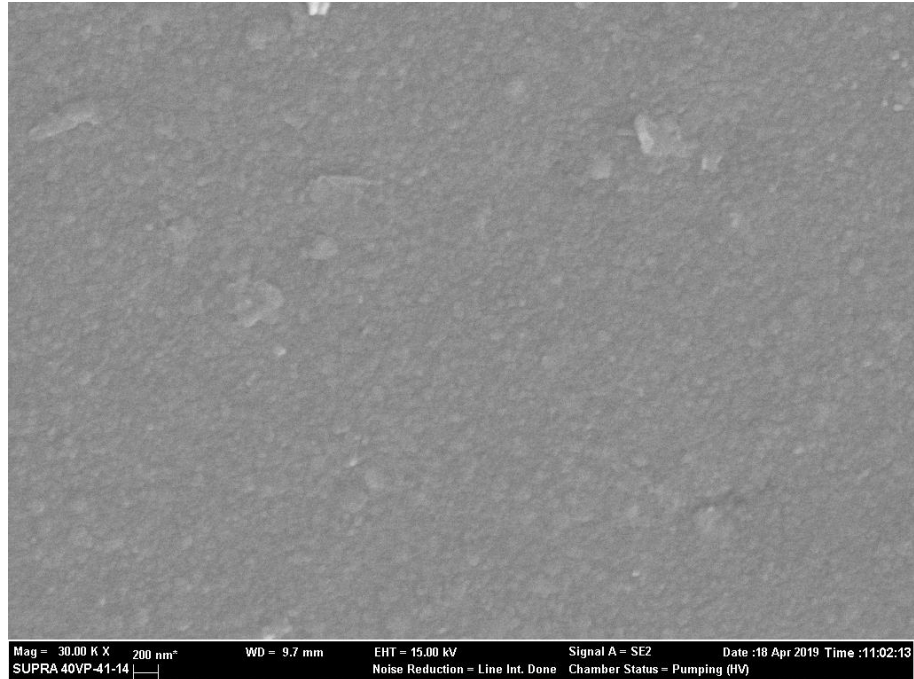


Şekil 24. D11'den elde edilen filmlerin 30000 büyütmedeki SEM görüntüsü

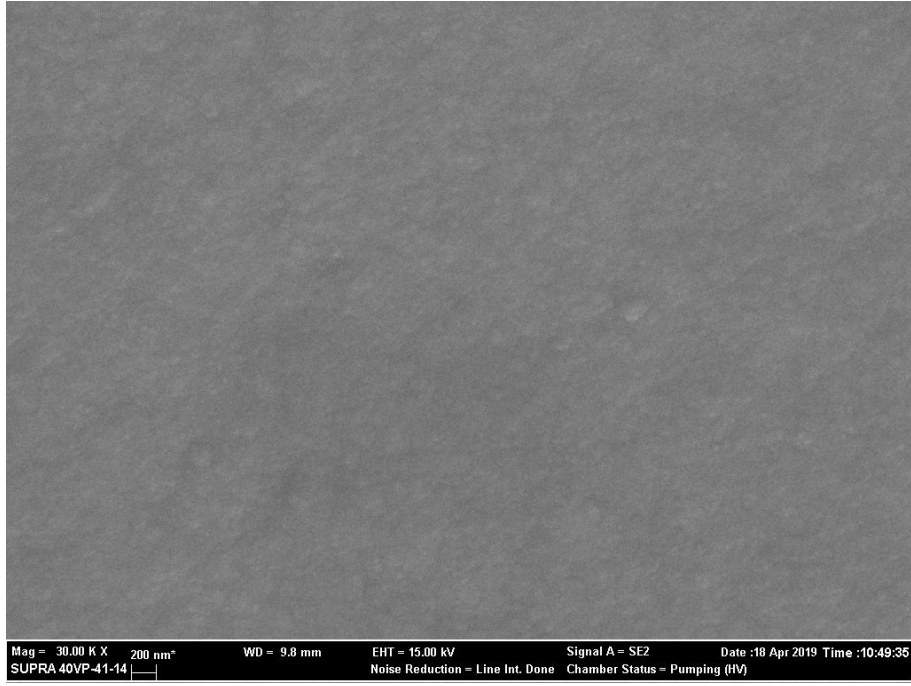
Şekil 26 ve Şekil 27’de yer alan SEM görüntüleri incelendiğinde bütün CdTe yapıların tanecikli halde ve kompakt biçimde yüzeyi kapladığı görülmektedir. Ancak, Şekil 25’de yer alan SEM görüntüsü incelendiğinde tanecikli yapının üzerinde yıldız benzeyen CdTe yapıların olduğu görülmektedir.



Şekil 25. D12’den elde edilen filmlerin 30000 büyütmedeki SEM görüntüsü

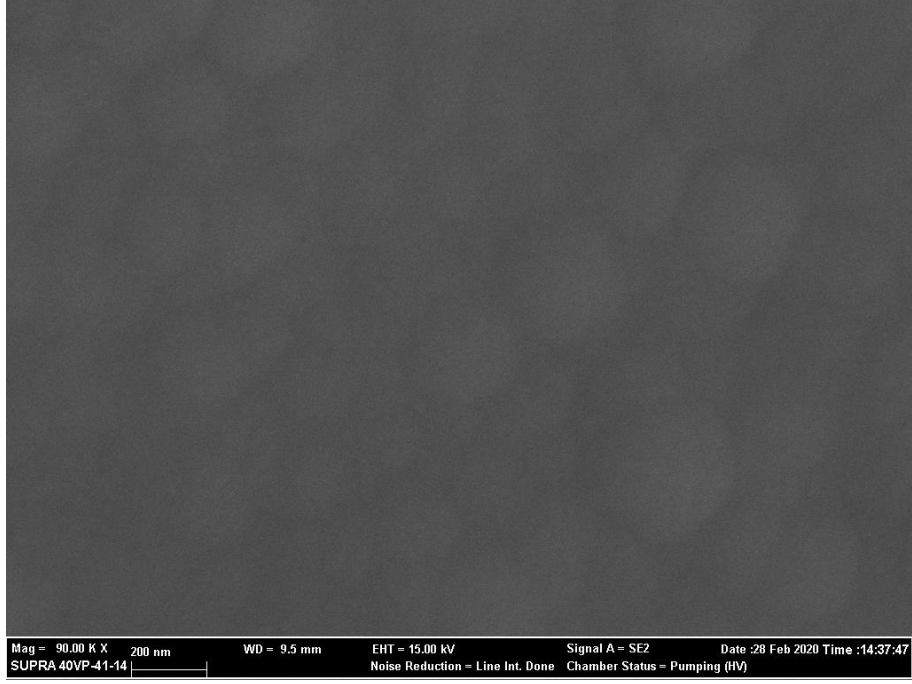


Şekil 26. D13’den elde edilen filmlerin 30000 büyütmedeki SEM görüntüsü

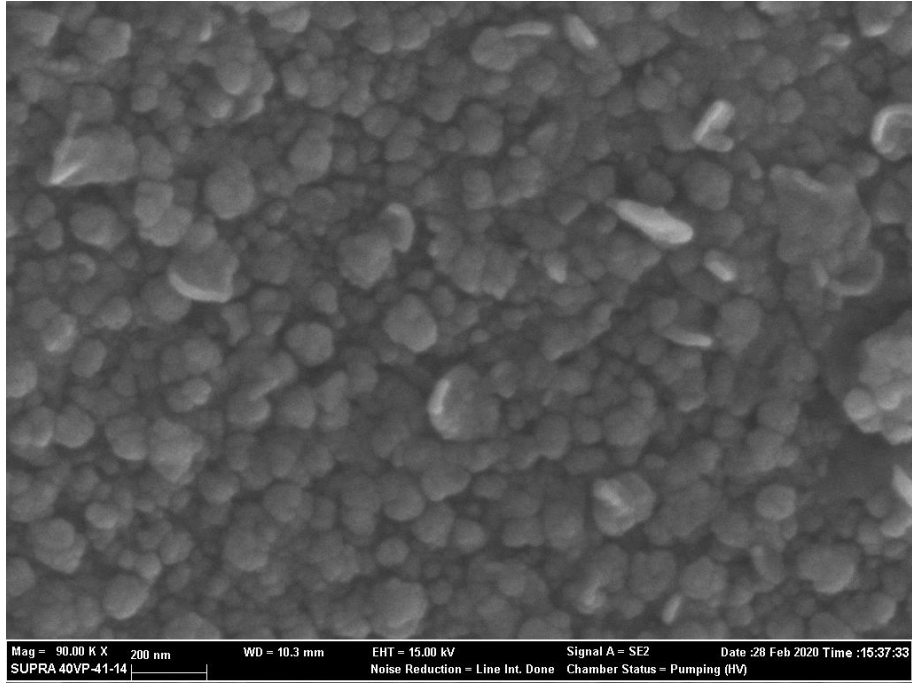


Şekil 27. D14'den elde edilen filmlerin 30000 büyütmedeki SEM görüntüsü

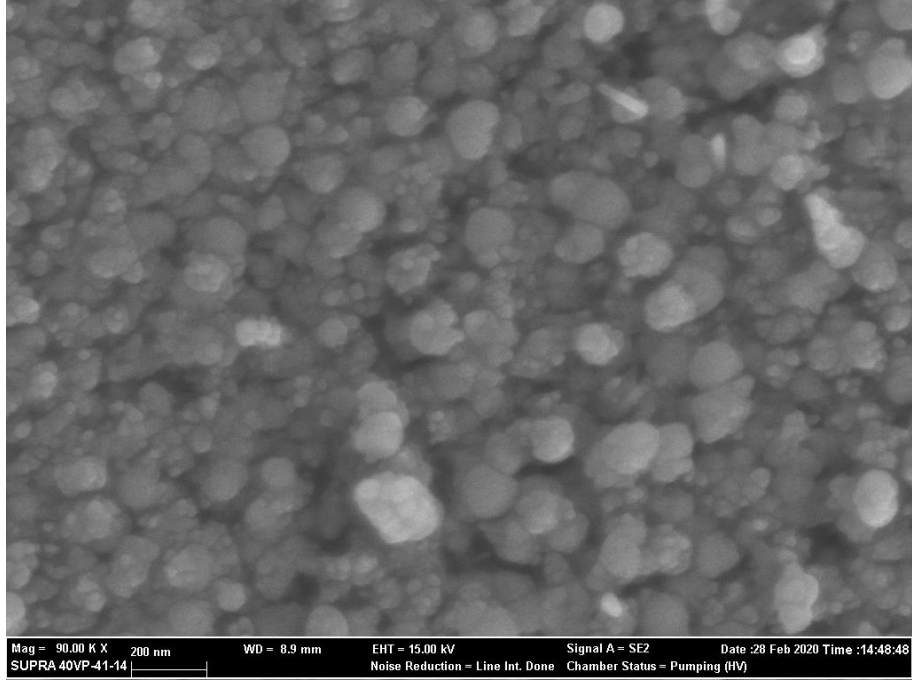
Şekil 29 ve Şekil 30'da yer alan SEM görüntüleri incelendiğinde bütün CdTe yapıların tanecikli halde ve kompakt biçimde yüzeyi kapladığı görülmektedir. Ancak, Şekil 28'de yer alan SEM görüntüsü incelendiğinde CdTe taneciklerinin belirgin biçimde küçüldüğü görülmektedir. Şekil 29 ve Şekil 30'da yer alan SEM görüntüleri incelendiğinde ise, tanecikli yapının bozulduğu alt tabandaki kompakt CdTe'nin üzerinde çubuğa benzeyen CdTe yapıların olduğu görülmektedir.



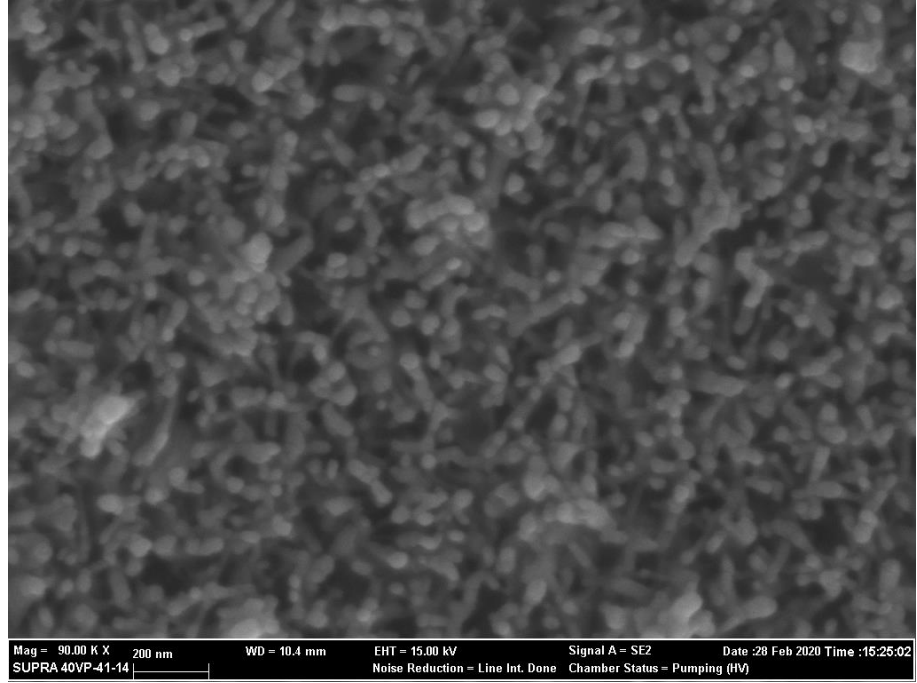
Şekil 28. D15'den elde edilen filmlerin 90000 büyütmedeki SEM görüntüsü



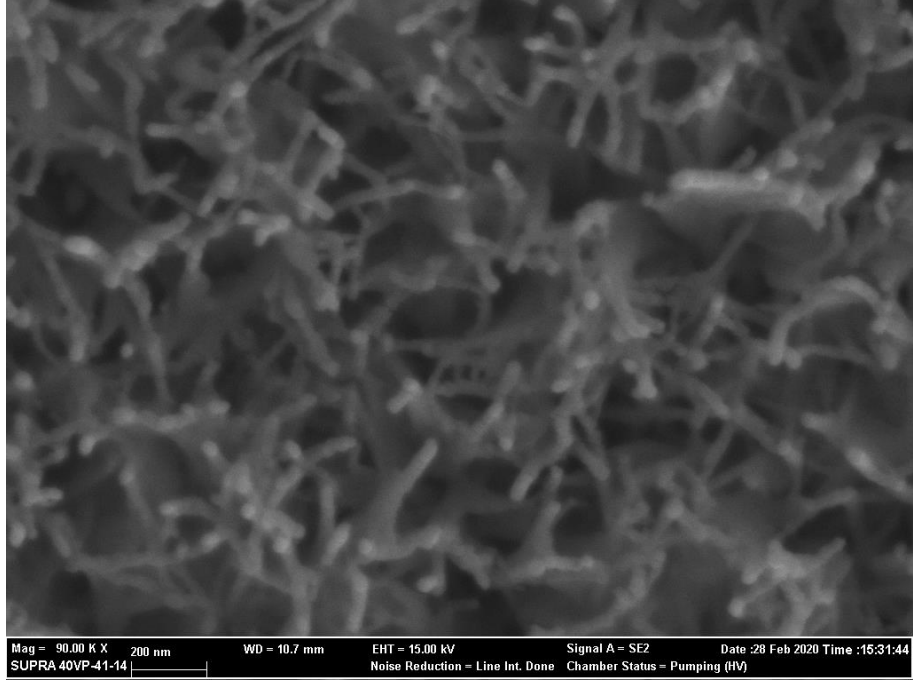
Şekil 29. D16'dan elde edilen filmlerin 90000 büyütmedeki SEM görüntüsü



Şekil 30. D17'den elde edilen filmlerin 90000 büyütmedeki SEM görüntüsü



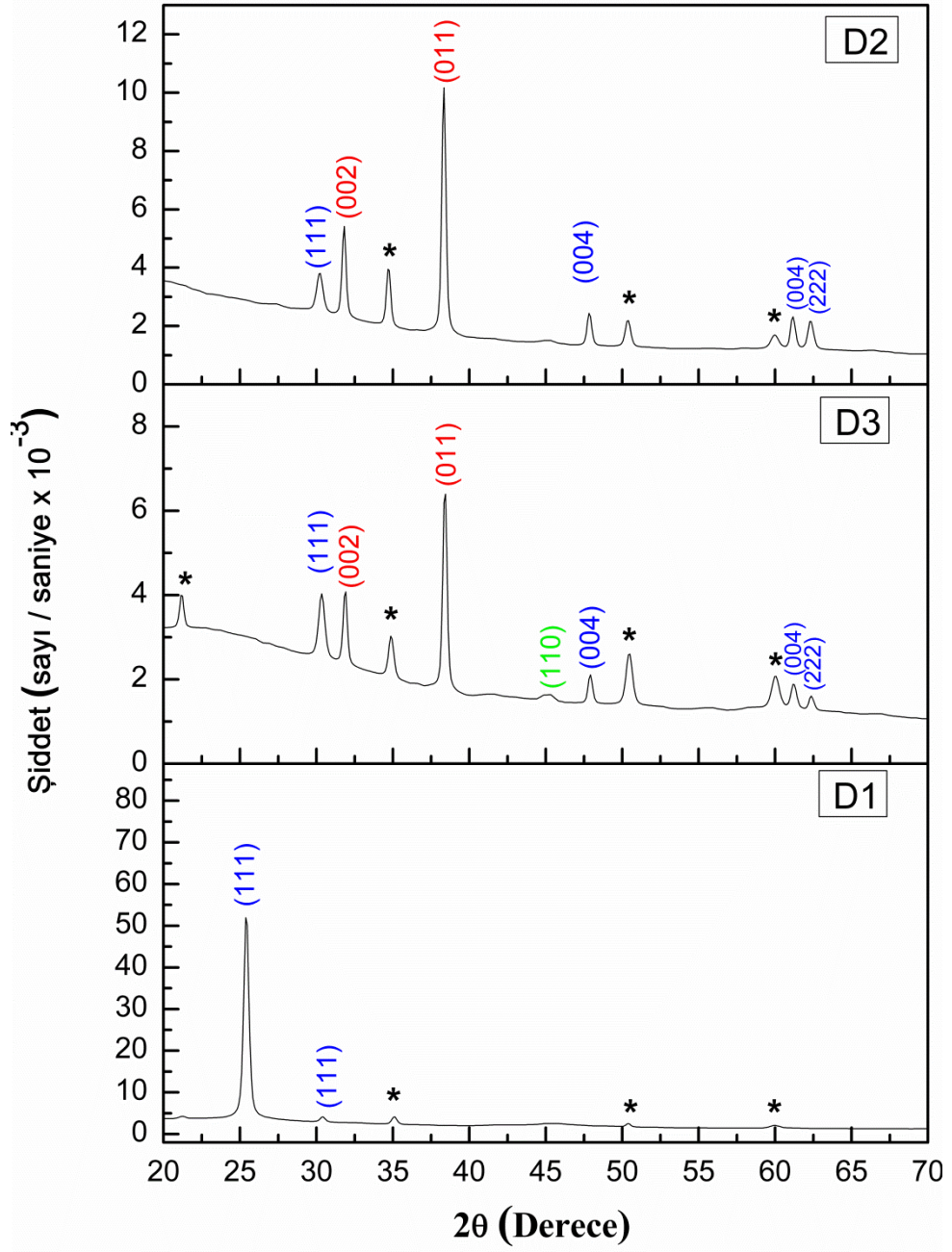
Şekil 30. D18'den elde edilen filmlerin 90000 büyütmedeki SEM görüntüsü



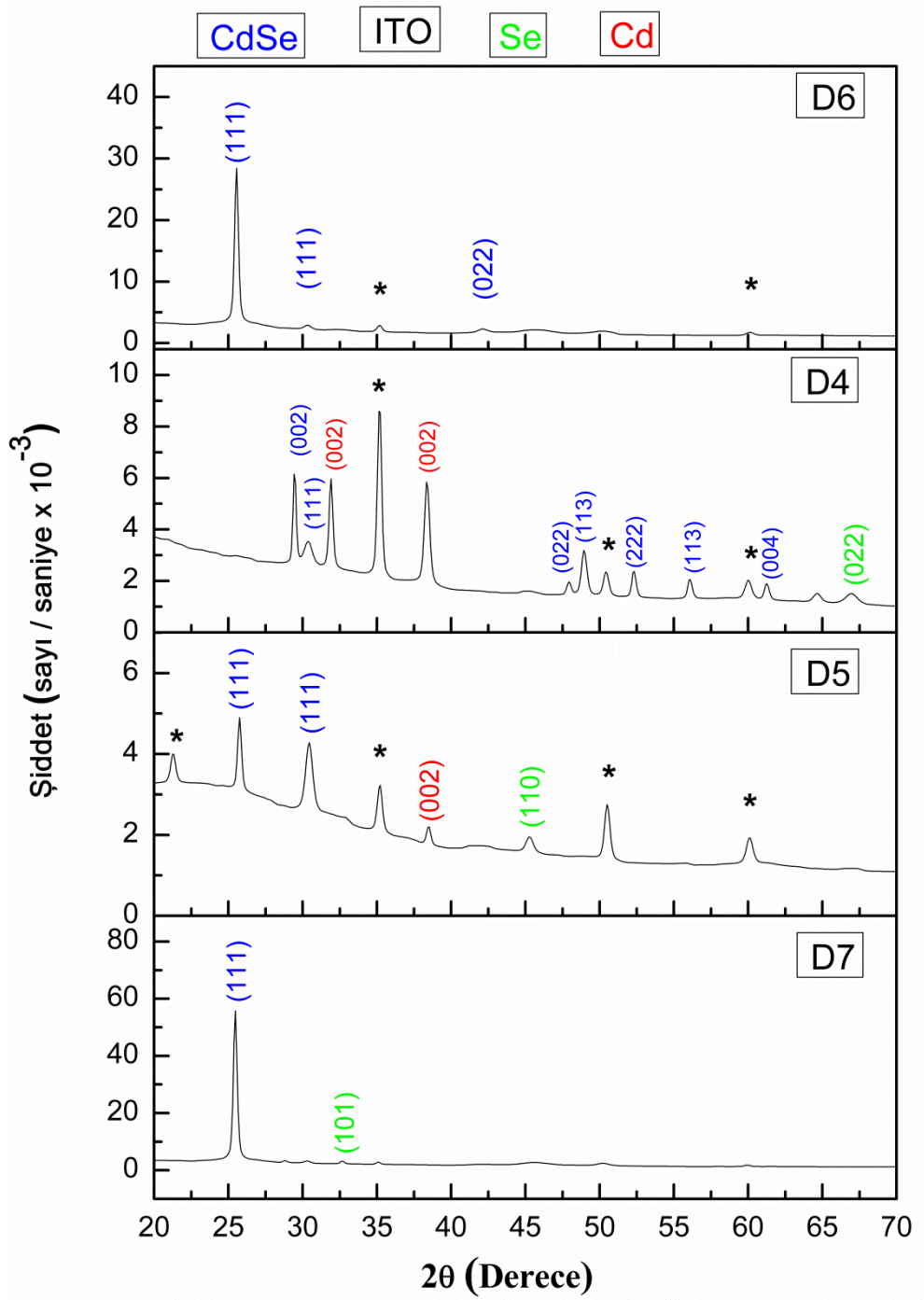
Şekil 31. D19'dan elde edilen filmlerin 90000 büyütmedeki SEM görüntüsü

3.2.3 XRD Analizleri

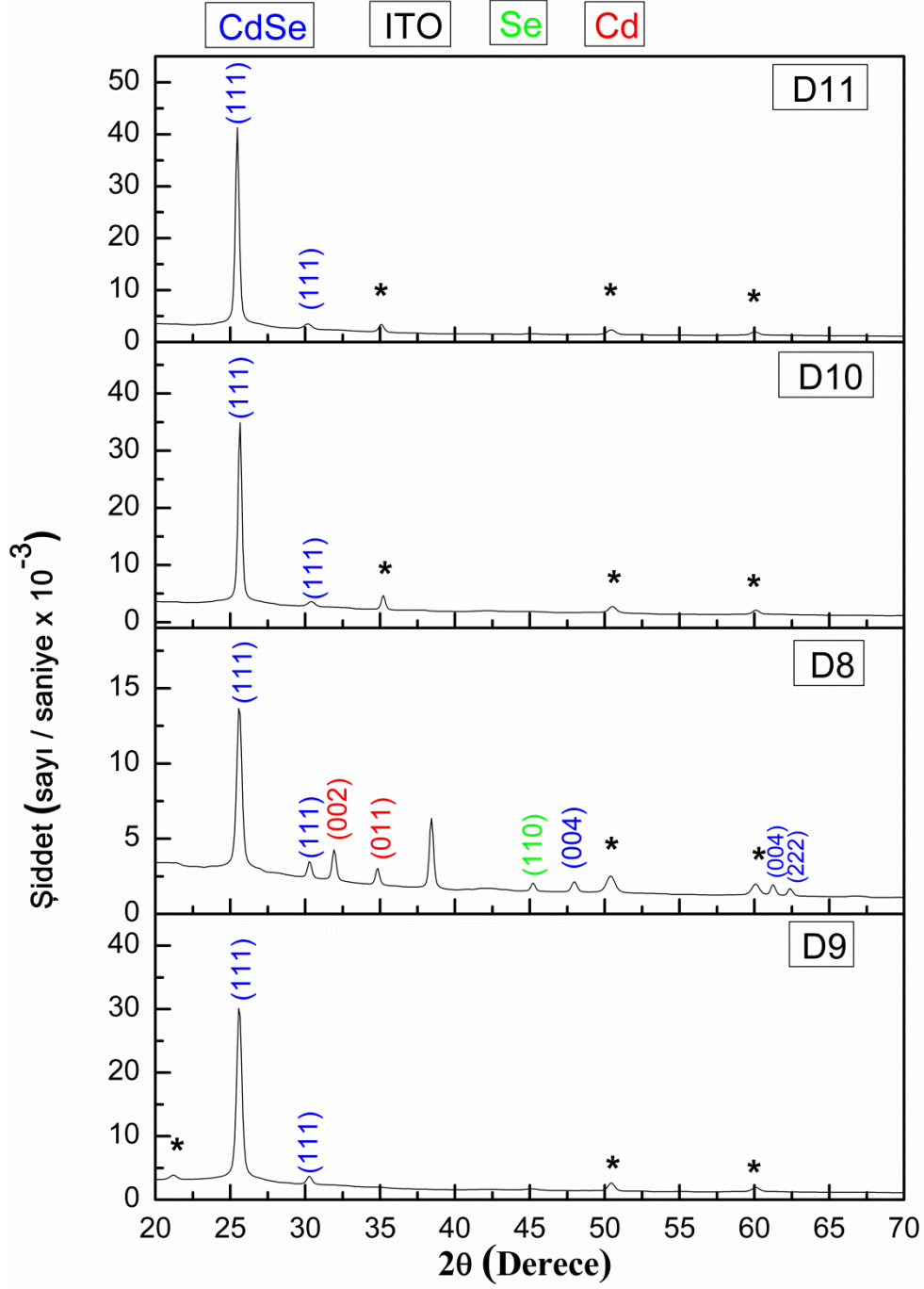
SET I, SET II, SET III, SET IV ve SET V'den üretilen filmlerin XRD analizleri D1'den D19'a kadar sırası ile Şekil 32, Şekil 33, Şekil 34, Şekil 35 ve Şekil 36'da verilmiştir.



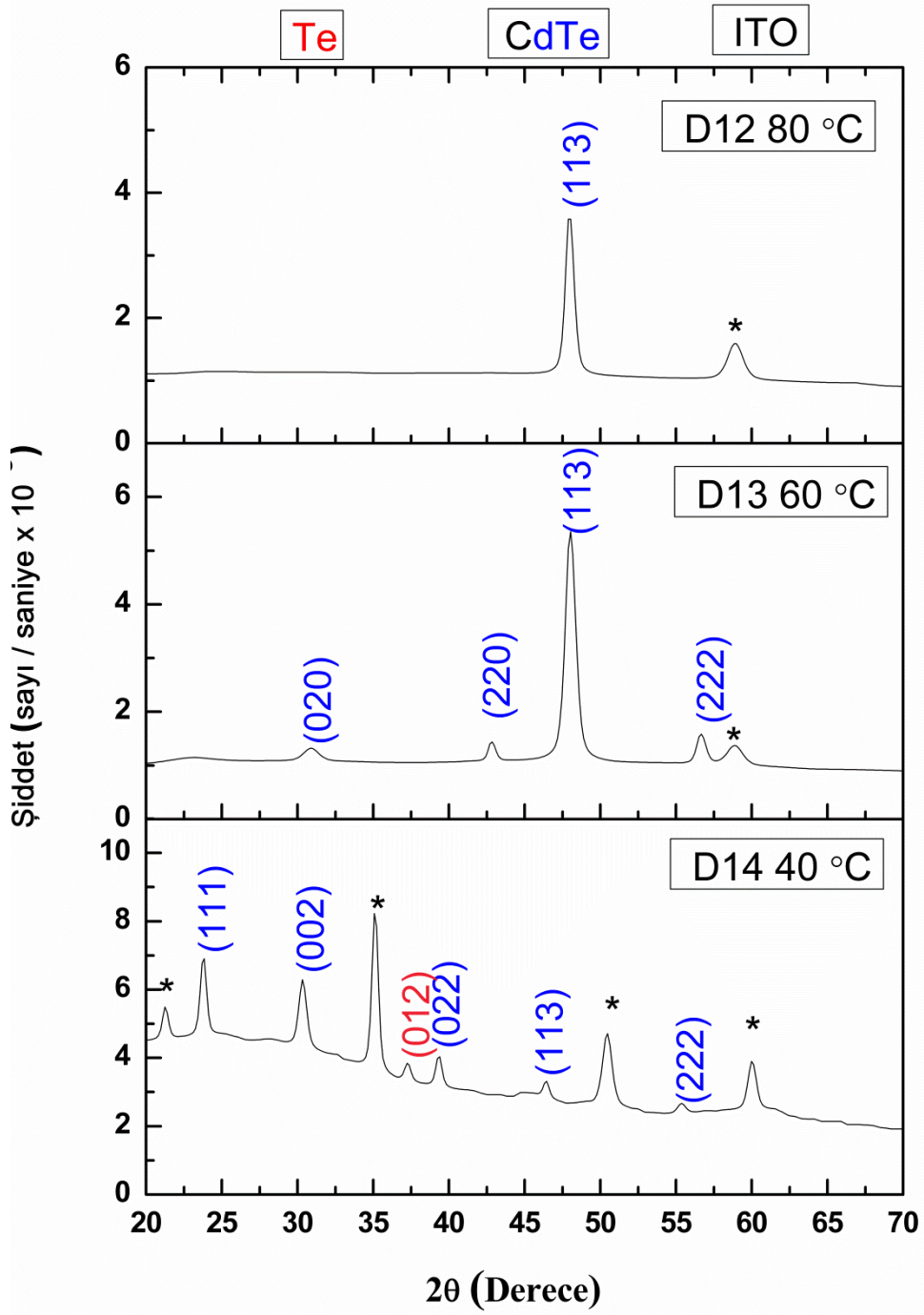
Şekil 32. SET I'den üretilen CdSe filmlerinin zamana karşı XRD grafikleri



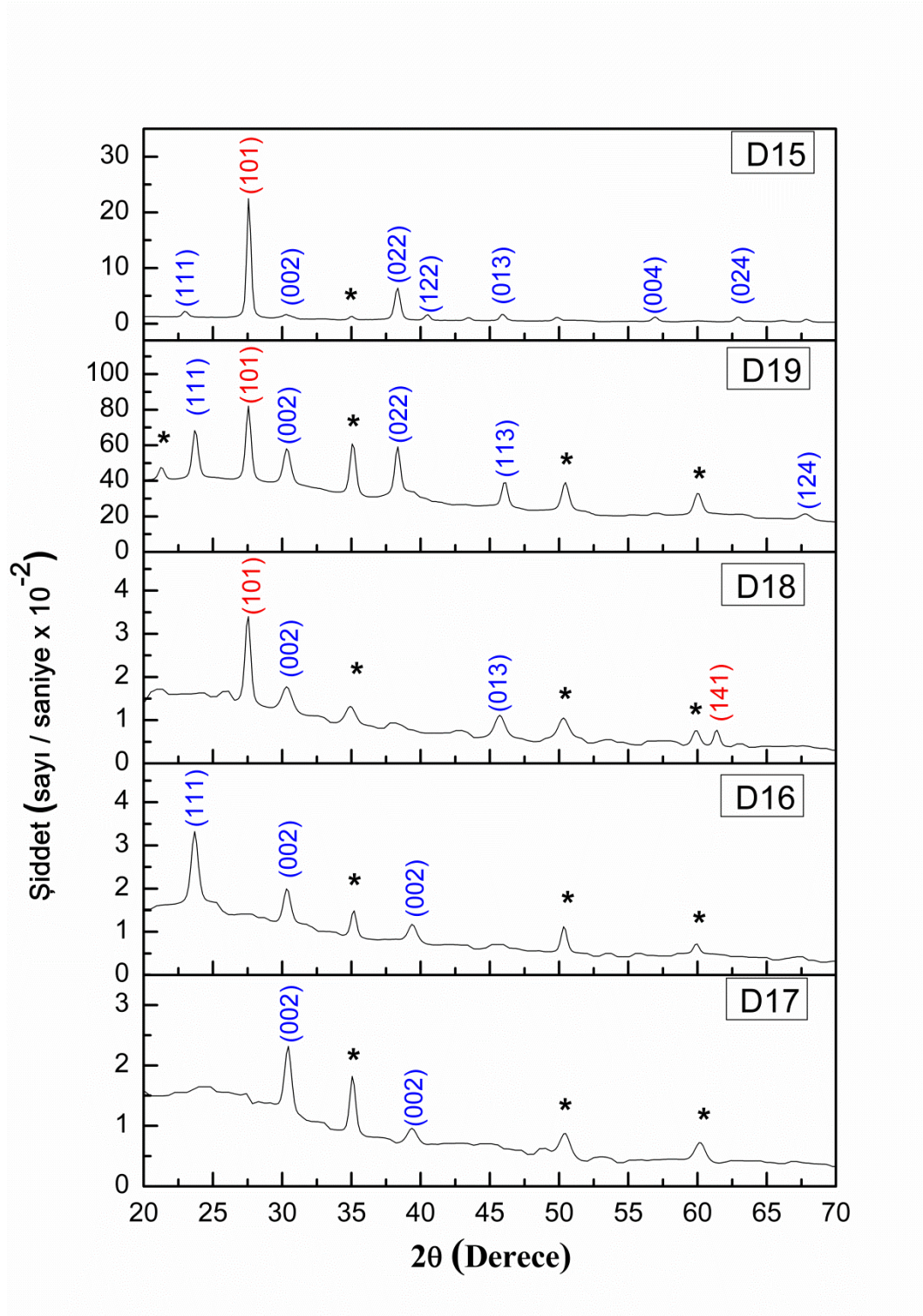
Şekil 33. SET II'den üretilen CdSe filmlerinin zamana karşı XRD grafikleri



Şekil 34. SET III'den üretilen CdSe filmlerinin zamana karşı XRD grafikleri



Şekil 35. SET IV'den üretilen CdTe filmlerinin zamana karşı XRD grafikleri



Şekil 36. SET V'den üretilen CdTe filmlerinin zamana karşı XRD grafikleri

4. MALİ ETKİNLİKLER

Referans Elektrot (Esnek Konnektörlü RE-5B Ag / AgCl Referans Elektrot), Na_2TeO_3 Sodium Tellürite, $\text{CSe}(\text{NH}_2)_2$ (Selenourea) ve Kadmiyum klorür (CdCl_2) alımları tamamlanmıştır.

5. SONUÇ

BAP projesi kapsamında yapılan araştırma ve deney sonuçlarının XRD analizleri, UV analizleri ve SEM analizleri incelendikten sonra D1, D13, D6, D16, D10, D12 ve D11 ile tekrar üretimler gerçekleştirilerek CdSe/CdTe güneş pili oluşturulmuştur. Üretilen CdSe/CdTe güneş pillerinin kalınlıkları D20'den D23'e kadar sırasıyla 862 nm'den 947 nm'ye değişmektedir. Bu pillere ait olan, ölçülen pn eklem açık devre voltajları D20'den D23'e kadar sırasıyla 482 ile 589 mV arasında değişmektedir.

Tablo 7. SET VI'da üretilen CdSe/CdTe güneş pillerinin kalınlıkları ve pn eklem açık devre voltajları

SET VI	Katodik Potansiyel V	Film kalınlığı nm	E_g eV	pn EKLEMAÇIK DEVRE VOLTAJI mV
D20	-1	419	1,75	482
	-0,45	613	1,31	
D21	-0,70	523	1,74	536
	-0,45	663	1,42	
D22	-0,75	531	1,71	577
	-0,45	694	1,17	
D23	-0,75	442	1,72	589
	-0,45	708	1,31	

KAYNAKLAR

- Asıl, H., Geniş Bant Aralıklı ZnO'nun, Elektrokimyasal olarak Büyütülmesi, Karakterizasyonu ve Mümkün Elektronik Uygulamalarının Araştırılması, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye (2010).
- Cristian Baban, G.I. Rusu. AppliedSurfaceScience, 211 (2003) 6–12
- Baines ve arkadaşları. Incorporation of CdS layers into CdTe thin film solar cells. Solar Energy Materials and Solar Cells 180 (2018) 196–204
- H.M. Pathan, B.R. Sankapal, J.D. Desai, C.D. Lokhande. Materials Chemistry and Physics, 78 (2002) 11–14
- Jack W. Dini, ELECTRODEPOSITION The Materials Science of Coatings and Substrates. NOYES PUBLICATIONS (1993)
- K. Girija, S. Thirumalarajan, S. M. Mohan, J. Chandrasekaran. Chalcogenide Letters Vol. 6, No. 8, August 2009, p. 351 – 357
- M. G. Syed Basheer Ahamed, A. R. Balu, V. S. Nagarethinam, A. Thayumanavan, K. R. Murali, C. Sanjeeviraja, and M. Jayachandran. Cryst. Res. Technol. 45, No. 4, 387 – 392 (2010)
- R B Kale and C. D. Lokhande. Semicond. Sci. Technol. 20 (2005) 1–9
- R.K. Pandey, S.N. Sahu, S. Chandra. Handbook of semiconductor. Electrodeposition Marcel Dekker. Inc, 1996
- S.A. Mahmoud, A. Ashour , E.A. Badawi. Applied Surface Science, 253 (2006) 2969–2972