



**CdO YARI İLETKENİNİN İYİLEŞTİRİLMİŞ BİLGİSAYAR KONTROLLÜ
SIRALI İYONİK TABAKALI ADSORBSİYON VE REAKSİYON YÖNTEMİ
İLE BÜYÜTÜLÜP İNCELENMESİ**

Onur KIYAK

Yüksek Lisans Tezi

Fizik Anabilim Dalı

Yrd. Doç. Dr. Harun GÜNEY

AĞRI-2017

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
AĞRI İBRAHİM ÇEÇEN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

Onur KIYAK

**CdO YARI İLETKENİNİN İYİLEŞTİRİLMİŞ BİLGİSAYAR KONTROLLÜ
SIRALI İYONİK TABAKALI ADSORBSİYON VE REAKSİYON YÖNTEMİ
İLE BÜYÜTÜLÜP İNCELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

TEZ YÖNETİCİSİ

Yrd. Doç. Dr. Harun GÜNEY

AĞRI-2017

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum “CdO Yarı İletkeninin İyileştirilmiş Bilgisayar Kontrollü Sıralı İyonik Tabakalı Adsorbsiyon ve Reaksiyon Yöntemini ile Büyütülüp İncelenmesi” adlı tezin tamamen kendi çalışmam olduğunu ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi taahhüt eder, tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü arşivlerinde aşağıda belirttiğim koşullarda saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim-Öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

- ☒ Tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.
- ☐ Tezim sadece Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi yerleşkelerinden erişime açılabilir.
- ☐ Tezimin yıl süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.

15.03.2017

Onur KIYAK

TEZ KABUL VE ONAY TUTANAĞI
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

CdO YARI İLETKENİNİN İYİLEŞTİRİLMİŞ BİLGİSAYAR KONTROLLÜ SIRALI İYONİK
TABAKALI ADSORBSİYON VE REAKSİYON YÖNTEMİ İLE BÜYÜTÜLÜP İNCELENMESİ

Yrd. Doç. Dr. Harun GÜNEY danışmanlığında, Onur KIYAK tarafından hazırlanan bu çalışma, 15/03/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı Katı Hal Fiziği Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği / oy çokluğu (.../...) ile kabul edilmiştir.**

Başkan: Doç. Dr. İbrahim HAN

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Harun GÜNEY

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Çağlar DUMAN

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 16/06/2017 tarih ve 17-15/... 8... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. İbrahim HAN
Enstitü Müdürü



Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
SİMGELER KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER VE ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1.GİRİŞ.....	1
2.KURAMSAL TEMELLER	7
2.1 SILAR Yöntemi	7
2.2 SILAR Yönteminin Avantajları	9
2.3 Diğer SILAR Mekanizmalarının Dezavantajları.....	13
2.4 Tasarladığımız SILAR Cihazı ve Avantajları	14
2.5 Ölçümler.....	15
2.5.1 X Işını Kırınımı (XRD).....	15
2.5.2 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	16
2.5.3 Soğurma ve Geçirgenlik	17
3. MATERYAL VE YÖNTEM	19
3.1 SILAR Cihaz Tasarımı	19
3.1.1 Mekanik Sistem Tasarımı ve Kullanılan Malzemeler	19
3.1.2 Elektronik Sistem Tasarımı ve Kullanılan Malzemeler.....	34
3.1.3 Otomasyon Sistemi ve Programlama.....	37
3.2 Deneyin Yapılışı.....	38
3.2.1 Cam Altlıkların Hazırlanması.....	38
3.2.2 Çözeltilerin Hazırlanması	38
3.2.3 Deney	38
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	40
4.1 SILAR Cihazı Üretiminin Tamamlanması.....	40
4.2 Deney Sonuçları	43
5. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	74
6.KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	83

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CdO YARI İLETKENİNİN İYİLEŞTİRİLMİŞ BİLGİSAYAR KONTROLLÜ SIRALI İYONİK TABAKALI ADSORBSİYON VE REAKSİYON YÖNTEMİ İLE BÜYÜTÜLÜP İNCELENMESİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Harun GÜNEY

2017, 83 sayfa

Jüri: Doç. Dr. İbrahim HAN

Yrd. Doç. Dr. Harun GÜNEY

Yrd. Doç. Dr. Çağlar DUMAN

Sanayi Devriminden sonra seri üretim teknolojisinin hızla gelişerek uzay çağı teknolojisine ulaştığı günümüzde malzeme üretim teknikleri de buna paralel olarak aynı hızla ilerlemektedir. Özellikle yarı iletken teknolojisindeki gelişmeler önemli bir devre elemanı olan transistör üretimini de kolaylaştırmaktadır.

SILAR yöntemi kimyasal ve fiziksel buharlaştırma gibi yöntemlerden farklı bir büyütme yöntemidir ve metadolojisi günden güne değişmektedir. Yapmış olduğumuz bu çalışmada da; klasik yöntemle çalışabilen makinelerin eksik yönleri değerlendirilerek aynı çevrim içinde farklı yapıda ve daha fazla ürün üretme özelliğine sahip bir sistem geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Bu hedef doğrultusunda bilgisayar kontrolü ve step motorlarla desteklenmiş, istenilen program ve sürede deney yapabilme esnekliğine sahip bunların yanı sıra hata payını minimuma indirebilecek bir cihazın tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir.

Geliştirilen cihaz vasıtasıyla oda sıcaklığında, farklı pH' ya sahip çözeltiler ve farklı tur sayıları kullanılarak CdO yarı iletken ince filmleri elde edilmiş ve 200 °C fırında tavlantısı yapılmıştır. Bu sayede kalınlık ve farklı pH değerlerinin, ince filmlerin yüzey özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Deneyler esnasında spektrofotometre ve XRD ölçümleri kullanılmış olup elde edilen sonuçlar SEM görüntüleri ile desteklenmiştir.

Araştırma sonuçlarına göre; geliştirilen cihaz yardımıyla oldukça homojen mikro yapılara sahip ince film tabakalar elde edilebildiği görülmüş, ayrıca kalınlık ve

pH değerlerinin, mikro yapıların kalitesi üzerinde etkilerinin olduğu tespit edilmiştir. Aynı anda farklı deneylerin yapılabilmesi ve SILAR işlemlerinin standardizasyonuna olanak sağlaması, bu cihazın önemli artıları olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca zamandan tasarruf noktasında sağladığı avantajlar göz önünde bulundurulduğunda geliştirilen bu cihazın SILAR işlemlerinde başarı ile kullanılabileceği düşünölmektedir.

2017, 83 sayfa

Anahtar kelimeler: SILAR Cihazı, CdO, ince film, SEM, XRD.



ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF GROWTH OF CdO SEMICONDUCTOR WITH THE IMPROVED COMPUTER CONTROLLED SUCCESSIVE IONIC LAYER ABSORPTION AND REACTION METHOD

Advisor: Assistant Professor Dr. Harun GÜNEY

2017, 83 pages

Jury: Assoc. Prof. Dr. İbrahim HAN

Assist. Prof. Dr. Harun GÜNEY

Assist. Prof. Dr. Çağlar DUMAN

After the Industrial Revolution, mass production technology has developed rapidly and reached to the space age technology. Today, material production techniques have been proceeding same speed. Especially developments in semiconductor technology facilitated production of transistors which are important elements of circuits.

SILAR is a growth method different than chemical and physical evaporation and its methodology develops day by day. In this study; it is aimed that developing a system which has ability of producing more products in different forms in same cycle by observing the missing aspects of classical machines.

In line with this goal, design and production of a device, which is supported by computer control and stepper motors, was performed. The device has the flexibility to perform the desired program and time, as well as a device that can reduce the error margin to a minimum.

CdO semiconductor thin films were obtained by developed device, by using different pH value and different number of turns at room temperature then thin films were annealed at 200 °C. Thus, the effects of thickness and different pH values on surface properties of thin films were investigated. Spectrophotometer and XRD measurements were used during the experiments and the results were supported by SEM images.

According to the results; Thin film layers with highly homogeneous microstructures can be obtained by using the developed device and it has been

determined that the thickness and pH values have effects on the quality of microstructures. The ability to perform different experiments at the same time and to enable the standardization of SILAR operations is considered as significant enhancements of device. In addition to these benefits, it is thought that the device can be used successfully in the SILAR process when considering the advantages of time savings.

2017, 83 pages

Key words: SILAR Device, un-doped CdO, thin films. SEM, XRD.



TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimim boyunca, benden bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen, çalışmalarımın tamamlanabilmesi için her türlü şartı sağlayan ve bana her zaman her türlü desteği sunan çok değerli danışman hocam Sayın Yrd.Doç.Dr. Harun GÜNEY 'e teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar ölçümlerinin alınmasında yardımcı olan hocalarım Sayın Doç. Dr. Mutlu KUNDAKÇI ve Öğr. Gör. Mansur ALBAYRAK a teşekkür ederim.

Makinanın imalat aşamasında yardım ve desteklerini esirgemeyen Öğr. Gör. Kadir GELİŞ 'e ve arkadaşlarım Sayın Ali DABANLI, Sayın Remzi ÇETİN, Sayın Abdulvahap TURAN, Sayın Yunus ABBASOĞLU 'na ve değerli mesai arkadaşlarıma minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Otomasyon sistemi kurulumu ve programın tedarik konusunda yardımlarını esirgemeyen Mach 3 Mill program yöneticileri ve sistem sağlayıcılarına teşekkür ederim.

Eğitimimin tüm süreçlerinde her türlü destekleriyle beni hiç yalnız bırakmayan ve yaşantım boyunca yardım ve desteğini benden esirgemeyen sevgili eşime çok teşekkür ederim.

15/03/2017

Onur KIYAK

SİMGELER KISALTMALAR DİZİNİ

η	Verim
Å	Angstrom
cm	Santimetre
D	Kristal büyüklüğü
eV	Elektron volt
K	Kelvin
M	Molarite
nm	Nanometre
°C	Santigrat derece
R	Direnç
T	Sıcaklık
M	Elektron Mobilitesi
μm	Mikrometre
kJ	Kilojoule
A	Amper
V	Volt
CdO	Kadmiyum oksit
CdTe	Kadmiyum tellür
CdS	Kadmiyum sülfür
PbS	Kurşun sülfür
ZnO	Çinko oksit
ZnS	Çinko sülfür
AC	Alternatif akım
CBD	Kimyasal Banyo Çökeltmesi
LPG	Likit petrol gazı
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SILAR	Sıralı İyonik Tabakalı Adsorbsiyonu ve Reaksiyonu
XRD	X-ışını Difraksiyonu
XPS	X-ışınları fotoelektron spektroskopisi

ŞEKİLLER VE ÇİZELGELER DİZİNİ

Şekil 1.1 İletken, yarı iletken ve yalıtkan malzemelerin bant genişlikleri.....	3
Şekil 1.2 Valans bandı enerji seviye grafiği	3
Şekil 2.1 SILAR işleminin şematik gösterimi	8
Şekil 2.2 Basit SILAR mekanizması	11
Şekil 2.3 Döner tablalı SILAR makinası	11
Şekil 2.4 Isıtma sistemli ve karıştırıcılı SILAR makinası.....	12
Şekil 2.5 Tek altlıklı SILAR sistemi.....	13
Şekil 2.6 İzoleli ve manyetik karıştırıcılı SILAR makinası.....	13
Şekil 2. 7 İmalatı tamamlanan SILAR makinası	15
Şekil 2. 8 XRD cihazının şematik gösterimi.....	16
Şekil 3.1 Şasinin önden görünümü	19
Şekil 3.2 Şasinin geriden görünümü	20
Şekil 3.3 Şasi Montaj Delikleri.....	20
Şekil 3.4 X Ekseni Lineer Ray Montajı	21
Şekil 3.5 Lineer Ray Montajı Detay Görünüm.....	21
Şekil 3.6 Lineer ray ve Lineer Rulman.....	21
Şekil 3.7 Lineer ray üzerine lineer rulman montajı	22
Şekil 3.8 Lineer rulman içyapısı	22
Şekil 3.9 Vidalı mil ve bilyeli somun montajı	23
Şekil 3.10 Vidalı mil ve bilyeli somun yapısı.....	24
Şekil 3.11 Bilyeli somun gövdesi	24
Şekil 3.12 Vidalı milin sonlandırma rulmanına montajı.....	24
Şekil 3.13 Yataklı rulman yapısı.....	25
Şekil 3.14 X eksenli step motor montajı	25
Şekil 3.15 Step motor yapısı	26
Şekil 3.16 Step motor montajı	26
Şekil 3.17 Z eksenli taşıyıcı plaka montajı	27
Şekil 3.18 Lineer araba montajı	27
Şekil 3.19 Lineer ray montajı	28
Şekil 3.20 Lineer ray ve araba yapısı.....	28

Şekil 3.21 Z eksen motor ve vidalı mil şasisi montajı	29
Şekil 3.22 Z eksen motor ve vidalı mil şasesi montajı (alt kısım).....	29
Şekil 3.23 Z eksen hareket vidalı mil ve somunu montajı.....	30
Şekil 3.24 Z eksen bilyeli somun montajı	30
Şekil 3.25 Z eksen vidalı mil rulman montajı.....	30
Şekil 3.26 Z eksen Step Motor Montajı.....	31
Şekil 3.27 Z eksen dişli kasnak montajı	32
Şekil 3.28 Z eksen vidalı mil dişli kasnak montajı	32
Şekil 3.29 Dişli kasnak yapısı	32
Şekil 3.30 Z eksen dişli kayış montajı	33
Şekil 3.31 Dişli kayış yapısı.....	33
Şekil 3.32 X eksen dişli kayış montajı.....	34
Şekil 3.33 USB kontrol kartı.....	35
Şekil 3.34 Step motor sürücüsü	35
Şekil 3.35 Kumanda kontrol panosu.....	36
Şekil 3.36 Otomasyon sistemi ara yüzü.....	37
Şekil 3.37 Deney seti	39
Şekil 4.1 X eksen hareket mekanizmaları.....	40
Şekil 4.2 X ve Z eksenleri dişli kayış kasnak mekanizmaları.....	40
Şekil 4.3 Z eksen hareket mekanizmaları	41
Şekil 4.4 Sonlandırma rulmanları	41
Şekil 4.5 SILAR cihazı çalışma uzayı	42
Şekil 4.6 CdO ince film deney düzeneği	42
Şekil 4.7 Farklı tur sayılarına göre üretilen CdO ince filmler	43
Şekil 4.8 182 nm kalınlıktaki CdO' in XRD deseni	44
Şekil 4.9 585 nm kalınlıktaki CdO' in XRD deseni	45
Şekil 4.10 950 nm kalınlıktaki CdO' in XRD deseni	45
Şekil 4.11 1183 nm kalınlıktaki CdO' in XRD deseni	46
Şekil 4.12 1504 nm kalınlıktaki CdO' in XRD deseni	46
Şekil 4.13 2655 nm kalınlıktaki CdO' in XRD deseni	47
Şekil 4.14 182 nm kalınlığındaki CdO' in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri.....	47

Şekil 4.15 585 nm kalınlığındaki CdO' in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri.....	48
Şekil 4.16 950 nm kalınlığındaki CdO' in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri.....	48
Şekil 4.17 1183 nm kalınlığındaki CdO' in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri.....	48
Şekil 4.18 1504 nm kalınlığındaki CdO' in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri.....	48
Şekil 4.19 2655 nm kalınlığındaki CdO' in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri.....	49
Şekil 4.20 182 nm kalınlığındaki CdO'in a) 200 nm b) 1 µm SEM görüntüsü.....	49
Şekil 4.21 585 nm kalınlığındaki CdO'in a)200 nm ve b)1 µm SEM görüntüsü	49
Şekil 4.22 950 nm kalınlığındaki CdO'in a)200 nm ve b)1 µm SEM görüntüsü	50
Şekil 4.23 1183 nm kalınlığındaki CdO'in a)200 nm ve b)1 µm SEM görüntüsü	50
Şekil 4.24 1504 nm kalınlığındaki CdO'in a)200 nm ve b)1 µm SEM görüntüsü	50
Şekil 4.25 2655 nm kalınlığındaki CdO'in a)200 nm ve b)1 µm SEM görüntüsü	51
Şekil 4.26 Farklı pH değerlerinde üretilen CdO ince filmleri	51
Şekil 4.27 pH 11 ortamında üretilen CdO'in XRD deseni	52
Şekil 4.28 pH 11,1 ortamında üretilen CdO'in XRD deseni	53
Şekil 4.29 pH 11,2 ortamında üretilen CdO'in XRD deseni	53
Şekil 4.30 pH 11,3 ortamında üretilen CdO'in XRD deseni	54
Şekil 4.31 pH 11,4 ortamında üretilen CdO'in XRD deseni	54
Şekil 4.32 pH 11,5 ortamında üretilen CdO'in XRD deseni	55
Şekil 4.33 pH 11,6 ortamında üretilen CdO'in XRD deseni	55
Şekil 4.34 pH 11,7 ortamında üretilen CdO'in XRD deseni	56
Şekil 4.35 pH 11,8 ortamında üretilen CdO'in XRD deseni	56
Şekil 4.36 pH 11 ortamında üretilen CdO' in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri.....	57
Şekil 4.37 pH 11,1 ortamında üretilen CdO'in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri.....	57
Şekil 4.38 pH 11,2 ortamında üretilen CdO' in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri.....	57

Şekil 4.39 pH 11,3 ortamında üretilen CdO' in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri.....	57
Şekil 4.40 pH 11,4 ortamında üretilen CdO' in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri.....	58
Şekil 4.41 pH 11,5 ortamında üretilen CdO' in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri.....	58
Şekil 4.42 pH 11,6 ortamında üretilen CdO' in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri.....	58
Şekil 4.43 pH 11,7 ortamında üretilen CdO' in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri.....	58
Şekil 4.44 pH 11,8 ortamında üretilen CdO' in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri.....	59
Şekil 4.45 pH 11 ortamında CdO'in 200 nm ve 1 µm SEM görüntüsü.....	59
Şekil 4.46 pH 11,1 ortamında CdO'in 200 nm ve 1 µm SEM görüntüsü.....	59
Şekil 4.47 pH 11,2 ortamında CdO'in 200 nm ve 1 µm SEM görüntüsü.....	60
Şekil 4.48 pH 11,3 ortamında CdO'in 200 nm ve 1 µm SEM görüntüsü.....	60
Şekil 4.49 pH 11,4 ortamında CdO'in 200 nm ve 1 µm SEM görüntüsü.....	60
Şekil 4.50 pH 11,5 ortamında CdO'in 200 nm ve 1 µm SEM görüntüsü.....	61
Şekil 4.51 pH 11,6 ortamında CdO'in 200 nm ve 1 µm SEM görüntüsü.....	61
Şekil 4.52 pH 11,7 ortamında CdO'in 200 nm ve 1 µm SEM görüntüsü.....	61
Şekil 4.53 pH 11,8 ortamında CdO'in 200 nm ve 1 µm SEM görüntüsü.....	62
Şekil 4.54 Değişken tur sayısı ile elde edilen CdO ince filmlerin soğurma grafikleri	68
Şekil 4.55 Değişken tur sayısı ile elde edilen CdO ince filmlerin geçirgenlik grafikleri.....	68
Şekil 4.56 Değişken tur sayısı ile elde edilen CdO ince filmlerin XRD grafikleri....	69
Şekil 4.57 Değişken tur sayısı ile elde edilen CdO ince filmlerin bant aralığı grafikleri.....	69
Şekil 4.58 Değişken pH ortamında elde edilen CdO ince filmlerin soğurma grafikleri	70
Şekil 4.59 Değişken pH ortamında elde edilen CdO ince filmlerin geçirgenlik grafikleri.....	71

Şekil 4.60 Değişken pH ortamında elde edilen CdO ince filmlerin XRD grafikleri .	72
Şekil 4.61 Değişken pH ortamında elde edilen CdO ince filmlerin bant aralığı grafikleri.....	72
Şekil 4.62 Değişken pH ortamında elde edilen CdO ince filmlerin bant aralığı grafikleri.....	73
Şekil 5.1 Elde edilen CdO ince filmi yüzeyinde gözlenen hegzagonal yapı	75
Çizelge 4.1 Değişken tur sayısı ile elde edilen CdO ince filmlerinin kalınlıklar	43
Çizelge 4.2 Değişken pH ortamında elde edilen CdO ince filmlerinin kalınlıkları...	52
Çizelge 4.3 (111) düzlemindeki kalınlık değerlerine karşın FWHM, gözlenen D ve gözlenen 2θ değerlerinin değişimi	63
Çizelge 4.4 Elde edilen CdO ince filmlerinin XRD analizleri.....	64

1.GİRİŞ

Periyodik cetvelde sınıflandırılan elementler doğada ya saf halde, cevher halinde ya da bileşik oluşturmuş bir biçimde bulunurlar. Özellikle sanayi devriminden sonra ulusların gayesi yüksek teknoloji ürünü üretmek ve bu ürünleri ihraç etmek suretiyle ekonomilerini geliştirmek olmuştur. Bunun yanı sıra devletlerin en temel ihtiyaçlarından biri olan askeri savunma ve güvenlik sağlama gibi alanlarda dışa bağımlılığı azaltmak için malzeme alanında yenilikler ve keşifler yapılmaktadır.

İnsanlık tarihinin bilim tarihiyle ortak ilerlediği yüzyıllar boyunca bilimin gelişmesinden kaynaklı malzeme gereksinimi doğmuştur. Bu gereksinim malzemelerin doğada bulunan saf halleriyle kimyasal ve fiziksel özellikleri bakımından doğrudan kullanılamamış olmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin metaller tek başlarına çok sağlamdırlar fakat farklı oranlarda alaşım olarak kullanıldığında daha sert olurlar. Mühendislik alanlarında yapılan çalışmalardan dolayı yeni keşfedilen enerji kaynakları ile depolama hücreleri, veri aktarma, kaydetme ve depolama, uzak bağlantılı görüntüleme, kablolu veya kablosuz iletişim, daha hızlı yol alabilen hava araçları, uzun ömürlü bataryalar, robotik sistemler, giderek küçülen elektronik kartlar, askeri ve savunma alanında yapılan çalışmalar, uzay araştırmaları gibi ihtiyaçlardan doğan gereksinimler bilim insanlarını laboratuvar şartlarında saf halleriyle ihtiyaçları karşılayamayan fiziksel ve kimyasal özellikleri optimum hale getirebilmek için yeni malzemeler üretmeye zorlamıştır.

Metal malzemeler kimyasal özelliklerinden dolayı çok sağlamdırlar fakat ısıyı çok iyi ilettikleri için bazı alanlarda kullanılamazlar. Plastik ve türevi olan malzemeler esnektirler fakat ısı ve sıcaklığa karşı mukavemetleri zayıftır. Seramik ve cam türevli malzemeler ise çok sert ve pürüzsüz haldedirler, ısıyı iletmezler ve basınca karşı kırılğan olabilirler. Bu şekilde kullanım alanlarına göre fiziksel veya kimyasal özelliklerinden dolayı farklı malzeme arayışı sonucu kompozit ve nano-teknolojik malzemeler üretilmiştir (Uzun 2012) .

Nanoteknolojik malzemeler ise malzemenin en küçük birim materyalleri üzerinde dizilimine müdahale edilerek birbirini izleyen prosesler zinciri sonucu fiziksel ve kimyasal özellikleri en mükemmel hale getirme işlemi sonucu oluşturulan

malzemelerdir (Gülmez 2013). Nanoteknolojik malzeme üretim tekniği, nano boyutta tasarlanan küçük birimlerdeki materyalleri işlevsellik, ergonomi, kalite gibi fiziksel ve kimyasal özelliklere etki edecek ve onu mükemmel malzeme yapacak kriterler açısından zenginleştirerek istenen özellikleri malzeme üzerine yüklemeyi amaçlar.

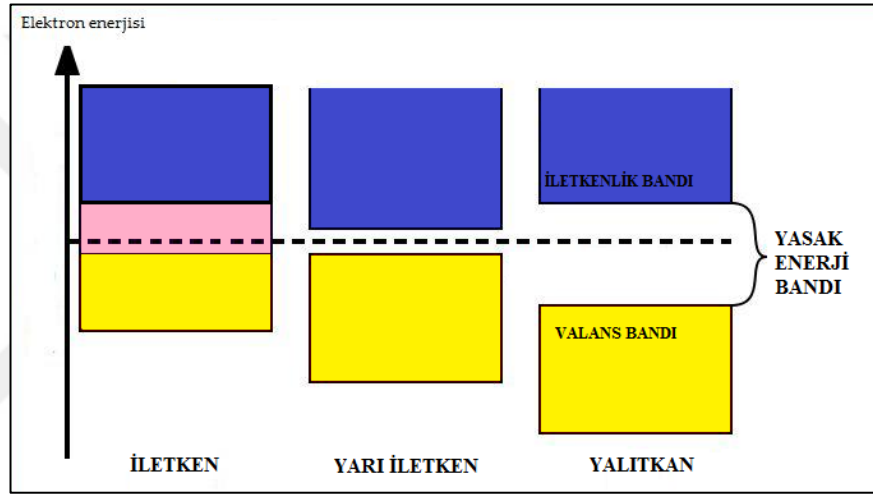
Bu kapsamda yüksek kaliteli malzeme üretmek için malzemenin dayanım ömrünü ve performansını etkileyen faktörler (mikro yapı, atom ve ya moleküllerin dizilimi) üzerinde malzemenin uygun üretim teknikleri ile üretilmiş olması gerekir.

Özellikle 1947 yılında yarı iletken bir devre elemanı olan transistörün keşfiyle bugün kullandığımız birçok ileri teknoloji ürününün temelleri atılmıştır. Genellikle metal oksit yapısıyla üretilen yarı iletkenler farklı üretim tekniklerine sahip yöntemlerle üretilirler (Tek 2011). Bu yöntemlerden biride “Sıralı İyonik Tabakalı Adsorbsiyon ve Reaksiyon” yöntemi olarak adlandırılan SILAR yöntemidir. Ancak bu yöntemlerin en ucuzlarından biri olan SILAR yöntemi yapılan araştırmalar sonucu düşük verimli bir yöntem olarak göze çarpmaktadır (Urbiola *et al.* 2015).

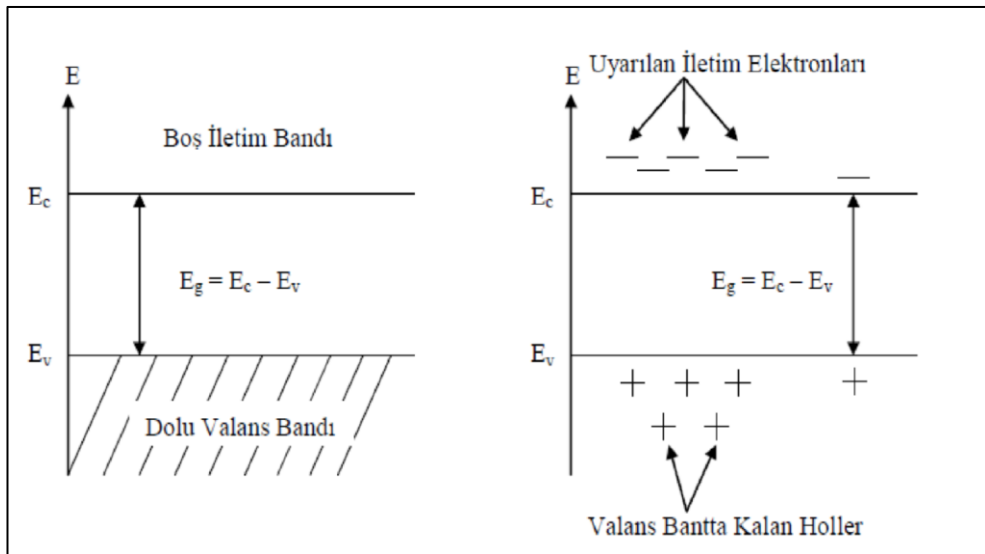
Yarı iletkenlik durumu iletkenlik ve yalıtkanlık arasında bulunan bir durumdur. Katı maddelerdeki bu durumu açıklayan enerji bant teoremine göre valans bandı ile iletim bandının birbirine göre olan durumları Şekil 1.1’ de gösterildiği gibi iletkenlik, yalıtkanlık ve yarı iletkenlik özelliklerini oluşturur (Tek 2011). Son yörüngede bulunan elektronların bulunduğu orbitallere “valans bandı”, bu yörüngede bulunan elektronlara ise “valans elektronları” adı verilir. Valans bandı üzerinde bulunan boş orbitallere ise “iletkenlik bandı” adı verilir. Özellikle metallerin elektriği ve ısıyı iyi iletmelerinin nedeni, kararlı duruma geçmek için son yörüngelerinde bulunan elektronlar daha ileri seviyelerde bulunan elektronsuz (boş) yörüngelere çıkarak bu yörüngelerde de hareket edebilmeleridir. Bu durumda iletkenlik bandı ile valans bandı kesişmiş durumdadır (Taner 2010). Yalıtkan maddelerde bu iki bant arası genişlik oldukça fazladır. Bu yüzden yalıtkan malzemelerdeki elektronlar iletkenlik bandına atlayıp bunu sağlayamazlar. Yarı iletkenlerde ise bu durum farklıdır. Eğer iletkenlerde olduğu gibi son yörünge elektronları valans bandını aşıp iletkenlik bandına geçebilirlerse iletkenliği sağlamış olurlar. Fakat yarı iletken dediğimiz yapılarda valans bandı ile iletkenlik bandı arasında bir yasak enerji bandı bulunur. Bu bandı geçebilmek için Şekil 1.2’ de görüldüğü gibi belirli bir enerji düzeyi gerekmektedir.

Bu yasak enerjinin farklılığı yarı iletkenler arasında bir çeşitlilik oluşturur (Astam 2006).

Yarı iletken yapılar en bilinenler olarak Kadmiyum, Çinko gibi periyodik cetvelin 2. Grup elementleri ile Oksijen, Kükürt gibi 6. Grup elementlerinin ikili, üçlü hatta dördü bileşiklerinden elde edilirler (Tozlu 2011). Öyle ki bu iki gruptan elde edilen yarı iletkenler 1,4 ile 4 eV enerji bant aralıklarında bulundukları için optoelektronik uygulamalardan fotovoltaik pil endüstrisine, elektronik devre imalatından otomotiv sensörlerine kadar geniş bir endüstri alanında kullanılabilirler (Takgün 2016).



Şekil 1.1 İletken, yarı iletken ve yalıtkan malzemelerin bant genişlikleri



Şekil 1.2 Valans bandı enerji seviye grafiği (Aydoğan 2011)

Kadmiyum; simgesi Cd olan gümüş beyazlığında kimyasal özellikleri nedeniyle elektrik, elektronik, seramik ve pil teknolojisinde kullanılan kanserojen toksik ağır bir geçiş metalidir. Atom numarası 48, atom ağırlığı 112,40 gr/mol, ergime sıcaklığı 321,7 °C, kaynama noktası 767 °C, yoğunluğu 8,65 gr/cm³, buharlaşma ısısı 99,87 kJ/mol, ısı kapasitesi 26,020 J/molK olan Kadmiyum hacim merkezli kübik kristal yapıya sahiptir (www.ptable.com).

CdO ise n tipi bir yarı iletken olup bant aralığı 2,2-2,8 eV arasındadır. Bu aralıkta bulunmasından dolayı düşük dirençli ve yüksek optik geçirgenliği sayesinde foto diyot, foto voltaik pil, foto transistör üretiminde çokça irdelenerek kullanılmaktadır. Özellikle yarı iletken teknolojisinde geliştirilmekte olan ve optoelektronik uygulamalarda önemli bir malzeme olan CdO sahip olduğu özellikleri yanı sıra birçok uygulama alanında kullanılabilmesi ile araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Günümüzde ise yapılan çalışmalarla geliştirilmektedir (Taner 2010).

Gokul *et al.* (2012); SILAR tekniği ile üretilen katkısız CdO filmlerinin farklı tavlama sıcaklıklarının Hall etkisi, gözenek yapısı ve elektriksel direnç gibi özelliklerin değişimi üzerine etkisini araştırmışlardır. SILAR yöntemiyle üretilen ince filmleri 250 ile 450 °C derecede 2'şer saat tavlamışlar ve numuneleri SEM, XRD, Elektriksel direnç ve Hall değeri ölçümlerini yapmışlardır. Sonuç olarak tavlama sıcaklığının artması ile elektriksel direnç değeri ile bant genişliğinde düşüş gözlemlenmiştir.

Jambure *et al.* (2013); SILAR yöntemi ile katkısız CdO paslanmaz çelik yüzeyler üzerine büyütülmüştür. Yüzey morfolojisinin 500 nm boyutta incelendiğinde güneş pillerinde kullanıma uygun olduğu görülmüştür. XRD ölçümleri CdO'nin kübik kristal yapısında olduğunu göstermiştir. 400 °C derecede yapılan tavlamanın ardından yapılan incelemelerde 2,50 eV değerinde bant aralığı ile %46 enerji dönüşüm verimliliği gözlemlenmiştir.

Şahin *et al.* (2013); yılında Baryum katkılı CdO filmlerinin SILAR tekniği ile büyütmüşlerdir. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen ince filmlerin morfolojik ve kristal özelliklerini XRD, SEM ve UV-Vis spektrometresi ile incelemişlerdir. Yapılan analizler Baryum katkılı CdO filmlerinin normale göre optik bant genişliğinde iyileşme gözlemlenmiştir.

Yüksel *et al.* (2015); gümüş katkılı CdO ince filmleri SILAR yöntemi ile üretmişler. Elde edilen numuneleri SEM, XRD ve UV-Vis spektrometresi ile incelemişlerdir. Ulaşılan verilere göre artan gümüş konsantrasyonunun yüzey özelliklerini ayarlamaya katkıda bulunduğunu ve bant aralığının arttığını gözlemlemişlerdir.

Aydın *et al.* (2016); Sodyum dodesil sülfat ile nano yapıdaki CdO büyütmüşlerdir. Büyümenin etkilerini yapısal ve morfolojik olarak incelediklerinde film yüzeylerinde iyi bir kristallik düzey tespit etmişlerdir. Ayrıca numunelerin spektroskopik incelemelerde bant aralığı ve soğurma değerlerinde iyi yönelimli olduğu gözlemlenmiştir.

Şahin *et al.* (2015); SILAR tekniği ile cam taban malzeme üzerine organik bir madde olan dekstrin ile CdO büyütmüşlerdir. Kolay ve düşük maliyetli olan bu yöntemde nano boyutta bulunan CdO filmlerinin dekstrin konsantrasyonu üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Sonuçların yüzey morfolojisi, optik özellikleri ve faz yapıları XRD, SEM ve UV-Vis spektroskopisi yöntemleriyle incelendiğinde CdO'nin dekstrin üzerindeki fiziksel özelliklerinin iyileştiğini gözlemlemişlerdir.

Şahin (2013); katkısız CdO ince filmlerini alkali bir sakkarin banyosunda SILAR yöntemi ile cam yüzeyler üzerine büyütüştür. Bu büyütmede kullanılan sakkarin banyosu etkilerini yapısal ve morfolojik olarak XRD ve SEM yöntemleriyle incelenmiştir. XRD pikinde görülen yoğunluklar Raman spektroskopisi ve CdO in fotoluminesans özelliklerinin sakkarin konsantrasyonuna göre değiştiğini göstermektedir. CdO filmlerinin optik özelliklerinin sakkarin konsantrasyonu değişimine göre kalibre edilebileceği gözlemlenmiştir.

Salunkhe *et al.* (2007); sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) sensörleri için SILAR yöntemi ile nanokristal üzerine farklı kalınlıklarda CdO büyüterek kalınlığın algılama üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Üretilen numunelerin SEM ve XRD yöntemleriyle yüzeyleri yapısal ve morfolojik olarak incelenmiştir. Alınan sonuçlarda sensörlerin algılama oranlarında artış gözlemlenmiştir.

Yukarıda yapılan çalışmalara bakıldığında büyütülen CdO kimyasal ve fiziksel özellikleri nedeniyle sensör yapımında, optoelektronik ve fotovoltaiik endüstrilerde

geniş bir kullanım alanı oluşturmaktadır. Üretmiş olduğumuz SILAR cihazı ile CdO'in tur sayısı değişimine göre ve değişken pH ortamında 12  C derece sıcaklıkta büyütülerek XRD, SEM ve soğurma ile geçirgenlik değerleri gözlemlenmiştir.

SILAR yöntemi hazırlanan katyonik ve anyonik c z ltilere altlıkları daldırma sonucu oluşan reaksiyonla yapılan ince film büyütme tekniğidir. Tasarlanan ve üretilen bu cihaz sayesinde dalma ve çıkma hareketleri standart bir hale getirilerek daha hassas hareket etme ve buna bağlı olarak daha homojen bir film tabakası üretmek amaçlanmıştır. Bu cihazın tasarımının temelinde dalma ve çıkma işlemleri daha az titreşimle yapılması için minimum sürtünme ile çalışan yüksek verimli makine parçaları kullanılmıştır. Ayrıca cihaza bir otomasyon sistemi yüklenerek cihaz başında saatlerce beklemeden deney yapma fırsatı sunulmuştur. Bu otomasyon sistemi sayesinde c z ltilerin reaksiyon sayısını belirleyen tur sayısı, ısıtılmış ya da oda sıcaklığındaki numunelere dalma sırası, bekleme süreleri gibi parametreler önceden girilerek standart bir deney imkanı sağlanmıştır.

SILAR yöntemi tekniği her geçen gün gelişen bir uygulama alanıdır. Bu tekniği hidrolik, pnömatik, elektromekanik sistemler ile standardize etmek bilim insanları tarafından ilgi çekici bir alan olmuştur. Uygulanan tekniklerle üretilen daha önce kullanılan cihazların eksik olarak düşündüğümüz özelliklerine bakılarak daha geniş bir zeminde deney fırsatı sunan bir cihaz üretmek için uzun süren tasarım, analiz ve etüt aşamasından sonra üretimi tamamlanan cihazın performansını denemek için CdO filmi büyütülmesi planlanmıştır.

2.KURAMSAL TEMELLER

2.1 SILAR Yöntemi

Yarı iletken metal oksit tabanlı olarak ince film tabakası halinde belirli bir kalınlığa kadar büyütülebilir. Bunun için kullanılan yöntemlerin bir kısmı:

- *Chemical bath deposition* (CVD) (Yao *et al.* 2005)
- *Molecular beam epitaxy* (MBA) (Kazmerski 1980)
- *Spray pyrolysis* (SP) (Ennaoui *et al.* 1998)
- *Radio frequency magnetron sputtering* (Zhao *et al.* 2004)
- *Chemical vapour deposition* (Chen *et al.* 1997)
- *Vacuum Evaporation* (Ersan 2009)
- *Sputtering deposition* (Gelen 2016)
- *Electrostatic Spray Assisted Vapour Deposition* (ESAVD)
- *Physical Vapour Transport* (PVT)
- *Hot Wall Deposition*
- *Successive ionic layer adsorption and reaction* (SILAR Yöntemi) (Olvera *et al.* 2002).

Bütün bu yöntemlerin içinde oldukça ucuz bir yöntem olan SILAR yöntemi “*Successive Ionic Layer Absorption and Reaction*” yani “Sıralı İyonik Tabakalı Adsorbsiyonu ve Reaksiyonu Yöntemi” olarak tanımlanır. Uygulama biçimi açısından bu yöntem altlık (substrate) denilen bir cismin yüzeyinin ardışık olarak iyonik çözeltilere sırayla daldırılarak reaksiyona zorlanması ve oluşan bu reaksiyon sonucunda her adımda yeni bir film tabakasını oluşturma prensibine dayanır. Bir kimyasal biriktirme yöntemidir. Ristov *et al.* (1985); bu metod ile CdTe (Kadmiyum Tellür) üretmiştir. Nicolau *et al.* (1988); bu teknikteki gibi katyonik ve anyonik çözeltilere daldırma tekniği uygulayarak ZnS, ZnO ve CdS gibi yarı iletkenler üretilip başarılı bir yöntem olduğunu kanıtlamışlardır.

SILAR yönteminde film tabakası oluştururken temel prensip çözelti içerisinde bulunan iyonları zayıf elektron bağları ile tutturmak ve bu işlemi defaten tekrar ederek

Puioš *et al.* (2003); oda sıcaklığında SILAR yöntemi kullanılarak, farklı konsantrasyonlardaki kurşun içeren çözeltiler içerisine silikon taban malzeme daldırarak PbS ince filmleri elde ettiler.

Preetha *et al.* (2012); SILAR yöntemi ile değişken pH ortamında elde ettikleri PbS ince film numunelerinin morfolojik, yüzeysel, optiksel ve elektriksel özelliklerinin etkisini araştırdılar.

Resh *et al.* (1997); SILAR yöntemi ile elde ettikleri PbS ince filmlerin yüzey özelliklerini atomik kuvvet mikroskobu ile incelediler.

Sang *et al.* (2012); SILAR yöntemi ile taban malzeme üzerine büyüttükleri PbS yarı iletken ince filmleri güneş pili yapımında kullandılar.

Jiao *et al.* (2013); SILAR yöntemini kullanarak elde ettikleri PbS ve CdS kullanarak sentezlenmiş kuantum noktalı güneş pili veriminde daha öncekilere göre % 2,02 olarak artış ölçtüler.

Huang *et al.* (2013); bakır (Cu^{+2}) katkılı PbS ince filmleri SILAR yöntemini kullanarak ürettikleri ve elde ettikleri güneş pilinin verimi yaklaşık % 2,01 değerindeydi.

Lee *et al.* (2009); kimyasal püskürtme yöntemi ile kapladıkları TiO_2 üzerine PbS yarı iletken ince filmini SILAR yöntemi ile kapladılar ve üretilen PbS/ TiO_2 kuantum noktalı sentezli güneş pili verimini % 0,80 olarak ölçtüler.

2.2 SILAR Yönteminin Avantajları

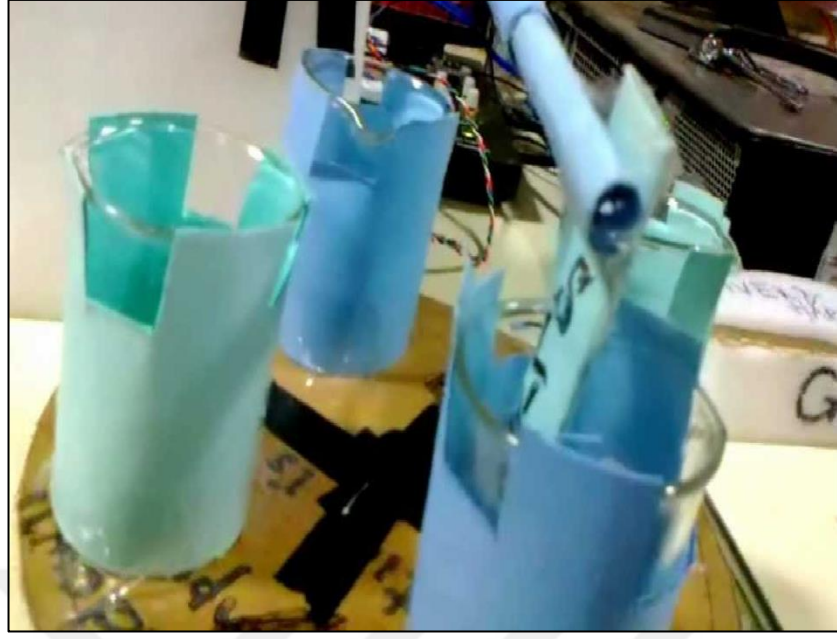
Sıralı İyonik Tabaka Adsorpsiyon ve Reaksiyonu (SILAR) yönteminin çeşitli avantajları aşağıda sıralanmıştır.

- 1) İnce filmi SILAR yöntemi ile hazırlarken herhangi bir elementin herhangi bir oranı ile zenginleştirilmek istenildiğinde, sadece hazırlayacağımız katyonik çözeltinin bazı formlarına karıştırmak gibi basit bir yöntemle yapılabilir.
- 2) Kapalı buhar büyütme metodundan farklı olarak SILAR, ne yüksek kalitede hedef veya altlık, ne de herhangi bir aşamada vakum gerektirmemektedir ki bu durum yöntemin endüstriyel uygulamalarda kullanılması halinde büyük avantaj sağlar.
- 3) Büyüme oranı ve filmin kalınlığı, SILAR tur ve daldırma sayısını değiştirmek suretiyle geniş bir aralıkta kolaylıkla kontrol edilebilir.

- 4) Oda sıcaklığında yapılan işlemlerle, daha az yer tutan malzemeler üzerine film büyütülebilir.
- 5) Yüksek enerjili metotlardan farklı olarak büyütülen materyal için zararlı olabilecek ısınmalara yol açmaz.
- 6) Altlık malzeme, boyutlar ve onun yüzey profili ile ilgili neredeyse hiçbir sınırlama yoktur.
- 7) Yüksek sıcaklık gerektiren yöntemlere göre maliyeti çok daha düşüktür. (Taner 2010)
- 8) SILAR tekniği uygulanırken oda sıcaklığı gibi düşük sıcaklıklarda bile verimli sonuçlar alınabilir. Bu durum ise havadaki oksijenin oksitlenme enerjisine ulaşamadığından sistemin oksidasyon ya da korozyon gibi kötü etkilerden korunmasına yardımcı olur (Astam 2006).

SILAR uygulamalarının keşfi ile başlayan ilk denemeler bir süreölçer yardımıyla elle yapılmaktaydı (Ristov *et al.* 1985). Fakat bu uygulama çözelti sayısının artması ve insan elinin her seferde standart sonuca ulaşamaması sonucu robotik bir sistem gereksinimi doğurmuştur. Genel olarak SILAR deneylerinde kullanılan teknik iyonik çözeltilerin bulunduğu beherlerin dönme hareketi ile hedefe varması ve altlık denilen tutucu yüzeyin dikey hareket ederek dalması ve çıkması prensibine dayanır. Bu yöntemde SILAR tekniği uygulanacak malzeme aşağı yukarı hareket edebilen bir mekanizmaya sabitlenir, daldırılacak iyonik çözeltiler belirli bir sıraya konularak dönen bir sistem üzerine oturtulur, sistem çalıştırılarak el yordamına nazaran daha verimli sonuçlar alınmaya başlanmıştır. Tur ve daldırma sayısı arttıkça daha kalın bir film tabakası büyütülerek istenilen sonuca ulaşılmıştır.

Şekil 2.2 deki cihaz SILAR işleminin robotik olarak yapılmasını sağlayan cihazlardan biridir (Mendpara 2012). Dört adet iyonik çözelti bulunan kaplarla bu kaplara her seferde dalma yapan basit bir mekanizmaya sabitlenen altlıkla film büyütme yapılmıştır.



Şekil 2.2 Basit SILAR mekanizması

Deneylerin sonucuna bakıldığında motorların dönüşündeki hassasiyetin az oluşu üretimin homojen olmamasına neden oluşu daha robotik sistemlerin tasarlanması ihtiyacını doğurmuştur. Ayrıca Şekil 2.3’ deki gibi bir seferde daha fazla ürün elde edilmesi için daldırma mekanizmasına sayıca daha çok taban malzeme (substrate) sabitlenerek işlem başına büyütülen ürün sayısı artırılmıştır (Cozzi 2012).



Şekil 2.3 Döner tablalı SILAR makinası

Bu mekanizmalarla yapılan deney sonuçları göstermiştir ki sistemlerin hareket sırasındaki sallantıları, hava ortamındaki oksijenin kötü etkileri, çözeltilerin hep oda sıcaklığında kalması gibi dezavantajlı nedenlerden ürünlerin homojenliğini kaybetmesinden dolayı *Holmarc Optomechatronics* adlı şirket bu cihazları endüstriyel olarak tasarlayıp üretimini artırmıştır. İyonik çözeltilerin hava ortamına göre daha yüksek sıcaklıklarda reaksiyon uygulamaları için Şekil 2.4' teki cihaz tasarlanmıştır.



Şekil 2.4 Isıtma sistemli ve karıştırıcılı SILAR makinası (*Holmarc Optomechatronics*)

Deney sonuçları alındıkça dönen sistemlerin dezavantajları görüldükten sonra Şekil 2.5'te görülen altlıkların beherleri gezdiği sistemlerin yanı sıra atmosferde bulunan oksijenin olumsuz etkilerinden dolayı Şekil 2.6' da görülen cihazların fanus ile kapatıldığı sistemler dizayn edilmiştir.



Şekil 2.5 Tek altlıklı SILAR sistemi (Holmarc Optomechatronics)



Şekil 2.6 İzoleli ve manyetik karıştırıcılı SILAR makinası (Holmarc Optomechatronics)

2.3 Diğer SILAR Mekanizmalarının Dezavantajları

- Özellikle dönen sistemlerde altlık (*substrate*) çözeltiye dalıp çıktıktan sonra beherler içerisinde bulunan iyonik çözeltiler dönme hareketinin verdiği etkiyle oluşan sallanma ve dalgalanmadan dolayı tutunma yüzeyine zaten zayıf elektron bağları ile tutunmuş iyonları homojen bir tepkime meydana gelmeden

bozarak oluşacak ürünün kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Dalma ve bekleme süresinin film kalınlığı ve homojenliği üzerinde doğrudan etkili olduğundan bu durum her seferinde farklı kalınlıkta ürün elde edilmesine neden olmaktadır.

- Tasarlanan sistemler tek tip ürün üretimine uygun olarak tasarlanmıştır. Tasarımlar aynı anda ısıtılmış ya da oda sıcaklığındaki çözeltilerle ve farklı iyonik çözeltiler kullanılarak farklı tip ürün üretimine imkan sağlamamaktadır.
- Isıtmalı SILAR cihazlarında yan yana bulunan beherlerin birinin sıcaklığı yükseltirirse ona en yakın beherlerin sıcaklığını oda sıcaklığında tutmak neredeyse imkansızdır.
- Diğer SILAR cihazlarında aynı anda birden fazla numune büyütülememektedir.

2.4 Tasarladığımız SILAR Cihazı ve Avantajları

Tasarlanmış ve üretimini bitirmiş olduğumuz bu cihaz klasik sistemlere nazaran daha kullanışlı bir sistemdir. Bu SILAR cihazında aynı anda;

- Isıtılmış ve oda sıcaklığında,
- Tek tip çözelti ve ya birden fazla tip çözelti,
- 6 numuneye kadar aynı sürede olmak koşulu ile farklı çözeltilerde büyütme imkanı
- Aynı tur sayılı ve ya farklı tur sayılı ürün

bu cihaz üzerinde aynı anda üretilebilir.

Belirlenmiş tur sayısı bittiğinde cihaz kendiliğinden duracaktır. Bu durum sayısı fazla olan tur sayılarında üretilebilen malzemeler için çok büyük avantaj sağlamaktadır. Eğer deney esnasında beherlerde çökeltmeler oluşursa deney seti durdurulmadan beherler değiştirilebilir. Tur sayısı bilgisayar sisteminde görüldüğü için herhangi bir tur sayısında kolaylıkla altlık malzeme çıkarılabilir yerine yenisi takılabilir. Üçlü veya dörtlü çözeltilerle üretilecek malzemelerde bilgisayar programı opsiyonu kullanılarak beherlere konulacak çözelti sayısı artırılabilir.



Şekil 2. 7 İmalatı tamamlanan SILAR makinası

2.5 Ölçümler

SILAR tekniği ile büyütülecek olan CdO' in yüzey özelliklerini incelemek amacıyla PANalytical Empyrean X- Ray difraktometre ile XRD (X Işını Difraksiyonu) ölçümü, Zeiss-Sigma300 cihazı ile SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ölçümü ve Shimadzu UV-1800 Spektrofotometre cihazı ile geçirgenlik, soğurma sonuçları gözlemlenmiştir. Bu ölçümlerin yapıldığı cihazların çalışma prensipleri sıralanmıştır.

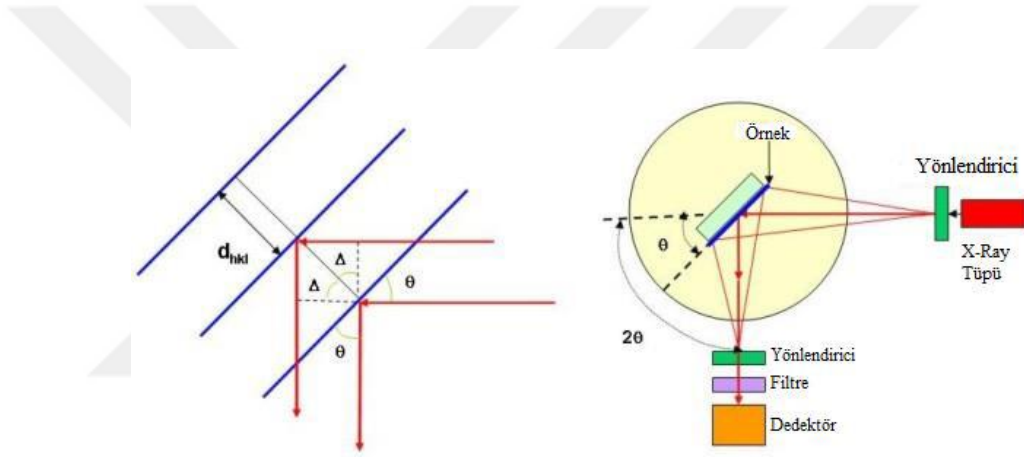
2.5.1 X Işını Kırınımı (XRD)

X ışını ve ya X ışını difraksiyonu yöntemi isminden de anlaşıldığı gibi X ışınları kullanılarak yapılan bir yüzey muayene yöntemidir. 1912 yılında Max Von Laue kristal yüzeylerindeki atomların dizilişini bu yöntemle gözlemlemiştir. X ışınlarını gönderdiği yüzeylerde kalıcı bir hasara neden olmadığı için tahribatsız muayene yöntemleri grubunda yer alır (Sadık 2011).

X ışını difraksiyonu yönteminde kristal analizi yapılırken Bragg kanunundan faydalanılır. Sürekli gelişen yeni teknolojiler sayesinde kullanılan XRD cihazları hassas ölçümler yapabilmektedir. XRD cihazına konulan bir numunenin sonucu bir

grafik olarak görülür. Bu grafikteki desen bize numunenin kristal yapısı hakkında bilgi verir. Yüzeyde bulunan malzemenin kristal yapısı ve malzemenin bileşik yapısına göre karakteristik bir eğri oluşur. Ayrıca kristal küçüldükçe çizgiler büyür. (Cullity 1996).

Temel olarak Şekil 3.37 de görüldüğü gibi belirli bir açıyla malzeme yüzeyine yansıtılan X ışınları malzeme yüzeyinden bir dedektör veya sensör sayesinde izlenerek kırınım desenleri kaydedilir. Bu sistemle malzeme yüzeyinin morfolojik yapısı ve atom dizilişleri gibi özellikler bu kırınım desenleriyle kıyaslanabilirler. X ışını kırınım deseni malzemeye göre karakteristik bir değer olduğundan bu desenler ince film yüzeylerinde hangi yarı iletken olduğu hakkında bilgi verirler (Adıgüzel 2014).



Şekil 2. 8 XRD cihazının şematik gösterimi (Adıgüzel 2014)

2.5.2 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope) ilk kez 1935 yıllarında Knoll adlı bir bilim adamı tarafından geliştirilmiştir. Klasik mikroskoplarda görüntü optik lensler sayesinde sürekli büyütülerek izlenir. Fakat SEM’ de normal mikroskoplara göre elektronların yaydığı enerjiden faydalanarak görüntü elde edilir (Chamot 1958). Tüplü televizyon devrelerinde bulunan sistemdekine benzer bir sistemle ışık demeti kullanılarak nano boyutta görüntü verileri elde edilebilir (Smith *et al.* 1955).

Bir elektron kaynağından çıkarak yüzeye çarpan bu parçacıkların soğurulması ve ya saçılması sayesinde yüzey morfolojisi daha hassas bir biçimde görülebilir. Elektronların bu kaynaktan bir demet halinde çıkması için elektromıknatıslar kullanılır. Elektronlar yüzeye gönderildikten sonra üç boyutlu tarama yapılarak görüntü alınır (Coşkunsu 2015).

Taramalı elektron mikroskopunu üç kısım oluşturur. Bu kısımlar; incelenecek numunedeki ölçüme yardımcı olacak elektron kaynağını besleyen optik kolon, incelenecek numuneyi muhafaza ederek sabitleyecek örnek haznesi ve elektron kaynağıyla daha hassas görüntüleme yapacak mercek ve optik sistemlerin bulunduğu görüntüleme sisteminden ibarettir.

Elektron kaynağının ısınması beslemesi ile tabancadan çıkan elektron demeti sapma ve saçılmaları önleyen elektromıknatısların arasından geçerek incelenecek malzemenin üzerine düşürülür. Optik sistem aracılığı ile kaynaktan çıkan bu elektron demeti numune üzerinde yoğunlaştırılmış ve odaklandırılmış olur. Görüntünün elde edilmesi ise gelen elektron ışınlarının örnek yüzeyinden yansımalarının ardından değerlendirilmesi sonucunda olmaktadır. Numune üzerine çarpan elektronlar yüzeydeki elektronların bir kısmının enerjisini artırarak saçılabilirler. elenecek örneğin yüzeyine çarpan elektronların bir kısmı materyalin yüzeyindeki elektronların enerjilerini artırır ve bunlar koparak örnekten uzaklaşırlar. Bu sayede elektronlarında enerjisi kullanılarak 3 boyutlu bir tarama yapılır. Oluşan görüntüler sayesinde malzemelerin yüzey özellikleri hakkında detaylı veriler elde edilebilir (Gerçeker 2013).

2.5.3 Soğurma ve Geçirgenlik

Optikte bir cisim ışığı ya geçirir ya da geçirmez. Spektroskopik olarak bir kaynaktan çıkan ışık cisimler üzerine düştüğünde ışığın cismin karşısına geçme değerine göre absorbansı (soğurma) ve ya geçirgenliği tespit edilir. Spektrofotometre cihazında ölçülebilen bu sistemde belirli bir kaynaktan çıkan ışık veya ışın demeti bir cisim üzerinden geçirilir ve cismin arkasında bulunan sensör sayesinde kayıp kazanç

miktarı izlenir. Bu kayıp kazanç miktarı bize cismin saydamlığı ve opaklığı arasında bir bilgi verir.

Sonuç olarak geçirgenlikle soğurma arasında ters orantı vardır. Bir cisim ne kadar geçirgense ışığı aynın oranda adsorbe edememiştir. Tersinir olarak ise ışığı adsorbe edebildiği için geçirgenlik azalmıştır (www.pediaa.com).



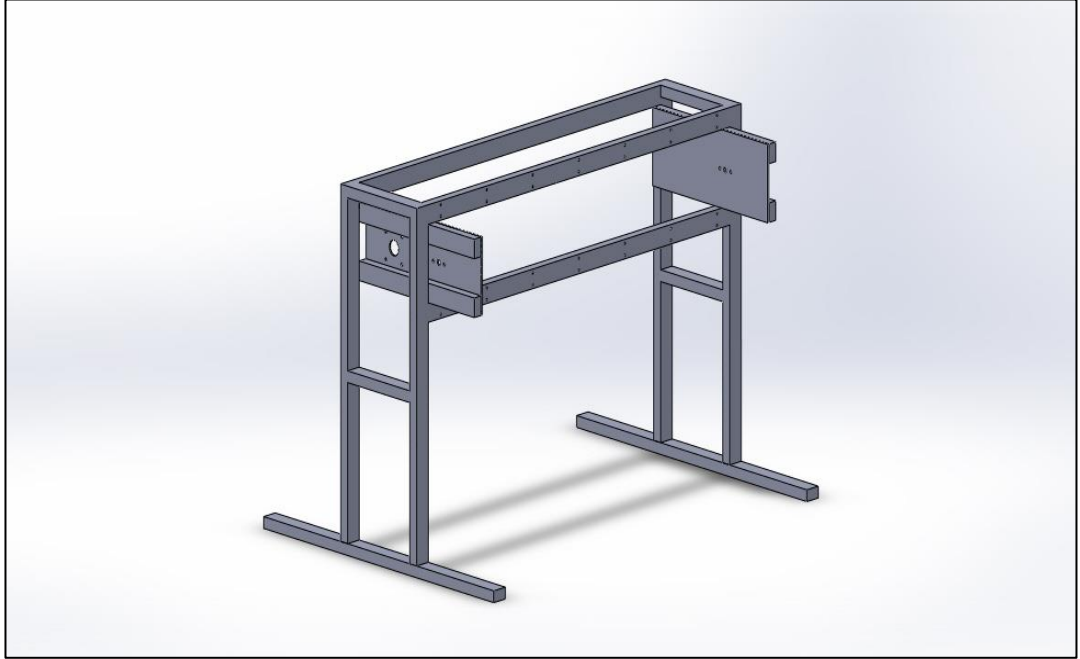
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 SILAR Cihaz Tasarımı

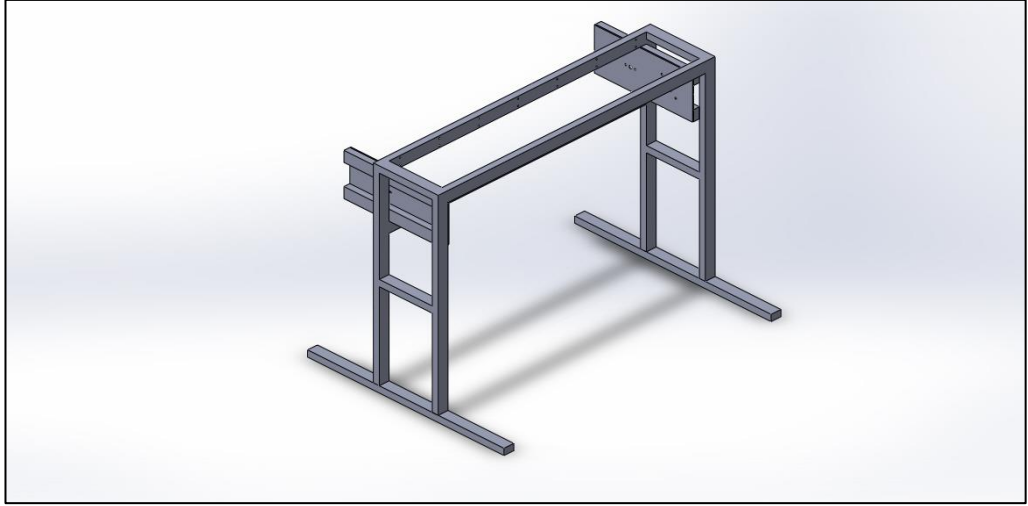
3.1.1 Mekanik Sistem Tasarımı ve Kullanılan Malzemeler

3.1.1.1 Şasi (Gövde)

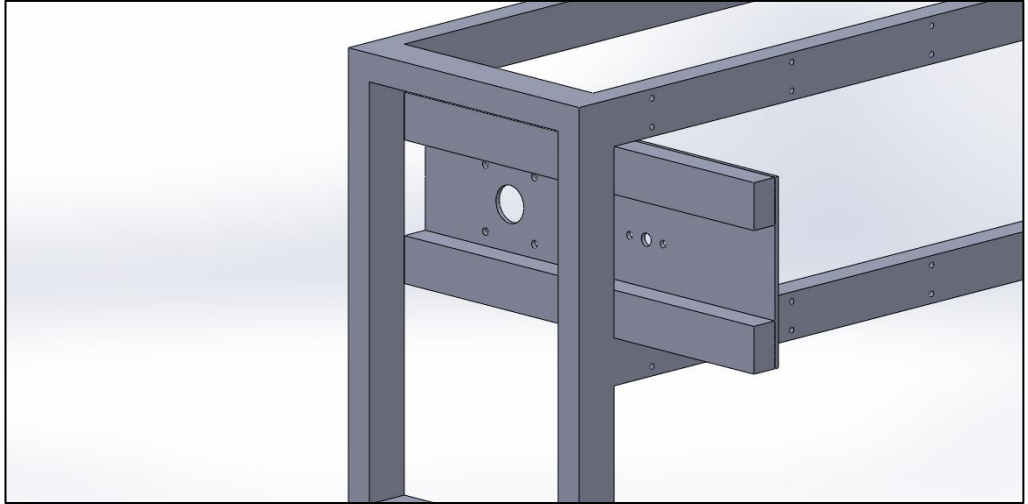
Şasi cihazın çalışan bütün mekanik ve elektronik parçaların üzerine montaj edildiği en büyük kısımdır. Tek parça olarak 2 mm et kalınlığında 20x50 dikdörtgen kesitli çelik profilden imal edildi. Birleştirme işlemi kaynak yöntemi ile yapıldı (Şekil 3.1 ve 3.2). Şasi üzerine step motorlar ve çelik rayların montajının yapılabilmesi için matkap tezgahı ve lazer kesim tezgahı ile tasarım aşamasında çizilen teknik resimdeki ölçülere uygun delikler açılarak (Şekil 3.3) spreyci boya ile boyandı ve parçaların montajına uygun hale getirildi.



Şekil 3.1 Şasinin önden görünümü



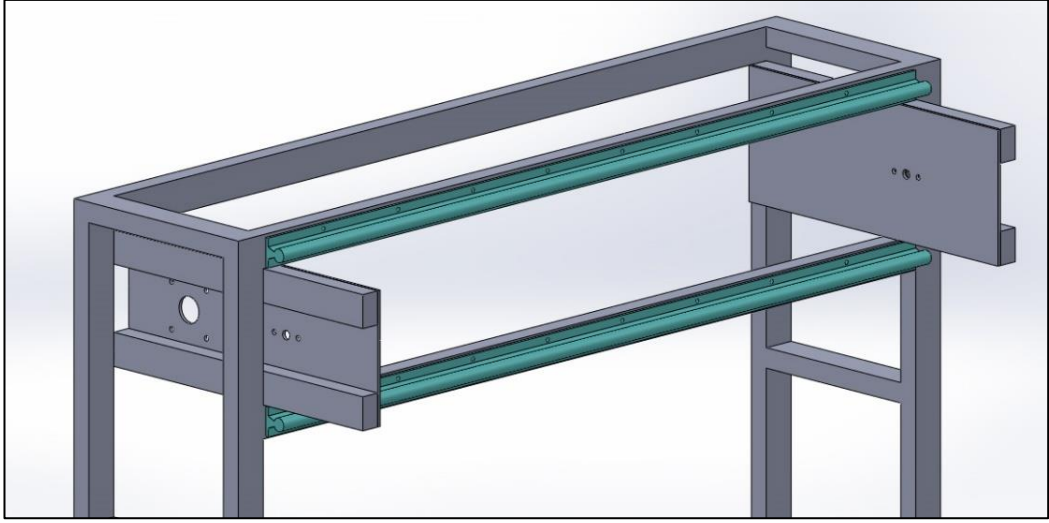
Şekil 3.2 Şasinin geriden görünümü



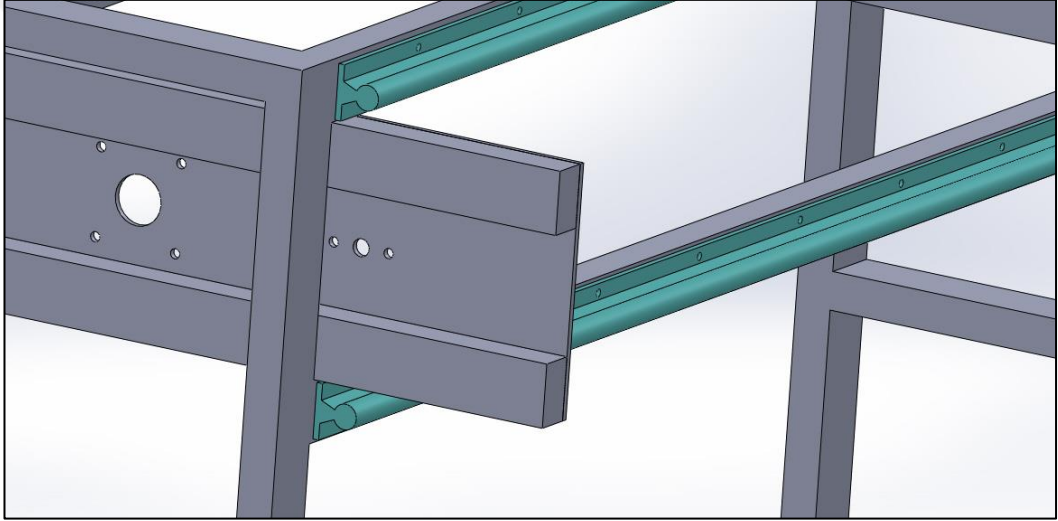
Şekil 3.3 Şasi Montaj Delikleri

3.1.1.2 X Eksenli Taşıyıcı Lineer Ray ve Kızağı

Cihazın X eksenli boyunca yapacağı hareket için lineer ray ve lineer rulman kullanıldı (Şekil 3.4). Bu parça daha önceden ölçülerine göre delinmiş delikler sayesinde M6x25 cıvatalar ile şasiye birleştirildi (Şekil 3.5). Lineer raylar mükemmel hareket ve en az sürtünme açısından indüksiyon yöntemi ile sertleştirilmiş ve krom kaplanarak imal edilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.4 X Eksenli Lineer Ray Montajı

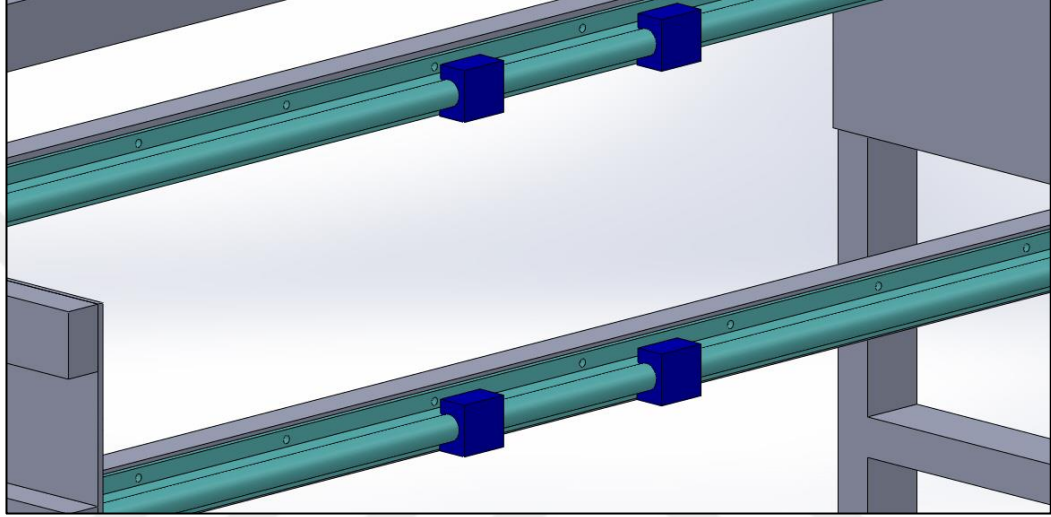


Şekil 3.5 Lineer Ray Montajı Detay Görünüm



Şekil 3.6 Lineer ray ve Lineer Rulman

Daha sonra ise 4 adet lineer rulman 2 şerli sıra halinde Şekil 3.7'deki gibi montaj edilmiştir. Bu rulmanların yapısında Şekil 3.8'deki gibi çok sayıda çelik bilye tertibatı bulunmaktadır. Bu rulman içeriğindeki çelik bilyeler sayesinde kızağa tek bir noktada temas ettiği için minimum sürtünmeli bir hareket olanağı sağlar. Bu sayede titreşim en aza indirgenmiş olur.



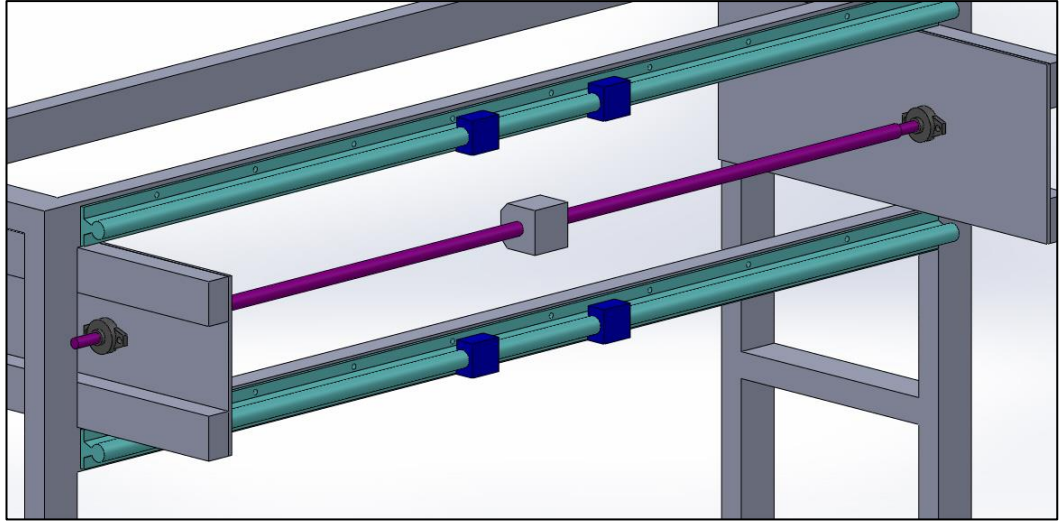
Şekil 3.7 Lineer ray üzerine lineer rulman montajı



Şekil 3.8 Lineer rulman içyapısı

3.1.1.3 X Eksenli Hareket Vidalı Mil ve Somunu

Vidalı mil ve vidalı somun mekanizması motor gücünden aldığı dönme hareketini doğrusal yer değiştirme hareketine dönüştüren bir mekanizmadır. En çok kullanılan adı sonsuz vida mekanizmasıdır (Salman 2009). Temperlenmiş (sertleştirilmiş) çelik malzemeden üretilmiştir (Şekil 3.10). Vidalı milin her turunda vidalı somunun adım mesafesi kadar yol alır. 1400 mm uzunluğunda uçları torna tezgahında işlenerek 12 mm ye inceltilmiş vidalı mil şase üzerinde yine Şekil 3.13'teki 12 mm çapına sahip yataklı rulmanla şasi üzerine Şekil 3.9'daki gibi montajlanmıştır. Yine sonlandırma rulmanı üzerinde bulunan setskur cıvatalar sıkılarak mil yerine sabitlenmiştir (Şekil 3.12). Milin üzerine Şekil 3.11'deki vidalı somun gövdesi M5x10 cıvatalarla sabitlenmiştir.



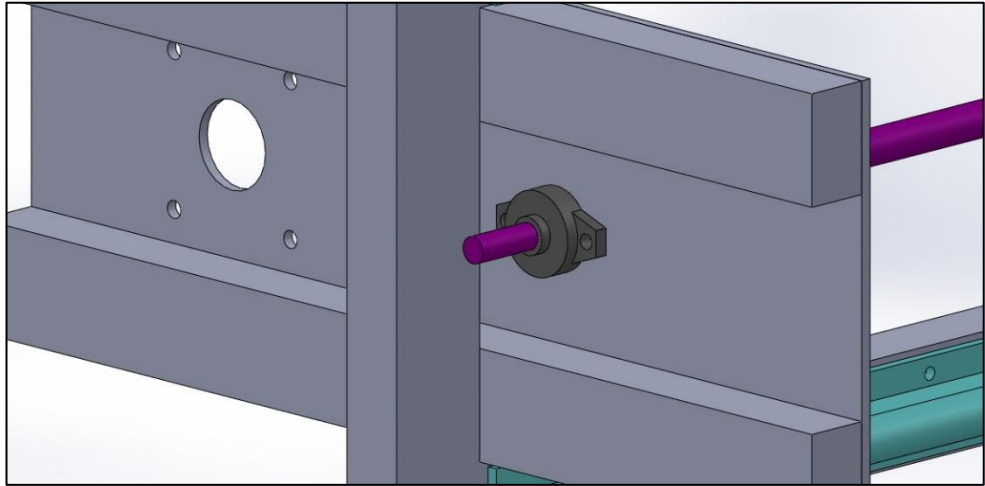
Şekil 3.9 Vidalı mil ve bilyeli somun montajı



Şekil 3.10 Vidalı mil ve bilyeli somun yapısı



Şekil 3.11 Bilyeli somun gövdesi

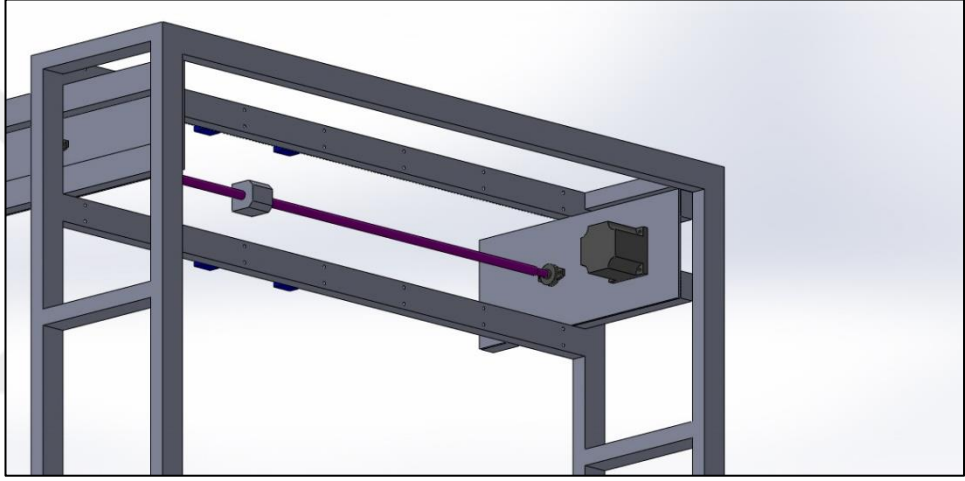


Şekil 3.12 Vidalı milin sonlandırma rulmanına montajı



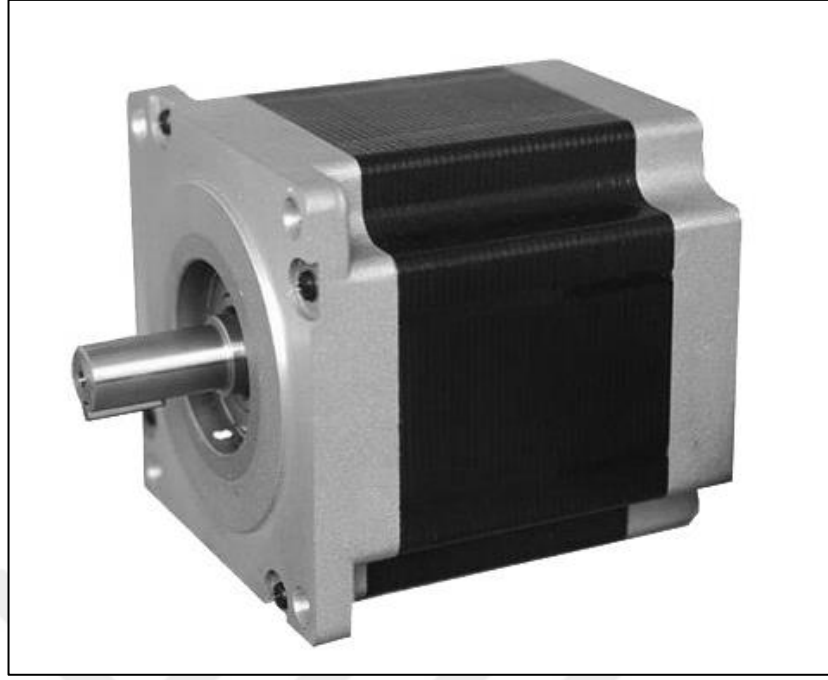
Şekil 3.13 Yataklı rulman yapısı

Vidalı milin dönme hareketini sağlayacak Şekil 3.15’teki step motor şasi üzerine Şekil 3.14 ve Şekil 3.16’daki gibi M6x25 cıvatalarla sabitlendi.

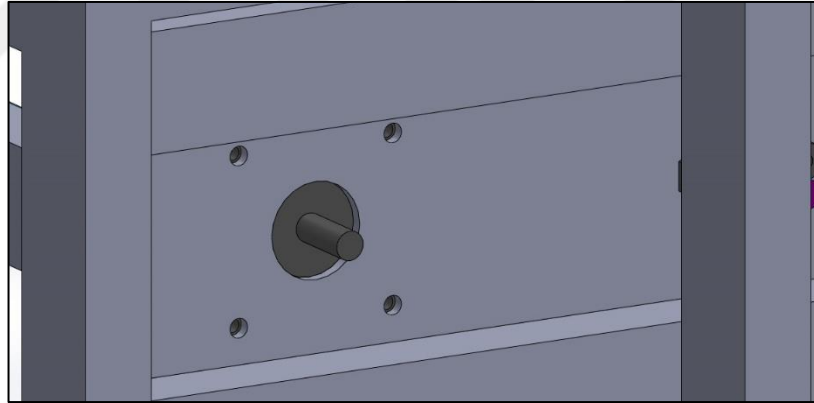


Şekil 3.14 X eksenli step motor montajı

Bu step motor 1.8 derece step açısına sahip 4.2 A 13.23 Watt gücünde sürücü devresi ile kontrol edilebilen bir motordur.

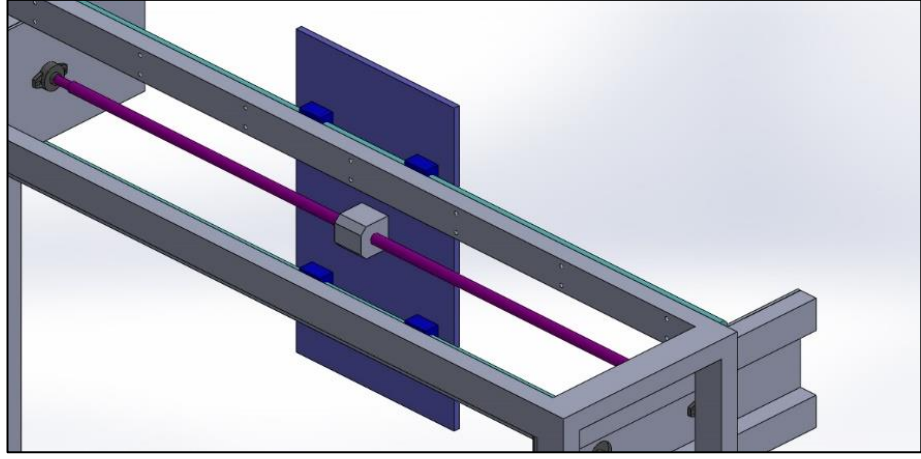


Şekil 3.15 Step motor yapısı



Şekil 3.16 Step motor montajı

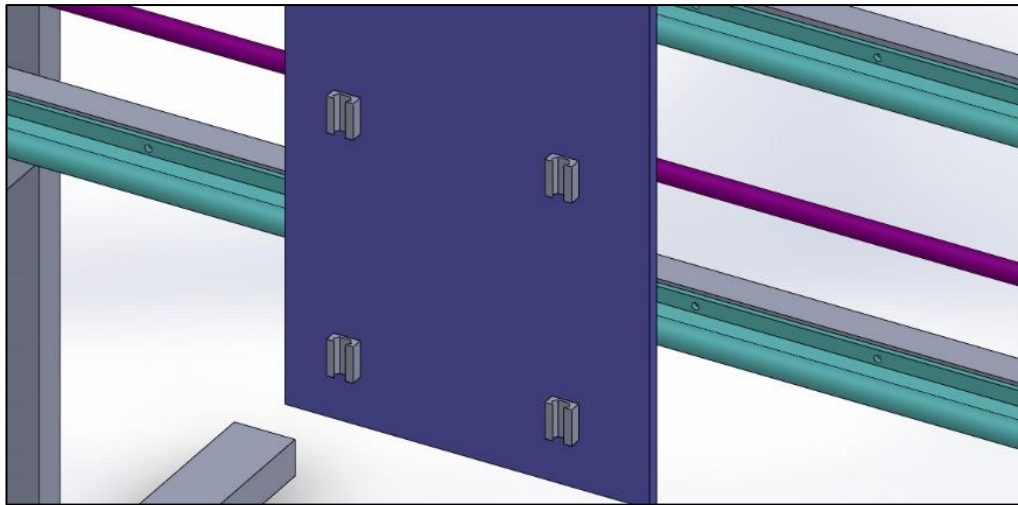
Altlıkların Z eksenindeki hareketini sağlayacak mekanik aksamaların montajını yapabilmek için lazer kesim cihazında çelik sacdan üretilmiş 6 mm kalınlığındaki plaka lineer rulmanlara Şekil 3.17’deki gibi M6x10 cıvatalar vasıtasıyla sabitlenmiştir.



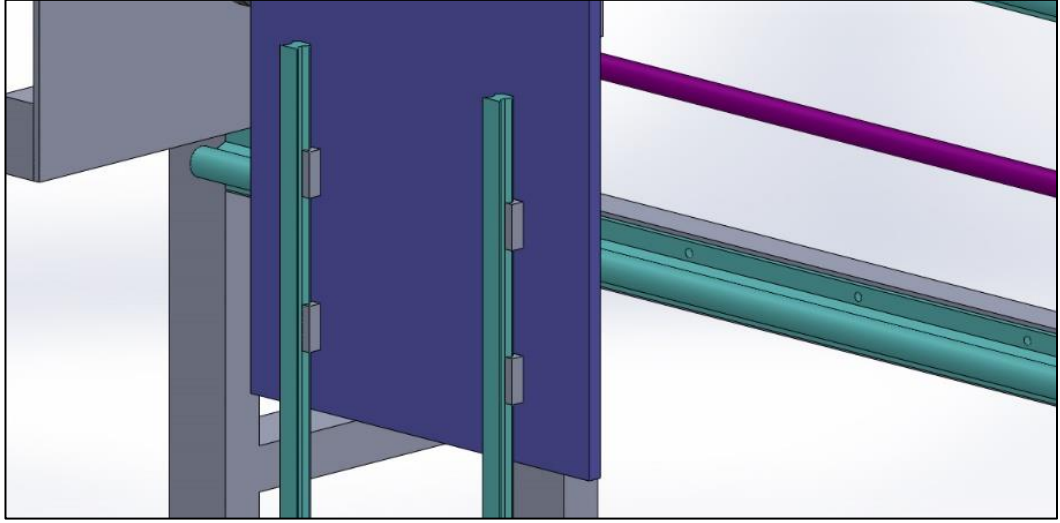
Şekil 3.17 Z eksen taşıyıcı plaka montajı

3.1.1.4 Z Eksen Taşıyıcı Lineer Ray ve Arabaları

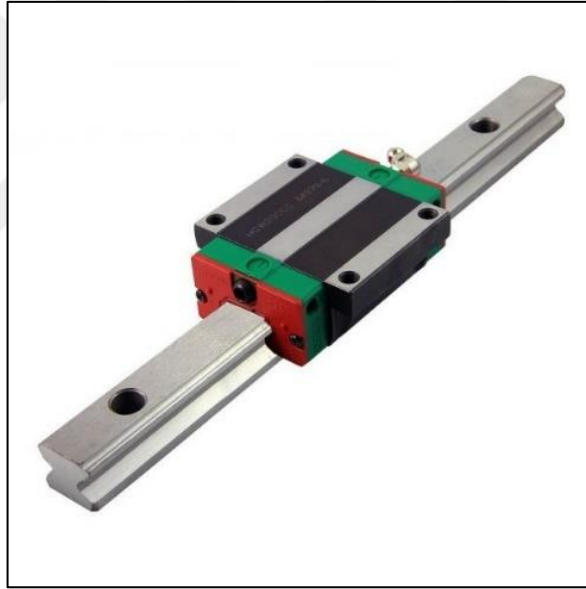
Dalma ve çıkma hareketini sağlayacak mekanizmaların sabit bir eksende inip kalkmasını sağlayacak olan lineer ray mekanizması ve arabaları Şekil 3.18 ve Şekil 3.19'daki gibi sabitlenerek montajı tamamlanmıştır. Bu eksenindeki hareket daha hassas olduğu için X ekseninde kullanılan lineer ray ve arabalara nazaran daha kaliteli olan Şekil 3.20'deki *hiwin* ray ve araba kullanılmıştır.



Şekil 3.18 Lineer araba montajı

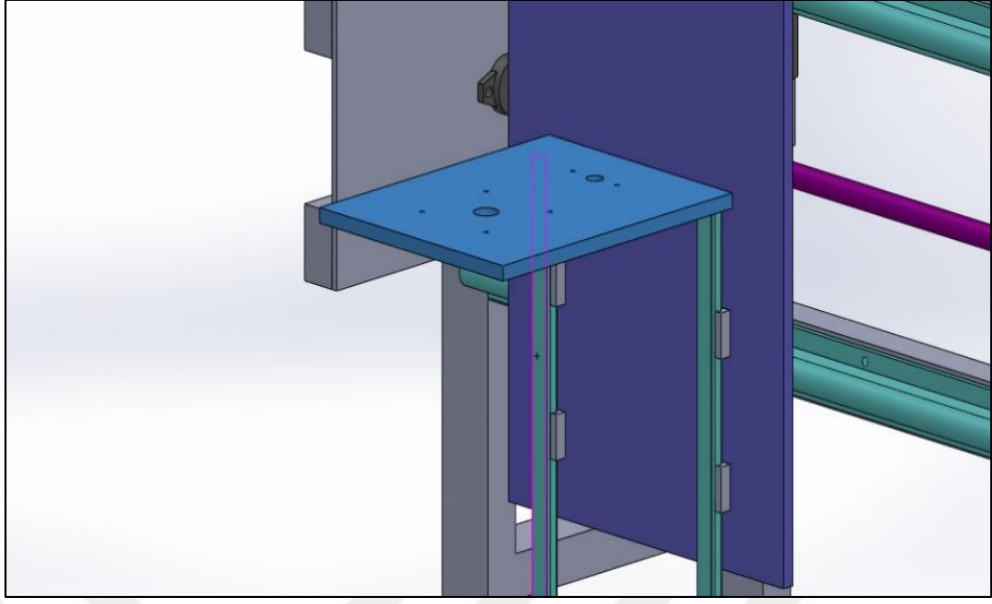


Şekil 3.19 Lineer ray montajı

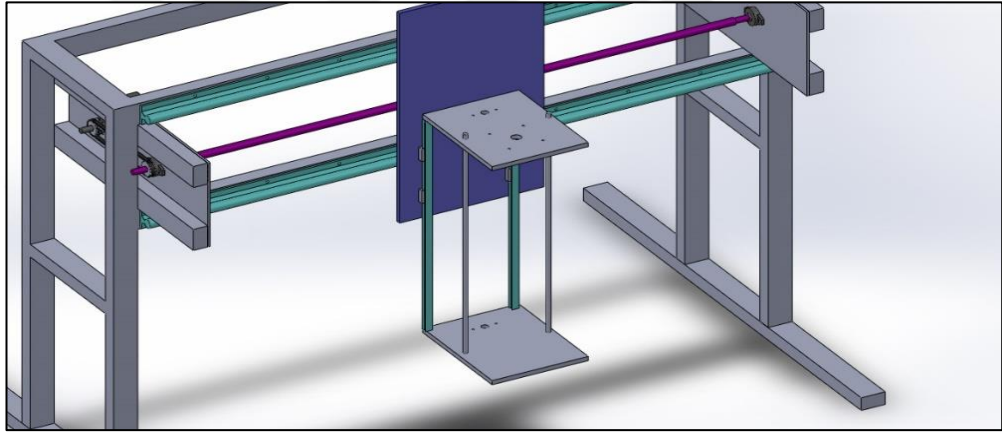


Şekil 3.20 Lineer ray ve araba yapısı

Z eksenli hareketi için kullanılacak vidalı mil, step motor ve yataklama rulmanları teknik resim ölçülerine uygun olarak delinmiş Şekil 3.21'deki üst ve Şekil 3.22'deki alt için ayrı ayrı olmak üzere sabitlenmiştir.



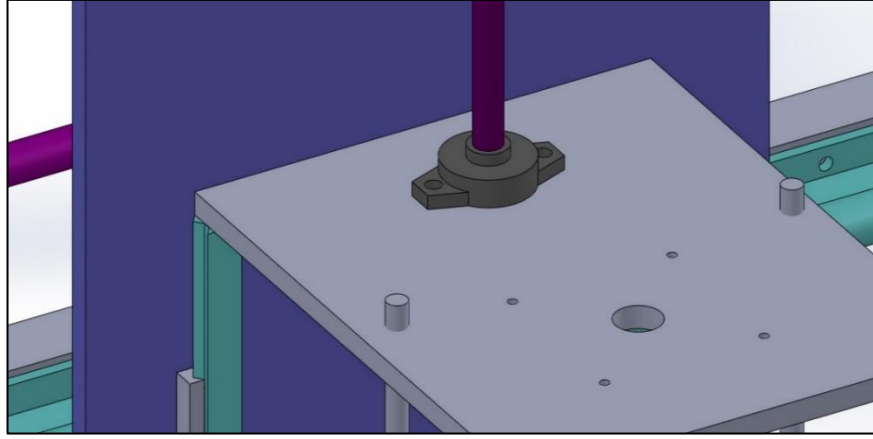
Şekil 3.21 Z eksen motor ve vidalı mil şasisi montajı



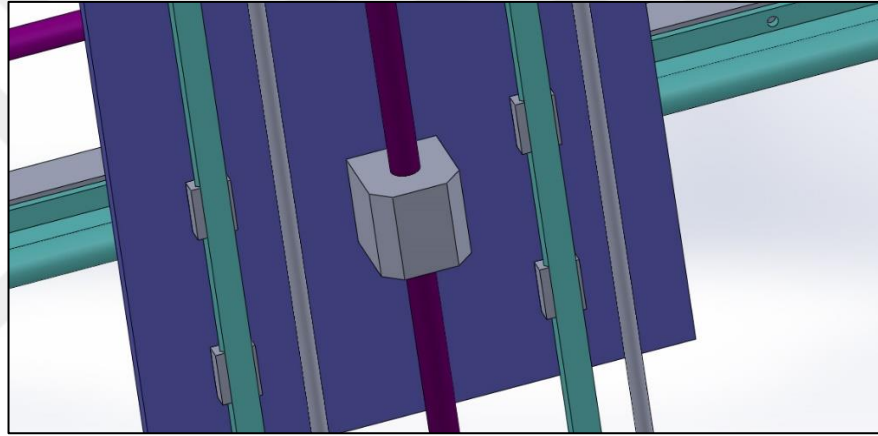
Şekil 3.22 Z eksen motor ve vidalı mil şasesi montajı (alt kısım)

3.1.1.5. Z Eksen Hareket Vidalı Mil ve Somunu

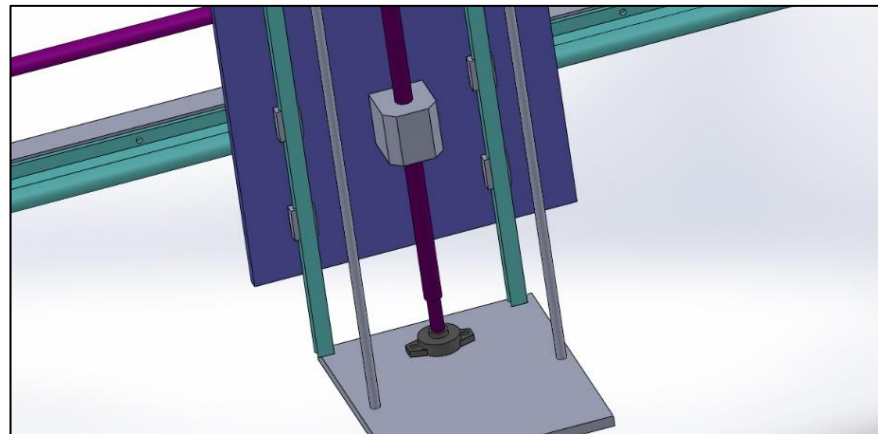
Z eksen dalma ve çıkma hareketini sağlayacak vidalı mil ve vidalı somun Şekil 3.24 ve Şekil 3.25'teki gibi sabitlenerek X eksen hareket mekanizmasında olduğu gibi 12 mm iç çapındaki yataklı sonlandırma rulmanları ile Şekil 3.23'teki gibi montajı tamamlanmıştır.



Şekil 3.23 Z eksenli hareket vidalı mil ve somunu montajı

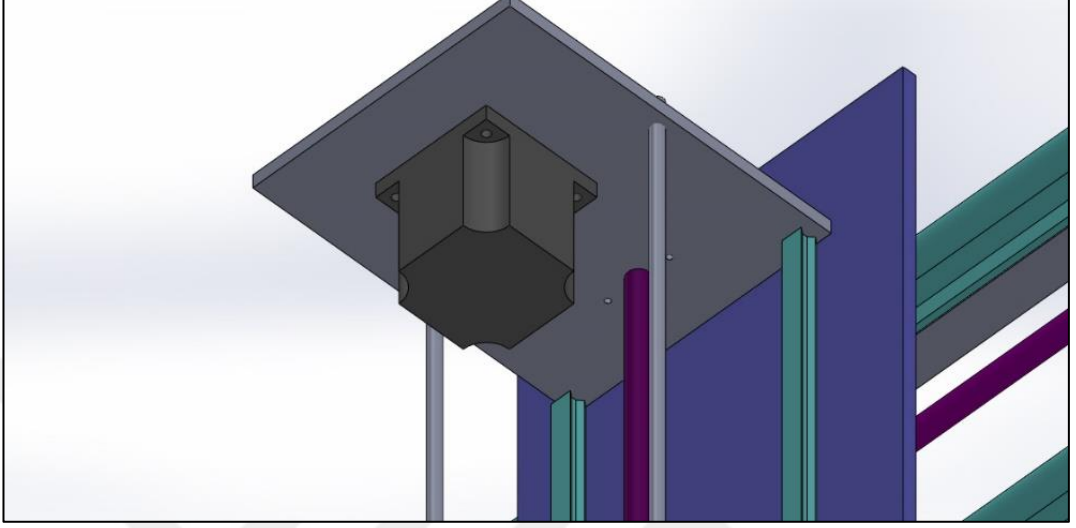


Şekil 3.24 Z eksenli bilyeli somun montajı



Şekil 3.25 Z eksenli vidalı mil rulman montajı

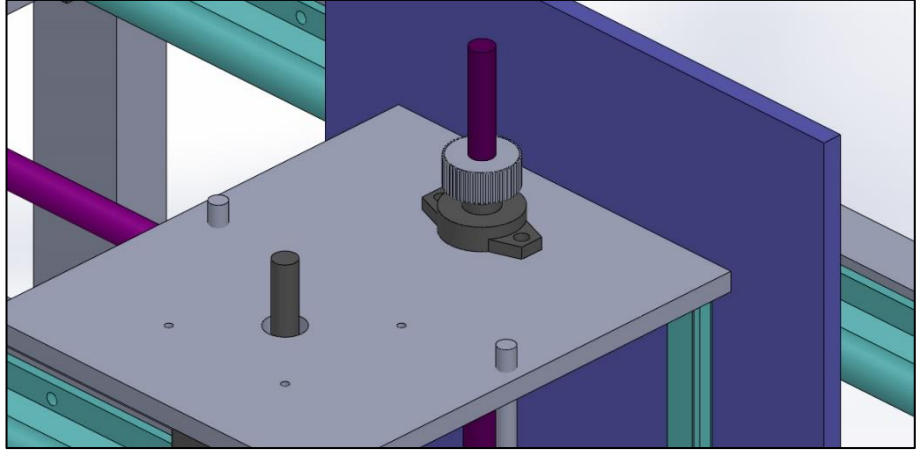
Milin döndürme hareketini sağlayacak sürücülü step motor Şekil 3.26'daki gibi M5x30 cıvatalarla tablaya sabitlenmiştir.



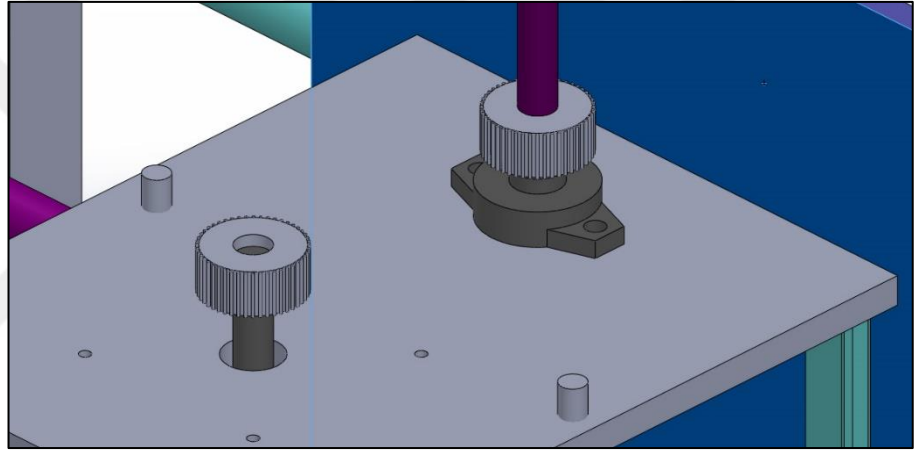
Şekil 3.26 Z eksen Step Motor Montajı

3.1.1.6 Her İki Eksen Tahriki için Dişli Çark ve Dişli Kayış Sistemi

Step motor hareketini vidalı mil eksenine aktarmak için Şekil 3.29 ve Şekil 3.31'deki dişli kayış-kasnak mekanizması kullanılmıştır. Bu hareketin iletilmesindeki devir kaybını önlemek için eşit çapta dişli kasnak kullanılmıştır. Hareket iletiminde bu mekanizmasının kullanılmasında step motorun durağan hareketinden ilk kalkış anındaki titreşimleri en aza indirmek amaçlanmıştır. Dişli kasnaklar ve dişli kayış motor mili ile vidalı mil üzerine Şekil 3.27, Şekil 3.28 ve Şekil 3.30'daki gibi sabitlenerek montajı tamamlanmıştır.



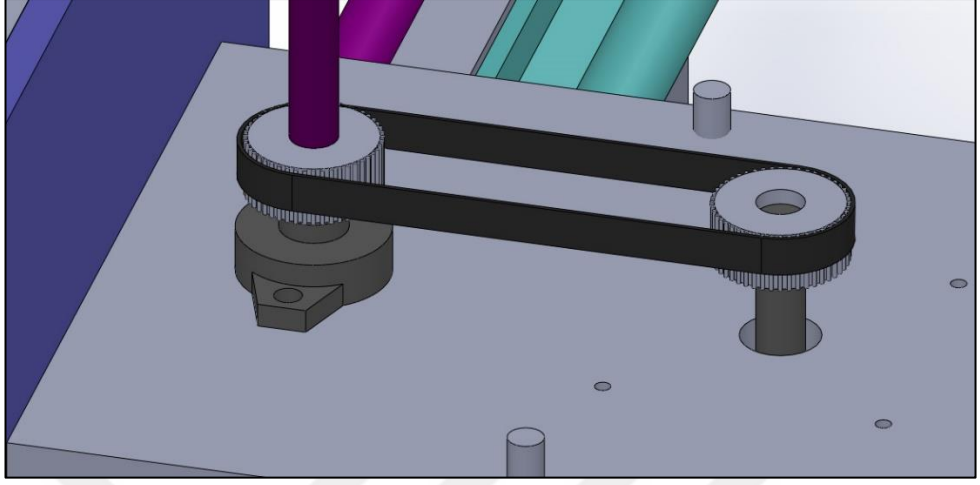
Şekil 3.27 Z ekseni dişli kasnak montajı



Şekil 3.28 Z ekseni vidalı mil dişli kasnak montajı



Şekil 3.29 Dişli kasnak yapısı

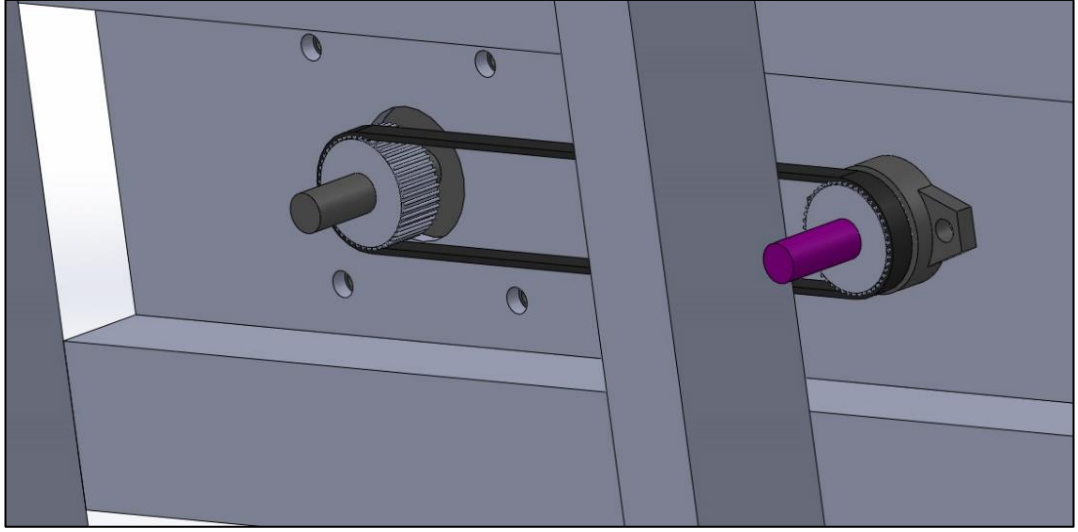


Şekil 3.30 Z eksenli dişli kayış montajı



Şekil 3.31 Dişli kayış yapısı

Aynı işlem Şekil 3.32'deki gibi X eksenli hareket mekanizmalarına da uygulanmış ve mekanik sistem montajı bitirilmiştir.

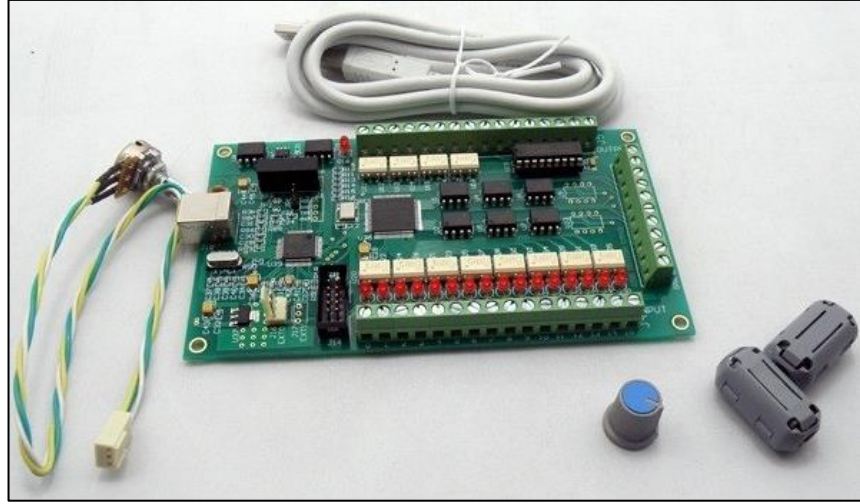


Şekil 3.32 X eksen dişli kayış montajı

3.1.2 Elektronik Sistem Tasarımı ve Kullanılan Malzemeler

3.1.2.1 Üç Eksen USB Kontrol Kartı

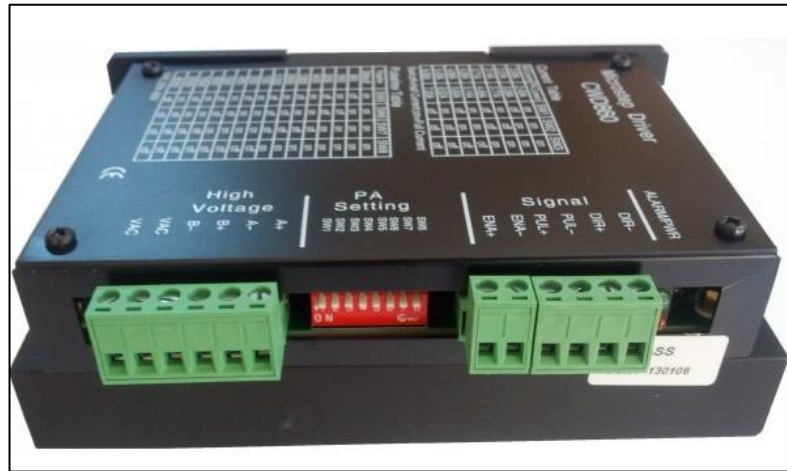
Üç eksen USB kontrol kartı SILAR cihazı ile bilgisayarın USB girişinden otomasyon sistemi arasındaki veri aktarımını sağlayabilmek amacıyla kullanılan üzerinde sensör ve veri girişleri bulunan standart bir kontrol ünitesidir. SILAR deneyleri yapılırken beherlerin koordinatlarına göre motorların dönüşünü ve referans koordinatın yerini ayarlayan ayrıca bütün elektronik aksamla devamlı haberleşme halinde olarak bilgisayar programına gönderen donanımdır (Şekil 3.33). Kontrol kartının toplam 16 adet veri girişi ve 10 adet veri çıkışı bulunmaktadır. Cihazın 2 hareket eksen olduğu için 1 eksen girişi boş bırakılmıştır.



Şekil 3.33 USB kontrol kartı

3.1.2.1 Step Motor Sürücüsü

Motor sürücü devreleri özellikle step motorların enerji beslemesini ayarlayarak dönme frekansını, adım yönünü ve açısal hızı gibi değerleri kontrol eden elektronik devrelerdir (Acar 2015). SILAR cihazının istenilen koordinatlara ilerlemesini sağlayan vidalı milin dönüş yönünü tur sayısını kontrol kartından aldığı veriler sayesinde step motorlara akım göndererek sıfır hata ile motoru sürer. Cihazın iki adet eksen olduğu için iki adet sürücü devresi bulunmaktadır (Şekil 3.34).



Şekil 3.34 Step motor sürücüsü

3.1.2.1 Kumanda Panosu

SILAR cihazının elektronik sisteminin aksamaları Şekil 3.35'deki gibi tek bir panoda toplanarak çalıştırılmıştır. Kullanılan malzemeler;

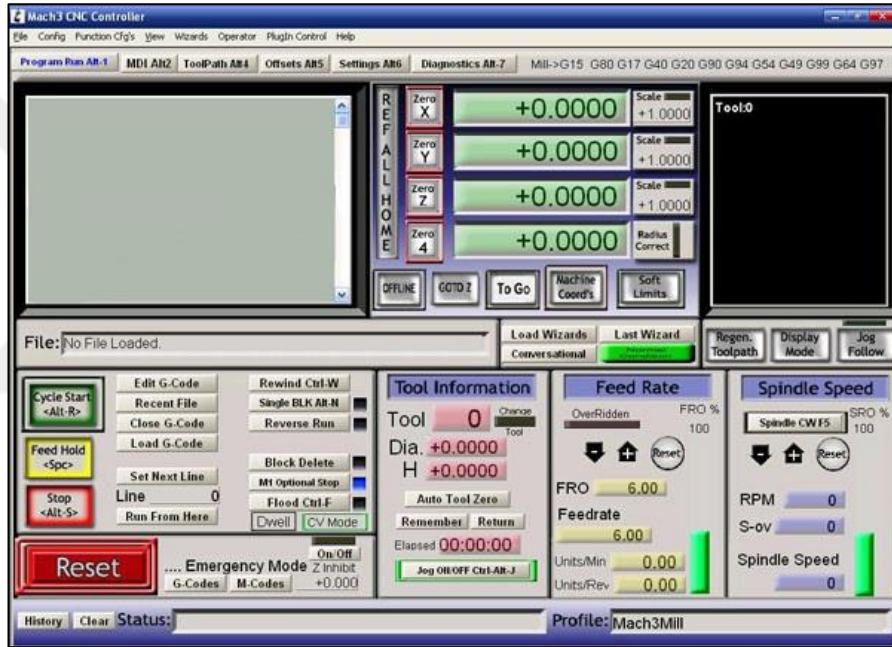
- 2 adet Motor Sürücüsü
- 1 adet USB Kontrol Kartı
- 1 adet 220 Volt Soğutucu Fan
- 1 adet Giriş 220 Volt AC, Çıkış 3x60 Volt AC Besleme Trafosu
- 1 adet Pako Şalter
- Giriş Slotları
- Yeterli uzunluk ve kesitte kablo



Şekil 3.35 Kumanda kontrol panosu

3.1.3 Otomasyon Sistemi ve Programlama

Üretimi tamamlanan SILAR cihazı referans koordinat sistemine göre ayarlanıp çalışmaya bırakılacağı bir otomasyon sistemine ihtiyaç duyulmuş ve bunun için Şekil 3.36'daki MACH3MILL paket programının demo sürümü program yöneticileri ile koordine kurularak bilgisayara kurulmuştur. Bu paket program sayesinde altlıkların iyonik çözeltileri kaç tur dolaşacağı, çözeltilerin içinde bekleme süresi, dalma ve çıkma süreleri, dalma ve çıkma hızları gibi parametreler girilebilir.



Şekil 3.36 Otomasyon sistemi ara yüzü

3.2 Deneyin Yapılışı

Montajı ve otomasyon sisteminin kalibrasyonları tamamlanan SILAR cihazının tutucularına sabitlenen cam lameller üzerine CdO yarı iletken ince filminin büyütülmesi için deney hazırlıklarına başlandı.

3.2.1 Cam Altlıkların Hazırlanması

Deney için kullanılacak 15mm x75mm x1mm cam altlıklar %20' lik sülfürik asit içerisinde 5 dakika bekletilerek ultrasonik banyoda temizlendi. Daha sonra deiyonize su içerisine alınarak tekrar ultrasonik banyoda 5 dakika tutularak oda sıcaklığında kurumaya bırakıldı. Kuruma bittikten sonra hassas terazide tartıldı. Daha sonra cam altlıklar numara verilerek SILAR cihazının tutucularına bağlandı.

3.2.2 Çözeltilerin Hazırlanması

Taban malzeme üzerine CdO büyütmek için tuz olarak $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ (Kadmiyum Nitrat) kullanılmıştır. 12 adet 0,1 M 50ml $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ (Kadmiyum Nitrat) çözeltisi hazırlanmıştır. En iyi birikmedeki pH değerini gözlemlemek için ilk önce pH 11 ile 12,1 arasında 0,1 artışla 12 adet 50 ml çözelti hazırlanmıştır. İkinci deneyde farklı tur sayısında farklı kalınlıklar elde etmek için çözelti olarak 6 adet 50ml deiyonize suya $\text{NH}_4(\text{OH})$ (Amonyum Hidroksit) pH 11,5 olana kadar eklenerek hazırlanmıştır. Çözeltiler karıştırıcıda homojen hale getirilmiştir.

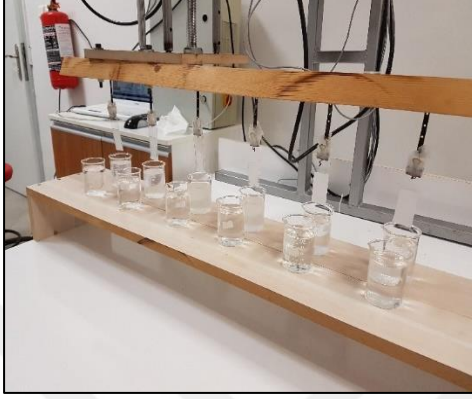
3.2.3 Deney

İlk deneyde CdO değişken tur sayısına göre büyütülmüş ve tur sayısının etkisi gözlemlenmiştir. Altlıklar 5,10,15,20,25,30 ve 35 turda büyütülmüştür.

İkinci deneyde ise değişken pH ortamındaki büyüme gözlemlenmiştir. 12 adet beher içerisinde bulunan 50 ml deiyonize suya sırasıyla pH 11 den başlayarak 0,1

artışla pH 12 oluncaya kadar NH_4OH eklenmiş ve optimum pH değeri araştırılmıştır. Bu deneyde büyütme 20 turla sınırlandırılmıştır.

Elde edilen numunelere 200 °C deki fırında 1 saat süreyle tavlama yapılmıştır.

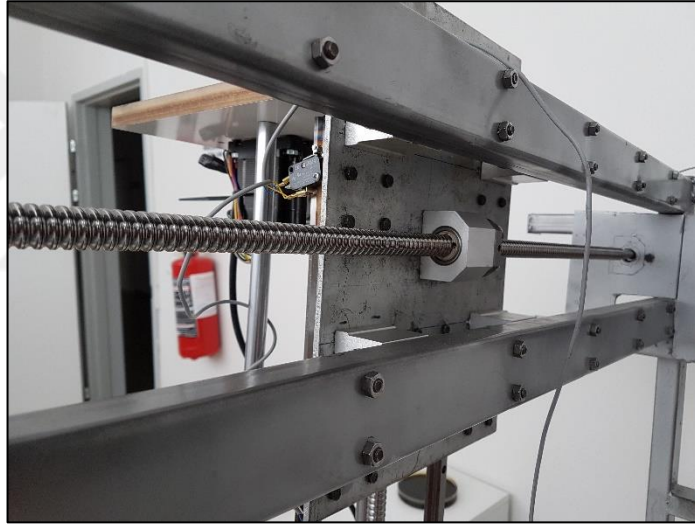


Şekil 3.37 Deney seti

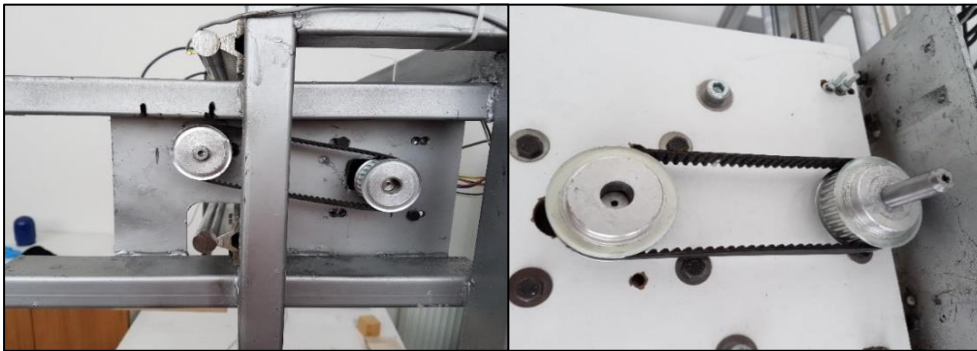
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 SILAR Cihazı Üretiminin Tamamlanması

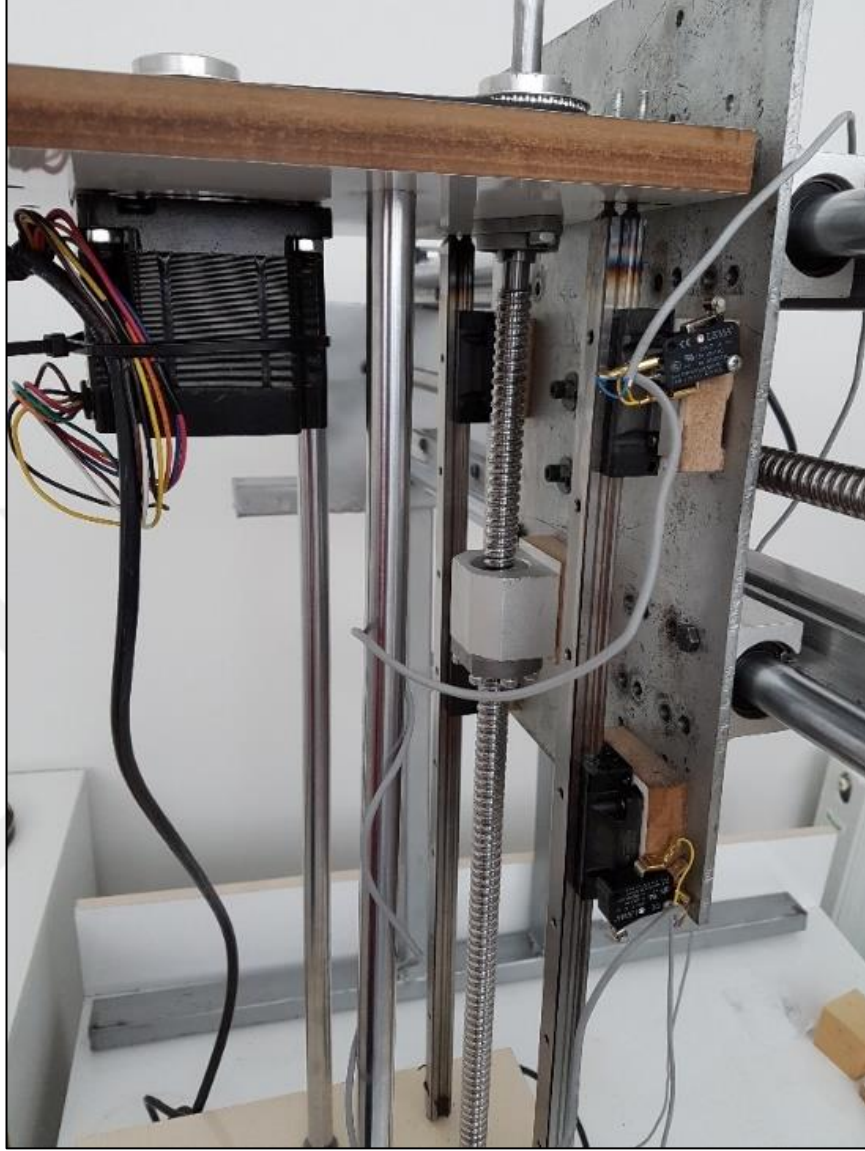
Tasarlanan SILAR cihazı teknik çizimlere uygun olarak birleştirilerek son montaj haline getirildi. Tasarımı ve üretimi tamamlanarak bilgisayar kontrolü ile iyileştirilmiş SILAR cihazı test aşaması için hazırlanmıştır. Cihazın performansını denemek amacıyla kamera kaydına alınarak 500 tur sayısı ile ilk büyütme yapılmıştır. Bu çevrim 10:26:37 süresinde tamamlanmıştır. Cihazın çalışma uzayı içerisinde bulunan bütün koordinatlara ulaşabildiği yapılan testlerde anlaşılmıştır.



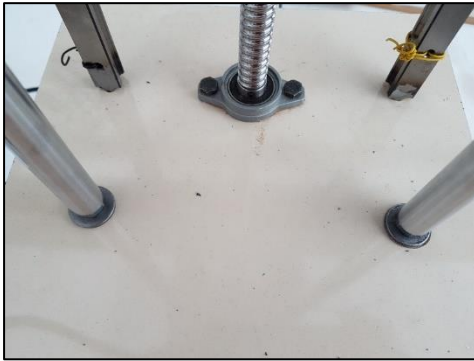
Şekil 4.1 X eksenli hareket mekanizmaları



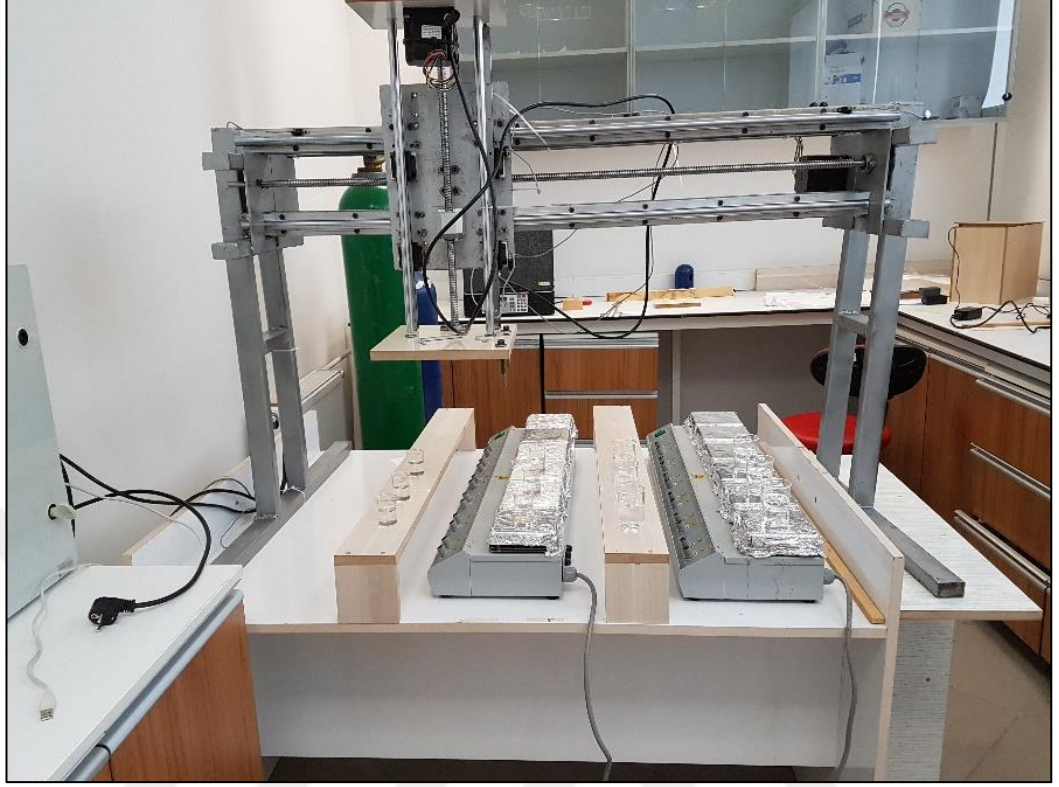
Şekil 4.2 X ve Z eksenleri dişli kayış kasnak mekanizmaları



Şekil 4.3 Z eksenli hareket mekanizmaları



Şekil 4.4 Sonlandırma rulmanları



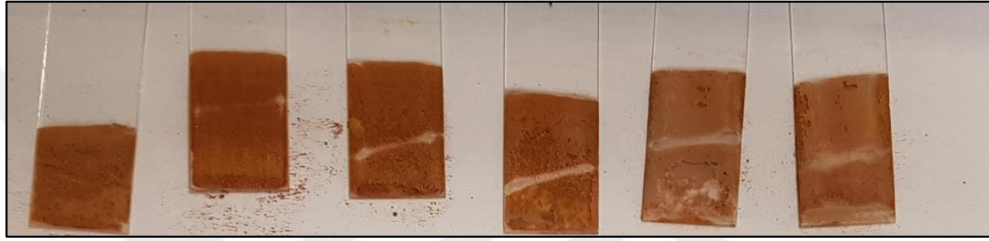
Şekil 4.5 SILAR cihazı çalışma uzayı



Şekil 4.6 CdO ince film deney düzeneği

4.2 Deney Sonuçları

İnce film halinde büyütülen CdO 200 °C'deki fırında tavlanarak hassas terazi ile büyüme miktarı ölçülmüştür. Elde edilen CdO filmlerinin kalınlıkları gravimetrik ağırlık farkı yöntemiyle hesaplandı. Bu yöntemin temeli ince filmlerin üzerinde biriken kütlenin birim alana oranıdır. Bu formül sayesinde filmlerin kalınlıkları hesaplanmış ve Çizelge 4.1 de 1 numaralı formülden hesaplanan filmlerin kalınlığı verilmiştir (Bulakhe *et al.* 2013).



Şekil 4.7 Farklı tur sayılarına göre üretilen CdO ince filmler

$$T = \frac{M}{\rho A} \quad (1)$$

Bu denklemde M kütle birimi gram, ρ yoğunluk ve birimi gr/cm^3 , A ise taban malzemenin yüzey alanı birimi cm^2 dir.

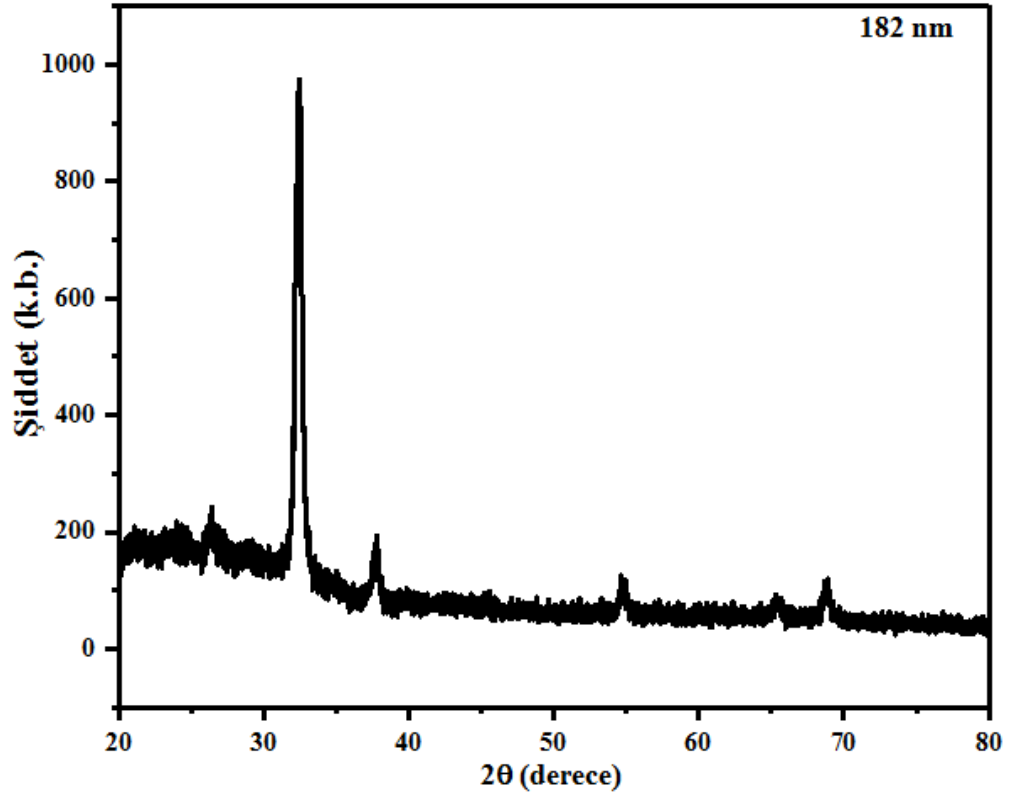
CdO kristalinin yoğunluğu $8,6 \text{ gr/cm}^3$ tür (Takgün 2016).

Çizelge 4.1 Değişken tur sayısı ile elde edilen CdO ince filmlerinin kalınlıklar

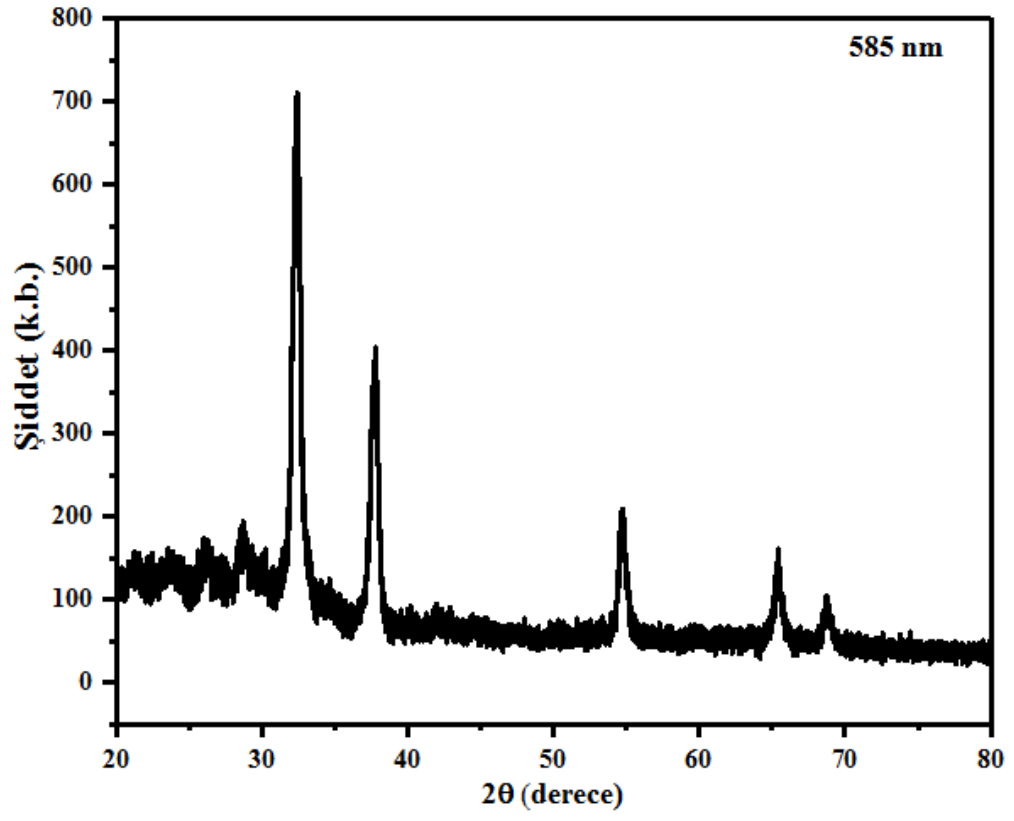
Tur Sayısı	Kalınlık (nm)
5	182
10	585
15	950
25	1183
30	1504
35	2655

Elde edilen filmlerin XRD (X-Ray Difraksiyonu), SEM (Scanning Electron Microscope) ve UV- Vis Spektrometresi ölçümleri alınarak yüzeyin morfolojik ve kimyasal özellikleri incelenmiştir.

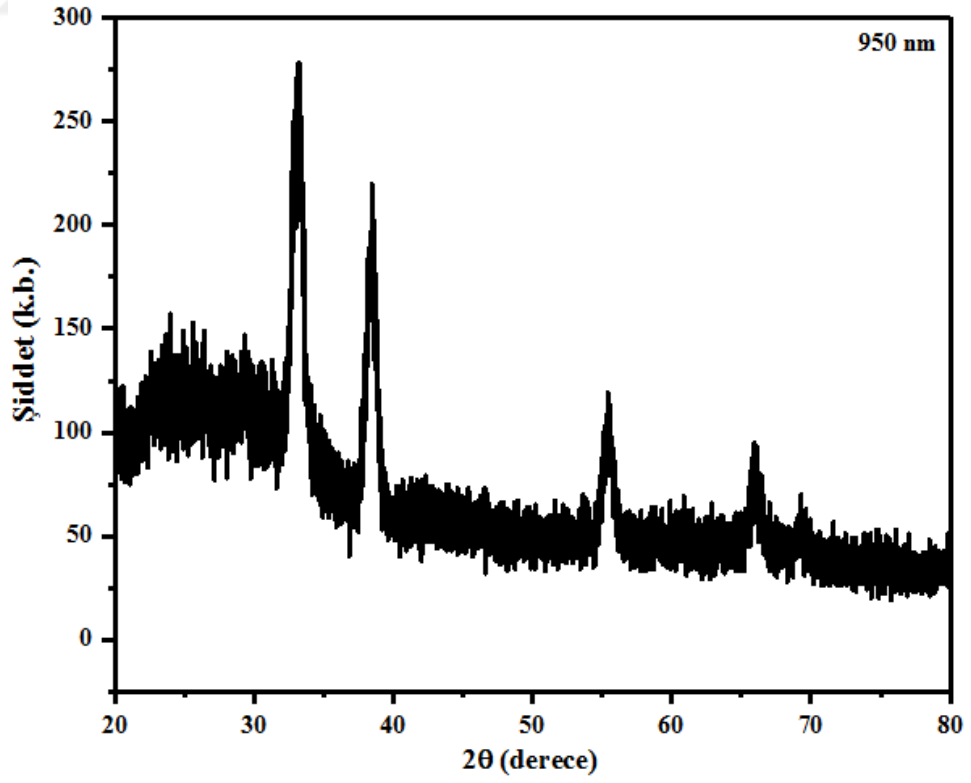
İlk deney CdO' in farklı tur sayılarında ve sabit pH (11,5) ortamında yapılmış ve tur sayısının artışıyla kalınlığın doğru orantılı bir şekilde arttığı görülmüştür.



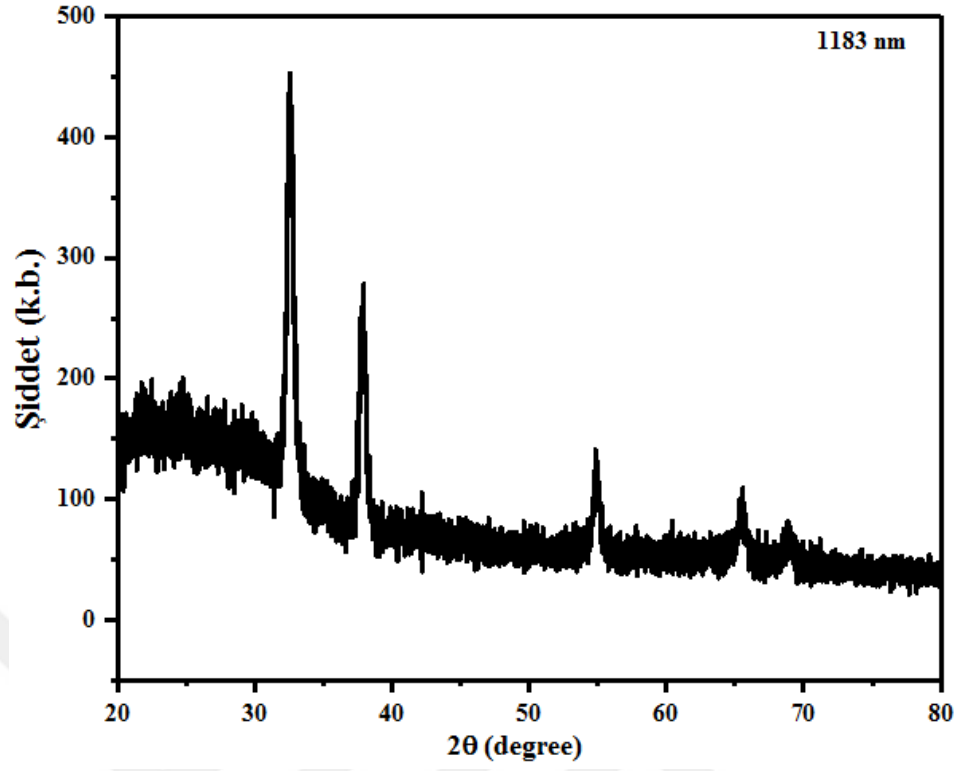
Şekil 4.8 182 nm kalınlıktaki CdO' in XRD deseni



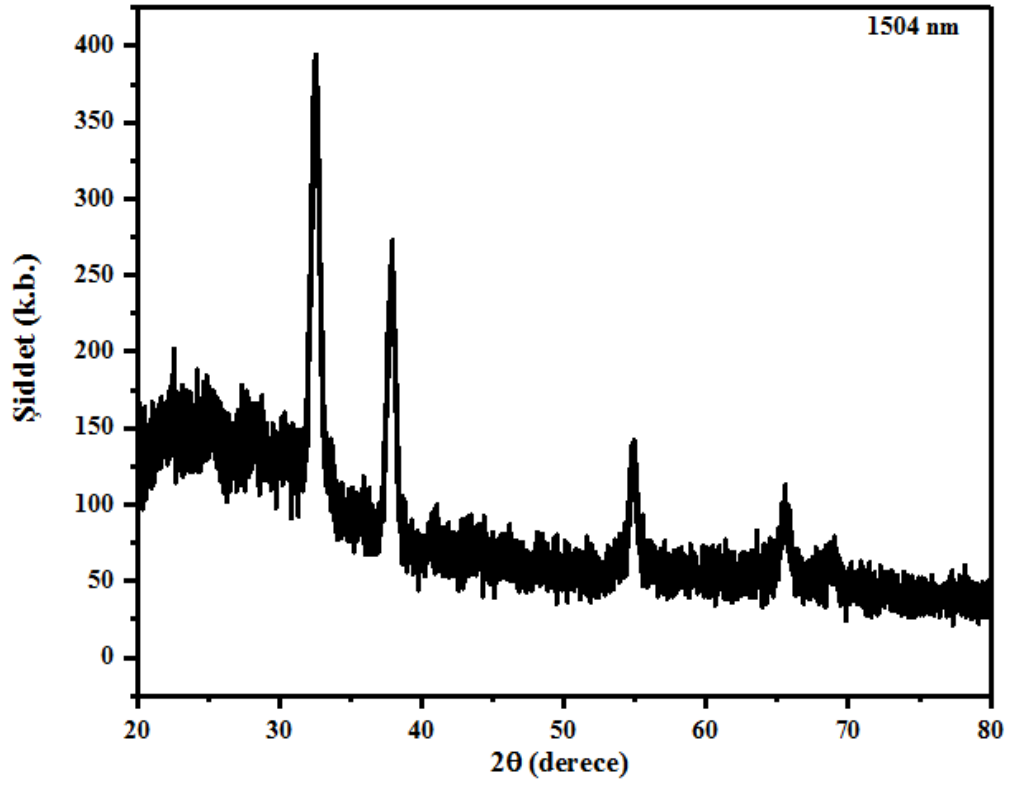
Şekil 4.9 585 nm kalınlıktaki CdO' in XRD deseni



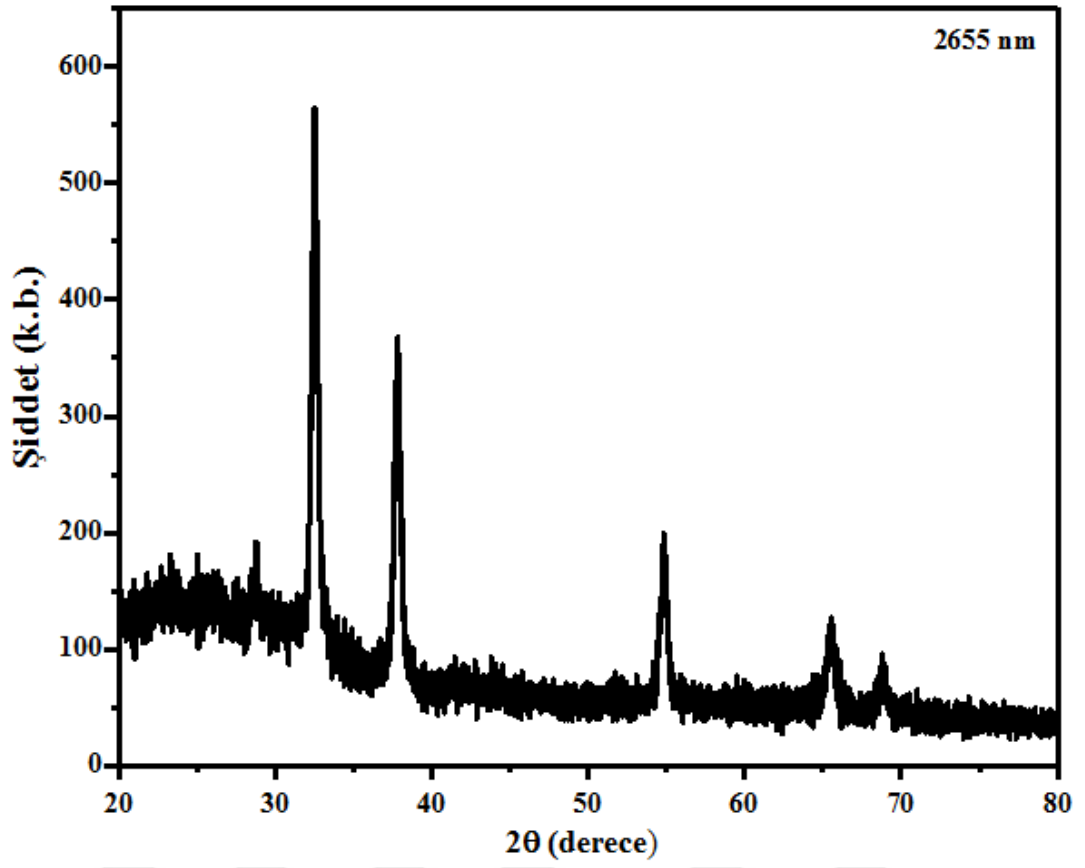
Şekil 4.10 950 nm kalınlıktaki CdO' in XRD deseni



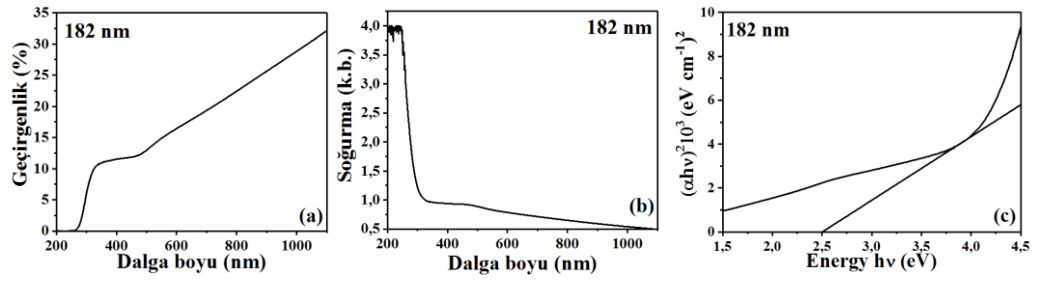
Şekil 4.11 1183 nm kalınlıktaki CdO' in XRD deseni



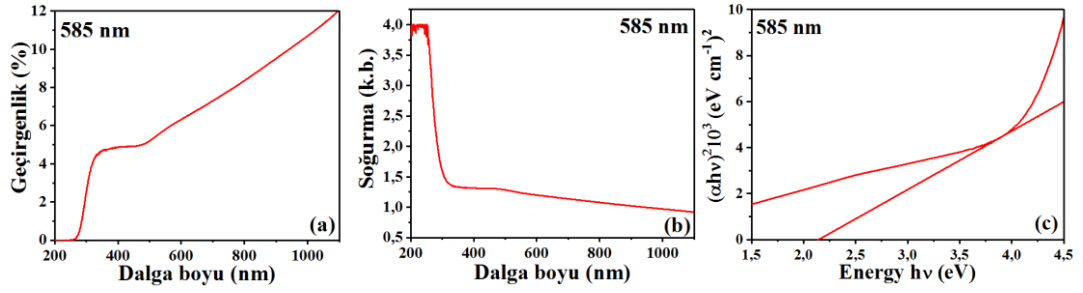
Şekil 4.12 1504 nm kalınlıktaki CdO' in XRD deseni



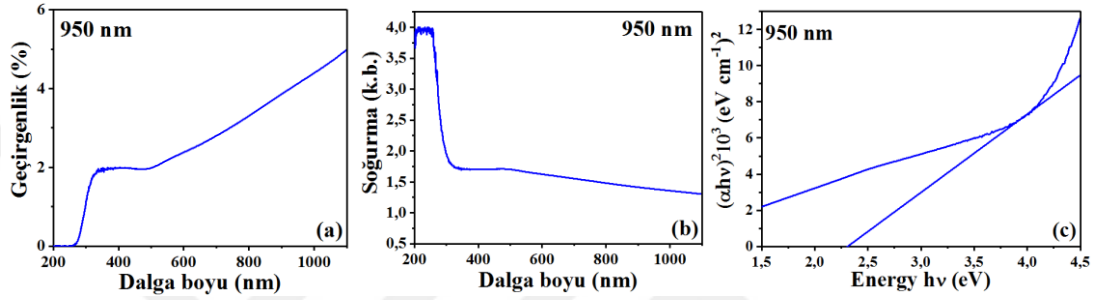
Şekil 4.13 2655 nm kalınlıktaki CdO' in XRD deseni



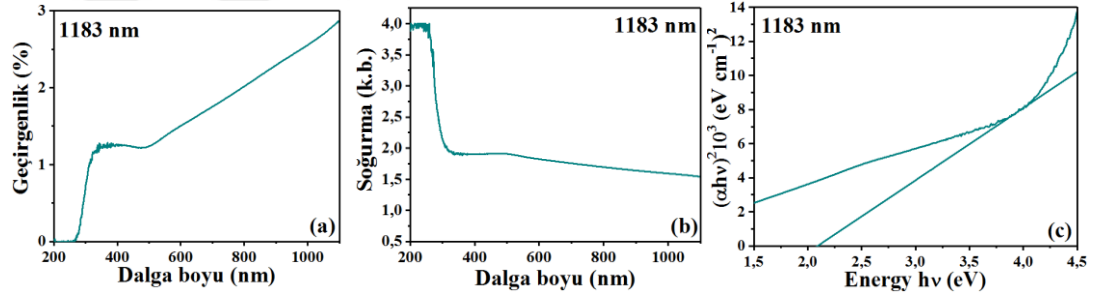
Şekil 4.14 182 nm kalınlığındaki CdO' in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri



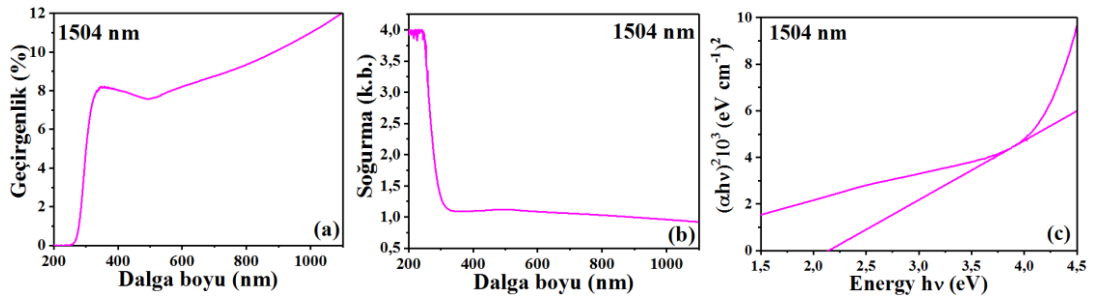
Şekil 4.15 585 nm kalınlığındaki CdO' in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri



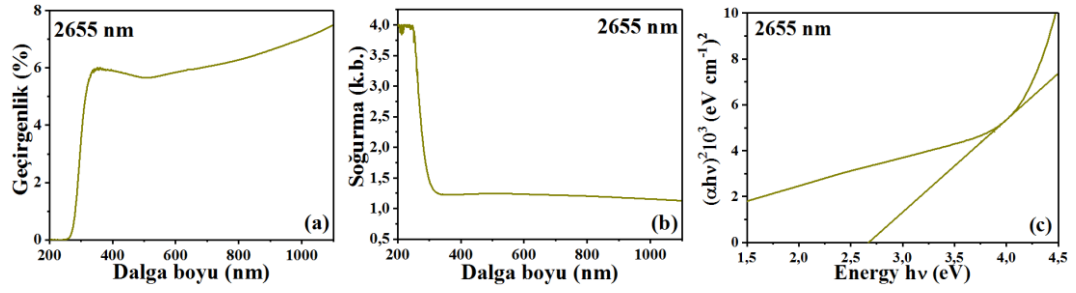
Şekil 4.16 950 nm kalınlığındaki CdO' in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri



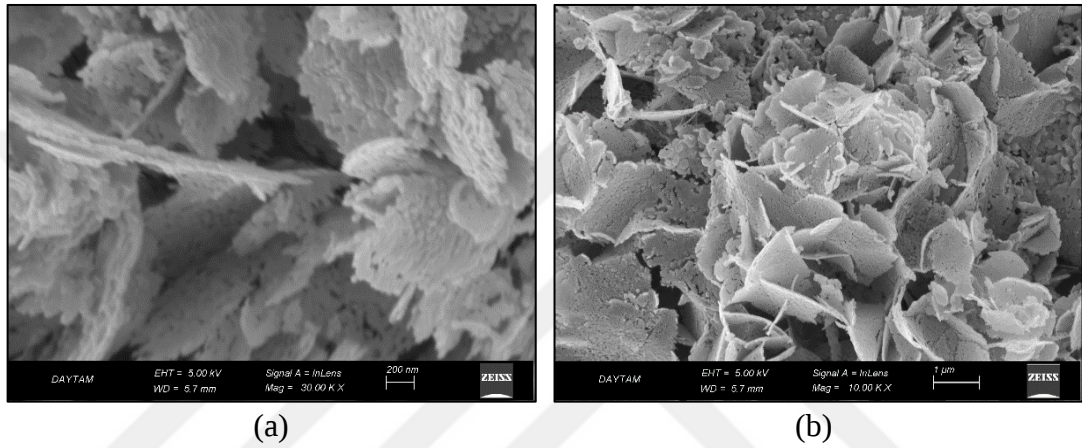
Şekil 4.17 1183 nm kalınlığındaki CdO' in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri



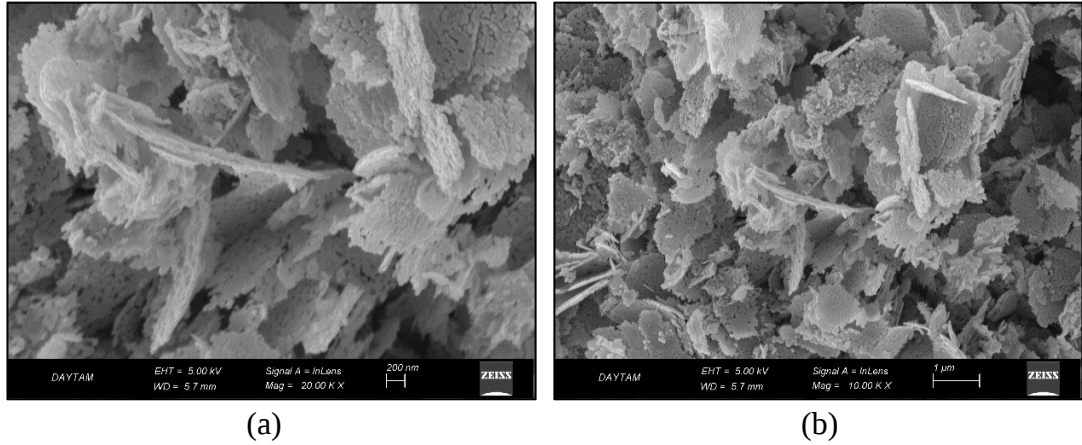
Şekil 4.18 1504 nm kalınlığındaki CdO' in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri



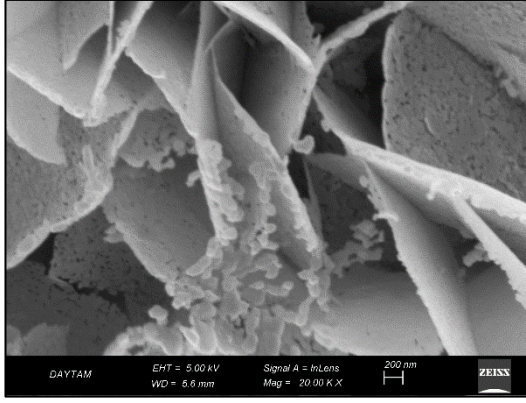
Şekil 4.19 2655 nm kalınlığındaki CdO' in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri



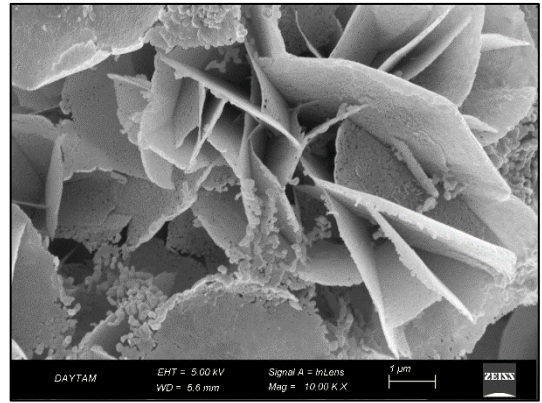
Şekil 4.20 182 nm kalınlığındaki CdO'in a) 200 nm b) 1 µm SEM görüntüsü



Şekil 4.21 585 nm kalınlığındaki CdO'in a)200 nm ve b)1 µm SEM görüntüsü

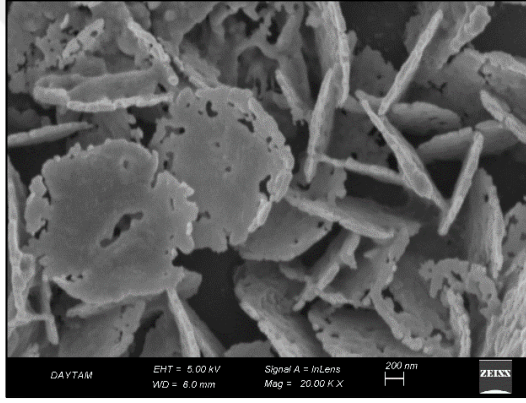


(a)

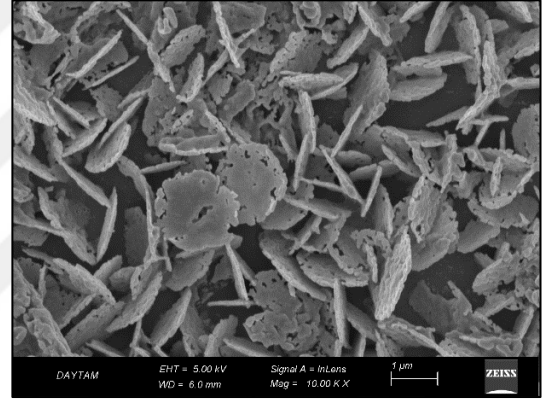


(b)

Şekil 4.22 950 nm kalınlığındaki CdO'nun a)200 nm ve b)1 μm SEM görüntüsü

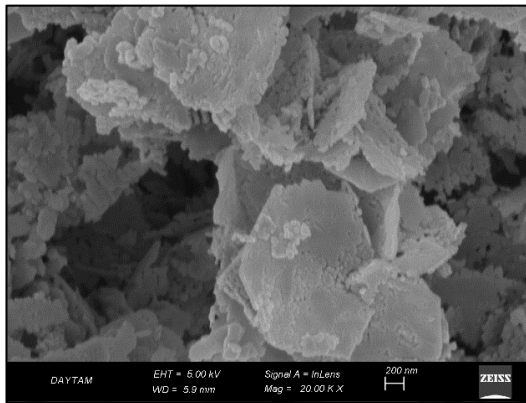


(a)

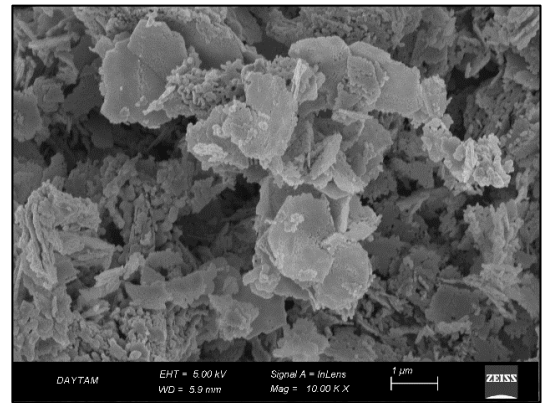


(b)

Şekil 4.23 1183 nm kalınlığındaki CdO'nun a)200 nm ve b)1 μm SEM görüntüsü

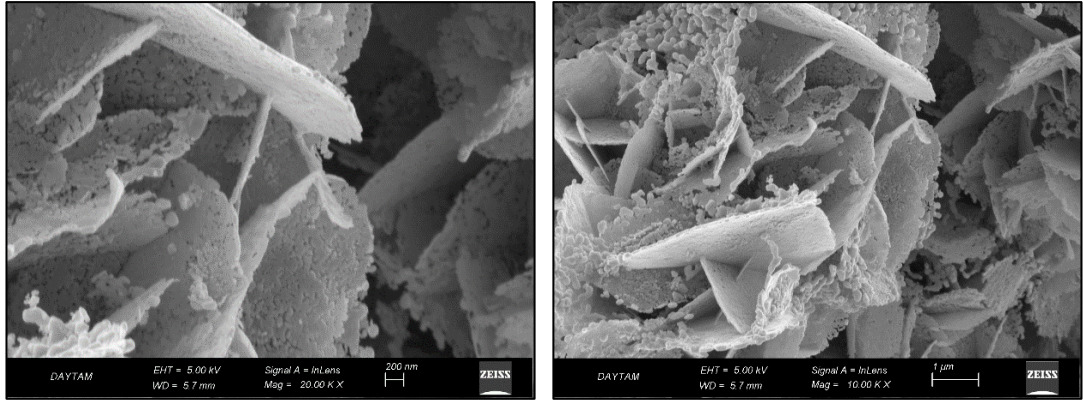


(a)



(b)

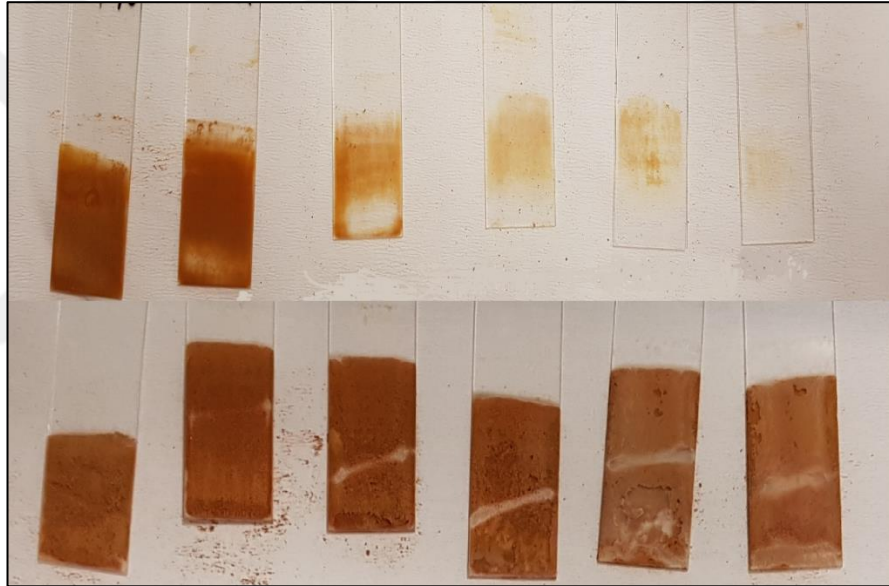
Şekil 4.24 1504 nm kalınlığındaki CdO'nun a)200 nm ve b)1 μm SEM görüntüsü



(a)

(b)

Şekil 4.25 2655 nm kalınlığındaki CdO'nun a)200 nm ve b)1 µm SEM görüntüsü

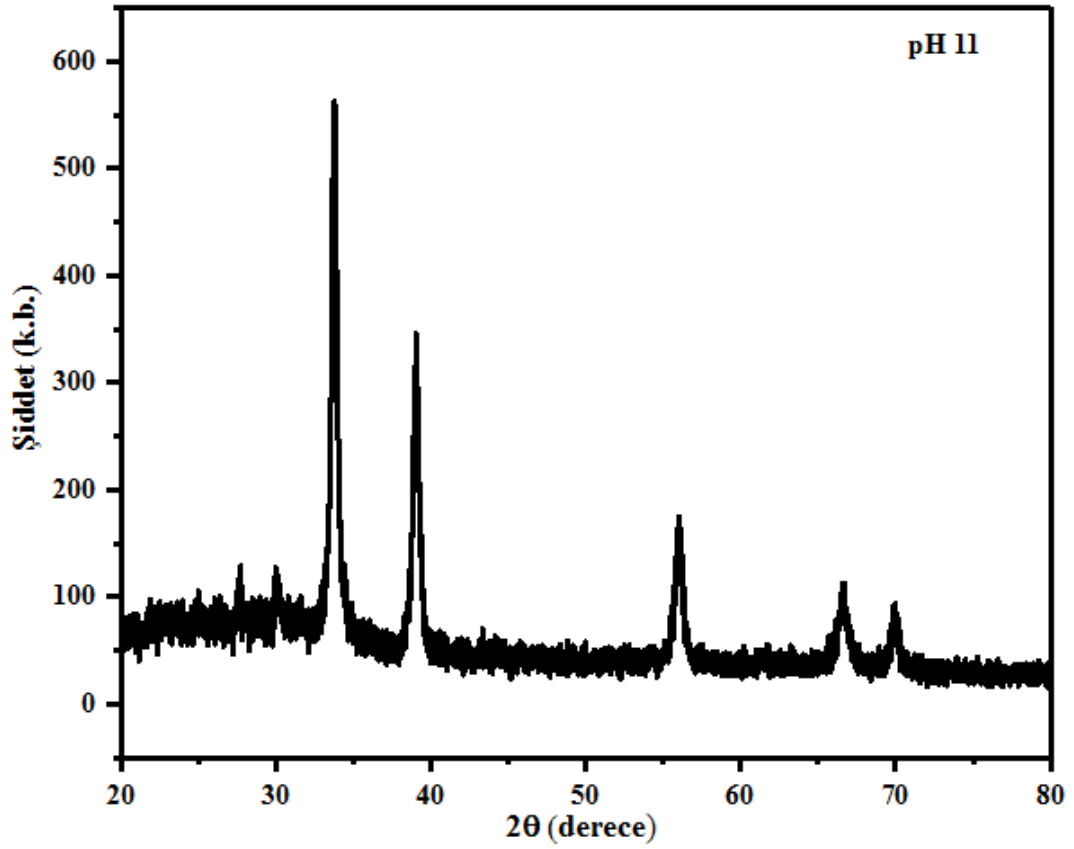


Şekil 4.26 Farklı pH değerlerinde üretilen CdO ince filmleri

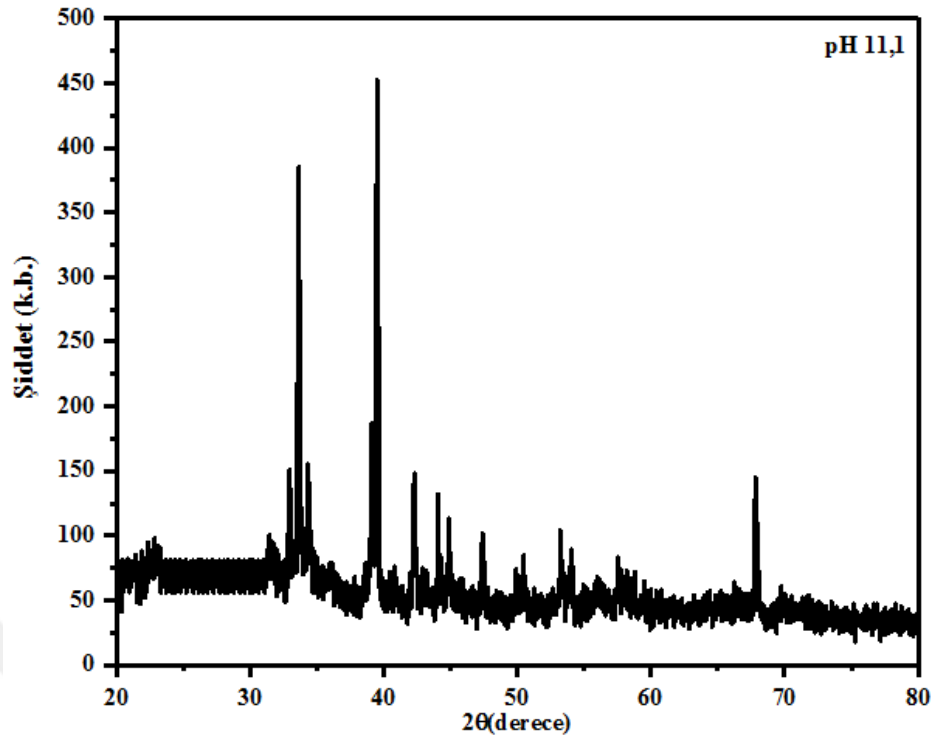
Çizelge 4.2'de 1 numaralı gravimetrik ağırlık farkı formülünden hesaplanan ince filmlerin kalınlığı verilmiştir.

Çizelge 4.2 Değişken pH ortamında elde edilen CdO ince filmlerinin kalınlıkları

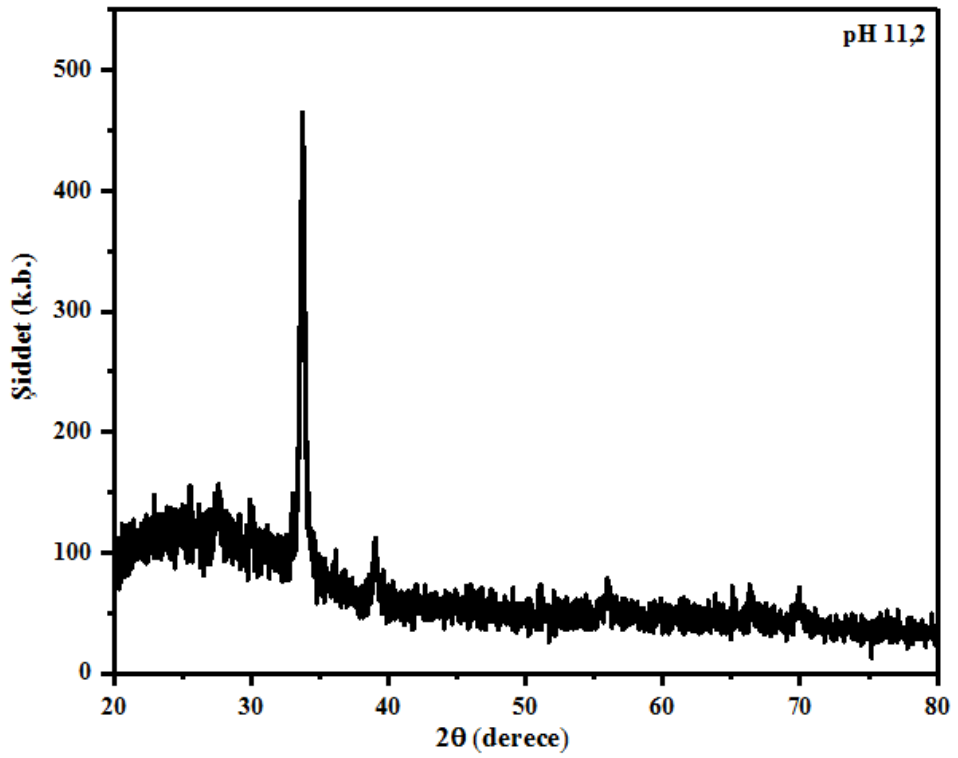
pH Değeri	Kalınlık (nm)
11	1359
11.1	1610
11.2	1220
11.3	1447
11.4	1340
11.5	1013
11.6	434
11.7	377
11.8	50
11.9	75
12	50
12.1	25



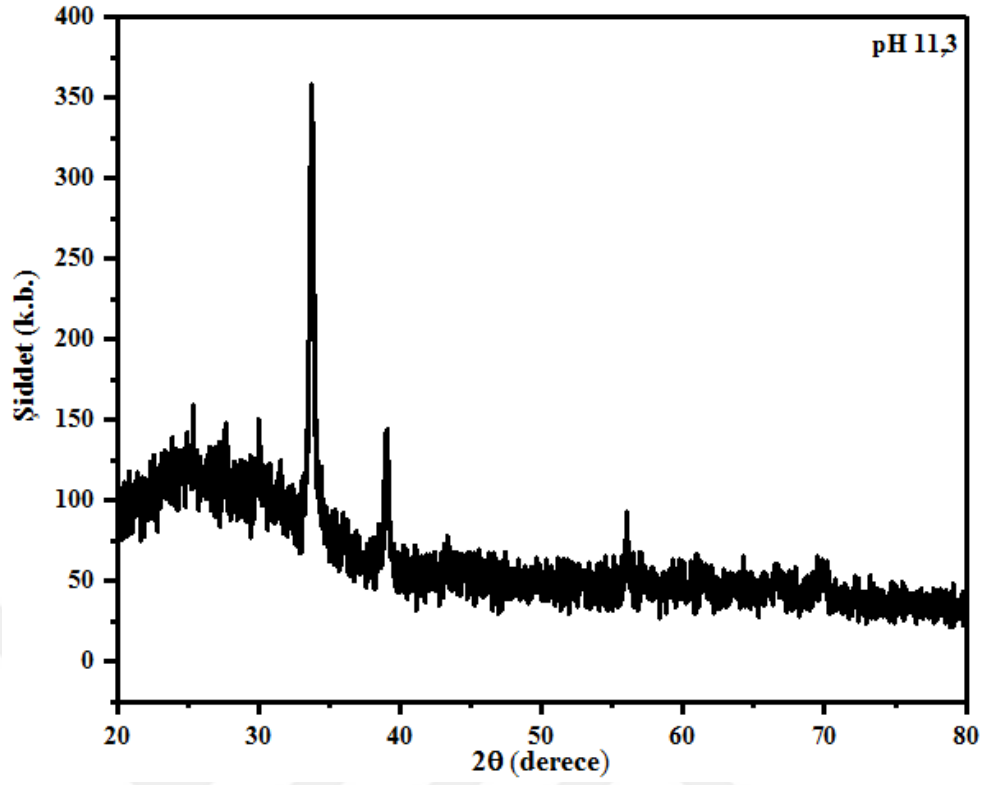
Şekil 4.27 pH 11 ortamında üretilen CdO'nin XRD deseni



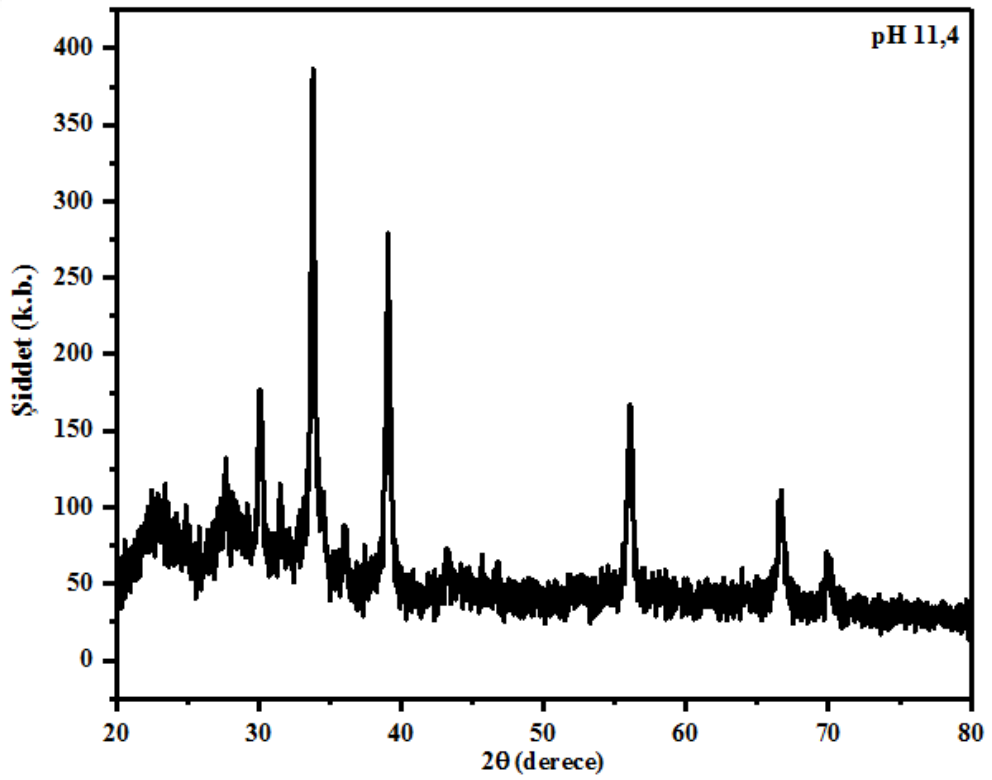
Şekil 4.28 pH 11,1 ortamında üretilen CdO'nin XRD deseni



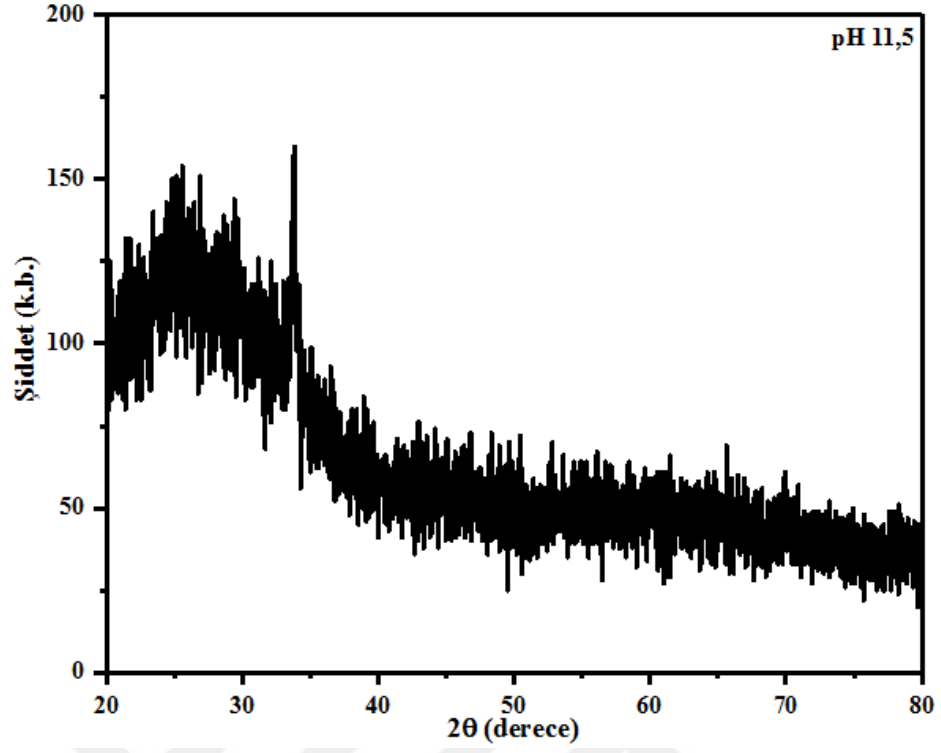
Şekil 4.29 pH 11,2 ortamında üretilen CdO'nin XRD deseni



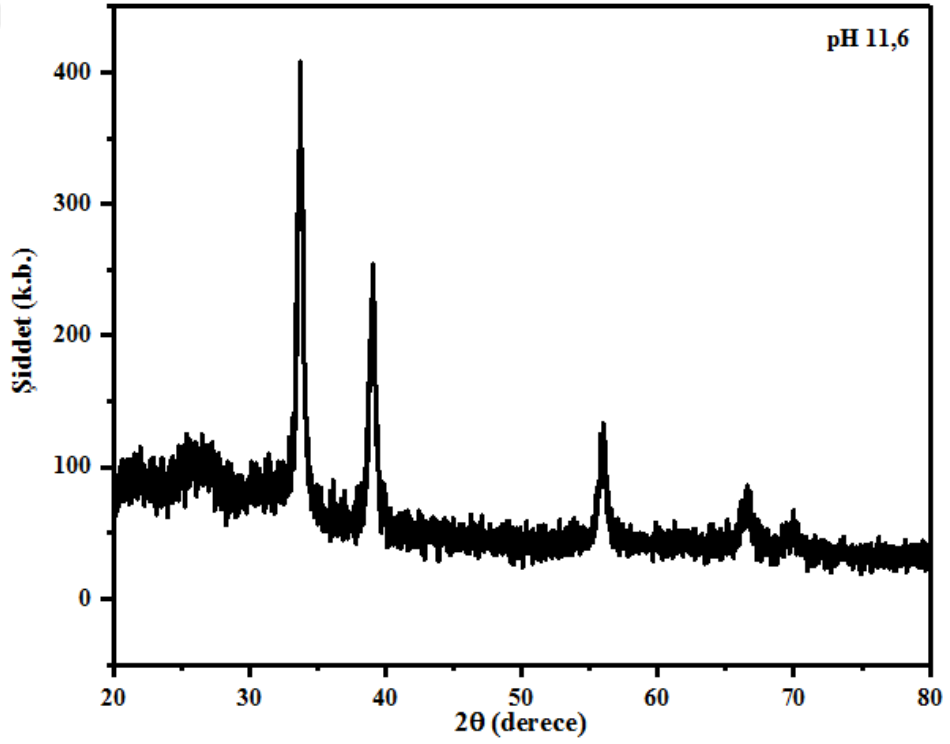
Şekil 4.30 pH 11,3 ortamında üretilen CdO'nin XRD deseni



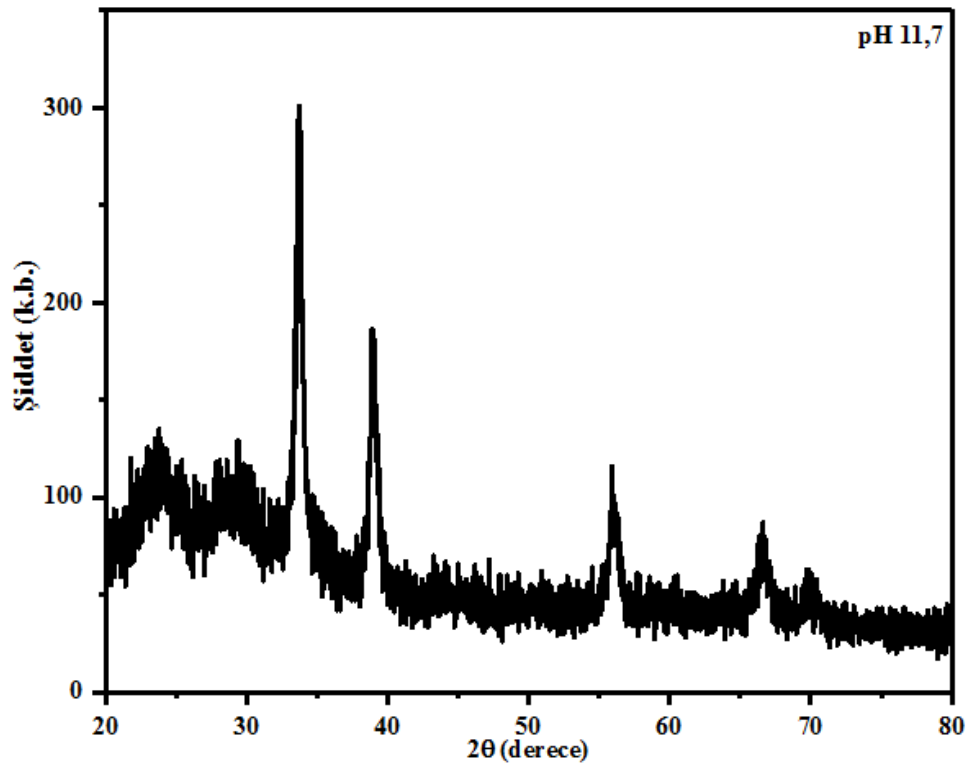
Şekil 4.31 pH 11,4 ortamında üretilen CdO'nin XRD deseni



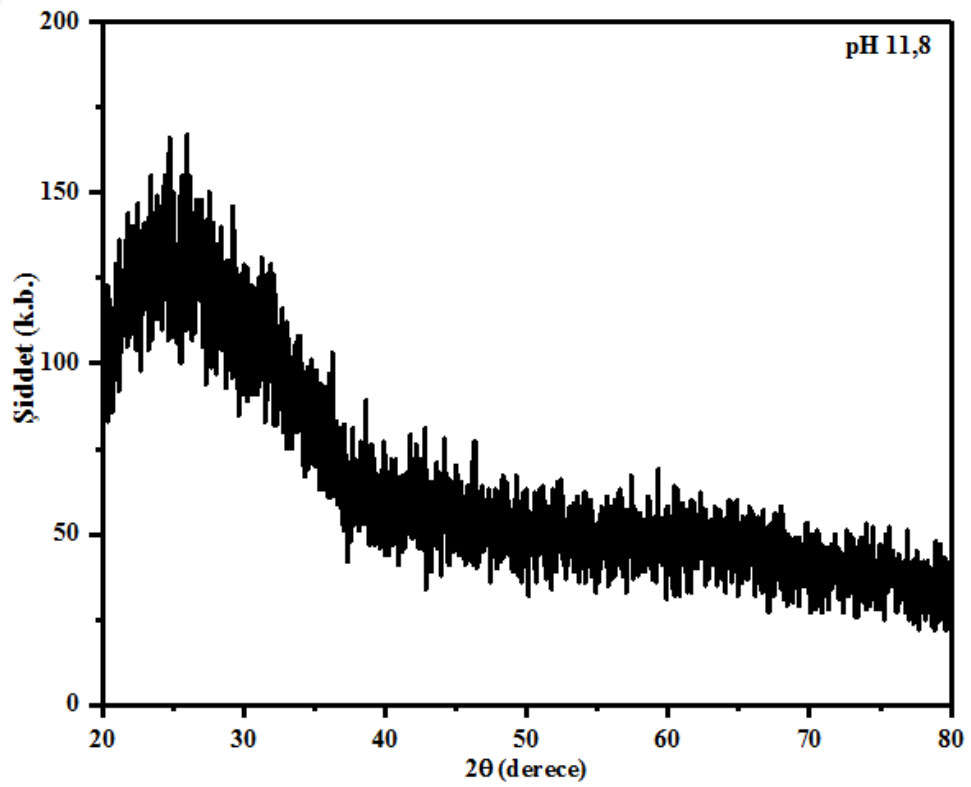
Şekil 4.32 pH 11,5 ortamında üretilen CdO'in XRD deseni



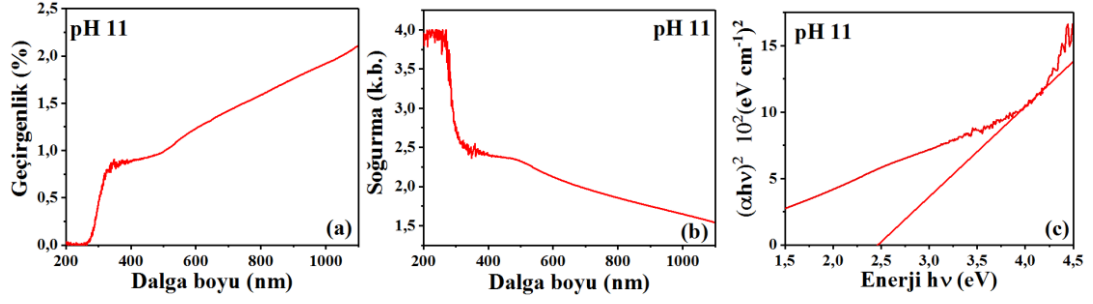
Şekil 4.33 pH 11,6 ortamında üretilen CdO'in XRD deseni



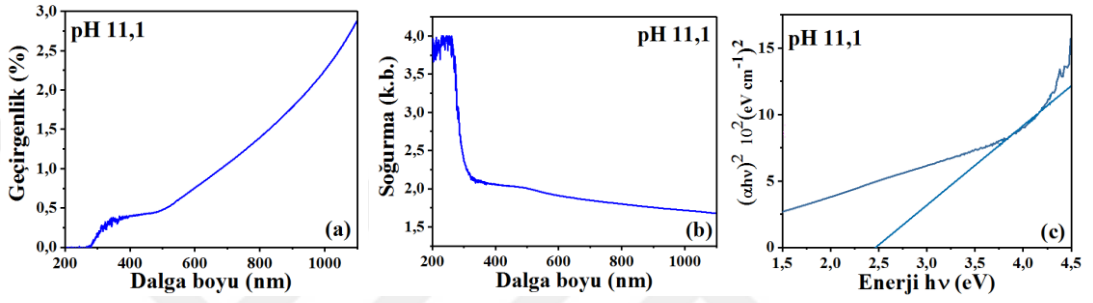
Şekil 4.34 pH 11,7 ortamında üretilen CdO'in XRD deseni



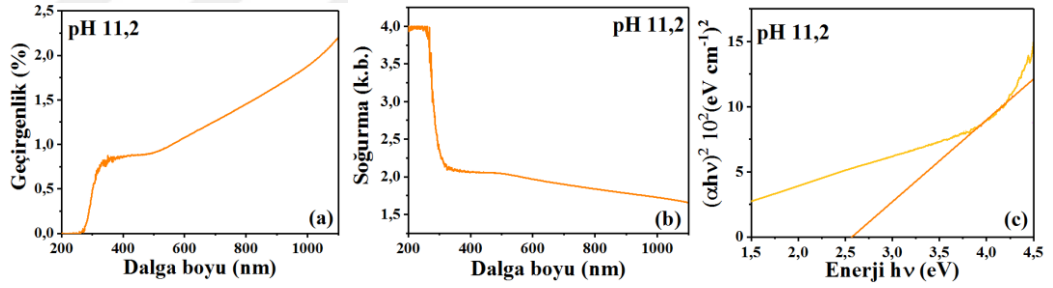
Şekil 4.35 pH 11,8 ortamında üretilen CdO'in XRD deseni



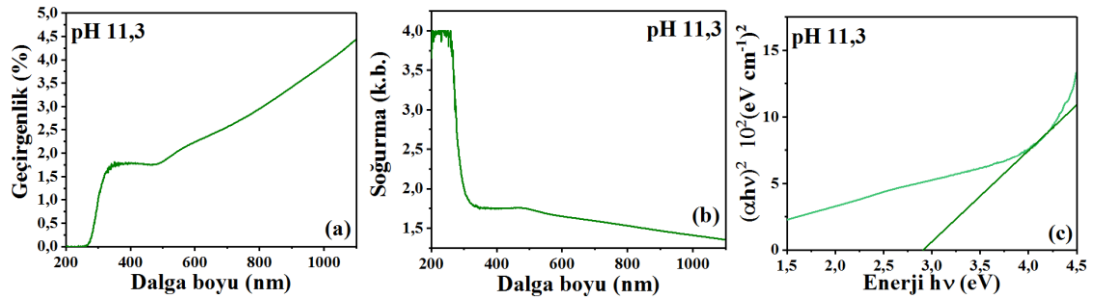
Şekil 4.36 pH 11 ortamında üretilen CdO' in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri



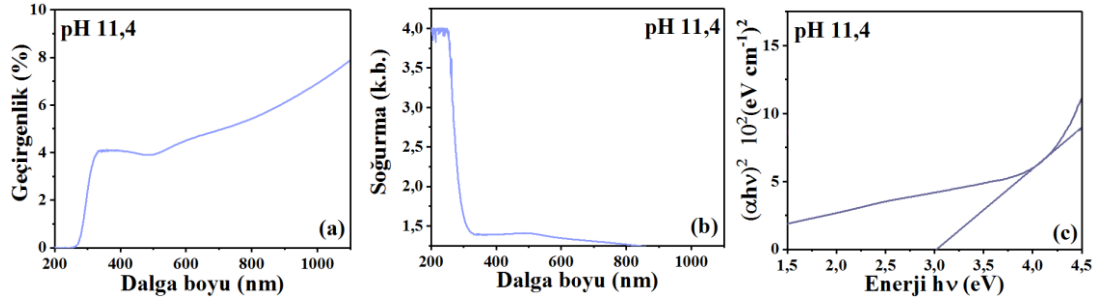
Şekil 4.37 pH 11,1 ortamında üretilen CdO'in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri



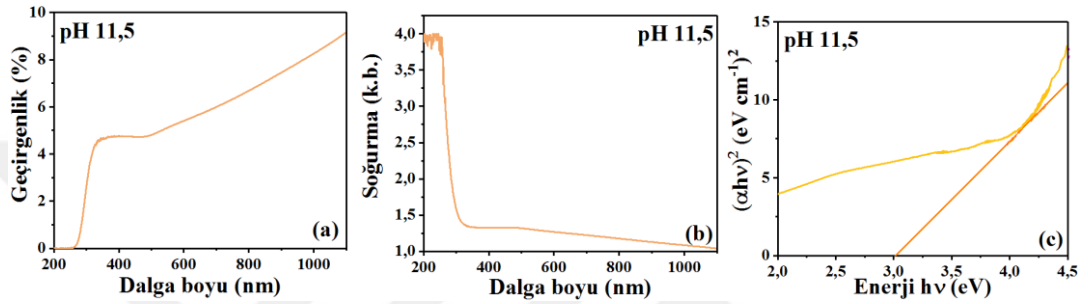
Şekil 4.38 pH 11,2 ortamında üretilen CdO' in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri



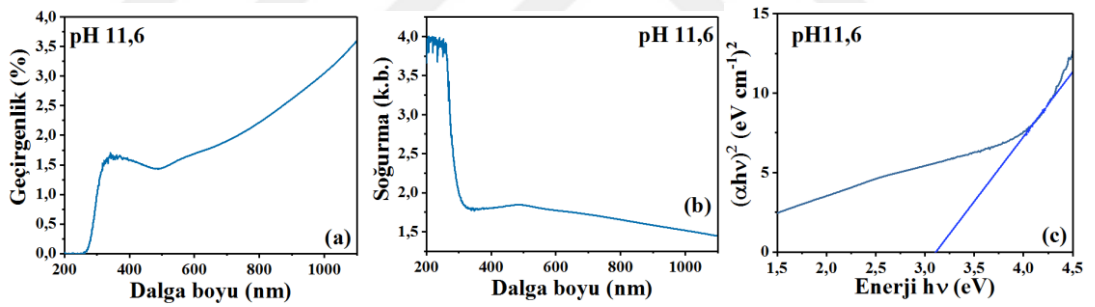
Şekil 4.39 pH 11,3 ortamında üretilen CdO' in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri



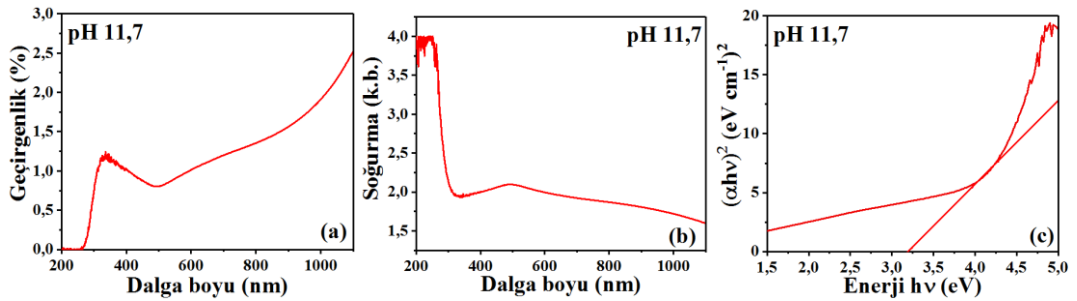
Şekil 4.40 pH 11,4 ortamında üretilen CdO' in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri



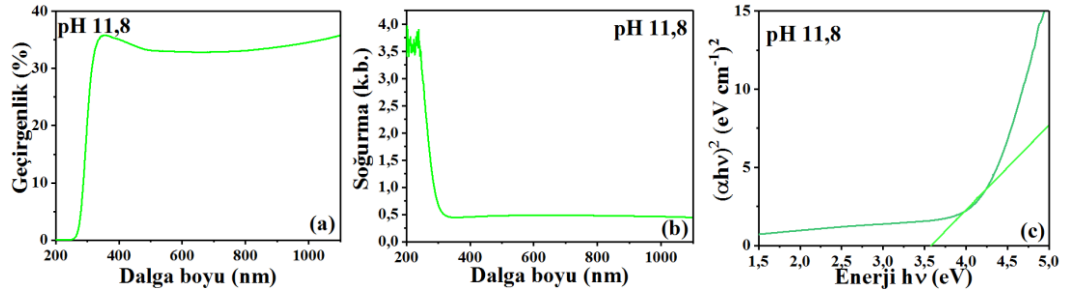
Şekil 4.41 pH 11,5 ortamında üretilen CdO' in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri



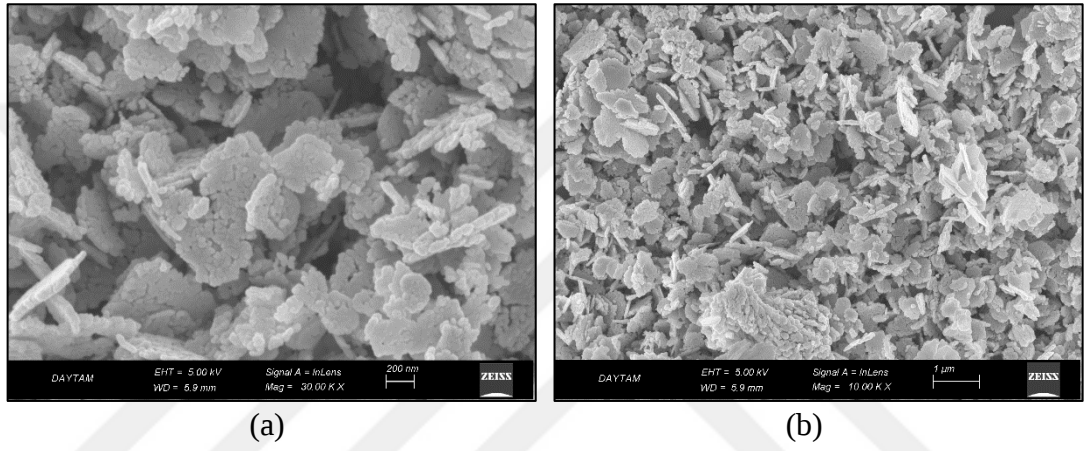
Şekil 4.42 pH 11,6 ortamında üretilen CdO' in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri



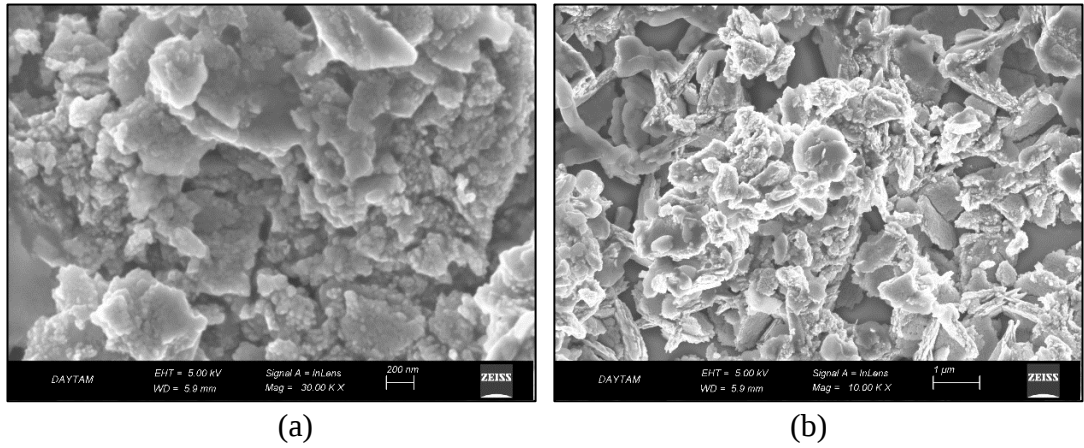
Şekil 4.43 pH 11,7 ortamında üretilen CdO' in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri



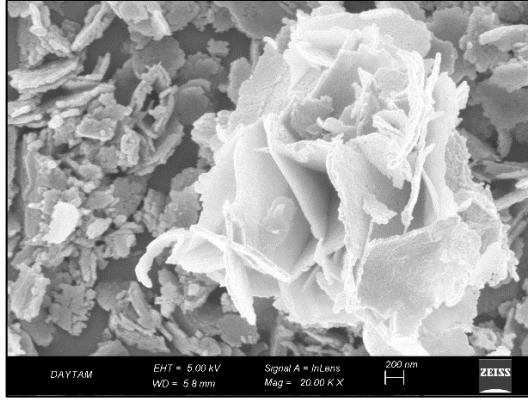
Şekil 4.44 pH 11,8 ortamında üretilen CdO' in a)Geçirgenlik b)Soğurma c)Bant aralığı grafikleri



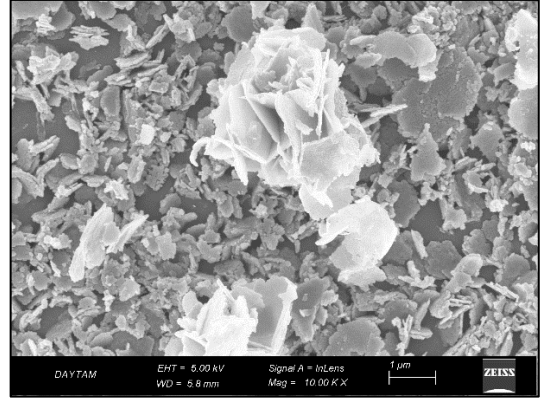
Şekil 4.45 pH 11 ortamında CdO'in 200 nm ve 1 µm SEM görüntüsü



Şekil 4.46 pH 11,1 ortamında CdO'in 200 nm ve 1 µm SEM görüntüsü

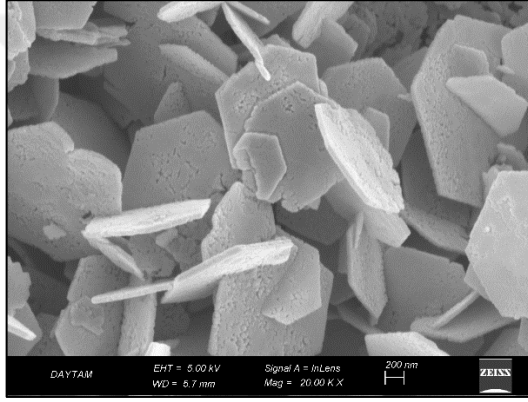


(a)

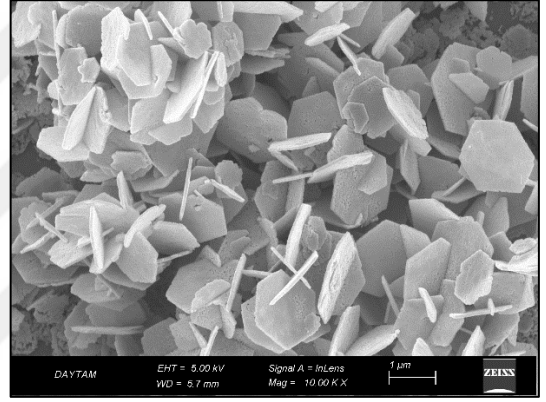


(b)

Şekil 4.47 pH 11,2 ortamında CdO'nun 200 nm ve 1 μ m SEM görüntüsü

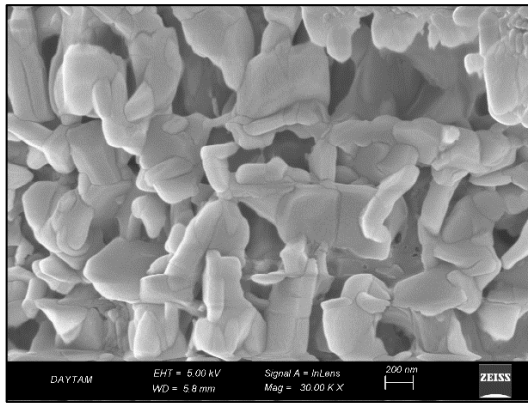


(a)

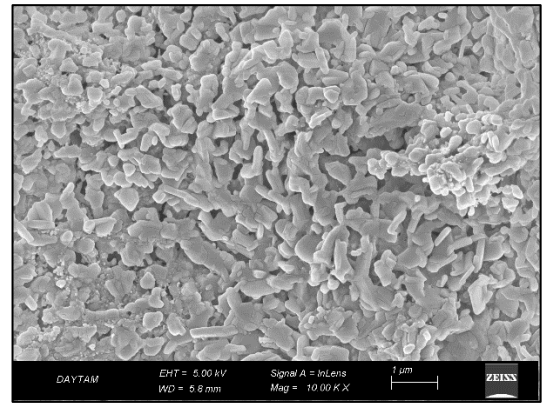


(b)

Şekil 4.48 pH 11,3 ortamında CdO'nun 200 nm ve 1 μ m SEM görüntüsü

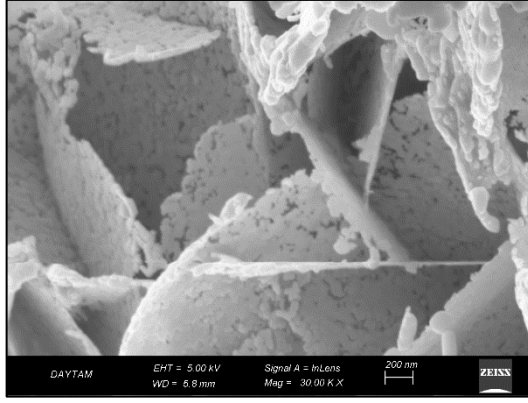


(a)

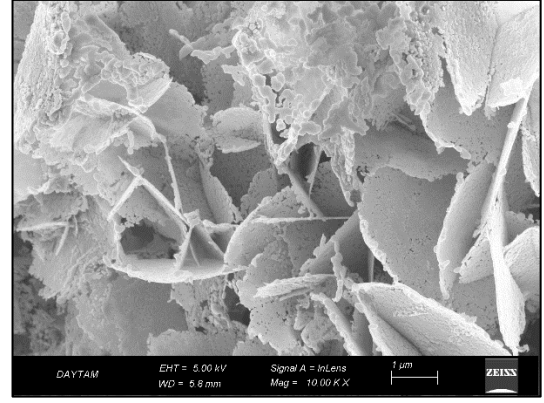


(b)

Şekil 4.49 pH 11,4 ortamında CdO'nun 200 nm ve 1 μ m SEM görüntüsü

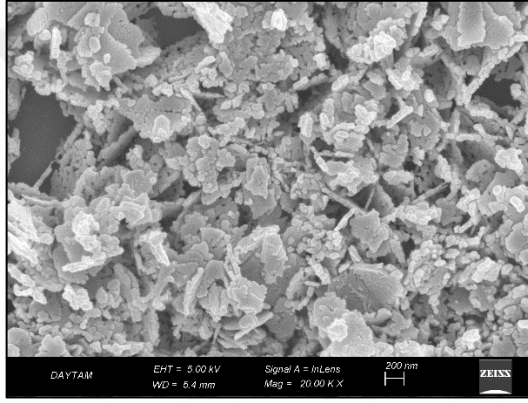


(a)

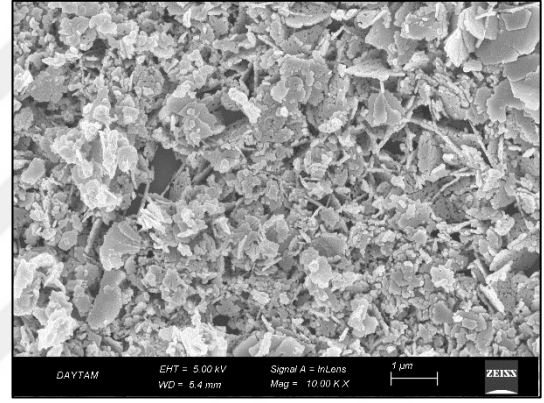


(b)

Şekil 4.50 pH 11,5 ortamında CdO'nun 200 nm ve 1 μ m SEM görüntüsü

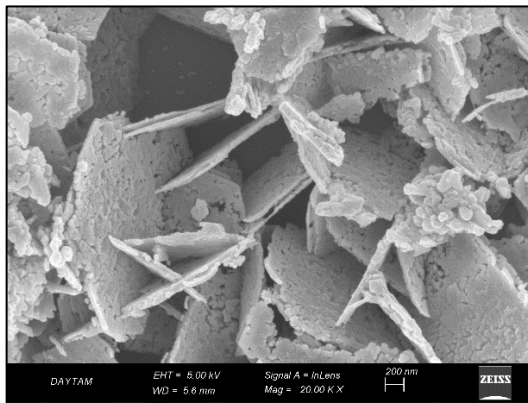


(a)

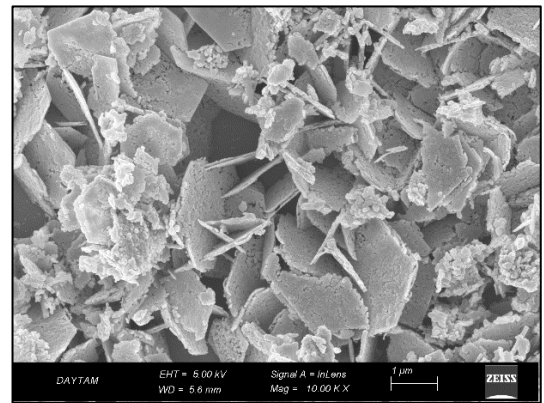


(b)

Şekil 4.51 pH 11,6 ortamında CdO'nun 200 nm ve 1 μ m SEM görüntüsü

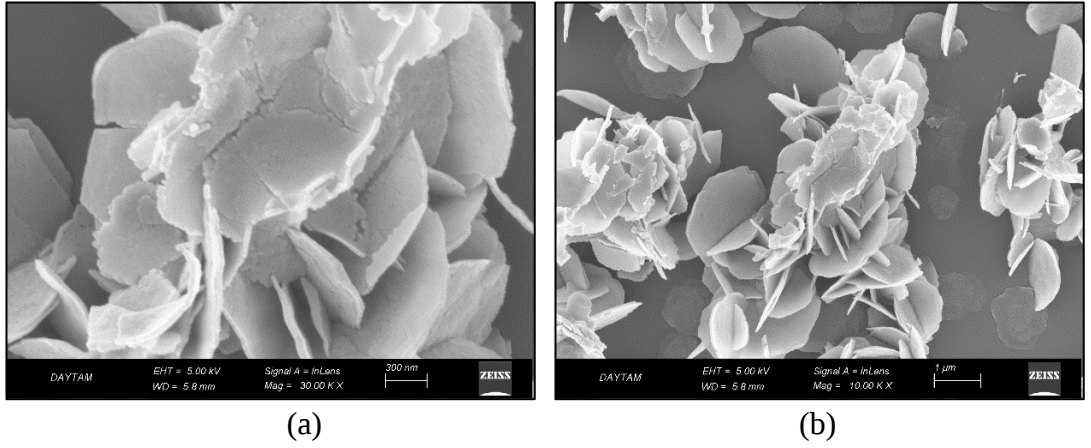


(a)



(b)

Şekil 4.52 pH 11,7 ortamında CdO'nun 200 nm ve 1 μ m SEM görüntüsü



Şekil 4.53 pH 11,8 ortamında CdO’nin 200 nm ve 1 µm SEM görüntüsü

Yapılan analizlerde görülen deney sonuçlarına göre bulunan değerlerle ince film halinde büyüyen Kadmiyum oksitin tanecik büyüklükleri Scherrer denklemi ile hesaplanmıştır (Yüksel *et al.* 2016).

$$D = \frac{0,94 \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (2)$$

Bu formülde D tanecik büyüklüğünü, λ XRD cihazının dalga boyunu (1,5405), β XRD deseninin maksimum pik değerinin yarısındaki genişliği, bu değer FWHM (*Full Width at Half Maximum*) olarak nitelendirilir. θ ise XRD desenindeki ani yükselişin açısı değerinin yarısını belirtmektedir.

Çizelge 4.3 te 2 numaralı formülден hesaplanan (111) düzlemindeki kalınlık değerlerine karşın FWHM, gözlenen D, gözlenen 2θ değerlerinin değişimi görülmektedir.

Çizelge 4.3 (111) düzlemindeki kalınlık değerlerine karşın FWHM, gözlenen D ve gözlenen 2θ değerlerinin değişimi

Numune	FWHM	Gözlenen D(nm)	Gözlenen 2θ (°)
182 nm	0,612	24,66	32,44
585 nm	0,700	21,55	32,32
950 nm	1,226	12,30	33,16
1183 nm	1,116	13,52	32,60
1503 nm	0,974	15,50	32,54
2655 nm	0,563	26,80	32,54
pH 11,0	0,514	29,49	33,80
pH 11,1	0,173	87,75	33,60
pH 11,2	0,604	25,09	33,78
pH 11,3	0,528	28,67	33,74
pH 11,4	0,445	34,07	33,84
pH 11,5	0,504	30,04	33,82
pH 11,6	0,673	22,48	33,58
pH 11,7	0,587	25,81	33,58

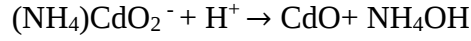
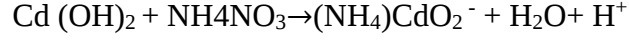
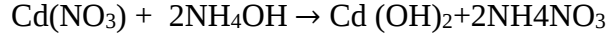
Elde edilen Kadmiyum oksit ince filmlerinin XRD desenleri sonuçlarını veren kristal yapıdaki atom düzlemleri arasında bulunan mesafe Bragg eşitliği ile hesaplanmıştır. Bu denklem X-ışınları kristalde yüzlerce ardışık düzlemde ilerlerken birinci düzlemde yansıyan ışın bir öncekine göre $2d \sin \theta$ 'lık fazla bir yol alacağı için bu kanun;

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (3)$$

şeklinde formülize edilmiştir (Kırmızıgül 2008). Bu formülde λ XRD cihazının dalga boyu (1,5405), θ ise XRD desenindeki ani yükselişindeki açı değerinin yarısını belirtmektedir.

Çizelge 4.4 te elde edilen CdO kristalinin XRD desenindeki değerlerle 3 numaralı formülden hesaplanan hkl düzlemlerindeki piklere denk gelen açı değerleri görülmektedir.

Kadmiyum nitrat çözeltisinde iyonlaşan kompleks Kadmiyum iyonları cam taban üzerinde yoğunlaşarak Kadmiyum oksit tabakasını oluştururlar. Reaksiyonun aşamaları;



Bu reaksiyonlar sonucu ilk aşamada 1 numaralı kimyasal denklemde görüldüğü gibi $\text{Cd}(\text{OH})_2$ konsantrasyonu artar. Daha sonra 2 numaralı denklemde görülen iyonlaşmaların etkisiyle reaksiyon gerçekleşir. zayıf kimyasal bağlar ve Van der Waals kuvvetleri ile taban malzeme üzerine yapışır. En son aşamada 3 numaralı denklemde görüldüğü gibi CdO elde edilmiş olur. (Salunkhe *et al.* 2009).

Çizelge 4.4 Elde edilen CdO ince filmlerinin XRD analizleri

	Standart 2θ (°)	Gözlenen 2θ (°)	Standart d (nm)	Gözlenen d (nm)	(hkl) Düzlemi
182 nm	33,042	32,461	27,08	27,55	(111)
	38,338	37,793	23,45	23,78	(200)
	55,339	54,874	16,58	16,71	(220)
	65,984	65,665	14,14	14,20	(311)
	69,324	68,090	13,54	13,75	(222)

	Standart 2θ (°)	Gözlenen 2θ (°)	Standart d (nm)	Gözlenen d (nm)	(hkl) Düzlemi
585 nm	33,042	32,573	27,08	27,46	(111)
	38,338	37,773	23,45	23,79	(200)
	55,339	55,747	16,58	16,47	(220)
	65,984	65,436	14,14	14,25	(311)
	69,324	68,798	13,54	13,63	(222)

	Standart 2 θ (°)	Gözlenen 2 θ (°)	Standart d (nm)	Gözlenen d (nm)	(hkl) Düzlemi
950 nm	33,042	33,161	27,08	27,02	(111)
	38,338	38,493	23,45	23,52	(200)
	55,339	55,447	16,58	16,56	(220)
	65,984	65,296	14,14	14,29	(311)
	69,324	69,028	13,54	13,59	(222)

	Standart 2 θ (°)	Gözlenen 2 θ (°)	Standart d (nm)	Gözlenen d (nm)	(hkl) Düzlemi
1183 nm	33,042	32,573	27,08	27,46	(111)
	38,338	37,923	23,45	23,52	(200)
	55,339	54,947	16,58	16,56	(220)
	65,984	65,546	14,14	14,29	(311)
	69,324	69,025	13,54	13,59	(222)

	Standart 2 θ (°)	Gözlenen 2 θ (°)	Standart d (nm)	Gözlenen d (nm)	(hkl) Düzlemi
1503 nm	33,042	32,585	27,08	27,02	(111)
	38,338	37,903	23,45	23,70	(200)
	55,339	54,967	16,58	16,69	(220)
	65,984	65,506	14,14	14,22	(311)
	69,324	69,028	13,54	13,59	(222)

	Standart 2 θ (°)	Gözlenen 2 θ (°)	Standart d (nm)	Gözlenen d (nm)	(hkl) Düzlemi
2655 nm	33,042	32,331	27,08	27,66	(111)
	38,338	37,803	23,45	23,77	(200)
	55,339	54,877	16,58	16,71	(220)
	65,984	65,663	14,14	14,20	(311)
	69,324	68,908	13,54	13,61	(222)

	Standart 2 θ (°)	Gözlenen 2 θ (°)	Standart d (nm)	Gözlenen d (nm)	(hkl) Düzlemi
pH 11	33,042	33,737	27,08	26,54	(111)
	38,338	38,963	23,45	23,09	(200)
	55,339	56,037	16,58	16,39	(220)
	65,984	66,596	14,14	14,03	(311)
	69,324	70,068	13,54	13,41	(222)

pH 11,1	Standart 2θ (°)	Gözlenen 2θ (°)	Standart d (nm)	Gözlenen d (nm)	(hkl) Düzlemi
	33,042	33,627	27,08	26,62	(111)
	38,338	39,543	23,45	22,77	(200)
	55,339	55,107	16,58	16,65	(220)
	65,984	66,366	14,14	14,07	(311)
	69,324	69,868	13,54	13,45	(222)

pH 11,2	Standart 2θ (°)	Gözlenen 2θ (°)	Standart d (nm)	Gözlenen d (nm)	(hkl) Düzlemi
	33,042	33,739	27,08	26,54	(111)
	38,338	39,083	23,45	23,02	(200)
	55,339	56,037	16,58	16,39	(220)
	65,984	66,366	14,14	14,07	(311)
	69,324	69,958	13,54	13,43	(222)

pH 11,3	Standart 2θ (°)	Gözlenen 2θ (°)	Standart d (nm)	Gözlenen d (nm)	(hkl) Düzlemi
	33,042	33,736	27,08	27,08	(111)
	38,338	39,085	23,45	23,42	(200)
	55,339	56,034	16,58	16,58	(220)
	65,984	66,476	14,14	14,14	(311)
	69,324	69,498	13,54	13,54	(222)

pH 11,4	Standart 2θ (°)	Gözlenen 2θ (°)	Standart d (nm)	Gözlenen d (nm)	(hkl) Düzlemi
	33,042	33,854	27,08	26,45	(111)
	38,338	39,083	23,45	23,02	(200)
	55,339	56,147	16,58	16,36	(220)
	65,984	66,706	14,14	14,00	(311)
	69,324	69,958	13,54	13,43	(222)

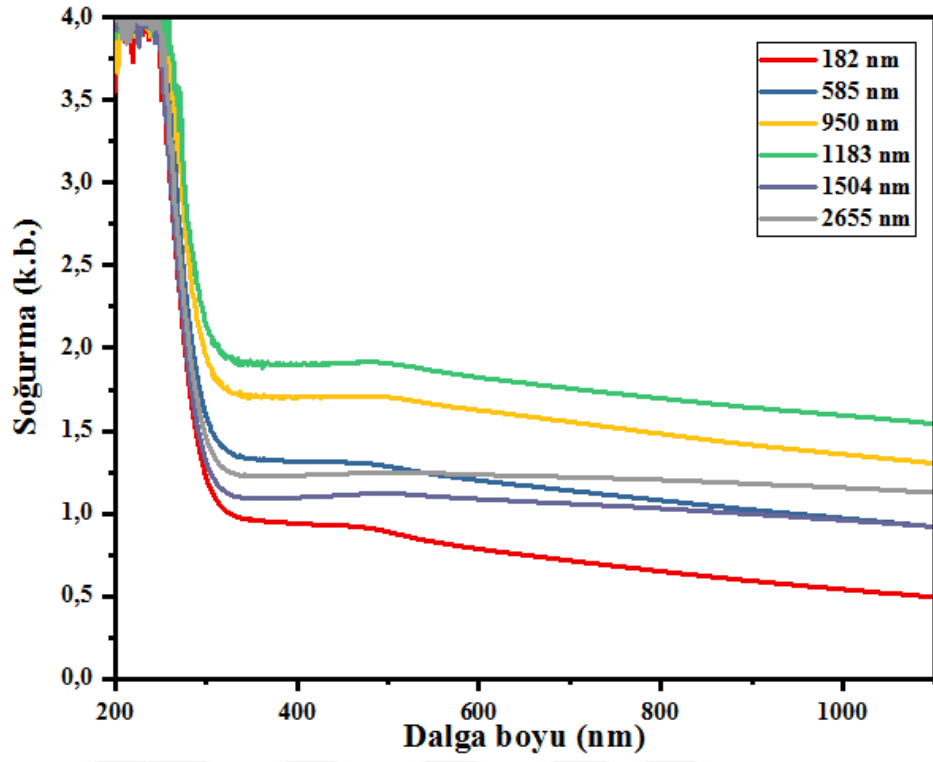
	Standart 2 θ ($^{\circ}$)	Gözlenen 2 θ ($^{\circ}$)	Standart d (nm)	Gözlenen d (nm)	(hkl) Düzlemi
pH 11,5	33,042	33,857	27,08	26,45	(111)
	38,338	38,853	23,45	23,15	(200)
	55,339	56,377	16,58	16,30	(220)
	65,984	65,666	14,14	14,20	(311)
	69,324	69,958	13,54	13,43	(222)

	Standart 2 θ ($^{\circ}$)	Gözlenen 2 θ ($^{\circ}$)	Standart d (nm)	Gözlenen d (nm)	(hkl) Düzlemi
pH 11,6	33,042	33,734	27,08	26,54	(111)
	38,338	39,083	23,45	23,02	(200)
	55,339	56,037	16,58	16,39	(220)
	65,984	66,596	14,14	14,29	(311)
	69,324	69,958	13,54	13,43	(222)

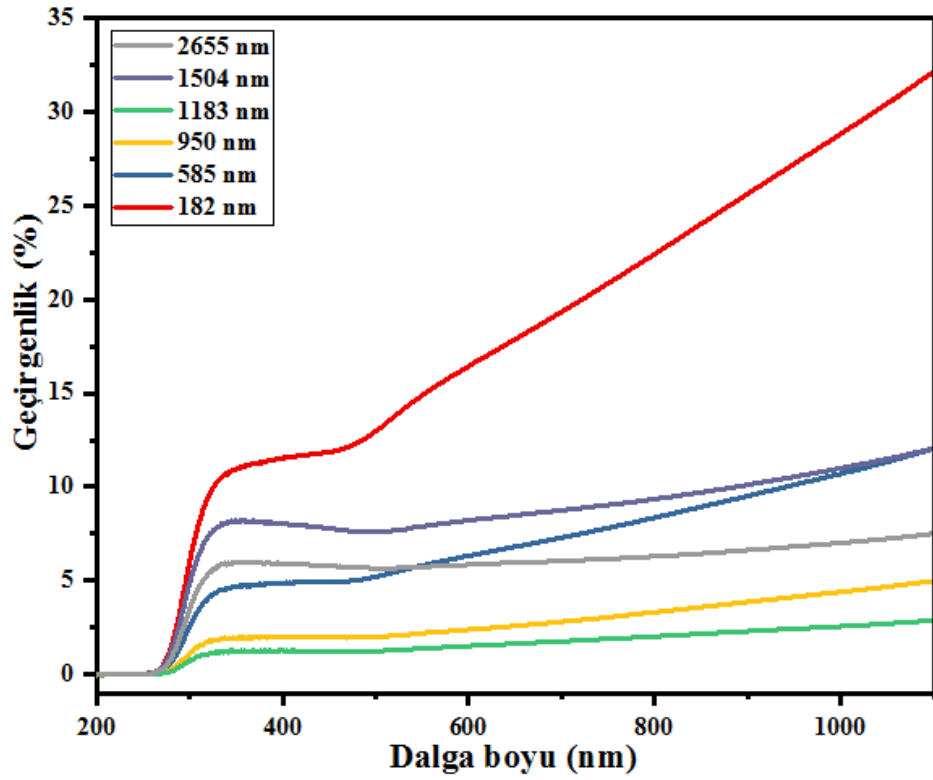
	Standart 2 θ ($^{\circ}$)	Gözlenen 2 θ ($^{\circ}$)	Standart d (nm)	Gözlenen d (nm)	(hkl) Düzlemi
pH 11,7	33,042	33,735	27,08	26,54	(111)
	38,338	38,963	23,45	23,09	(200)
	55,339	55,907	16,58	16,43	(220)
	65,984	66,596	14,14	14,29	(311)
	69,324	69,958	13,54	13,43	(222)

Değişken tur sayılarında elde edilen numunelerin Şekil 4.54'te görülen dalga boyu ve soğurma değeri grafiğinde önce artışa sonra azalmaya eğilim görülmüştür. Bu durum ince film yüzeylerinde kalınlık arttıkça yüzeydeki tutunma miktarının azalarak kristal yapıların yüzeyden ayrılma durumundan kaynaklanmaktadır. Buna bağlı olarak Şekil 4.55'te görülen dalga boyu geçirgenlik grafiğinde ise yine geçirgenliğin kalınlıkla ters orantılı olarak azaldığı görülmüştür.

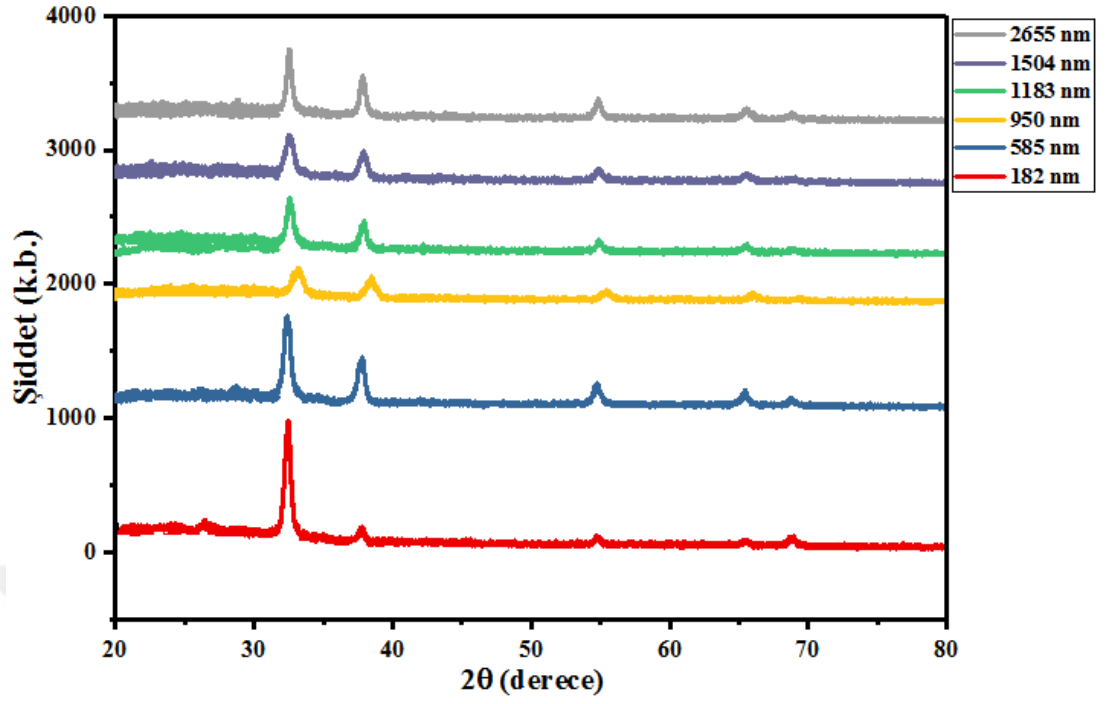
Şekil 4.56'da görülen XRD desenlerindeki karakteristik eğriler ince film yüzeylerinde CdO kristallerinin bulunduğunu göstermektedir. Eğrilerin düzlemlerdeki yönelimleri sürekli aynı açılara yakın denk gelmiştir. Bu açıların CdO veri kartında bulunan açı değerlerine yakınlığı ince film yüzeyinde saf CdO olduğunu gösterir.



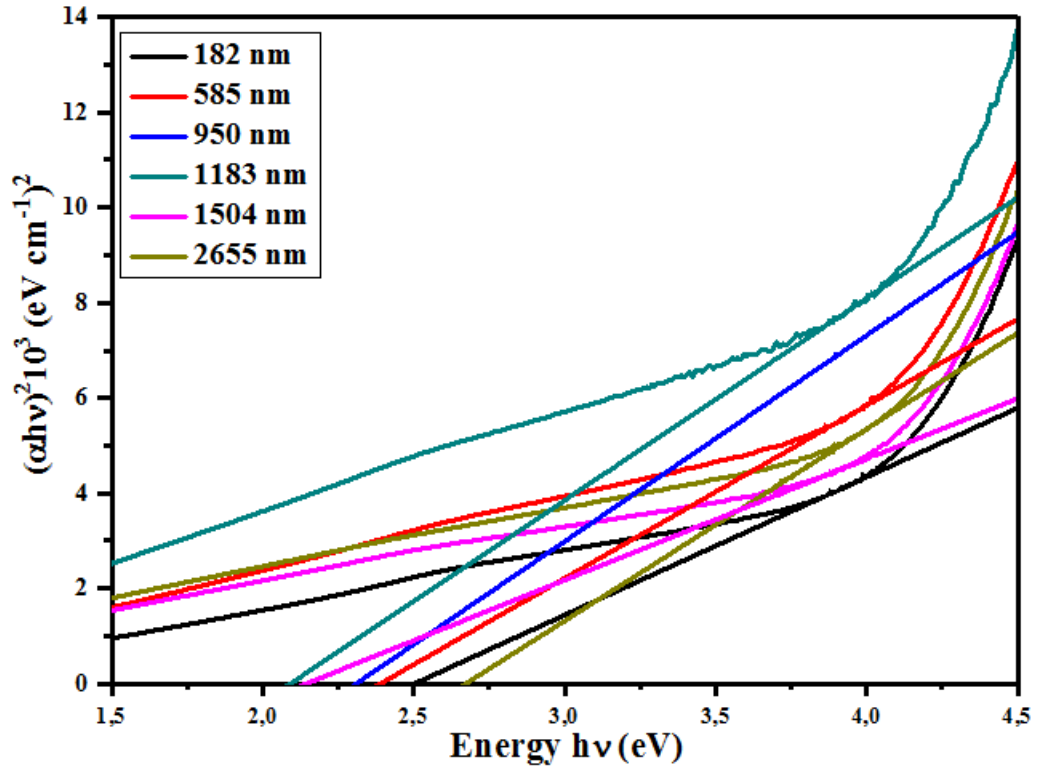
Şekil 4.54 Değişken tur sayısı ile elde edilen CdO ince filmlerin soğurma grafikleri



Şekil 4.55 Değişken tur sayısı ile elde edilen CdO ince filmlerin geçirgenlik grafikleri

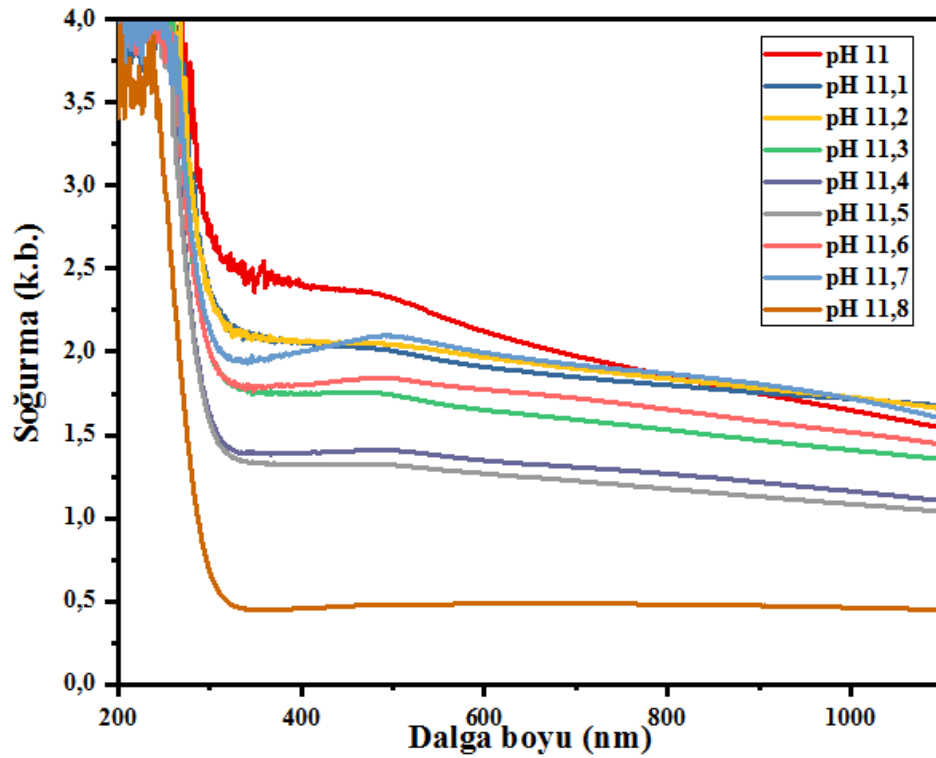


Şekil 4.56 Değişken tur sayısı ile elde edilen CdO ince filmlerin XRD grafikleri



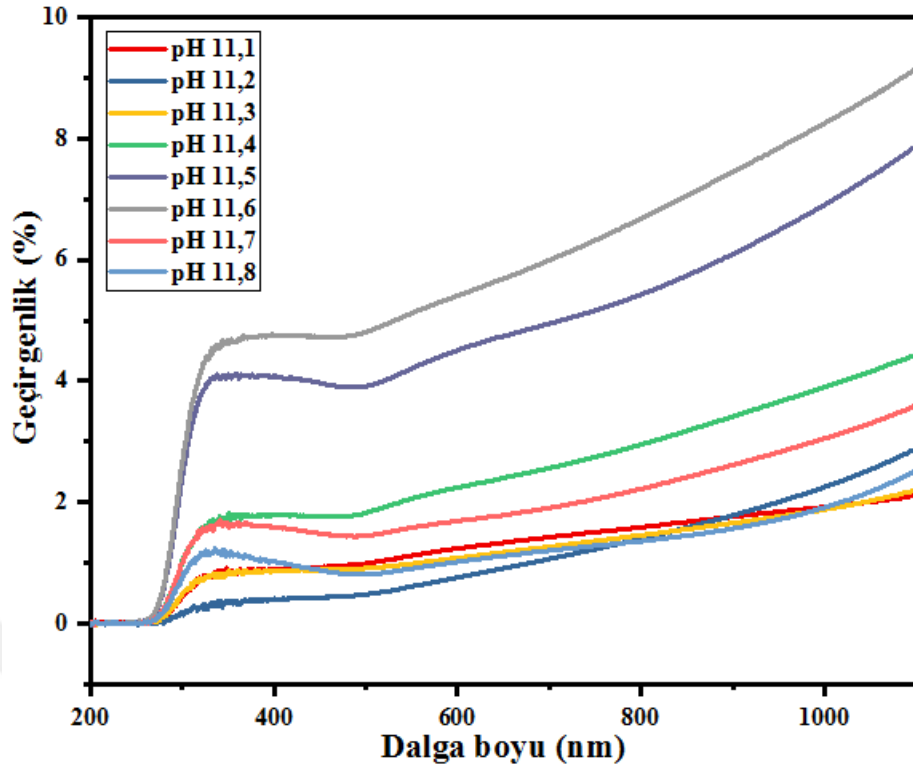
Şekil 4.57 Değişken tur sayısı ile elde edilen CdO ince filmlerin bant aralığı grafikleri

Şekil 4.57 te elde edilen ince filmlerin bant aralıkları görülmektedir. İnce filmlerin kalınlıkları arttıkça bant aralıklarında önce 2,5 eV düzeyinden 2,2 eV düzeyine kadar düşüş 1504 nm ve daha kalın numunelerde yükseliş gözlemlenmiştir.



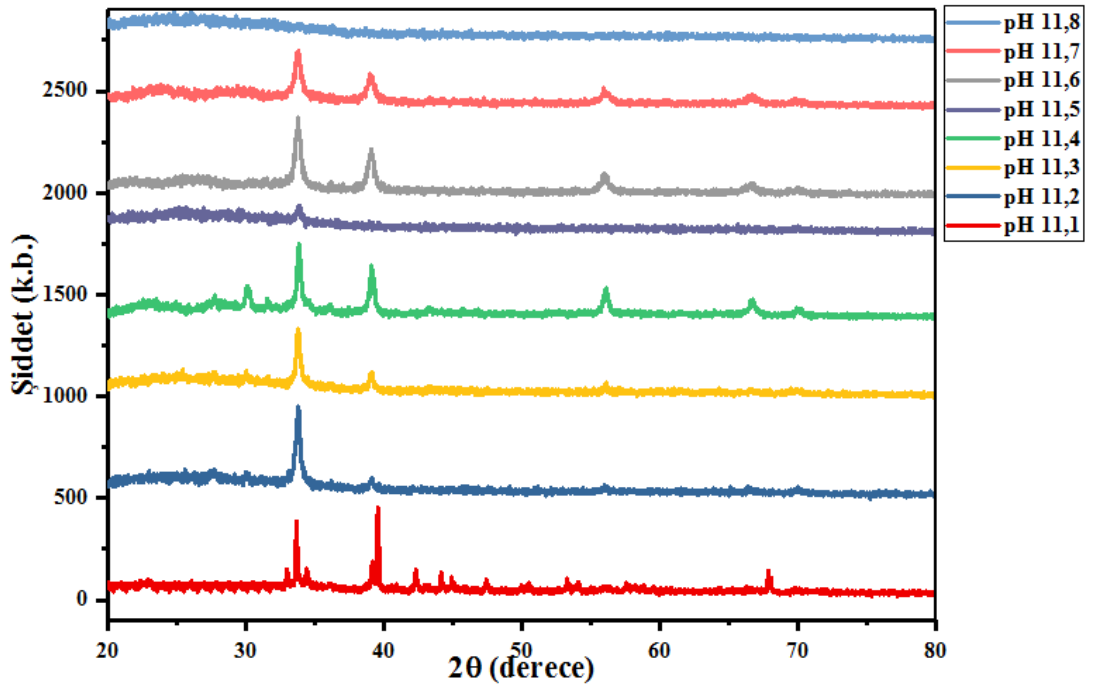
Şekil 4.58 Değişken pH ortamında elde edilen CdO ince filmlerin soğurma grafikleri

İkinci deneyde uygun pH değerini bulmak için yapılan çalışmada ise elde edilen numunelerin Şekil 4.59'da görülen soğurma dalga boyu grafiğinde pH yükselmesine bağlı olarak önce düşüş ardından 11,6 ve 11,7 değerlerinde ise tekrar yükseliş gözlemlenmiştir. pH 11,8 değerinden sonra taban malzeme üzerlerinde büyüme olmadığından soğurma değerleri en aza yaklaşmıştır. Şekil 4.60'da görülen geçirgenlik ve dalga boyu grafiğinde ise soğurma grafiğine ters orantılı olarak önce bir artış sonra azalış görülmektedir.

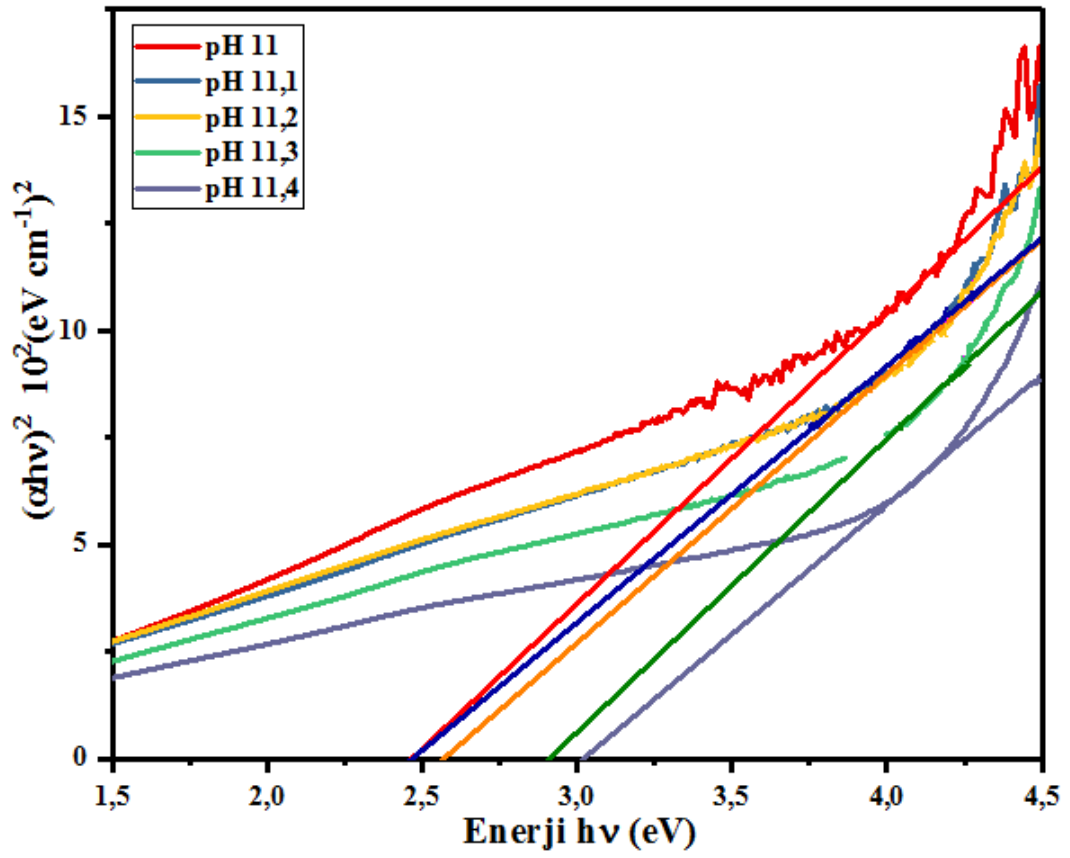


Şekil 4.59 Değişken pH ortamında elde edilen CdO ince filmlerin geçirgenlik grafikleri

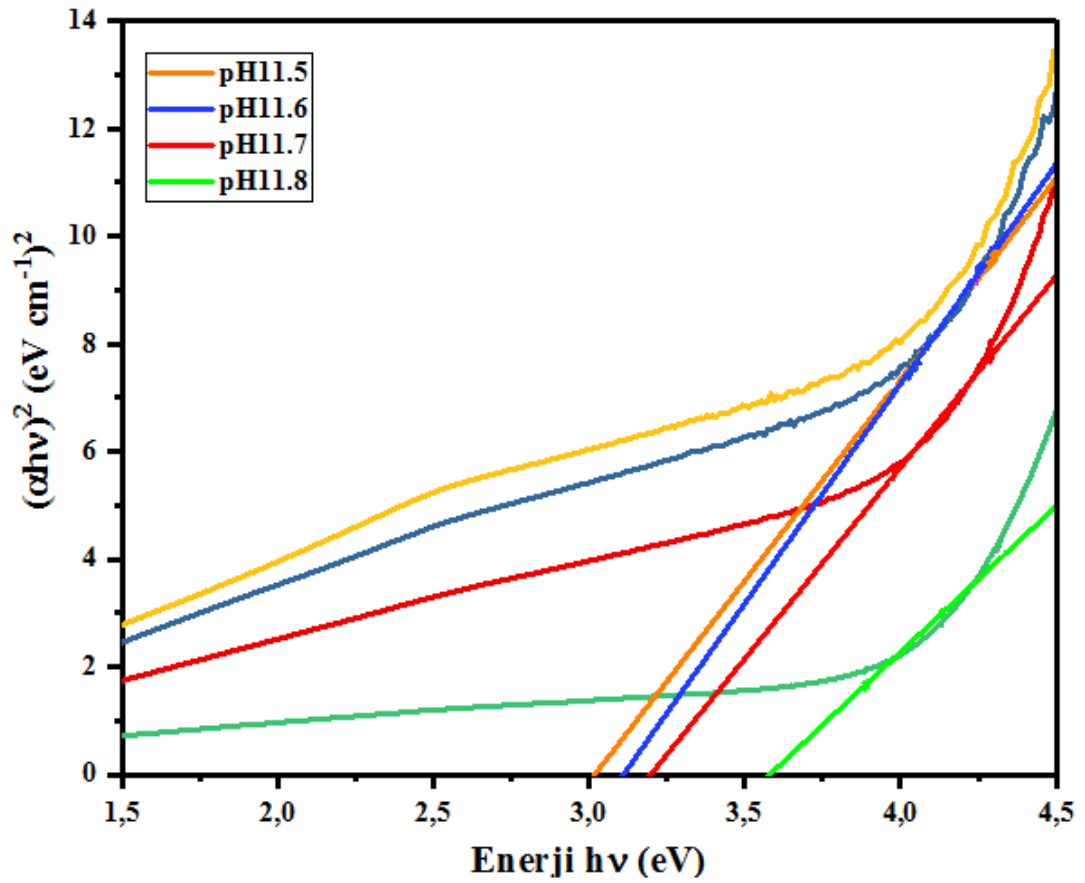
Şekil 4.61’de görülen XRD grafiğinde görülen ve aynı derecelere denk gelen pikler 111 200 220 311 222 düzlemlerindeki yönelimlerine denk gelen açılar karakteristik olarak CdO kristallerinin yoğunlaştığı görülmüştür. Ancak pH 11,8 ve daha yüksek değerlerde yapılan deneylerde kristal büyümelerinde azalmalar meydana gelmiştir. Cam taban malzeme üzerine SILAR tekniği ile yapılan büyütme pH 11,8 ve daha yüksek değerlerde azalma eğilimi göstermiştir. XRD desenleri ince filmlerin bu pH değerlerinden sonra farklı açılı ve düzlemlere yönelim gösterdiğini doğrulamıştır.



Şekil 4.60 Değişken pH ortamında elde edilen CdO ince filmlerin XRD grafikleri



Şekil 4.61 Değişken pH ortamında elde edilen CdO ince filmlerin bant aralığı grafikleri



Şekil 4.62 Değişken pH ortamında elde edilen CdO ince filmlerin bant aralığı grafikleri

Uygun pH değerini bulabilmek için yapılan deneylerde elde edilen ince filmlerin bant aralıklarında Şekil 4.61 ve 4.62’de görüldüğü gibi sürekli artış gözlemlenmiştir. Ayrıca pH 11,8 değerinden sonra taban malzeme üzerinde kristal büyümesi gözlemlenemediğinden bu numunelerden soğurma ve geçirgenlik değerleri cam lamelinki ile aynıdır.

5. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada SILAR tekniğinde kullanılan cihazlarda görülen eksiklikleri gidereceği düşünülen prototip bir cihaz tasarlanmış ve üretimi tamamlanmıştır. Cihazın performansını denemek amacıyla kamera kaydına alınarak 500 tur sayısıyla cam taban malzeme üzerine ilk ince film elde edilmiştir. Bu çevrim 10:26:37 süresinde tamamlanmıştır.

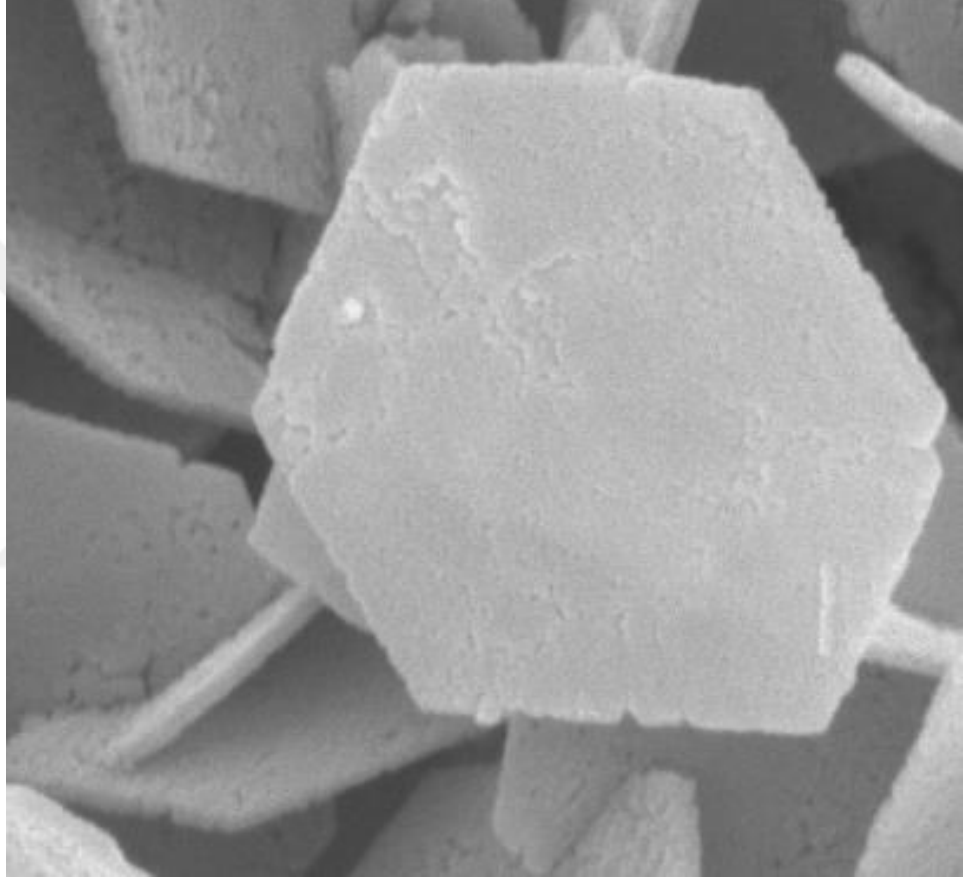
Üretimini tamamladığımız cihazın tasarım ve üretim aşamasında kullanılan makine parçaları titreşimi en alt düzeyde tutacak biçimde seçilerek hassas bir ölçüde montajlanmıştır. Ayrıca bilgisayar kontrolleri ile sensörler sayesinde hareket eden parçaların güvenle çalışması sağlanmıştır. Bu sayede SILAR tekniğinin en verimli şekilde uygulanması amaçlanmıştır.

Cihazla yapılan deneyler sonucunda elde edilen CdO ince filmlerin yüzeyleri SEM, XRD, UV-Vis Spektrofotometre yöntemleri ile morfolojik, kimyasal ve optik olarak incelenmiştir.

Hazırlanan çözeltilerle ilk olarak tur sayısı ile kalınlığın etkisini belirlemek amacıyla 12 °C sıcaklıkta pH 11,5 olan çözeltide elde edilen CdO ince filminin tur sayısıyla doğru orantılı olarak kalınlığının arttığı gözlemlenmiştir. Elde edilen bütün ince filmler 200 °C sıcaklığındaki fırında 1 saat süreyle tavlandıktan sonra yüzeylerin morfolojik özelliklerini belirlemek amacıyla incelenmiştir. Bu deneyde 1183 nm kalınlığa ulaşan ince filmin Şekil 4.23'te görülen SEM görüntüsünde düzgün altıgene yakın bir mikro yapı elde edilmiş ve pH değerinin etkisi araştırılmak üzere tur sayısı 20 olarak belirlenerek aynı anda farklı pH değerine sahip çözeltiler cihaza sabitlenmiştir.

SILAR cihazı ile değişken pH ortamında pH 11 den başlayıp pH 12,1 e kadar 0,1 er değer artırılarak hazırlanan çözeltilerle 20 turda büyütülen CdO ince film yüzeyleri incelendiğinde Şekil 5.1'de görülen mikro yapı elde edilmiştir. 12 °C gibi oda sıcaklığı altındaki düşük bir sıcaklıkta pH 11,8 ve daha yüksek pH ortamlarında ince film yüzeylerinde kristal yapıların azaldığı Şekil 4.26' daki gibi gözle görülebilmektedir.

Cam tabanlarda oluşan ince film yüzeylerinde yapılan SEM incelemesinde Kadmiyum oksitin kübik kristal yapısı birleşip şekil 5.1 da görülen hegzagonal mikro yapıyı oluşturarak homojen bir yapı elde edilmiştir. Ayrıca lm yapılan XRD pik değerleri ile standart ve katkısız CdO değerlerini gösteren veri kartındaki değerleri karşılaştırdığımızda elde edilen ince filmin CdO olduğu görülmektedir.



şekil 5.1 Elde edilen CdO ince filmi yüzeyinde gözlenen hegzagonal yapı

Daha önce yapılan çalışmalarda pH 12 seviyesinde sabit tutularak SILAR deneyleri yapılmış ancak pH etkisi incelenmemiştir. Bu çalışmada ise pH değerinin mikro yapı üzerine etkisi araştırılarak daha düşük pH değerlerinde elde edilen ince filmlerin yüzeyleri morfolojik ve kimyasal olarak gözlemlenmiştir (Gokul *et al.* 2012, Jambure *et al.* 2013, Sahin *et al.* 2013, Sahin 2013).

Otomasyonu olan ve elektromekanik sistemlerle donatılmış bu cihaz sayesinde aynı anda manyetik karıştırıcı, ısıtılmış ve oda sıcaklığında, katkılı çözelti ile katkısız çözelti, değişken tur sayılı, sabit tur sayılı SILAR deneyleri zamandan tasarruf sağlanarak yapılabilir. Elle daldırma yöntemi ve süreölçer kullanılarak yapılan SILAR deneyleri ile yapılan çalışmalara nazaran standartlara daha yakın sonuçlar alınmıştır (Aydın vd. 2016).

İlerleyen süreçlerde SILAR cihazı ile yapılacak olan deneylerde ısıtılmış çözeltiler ile elde edilecek ince filmlerin yüzey özellikleri ve farklı sıcaklıklarda yapılan tavlamaların yüzey özellikleri üzerine etkisi araştırılabilir.

Prototip olarak üretimi yapılan SILAR cihazının geliştirilmesi için çalışmaların sürdürülmesi planlanmaktadır. Önümüzdeki zaman içinde cihaz üzerinde yapılan geliştirmeler sayesinde SILAR deneyleri daha standardize edilmiş olacaktır. Hatta SILAR cihazı üzerine fanus monte edilerek istenirse nitrojen veya soy gazlar altında sistemi havanın oksidatif etkisinden koruyarak daha hassas deneyler yapılabilir.

6.KAYNAKLAR

- Acar F., 2015. Elektrikli Araçlar İçin Motor Sürücü Devresinin Yüksek Çözünürlükte Verim Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Adıgüzel A.R., 2014. $M(3\text{-Aminopiridin})_2Ni(CN)_4$ [$M = Cu(II)$ ve $Zn(II)$] Hofmann Tipi Bileşiklerin Kristal Yapı Sabitlerinin Toz XRD Verilerinden Hesaplanması .Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Astam A., 2006. InSe İnce Filmlerin SILAR Yöntemiyle Büyütülmesi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Aydın R., Sahin B., Bayansal F., 2016. SILAR yöntemi ile üretilen CuO filmlerin yapısal, morfolojik ve optik özelliklerine ikili katkılamanın (Zn,Li) etkisi. SAÜ Fen Bil Der 20. Cilt, 3. Sayı, S. 481-487, 2016.
- Aydın R., Sahin B., Bayansal F., 2016. Sodium dodecyl sulfate-assisted SILAR synthesis of nanostructured cadmium oxide films. Science Direct Ceramics International,42, 11822–11826.
- Bulakhe R.N., Shinde N.M., Thorat R.D., Nikam S.S., Lokhande C.D.,2013. Deposition of copper iodide thin films by chemical bath deposition (CBD) and successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) methods. SciVerse Science Direct Current Applied Physics, 13, 1661-1667.
- Chamot, E.M., Mason, C.W., Dudley RJ., The use of colorin the discrimination between soils. Forensic Sci Soc. Handbook of Chemical Microscopy, 3. Baskı, Cilt 1, John Wiley&Sons,Inc., 258-269, USA.
- Chen Y.F., Bagnall D.M., Zhu Z., Sekiuchi T., Park K.T., Hiraga K., Yao T., Koyama S., Shen M.Y., Goto T., 1997. Electrodeposition of ZnO Nanostructures on Molecular Thin Films. Cryst. Growth, 181, 165–169.
- Coşkunsu E., 2015. X-Ray Analizörlü Enerji Dağılımlı Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM/EDS) İle Enfsİ/Gsr(European Network Forensic Science Institue/ Gun Shot Residue Proficiency Test) Numunesinde Elementel Atış Artıklarının Analizi Ve Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Cozzi M.D., 2012. Successive Ionic Layer Adsorption And Reaction. University of Notre Dame, <https://www.youtube.com/watch?v=0hdqsz4pjzo> (10.2.2016).
- Cullity B. (Çeviren:A. Sümer), (1996)., X-ışınları Difraksiyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi Yayını,531 s, İstanbul.
- Çevik S., 2013. SILAR Yöntemi Kullanılarak Elde Edilen Kurşun Sülfür Filmlerin Bazı Fiziksel Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Burdur.
- Ennaoui A., Weber W., Scheer R., Lewerenz H.J., 1998. Chemical-Bath ZnO Buffer Layer for CuInS₂ Thin-Film Solar Cells Solar Energy Materials and Solar Cells, 54 (1-4), 277-286.
- Ersan F., 2009. Vakumda Buharlaştırma Yöntemiyle Hazırlanan Cu₂s İnce Filmlerin Optik Özelliklerinin Elipsometrik İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın.
- Gelen İ., 2016. Fotoemiyon Spektroskopisinin Reaktif Magnetron Saçtırma Yöntemi İle Büyütülen Oksitlenmiş Krom Filmlerin, Oksit Fazlarının Karakterizasyonunda Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Gerçeker F.,2013. Bakteri-Epitel Hücre İlişkisinin Işık Ve Scanning (Taramalı) Elektron Mikroskobu İle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Gokul B., Matheswaran P., Sathyamoorthy R., 2012. Influence of Annealing on Physical Properties of CdO Thin Films Prepared by SILAR Method. SciVerse Science Direct, 29(1), 17-21.
- Gülen Y., Şahin B., Bayansal F., Çetinkara H.A., 2014. Solution-phase synthesis of un-doped and Pb doped CdO films. Superlattices and Microstructures 68 (2014) 48–55.
- Gülmez, M., 2013. Elektroeğirme (Elektrospinning) Makinası Tasarımı ve Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi Mekatronik Eğitimi Anabilim Dalı Mekatronik Eğitimi Programı, İstanbul.

- Huang, Z., Zou, X., Zhou, H., 2013. A strategy to achieve superior photocurrent by Cu-doped quantum dot sensitized solar cells. *Materials Letters*, 95 ,139 - 141.
- Jambure S.B., Lokhande C.D.,2013. Photoelectrochemical solar cells with chemically grown CdO rice grains on flexible stainless steel substrates. *SciVerse Science Direct Materials Letters*, 106, 133–136.
- Jiao, J., Zhou, Z-J., Zhou, W-H., Wu, S-X., 2013. CdS and PbS quantum dots co-sensitized TiO₂ nanorod arrays with improved performance for solar cells application. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 16, 435 - 440.
- Kazmerski, L., 1980. *Polycrystalline and Amorphous Thin Films and Devices*. Academic Press,303 sayfa, USA.
- Kırmızıgül F., 2008. CdO İnce Filmlerin Püskürtme Yöntemi İle Hazırlanması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Lee, W., Lee, J., Min, S.K., Park, T., Yi, W., Han, S-W., 2009. Effect of single-walled carbon nanotube in PbS/TiO₂ quantum dots-sensitized solar cells. *Materials Science and Engineering B*, 156, 48 - 51.
- Mendpara V.B.H., 2012. Model of Automation for Successive Ionic Layer Adsorption And Reaction method using LabVIEW Department of Applied Physics SVNIT India <https://www.youtube.com/watch?v=fM6EPolQMug> (16.02.2016).
- Nicolau, Y.F.,Menard J.C., 1988. Solution growth of ZnS, CdS and ZnO-CdS thin films by the successive ionic-layer adsorption and reaction process; growth Mechanism *Journal of Crystal Growth* 92, 128-142.
- Olvera M. de la, L., Maldonado A., Asomoza R., Melendez M.,2002. Effect of the Substrate Temperature and Acidity of the Spray Solution on the Physical Properties of F-Doped ZnO Thin Films Deposited by Chemical Spray. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 71, 61–71.
- Preetha, K.C., Murali, K.V., Ragina, A.J., Deepa, K., Remadevi, T.L., 2012. Effect of cationic precursor pH on optical and transport properties of SILAR deposited nano crystalline PbS thin films. *Current Applied Physics*,12,53- 59.
- Puioš, J., Lindroos, S., Tamulevičius, S., Leskelä, M., Snitka V., 2003. Growth of ultra thin PbS films by SILAR technique. *Thin Solid Films*, 428, 223.

- Resh, R., Friedbacher G., Grasserbauer M., Kanninen T., Lindross S., Leskelä M., Niinistö L., 1997. Lateral force microscopy and force modulation microscopy on SILAR-grown lead sulfide samples. *Apply. Surf. Sci.*,120,51 -57.
- Ristov M., Sinadinovskil G.,Grozdanov I.,1985. Chemical deposition of Cu₂O thin films. *Thin Solid Films*, 123, 63–67.
- Sadık E., 2011. MR Uygulamalarının Dental Amalgamdaki Faz Değişiklikleri ve Cıva Buharlaştırması Üzerine Etkilerinin XRD ve XPS Yöntemleri İle İncelenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Sahin B.,Bayansal F.,Yüksel M.,Çetinkara H.A., 2013. Influence of annealing to the properties of un-doped and Co-doped CdO films. *Science Direct Materials Science in Semiconductor Processing*, 18, 135–140.
- Salman B., 2009. Sonsuz Vidalar Ve Sonsuz Vida Karşılık Dişlisi Helisel Dişli Matematik Modellemesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Salunkhe R.R., Dhawale D.S.,Gujar T.P., Lokhande C.D.,2007. Structural, electrical and optical studies of SILAR deposited cadmium oxide thin films: Annealing effect. *Science Direct Materials Research Bulletin*, 44, 364–368.
- Salunkhe R.R., Lokhande C.D., 2007. Effect of film thickness on liquefied petroleum gas (LPG) sensing properties of SILAR deposited CdO thin films. *Science Direct Sensors and Actuators, B* 129, 345–351.
- Salunkhe R.R., Dhawale D.S., Gujar T.P., Lokhande C.D., 2009. Structural,electrical and optical studies of SILAR deposited cadmium oxide thin films: Annealing effect. *Materials Research Bulletin* 44,364–368.
- Smith K. C. A., Oatley C. W., 1955. The scanning electron microscope and its fields of application. *British Journal of Applied Physics*, 6, 391-399.
- Sahin B., Gülen Y., Bayansal F., Çetinkara H.A., Güder H.S., 2013. Structural and optical properties of Ba-doped CdO films prepared by SILAR method. *Science Direct Superlattices and Microstructures*, 65 , 56–63.

- Sang, H. I., Hi-Jung K., Sungwoo K., Sang-Wook K., Sang I. S., 2012. Improved air stability of PbS-sensitized solar cell by incorporating ethanedithiol during spin-assisted successive ionic layer adsorption and reaction. *Organic Electronics*, 13, 2352 - 2357.
- Şahin B., Taşköprü T., Bayansal F., 2013. Bandgap variation of nanostructure tin doped CdO films via SILAR processing. *Science Direct Ceramics International*, 40, 8709–8714.
- Şahin B., 2013. Physical Properties of Nanostructured CdO Films from Alkaline Baths Containing Saccharin as Additive. *The ScientificWorld Journal*, 2013, Article ID 172052, 5 pages.
- Tek, M.E., 2011. Fotovoltaik Öne Sahip CuInS₂/In₂S₃ Çok Tabakalı Yarıiletken İnce Filmlerinin SILAR Metoduyla Büyütülmesi ve Tavlamanın Fiziksel Özellikler Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Taner, A., 2010. SILAR Yöntemiyle ZnO Yarıiletken Filminin Elde Edilmesi ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Takgün M., 2016. Kadmiyum Oksit Karbon Nanotüp Nanokompozitinin Elektriksel ve Optik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Tozlu N., 2011. ZnO Tabanlı Yarıiletkenlerde Metal Kontak Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Ubale A.U., Dhokne R.J., Chikhlikar P.S., Sangawar V.S., Kulkarni D.K., 2006. Characterization of nanocrystalline cadmium telluride thin films grown by successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) method. *Bulletin of Materials Science*, 29, 165-168.
- Urbiola I.R. Chávez, Bon R. R., Vorobiev Y.V., 2015. The transformation to cadmium oxide through annealing of cadmium oxide hydroxide deposited by ammonia-free SILAR method and the photocatalytic properties. *Science Direct Thin Solid Films*, 592, 110-117.

Uzun, H., 2012. Mühendisler için Malzeme Biliminin Temel İlkeleri. Değişim Yayınları, 605 s, Türkiye.

<http://www.pediaa.com/pediaa.com/difference-between-absorbanceandtransmittance/>

<https://www.ptable.com/?lang=tr>

Yao Z.G.Zhang XQ;Shang HK;Teng XY;Wang YS;Huang SH .Lasing action of high quality ZnO thin film deposited by radio-frequency magnetron sputtering.Chinese Physics,2005(6):1205-1208.

Yüksel M., Sahin B., Bayansal F., 2015. Nano structured CdO films grown by the SILAR method:Influence of silver doping on the morphological,structural and opticalproperties. Science Direct Ceramics International 42, 6010–6014.

Zhao G.L., Lin B.X., Hong L., Meng X.D., Fu Z.X., Chin., 2004. Structural and Luminescent Propertiesa of ZnO Thin Films Deposited by Atmospheric Pressure Chemical Vapour Deposition. Phys. Lett., 21, 1381–1383.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Onur KIYAK
Doğum Yeri ve Tarihi	KAYSERİ 17.09.1984
Eğitim Durumu	
Lisans Öğrenimi	FIRAT ÜNİVERSİTESİ MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Yüksek Lisans Öğrenimi	AĞRI İBRAHİM ÇEÇEN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Bildiği Yabancı Diller	İNGİLİZCE
Bilimsel Faaliyetler	
İş Deneyimi	
Stajlar	2. HİBM KOMUTANLIĞI
Projeler	FORMULA G – HİDROMOBİL YENİLENEBİLİR ENERJİ İLE ÇALIŞAN OTOMOBİLLER
Çalıştığı Kurumlar	İÇİŞLERİ BAKANLIĞI
İletişim	
E-posta Adresi	onurkiyak@windowslive.com
Mezuniyet Tarihi	