

**T.C.
ADİYAMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SILAR YÖNTEMİ İLE HAZIRLANAN CdO İNCE FİLMLERİN
FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

GÖKHAN GÖKALP

FİZİK ANABİLİM DALI

ADİYAMAN, 2022

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SILAR YÖNTEMİ İLE HAZIRLANAN CdO İNCE FİLMLERİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Gökhan GÖKALP

Adıyaman Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Özge ERKEN
Yıl : 2022, Sayfa sayısı: 83

Jüri : Dr. Öğr. Üyesi Özge ERKEN
Doç. Dr. Ali Osman AYAŞ
Dr. Öğr. Üyesi Kenan BULCAR

Bu çalışmada, kadmiyum oksit (CdO) ince filmler Ardışık İyonik Tabaka Adsorpsiyonu ve Reaksiyonu (SILAR) yöntemiyle cam alt tabanlar üzerinde elde edilmiştir. Farklı döngü sayılarının (50, 70, 90, 110), CdO ince filmlerin yapısal, morfolojik, optiksel ve elektriksel özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Film kalınlıkları tartım metodu ile 46-245 nm aralığında hesaplanmıştır. X-Işını Kırınım (XRD) analizleri CdO ince filmlerin kübik yapıda olduğunu göstermiştir. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizlerinden taneciklerin sıkı yapıda olduğu tespit edilmiştir. Temel optiksel sabitler, optik geçirgenlik (% T) ve optik soğurma (A) ölçümleri kullanılarak araştırılmıştır. Bu ölçümler için UV-Vis spektrofotometresi kullanılmıştır. CdO ince filmlerin % T değerleri görünür bölgede (400-700 nm) %60-92 aralığında değişiklik göstermiştir. Buna ek olarak görünür bölgede kırılma indisi (n) değerleri 1.35-2.09 olarak hesaplanmıştır. CdO ince filmlerin yasak enerji aralıkları (E_g) 2.84-3.06 eV aralığında bulunmuştur. Hall ölçümleri ile CdO ince filmlerin n -tipi iletkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak, araştırılan her parametrenin döngü sayısına bağlı olduğu bulunmuştur. Ayrıca elde edilen CdO ince filmlerin yapılan analizler sonucunda güneş pillerinde şeffaf iletken oksit tabaka malzemesi olarak kullanılabilecek yarıiletken ince filmler arasında umut vaat eden adaylar arasında olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: SILAR; CdO ince filmler; Yapısal özellikler; Optiksel özellikler; Elektriksel özellikler.

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF PHYSICAL PROPERTIES OF CdO THIN FILMS PREPARED BY SILAR METHOD

Gökhan GÖKALP

Adiyaman University
Graduate Education Institute
Department of Physics

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Özge ERKEN
Year : 2022, Number of pages: 83

Jury : Asst. Prof. Dr. Özge ERKEN
Assoc. Prof. Dr. Ali Osman AYAŞ
Asst. Prof. Dr. Kenan BULCAR

In this study, cadmium oxide (CdO) thin films were obtained on glass substrates by using the Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction (SILAR) method. The effects of different cycle numbers (50, 70, 90, 110) on the structural, morphological, optical and electrical properties of CdO thin films were investigated. Film thicknesses were determined by weighing method and calculated in the range of 46-245 nm. The crystal symmetry of CdO thin films were analysed by the X-Ray Diffraction (XRD) method and were found as the cubic structure. It was determined from Scanning Electron Microscopy (SEM) analyses that the particles were formed in a close packed structure. Fundamental optical constants were investigated using optical transmittance (% T) and optical absorption (A) measurements. UV-Vis spectrophotometer was used for these measurements. The % T values of CdO thin films varied in the range of 60-92% in the visible region (400-700 nm). In addition, the refractive index (n) values in the visible region were calculated as 1.35-2.09. The forbidden energy gaps (E_g) of CdO thin films were found in the range of 2.84-3.06 eV. It was determined by Hall measurements that CdO thin films are n -type semiconductors. As a result, it was found that each investigated parameter depends on the number of cycles. In addition, it can be said that the obtained CdO thin films are among the candidate materials that can be used in technological applications in the form of solar cells and transparent conductive oxide layer material.

Key Words: SILAR; CdO thin films; Structural properties; Optical properties; Electrical properties.

BEYAN

“SILAR Yöntemi İle Hazırlanan CdO İnce Filmlerin Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması” başlıklı tezimde çalışmaların tamamen akademik kurallara ve etik değerlere sadık kalınarak yürütüldüğünü ve yazımda yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ayrıca alıntılardan bilimsel etiğe uygun atıf yaparak yararlanmış olduğumu beyan ederim.

Gökhan GÖKALP

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca her türlü desteği ve yardımı hiçbir zaman esirgemeyen, değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, tez çalışmamın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında değerli katkılar sağlayan danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Sayın Özge ERKEN'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın incelenmesinde değerli zamanını benim için harcayan, bilgi ve deneyimlerini esirgemeyerek çalışmama değerli katkılar sağlayan tez savunma jürisinde olan Doç. Dr. Sayın Ali Osman AYAŞ hocama teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalışmamı okuyup yorumlayarak tamamlanmasına katkıda bulunan jürideki değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Sayın Kenan BULCAR hocama teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmamın deneysel aşamasında desteklerini esirgemeyen ve laboratuvar olanaklarından yararlandığım Adıyaman Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü öğretim üyelerine özellikle Kimya Bölüm Başkanı Prof. Dr. Sayın Gamze BARIM'a ve Kimya Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Sayın Ceyran AHMEDOVA'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımın her aşamasında hiçbir özveriden kaçınmayan, beni her zaman destekleyen, bugünlere gelmemde emekleri çok büyük olan kıymetli annem Nilgün GÖKALP ve kıymetli babam Salih GÖKALP'e teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Yüksek lisans fikrini veren, bu süreçte desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, karşılaştığım tüm zorluklarda, beni yalnız bırakmayan, kıymetli eşim Sümeyye GÖKALP'e ve biricik kızım Zeynep Nisa'ya minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
BEYAN.....	III
TEŞEKKÜR.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	X
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Katıların Kristal Yapısı	2
1.1.1. Amorf ve Kristal Yapı.....	3
1.1.2. Bravais Örgü Türleri	3
1.1.3. Miller İndisleri.....	5
1.2. Katıların Yapısal Özellikleri	6
1.2.1. X-Işınları	6
1.2.2. Bragg Yasası ve X-Işınları Kırınımı	7
1.3. Katıların Sınıflandırılması.....	8
1.4. Yarıiletkenler.....	10
1.4.1. Yarıiletkenlerde Bant Geçişleri	10
1.4.2. Yarıiletkenlerde Taşıyıcı Yoğunluğu	11
1.4.3. Katkısız (Saf) Yarıiletkenler	12
1.4.4. Katkılı Yarıiletkenler.....	13
1.4.5. Yarıiletkenlerde Elektriksel İletkenlik	14
1.5. Tezin Amacı	15
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	16
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	26
3.1. Materyal	26
3.2. Yöntem	26
3.2.1. Deneysel Yöntem	26
3.2.1.1. Sıralı İyonik Tabaka Adsorpsiyonu ve Reaksiyonu (SILAR) Yöntemi	26
3.2.1.2. SILAR Yöntemi ile CdO İnce Filmlerin Elde Edilmesi.....	27
3.2.2. Analiz Yöntemleri	31
3.2.2.1. Film Kalınlıklarının Belirlenmesi.....	31
3.2.2.2. XRD Analizi.....	31
3.2.2.3. SEM ve EDS Analizi	32
3.2.2.4. Optiksel Özelliklerin Analizi.....	32
3.2.2.5. Elektriksel Özelliklerin Analizi	34
4. BULGULAR ve TARTIŞMALAR	35
4.1. CdO İnce Filmlerin Kalınlıklarının Hesaplanması.....	35
4.2. CdO İnce Filmlerin XRD Analizleri	36
4.3. CdO İnce Filmlerin SEM ve EDS Analizleri	41
4.4. CdO İnce Filmlerin Optiksel Analizleri	54

4.4.1. Optik Geçirgenlik Analizleri	54
4.4.2. Optik Soğurma Analizleri	57
4.4.3. Yansıma Katsayısı Analizleri	60
4.4.4. Soğurma Katsayısı Analizleri	62
4.4.5. Kırılma İndisi Analizleri	65
4.4.6. Dielektrik Sabiti Analizleri	68
4.4.7. Yasak Enerji Aralığı Analizleri	71
4.5. CdO İnce Filmlerin Elektriksel Özelliklerinin Analizi	74
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	75
KAYNAKLAR	78
KİŞİSEL BİLGİLER	83



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Üç boyutta yedi kristal sistemi ve Bravais örgü tipleri.....	4
Çizelge 3.1 SILAR yöntemiyle elde edilen CdO ince filmlerin deneysel parametreleri	28
Çizelge 4.1 CdO ince filmlerin tartım metodu ile hesaplanan film kalınlıkları.....	35
Çizelge 4.2 50 döngü ile elde edilen CdO ince filminin XRD verilerinden elde edilen kristal parametre değerleri.....	37
Çizelge 4.3 70 döngü ile elde edilen CdO ince filminin XRD verilerinden elde edilen kristal parametre değerleri.....	38
Çizelge 4.4 90 döngü ile elde edilen CdO ince filminin XRD verilerinden elde edilen kristal parametre değerleri.....	39
Çizelge 4.5 110 döngü ile elde edilen CdO ince filminin XRD verilerinden elde edilen kristal parametre değerleri.....	40
Çizelge 4.6 50 döngü ile elde edilen CdO ince filminin EDS analizi sonuçları	44
Çizelge 4.7 70 döngü ile elde edilen CdO ince filminin EDS analizi sonuçları	47
Çizelge 4.8 90 döngü ile elde edilen CdO ince filminin EDS analizi sonuçları	50
Çizelge 4.9 110 döngü ile elde edilen CdO ince filminin EDS analizi sonuçları	53
Çizelge 4.10 CdO ince filmlerin görünür bölgedeki kırılma indisi değerleri	67
Çizelge 4.11 CdO ince filmlerin elektriksel özellikleri	74

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Kristal örgü örneği ve birim hücre.....	3
Şekil 1.2 Bravais örgü yapılarının şematik gösterimi	5
Şekil 1.3 Birim hücredeki bazı kristal doğrultularının Miller indisleriyle gösterimi...	6
Şekil 1.4 X-ışınlarının kristal tarafından kırınıma uğramasının şematik gösterimi	7
Şekil 1.5 Katılarda enerji bant aralıklarının şematik gösterimi.....	9
Şekil 1.6 Yarıiletkenlerde (a) doğrudan (b) dolaylı bant geçişleri.....	10
Şekil 1.7 Katkısız yarıiletkenlerin $T=0$ K'de Fermi enerji seviyesi	13
Şekil 1.8 n -tipi yarıiletken.....	13
Şekil 1.9 p -tipi yarıiletken.....	14
Şekil 3.1 Tez çalışmasında kullanılan bir SILAR döngüsünün şematik gösterimi....	29
Şekil 3.2 Yarıiletken bir malzemenin yasak enerji bant aralığının belirlenmesi	34
Şekil 4.1 50 döngü ile elde edilen CdO ince filmine ait XRD kırınım deseni	36
Şekil 4.2 70 döngü ile elde edilen CdO ince filmine ait XRD kırınım deseni.....	37
Şekil 4.3 90 döngü ile elde edilen CdO ince filmine ait XRD kırınım deseni	38
Şekil 4.4 110 döngü ile elde edilen CdO ince filmine ait XRD kırınım deseni	40
Şekil 4.5 50 döngü ile elde edilen CdO ince filmine ait SEM görüntüleri a) 10.000 b) 30.000 c) 50.000 d) 100.000 büyütme	43
Şekil 4.6 50 döngü ile elde edilen CdO ince filminin tanecik büyüklüğü dağılımı ...	44
Şekil 4.7 70 döngü ile elde edilen CdO ince filmine ait SEM görüntüleri a) 10.000 b) 30.000 c) 50.000 d) 100.000 büyütme	46
Şekil 4.8 70 döngü ile elde edilen CdO ince filminin tanecik büyüklüğü dağılımı.....	47
Şekil 4.9 90 döngü ile elde edilen CdO ince filmine ait SEM görüntüleri a) 10.000 b) 30.000 c) 50.000 d) 100.000 büyütme	49
Şekil 4.10 90 döngü ile elde edilen CdO ince filminin tanecik büyüklüğü dağılımı ...	50
Şekil 4.11 110 döngü ile elde edilen CdO ince filmine ait SEM görüntüleri a) 10.000 b) 30.000 c) 50.000 d) 100.000 büyütme	52
Şekil 4.12 90 döngü ile elde edilen CdO ince filminin tanecik büyüklüğü dağılımı ...	53
Şekil 4.13 50 döngü ile elde edilen CdO ince filmin optik geçirgenlik grafiği	55
Şekil 4.14 70 döngü ile elde edilen CdO ince filmin optik geçirgenlik grafiği	55
Şekil 4.15 90 döngü ile elde edilen CdO ince filmin optik geçirgenlik grafiği	56
Şekil 4.16 110 döngü ile elde edilen CdO ince filmin optik geçirgenlik grafiği	56
Şekil 4.17 50 döngü ile elde edilen CdO ince filmin optik soğurma grafiği	57
Şekil 4.18 70 döngü ile elde edilen CdO ince filmin optik soğurma grafiği	58
Şekil 4.19 90 döngü ile elde edilen CdO ince filmin optik soğurma grafiği	58
Şekil 4.20 110 döngü ile elde edilen CdO ince filmin optik soğurma grafiği	59
Şekil 4.21 50 döngü ile elde edilen CdO ince filmin yansıma katsayısı grafiği	60
Şekil 4.22 70 döngü ile elde edilen CdO ince filmin yansıma katsayısı grafiği	61
Şekil 4.23 90 döngü ile elde edilen CdO ince filmin yansıma katsayısı grafiği	61
Şekil 4.24 110 döngü ile elde edilen CdO ince filmin yansıma katsayısı grafiği.....	62
Şekil 4.25 50 döngü ile elde edilen CdO ince filmin soğurma katsayısı grafiği.....	63
Şekil 4.26 70 döngü ile elde edilen CdO ince filmin soğurma katsayısı grafiği.....	63
Şekil 4.27 90 döngü ile elde edilen CdO ince filmin soğurma katsayısı grafiği.....	64
Şekil 4.28 110 döngü ile elde edilen CdO ince filmin soğurma katsayısı grafiği.....	64

Şekil 4.29 50 döngü ile elde edilen CdO ince filmin kırılma indisi grafiği	65
Şekil 4.30 70 döngü ile elde edilen CdO ince filmin kırılma indisi grafiği	66
Şekil 4.31 90 döngü ile elde edilen CdO ince filmin kırılma indisi grafiği	66
Şekil 4.32 110 döngü ile elde edilen CdO ince filmin kırılma indisi grafiği	67
Şekil 4.33 50 döngü ile elde edilen CdO ince filmin dielektrik sabitleri grafiği	69
Şekil 4.34 70 döngü ile elde edilen CdO ince filmin dielektrik sabitleri grafiği	69
Şekil 4.35 90 döngü ile elde edilen CdO ince filmin dielektrik sabitleri grafiği	70
Şekil 4.36 110 döngü ile elde edilen CdO ince filmin dielektrik sabitleri grafiği	70
Şekil 4.37 50 döngü ile elde edilen CdO ince filminin $(ahv)^2$ değerlerinin foton enerjisine göre değişimi	71
Şekil 4.38 70 döngü ile elde edilen CdO ince filminin $(ahv)^2$ değerlerinin foton enerjisine göre değişimi	72
Şekil 4.39 90 döngü ile elde edilen CdO ince filminin $(ahv)^2$ değerlerinin foton enerjisine göre değişimi	72
Şekil 4.40 110 döngü ile elde edilen CdO ince filminin $(ahv)^2$ değerlerinin foton enerjisine göre değişimi	73

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

$\% T$	: Optiksel Geçirgenlik
m_b^*	: Boşluğun Etkin Kütlesi
m_e^*	: Elektronun Etkin Kütlesi
A	: Optik Soğurma
c	: Işık Hızı
D	: Kristal Boyutu
E_f	: Fermi Enerjisi
E_g	: Yasak Enerji Bant Aralığı
h	: Planck Sabiti
K	: Scherrer sabiti
k	: Sönüm Katsayısı
k_B	: Boltzman sabiti
n	: Kırılma indisi
R	: Yansıma Katsayısı
t_f	: Film Kalınlığı
α	: Soğurma Katsayısı
ε	: Dielektrik Sabiti
λ	: Dalga Boyu
μ	: Mobilite
ρ	: Özdirenç
ρ_f	: Filmin Yoğunluğu
σ	: Elektriksel İletkenlik

Kısaltmalar

AFM	: Atomik Kuvvet Mikroskobu
KDY	: Kimyasal Depolama Yöntemi
KBB	: Kimyasal Buhar Biriktirme
EDX	: Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi
LCD	: Likit Kristal Görüntü
LED	: Işık Etkili Diyot
LPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gaz
ORM	: Optik Yansıma Mikroskobu
PLD	: Atmalı Lazer Biriktirme
FBB	: Fiziksel Buhar Biriktirme
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
ŞİO	: Şeffaf İletken Oksit
SILAR	: Sıralı İyonik Tabaka Adsorpsiyonu Ve Reaksiyonu
UV-vis	: Ultraviyole Görünür Bölge Spektrofotometresi
XRD	: X-ışını Kırınımı Difraktometresi

1. GİRİŞ

Yarıiletken özellik gösteren malzemeler 19. yüzyılda Faraday'ın gümüş sülfatın elektriksel direncinin sıcaklıkla ters orantılı şekilde değişimini bulmasıyla keşfedilmiştir. Bu malzemeler bilim dünyasına sunduğu katkılarla, ilgi odağı olan araştırma konuları arasında yerini almıştır. Ayrıca bu malzemelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirleyen etkenlerin her gün gelişen teknolojiye kullanılması nedeniyle modern dünyada da araştırmacıların ilgisini çekmeye devam etmektedir. Yarıiletkenlerin performansını etkileyen parametreler göz önüne alındığında bu malzemelerin üretimi araştırmacılar için sorun oluşturmıştır. Bu sorun yarıiletken malzemelerin farklı yüzeylerde ince film olarak kaplanması fikrini de beraberinde getirmiştir.

İnce filmler geniş yüzeylere kaplandıkları zaman farklı özelliklere sahip olmaları nedeniyle birçok uygulamada ileri teknoloji ürünleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Yarıiletken ince filmler, kimyasal ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak opto-elektronik aygıt teknolojisi, güneş pilleri, fotovoltaiik, ışık yayan diyotlar, gece görüş sistemleri, lazerler, fotodedektörler gibi birçok uygulama alanında önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle yarıiletken ince filmlerin üretilmesi, yapısal, elektriksel ve optiksel özelliklerinin araştırılması hem bilimsel açıdan hem de teknolojik açıdan büyük önem arz etmektedir. İnce film üretimi bir alt taban yüzeyine malzemenin büyütülmesi esasına dayanmaktadır ve genellikle kalınlıkları 1 μm 'nin altında olan malzemeler ince film olarak adlandırılmaktadır. İlk ince film elektroliz yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Sonrasında Bunsen tarafından kimyasal reaksiyon yöntemi, Faraday tarafından asal gaz içerisinde buharlaştırma yöntemi, Nahrwold ve Kundt tarafından Joule ısıtması yöntemi kullanılarak ince filmler üretilmiştir.

Günümüzde yarıiletken ince filmler tek katlı, çok katlı ve polikristal filmler olmak üzere üç şekilde elde edilebilmektedir. Ancak tek katlı ve çok katlı ince filmlerin üretilmesi oldukça yüksek maliyetli olup gelişmiş teknoloji gerektirmektedir. Bu nedenle akademik araştırmalarda yaygın olarak polikristal filmleri elde etmede kullanılan yöntemler tercih edilmektedir. Yarıiletken ince filmlerin karakteristiklerine bağlı olarak uygulama alanları da değişiklik

göstermektedir. Örneğin; polikristal filmler ilginç optik ve elektriksiksel özellikleri sebebiyle güneş pilleri ve opto-elektronik aygıt teknolojisi gibi uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır.

Yarıiletken ince filmler arasında Şeffaf İletken Oksit (ŞİO) ince filmler yapısal, morfolojik, elektriksel ve optik özellikleri nedeniyle birçok uygulamada kullanılan filmler arasında yerini almıştır. ŞİO yarıiletken ince filmler arasında kadmiyum oksit (CdO) filmler teknolojik uygulamalarda yaygın olarak kullanılan önemli bir yarıiletken malzemedir. Literatür incelendiğinde, katkılı ve katkısız CdO yarıiletken ince filmlerin Fiziksel Buhar Biriktirme (FBB), Kimyasal Depolama Yöntemi (KDY), Kimyasal Buhar Biriktirme (KBB), püskürtme yöntemi ve Sıralı İyonik Tabaka Adsorpsiyonu ve Reaksiyonu (SILAR) gibi farklı üretim yöntemleri kullanılarak elde edildiği görülmektedir. Bu çalışmalarda araştırmacılar, çözelti konsantrasyonu, depolama sıcaklığı, tavlama sıcaklığı, kullanılan alt taban, depolama zamanı, molarite, çözeltinin pH değeri, film kalınlığı gibi parametrelerin CdO ince filmlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bununla birlikte bildiğimiz kadarıyla, SILAR yöntemi kullanılarak elde edilen katkısız CdO ince film çalışmalarında döngü sayısının filmler üzerinde fiziksel özelliklerini araştıran yeterli sayıda çalışma bulunmamaktadır. Bu açıdan da bu tez çalışmasının hem literatüre önemli bir katkı sağlayacağı hem de daha sonra yapılacak çalışmalara ışık tutabileceği öngörülmektedir.

Bu tez çalışmasının birinci bölümünde kuramsal bilgiler ile birlikte tezin amacı yer almaktadır.

1.1. Katıların Kristal Yapısı

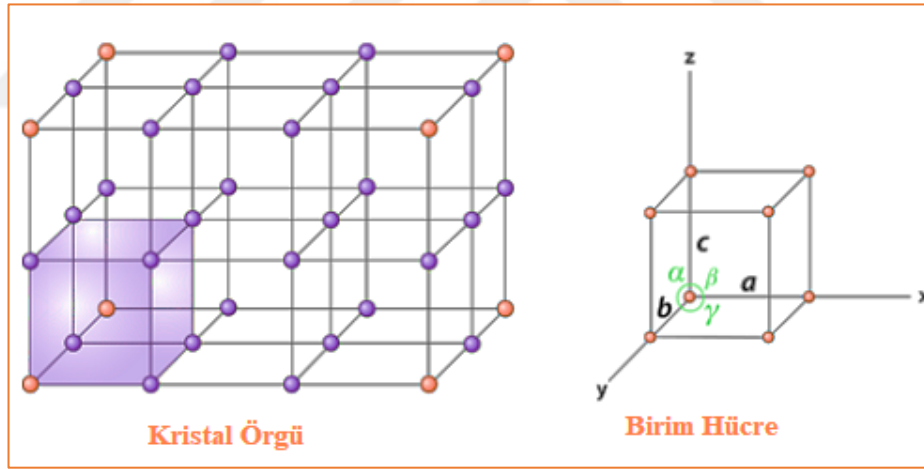
Katıların yapısal ve morfolojik özelliklerinin açıklanabilmesi için kristal yapıların sahip olduğu özellikler önemlidir.

1.1.1. Amorf ve Kristal Yapı

Katı maddeler, katıyı oluşturan atomların dizilimlerine göre sınıflandırılabilir. Bir katıyı oluşturan atom ya da atom gruplarının düzenli bir şekilde dizilmesine kristal yapı ve gelişi güzel olarak dizilmesi amorf yapı olarak tanımlanmaktadır. Kristaldeki bir atomun yerini örgü öteleme vektörü ile belirleriz. Örgü noktalarından herhangi biri koordinat başlangıcı olarak kabul edilebilir ve örgü noktasının yeri,

$$\vec{R} = u\vec{a} + v\vec{b} + w\vec{c} \quad (1.1)$$

vektörü ile gösterilir. Burada u , v ve w ifadeleri tamsayı değerleri alır. Eğer öteleme vektörleri $\mathbf{a}$, $\mathbf{b}$ ve $\mathbf{c}$ mümkün olduğunca küçük birim hücre oluşturmak için seçilirse hem öteleme vektörleri hem de birim hücre, primitif olarak isimlendirilir [1, 2]. Kristal örgü örneği ve birim hücre Şekil 1.1’de verilmiştir.



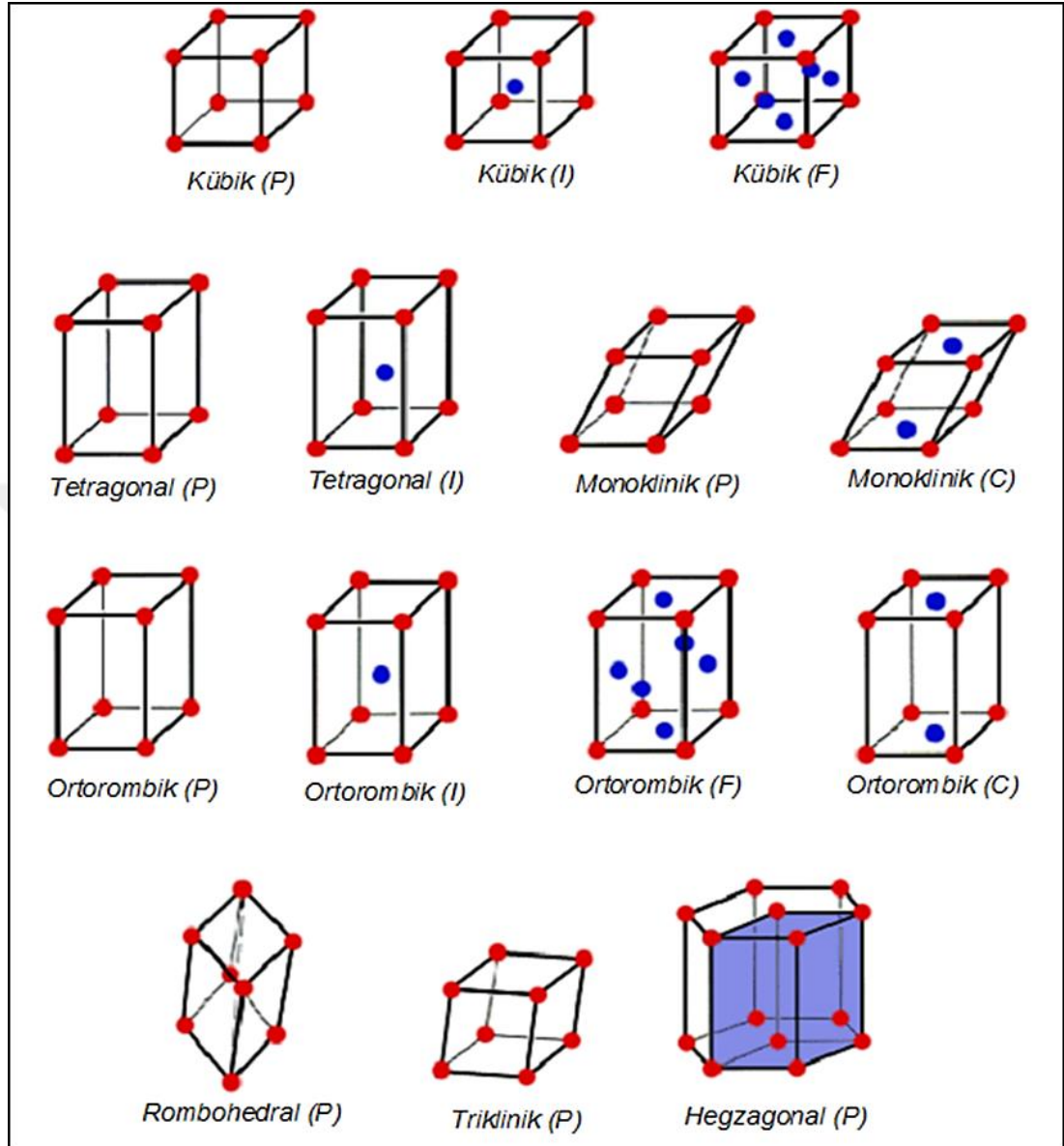
Şekil 1.1 Kristal örgü örneği ve birim hücre

1.1.2. Bravais Örgü Türleri

Kristalin örgü yapısını tanımlamak için birim hücrede atomların konumlarına ve açılarına bakılmaktadır. Birim hücredeki atomların konumları ve açılarının farklı kombinasyonları sonucu ortaya çıkan farklı geometrik şekillere sahip kristal sistemleri mevcuttur. Bu sistemlere ait temel özellikler Çizelge 1.1’de ve Bravais örgü yapıları Şekil 1.2’de verilmiştir.

Çizelge 1.1 Üç boyutta yedi kristal sistemi ve Bravais örgü tipleri

Kristal Yapı	Bravais Örgü Tipi	Eksen Uzunlukları ve Eksenler Arasındaki Açılar
Kübik	Basit (P) Cisim merkezli (I) Yüzey merkezli (F)	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Ortorombik	Basit (P) Cisim merkezli (I) Yüzey merkezli (F) Taban merkezli (C)	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Tetragonal	Basit (P) Cisim merkezli (I)	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Monoklinik	Basit (P) Taban merkezli (C)	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$
Triklinik	Basit (P)	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$
Hegzagonal	Basit (P)	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$
Rombohedral	Basit (P)	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$

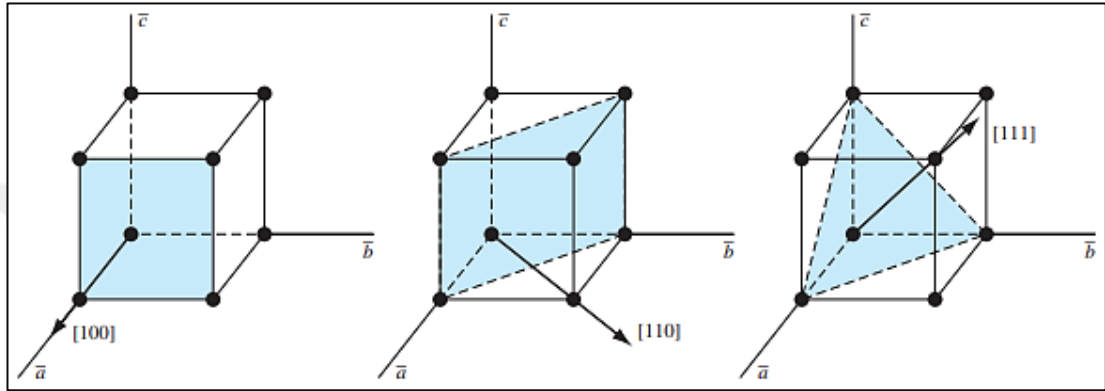


Şekil 1.2 Bravais örgü yapılarının şematik gösterimi [3]

1.1.3. Miller İndisleri

Kristal yapılarda düzlemler ve doğrultular Miller indisleri ile gösterilmektedir. Bu gösterim şeklini Miller keşfetmiş ve bunlara Miller indisi denilmiştir [4]. Düzleme ait Miller indisleri (hkl) biçiminde, doğrultulara ait Miller indisleri ise [hkl] şeklinde gösterilir (Şekil 1.3). Miller indislerini tayin edebilmek için düzlemin primitif hücre içerisinde eksenleri kestiği noktalar bulunur. Bu

noktaların, primitif hücre koordinatlarına oranı belirlenir. Bulunan oranların çarpma işlemine göre tersi alınarak en küçük ortak katları ile çarpılır. Elde edilen sayılar parantez içinde yazılarak Miller indisleri belirlenmiş olur [5]. Düzlemin eksenini kestiği nokta negatif ise işaret miller indisinin üstünde belirtilir. Örneğin, $h=2$, $k=-1$, $l=0$ için, düzlemin miller indisleri $(2\bar{1}0)$ ile gösterilir.



Şekil 1.3 Birim hücredeki bazı kristal doğrultularının Miller indisleriyle gösterimi [6]

1.2. Katıların Yapısal Özellikleri

1.2.1. X-Işınları

Alman Fizikçi Wilhelm Conrad Röntgen tarafından 1895 yılında keşfedilen X-ışınları, yaklaşık olarak 0,1-100 Å aralığında dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgalardır. Elektromanyetik spektrumda γ ışınlarından sonra en fazla enerji ve frekansa sahiptir. X-ışınları, sürekli X-ışınları ve karakteristik X-ışınları olmak üzere iki farklı yolla elde edilebilir. Bir elektronun atoma çarparak büyük bir ivmeyle yavaşlaması sonucu elde edilen ışınlara sürekli X-ışınları denir. X-ışınlarının enerjisi,

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (1.2)$$

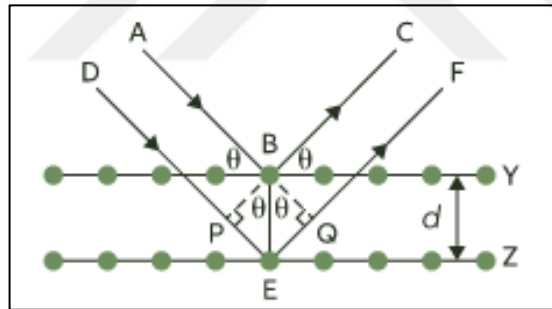
bağıntısı ile ifade edilir. Burada h Planck sabitini, c ışık hızını ve λ X-ışınlarının dalga boyunu göstermektedir.

Enerjisi yeterli olan bir elektron, hedef atomun K kabuğundan elektron iyonlaştırdığı zaman dış yörüngedeki bir elektron K kabuğundaki enerji seviyesine

düşer. Aradaki enerji farkı kadar enerjiye sahip bir ışıma yapar. Bu yolla elde edilen ışınlara karakteristik X-ışınları denir [7].

1.2.2. Bragg Yasası ve X-Işınları Kırınımı

Dalga boyu 0,1 Å ile 100 Å arasında değişen X-ışınları kristalde uygun şartlarda kırınıma uğrar. Kristalde düzenli bir şekilde sıralanan atomların her biri aynı frekansta titreşime sahip ve aynı faza sahip ışık kaynağı gibi davranır. Bu ışık kaynaklarından gelen ışınlar bazı bölgelerde birbirini sönmülerken (yıkıcı girişim), bazı bölgelerde birbirini kuvvetlendirir (yapıcı girişim). Girişim ile elde edilen ışınlar bir desen oluşturur. Bragg yasası, kristale gelerek kırınıma uğrayan ışınların yapıcı girişim yapacakları doğrultuları belirler. Bu yasaya göre, yapıcı girişimin gerçekleşmesi için paralel iki düzlemden yansıyan dalgalar arasındaki yol farkının, dalga boyunun tam katlarına eşit olmalıdır (Şekil 1.4).



Şekil 1.4 X-ışınlarının kristal tarafından kırınımına uğramasının şematik gösterimi

Şekil 1.4'ten görüleceği gibi yol farkı;

$$|PE| + |EQ| = 2 \cdot d \cdot \sin \theta \quad (1.3)$$

ile verilir. Buna göre Bragg yasası;

$$2 \cdot d_{hkl} \cdot \sin \theta_{hkl} = n \cdot \lambda \quad (1.4)$$

şeklinde tanımlanır. Burada λ gelen ışınların dalga boyunu, n yansımanın derecesini gösteren tamsayıyı, θ bir (hkl) düzleminden Bragg yansıma açısını ve d değeri (hkl) düzlemleri arasındaki uzaklığı temsil etmektedir.

Debye Scherrer, kristal boyutu küçük olan malzemelerin XRD çizgi genişliğini artırdığını keşfetmiştir. Bu genişlemeye bağlı olarak kristal boyutu,

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1.5)$$

ifadesi ile hesaplanabilmektedir. Burada D kristal boyutunu, K değeri 0.94 olan Scherrer sabitini, λ X-ışınının dalga boyunu, β pikin yarı maksimumdaki genişliğinin radyan cinsinden değerini temsil etmektedir.

1.3. Katıların Sınıflandırılması

Katılar elektriksel özelliklerine göre üç grupta sınıflandırılabilir.

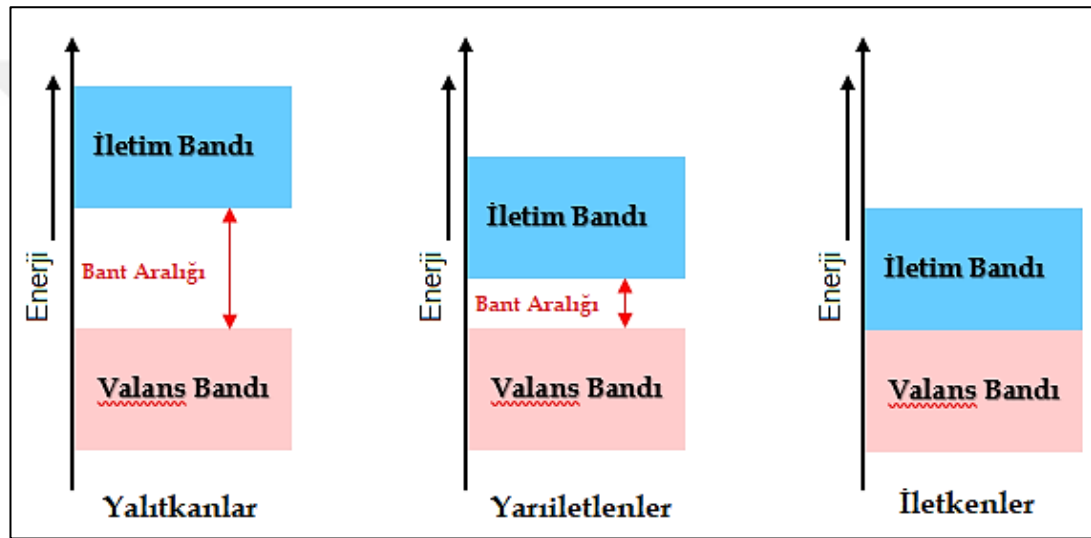
➤ **İletkenler:** Elektrik yüklerinin yani elektronların üzerinden serbestçe akabildiği (geçebildiği) katılar iletken olarak tanımlanmaktadır. İletkenler, atomlarının son yörüngelerinde üç ya da daha az elektron bulunduran maddelerdir. Bu elektronları ise çekirdeğe bağlayan kuvvet zayıf kuvvettir. Dolayısıyla, örneğin bakır atomunun son yörüngesinde bir elektron vardır ve çekirdek tarafından kuvvetlice çekilmediğinden çok kolay serbest hale geçebilir. Bakırın uçlarına bir potansiyel fark uygulandığında elektronlar serbest hale geçer ve pozitif kutba doğru hareket ederek bir elektrik akımı oluşturur. Örnek olarak bakır (Cu), demir (Fe), alüminyum (Al) verilebilir.

➤ **Yalıtkanlar:** Gerilim uygulandığında elektrik akımını iletmeyen katılar yalıtkan olarak tanımlanır. Ayrıca atomik yapı açısından bakıldığında son yörüngelerinde beş veya daha fazla elektron bulunduran maddelerdir. Örnek olarak plastik, cam, kauçuk, kâğıt, tahta gibi maddeler verilebilir.

➤ **Yarıiletkenler:** Atomlarının son yörüngelerinde dört elektron bulunduran atomlardan oluşan maddeler yarıiletken olarak tanımlanmaktadır. Yarıiletken maddeler, elektrik akımını yalıtkanlardan fazla, iletkenlerden daha az iletebilen

kayıllardır. Silisyum (Si) ve germanyum (Ge) elementleri yarıiletkenlere örnek olarak verilebilir.

Katıların sınıflandırılmasında enerji bant aralıkları da etkin bir rol oynamaktadır. Enerji bant aralığı, yalıtkanlarda oldukça geniş olup iletkenlerde enerji bant aralığı çok küçüktür ve iletkenlerde iletim bandı ile valans bandı adeta bitişiktir. Yarıiletkenlerde ise enerji bant aralığı yalıtkanlara göre dar iletkenlere göre geniştir (Şekil 1.5).



Şekil 1.5 Katılarda enerji bant aralıklarının şematik gösterimi

Mutlak sıfır sıcaklığında valans bandı tamamen dolu olup iletim bandı tamamen boştur. Yasak enerji bant aralığı ise dar bir şekildedir. Dolayısıyla yarıiletkenler mutlak sıfır sıcaklığında mükemmel bir yalıtkandır. Sıcaklığın artmasıyla valans bandındaki elektronların enerjisi artarak birkaç elektron yasak enerji bant aralığını aşarak iletim bandına katılır. İletim bandına geçen elektronlar valans bandında boşluklar (hole) bırakır. Bu boşluklarda pozitif yüklü taşıyıcılar olarak iletme katkı sağlarlar. Yarıiletkenlerde iletkenliği sağlayan taşıyıcılar elektronlar ve boşluklardır. Bu durumda sıcaklığın artması elektriksel iletkenliği artırmış olacaktır [8].

Valans bandındaki bir elektronu iletim bandına uyaracak kadar enerji verilmezse elektriksel iletim sağlanamaz ve katı, yalıtkan gibi davranır. Bu sebeple

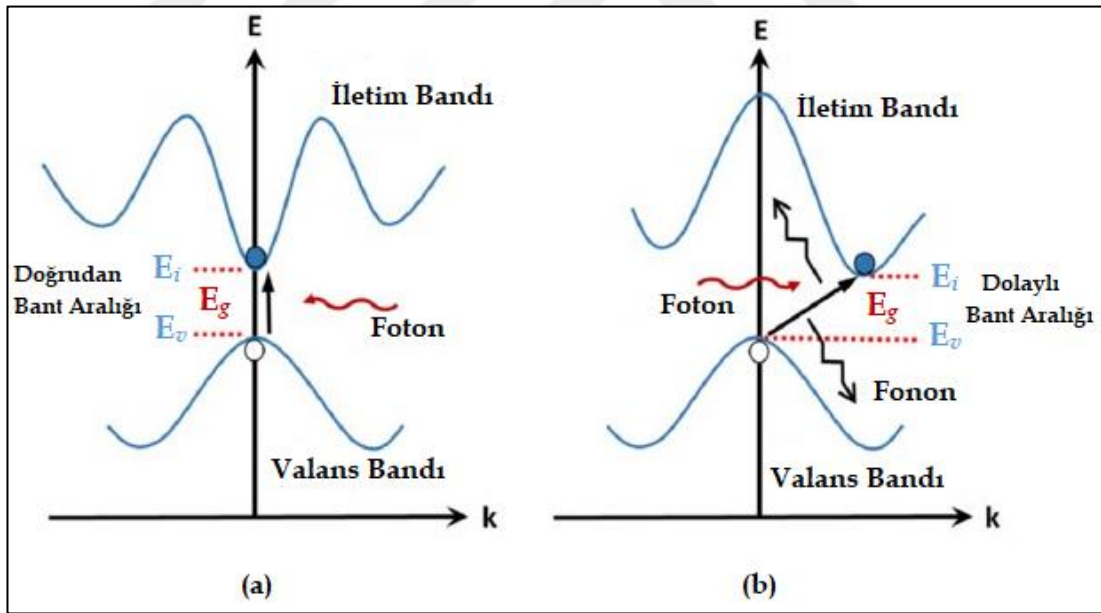
gerekli uyarma enerjisi enerji bant aralığının bir ölçüsüdür. Gerekli olan enerjiyi termal, optik ve mekanik yollarla sağlayabiliriz [9].

1.4. Yarıiletkenler

Tez çalışmasının bu kısmında yarıiletkenlerle ilgili kuramsal bilgiler verilmiştir.

1.4.1. Yarıiletkenlerde Bant Geçişleri

Yarıiletkenlerde bant geçişleri, elektronların valans bandından iletkenlik bandına geçiş durumlarına göre doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki gruba ayrılır (Şekil 1.6). Yasak enerji bant aralığı değerlerinin ve bant geçiş tiplerinin belirlenmesinde optik yöntemler en yaygın kullanılan yöntemler arasındadır.



Şekil 1.6 Yarıiletkenlerde (a) doğrudan (b) dolaylı bant geçişleri

Doğrudan bant geçişlerinde valans bandının en üst noktası ile, iletkenlik bandının en alt noktası aynı $\vec{k}$ dalga vektörü üzerindedir. Yarıiletkenler doğrudan bant yapılı ise valans bandındaki bir elektronun iletkenlik bandına geçebilmesi için

soğuracağı fotonun enerjisi yasak enerji aralığının değerine eşit veya daha büyük olması gerekmektedir ($h\nu \geq E_g$). Bu geçişte elektronlar dalga vektörlerini değiştirmezler ve $\vec{k}=0$ 'da momentum korunur. Doğrudan bant geçişlerinde elektron ve boşlukların momentumlarının toplamı sıfırdır. Dolaylı bant geçişlerinde ise valans bandının en büyük değeri ile iletkenlik bandının minimum değerinde geçiş yapan elektronun aynı $\vec{k}$ dalga vektörü değerinde olmadığı görülür. Burada momentumun korunabilmesi için foton soğurulması ya da foton salınması gerekmektedir.

Valans bandındaki bir elektronun iletim bandına geçebilmesi için yasak enerji bant aralığından daha büyük bir enerji alması gerekmektedir. İletim bandı enerjisi ve valans bandı enerjisi aşağıdaki bağıntılarla verilmektedir.

$$E_i(\vec{k}) = E_g + \frac{\hbar^2 \cdot k^2}{2 \cdot m_e^*} \quad (1.6)$$

$$E_v(\vec{k}) = -\frac{\hbar^2 \cdot k^2}{2 \cdot m_b^*} \quad (1.7)$$

Bu bağıntılarda E_i iletim bandı enerjisini, E_v valans bandı enerjisini, m_e^* elektronun etkin kütesini ve m_b^* boşluğun etkin kütesini göstermektedir.

1.4.2. Yarıiletkenlerde Taşıyıcı Yoğunluğu

Yarıiletkenlerde elektriksel iletkenlik, elektron ve boşluk yoğunluğu ile belirlenebilmektedir. Elektron ve boşluk yoğunluğu ise enerji bant aralığına bağlı olarak ifade edilebilir. Yarıiletkenlerde her denge sıcaklığında bir enerji dağılımı ve Fermi enerjisi bulunduğu kabul edilmektedir [8, 9]. T sıcaklığındaki bir sistemde enerjisi E olan bir durumun, bir elektron tarafından işgal edilme olasılığı,

$$f(E, T) = \frac{1}{e^{(E-E_f)/(k_B \cdot T)} + 1} \quad (1.8)$$

Fermi-Dirac dağılım fonksiyonu ile verilir. Elektron durum yoğunluğuna (n_e) bağlı olarak elektron yoğunluğu,

$$n = n_e \cdot e^{-(E_g - E_f)/(k_B T)} \quad (1.9)$$

bağıntısı ile verilir. Buna benzer olarak elektronların iletim bandına geçmesiyle valans bandında oluşan boşlukların yoğunluğu ise

$$p = p_b \cdot e^{-E_f/(k_B T)} \quad (1.10)$$

ile verilir. Burada p_b boşlukların durum yoğunluğudur.

1.4.3. Katkısız (Saf) Yarıiletkenler

Yarıiletkenler, katkısız (saf) yarıiletken ve katkılı yarıiletkenler olarak iki grupta inceleyebiliriz. İletim bandındaki elektron sayısının valans bandındaki boşluk sayısına eşit olan yarıiletkenler katkısız (saf) yarıiletkenler olarak tanımlanmaktadır. Bu elementlere, silisyum (Si) ve germanyum (Ge) örnek olarak verilebilir.

İletim bandındaki elektron sayısının valans bandındaki boşluk sayısına eşit olduğunda ($n = p$) (1.9) ve (1.10) bağıntıları kullanılarak [3],

$$\left(\frac{m_b^*}{m_e^*}\right)^{\frac{3}{2}} = e^{(2E_f - E_g)/(k_B T)} \quad (1.11)$$

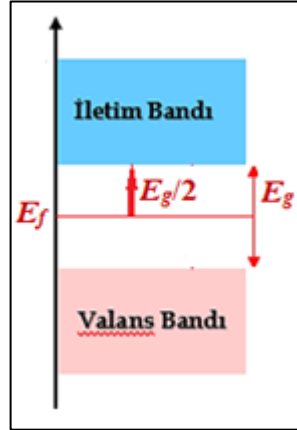
ifadesi elde edilir. Bu bağıntıda her iki tarafın logaritması alınırsa Fermi enerjisi,

$$E_f = \frac{E_g}{2} + \frac{3k_B T}{4} \ln\left(\frac{m_b^*}{m_e^*}\right) \quad (1.12)$$

bağıntısı ile bulunabilir. Katkısız yarıiletkenlerde $m_b^* = m_e^*$ olduğundan,

$$E_f = \frac{E_g}{2} \quad (1.13)$$

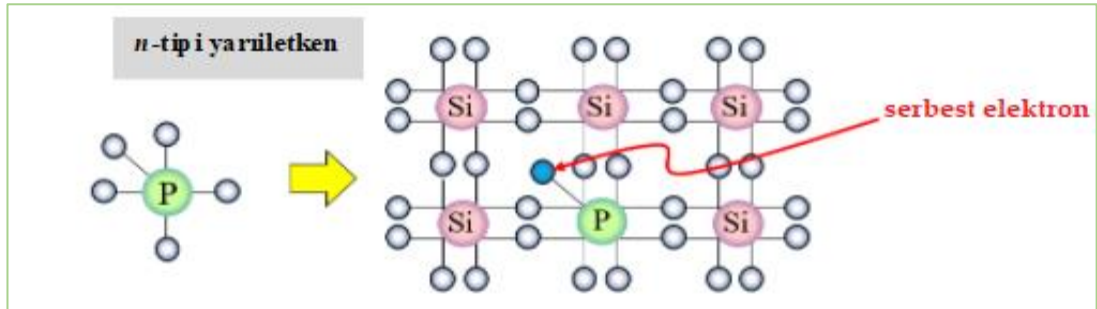
sonucu elde edilir. Bu sonuç katkısız yarıiletkenler için Fermi enerjisinin yasak enerji bant aralığının ortasında olduğunu göstermektedir (Şekil 1.7).



Şekil 1.7 Katkısız yarıiletkenlerin $T=0$ K’de Fermi enerji seviyesi

1.4.4. Katkılı Yarıiletkenler

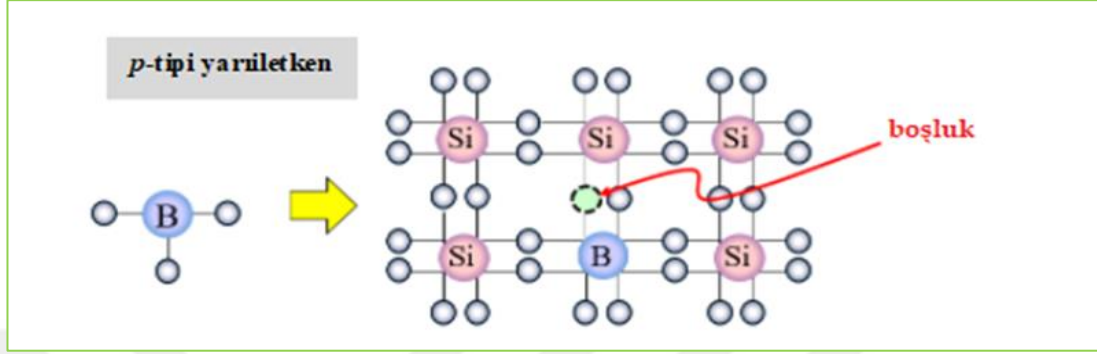
Son yörüngesinde dört değerlik elektronu bulunan ve katkısız yarıiletken Si elementine, son yörüngesindeki değerlik elektron sayısı beş olan fosfor (P) atomu katkılındığı zaman, Si ve P’nin dört elektronu birbiriyle bağ kurarken P’nin bir elektronu boşta kalır (Şekil 1.8) ve burada P atomuna elektron verdiği için donör (verici) denir. İletimin elektronlar ile sağlandığı bu türdeki yarıiletkenler *n*-tipi yarıiletken olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 1.8 *n*-tipi yarıiletken

Katkısız (saf) yarıiletken Si atomlarına üç değerlik elektrona sahip bor (B) atomu katkılındığı zaman, Si ve B’nin üç elektronu birbiriyle bağ oluşturur ve Si’nin dördüncü elektronunun karşısında bir boşluk oluşur ve burada B atomuna akseptör

(alıcı) denir. İletimin boşluklar ile sağlandığı bu türdeki yarıiletkenler *p*-tipi yarıiletken olarak adlandırılmaktadır (Şekil 1.9).



Şekil 1.9 *p*-tipi yarıiletken

1.4.5. Yarıiletkenlerde Elektriksel İletkenlik

Kısım 1.3'te katıların elektriksel özelliklerine göre sınıflandırılmasına ait temel bilgiler verilmiştir. Bu bilgiler ışığında; katılar öz direnç (ρ) değerlerine göre de sınıflandırılabilir. Öz direnç değerleri, iletkenler için 10^{-6} - $10^{-4} \Omega\text{cm}$, yarıiletkenler için 10^{-4} - $10^{10} \Omega\text{cm}$ ve yalıtkanlar için $\rho \geq 10^{10} \Omega\text{cm}$ şeklindedir. Elektriksel iletkenlik,

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (1.14)$$

bağıntısı ile ifade edilebilir.

Yarıiletkenlerde yük taşıyıcıları hem elektronlar hem de boşluklardır. Elektriksel iletkenlik, yük taşıyıcılarının yoğunluğuna ve mobilitesine bağlıdır. Birim elektrik alan başına elektronun sürüklenme hızı mobilite olarak tanımlanır, mobilite,

$$\mu = \frac{|v|}{|E|} \quad (1.15)$$

şeklinde ifade edilir. Bu ifade elektron ve boşluklar (μ_e ve μ_b) için yazılırsa,

$$\mu = \mu_e + \mu_b = \frac{v_e}{E} + \frac{v_b}{E} \quad (1.16)$$

toplam mobilité ifadesi elde edilir. Elektriksel iletkenlik, yük taşıyıcılarının yoğunluğu ve mobilitesi cinsinden,

$$\sigma = \sigma_e + \sigma_b = e(n\mu_e + p\mu_b) \quad (1.17)$$

bağıntısı ile ifade edilir.

1.5. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında elde edilen ince filmlerin üretim yöntemi, düşük maliyetli olması, zaman kaybının olmaması, kolay ve tekrar edilebilir olması gibi parametreler dikkate alınarak SILAR olarak belirlenmiştir. Şimdiye kadar açıklanan kuramsal ve deneysel bilgiler ışığında hazırlanan bu tez çalışmasının hedef ve amaçları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Geniş uygulama alanına sahip CdO ince filmlerin SILAR yöntemi kullanılarak elde edilmesi.
- Elde edilmesi planlanan CdO ince filmlerin yapısal, morfolojik ve elektriksel özelliklerinin uygun yöntemler kullanılarak analizlerinin yapılması.
- UV-Vis spektrofotometre yardımıyla elde edilecek optik geçirgenlik ve optik soğurma değerleri kullanılarak temel optiksel sabitlerin hesaplanması ve analizlerinin yapılması.
- Yapılması hedeflenen analizler sonucunda SILAR yönteminde önemli bir parametre olan döngü sayısının filmlerin yapısal, morfolojik, elektriksel ve optiksel özellikleri üzerindeki etkilerinin araştırılması planlanmaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

CdO ince filmler, FBB yöntemi ile alt taban üzerinde büyütülmüştür. Alt tabanın sırasıyla 300 K ve 473 K sıcaklıklarında CdO ince filmler elde edilmiştir. Isıl işlemin, elde edilen CdO ince filmlerin elektriksel ve optiksel özellikler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. 300 K sıcaklığında olan alt taban için ısıl işlem öncesi ve sonrasında polikristal yapı oluşmuştur. 473 K sıcaklığındaki alt taban üzerinde biriktirilmiş CdO ince filmler, ısıl işlem den önce amorf yapı, ısıl işlem den sonra polikristal yapı gösterdiği belirtilmiştir. 300 K sıcaklığında olan alt taban için ısıtılmaya başladıktan sonra 365 K'ye kadar elektriksel iletkenlik sabitken, ısıtma işlemi devam ettiğinde elektriksel iletkenliğin azaldığı ifade edilmiştir. Bu durum kristaller arası Cd oksidasyonu ile açıklanmıştır. İlk ısıtma geri döndürülemezdir. Ancak ilk soğutma ve sonraki döngü için geri çevrilebilir hale gelmiştir. 473 K alt taban üzerinde biriktirilmiş CdO ince filmleri için ilk ısıtma işleminde elektriksel iletkenlik artmıştır ve bu geri döndürülemezdir. İlk ısıtmadan sonra ısıtma/soğutma döngüsünde geri çevrilebilir hale gelmiştir. Buna oksijenin kristalleşmesi sırasında amorf yapıdan uzaklaşmasının sebep olacağı varsayılmaktadır. 300 K sıcaklığında olan alt taban için optik geçirgenlik düşük iken ısıl işlem sonrasında optik geçirgenlik önemli ölçüde artmıştır. 473 K sıcaklığındaki alt taban üzerinde büyütülmüş CdO ince filmler, ısıl işlem den önce yüksek optik geçirgenliğe sahipken ısıl işlem den sonra az miktarda geçirgenliğin azaldığı ifade edilmiştir [10].

KBB yöntemi ile elde edilen katkısız ve Sn katkılı CdO ince filmlerin yapısal, optiksel, elektriksel ve morfoloji özellikleri incelenmiştir. Elde edilmiş ince filmler kadmiyum peroksitin (CdO_2) kübik yapısında kristalize edilmiştir. Tavlama işleminden sonra kübik yapı CdO'ya dönüşmüştür. Banyo çözeltisindeki $\text{Sn}(\text{CdO})_y$ konsantrasyonu arttıkça büyüme hızı azalmıştır. Termal-probe ölçümleri, tavllanmış CdO'nun *n*-tipi özellik sergilediğini belirlemiştir. Isıl işlem sonrası CdO_2 , CdO'ya dönüşür ve optik bant aralığı daha düşük enerjilere doğru kayar. Katkısız CdO ince filmler, 2.32-2.55 eV arasında değişen bir optik bant aralığı sergilemiştir. Genel olarak, tane boyutu, başlangıçtaki kimyasal bileşime bağlı olduğu ifade edilmiştir. Elde edilmiş filmlerin tane boyutu yaklaşık 20 nm olarak ve tavlamadan sonra 10-15

nm aralığında olduğu görülmüştür. Optik soğurma, tavlandıktan sonra CdO₂, CdO'ya dönüşümü nedeniyle daha uzun dalga boylarına doğru kaydığı gözlemlenmiştir [11].

Püskürtme yöntemi ile büyütülmüş CdO ince filmlerin yapısal, optiksel ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. Büyütülen ince filmler için elde edilen XRD analizi ile ince filmlerin polikristal yapıda olduğu gösterilmiştir. İnce filmlerin optik absorpsiyonu 350–850 nm dalga boyunda incelenmiştir. Enerji bant aralığı 2.26 eV değeri ile gerçeğe en yakın (2.2 eV) değeri bulunmuştur. Filmlerin elektrik direnci (ρ), 300–500 K sıcaklık aralığında iki prob yöntemi ile ölçüm yapılmıştır. Oda sıcaklığında taşıyıcı konsantrasyonunun n-tipi yarı iletken olduğu görülmüştür. Elde edilen CdO ince filmlerin elektrik direncinin sıcaklığa bağımlılığı incelenmiştir. Sıcaklık artışı ile elektrik direncinin azaldığı ifade edilmiştir [12].

Sol-Jel yöntemi ile 200 °C'de hava atmosferinde tavlansarak elde edilen CdO ince filmlerin optiksel özellikleri, yapısal özellikleri incelenmiştir. Yapısal olarak polikristal yapıda olduğu, optik özellikleri olarak yüksek geçirgenliğe sahip olduğu görülmüştür. 600 nm dalga boylarında %95, 700-1100 nm aralığındaki dalga boylarında yaklaşık olarak %100 optik geçirgenliğe sahip olduğu ifade edilmiştir. Sol-jel yöntemi ile elde edilen CdO ince filmlerin doğrudan bant aralığı 2.42 eV olarak bulunmuştur. Kimyasal banyo biriktirme ile 2.3-2.63 eV olarak, spray piroliz yöntemi ile 2.3-2.5 eV aralığında bulunmuştur [13].

Vakum buharlaştırma yöntemi ile Cam ve Si alt tabakaları üzerine farklı Cd bileşimlerine sahip Ce katkılı CdO ince filmler elde edilmiştir. Ce katkılamanın, elde edilen CdO ince filmlerin yapısal, elektriksel ve optiksel özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. İnce filmlerin havada 400 °C'de 2 saat tavlansıyla elde edilmiş ve kapalı olarak yavaşça soğutulmuştur. Katkısız ve %0.5, %1.3, %2.7, %3.8, %4.2 Ce katkılı olarak CdO ince filmler elde edilmiştir. En düşük yasak enerji bant aralığı değeri, %0.5 ile %1.3 arasında Ce katkılı CdO ince filmlerde görülmüştür. Optiksel araştırmalar, Ce katkılı (%0.5'te) CdO ince filmlerde enerji bant aralığının azaldığını göstermiştir. Katkılı CdO ince filmlerin elektriksel iletkenlik özelliği (taşıyıcı konsantrasyonu), katkısız CdO ince filme göre arttığı ifade edilmiştir. Bu nedenle %0.5 Ce katkılı CdO ince filmin hareket kabiliyetinde yaklaşık olarak 2.4 kat, iletkenlik 22 kat ve taşıyıcı konsantrasyonu 9 kat artmıştır.

XRD çalışması, daha küçük boyutlu bazı Ce^{+4} iyonlarının Cd^{+2} ile değiştirildiğini göstermiştir [14].

CdO ince filmler, KBB yöntemi ile elde edilmiştir. Film kalınlığının, yapısal, morfolojik ve ıslanabilirlik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Kimyasal olarak depolanmış CdO ince filmler, yüzey merkezli kübik kristal yapıya sahip polikristal yapıda olduğu görülmüştür. Ortalama kristal boyutunun 28–31 nm aralığında olduğu bulunmuştur. Bu çalışmada elde edilmiş CdO ince filmler 673 K’de etanole karşı mükemmel algılama özellikleri sergilediği ifade edilmiştir. CdO ince filmler karşılaştırıldığında, 0.8239 μm kalınlıkta 75 saat boyunca biriktirilen nanotelleri içeren filmlerin daha iyi etanol gazı performansı gösterdiği belirtilmiştir [15].

CdO ince filmler, indiyum katkılı kalay oksit (ITO) üzerinde katman biriktirme yöntemi ile elde edilmiştir. Alt tabanlar (ITO), 24 saat boyunca 250 °C’de biriktirme sonrası tavlama ile saf faz CdO filmleri üretilmiştir. CdO ince filmlerin boya duyarlı güneş pillerinde kullanımı araştırılmıştır. Boyaya duyarlı hale getirilmiş TiO_2 yerine CdO kullanımının ilk kez güneş pillerinin fizibilite ve hücre performansını kontrol edebildiği iddia edilmiştir [16].

Metal-Organik buhar fazı epitaksi yöntemi ile büyütülen CdO ince filmler için basınç bağımlılığı incelenmiştir. Deneyler ve hesaplamalar, düşük basınçlarda (<4 GPa) Raman spektrumlarında ikinci dereceden modların hakim olduğu, yüksek basınçlarda (> 4 GPa) ise spektrumlar esas olarak düzensizlikle etkinleştirilen birinci dereceden modların hakim olduğu ifade edilmiştir [17].

SILAR yöntemi ile elde edilmiş CdO ince filmlerin, film kalınlığının sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) algılama üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada duyarlılığın, kristalit boyuta bağlı olduğu ifade edilmiştir. Kristalit boyutu arttıkça duyarlılık azalmış, kristalit boyutu azaldıkça, duyarlılık artmıştır [18].

SILAR yöntemi ile elde edilmiş CdO ince filmlerin yapısal, elektriksel ve optiksel özellikleri üzerinde tavlama işleminin etkisi incelenmiştir. XRD sonuçları, elde edilen CdO_2OH filmlerin 623 K’de tavlama işleminden sonra CdO ince filmlere dönüştüğünü göstermiştir. Rastgele yönlendirilmiş morfoloji, tavlama işleminden sonra bazı çatlaklar gözlemlenmiştir. Elektriksel direnç $10^{-2} \Omega cm$ ’den $10^{-3} \Omega cm$ ’ye

kadar azalmıştır. Yasak enerji bant aralığı 3.3 eV olarak bulunmuş ve tavlamadan sonra 2.7 eV'ye düşmüştür. Elde edilen ince filmlerin görünür bölgede düşük absorbands gösterdiği ifade edilmiştir [19].

CdO ince filmler, aktif reaktif buharlaştırma yöntemi ile ısıtılmış alt tabanlar üzerinde elde edilmiştir. Elde edilen CdO ince filmlerin yapısal, elektriksel ve optiksel özellikleri üzerinde alt taban sıcaklığının etkisi araştırılmıştır. Elde edilen CdO ince filmlerde alt taban sıcaklığının fiziksel özellikleri üzerinde etkili olduğu görülmüştür. CdO ince filmler daha düşük alt taban sıcaklıklarında, tepkimeye girmemiş kadmiyum, zayıf elektriksel iletme neden olmuştur ve bu nedenle daha yüksek direnç sahip olduğu görülmüştür. 200 °C'lik sıcaklık, en iyi ince film elde etme değeri olarak ifade edilmiştir. Elde edilen ince filmler bu sıcaklıkta yaklaşık olarak $1.5 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}$ 'lik bir direnç, %85'ten fazla optik geçirgenlik ve 2.42 eV yasak enerji bant aralığı değeri göstermiştir [20].

CdO ince filmler, püskürtme yöntemi ile cam alt tabanlar üzerinde büyütülmüştür. Termal tavlama süresinin bir fonksiyonu olarak filmlerin yapısal, optiksel ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. Elde edilen ince filmler hava ortamında tavlama işlemi ile yapısal, optiksel ve elektriksel özelliklerinin geliştirildiği ifade edilmiştir. Büyütülen CdO ince filmler için düzlemlerle ilişkili tepe noktaları (111), (200), (220), (311) ve (222) kübik yapı gözlenmiştir. Tavlama süresi arttığında tepe noktalarının yoğunluğu ve kristalit boyutunun arttığı görülmüştür. Elektriksel direnç olarak, 30 dk'ye kadar artan tavlama süresi için direnç azalmıştır. Daha büyük zamanlar için sabit bir değere doğru gittiği görülmüştür. Tavlama süresi arttıkça optik geçirgenlik azalmıştır [21].

CuO katkılı CdO ince filmler, atmalı lazer biriktirme (PLD) tekniği ile elde edilmiştir. X ışını kırınımından, (111)'de kırınım tepe noktalarının yoğunluğunun arttığı ve (200)'da kırınım tepe noktalarının yoğunluğunun azaldığı görülmüştür. UV ile görülebilir spektroskopiden, CuO ile katkılama yapıldıktan sonra CdO'nun görünür bölgesindeki maksimum geçirgenlik değerinin azaldığı ifade edilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu, CuO yapısıyla ilgili bazı düzensiz şekilli nanopartiküller ile yarı küresel bir CdO yapısı olduğunu göstermiştir. CuO iyonlarının safsızlıklarının varlığına bağlı olarak emisyon yoğunluğu azalmıştır.

Fourier dönüşüm kızılötesi spektroskopisinden, germe titreşim modlarının CdO ve CuO yapısına bağlı olduğu belirtilmiştir [22].

La katkılı CdO ince filmler elde etmek için çözelti bazlı püskürtme yöntemi kullanılmıştır. Soda-kireç alt taban üzerinde kadmiyum oksit (CdO) ince filmler büyütülmüştür. XRD analizi, elde edilen ince filmlerin kübik kristal yapıya sahip polikristal olduğunu göstermiştir. Katkısız ve %0.25 La katkılı CdO ince filmleri, (111) düzlemi gösterirken katkilama sonrasında (200) düzlemine doğru kaydığı görülmüştür. Örgü sabitleri, kristalit boyutu, mikro gerinim, dislokasyon yoğunluğu gibi parametreler XRD verilerinden bulunmuştur. Alan emisyon taramalı elektron mikroskobu analizi, pürüzsüz ve homojen yüzeyi doğrulamıştır. Katkısız büyütülmüş ve La katkılı büyütülmüş CdO ince filmler, görünür bölgede %78-82 arasında değişen optik geçirgenlik sergilemiştir. Katkısız ve La katkılı CdO ince filmlerin enerji bant aralığı 2.38 eV ile 2.46 eV arasında değişmiştir. Hall ölçümleri, büyütülen ince filmlerin *n*-tipi yarıiletken olduğunu doğrulamıştır [23].

CdO ince filmler, sol-jel yöntemi kullanılarak farklı molarite değerleri için (0.2 M, 0.5 M ve 0.8 M) kadmiyum asetat çözeltiler kullanılarak cam alt tabanlar üzerine büyütülmüştür. Yapısal, morfolojik, optik ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. X ışını kırınım desenleri, farklı molariteye sahip CdO ince filmlerinin, düşük molarite değerlerinde (111) düzleme sahip bir kübik yapıya sahip olduğunu göstermiştir. Taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, filmlerin benzer morfolojiye sahip olduğu izlenimini ortaya çıkardığı ifade edilmiştir. İnce filmlerin optik geçirgenliği 200–800 nm aralığında gözlenmiş ve 0.2 M CdO ince filmlerin görünür bölgede yaklaşık % 83 geçirgenlik gösterdiği bulunmuştur. İnce filmlerin optik bant aralığı, çözeltinin molarite değerlerindeki artışa bağlı olarak 2.10-3.30 eV arasında değiştiği bulunmuştur. 0.5 M ince filmin elektrik direnci 1.56 kΩ olarak bulunmuştur [24].

CdO ince filmler, KBB yöntemi ile cam alt tabanlar üzerinde büyütülmüştür. Değişen tavlama sıcaklığının CdO ince filmlerin yapısal ve optik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. XRD analizi ile ince filmlerin kristal yapıda olduğu anlaşılmıştır. Tavlanmış CdO ince filmleri polikristalin olup, (111) düzleminde kübik bir yapıya sahip olduğu gözlenmiştir. CdO ince filmler için tanecik boyutu 623 K ve

673 K tavlama sıcaklıkları için sırasıyla 16.95, 18.24 nm olarak hesaplanmıştır. Optik özellikleri UV-vis spektrofotometre kullanılarak CdO ince filmlerde kuantum sınırlamasının bir göstergesi olarak enerji bant aralığında maviye kayma göstermiştir. Doğrudan ve dolaylı bant aralığı enerji değerleri sırasıyla 2.95-2.87 eV ve 1.94-1.91 eV olarak bulunmuştur [25].

CdO ince filmler, püskürtme süresi sabit tutularak alt taban sıcaklığı değişimi ile kimyasal püskürtme yöntemi ile büyütülmüştür. Büyütülen CdO ince filmler amorf kristal yapı sergilemiştir. Numunelerin yüzey morfolojisi taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile değerlendirilmiştir. CdO ince filmlerinin optik özellikleri de UV-Vis spektrofotometre kullanarak ve değişen alt taban sıcaklığı ile birlikte CdO ince filmlerinin yasak enerji bant aralığı 2.57 eV ile 2.73 eV arasında değişmiştir. Au / CdO / p-Si'deki CdO ince filmlerinin elektrik performansı cihaz I-V ölçümleri ile belirlenmiştir. Sonuçlara göre, diyot parametrelerinin CdO'nun değişen özelliklerine bağlı olduğu anlaşılmıştır [26].

CdO ince filmler, püskürtme yöntemi ile cam alt tabanlar üzerine büyütülmüştür. 1, 2, 3 ve 4 günlük öncü çözeltiler kullanılmıştır. XRD çalışmaları, tüm filmlerin (111) yönelimli kübik kristal yapı sergilediğini doğrulamıştır. Çözeltilerin bekleme süresi arttıkça, elde edilen ince filmlerin kafes hacminde bir genişleme olduğu anlaşılmıştır. 3 günlük çözeltiler için kristalit boyutunda artış gözlenmiştir. Enerji bant aralığı, öncü çözeltinin gün süresi arttıkça 2.48 eV' den 2.32 eV' ye kırmızıya kayma sergilemiştir. En az 3 günlük çözeltiden elde edilen CdO ince film için $0.78 \times 10^{-2} \Omega \text{cm}$ direnç gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, 3 günlük çözeltiden hazırlanan CdO ince filmin daha iyi fiziksel özellikler sergilediği ifade edilmiştir [27].

CdO ince filmler, püskürtme yöntemi ile 400 °C'de cam alt taban sıcaklıkları sabit tutularak, püskürtme süresine bağlı olarak cam alt tabanlar üzerine büyütülmüştür. İnce filmlerin kalınlıkları gravimetrik yöntemle ölçülmüş ve yaklaşık 200, 225, 250 nm olarak bulunmuştur. XRD sonuçları, filmlerin (111) yönelimli kübik bir yapıya sahip polikristalin olduğunu göstermiştir. Alan Emisyon Taramalı Elektron Mikroskobu sonuçları, yarı küresel, plakalar ve çubuklar olarak çoklu şekiller ve nano yapılar olduğunu göstermiştir. Optik özellikler (300-900) nm dalga

boyu aralığında incelenmiştir. Enerji bant aralığı 2.3–2.6 eV olarak bulunmuştur. Soğurma katsayısı değerinin yüksek olduğu görülmüştür ($\alpha > 10^4 \text{ cm}^{-1}$). Bu sonuçlar CdO ince filmlerin Güneş pili uygulamalarında kullanımları için uygun olduğu ifade edilmiştir [28].

CdO ince filmler, kadmiyum asetat dihidrat ve amonyum hidroksit sulu çözeltisi kullanılarak, SILAR yöntemi ile cam alt tabanlar üzerine büyütülmüştür. Büyütülen filmlerin yapısal, yüzey morfolojik, elementel bileşimi ve optik özellikleri X-Işını Kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskobu, EDAX, optik soğurma, fotoluminesans ve FT-IR spektroskopisi ile incelenmiştir. XRD analizi, filmlerin kübik yapıya sahip polikristal olduğunu göstermiştir. Hem kristallik hem de tane boyutunun, artan çözelti konsantrasyonu ile arttığı gözlenmiştir. Enerji dağılımlı spektroskopik analiz, Cd ve O elementlerinin varlığını göstermiştir. Filmlerin, kızıl ötesi bölgede en yüksek optik geçirgenliğe sahip olduğu iddia edilmiştir. Çözelti konsantrasyonunun artmasıyla optik geçirgenliğin arttığı ve enerji bant aralığı değerleri 2.17- 2.21 eV aralığında olduğu bulunmuştur [29].

CdO ince filmler, KBB yöntemi ile elde edilmiş olup, 373, 473, 573 ve 673 K’de 10 dk tavlama sıcaklığının yapısal, morfolojik, optik ve elektriksel özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Filmlerin, X-ışını kırınımı (XRD), atomik kuvvet mikroskobu (AFM), optik yansıma mikroskobu (ORM), UV–Vis Spektrofotometre ve elektriksel direnç analizi yapılmıştır. XRD analizi, 573 K’de (111) düzleminde CdO ince filmin kübik yapıda olduğunu göstermiştir. AFM ve ORM, CdO filmlerinin düzgün homojen bir yüzeye sahip olduğunu ve 573 K’de ortalama tane boyutu yaklaşık 100 nm olan nanopartiküller halinde toplanan nanokümeler olduğunu göstermiştir. Büyütülen CdO ince filmlerin spektrumun görünür bölge aralığı içinde yüksek optik geçirgenliğe (~%85) sahip olduğu görülmüştür. Yasak enerji bant aralığı 2.42-2.7 eV aralığında bulunmuştur. CdO ince filmlerin öz direnç değerlerinin artan tavlama sıcaklığına bağlı olarak azaldığı ifade edilmiştir. Bu çalışmada, CdO ince filmlerin özelliklerinin tavlama sıcaklığı ile iyileştirilebilir ve elde edilen ince filmler birçok teknolojik uygulamada kullanılabilir olduğu belirtilmiştir [30].

CdO ince filmler, elektrokimyasal biriktirme yöntemi ile büyütülmüştür. Oda sıcaklığında büyütülen CdO ince filmlerin optik geçirgenliğinin 350 nm dalga boyunda %20, 1100 nm dalga boyunda %60 olduğu görülmüştür. Enerji bant aralıkları 2.3-2.45 eV olarak bulunmuştur. İnce filmlerin, elektromanyetik spektrumda görünür bölgede yüksek optiksel iletkenliğe sahip olduğu gösterilmiştir. Büyütülen CdO ince filmlerin yapısı, X-ışını kırınımı ile analiz edilmiş ve CdO ince filmin polikristalin ve kübik yapıya sahip olduğu görülmüştür [31].

CdO ince filmler, SILAR yöntemi ile döngü sayısı değiştirilerek cam alt tabanlar üzerinde büyütülmüştür. Cam alt tabanlar alkali (pH=12) CdCl₂ çözeltisine daldırılarak elde edilmiştir. CdO ince filmler 300 °C sıcaklığında hava ortamında 1 saat tavlammıştır. Elde edilen ince filmler XRD, UV-Vis ve SEM ile karakterize edilmiştir. 80 döngü sayısı, bu reaksiyon için doyma aşaması olabileceği belirtilmiştir. XRD sonuçlarından, filmlerin CdO ile birlikte yüksek döngülerde Cd(OH)₂ fazı belirlenmiştir. İnce filmler, (111) ve (200) düzlemleri boyunca polikristal yapıya sahip olduğu görülmüştür. Döngü sayısı arttıkça ortalama kristal boyutları, 80 döngüye kadar artmıştır. 80 döngüden sonra artan döngü sayısı ile kristal boyutunda kademeli bir azalma gözlenmiştir. İnce filmlerin optik geçirgenliği, görünür bölgedeki dalga boylarında ve kızılötesi bölgesindeki dalga boylarında döngü sayısı arttıkça azalmış ve %25 ile %80 arasında değişmiştir [32].

CdO ince filmler, SILAR yöntemi ile elde edilmiş ve 250-450 °C sıcaklığında 2 saat tavlammıştır. Elde edilen ince filmlerin, XRD ile kristal yapısı, UV-Vis ile optik özellikleri, SEM ile yüzey analizi ve Hall etkisi ölçümü ile elektriksel özellikleri analiz edilmiştir. XRD analizi, filmlerin kübik yapıya sahip polikristal olduğunu ortaya koymuştur. Hem kristal hem de tanecik boyutunun artan tavlama sıcaklığı ile arttığı görülmüştür. SEM analizi, yüzeyin gözenekli yapısını küresel nanokümeler ile göstermiştir. EDS analizi, saf Cd ve O elementlerinin varlığını doğrulamıştır. İnce filmler kızılötesi (IR) bölgede maksimum geçirgenlik (%82-%86) göstermiştir. Tavlama sıcaklığının artmasıyla geçirgenliğin azaldığı ve beklenen yasak enerji bant aralığı (E_g) 2.24–2.44 eV aralığında olduğu ifade edilmiştir. Hall etkisi ölçümü, artan tavlama sıcaklığı ile taşıyıcı konsantrasyonunda bir artış ve dirençte bir azalma göstermiştir [33].

Püskürtme yöntemi kullanılarak 500 nm, 450 nm, 400 nm, 350 nm, 300nm $\pm$ 30 kalınlıklarında CdO ince filmler elde edilmiştir. İnce filmler, cam alt tabanlar üzerine büyütülmüştür. Elde edilen ince filmlerin yasak enerji bant aralığı 2-2.08 eV aralığında bulunmuştur. Farklı sıcaklıklarda (300 K, 523 K, 548 K, 573 K) bir saat ısıtıl işlem görmüş CdO ince filmler için, yasak enerji bant aralığının 2.08-2.85 eV aralığında olduğu belirtilmiştir. Sonuç analizi, yasak enerji bant aralığının ısıtıl işlem sıcaklığına bağımlı olduğunu ve film kalınlığının ise ısıtıl işleme bağımlı olmadığını göstermiştir [34].

CdO ince filmler, cam alt taban sıcaklığının değiştirilmesiyle püskürtme yöntemi ile büyütülmüştür. Bu çalışma cam alt taban sıcaklığının, büyütme işlemine ve CdO ince filmlerin fiziksel özelliklerine etkisini araştırmak için yapılmıştır. Elde edilen ince filmler, alt taban sıcaklığından bağımsız olarak (111) düzlemli kübik yapıya sahip olduğu ve polikristalin özellik gösterdiği belirtilmiştir. Alt taban sıcaklığındaki artışla ince filmlerin optik geçirgenliği %78'den %89'a yükselmiştir. Yasak enerji bant aralığı, alt taban sıcaklığındaki artışla 2.55-2.38 eV aralığında bulunmuştur. 375 °C'de elde edilen ince film için minimum $3.57 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ direnç değeri elde edilmiştir [35].

CdO ince filmler, magnetron püskürtme yöntemi ile nitrojen ve oksijen ortamında elde edilmiştir. Bu filmlerin yapısal, optiksel ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. Yapısal analiz, CdO ince filmlerin polikristalin ve kübik yapıya sahip olduğunu göstermiştir. CdO ince filmlerin optik özellikleri için elektromanyetik dalgaların görünür bölge ve kızılötesi bölgesindeki dalga boyları için, yaklaşık olarak %85'lik yüksek bir geçirgenliğe sahip olduğu görülmüştür. 146-177 nm kalınlıktaki CdO ince filmler için doğrudan bant aralığı değerleri 2.50-2.68 eV aralığında bulunmuştur. Elektriksel ölçümler, ince filmlerin özdirenç değerlerini $2.65-6.64 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}$ aralığında, taşıyıcı konsantrasyonunu $1.60-2.35 \times 10^{26} \text{ m}^{-3}$ ve $57.65-100.48 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ v}^{-1} \text{ s}^{-1}$ hareketliliğine sahip olduğunu göstermiştir [36].

CdO ince filmleri, püskürtme yöntemi ile 300 °C sıcaklığında bir cam alt taban üzerinde büyütülmüştür. Büyütülen ince filmler 250, 350, 450 ve 550 °C sıcaklığında 2.5 saat tavlansmıştır. SEM analizi, CdO ince filmlerin varlığını doğrulamıştır. XRD analizi, büyütülmüş ve tavlansmış ince filmlerin kübik yapıya

sahip olduğunu göstermiştir. Tavlama sıcaklığı arttıkça tane boyutu artarken dislokasyon yoğunluğu azalmıştır. Hall ölçümü, CdO ince filmlerin n-tipi bir yarıiletken olduğunu göstermiştir. 450 °C'ye kadar artan tavlama sıcaklığı ile taşıyıcı yoğunluğu ve hareketliliği artmıştır. Büyütülen CdO ince filmlerin sıcaklığa bağlı öz direnci, oda sıcaklığından 370 °C'ye kadar metalik davranış göstermiş ve sonrası için yarıiletken özellik göstermiştir. İnce filmlerin optik geçirgenliği ve yasak enerji bant aralığı tavlama sıcaklığının artmasıyla azaldığı ve en yüksek geçirgenliğin elektromanyetik spektrumda kızılötesi bölgesinde olduğu belirtilmiştir. CdO ince filmlerinin kırılma indisi ve optik iletkenliği tavlama ile geliştirildiği ifade edilmiştir [37].

Saf ve %3, %5 ve %7 molibden (Mo) katkılı CdO ince filmler, püskürtme yöntemi ile 400 °C'ye kadar ısıtılmış cam alt taban üzerinde elde edilmiştir. Filmlerin kübik ve polikristal yapıya sahip olduğu bulunmuştur. Kristal boyutu, farklı katkılama oranları için yaklaşık olarak 12 nm olarak hesaplanmıştır. %5 Mo katkılı CdO ince film ile en yüksek geçirgenlik elde edilmiştir. Optiksel analizler, yasak enerji bant aralığının farklı Mo katkılama seviyeleri için 2.38-2.44 eV aralığında değiştiğini göstermiştir. %5 Mo katkılı CdO ince film için, $1.74 \times 10^3 (\Omega \text{ cm})^{-1}$ değeri ile en yüksek iletkenlik elde edildiği belirtilmiştir [38].

CdO ince filmler, SILAR yöntemi ile katyon çözeltisinin iki farklı molarite (0.03 M ve 0.06 M) değerleri için cam alt tabanlar üzerinde büyütülmüştür. Elde edilen CdO ince filmlerin sarımsı görünüme sahip olduğu gözlenmiştir. XRD analizi ile CdO ince filmlerin polikristal yapıda olduğu ve (111), (200) ve (222) düzlem yönelimleri görülmüştür. Kristal tanecik boyutu 0.03 M ve 0.06 M için sırasıyla 45 nm ve 62 nm olarak bulunmuştur. Optiksel geçirgenlik, görünür bölge yakınlarındaki dalga boyları için molaritenin artmasıyla azalmıştır. Yasak enerji bant aralığı 2.54-2.58 eV aralığında bulunmuştur [39].

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Tez kapsamında elde edilen CdO ince filmlerin üretilmesinde kullanılan tüm materyaller birbirine önemli derecede bağlıdır. Tez çalışmasında CdO ince filmleri elde etmek için kullanılan kimyasal malzemeler aşağıda verilmiştir.

- Kadmiyum nitrat tetrahidrat ($\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, Sigma-Aldrich, tuz formu).
- Amonyum hidroksit (NH_4OH , Sigma-Aldrich, %28 'lik sulu çözelti formu).
- Hidrojen peroksit (H_2O_2 , Sigma-Aldrich, %30 'luk sulu çözelti formu).

CdO ince filmlerin depolanmasında 76 mm x 26 mm x 1 mm ebatlarındaki cam alt tabanlar kullanılmıştır. Ayrıca deneyin bütün aşamalarında Adıyaman Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezinden temin edilen ultra saf su kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

Bu kısımda CdO ince filmleri elde etmek için kullanılan deneysel yöntem anlatılmıştır. Ayrıca ince filmlerin fiziksel özelliklerini araştırmak için kullanılan analiz yöntemleri ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

3.2.1. Deneysel Yöntem

3.2.1.1. Sıralı İyonik Tabaka Adsorpsiyonu ve Reaksiyonu (SILAR) Yöntemi

İnce film üretim yöntemleri arasında, SILAR yöntemi maliyeti düşük ve kolay uygulanabilen bir yöntem olması sebebiyle en çok tercih edilen kimyasal yöntemlerden biridir. Bu yöntem düşük sıcaklıkta uygulanabildiği için farklı alt tabanlar kullanılabilir. Bir sıcaklık işlemi olduğundan alt tabanların

korozyonu ve oksidasyonu da önlenir. SILAR yöntemi ile kaliteli ince filmlerin elde edilmesinde çözeltilerin pH'si, çözelti molariteleri, çözelti sıcaklıkları, reaksiyon hızı, daldırma süresi ve döngü sayısı gibi film hazırlama parametreleri oldukça önem arz etmektedir. Bunların yanı sıra SILAR yönteminin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

1. Basit ve tekrarlanabilen bir yöntemdir.
2. Yüksek kalitede alt taban malzeme ve vakum gerektirmemektedir.
3. Alt taban olarak kullanılan malzemelerde boyut sınırlaması yoktur.
4. İnce filmin kalınlığı döngü sayısı ile kolay bir şekilde kontrol edilebilmektedir.

SILAR yönteminde temel olarak biri katyon diğeri anyon olmak üzere iki ayrı çözelti hazırlanmaktadır. Bu sebeple SILAR yöntemi iyonların adsorpsiyonu ve reaksiyonuna esasına dayanmaktadır. Adsorpsiyon, iyonların alt taban yüzeyinde tutunması ile gerçekleşir ve ekzotermiktir. Adsorbsiyon sırasında alt tabanın yüzeyi ile iyonlar arasındaki çekici kuvvetler nedeniyle oluşmaktadır. Bu kuvvetler kimyasal çekim kuvvetleri veya Van-der Waals kuvvetleri olabilir. Alt taban yüzeyinde bulunan molekül veya atomların etrafında boşluklar oluşur. Bu sebeple, alt tabanın yüzeyine tutunan parçacıklar dengelenmemiştir ve sonuç olarak atomlar alt tabanın yüzeyine yapışabilirler. Reaksiyon ise, anyon ile katyon iyonları arasında gerçekleşen kimyasal reaksiyonlarla ifade edilir.

3.2.1.2. SILAR Yöntemi ile CdO İnce Filmlerin Elde Edilmesi

İnce film depolama mekanizmasında, alt taban yüzeyi üzerinde düzenli bir film oluşturmak çok önemlidir ve bu durum doğrudan alt tabanın temizliğine bağlıdır. Kirli bir alt taban üzerindeki çekirdeklenme yerleri filmlerin depolanmasını kolaylaştırabilir ancak bu durumda filmlerin depolanması sırasında düzensiz bir büyüme gerçekleşir. Bu nedenle alt tabanın temizliği oldukça önemlidir. Bu tez çalışmasında CdO ince filmlerin elde edildiği cam alt tabanların temizleme işlemi

filmlerin depolanmasından önce yapılmıştır. Temizleme işlemi süreci aşağıda sırasıyla verilmiştir.

1. Camlar kromik asitte 15 dk bekletilerek çeşme suyunda durulanmıştır.
2. Deterjanlı suda temizlenerek tekrar çeşme suyunda durulanmıştır.
3. Durulanan camlar ultra saf sudan geçirilmiştir.
4. Bu işlemlerden sonra % 99.9 saflıkta etil alkolde 10 dk bekletilmiştir.
5. Son olarak camlar 100 °C'ye ayarlanan etüvde 1 saat boyunca kurutulmuştur.

Tez çalışmasında, SILAR yöntemiyle CdO ince filmleri elde etmek için katyon ve anyon çözeltileri ayrı beherlerde hazırlanmıştır. Katyon çözeltisi; kadmiyum nitrat ($\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$) çözeltisine kompleks öncül olarak sulu amonyum hidroksit (NH_4OH) çözeltisi eklenerek elde edilmiştir. Anyon çözeltisi ise hidrojen peroksit (H_2O_2) sulu çözeltisine ultra saf su eklenerek %2'lik olarak hazırlanmıştır. Bu çözeltilerin yanı sıra 50 ml'lik iki adet beherin ultra saf su konulmuştur.

SILAR yöntemiyle elde edilen CdO ince filmler için deneysel parametreler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

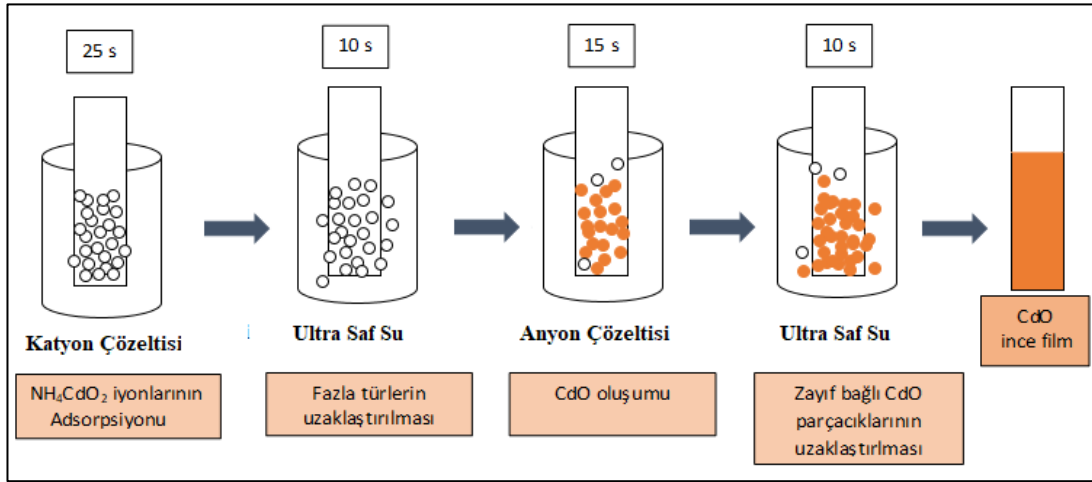
Çizelge 0.1 SILAR yöntemiyle elde edilen CdO ince filmlerin deneysel parametreleri

Depolama Parametresi	Katyon Çözeltisi	Anyon Çözeltisi
Bileşik	$\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$	H_2O_2
Kompleks Öncül	NH_4OH	-----
pH	~12	~6
Çözelti Molaritesi (M)	0.1	% 2
Sıcaklık (°C)	27	85
Daldırma Süresi (s)	25	15
Alt Taban	Cam	Cam
Döngü Sayısı	50-70-90-110	50-70-90-110

Tez çalışmasında elde edilen CdO ince filmlerin depolanma süreci ile ilgili adımlar aşağıda sırasıyla verilmiştir.

1. Alt taban yüzeyinde kadmiyum türlerinin adsorpsiyonu için, temizlenmiş cam alt taban öncelikle 27 °C sıcaklıktaki katyon çözeltisinin bulunduğu behere dik şekilde 25 s süreyle daldırılmıştır.
2. Reaksiyona girmemiş iyonlar veya fazla türleri yüzeyden uzaklaştırmak için, ultra saf suda 10 s boyunca durulanmıştır.
3. CdO tabakası oluşturmak için, alt taban 85°C sıcaklıktaki anyon çözeltisinin bulunduğu behere dik şekilde 15 s süreyle daldırılmıştır.
4. Zayıf bağlı CdO parçacıklarını alt taban yüzeyinden uzaklaştırmak için, 10 s boyunca ultra saf suda durulanmıştır.

Böylece CdO ince filmleri elde etmek için bir SILAR döngüsü tamamlanmış olur. Şekil 3.1’de tez çalışmasında uygulanan bir SILAR döngüsü şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 0.1 Tez çalışmasında kullanılan bir SILAR döngüsünün şematik gösterimi

50, 70, 90 ve 110 SILAR döngüsü kullanılarak elde edilen CdO filmlerde herhangi bir hidroksit fazının kalmaması için 300 °C sıcaklıkta 3 saat boyunca kare fırında tavllanmış ve aynı fırında 24 saat boyunca soğumaya bırakılmıştır. Son olarak, filmlerin karakterizasyonu için camın iki yüzünde oluşan filmlerin bir tarafı kromik

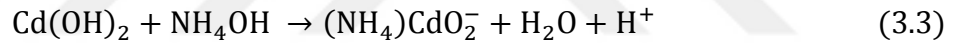
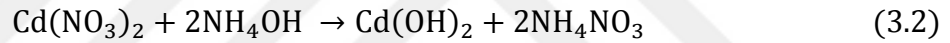
asite daldırılan pamuklu çubuk yardımıyla temizlenmiş ve yeniden saf sudan geçirilerek 24 saat süre ile hava ortamında kurumaya bırakılmıştır.

SILAR yöntemi ile elde edilen CdO ince filmlerin depolanması sürecinde gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar aşağıdaki şekildedir.

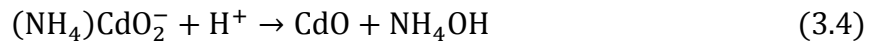
Denklem (3.1)'de verildiği gibi hidrojen peroksit kendi kendine su ve oksijen gazı verir.



Burada, hidrojen peroksit, kimyasal reaksiyonun aktivasyon enerjisini azaltarak reaksiyon için katalizör görevi görür. Oksijen kabarcıkları ve H^+ iyonlarının konsantrasyonu artmaya devam eder. Mevcut durumda, birinci öncü, amonyak ilavesiyle pH~12'ye ayarlanmış alkalın kadmiyum nitrat çözeltisi (katyon çözeltisi), kadmiyum kompleks iyonlarını verir ve bu iyonlar şu şekilde temsil edilebilir.



Cam alt taban çözeltiye daldırıldığında, kadmiyum kompleks iyonları, çözeltideki iyonlar ile alt taban yüzeyindeki iyonlar arasındaki çekici kuvvetler nedeniyle alt taban üzerinde absorbe edilir. Alt taban daha sonra kadmiyum kompleksini reaksiyonla kadmiyum okside dönüştürmek için % 2'lik bir H_2O_2 çözeltisine daldırılır ve gerçekleşen kimyasal reaksiyon şu şekilde verilebilir.



3.2.2. Analiz Yöntemleri**3.2.2.1. Film Kalınlıklarının Belirlenmesi**

Tez çalışmasında elde edilen CdO ince film kalınlıkları tartım metodu ile hesaplanmıştır. Tartım işlemi Adıyaman Üniversitesi Kimya Bölümü Laboratuvarı bünyesinde bulunan ve en fazla 220 g tartabilen 0.0001 g hassasiyetli Ohaus PA224C analitik terazi ile yapılmıştır. Temizlenmiş cam alt tabanların kütleleri filmler üretilmeden önce tartılmış olup alt tabanın boş kütlesi (m_b) olarak adlandırılmaktadır. CdO ince filmler elde edildikten sonra cam alt tabanların kütleleri aynı terazi ile tekrar ölçülmüş olup alt tabanın dolu kütlesi (m_d) olarak adlandırılmaktadır. CdO ince filmlerin kalınlıkları,

$$t_f = \frac{\Delta m}{S \cdot \rho_f} = \frac{m_d - m_b}{S \cdot \rho_f} \quad (3.5)$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır. Burada t_f film kalınlığını, S film oluşan camın yüzey alanını, ρ_f ise filmin yoğunluğunu temsil etmektedir. Film kalınlıkları hesaplanırken CdO'nun yoğunluğu 8.15 g/cm^3 olarak alınmıştır.

3.2.2.2. XRD Analizi

XRD, ince filmin kristal yapısını incelemek için kullanılan tekniklerden biridir. Grafikteki pik şiddetleri ve genişlikleri filmin kristalleşme seviyesi hakkında bilgi vermektedir.

Tez çalışmasında elde edilen CdO ince filmlerin X-ışını kırınım ölçümleri oda sıcaklığında ve $20^\circ \leq 2\theta \leq 80^\circ$ aralığında incelenmiştir. Bu ölçümler Çukurova Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı bünyesindeki PANalytical marka ve EMPYREAN XRD model ($\text{CuK}\alpha_1$, $1.5405 \text{ \AA}$, 20-50 kV, 5-60 mA, tarama hızı 0.0001 derece/dakika) ile yapılmıştır.

3.2.2.3. SEM ve EDS Analizi

İnce filmlerin yüzey morfolojisi ile ilgili bilgiler SEM ile elde edilebilir. Film üzerine gönderilen elektron demetinin film atomlarındaki son yörüngedeki elektronlarla etkileşmesi sonucu elde edilen görüntü filmin yüzeyi hakkında bilgi vermektedir.

Tez çalışmasında elde edilen CdO ince filmlerin yüzey morfolojisi Çukurova Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı bünyesindeki FEI marka ve Quanta 650 Field Emission SEM cihazı alınan SEM görüntüleri ile araştırılmıştır. Ayrıca filmlerin element açısından analizleri SEM cihazına entegreli EDS yardımıyla yapılmış olup aynı cihaz kullanılmıştır.

3.2.2.4. Optiksel Özelliklerin Analizi

Optik özelliklerin belirlenmesinde ince filme gönderilen ışık miktarı, filminden geçen ışık miktarı, filminden yansıyan ışık miktarı ve soğurulan ışık miktarı önemli parametrelerdir. Yüzeye gelen ışığın bir kısmı geçecek, bir kısmı ise geri yansımaya uğrayacaktır. Yansıyan ışık ise geldiği yüzeye döner ve oradan da bir kısmı yansır. Bu şekilde de iç yansımalar oluşabilmektedir. Yansıma katsayısı R ise,

$$R = 1 - \left[\left(\frac{T_s}{T_0} \right) \cdot e^A \right]^{1/2} \quad (3.6)$$

ifadesi ile hesaplanabilir. Burada A soğurmayı, T_0 spektrofotometreden gelen ışık miktarını, T_s spektrofotometreden geçen ışık miktarını göstermektedir. İnce filmlerin optiksel özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir etken olan soğurma katsayısı (α) film kalınlığına bağlı olarak,

$$\alpha = -\frac{1}{t_f} \cdot \ln\left(\frac{T_s}{T_0}\right) \quad (3.7)$$

ifadesi ile hesaplanabilir. Sönüm katsayısı (k), soğurma katsayısına ve dalga boyuna bağlı olarak,

$$k = \frac{\alpha \cdot \lambda}{4 \cdot \pi} \quad (3.8)$$

bağıntısı ile verilmektedir. İnce filmlerin kırılma indisi (n), yansımaya katsayısı ve sönüm katsayısına bağlı olarak,

$$n = \frac{1 + R}{1 - R} + \sqrt{\frac{4 \cdot R}{(1 - R)^2} - k^2} \quad (3.9)$$

ifadesi ile hesaplanabilir. Dielektrik sabiti (ε),

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + i \cdot \varepsilon_2 \quad (3.10)$$

bağıntısı ile verilir. Burada ε_1 dielektrik sabitinin reel kısmı, ε_2 ise dielektrik sabitinin imajiner kısmını temsil etmektedir. ε_1 ve ε_2 ,

$$\varepsilon_1 = n^2 + k^2 \quad (3.11)$$

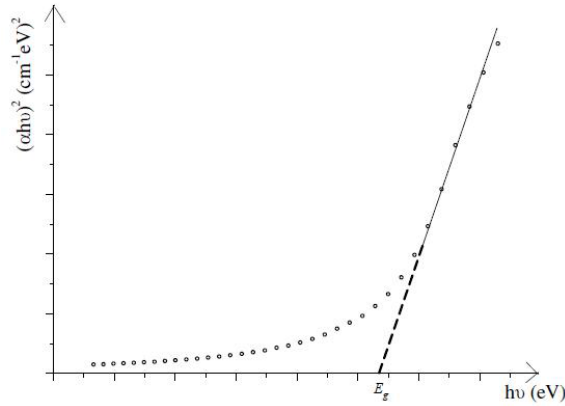
$$\varepsilon_2 = n \cdot k \quad (3.12)$$

ifadeleri ile tanımlıdır.

Yasak enerji bant aralığının soğurma spektrumu, herhangi bir materyalin optik bant aralığını (E_g) elde etmek için önemli bir yöntemdir. Optik bant aralığı, aşağıda verilen ve iyi bilinen Tauc bağıntısı ile belirlenebilir.

$$(\alpha h\nu) \propto A (h\nu - E_g)^{1/n} \quad (3.13)$$

Burada A bir sabiti, $h\nu$ foton enerjisini, E_g yasak enerji aralığını, n ise bir tamsayıyı göstermektedir. Doğrudan yasak enerji aralığının belirlenebilmesi için; öncelikle elde edilen ince filme ait soğurma katsayısı değerleri ile $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ grafiği çizilir (Şekil 3.2). Sonrasında ise çizilen grafikte lineer doğrunun $(\alpha h\nu)^{1/n} = 0$ 'da kestiği nokta, doğrudan yasak enerji bant aralığının değerini vermektedir [40].



Şekil 0.2 Yarıiletken bir malzemenin yasak enerji bant aralığının belirlenmesi [41]

Tez çalışmasında elde edilen CdO ince filmlerin optik özelliklerini belirlemek için Adıyaman Üniversitesi Kimya Bölümü Laboratuvarı bünyesindeki Perkin Elmer UV/Vis Lambda 2S spektrofotometresi kullanılmıştır. Spektrofotometre yardımıyla CdO ince filmlerin optik geçirgenlik ve soğurma spektrumları 300-1100 nm dalga boyu aralığında alınmıştır. Ancak ölçümler alınmadan önce zemin düzeltmesi yapılmış ve böylelikle camdan geçen ışınım %100 olarak normalize edilmiştir. Bu şekilde filmler üzerinden okunacak optik geçirgenlik ve soğurma değerleri alt taban soğurmasından bağımsız hale getirilmiştir. Sonrasında spektrofotometreden alınan veriler kullanılarak ve kısım 3.2.2.4'te verilen bağıntılar yardımıyla CdO ince filmlerin temel optiksel sabitleri hesaplanmıştır.

3.2.2.5. Elektriksel Özelliklerin Analizi

Tez çalışmasında elde edilen CdO ince filmlerin elektriksel özelliklerini belirleyen; taşıyıcı yoğunluğu (N), mobilitesi (μ), Hall katsayısı (R_H) ve elektriksel iletkenlik (σ) ölçümleri için Çukurova Üniversitesi Fizik Bölümünde bünyesinde bulunan Ecopia Hall Effect Measurement System HS-3000 ölçüm cihazı kullanılmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMALAR

Bu bölümde tez kapsamında SILAR yönteminde önemli bir depolama parametre olan döngü sayısının arttırılmasıyla (50, 70, 90 ve 110) elde edilen CdO ince filmlerin kalınlıkları, XRD, SEM ve EDS ölçüm analizleri ile optiksel ve elektriksel özelliklerin analizleri verilmiştir.

4.1. CdO İnce Filmlerin Kalınlıklarının Hesaplanması

SILAR yönteminde önemli bir depolama parametresi olan döngü sayısının arttırılmasıyla elde edilen CdO ince filmlerin kalınlıkları tartım metodu kullanılarak (3.5) bağıntısı ile hesaplanmıştır. CdO ince filmlerin kalınlıkları hesaplanırken film yüzeylerinin homojen olduğu kabul edilmiştir. Filmlerin hesaplanan kalınlık değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

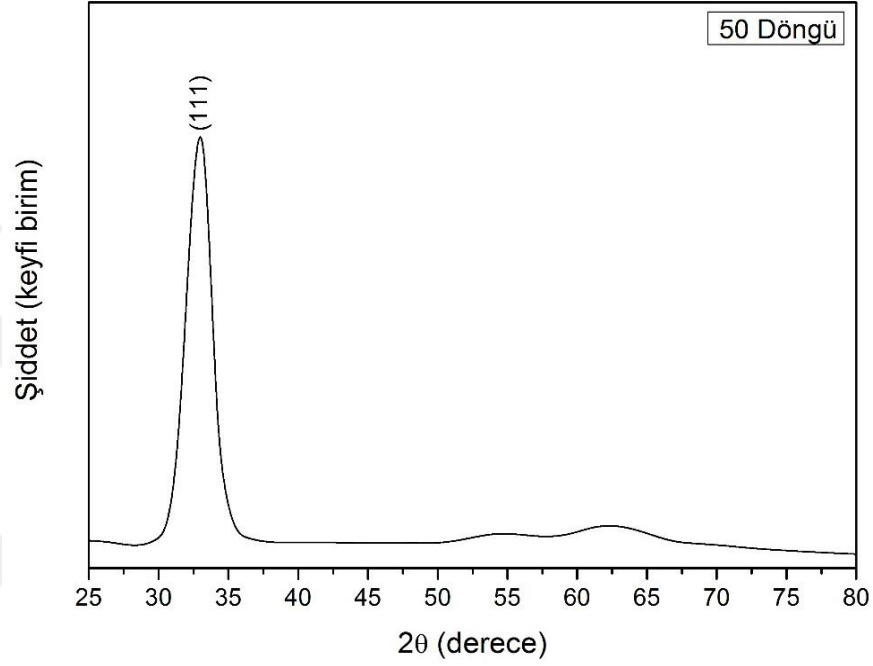
Çizelge 4.1 CdO ince filmlerin tartım metodu ile hesaplanan film kalınlıkları

Döngü Sayısı	Film Kalınlığı (nm)
50	46
70	55
90	245
110	155

SILAR yönteminde döngü sayıları artarken, film malzemesi daha fazla biriktirilir ve dolayısıyla filmin toplam kalınlığının artması beklenir. Ancak çizelge 4.1’de 110 döngüde CdO film kalınlığında bir azalma gözlenmiştir. Çünkü film optimum kalınlığın ötesine ulaştıktan sonra stresin gelişmesine bağlı olarak film malzemesi soyulmaya başlayabilir. Bu durum yüzeydeki çekirdeklenme yerlerindeki zayıf tutunmalara neden olabilir. Böylece film kalınlığında azalma meydana gelebilir.

4.2. CdO İnce Filmlerin XRD Analizleri

50 döngü sayısı kullanılarak elde edilen CdO ince filminin XRD kırınım deseni Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1 50 döngü ile elde edilen CdO ince filmine ait XRD kırınım deseni

Şekil 4.1 ile verilen XRD kırınım desenlerinin konum ve şiddetleri, PDF#005-0640 nolu standart kartı ile verilen CdO ile uyum içerisinde olduğu belirlenmiştir. 50 döngü ile elde edilen CdO ince filminin kristal yapısının kübik yapıda ve *Fm3m* uzay grubunda olduğu tespit edilmiştir. XRD analizinden elde edilen verilerle malzemenin kristal boyutu Debye Scherrer bağıntısı yardımıyla hesaplanmıştır. Kristal örgü sabitleri ise kübik yapı için aşağıda verilen (4.1) bağıntısı ile hesaplanmıştır.

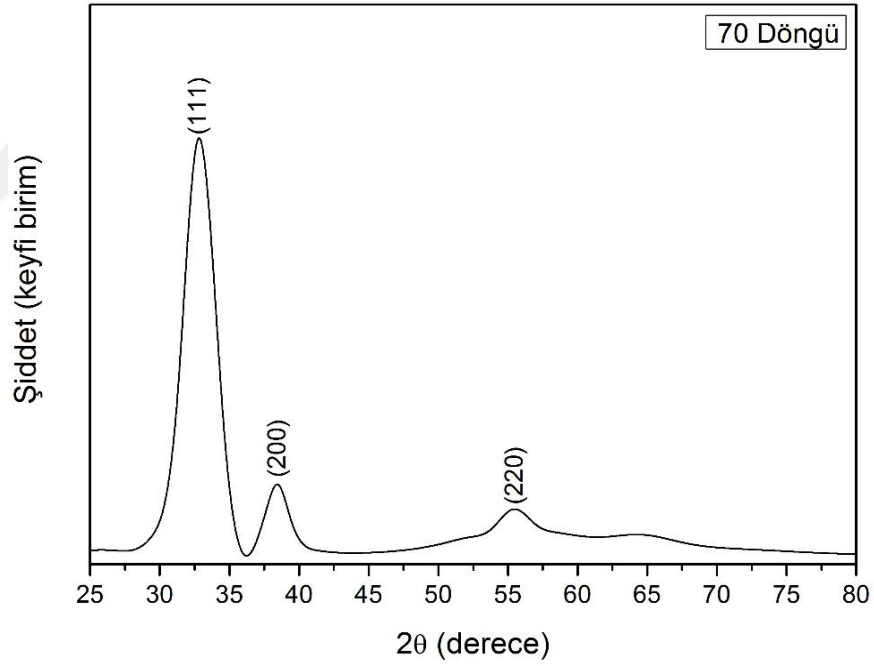
$$\frac{1}{d_{hkl}^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \quad (4.1)$$

50 döngü ile elde edilen CdO ince filminin XRD verilerinden hesaplanan kristal parametre değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 50 döngü ile elde edilen CdO ince filminin XRD verilerinden elde edilen kristal parametre değerleri

2 θ (°)	(h k l)	d (Å)	FWHM (°)	D (Å)	a=b=c (Å)	V(Å ³)
32.991	(1 1 1)	2.7128	2.1353	40.523	4.698	103.691

70 döngü sayısı kullanılarak elde edilen CdO ince filminin XRD kırınım deseni Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2 70 döngü ile elde edilen CdO ince filmine ait XRD kırınım deseni

70 döngü ile elde edilen CdO ince filminin XRD kırınım deseni incelendiğinde kristal yapının değişmediği ve polikristal yapıda olduğu belirtilmiştir (Şekil 4.2). Buna ek olarak PDF#005-0640 nolu standart kartından CdO’nun (200) ve (220) düzlemlerine ait piklerin belirgin hale geldiği görülmüştür. 70 döngü ile elde

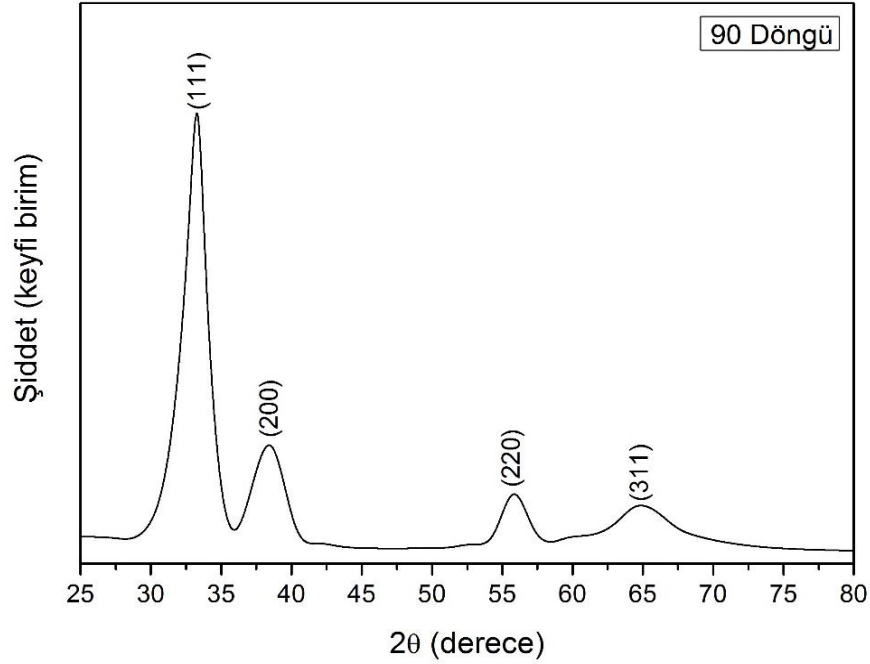
edilen CdO ince filminin XRD verilerinden hesaplanan kristal parametre değerleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 70 döngü ile elde edilen CdO ince filminin XRD verilerinden elde edilen kristal parametre değerleri

2 θ (°)	(h k l)	d (Å)	FWHM (°)	D (Å)	a=b=c (Å)	V(Å ³)
33.030	(1 1 1)	2.7097	2.6768			
38.269	(2 0 0)	2.35	1.8420	39.621	4.694	103.425
55.234	(2 2 0)	1.6617	2.4098			

Çizelge 4.3'ten 70 döngü ile elde edilen CdO ince filminin örgü sabitleri ve kristal boyutu değerlerinin, 50 döngü ile elde edilen CdO ince filminin örgü sabitleri ve kristal boyutu değerlerine yakın olduğu görülmektedir.

90 döngü sonucunda ise elde edilen CdO ince filminin XRD kırınım deseni Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3 90 döngü ile elde edilen CdO ince filmine ait XRD kırınım deseni

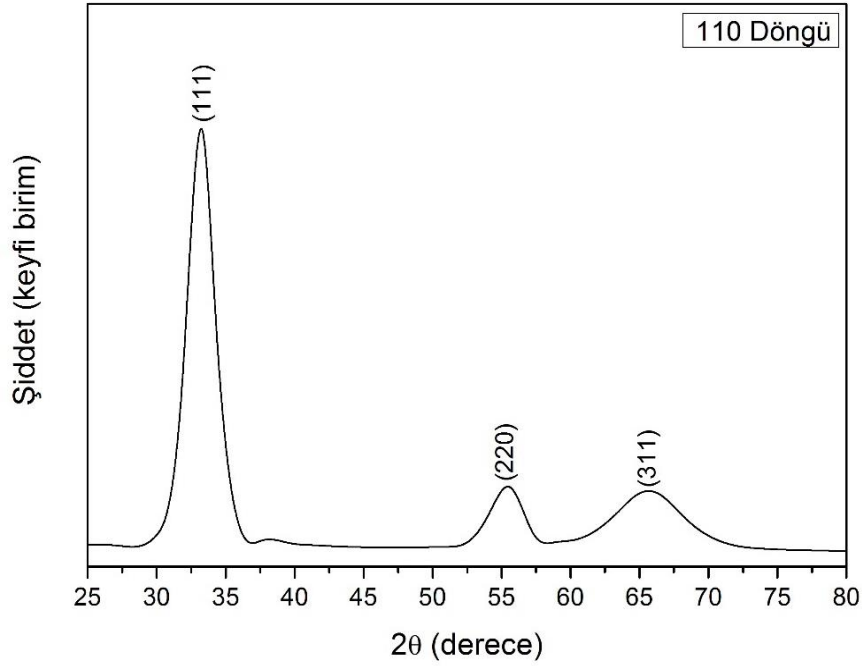
Şekil 4.3 ile verilen 90 döngü ile elde edilen CdO ince filminin XRD kırınım deseni incelendiğinde, 70 döngü ile oluşan piklere ek olarak PDF#005-0640 nolu standart kartından CdO'nun (311) düzlemine ait pikin oluştuğu görülmüştür. Nispeten pik şiddetleri ve keskinliği açısından 90 döngü ile elde edilen CdO ince filminin kristalleşme kalitesinin daha iyi olduğu da söylenebilir. 90 döngü ile elde edilen CdO ince filminin XRD verilerinden hesaplanan kristal parametre değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4 90 döngü ile elde edilen CdO ince filminin XRD verilerinden elde edilen kristal parametre değerleri

2θ (°)	(h k l)	d (Å)	FWHM (°)	D (Å)	a=b=c (Å)	V(Å ³)
33.017	(1 1 1)	2.7108	2.2573	36.652	4.695	103.492
38.295	(2 0 0)	2.3484	2.5057			
55.260	(2 2 0)	1.661	1.9616			
65.933	(3 1 1)	1.4156	4.7023			

Çizelge 4.4'ten 90 döngü ile elde edilen CdO ince filminin örgü sabitleri ve kristal boyutu değerlerinin, 50 ve 70 döngü sayısı ile elde edilen CdO ince filmlerin örgü sabitlerinin yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca kristal boyutu değerinin yakın olmakla birlikte çok az bir düşüş göstermiştir. Bu durum karakteristik piklerin açısı değerleri ve pik şiddetleri ilgili olup gözlenen değişikliklerle uyumludur.

110 döngü sayısı ile elde edilen CdO ince filminin XRD kırınım deseni Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4 110 döngü ile elde edilen CdO ince filmine ait XRD kırınım deseni

Şekil 4.4 ile verilen 110 döngü ile elde edilen CdO ince filminin XRD kırınım deseni incelendiğinde, 90 döngü ile oluşan (200) düzlemine ait pikin oluşmadığı görülmektedir. Bu durum 110 döngü ile birlikte kristalleşme kalitesinin azalması şeklinde yorumlanabilir. Bunun sebebinin 90 döngüden sonra artan döngü sayısı ile film kalınlığının azalması olduğu düşünülmektedir. 110 döngüde elde edilen CdO ince filminin XRD verilerinden hesaplanan kristal parametre değerleri Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5 110 döngü ile elde edilen CdO ince filminin XRD verilerinden elde edilen kristal parametre değerleri

2θ (°)	(h k l)	d (Å)	FWHM (°)	D (Å)	a=b=c (Å)	V(Å ³)
33.043	(1 1 1)	2.7087	2.45502			
55.286	(2 2 0)	1.6602	2.71825	29.195	4.691	103.228
65.946	(3 1 1)	1.4153	5.53091			

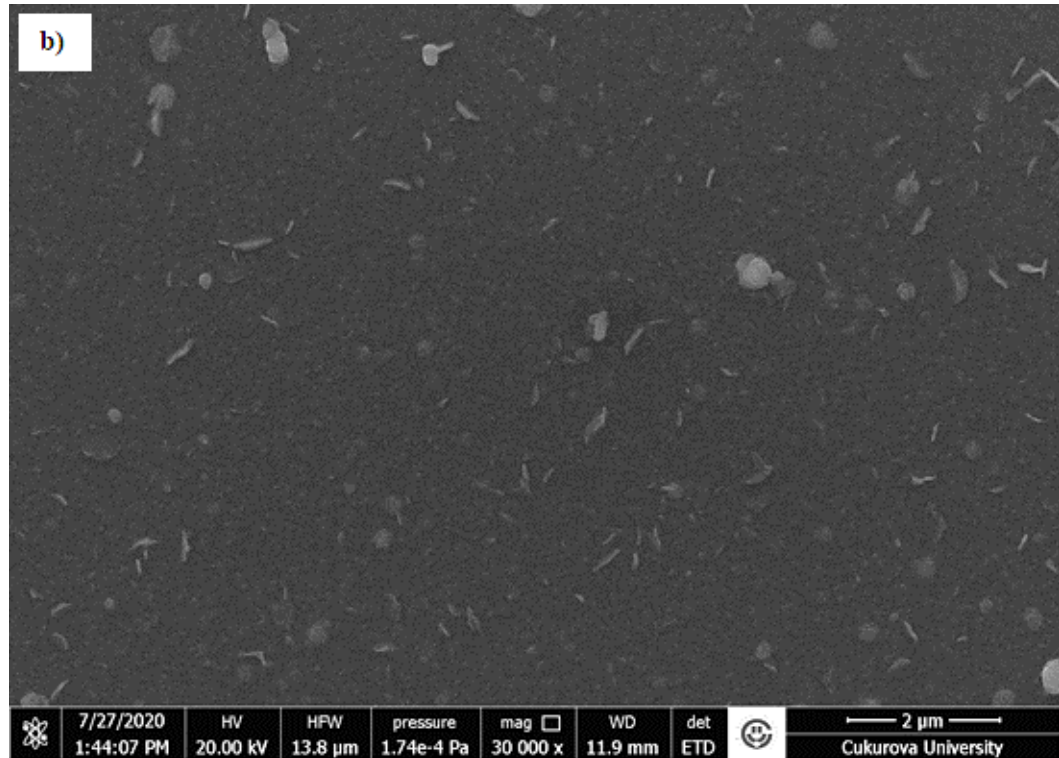
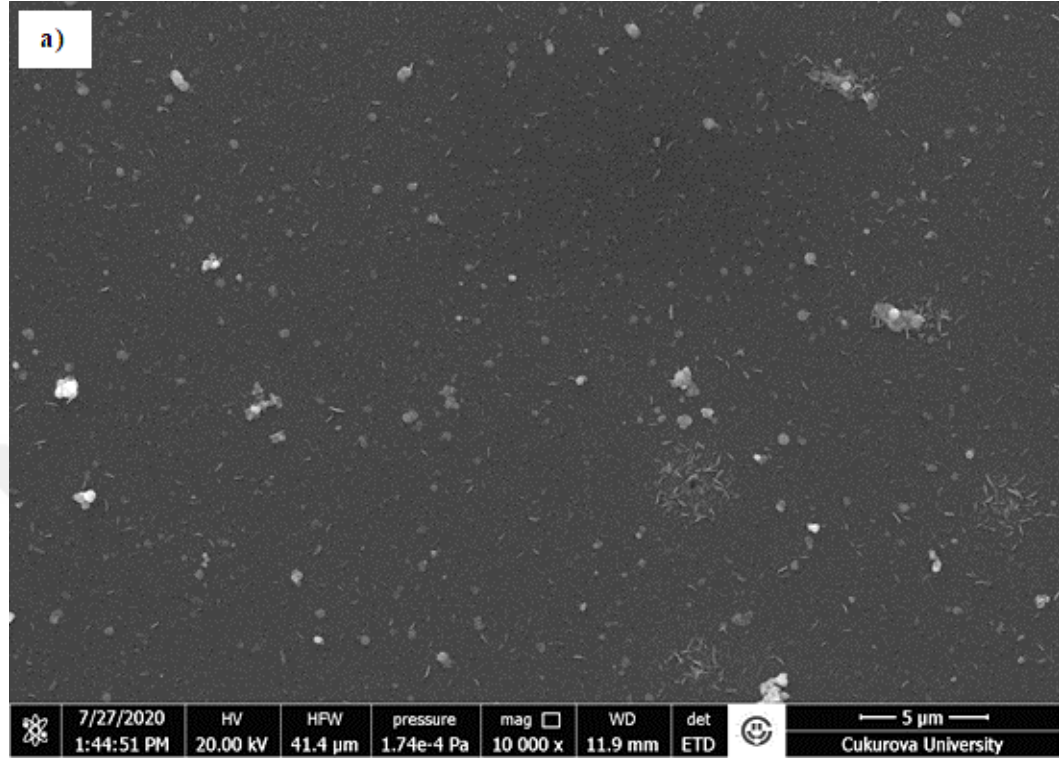
Çizelge 4.5'ten kristal boyutunu veren D parametresinin en düşük seviyede olduğu görülmektedir. Bu ise karakteristik pik keskinliğinin azalması ile ilgilidir ve kristalleşme kalitesinin azaldığını destekler niteliktedir.

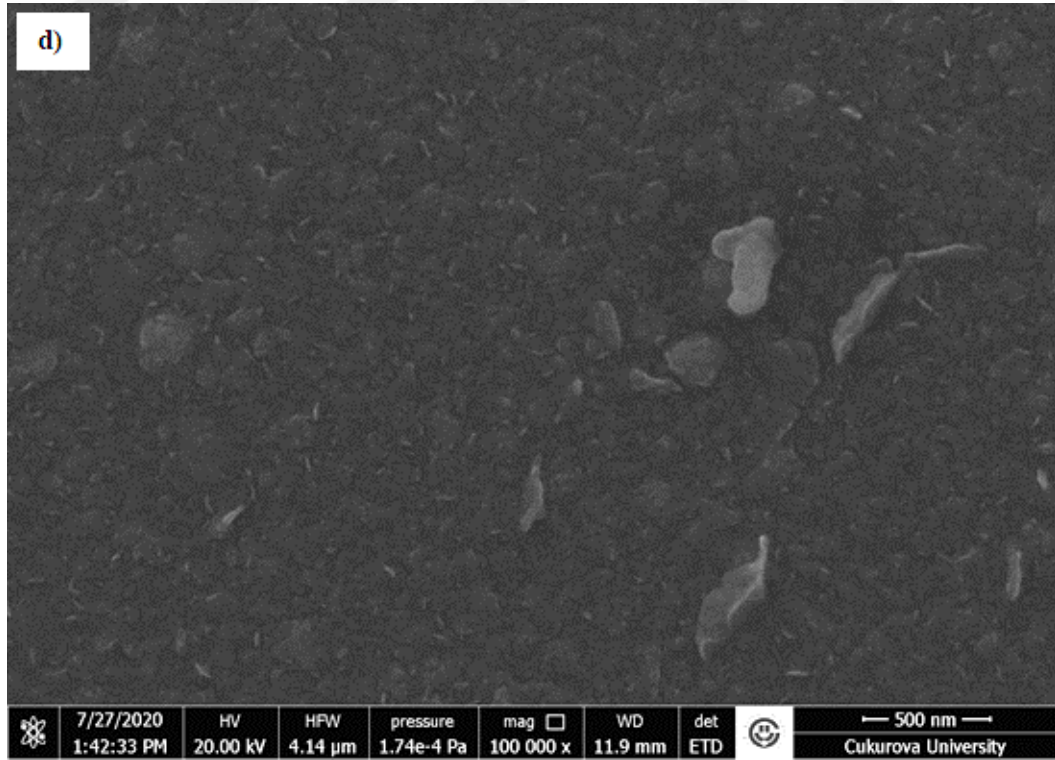
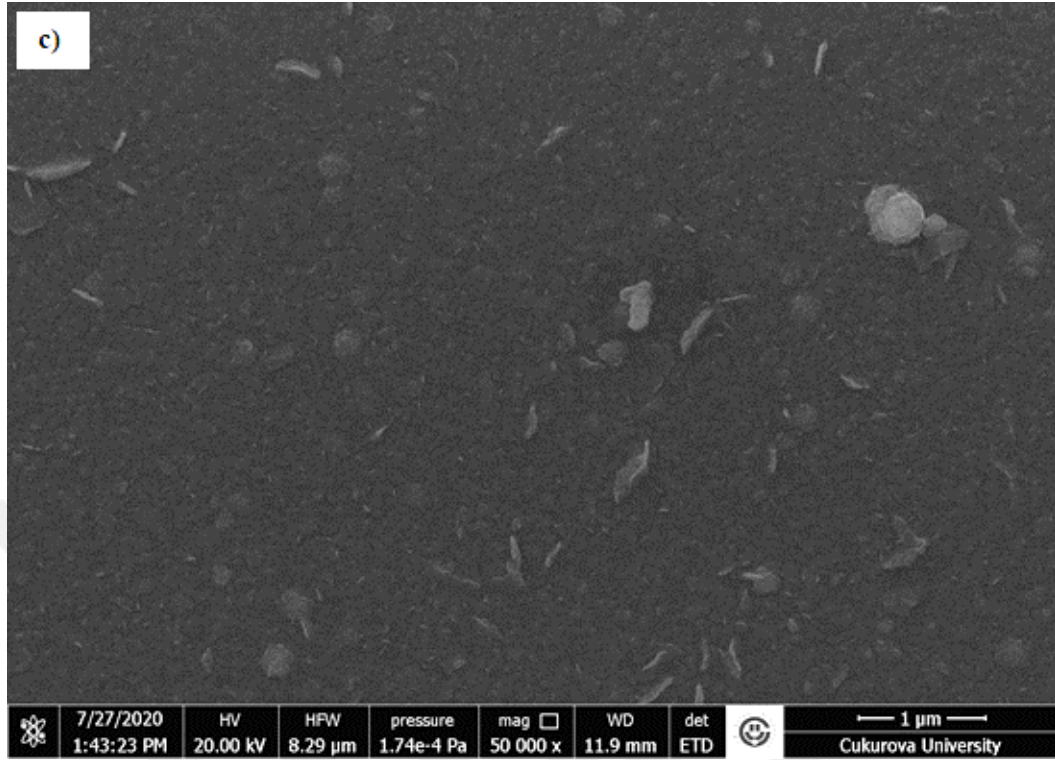
Şekil 4.1-4.4 ile verilen döngü sayısına bağlı olarak elde edilen CdO ince filmlerin XRD kırınım desenleri incelendiğinde, kristalleşme kalitesinin artan döngü sayısı ile birlikte 90 döngüye kadar arttığı, 110 döngüye gelindiğinde ise yeniden azalmaya başladığı görülmektedir. Bu tespit, 50 döngü ile elde edilen CdO ince filminin oldukça düşük düzeyde olan kırınım deseni şiddetinin, 90 döngü ile elde edilen CdO ince filmde optimum düzeye ulaşmasından elde edilmiştir. Bunun yanında CdO'ya ait (200), (220) ve (311) düzlemlerine ait pikler 50 döngü ile elde edilen CdO ince filminin XRD kırınım deseninde oluşmamıştır. 70 döngü ile elde edilen CdO ince filminin XRD kırınım deseninde (111), (200) ve (220) düzlemlerine ait pikler görülmektedir. 90 döngü ile elde edilen CdO ince filminin XRD kırınım deseninde (111), (200), (220) ve (311) düzlemlerine ait piklerin tamamının oluştuğu ve pik şiddetlerinin de arttığı görülmüştür. 110 döngüde elde edilen CdO ince filminin XRD kırınım deseninde (200) düzlemine ait pikin oluşmadığı belirlenmiştir. Tespit edilen bu bulgular 90 döngü sayısı ile elde edilen CdO ince filmde kristalleşme kalitesinin optimum düzeyde olduğunu desteklemektedir. XRD analizleri sonucunda 50, 70, 90 ve 110 döngü ile elde edilen CdO ince filmlerinin kristal yapısının kübik yapıda ve *Fm3m* uzay grubunda olduğu tespit edilmiş olup CdO'nun PDF#005-0640 nolu standart kartı ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. XRD analizlerinde elde edilen bulgular literatürde CdO ince filmler için yapılan XRD çalışmaları ile örtüşmektedir [24, 30, 32, 35, 39].

4.3. CdO İnce Filmlerin SEM ve EDS Analizleri

Farklı döngü sayıları kullanılarak cam alt tabanlar üzerinde depolanan CdO ince filmlerin yüzey morfolojisine ait özellikler SEM görüntüleri, element açısından analizleri EDS analizleri ile incelenmiştir.

50 döngü sayısı ile elde edilen CdO ince filminin farklı büyütme ölçeklerinde çekilen SEM görüntüleri Şekil 4.5'te verilmiştir.

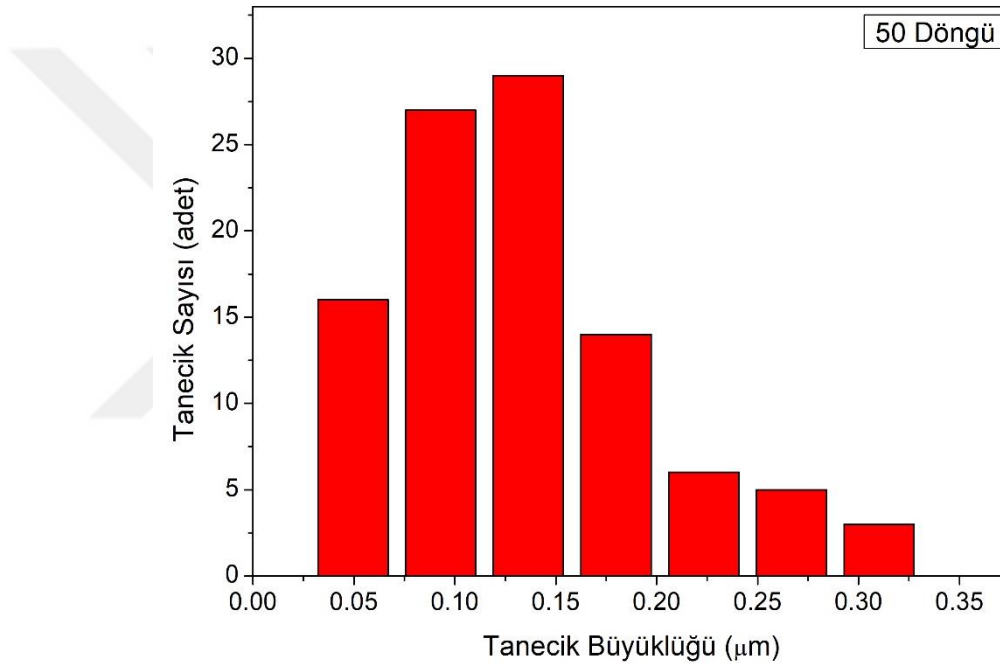




Şekil 4.5 50 döngü ile elde edilen CdO ince filmine ait SEM görüntüleri a) 10.000 b) 30.000 c) 50.000 d) 100.000 büyütme

50, 70, 90 ve 110 döngü ile elde edilen CdO ince filmleri için ortalama tanecik büyüklükleri 100.000 büyütmede çekilen SEM görüntülerinden rasgele seçilen 100 adet tanecik için ImageJ programı kullanılarak hesaplanmıştır.

50 döngü ile elde edilen CdO ince filminin 100.000 büyütmede çekilen SEM görüntüsünden rasgele seçilen 100 adet tanecik için tanecik büyüklüğü dağılım grafiği Şekil 4.6’da verilmiştir. Buradan 50 döngü ile elde edilen CdO ince filmi için ortalama tanecik büyüklüğü 0.133 μm olarak hesaplanmıştır.



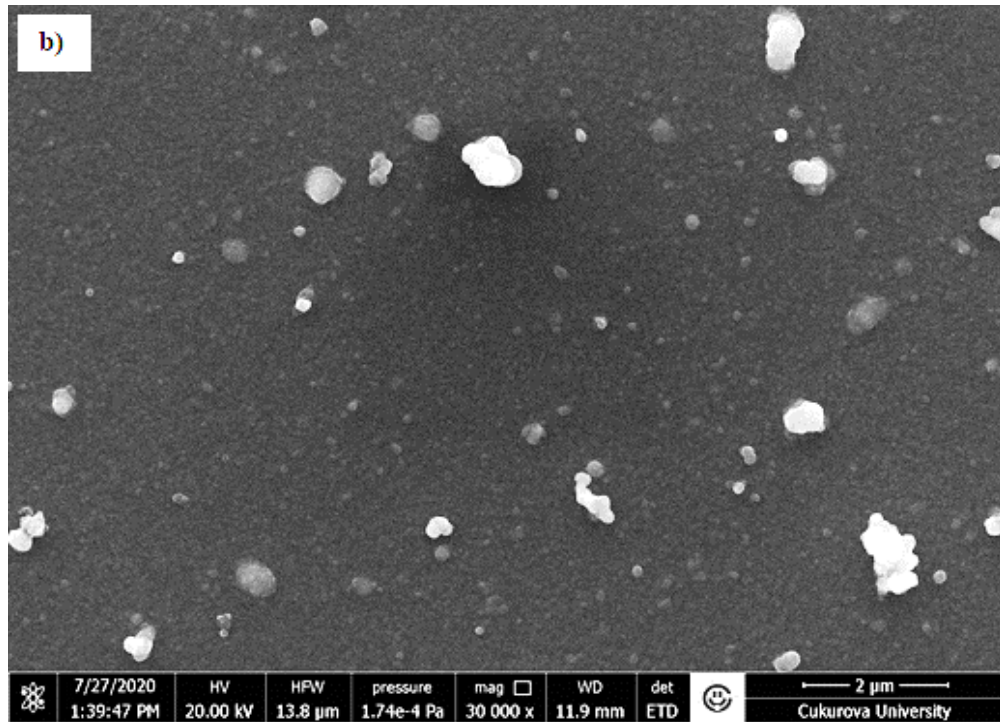
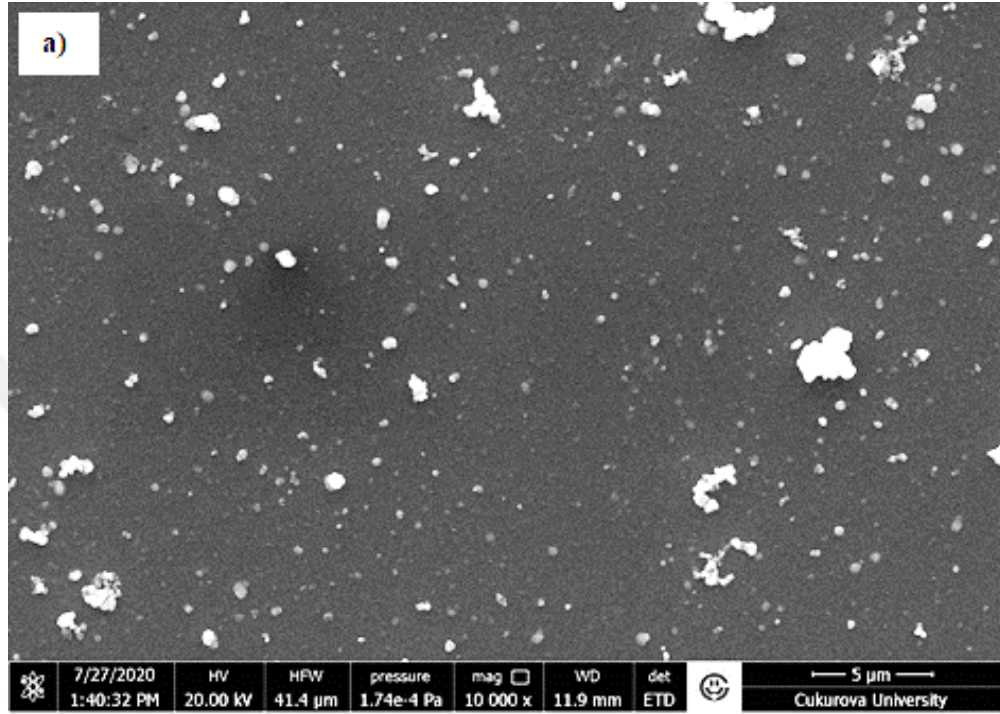
Şekil 4.6 50 döngü ile elde edilen CdO ince filminin tanecik büyüklüğü dağılımı

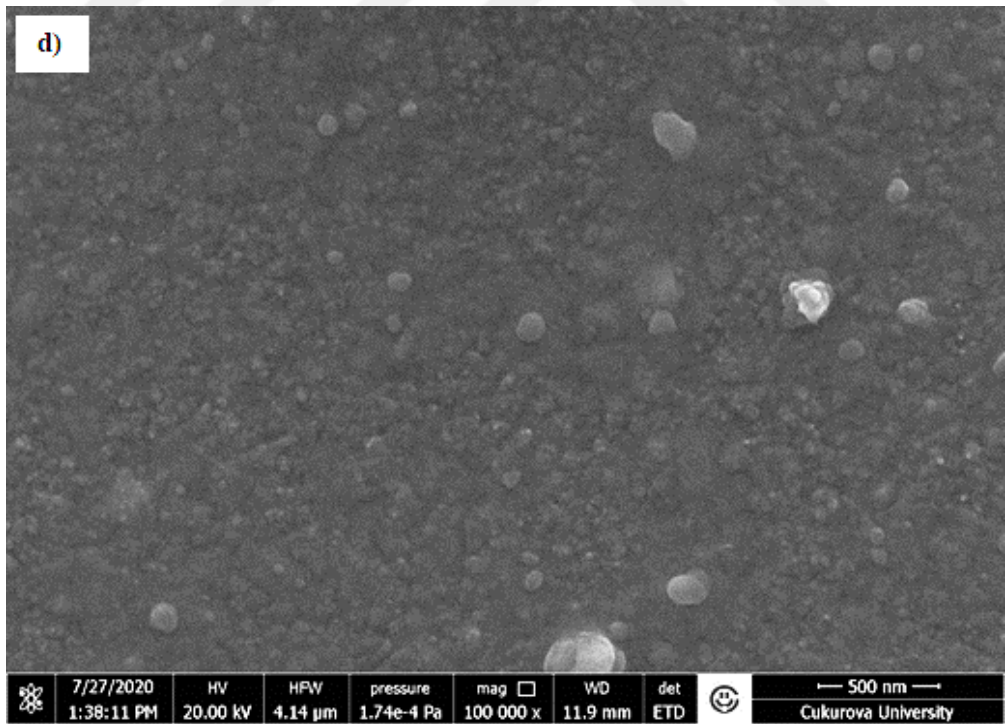
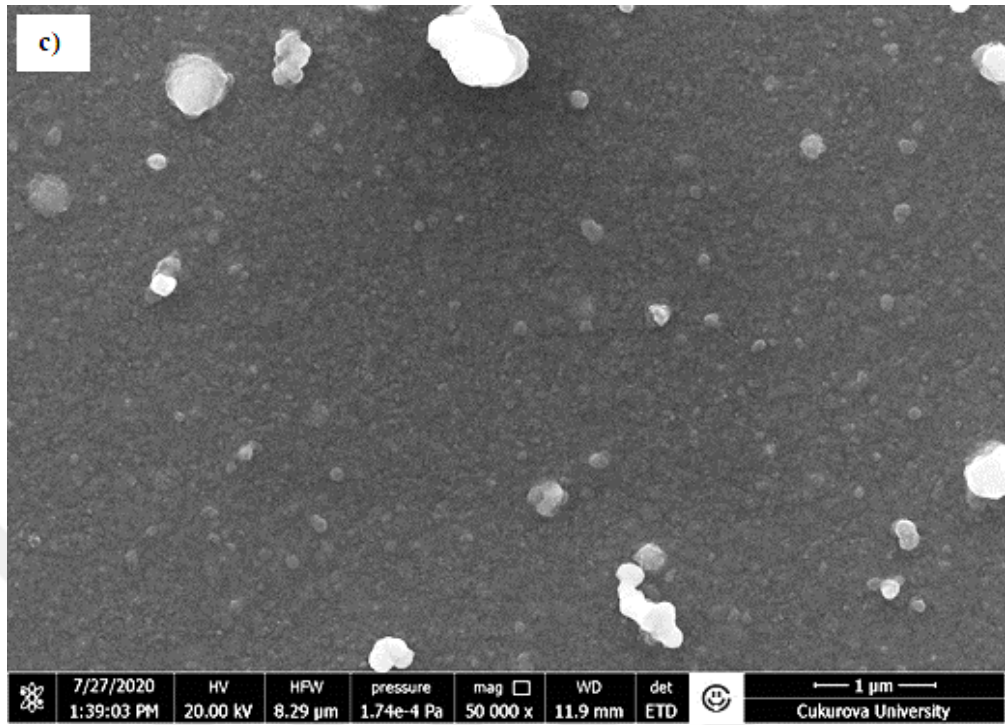
50 döngü ile elde edilen CdO ince filminin EDS analizlerinden elde edilen atomik ve ağırlık yüzde değerleri Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6 50 döngü ile elde edilen CdO ince filminin EDS analizi sonuçları

Element	Ağırlık Yüzdesi	Atomik Yüzde
Cd	40.23	10.67
O	59.77	89.33

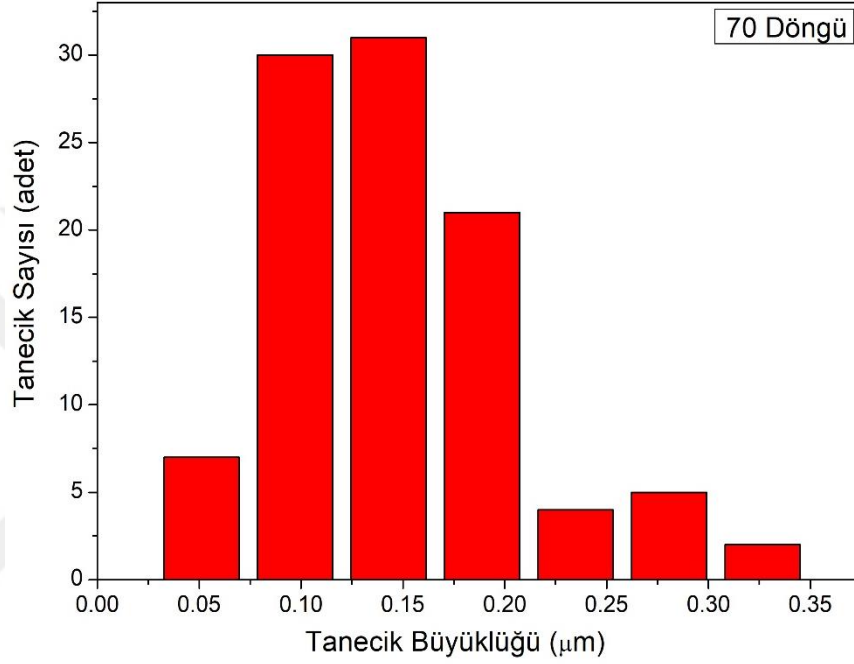
70 döngü sayısı ile elde edilen CdO ince filminin farklı büyütmelerde çekilen SEM görüntüleri Şekil 4.7’de verilmiştir.





Şekil 4.7 70 döngü ile elde edilen CdO ince filmine ait SEM görüntüleri a) 10.000 b) 30.000 c) 50.000 d) 100.000 büyütme

70 döngü ile elde edilen CdO ince filminin 100.000 büyütmede çekilen SEM görüntüsünden rasgele seçilen 100 adet tanecik için tanecik büyüklüğü dağılım grafiği Şekil 4.8’de verilmiştir. Buradan 70 döngü ile elde edilen CdO ince filmi için ortalama tanecik büyüklüğü 0.147 μm olarak hesaplanmıştır.



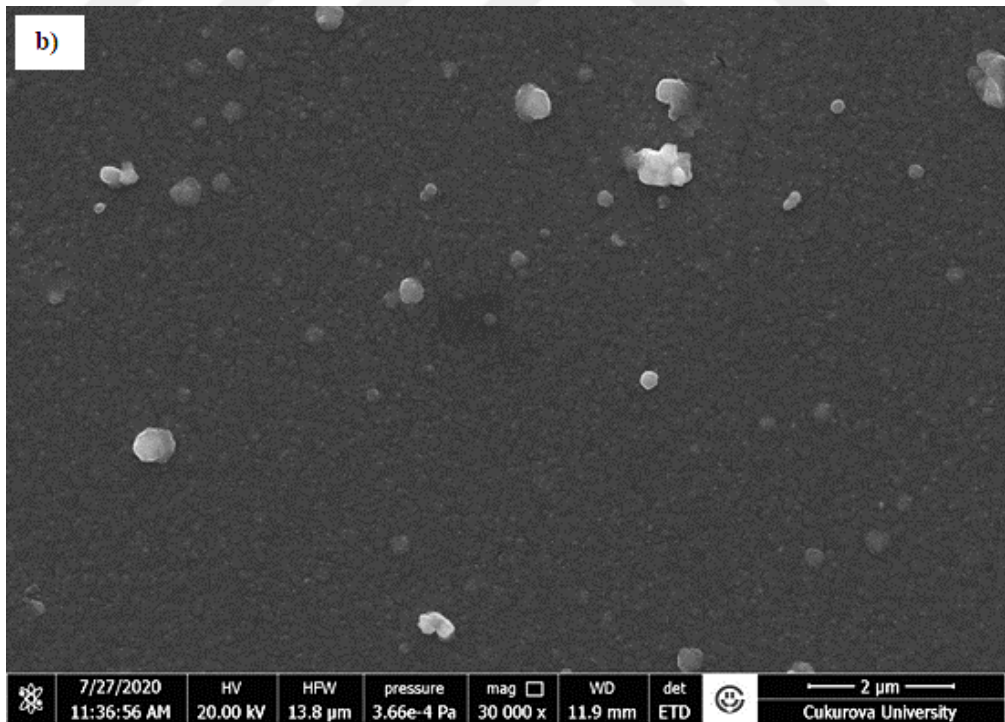
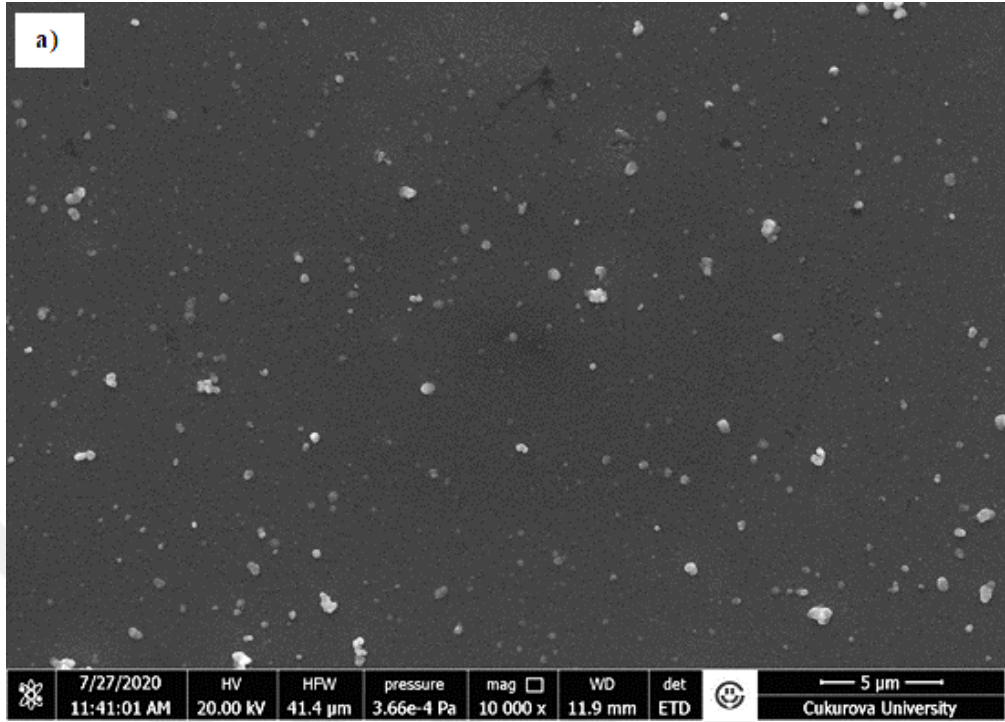
Şekil 4.8 70 döngü ile elde edilen CdO ince filminin tanecik büyüklüğü dağılımı

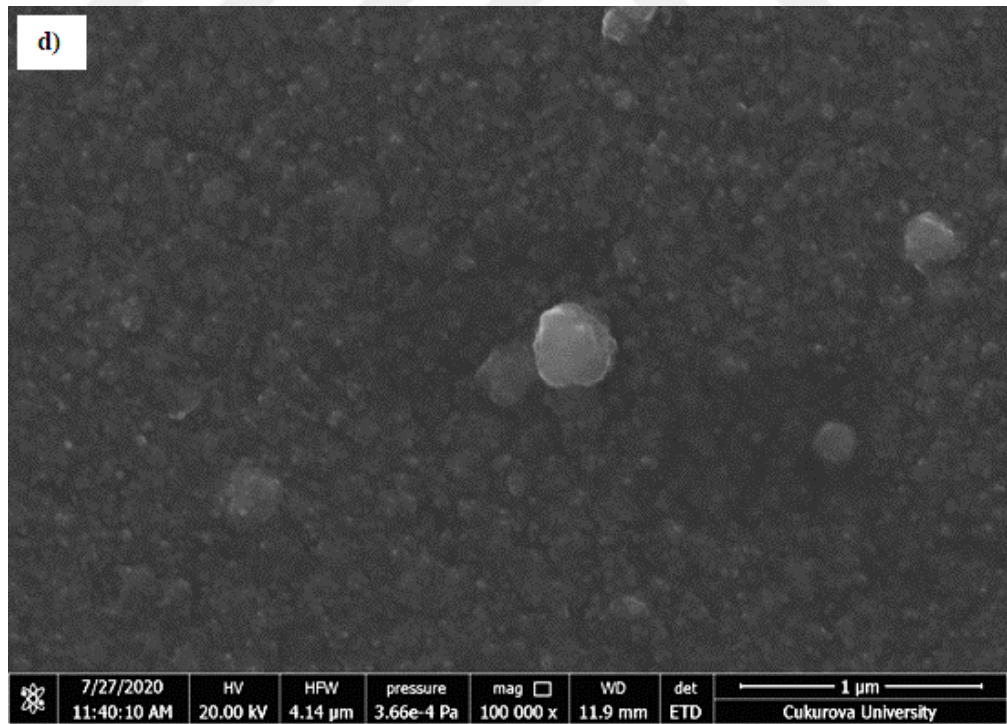
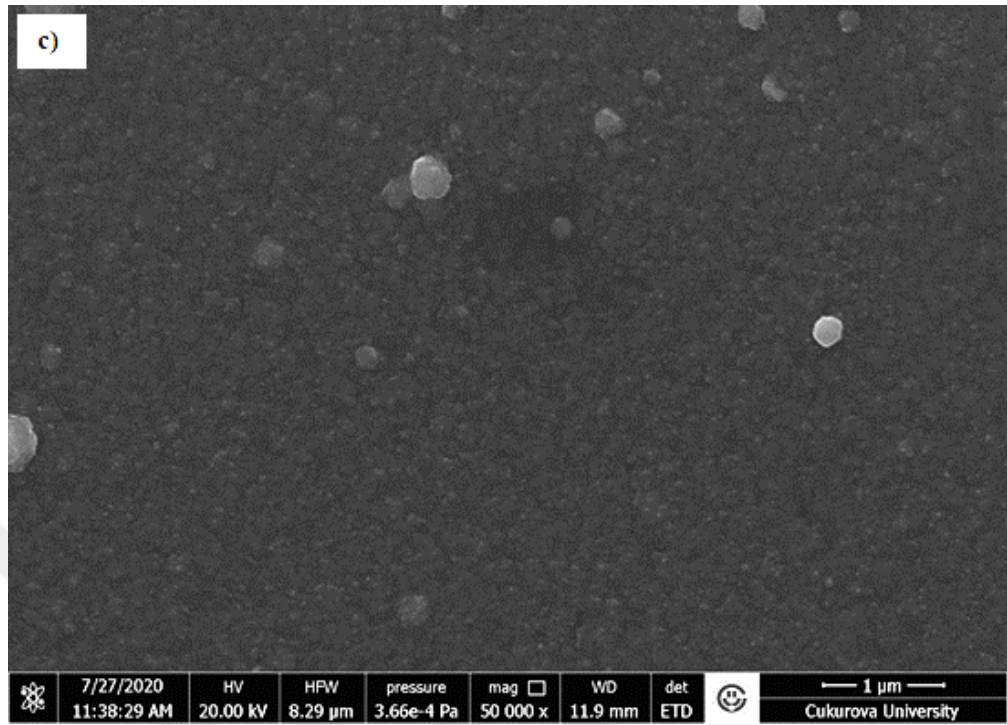
70 döngü ile elde edilen CdO ince filminin EDS analizlerinden elde edilen atomik ve ağırlık yüzde değerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7 70 döngü ile elde edilen CdO ince filminin EDS analizi sonuçları

Element	Ağırlık Yüzdesi	Atomik Yüzde
Cd	37.31	7.81
O	62.69	92.19

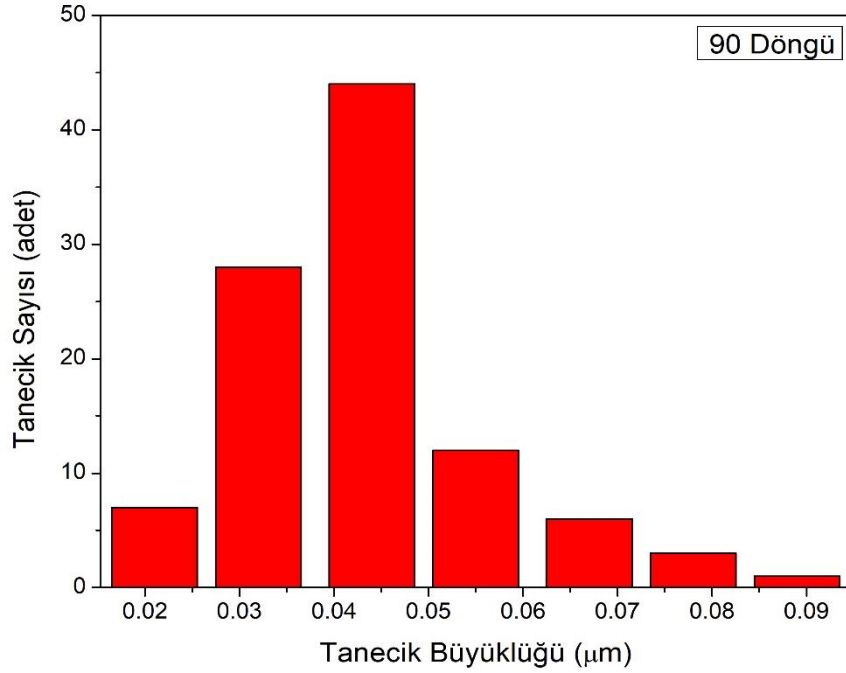
90 döngü sayısı ile elde edilen CdO ince filminin farklı büyütmelerde çekilen SEM görüntüleri Şekil 4.9’da verilmiştir.





Şekil 4.9 90 döngü ile elde edilen CdO ince filmine ait SEM görüntüleri a) 10.000 b) 30.000 c) 50.000 d) 100.000 büyütme

90 döngü ile elde edilen CdO ince filminin 100.000 büyütmede çekilen SEM görüntüsünden rasgele seçilen 100 adet tanecik için tanecik büyüklüğü dağılım grafiği Şekil 4.10'de verilmiştir. Buradan 90 döngü ile elde edilen CdO ince filmi için ortalama tanecik büyüklüğü 0.043 μm olarak hesaplanmıştır.



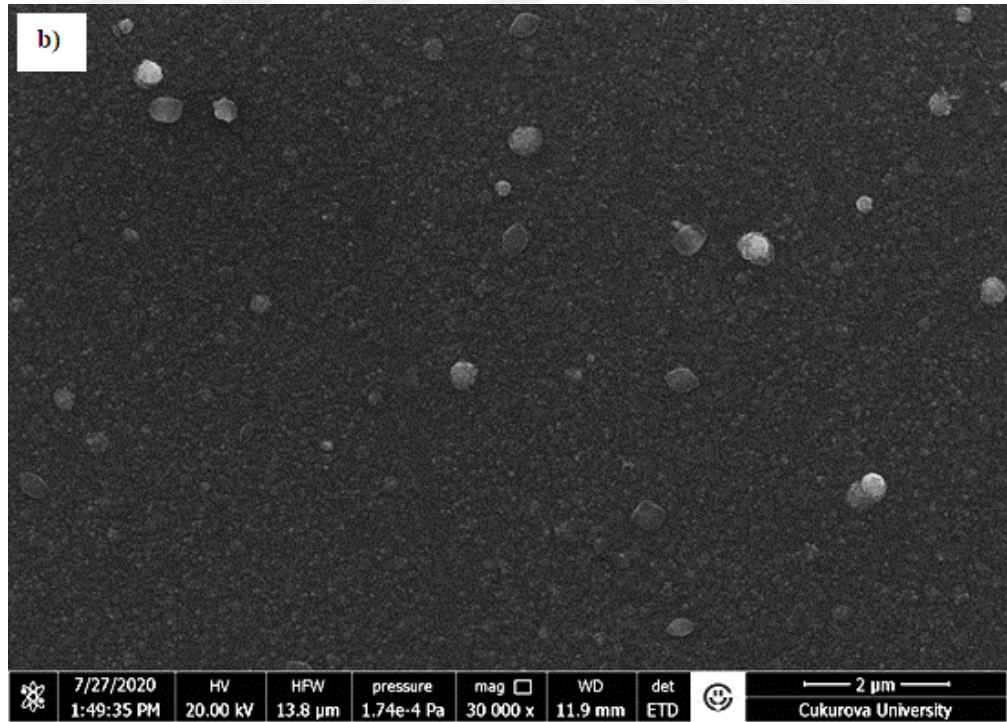
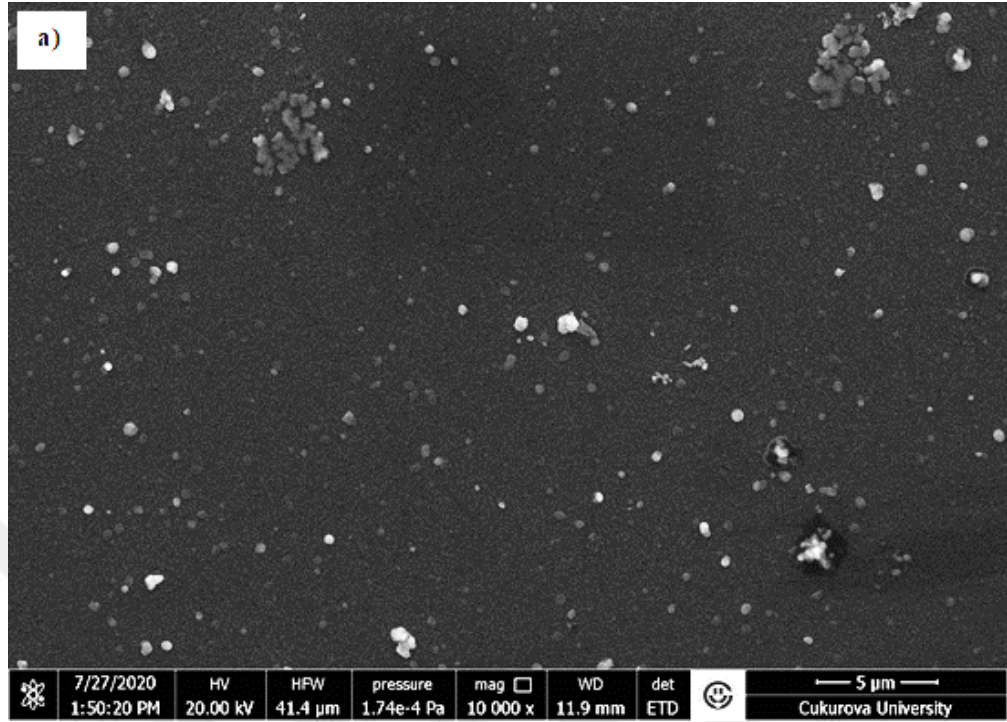
Şekil 4.10 90 döngü ile elde edilen CdO ince filminin tanecik büyüklüğü dağılımı

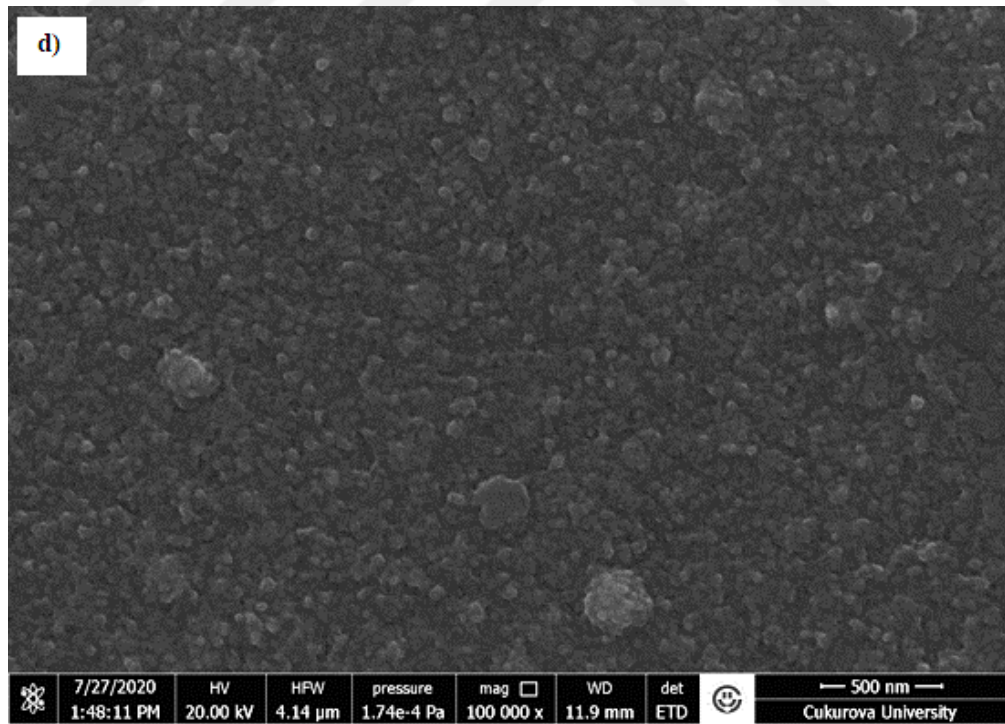
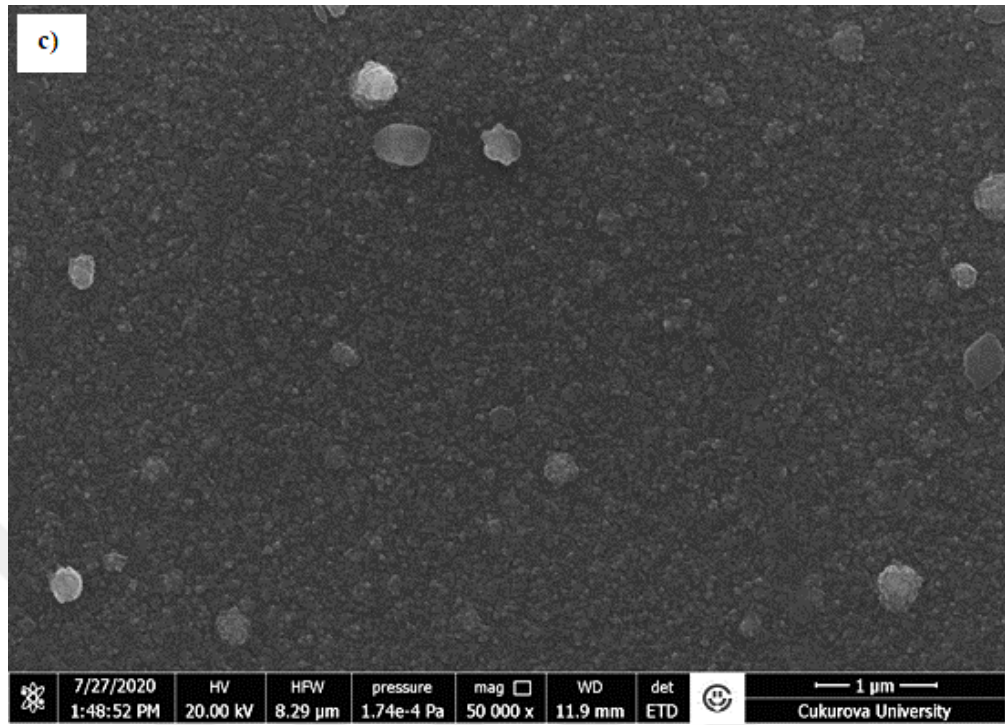
90 döngü ile elde edilen CdO ince filminin EDS analizlerinden elde edilen atomik ve ağırlık yüzde değerleri Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8 90 döngü ile elde edilen CdO ince filminin EDS analizi sonuçları

Element	Ağırlık Yüzdesi	Atomik Yüzde
Cd	32.69	6.47
O	67.31	93.53

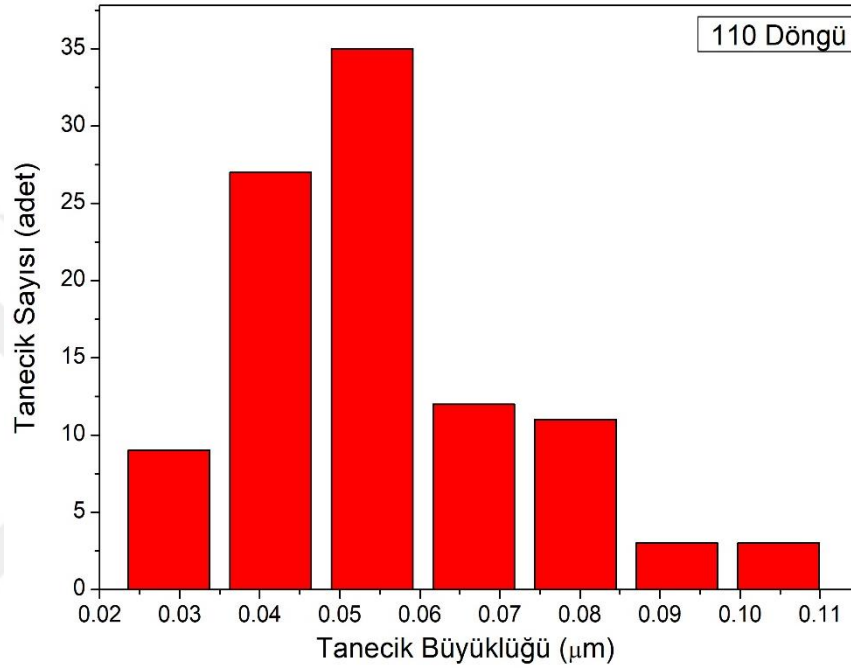
110 döngü sayısı ile elde edilen CdO ince filminin farklı büyütmelerde çekilen SEM görüntüleri Şekil 4.11'de verilmiştir.





Şekil 4.11 110 döngü ile elde edilen CdO ince filmine ait SEM görüntüleri a) 10.000 b) 30.000 c) 50.000 d) 100.000 büyütme

110 döngü ile elde edilen CdO ince filminin 100.000 büyütmede çekilen SEM görüntüsünden rasgele seçilen 100 adet tanecik için tanecik büyüklüğü dağılım grafiği Şekil 4.12’de verilmiştir. Buradan 110 döngü ile elde edilen CdO ince filmi için ortalama tanecik büyüklüğü 0.056 μm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.12 90 döngü ile elde edilen CdO ince filminin tanecik büyüklüğü dağılımı

Çizelge 4.9 110 döngü ile elde edilen CdO ince filminin EDS analizi sonuçları

Element	Ağırlık Yüzdesi	Atomik Yüzde
Cd	33.24	6.62
O	66.76	93.38

Farklı döngü sayıları kullanılarak elde edilen CdO ince filmlerin Şekil 4.5, Şekil 4.7, Şekil 4.9 ve Şekil 4.11 ile verilen SEM görüntülerinden film yüzeylerinin birbirine bağlı taneciklerle sıkı yapıda ve homojen olarak kaplandığı görülmektedir. Bunun yanı sıra birbirine bağlı taneler kümeler oluşturabilir ve bu durum CdO ince filmlerin verilen SEM görüntülerinde görülmektedir. Bu tür bir büyüme,

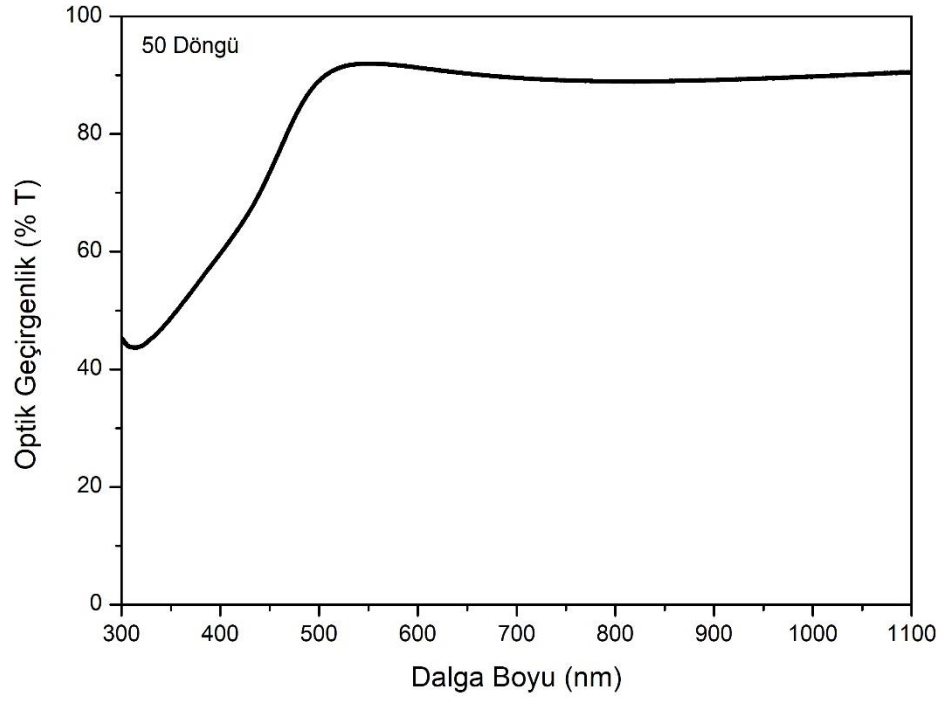
çekirdeklenme ve birleşme süreci temelinde açıklanabilir. Film yüzeyinde oluşan sıkı yapının ve homojenlik kalitesinin artan döngü sayısı ile birlikte 90 döngüye kadar arttığı, 110 döngüye gelindiğinde ise nispeten azalmaya başladığı söylenebilir. Ayrıca 100.000 büyütmede çekilen SEM görüntülerinden rasgele seçilen 100 adet tanecik için ImageJ programı kullanılarak hesaplanan ortalama tanecik büyüklükleri 0.043-0.147µm aralığında değişiklik göstermiştir. Ortalama tanecik büyüklüğünün, optimum kalınlığa ve en homojen film yüzeyine sahip 90 döngü ile elde edilen CdO ince filmi için en düşük seviyede olduğu belirlenmiştir. Bu durumun 90 döngü ile elde edilen CdO ince filminin Şekil 4.9 ile verilen SEM görüntülerinden görüldüğü şekilde tanecik sayısının artmasıyla artan tanecik sınırlarından oluştuğu düşünülmektedir. XRD grafiklerinden elde edilen bulgular da bu durumu destekler niteliktedir. EDS analizlerinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde, tez kapsamında elde edilen CdO ince filmler içerisinde kullanılan elementlerden başka bir elementin olmadığı ve deneysel işlemler sürecinde elementlerden herhangi birinin yapıdan uzaklaşmadığı belirlenmiştir.

4.4. CdO İnce Filmlerin Optiksel Analizleri

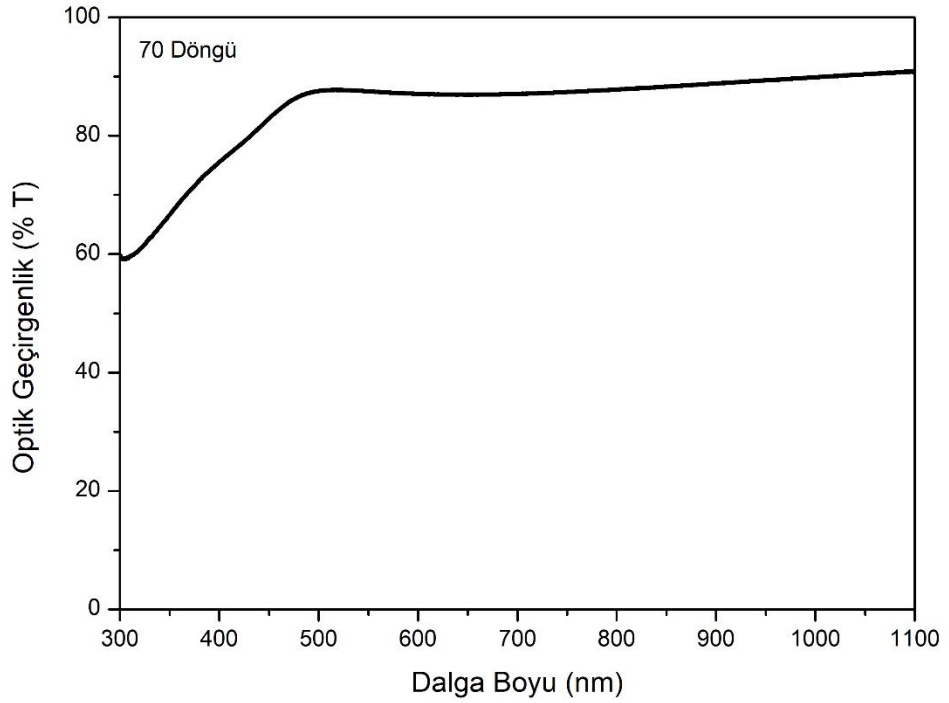
Tez kapsamında elde edilen CdO ince filmlerin temel optiksel analizleri için optik geçirgenlik (%*T*) ve soğurma (*A*) spektrumları UV-Vis spektrofotometre kullanılarak 300-1100 nm dalga boyu aralığında alınmıştır. Spektrofotometreden alınan veriler kullanılarak ve kısım 3.2.2.4'te verilen bağıntılar yardımıyla CdO ince filmlerin temel optiksel sabitleri hesaplanmıştır.

4.4.1. Optik Geçirgenlik Analizleri

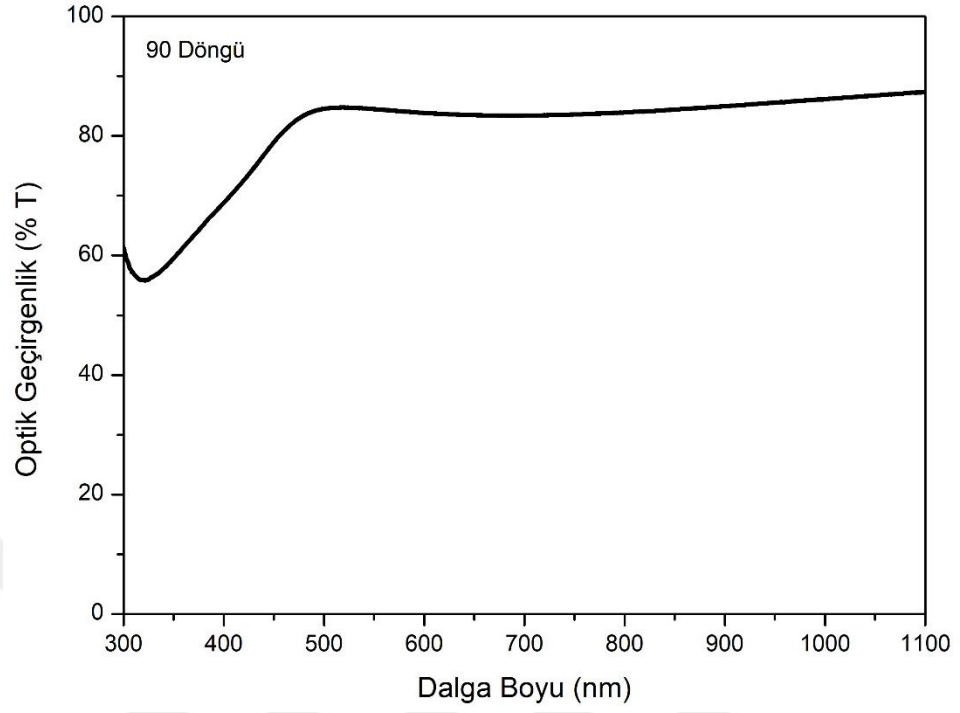
50, 70, 90 ve 110 döngü sayısı kullanılarak elde edilen CdO ince filmlerin spektrofotometreden alınan dalga boyuna optik geçirgenlik (%*T*) grafikleri sırasıyla Şekil 4.13-4.16'da verilmiştir.



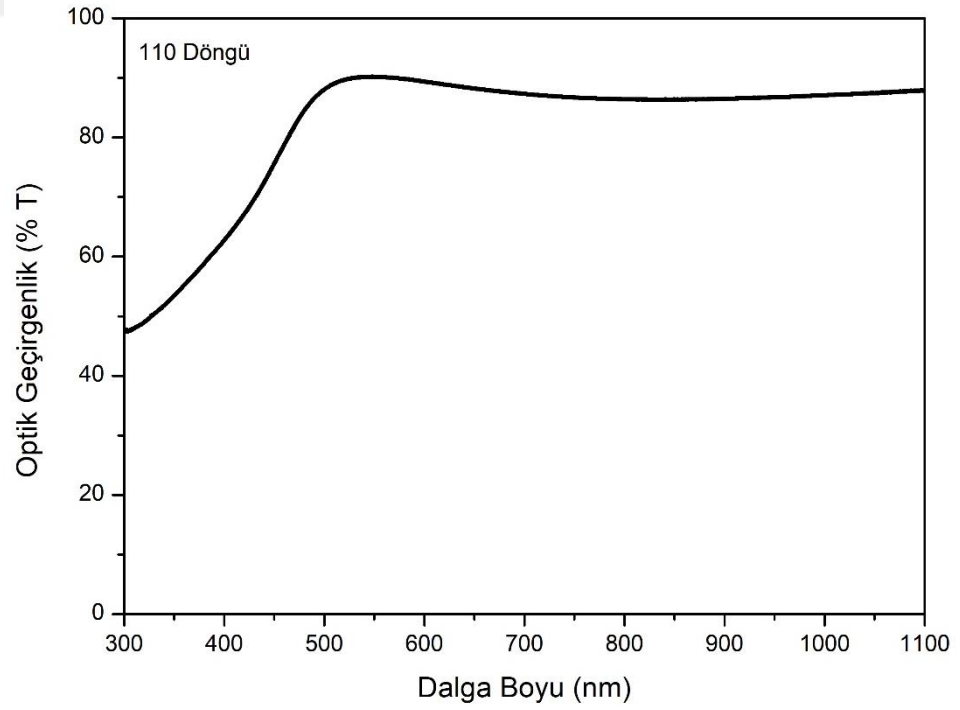
Şekil 4.13 50 döngü ile elde edilen CdO ince filmin optik geçirgenlik grafiği



Şekil 4.14 70 döngü ile elde edilen CdO ince filmin optik geçirgenlik grafiği



Şekil 4.15 90 döngü ile elde edilen CdO ince filmin optik geçirgenlik grafiği

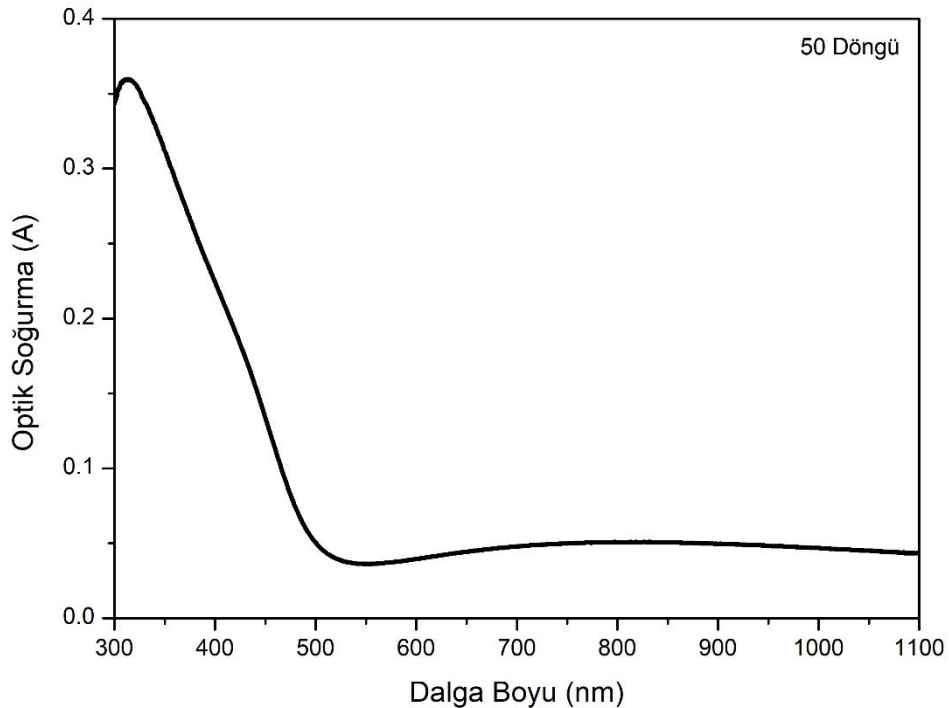


Şekil 4.16 110 döngü ile elde edilen CdO ince filmin optik geçirgenlik grafiği

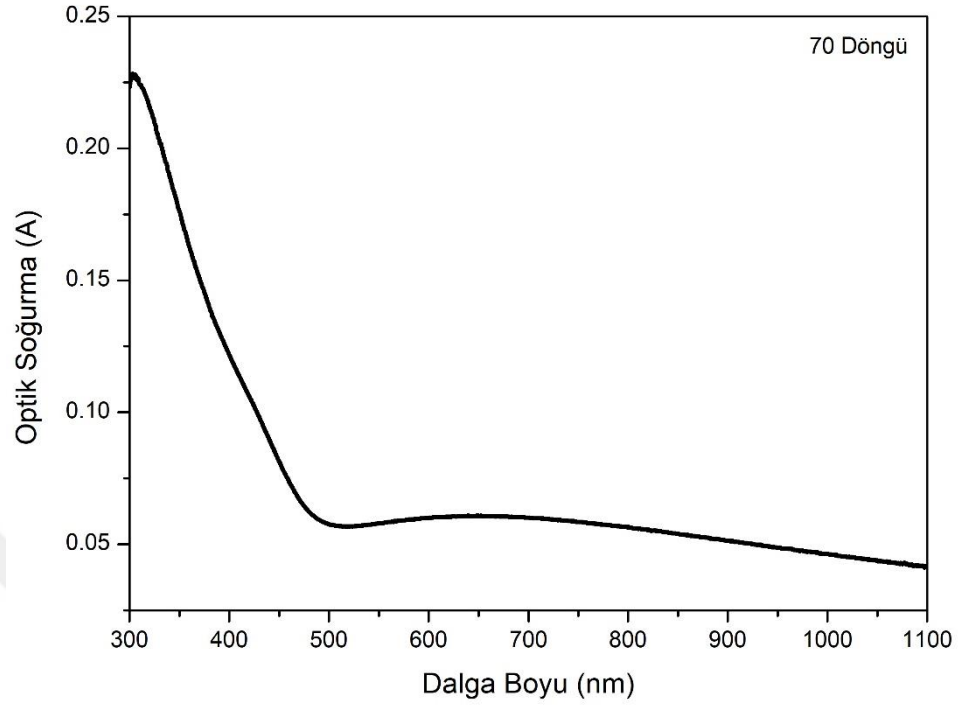
Şekil 4.13-4.16 ile verilen dalga boyuna bağlı optik geçirgenlik grafikleri incelediğinde görünür bölgedeki (400-700 nm) optik geçirgenlik değerlerinin % 60-92 arasında değiştiği belirlenmiştir. CdO ince filmlerin görünür bölgede yüksek optik geçirgenliğe sahip olduğu Şeffaf İletken Oksit (ŞİO) davranışı sergilediği söylenebilir. Ayrıca 50, 70, 90 ve 110 döngü sayıları kullanılarak elde edilen CdO ince filmlerin görünür bölgenin ortasındaki ($\lambda=550$ nm) optik geçirgenlik değerleri sırasıyla % 92, % 88, % 85 ve % 90 olarak bulunmuştur. Döngü sayısının arttırılmasıyla kalınlığı artan filmlerin optik geçirgenlik değerlerinde azalma olduğu, 110 döngü ile elde edilen CdO ince filminin film kalınlığının azalmasına bağlı olarak optik geçirgenlik değerlerinin nispeten arttığı gözlenmiştir. Elde edilen bulgular literatürdeki çalışmalarla uyum içindedir [42-43].

4.4.2. Optik Soğurma Analizleri

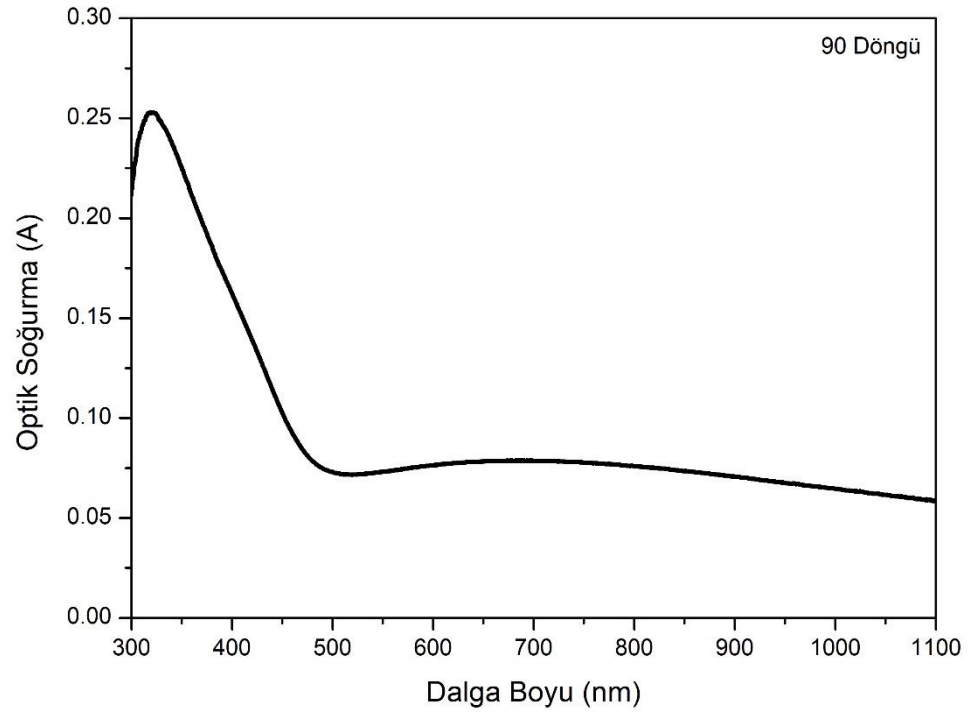
CdO ince filmlerin spektrofotometreden alınan dalga boyuna bağlı optik soğurma (A) grafikleri Şekil 4.17-4.20’de verilmiştir.



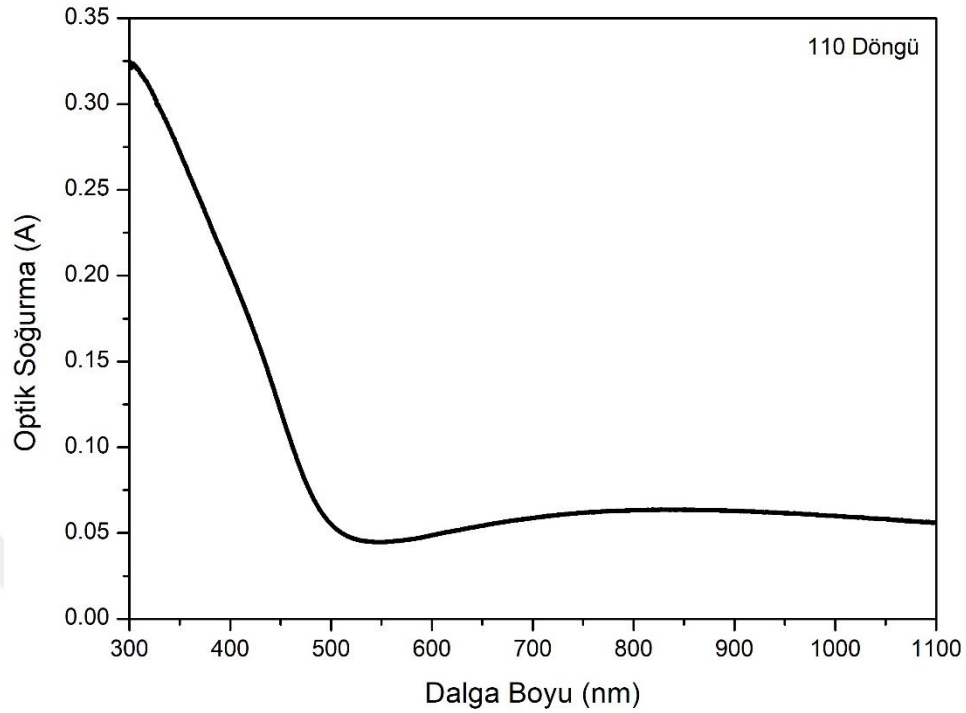
Şekil 4.17 50 döngü ile elde edilen CdO ince filmin optik soğurma grafiği



Şekil 4.18 70 döngü ile elde edilen CdO ince filmin optik soğurma grafiği



Şekil 4.19 90 döngü ile elde edilen CdO ince filmin optik soğurma grafiği

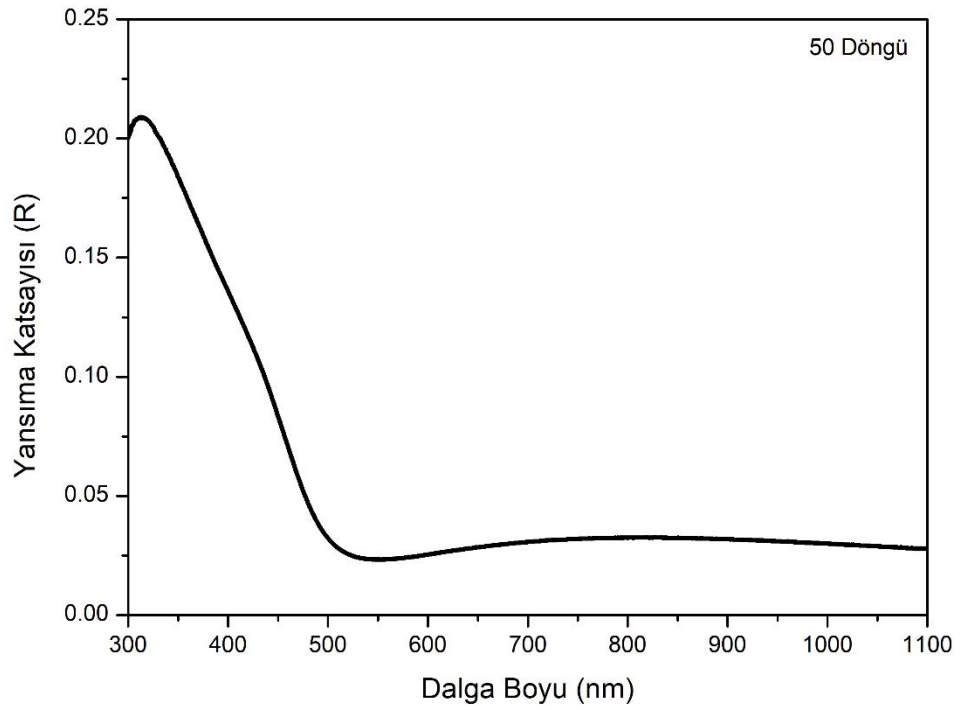


Şekil 4.20 110 döngü ile elde edilen CdO ince filmin optik soğurma grafiği

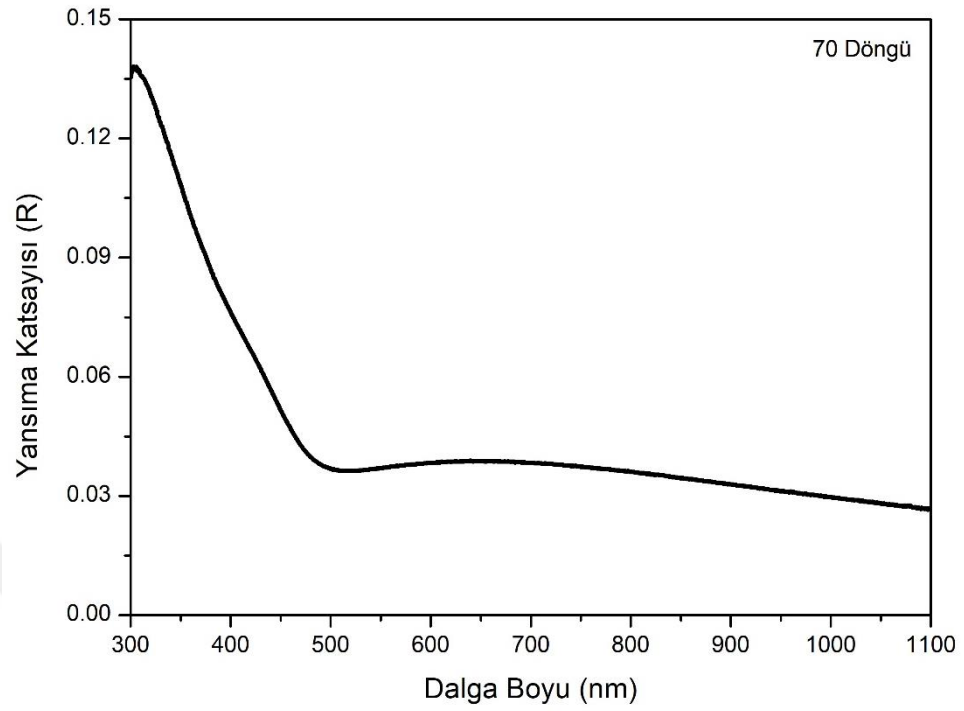
Şekil 4.17-4.20 ile verilen dalga boyuna bağlı optik soğurma grafikleri incelediğinde tez kapsamında elde edilen CdO ince filmlerin kısa dalga boyu bölgesinde düşük optik soğurma değerlerine sahip olduğu söylenebilir. Ayrıca, CdO ince filmlerin optik soğurma değerlerinin 300-520 nm dalga boyu aralığında hızlı bir şekilde azaldığı ve 520 nm'den sonra bir miktar arttığı belirlenmiştir. Bunun yanı sıra görünür bölgedeki optik soğurma değerlerinin 0.048-0.224 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Buna ek olarak 50, 70, 90 ve 110 döngü sayıları kullanılarak elde edilen CdO ince filmlerin görünür bölgenin ortasındaki ($\lambda=550$ nm) optik soğurma değerleri sırasıyla 0.036, 0.058, 0.073 ve 0.044 olarak bulunmuştur. Bunun sonucunda en yüksek optik soğurma değerine 90 döngü ile elde edilen ve optimum kalınlığa sahip olan CdO ince filminin sahip olduğu görülmektedir. 110 döngü ile elde edilen CdO ince filminin film kalınlığının azalmasına bağlı olarak optik soğurma değerlerinin nispeten azaldığı gözlenmiştir. CdO ince filmlerinin optik geçirgenlik grafikleri de optik soğurma grafiklerini destekler niteliktedir.

4.4.3. Yansıma Katsayısı Analizleri

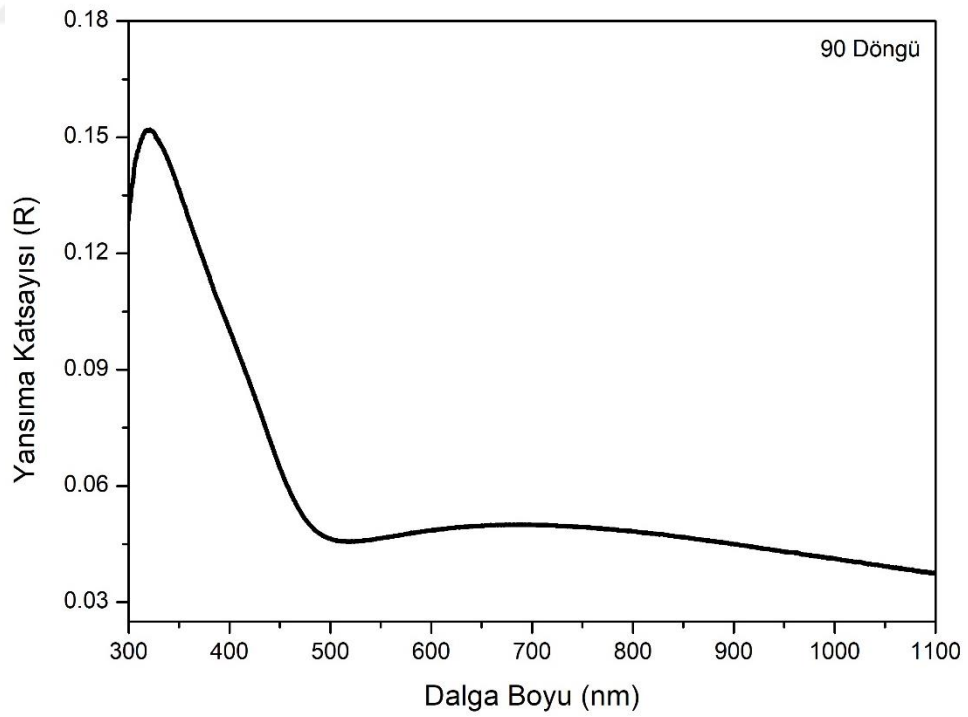
50, 70, 90 ve 110 döngü sayıları kullanılarak elde edilen CdO ince filmlerin yansıma katsayısı değerleri, spektrofotometreden alınan dalga boyuna bağlı optik soğurma (A) ve optik geçirgenlik verileri ile (3.6) bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır. CdO ince filmlerin dalga boyuna bağlı yansıma katsayısı grafikleri Şekil 4.21-4.24’de verilmiştir.



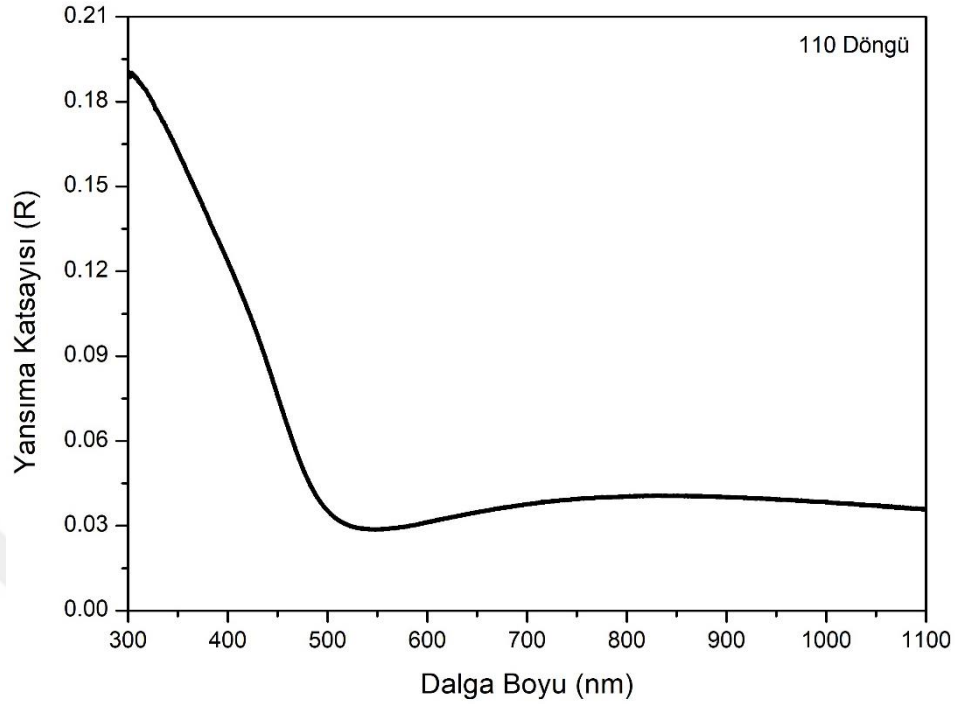
Şekil 4.21 50 döngü ile elde edilen CdO ince filmin yansıma katsayısı grafiği



Şekil 4.22 70 döngü ile elde edilen CdO ince filmin yansım katsayısı grafiğı



Şekil 4.23 90 döngü ile elde edilen CdO ince filmin yansım katsayısı grafiğı

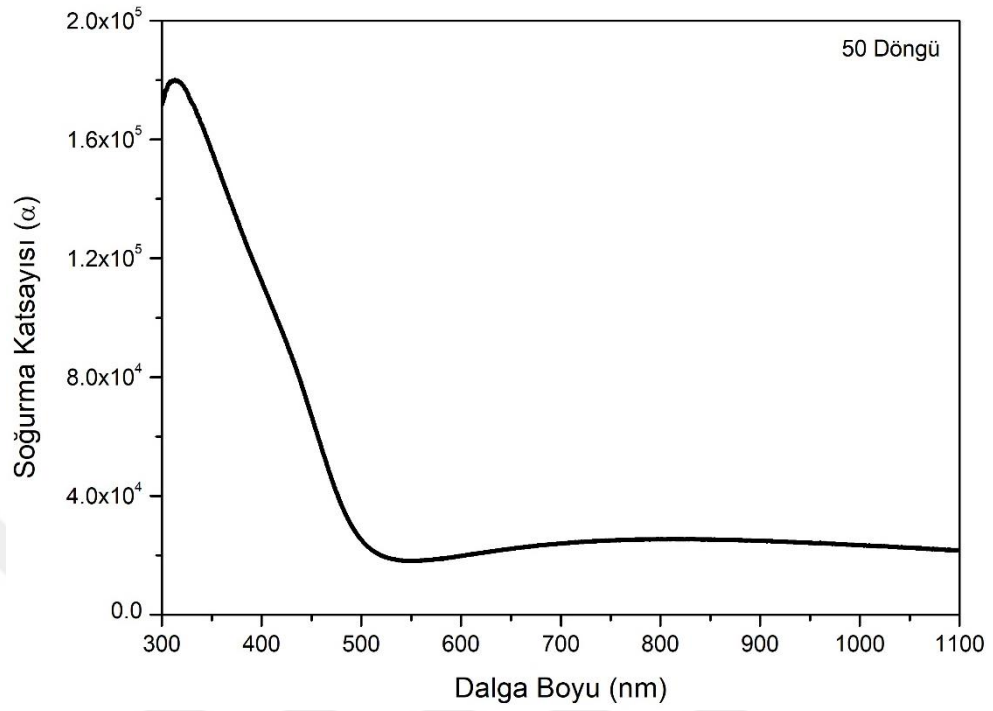


Şekil 4.24 110 döngü ile elde edilen CdO ince filmin yansıma katsayısı grafiği

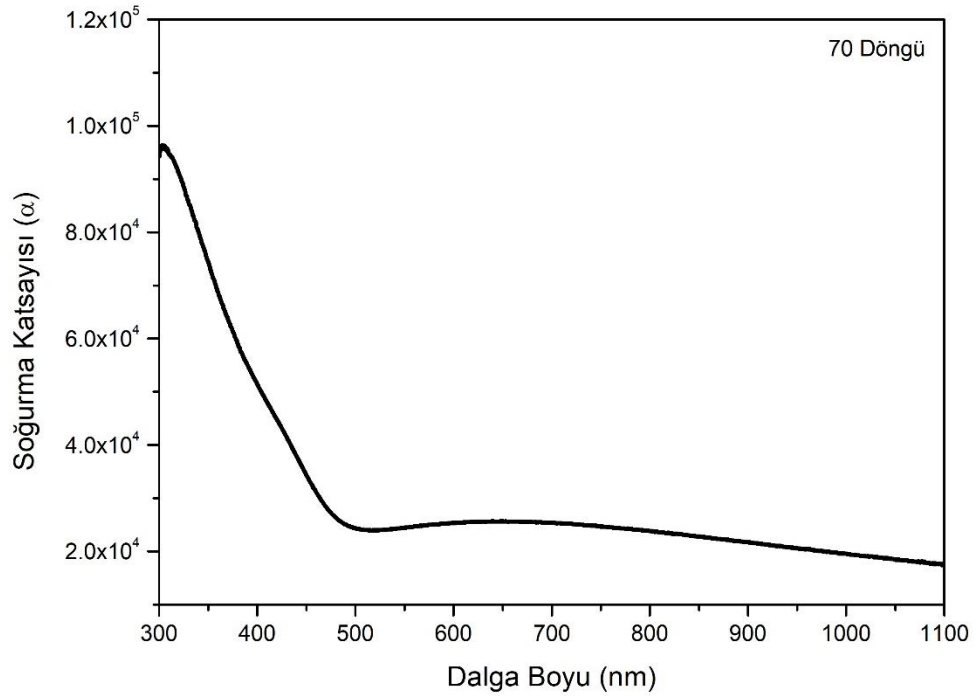
Tez kapsamında farklı döngü sayıları kullanılarak elde edilen CdO İnce filmlerin Şekil 4.21-4.24’de verilen dalga boyuna bağlı yansıma katsayısı grafikleri incelediğinde, görünür bölgede en yüksek yansıma katsayısı değerine optimum kalınlığa sahip olan ve 90 döngü ile elde edilen CdO ince filminin sahip olduğu tespit edilmiştir. 110 döngü ile elde edilen CdO ince filminin film kalınlığının azalmasına bağlı olarak yansıma katsayısı değerlerinin nispeten azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca dalga boyuna bağlı yansıma katsayısı grafiklerinin optik soğurma grafikleri ile benzer davranışı sergilediği görülmektedir. Bu ise beklenen bir durumdur.

4.4.4. Soğurma Katsayısı Analizleri

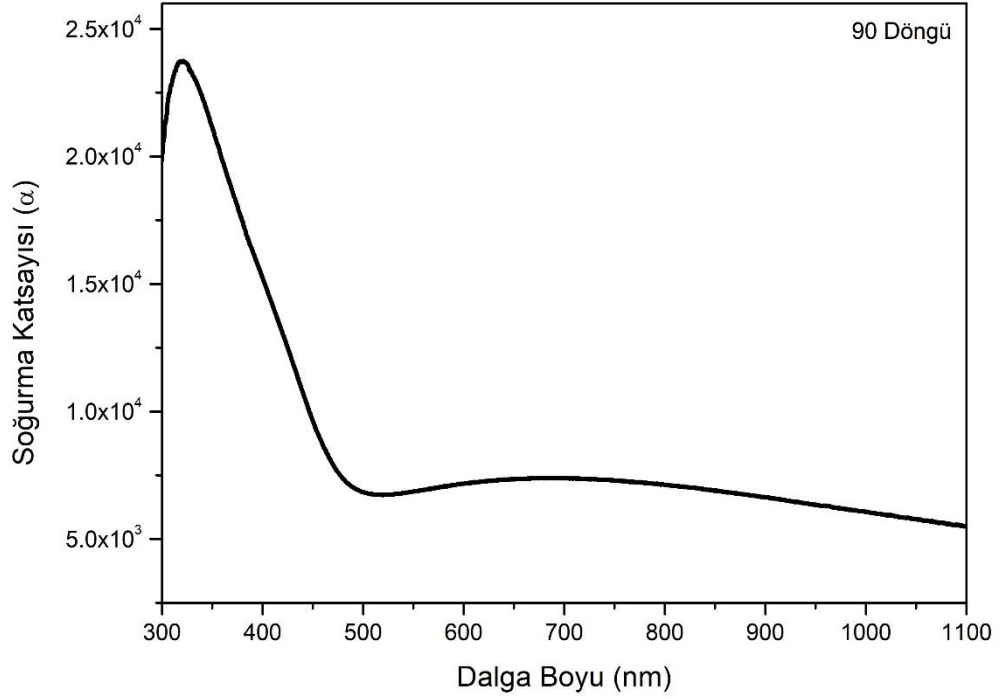
50, 70, 90 ve 110 döngü sayıları kullanılarak elde edilen CdO ince filmlerin soğurma katsayısı değerleri (3.7) bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır. CdO ince filmlerin dalga boyuna bağlı yansıma katsayısı grafikleri Şekil 4.25-4.28 ile verilmiştir.



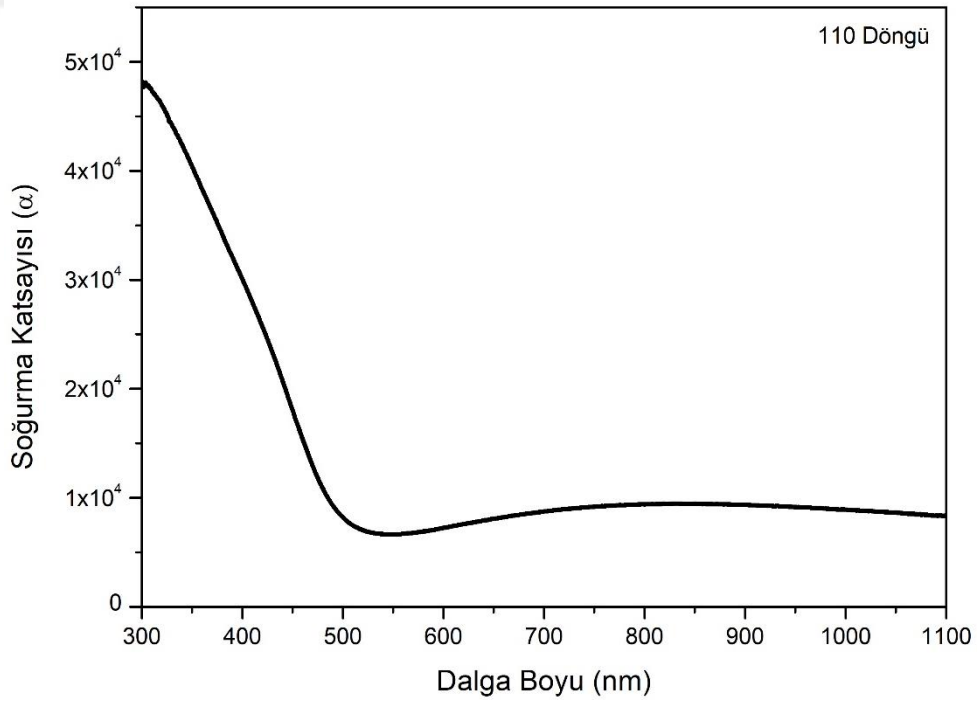
Şekil 4.25 50 döngü ile elde edilen CdO ince filmin soğurma katsayısı grafiği



Şekil 4.26 70 döngü ile elde edilen CdO ince filmin soğurma katsayısı grafiği



Şekil 4.27 90 döngü ile elde edilen CdO ince filmin soğurma katsayısı grafiği

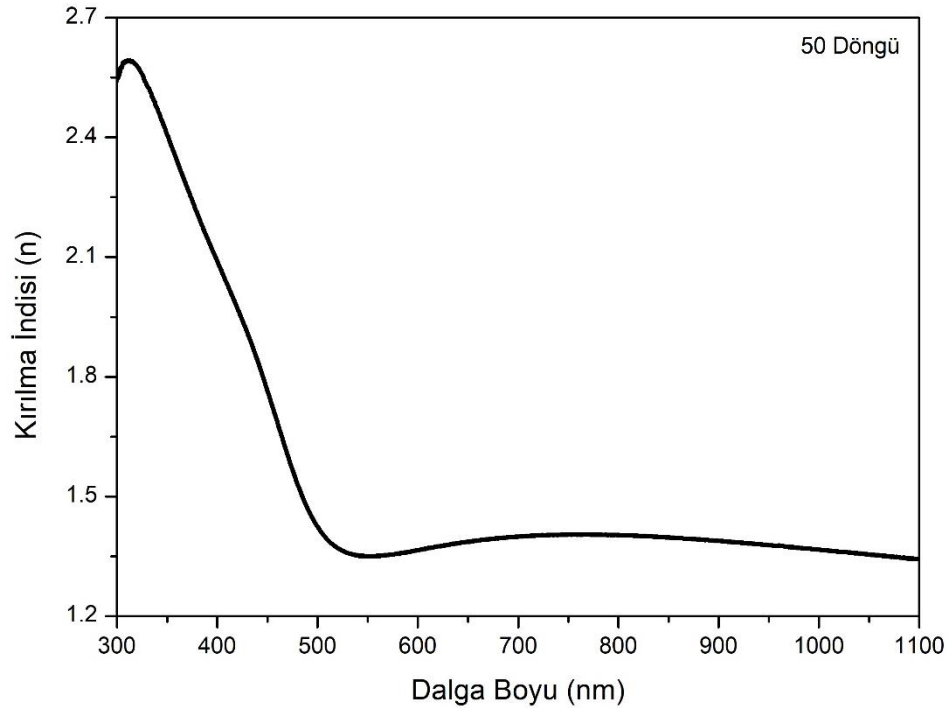


Şekil 4.28 110 döngü ile elde edilen CdO ince filmin soğurma katsayısı grafiği

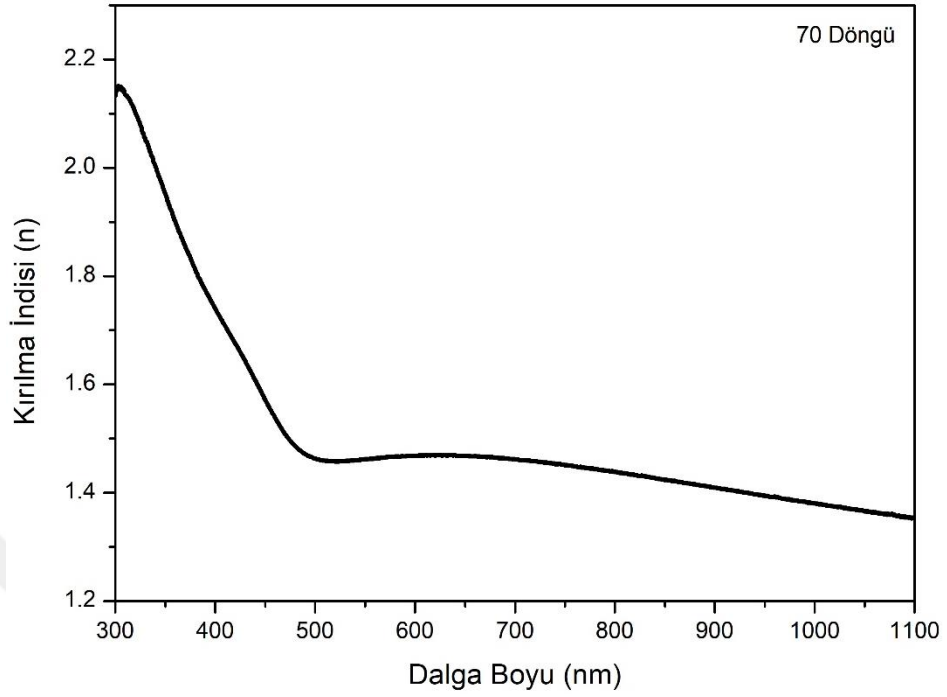
Şekil 4.25-4.28 ile verilen dalga boyuna bağlı soğurma katsayısı grafikleri incelediğinde tez kapsamında elde edilen CdO ince filmlerin $10^3 \leq \alpha \leq 10^5 \text{ cm}^{-1}$ mertebesinde soğurma katsayısı değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Işığın filmlerin içinden yayılması ve soğurma katsayısının daha düşük değerlere sahip olması durumu, birim mesafe başına saçılma veya soğurma ile kaybedilen ışık enerjisinin daha küçük değerlere sahip olacağı anlamına gelir. Ayrıca, CdO ince filmlerin soğurma katsayısı değerlerinin, 300-520 nm dalga boyu aralığında hızlı bir şekilde azaldığı ve 520 nm'den sonra bir miktar arttığı belirlenmiştir. CdO ince filmlerinin soğurma katsayısı grafikleri, soğurma ve yansımaya katsayısı grafikleri ile benzer davranış sergilemektedir.

4.4.5. Kırılma İndisi Analizleri

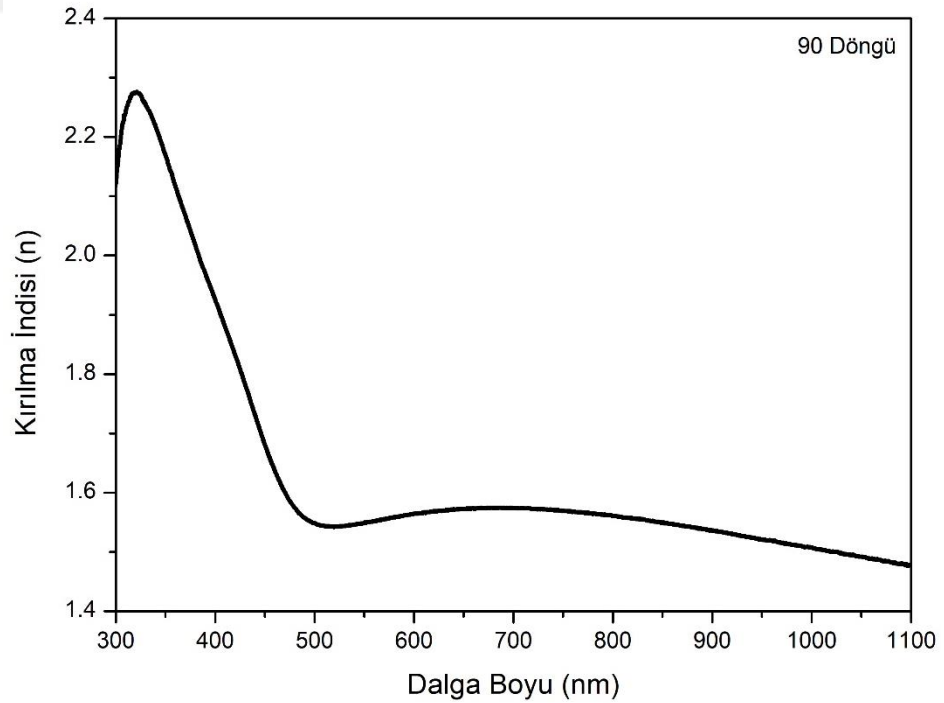
Tez kapsamında elde edilen CdO ince filmlerin kırılma indisi değerleri (3.9) bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır. CdO ince filmlerin dalga boyuna bağlı yansımaya katsayısı grafikleri Şekil 4.29-4.32'de verilmiştir.



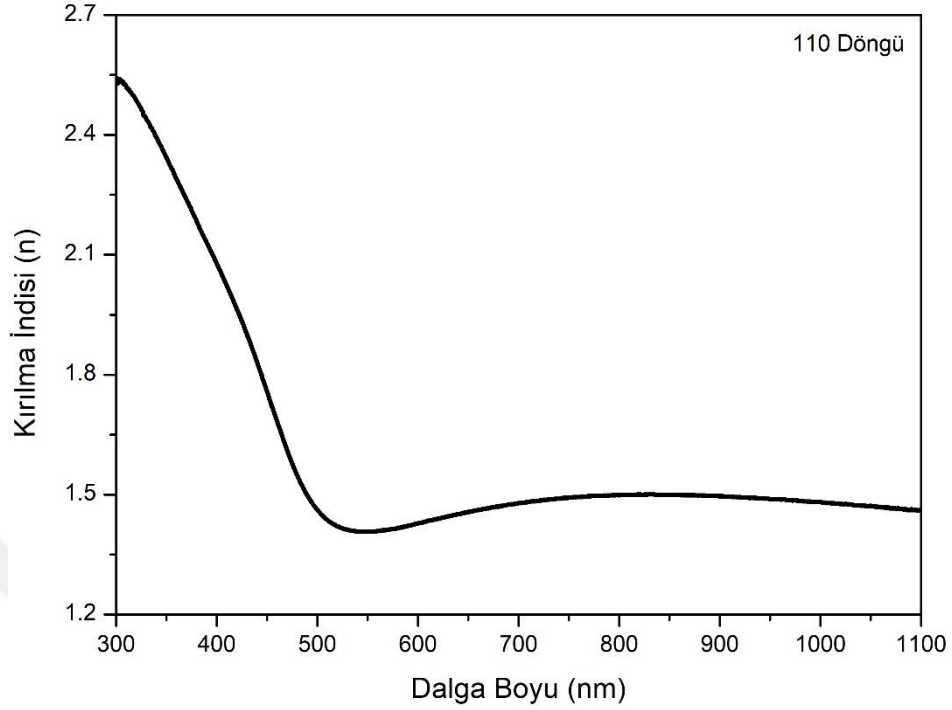
Şekil 4.29 50 döngü ile elde edilen CdO ince filmin kırılma indisi grafiği



Şekil 4.30 70 döngü ile elde edilen CdO ince filmin kırılma indisi grafiği



Şekil 4.31 90 döngü ile elde edilen CdO ince filmin kırılma indisi grafiği



Şekil 4.32 110 döngü ile elde edilen CdO ince filmin kırılma indisi grafiği

Şekil 4.29-4.32 ile verilen dalga boyuna bağlı kırılma indisi grafikleri incelendiğinde CdO ince filmlerin kırılma indisi değerlerinde 550 nm dalga boyuna kadar bir azalma sonraki dalga boylarında nispeten bir artış görülmektedir. Bu grafiklerden belirlenen görünür bölgedeki (400-700 nm) kırılma indisi değerleri Çizelge 4.10’da verilmiştir.

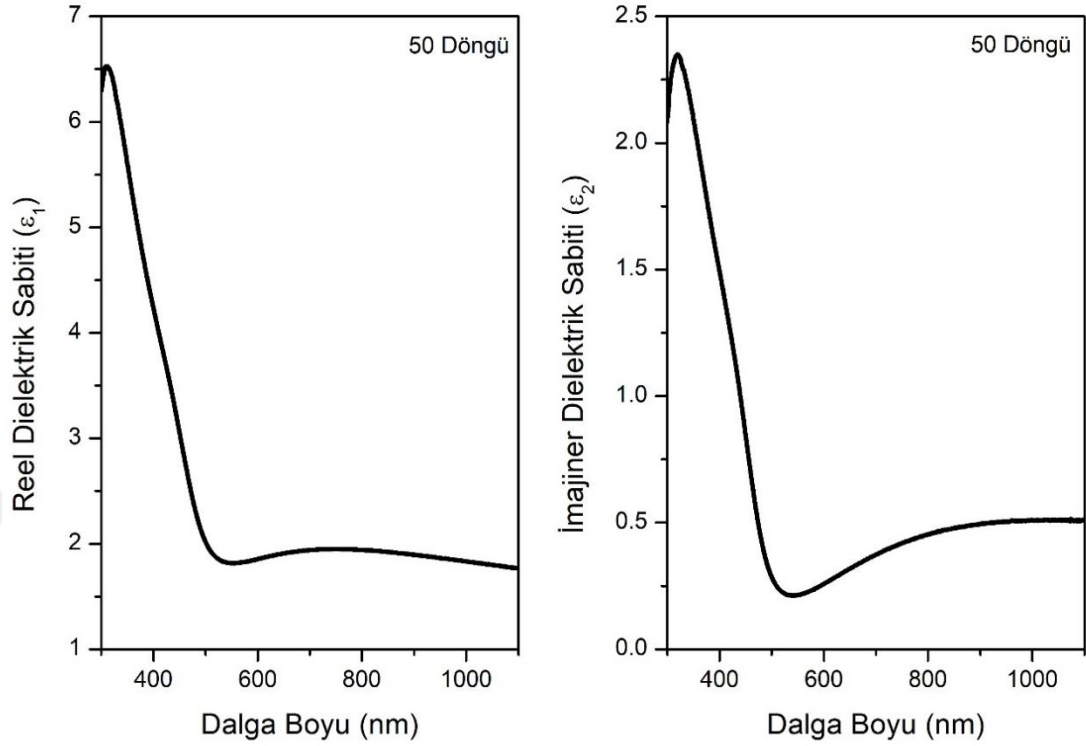
Çizelge 4.10 CdO ince filmlerin görünür bölgedeki kırılma indisi değerleri

Döngü Sayısı	Kırılma İndisi (n) Değerleri						
	400	450	500	550	600	650	700
50	2.09	1.76	1.43	1.35	1.39	1.36	1.40
70	1.74	1.57	1.46	1.46	1.47	1.47	1.47
90	1.93	1.68	1.55	1.55	1.57	1.57	1.57
110	2.08	1.75	1.46	1.41	1.42	1.45	1.47

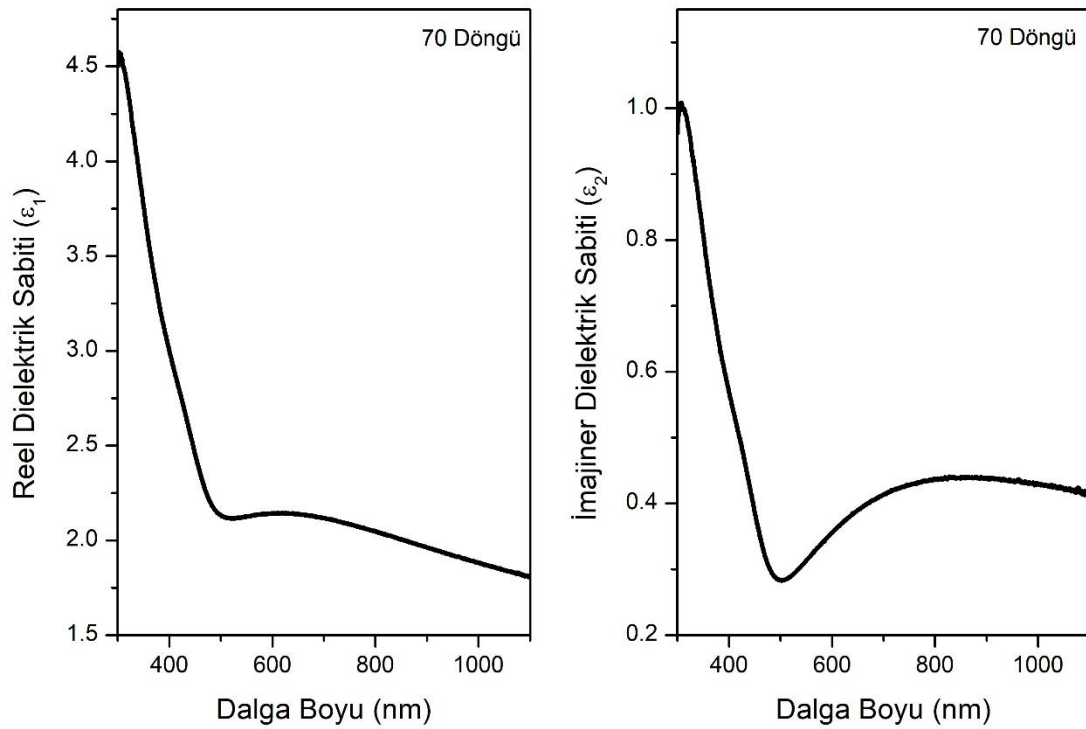
Çizelge 4.10 dikkatle incelendiğinde CdO ince filmlerin kırılma indisi değerlerinin görünür bölgede 1.35-2.09 aralığında değiştiği görülmektedir. Buna ek olarak 500 nm'den sonraki dalga boylarında en yüksek kırılma indisi değerlerine optimum kalınlığa sahip olan ve 90 döngü ile elde edilen CdO ince filminin sahip olduğu, 110 döngü ile elde edilen CdO ince filminin film kalınlığının azalmasına bağlı olarak kırılma indisi değerlerinin azaldığı görülmektedir. Ayrıca dalga boyuna bağlı olarak azalan kırılma indisi değerlerine göre tez kapsamında elde edilen CdO ince filmlerin normal dispersiyon özelliği gösterdiği söylenebilir. Genel olarak, herhangi bir yarıiletken ince filmin kırılma indisinin mevcut deneysel değerleri ile literatürden elde edilen önceki değerleri karşılaştırıldığında, malzemelerin hazırlık koşullarının önemli bir rol oynadığı sonucu da çıkarılabilir. Yasak enerji aralıklarına karşılık gelen enerjilerde kırılma indisi değerleri maksimum değerlerine ulaşır. Bu davranış, ince filmin polarizasyonu ile açıklanabilir. Ayrıca, polarizasyon değeri her zaman yüksek değerlere sahiptir ve bu da elektromanyetik dalgaların hızını azaltır. Dolayısıyla düşük dalga boylarında kırılma indisi artar.

4.4.6. Dielektrik Sabiti Analizleri

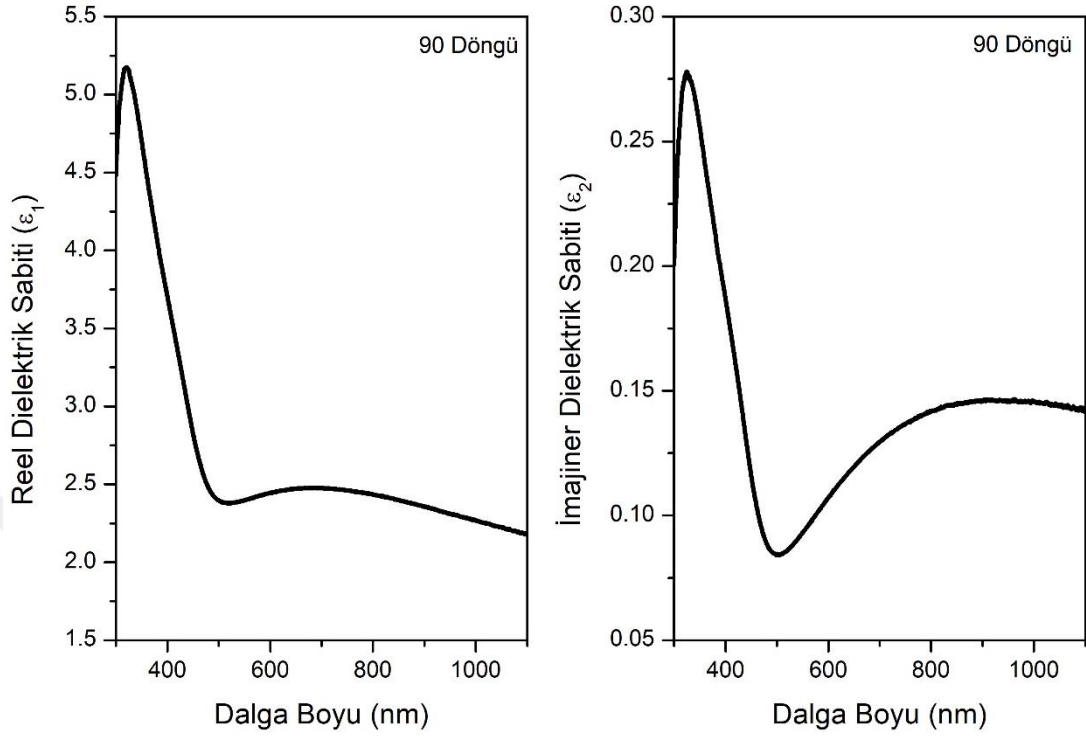
CdO ince filmlerin reel dielektrik sabiti (ϵ_1), imajiner dielektrik sabiti (ϵ_2) değerleri sırasıyla (3.11) ve (3.12) bağıntıları kullanılarak hesaplanmış olup dalga boyuna bağlı grafikleri Şekil 4.33-4.36'da verilmiştir.



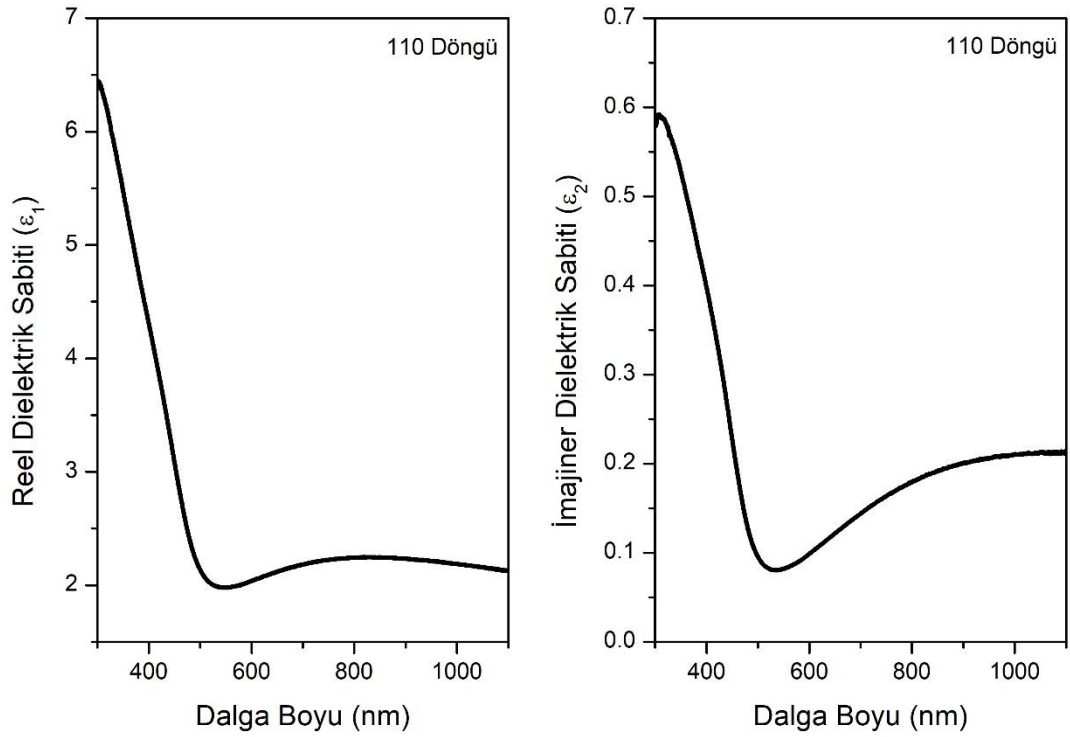
Şekil 4.33 50 döngü ile elde edilen CdO ince filmin dielektrik sabitleri grafiği



Şekil 4.34 70 döngü ile elde edilen CdO ince filmin dielektrik sabitleri grafiği



Şekil 4.35 90 döngü ile elde edilen CdO ince filmin dielektrik sabitleri grafiği

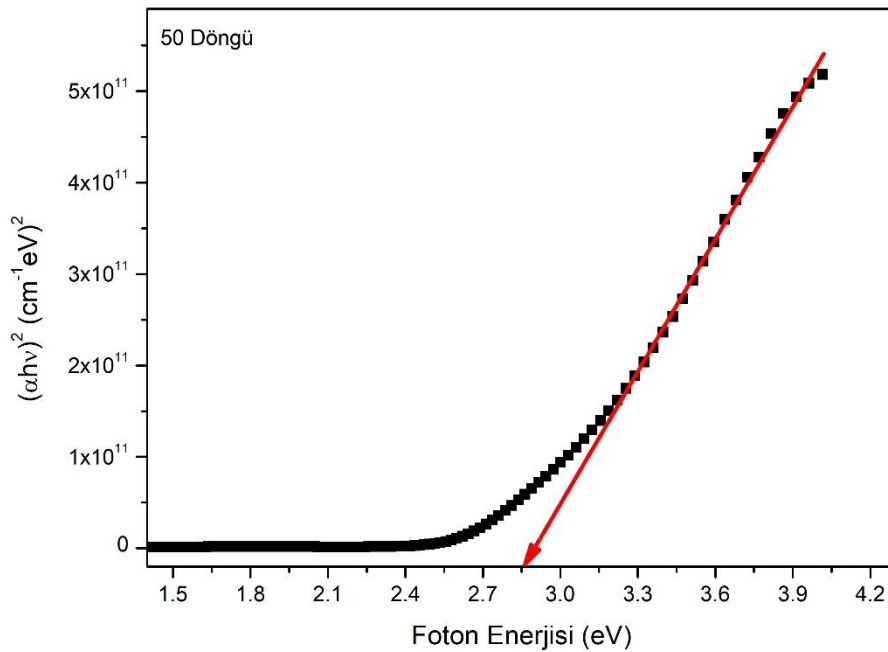


Şekil 4.36 110 döngü ile elde edilen CdO ince filmin dielektrik sabitleri grafiği

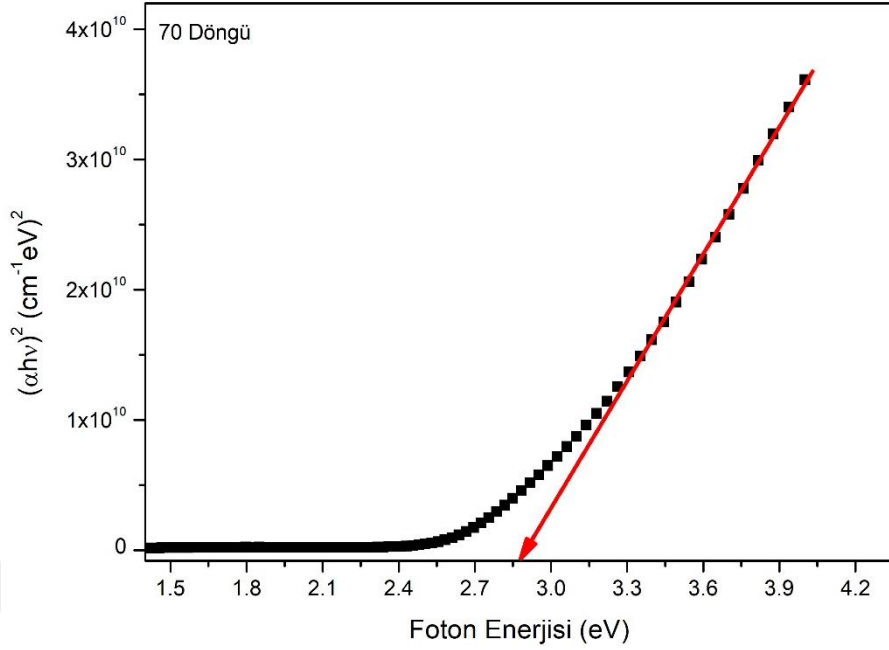
Şekil 4.33-4.36’da dalga boyunun artmasıyla birlikte CdO ince filmlerin reel ve imajiner dielektrik sabiti değerlerinde azalma olduğu ve kırılma indisi grafikleriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Bu değerler 400-520 nm dalga boyu aralığında daha keskin bir azalma görülmektedir. Genel olarak, dielektrik sabitleri büyük ölçüde malzemenin elektronik yapısına bağlıdır ve malzemeden geçen elektromanyetik radyasyonu etkileyen bant aralığındaki durum yoğunluğu ile doğrudan ilişkili olduğu söylenebilir.

4.4.7. Yasak Enerji Aralığı Analizleri

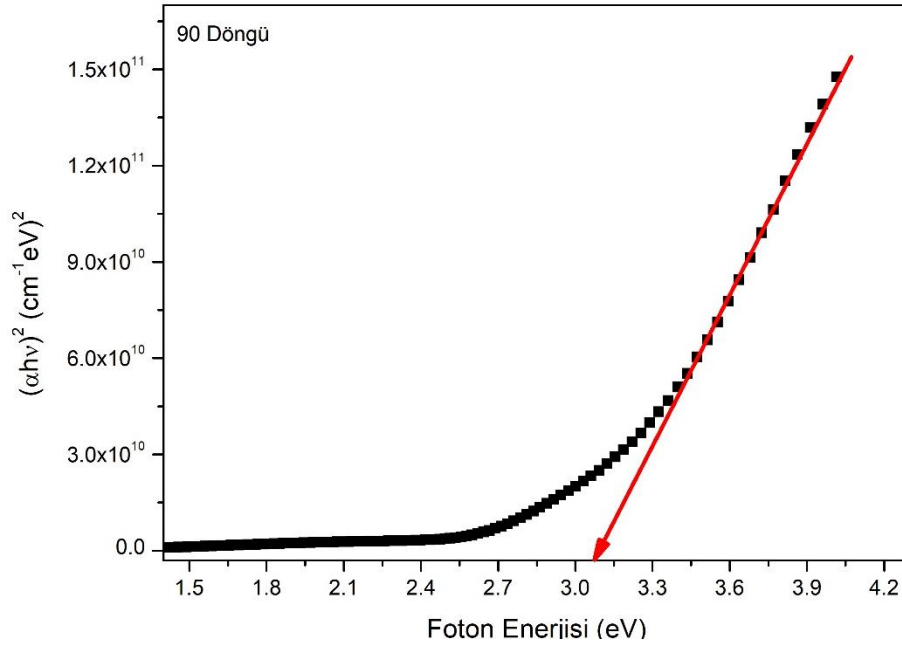
Değerlik bandından iletim bandına elektron uyarımına karşılık gelen soğurma, enerji bant aralığı değerini belirlemek için kullanılır. Bu nedenle soğurma spektrumu, herhangi bir materyalin yasak enerji aralığını (E_g) elde etmek için önemli bir yöntemdir. Tez kapsamında 50, 70, 90 ve 110 döngü sayıları kullanılarak elde edilen CdO ince filmleri için $(\alpha h\nu)^2$ ’nin foton enerjisine karşı çizilen grafikleri Şekil 4.37-4.40’ta verilmiştir.



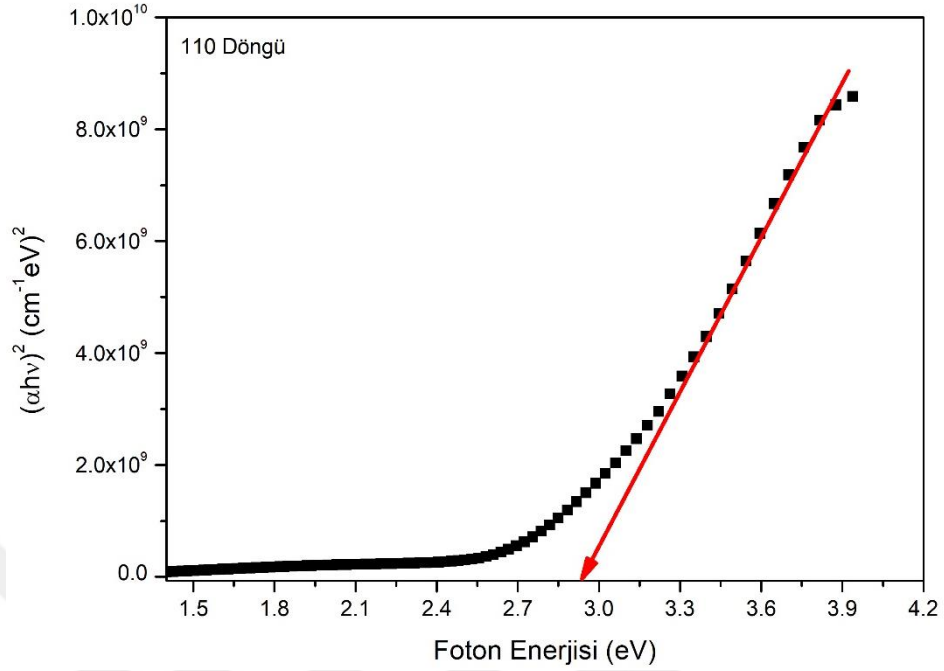
Şekil 4.37 50 döngü ile elde edilen CdO ince filminin $(\alpha h\nu)^2$ değerlerinin foton enerjisine göre değişimi



Şekil 4.38 70 döngü ile elde edilen CdO ince filminin $(\alpha h\nu)^2$ değerlerinin foton enerjisine göre değişimi



Şekil 4.39 90 döngü ile elde edilen CdO ince filminin $(\alpha h\nu)^2$ değerlerinin foton enerjisine göre değişimi



Şekil 4.40 110 döngü ile elde edilen CdO ince filminin $(\alpha hv)^2$ değerlerinin foton enerjisine göre değişimi

Şekil 4.37-4.40 ile verilen $(\alpha hv)^2$ değerlerinin foton enerjisine göre değişimini gösteren grafiklerin lineer kısmının foton enerjisi eksenini $(\alpha hv)^2 = 0$ 'da kestiği nokta belirlenerek yasak enerji aralığı (E_g) değerleri belirlenmiştir. Buna göre 50, 70, 90 ve 110 döngü sayıları kullanılarak elde edilen CdO ince filmlerinin yasak enerji değerleri sırasıyla 2.84, 2.88, 3.06 ve 2.93 eV olarak bulunmuştur. Döngü sayısına bağlı olarak artan film kalınlığı ile yasak enerji aralığı değerlerinin arttığı görülmektedir. Bunun yanı sıra 110 döngü ile elde edilen CdO ince film kalınlığında azalma gerçekleştiğinden yasak enerji aralığı değerinin 90 döngü ile elde edilen için filmin yasak enerji aralığı değerine göre azaldığı tespit edilmiştir. Bu sonuç döngü sayısının yasak enerji aralığı için önemli bir parametre olduğunu göstermektedir. Enerji bant aralıklarına ilişkin elde edilen bulgular literatür ile yakın uyum içindedir [19, 24, 25].

4.5. CdO İnce Filmlerin Elektriksel Özelliklerinin Analizi

Tez çalışmasında 50, 70, 90 ve 110 döngü sayıları kullanılarak elde edilen CdO ince filmlerinin Hall ölçümleri ile elde edilen Hall katsayısı (R_H) ve elektriksel iletkenlik (σ) değerleri Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11 CdO ince filmlerin elektriksel özellikleri

Döngü Sayısı	Hall Katsayısı (R_H)	Elektriksel İletkenlik (σ) (Ωcm) ⁻¹
50	-5.23×10^{-3}	0.56×10^2
70	-3.62×10^{-3}	0.72×10^2
90	-0.57×10^{-3}	1.13×10^2
110	-1.26×10^{-3}	0.91×10^2

Çizelge 4.11’de 50, 70, 90 ve 110 döngü sayıları kullanılarak elde edilen CdO ince filmlerinin Hall katsayısı (R_H) değerlerine göre *n*-tipi iletkenlik özellik gösterdiği ve elektriksel iletkenlik değerlerine göre yarıiletken özelliği gösterdiği görülmektedir. Ayrıca 90 döngü sayısı ile elde edilen CdO ince filminin en yüksek elektriksel iletkenlik değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında yarıiletken ince filmlerin üretilmesinde yaygın olarak tercih edilen SILAR yöntemi kullanılarak CdO ince filmler cam alt tabanlar üzerinde elde edilmiştir. CdO ince filmlerin üretilmesi aşamasında SILAR yönteminde önemli bir depolama parametresi olan döngü sayısı değiştirilerek (50, 70, 90 ve 110 döngü) diğer tüm depolama parametreleri sabit tutulmuştur. Değiştirilen döngü sayısının elde edilen CdO ince filmlerin yapısal, morfolojik, optiksel ve elektriksel özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Tez kapsamında 50, 70, 90 ve 110 döngü sayıları kullanılarak elde edilen CdO ince filmlerin kalınlıklarının belirlenmesinde tartım metodu kullanılmış olup film kalınlıkları sırasıyla 46, 55, 245 ve 155 nm olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlerden film kalınlığının 90 döngü sayısı ile elde edilen CdO ince filminin en kalın film olduğu görülmüştür.

Şekil 4.1-4.4 ile verilen döngü sayısına bağlı olarak elde edilen CdO ince filmlerin XRD kırınım desenleri incelendiğinde, kristalleşme kalitesinin artan döngü sayısı ile birlikte 90 döngüye kadar arttığı, 110 döngüye gelindiğinde ise yeniden azalmaya başladığı görülmüştür. Bu sonuç döngü sayısına bağlı olarak değişen film kalınlıklarıyla uyum göstermiştir. Bunun yanı sıra XRD kırınım desenlerinden gözlenen piklerle, hesaplanan örgü parametreleri ve düzlemler arası uzaklıkların CdO'nun PDF#005-0640 nolu standart kartı ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. XRD analizleri sonucunda 50, 70, 90 ve 110 döngü ile elde edilen CdO ince filmlerinin kristal yapısının kübik yapıda ve $Fm\bar{3}m$ uzay grubunda olduğu tespit edilmiştir.

SEM görüntülerinden film yüzeyinde oluşan sıkı yapının ve homojenlik kalitesinin artan döngü sayısı ile birlikte 90 döngüye kadar arttığı, 110 döngüye gelindiğinde ise nispeten azalmaya başladığı görülmüştür. Bununla birlikte 100.000 büyütmede çekilen SEM görüntülerinden rasgele seçilen 100 adet tanecik için ImageJ programı kullanılarak hesaplanan ortalama tanecik büyüklükleri 0.043-0.147µm aralığında değişiklik göstermiştir. EDS analizlerinden elde edilen bulgularla tez kapsamında elde edilen CdO ince filmler içerisinde kullanılan

elementlerden başka bir elementin olmadığı ve deneysel işlemler sürecinde elementlerden herhangi birinin yapıdan uzaklaşmadığı belirlenmiştir.

50, 70, 90 ve 110 döngü ile elde edilen CdO ince filmlerinin temel optiksel sabitleri yansımaya katsayısı (R), soğurma katsayısı (α), kırılma indisi (n), sönüm katsayısı (k), reel ve imajiner dielektrik sabitleri (ϵ_1, ϵ_2) ve yasak enerji aralığı (E_g) değerleri optik geçirgenlik (% T) ve soğurma (A) verileri kullanılarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.13-4.16'da verilen dalga boyuna bağlı optik geçirgenlik grafiklerinden döngü sayısının artırılmasıyla kalınlığı artan filmlerin optik geçirgenlik değerlerinde azalma olduğu ve CdO ince filmlerin % T değerlerinin görünür bölgede %60-92 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bunun sonucunda CdO ince filmlerin görünür bölgede yüksek optik geçirgenliğe sahip olduğu Şeffaf İletken Oksit (ŞİO) davranışı sergilediği kanaati oluşmuştur. Ayrıca, Şekil 4.17-4.20'den CdO ince filmlerin optik soğurma değerlerinin 300-520 nm dalga boyu aralığında hızlı bir şekilde azaldığı ve 520 nm'den sonra bir miktar arttığı belirlenmiştir. Bunun yanı sıra görünür bölgedeki optik soğurma değerlerinin 0.048-0.224 arasında değiştiği bulunmuş olup en yüksek optik soğurma değerine 90 döngü ile elde edilen optimum kalınlıkta olan CdO ince filminin sahip olduğu tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak Şekil 4.21-4.24 ile verilen dalga boyuna bağlı yansımaya katsayısı grafiklerinin optik soğurma grafikleri ile benzer davranışı sergilediği görülmektedir.

Şekil 4.25-4.28'de dalga boyuna bağlı soğurma katsayısı grafiklerinden tez kapsamında elde edilen CdO ince filmlerin $10^3 \leq \alpha \leq 10^5 \text{ cm}^{-1}$ mertebesinde soğurma katsayısı değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 4.29-4.32'de verilen kırılma indisi değişimlerini gösteren grafiklerden 50, 70, 90 ve 110 döngü ile elde edilen CdO ince filmlerin kırılma indisi değerlerinin görünür bölgede 1.35-2.09 aralığında değiştiği tespit edilmiştir ve Çizelge 4.10'da verilmiştir. Buna ek olarak 500 nm'den sonraki dalga boylarında en yüksek kırılma indisi değerlerine optimum kalınlığa sahip olan ve 90 döngüde elde edilen CdO ince filminin sahip olduğu, 110 döngü ile elde edilen CdO ince filminin film kalınlığının azalmasına bağlı olarak kırılma indisi değerlerinin azaldığı sonucuna ulaşılmaktadır. Ayrıca dalga boyuna bağlı olarak azalan kırılma indisi değerlerine göre tez kapsamında elde edilen CdO ince filmlerin normal dispersiyon özelliği gösterdiği

belirlenmiştir. Dalga boyunun artmasıyla birlikte CdO ince filmlerin reel ve imajiner dielektrik sabiti değerlerinde azalma olduğu ve kırılma indisi grafikleriyle uyumlu olduğu Şekil 4.33-4.36'dan tespit edilmiştir.

50, 70, 90 ve 110 döngü sayıları kullanılarak elde edilen CdO ince filmlerinin yasak enerji değerleri sırasıyla 2.84, 2.88, 3.06 ve 2.93 eV olarak bulunmuştur. Döngü sayısına bağlı olarak artan film kalınlığı ile yasak enerji aralığı değerlerinin azaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

Döngü sayılarının değiştirilmesiyle elde edilen CdO ince filmlerinin Hall ölçümleri ile yapılan analizlerinden CdO ince filmlerin *n*-tipi iletkenlik özellik gösterdiği ve elektriksel iletkenlik değerlerine göre yarıiletken özelliği gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca 90 döngü sayısı ile elde edilen CdO ince filminin en yüksek elektriksel iletkenlik değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak tez kapsamında SILAR yöntemi ile 50, 70, 90 ve 110 döngü sayılarını kullanarak cam alt tabanlar üzerinde elde ettiğimiz CdO ince filmlerin yapısal, morfolojik, optiksel ve elektriksel özelliklerinin analizleri ile birlikte söz konusu özelliklerin tamamında SILAR yönteminde kullanılan döngü sayısı oldukça önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Buna ek olarak tez kapsamında elde edilen CdO ince filmlerin yapılan analizler sonucunda güneş pillerinde şeffaf iletken oksit tabaka malzemesi olarak kullanılabilecek yarıiletken ince filmler arasında umut vaat eden adaylar arasında olduğu sonucu çıkarılabilir. Bu açıdan da bu tez çalışmasının hem literatüre önemli bir katkı sağlayacağı hem de daha sonra yapılacak çalışmalara ışık tutabileceği öngörülmektedir.

Gelecek çalışmalar için tez kapsamında elde ettiğimiz ince film malzemelerin farklı molaritelerde, farklı pH'lerde, katyon-anyon çözeltilerinin farklı sıcaklık değerlerinde ve tavlama sıcaklarının değiştirilmesiyle elde edilecek CdO ince filmlerin yapısal, morfolojik, optiksel ve elektriksel özellikleri üzerindeki etkilerinin araştırılması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] O.S. Pillai, *Solid State Physics*. New Delhi: New Age International (P) Ltd. Publishers, 2005.
- [2] L.V. Azaroff, *Introduction to Solids*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1960.
- [3] Ö. Erken, “Kimyasal Depolama Yöntemi İle Hazırlanan ZnS ve $Zn_{1-x}SMn_x$ ($0.01 \leq x \leq 0.1$) Yarıiletken İnce Filmlerin Optiksel, Yapısal, Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi”, Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi, 2015.
- [4] C. Kittel, *Introduction to Solid State Physics*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1996.
- [5] E. Whittaker, *Crystallography an Introduction for Earth Science (and Other Solid State) students*. Pergamon pres., 1981.
- [6] H. Hall, *Solid State Physics*. Arrowsmith Ltd. Bristol, 1987.
- [7] B.D. Cullity, *Elements of X-Ray Diffraction*. USA: Adison-Wesley Publishing Company, 1967.
- [8] J.P. Mckelvey, *Solid State and Semiconductor Physics*. New York: Harper and Row Pres, 1966.
- [9] M. Dikici, *Katıhal Fiziği*. Ankara: Seçkin Yayıncılık San. ve Tic. Ltd. Şti., 2012.
- [10] R.S. Rusu ve G.I. Rusu, “Journal of Optoelectronics and Advanced Materials”, Vol. 7, no. 2, pp. 823-828, 2005.
- [11] L.R. de León-Gutiérrez, J.J. Cayente-Romero, J.M. Peza-Tapia, E. Barrera-Calva, J.C. Martinez-Flores ve M. Ortega-Lopez, “Some physical properties of Sn-doped CdO thin films prepared by chemical bath deposition”, *Materials Letters*, Vol. 60, pp. 3866–3870, 2006.
- [12] C.H. Bhosale, A.V. Kambale, A.V. Kokate ve K.Y. Rajpure, “Structural, optical and electrical properties of chemically sprayed CdO thin films”, *Materials Science and Engineering: B*, Vol. 122, no.1, pp. 67-71, 2005.
- [13] D.M. Carballeda-Galicia, R. Castanedo-Pérez, O. Jiménez-Sandoval, S. Jiménez-Sandoval, G. Torres-Delgado ve C.I. Zúñiga-Romero, “High

- transmittance CdO thin films obtained by the sol-gel method”, *Thin Solid Films*, Vol. 371, no. 1-2, pp. 105-108, 2000.
- [14] A.A. Dakhel, “Effect of cerium doping on the structural and optoelectrical properties of CdO nanocrystallite thin films”, *Materials Chemistry and Physics* Vol. 130, pp. 398– 402, 2011.
- [15] A.S. Kamble, R.C. Pawar, J.Y. Patil, S.S. Suryavanshi ve P.S. Patil, “From nanowires to cubes of CdO: Ethanol gas response”, *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 509, pp. 1035–1039, 2011.
- [16] R.S. Mane, H.M. Pathan ve H. Sung-Hwan, “An effective use of nanocrystalline CdO thin films in dye-sensitized solar cells”, *Solar Energy*, Vol. 80, pp. 185–190, 2006.
- [17] R. Oliva, J. Ibanez, L. Artus, R. Cusco, J. Zuniga-Perez ve V. Munoz-Sanjose, “High-pressure Raman scattering of CdO thin films grown by metal-organic vapor phase epitaxy”, *Journal of Applied Physics*, Vol. 113, 053514, 2013.
- [18] R.R. Salunkhe ve C.D. Lokhande, “Effect of film thickness on liquefied petroleum gas (LPG) sensing properties of SILAR deposited CdO thin films”, *Sensors and Actuators B*, Vol. 129, pp. 345–351, 2008.
- [19] R.R. Salunkhe, D.S. Dhawale, T.P. Gujar ve C.D. Lokhande, “Structural, electrical and optical studies of SILAR deposited cadmium oxide thin films: Annealing effect”, *Materials Research Bulletin*, Vol. 44 pp. 364–368, 2009.
- [20] K.T. Ramakrishna Reddy, C. Sravani ve R.W. Miles, “Characterization of CdO thin films deposited by activated reactive evaporation”, *Journal of Crystal Growth*, Vol. 184, no.5, pp. 1031-1034, 1998.
- [21] O. Vigil, F. Cruz, A. Morales-Acevedo, G. Contreras-Puente, L. Vaillant ve G. Santana, “Structural and optical properties of annealed CdO thin films prepared by spray pyrolysis”, *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 68, pp. 249-252, 2001.
- [22] A.A. Menazea, A.M. Mostafa ve E.A. Al-Ashkar, “Impact of CuO doping on the properties of CdO thin films on the catalytic degradation by using pulsed-Laser deposition technique”, *Optical Materials*, Vol. 100, 109663, 2020.

- [23] P. Velusamy, R.R. Babu, K. Ramamurthi, E. Elangovan ve J. Viegas, “Effect of La doping on the structural, optical and electrical properties of spray pyrolytically deposited CdO thin films”, *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 708, pp. 804–812, 2017.
- [24] J.K. Rajput, T.K. Pathak, V. Kumar, H.C. Swart ve L.P. Purohit, “Tailoring and optimization of optical properties of CdO thin films for gas sensing applications”, *Physica B: Condensed Matter*, Vol. 535, pp. 314–318, 2018.
- [25] S.A. Jassim ve E.M.A. Nassar, “Effect of annealing temperature on structure and optical properties of CdO nanocrystalline thin film prepare by chemical bath deposition method”, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 928, 072046, 2020.
- [26] G. Turgut, S. Aydoğan, M. Yılmaz, A. Özmen ve H. Kacus, “An Investigation of Spray Deposited CdO Films and CdO/p-Si Heterojunction at Different Substrate Temperatures”, *Advanced Coating and Thin Film Materials for Energy, Aerospace and Biological Applications*, Vol. 73, pp. 566-573, 2021.
- [27] D.P. Prabu ve B. Dhivakar, “Aging Effect on the Properties of CdO Thin Films”, *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, Vol. 8, pp. 451-458, 2020.
- [28] S.A. Hameed, Z. Saadmahdi, A.N. Jasim, A.F. Taha ve A.A. Habeeb, “Effect of Thickness on Structural and Optical Properties of CdO Thin Films Prepared by Chemical Spray Pyrolysis Method”, *NeuroQuantology*, Vol. 18, no.4, pp. 20-26, 2020.
- [29] R. Murugesan, K. Marimuthu, K. Kasinathan, M. Sathiah, ve C. Rathinam, “An Investigation of SILAR Grown CdO Thin Films”, *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, Vol. 38, no. 4, 11-17, 2019.
- [30] H.H. Ahmed, “Variation of the structural, optical and electrical properties of CBD CdO with processing temperature”, *Materials Science in Semiconductor Processing*, Vol. 66, pp. 215–222, 2017.
- [31] W.M. Abdulridha, “Synthesis and Study the Structure and Optical Properties of CdO Polycrystalline Thin Film Using Electrochemical Depositing Method”, *International Journal of Nanomaterials and Chemistry*, Vol. 2, pp. 1-9, 2015.

- [32] A.C. Nwanya, C. Chigbo, S.C. Ezugwu, R.U. Osuji, M. Malik ve F.I. Ezema, “Transformation of cadmium hydroxide to cadmium oxide thin films synthesized by SILAR deposition process: Role of varying deposition cycles”, *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, Vol. 1, pp. 49–54, 2016.
- [33] B. Gokul, P. Matheswaran ve R. Sathyamoorthy, “Influence of Annealing on Physical Properties of CdO Thin Films Prepared by SILAR Method”, *Journal of Materials Science & Technology*, Vol. 1, pp. 17–21, 2013.
- [34] G.Y. Naser, W.N. Raja, A.S. Faris, Z.J. Rahem, M.A. Salih ve A.H. Ahmed, “Some Optical Properties of CdO Thin Films”, *Energy Procedia*, Vol. 36, pp. 42–49, 2013.
- [35] K. Usharani, N. Raja, N. Manjula, V.S. Nagarethinam ve A.R. Balu “Characteristic Analysis on the Suitability of CdO Thin Films Towards Optical Device Applications–Substrate Temperature Effect”, *International Journal of Thin Films Science and Technology*, Vol. 4, pp. 89-96, 2015.
- [36] K. Gurumurugan, D. Mangalaraj ve S. Narayandass, “Magnetron sputtered transparent conducting CdO thin films”, *Journal of Electronic Materials*, Vol. 25, pp. 765–770, 1996.
- [37] M.A. Rahman ve M.K.R. Khan, “Effect of annealing temperature on structural, electrical and optical properties of spray pyrolytic nanocrystalline CdO thin films”, *Materials Science in Semiconductor Processing*, Vol. 24, no.1, pp. 26–33, 2014.
- [38] S.J. Helen, S. Devadason, M. Haris ve T. Mahalingam, “Transparent Conducting Mo-Doped CdO Thin Films by Spray Pyrolysis Method for Solar Cell Applications”, *Journal of Electronic Materials*, Vol. 47, pp. 2439–2446, 2018.
- [39] M.M. Beevia, M. Anusuyab ve V. Saravananc, “Characterization of CdO Thin Films Prepared By SILAR Deposition Technique”, *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, Vol. 1, no. 2, pp. 151-154, 2010.

- [40] S. Karakaya ve Ö. Özbaş, “CdS:In Filmlerinin Optik, Yüzey ve Elektrik Özellikleri Üzerine Isıl Tavlamanın Etkisi”, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Vol. 3, no. 1, pp. 1-7, 2014.
- [41] C. Gümüş, “ZnS:Mn İnce Film Elektrolüminesans Çalışması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, 1998.
- [42] V. Ganesh, Y. Bitla, L. Haritha, M. Shkirl ve S. Alfaify, “Facile fabrication and characterization of nanostructured Y: CdO thin films”, *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, Vol. 97, no.3, pp. 697-705, 2021.
- [43] A.C. Nwanya, C. Chigbo, S.C. Ezugwu, R.U. Osuji, M. Malik ve F.I. Ezema, “Transformation of cadmium hydroxide to cadmium oxide thin films synthesized by SILAR deposition process: Role of varying deposition cycles”, *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences* Vol. 20, no.1, pp. 49–54, 2016.