

**T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ERBİYUM KATKILI KADMIYUM OKSİT İNCE FİLMLERİN
SENTEZİ, YAPISAL VE OPTİK ÖZELLİKLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hüseyin YILMAZ

KİMYA ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI

Doç. Dr. Zafer ŞERBETÇİ

BİNGÖL-2019



T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ERBİYUM KATKILI KADMIYUM OKSİT İNCE FİLMLERİN SENTEZİ
YAPISAL VE OPTİK ÖZELLİKLERİ**

Doç. Dr. Zafer ŞERBETÇİ danışmanlığında, **Hüseyin YILMAZ** tarafından hazırlanan bu çalışma 01/02/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından KİMYA Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Fahrettin YAKUPHANOĞLU

İmza

[Signature]

Üye : Doç. Dr. Mahmut TOPRAK

İmza

[Signature]

Üye : Doç. Dr. Zafer ŞERBETÇİ

İmza

[Signature]

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../.... tarih ve/..... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Zafer ŞİAR
Enstitü Müdürü

Bu çalışma BAP projeleri kapsamında desteklenmiştir.
Proje No : FEF-2018.00.001

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

ÖNSÖZ

Çalışmalarım süresince bana yol gösteren, her konuda ilgisini ve desteğini esirgemeyip yardımcı olan Doç. Dr. Zafer ŞERBETÇİ'ye

Çalışmalarımın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik bölümü öğretim üyesi sayın Prof. Dr. Fahrettin YAKUPHANOĞLU'na ayrıca yine Fırat Üniversitesinde merkezi laboratuvar görevlisi Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül DERE'ye

Bu çalışmayı BAP-FEF.2018.00.001 no'lu proje kapsamında maddi olarak destekleyen Bingöl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BÜBAP)'a

Bu tez çalışmasının yapılması için gerekli ortamı sağlayan Bingöl Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü'ne, Merkezi Laboratuvar çalışanlarına teşekkür ederim.

Hüseyin YILMAZ
BİNGÖL 2019

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. NANO YAPI VE NANO TEKNOLOJİSİ.....	3
2.1. Nano Malzeme Üretim Yöntemleri.....	3
2.2. Sol-Jel metodu.....	6
3. DENEYSEL İŞLEMLER.....	11
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	16
4.1. Kullanılan Cihaz ve Kimyasallar.....	16
4.2. Çözeltilerin Hazırlanması	17
4.3. Filmlerin Hazırlanması	17
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	18
5.1. XRD İle Yapısal Özelliklerin İncelenmesi	18
5.2. AFM İle Yüzey Özelliklerin İncelenmesi.....	19
5.3. Optik Özelliklerin İncelenmesi.....	24

5.3.1. CdO ve Er Katkılı CdO İnce Filmlerin Geçirgenlik Spektrumları ve Özellikleri.....	24
5.3.2. CdO ve Er katkılı CdO İnce Filmlerin Kırılma İndisi Parametrelerin Belirlenmesi.....	26
5.3.3. CdO ve Er katkılı CdO İnce Filmlerin Optik Bant Aralığı Özellikleri Belirlenmesi.....	28
5.4. CdO ve Er Katkılı CdO İnce Filmlerin Dielektrik ve Elektrik Duyarlılık Özellikleri	30
5.5. CdO ve Er katkılı CdO ince filmlerin optik iletkenlik özellikleri	32
5.6. CdO ve Er katkılı CdO İnce Filmlerin Fotoluminesans özellikleri	33
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	35
KAYNAKÇA.....	37
ÖZGEÇMİŞ.....	42

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Absorpsiyon
σ	: Sigma
π	: Pi
Å	: Angstrom
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat derece
ω	: Açısal frekans
F	: Elektrik alan
n	: Yük taşıyıcı yoğunluğu
v	: Taşıyıcı sürüklenme hızı
ϵ	: Yarıiletkenin dielektrik sabiti
ϵ_0	: Boşluğun elektriksel geçirgenliği
d	: Malzemenin kalınlığı
α	: Soğurma katsayısı
λ	: Dalgaboyu
k	: Sönüm katsayısı
ϕ	: Faz değişimi
r	: Kompleks yansıma genliği
n	: Kırılma indisi
ϵ_1	: Dielektrik sabitinin reel kısmı
ϵ_2	: Dielektrik sabitinin sanal kısmı
h	: Planck sabiti
ν	: Fotonun frekansı
Ci	: Kapasitansı
Cd	: Kadmiyum
DC	: Doğru akım
E_g	: Yasak enerji aralığı

E_o	: Osilatör enerjisi
E_d	: Dispersiyon enerjisi
eV	: Elektron volt
CdO	: Kadmiyumoksit
HOMO	: En yüksek ihtimalle işgal edilmiş moleküler orbital
I	: Akım
UV	: Morötesi
VB	: Valans bandı
VIS/NIR	: Görünür bölge/yakın kırmızı ötesi
T	: Transmittans
R	: Yansıtma
XRD	: X-ışını kırınımı
O. D	: Optiksel yoğunluk
K	: Kelvin derece
$\Omega.cm$	: Ohm santimetre
P	: Yoğunluk
B	: Kırınım deseninde gözlenen maksimum piklerin yarı maksimumdaki genişliklerinin radyan cinsinden değeri
c	: Işık hızı
v	: Işığın ortamdaki hızı
I	: Işık şiddeti
C	: Bozulma sabiti
J	: Akım yoğunluğu
μ	: Mikro
FWHM	: Maksimum yüksekliğin yarı genişliği

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Mekanik öğütmeye ait bazı tekniklerin gösterimi	5
Şekil 2.2.	Sol jel yönteminin oluşumunda oluşan ürün süreci	7
Şekil 2.3.	Sol jel yönteminde oluşan tepkime mekanizmaları.....	8
Şekil 5.1.	Cd %0,1, %0,3, %0,5, %1, %3, %5 Er katkılı CdO filmlerinin XDR pikleri...	18
Şekil 5.2.	Saf CdO filminin AFM görüntüsü (a) 40x40 μm (b) 5x5 μm	20
Şekil 5.3.	%0,1 Er katkılı CdO AFM görüntüsü (a) 40x40 μm (b) 5x5 μm	21
Şekil 5.4.	%0,3 Er katkılı CdO AFM görüntüsü (a) 40x40 μm (b) 5x5 μm	21
Şekil 5.5.	%0,5 Er katkılı CdO AFM görüntüsü (a) 40x40 μm (b) 5x5 μm	22
Şekil 5.6.	%1 Er katkılı CdO AFM görüntüsü (a) 40x40 μm (b) 5x5 μm	22
Şekil 5.7.	%3 Er katkılı CdO AFM görüntüsü (a) 40x40 μm (b) 5x5 μm	23
Şekil 5.8.	%5 Er katkılı CdO AFM görüntüsü (a) 40x40 μm (b) 5x5 μm	23
Şekil 5.9.	Saf ve Er katkılı CdO'in filmlerinin geçirgenlik spektrumu grafiği.....	25
Şekil 5.10.	Saf ve Er katkılı CdO'in filmlerinin $dT/d\lambda$ karşı dalga boyu grafiği.....	25
Şekil 5.11.	Saf ve Er katkılı CdO filmlerinin kırılma indisi grafiği.....	27
Şekil 5.12.	Saf CdO ve %0,1 Er katkılı CdO ince filmlerinin foton enerjisine bağlı bant aralığı grafikleri.....	28
Şekil 5.13.	%0,3, %0,5, Er katkılı CdO ince filmlerinin foton enerjisine bağlı bant aralığı grafikleri.....	29
Şekil 5.14.	%1, %3, %5 Er katkılı CdO ince filmlerinin foton enerjisine bağlı bant aralığı grafikleri.....	29
Şekil 5.15.	Saf ve Er katkılı CdO filmlerin gerçel (a) ve sanal (b) dielektrik sabiti grafiği.....	31
Şekil 5.16.	Saf ve Er katkılı CdO filmlerin gerçel optik iletkenlik grafiği.....	32
Şekil 5.17.	Saf ve Er katkılı CdO filmlerin sanal optik iletkenlik grafiği.....	33
Şekil 5.18.	Saf ve Er katkılı CdO ince filmlerinin PL spektrumları grafiği.....	34

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 5.1.	%0,1, %0,3, %0,5, %1, %3, %5 Er katkılı CdO filmlerinin XDR piklerinin saf CdO göre yüzde değişim pik şiddet oranları.....	19
Tablo 5.2.	5x5µm aralığındaki AFM görüntülerinden saf CdO ve Er katkılı CdO filmlerinin kristal yapılı nano kümelenme büyüklüğü ve yüzey pürüzsüzlük (Rq) değerleri.....	24
Tablo 5.3.	Saf ve Er katkılı CdO ince filmlerinin bazı önemli optik parametreleri..	26
Tablo 5.4.	CdO ve %0,1, %0,3, %0,5, %1, %3, %5 Er katkılı CdO ince filmlerinin foton enerjisine bağlı bant aralığı değerleri.....	30
Tablo 5.5.	Saf ve Er katkılı CdO filmlerin PL' e bağlı bant aralık Değerleri.....	34

ERBİYUM KATKILI KADMIYUM OKSİT İNCE FİLMLERİN SENTEZİ, YAPISAL VE OPTİK ÖZELLİKLERİ

ÖZET

Bu çalışmada sol-jel spin dödürme metoduyla CdO in erbiyum katkılı 450 °C de nano yapıli saydam filmleri sentezlenmiştir. Filmlerin yapısal, yüzeysel ve optik özellikleri X-ışını kırınımı, atomik kuvvet mikroskopisi ve UV-vis spektrofotometresi ile araştırılmıştır. XRD ile yapılan incelemede kadmiyum oksidin polikristal yapısında olduğunu ve katkılamayla tüm ince filmlerin pik şiddetinde yöneliminde artış ve azalma gözlemlenmiştir. En düşük tane boyutunun değeri 80 nm ile %5 Er katkıli CdO ince filminde ölçülmüştür. Er katkısıyla CdO filmlerinde 1600-2500 nm arasında nanopartiküler kümeler oluşmuştur. Erbiyumun katkılanmasıyla CdO ince filmlerini optik geçirgenlikleri, kırılma indisi değeri ve dielektrik sabitleri ve optik iletkenlik değeri değişmiştir. Filmlerin absorsiyona bağlı, doğrudan optik bant ve fotoluminesans ile ölçülen bant aralığı değeri hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Kadmiyum oksit, Erbiyum, nano yapıli ince filmler, optik bant aralığı, optik iletkenlik, floresan özellik.

SYNTHESIS OF ERBIUM ADDITIVE KADMIUM OXIDE THIN FILMS, INVESTIGATION OF STRUCTURAL AND OPTICAL PROPERTIES

ABSTRACT

In this study the nano-structured transparent films of Er doped CdO with erbium added at 450 °C were synthesized by sol-gel spin method. The structural and optical properties of the films were investigated by X-ray diffraction (XRD), atomic force microscopy (AFM) and UV-vis spectrophotometry. XRD results indicate that the cadmium oxide had a polycrystalline structure the increase and decrease in the intensity of all thin films at different incorporation of Er to CdO. The lowest grain size was observed for in 80 of 5% Er doped CdO film. Nano clusters were formed with particle size of with the contribution of Er. The optical refractive index values and dielectric constants and optical conductivity values of CdO thin films have changed with the addition of Erbium. The band gap values of the films were by optical absorption and measured by and photoluminescence.

Keywords: Cadmium oxide, Erbium, nano structured thin films, optical band spacing, optical conductivity, fluorescence properties.

1. GİRİŞ

Günümüz teknolojisi geliştikçe kullanım açısından nano malzeme üretimi önem arz etmektedir. Bu nedenle nano boyut önemli bir yer almaktadır. Birçok alanda nano boyutta çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle elektrik ve optik özellikleri göz önüne alındığında yarı iletken foto-detektör, güneş pili gibi benzeri birçok uygulama alanı vardır. Metal oksitler yarı iletken özelliğinden dolayı sık kullanım alanına sahiptirler. Daha çok elektrik ve optik özelliklerinden dolayı yarı iletken foto-detektörler güneş pili, gibi birçok uygulama alanına sahiptir (Kim et al. 1999). Şeffaf yarı iletken oksitler optik özellikleri sebebi ile elektronik cihazlarda tercihen kullanılmaktadır (Santos et al. 2006; Saha et al. 2008). Görünür bölgede yüksek geçirgenlik ve yüksek iletkenlik, kızıl ötesi bölgede yüksek yansıtıcılık nedeni ile günümüz teknolojisi çoğunlukla nano yapıların üzerinde birçok araştırma yapılmaktadır. Kadmiyum oksit kolay ve değişik yöntemlerle elde edilen n-tipi kristal yapıya sahip bir yarı iletken malzeme olup günümüzde kullanımı artamamaktadır (Yang et al. 2006).

Metal oksitlerin bir üyesi olan kadmiyum oksit (CdO), doğrudan bant aralığı 2,2-2,7 eV olması ve bant aralığının katkılandırılma ile değiştirilebilir özelliğe sahip olması optik uygulamalar için önemini artırmaktadır (Yakuphanoglu 2006,2009).

CdO ince filmleri aşağıdaki yöntemlerle; sol-jel, kimyasal banyo daldırma, DC akım yöntemi, magnetron püskürtme, sprej piroliz, vakum buharlaştırma, kimyasal buhar birikimi gibi çeşitli tekniklerle üretilmektedir. Sentezlenme aşamasından sonra filmlerin elektriksel ve optik özellikleri araştırılmıştır (Yan et al. 2001; Liu et al. 2003; Gutierrez et al. 2006; Zheng et al. 2010,2011; Singh et al. 2011; Gupta et).

al. 2011; Carbellade et al. 2000; Rahman A and Khan 2015; Akyuz et al. 2011; Kumaravel et al. 2011; Cuba et al. 2018).

Bu tezde literatürde kolay ve ucuz bir yöntem olan sol jel metodu ile elde edilen Er katkılı CdO filimlerin yapısal, optiksel ve elektriksel özellikleri incelenmiştir.

2. NANO YAPI VE NANO TEKNOLOJİSİ

Günümüzde bilimde çığır açacak nitelikte maddeleri küçük boyutlarda inceleme, işleme düşüncesi ve uygulamaları, teknolojiye ve bilime yeni bir bakış açısı kazandırmıştır. İşte yeniçağ ve gelecek asrın teknolojisi olarak isimlendirilen bu çağa “nanobilim ve nano teknoloji” çağı denir. Nano boyutta bir dünya olduğunu ilk defa Feynman 1959 yılında bir konferansta “There is plenty of room at the bottom” (Türkçesi: aşağıda daha çok yer var) başlıklı konuşmasında ilk defa nano boyutlardaki dünyaya dikkat çekmiştir. Nano teknoloji teknik terim olarak, molekül ve atomların bir araya getirilmesi ile nanometre düzeyde kullanışlı materyallerin oluşturulması denmektedir. Bu yüzden nano bilim ve nano teknoloji ile uğraşmak çok özen ve disiplin gerektirir. Hedefi belirli bir konu değil; işbirliği isteyen, birçok araştırmayı içine alacak geniş bir kapsamı oluşturur. Nano milyarda bir demek ve milyarda bir titizlikte çalışmak demektir. Atomlarla ve onların dizilişleriyle; malzemede, üretim tekniklerinde, yenilik yapmak ve ihtiyaca uygun üstün özellikli yeni ürünler geliştirmek anlamına geliyor (URL-1).

Nano teknolojinin mekanik, elektronik, optik, manyetik, biyomedikal amaçlı işlemlerde olduğu gibi birçok alt disiplini de kapsayan geniş bir uygulama yeri bulunmaktadır.

2.1. Nano Malzeme Üretim Yöntemleri

Nano yapı üretim teknikleri genel anlamda iki metot üzerinden üretimi yapılır. Bunlar sıra ile aşağıdan yukarı ve yukarıdan aşağı şeklindedir.

I. Aşağıdan-Yukarıya doğru

Nano teknoloji, molekülleri tek tek bir araya getirip bir nano yapı oluşturmak anlamına gelmektedir. Burada atomları ve molekülleri bir araya gererken değişik yöntemler onları yönlendirmek ve oluşacak yapıya bir çok mükemmel özellikler kazandırmak anlamına gelmektedir. Yaşamımızda doğal nano boyutlardaki madde ve materyaller aşağıdan yukarıya imalat yöntemi ile meydana getirilmiştir.

- **Sıvı Fazı Yöntemi:**

Sulu ortam ve çözücü ortamlarda kimyasal reaksiyonların hızlı gerçekleşmesinden dolayı sıvı faz yöntemini oldukça kullanışlı yapmaktadır. Aynı zamanda reaksiyonları yönetmek ve istenilen bileşiği termodinamik açıdan daha kolay sentezlemekten dolayı kullanışlı bir yöntemdir. Molekül yapma yöntemi, elektrolitik - elektriksiz çökeltme yöntemleri, sol-Jel sentezi başlıca yöntemleridir (URL 2).

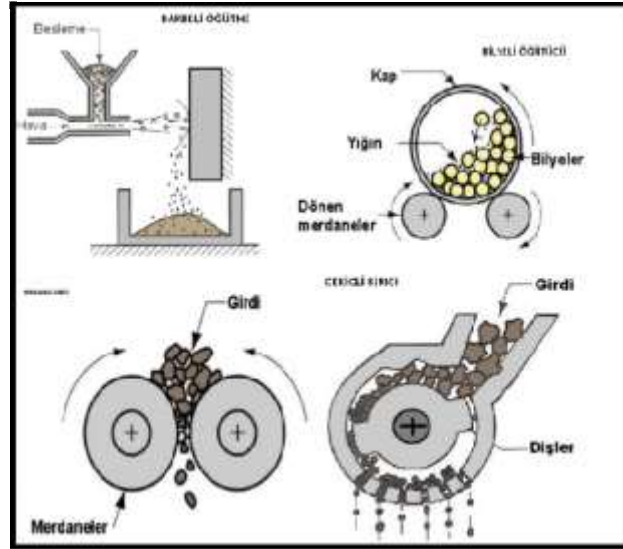
- **Gaz fazı yöntemi:**

Bu yöntemde daha çok gaz fazındaki maddelerin birikimine dayanır. Bu işlemler buharlaştırma, kimyasal buhar çökeltmesi, moleküler huzme (beam epitaxy), atom tabaka çökeltmesi, yanma gibi yöntemlerdir.

II. Yukarıdan-Aşağıya doğru (top down)

Bu yöntemde daha çok fabrikasyon yöntemi ile büyük parçadan küçük parçaların üretim mantığına dayalıdır. Bu yöntemler; mekanik olarak öğütme, sıkıştırma, ısıl metotlar, yüksek enerjili yöntem, baskı yöntemi, kimyasal yöntem gibi genellikle bölünme esaslarına dayanan yöntemlerdir.

Doğrama, ufaltma, dövme, püskürtme ve sıkıştırma gibi bilinen klasik mekanik yöntemlerle nano parçalar elde etmek için uygulanan belli başlı üretim yöntemleridir. Bu yöntemlerinde daha çok fiziksel işlemler yapılır, kimyasal değişimler meydana gelmez. Daha çok Şekil 2.1’de görüldüğü gibi kullanımlar söz konusudur.



Şekil 2.1. Mekanik öğütmeye ait bazı tekniklerin gösterimi (Toygun Ş. et al. 2013)

- **Mekanik Öğütme Yöntemi:**

Çoğunlukla sanayide kullanılan öğütmeye dayalı bir uygulama olarak bilinir. Bilyeli öğütücüler, ince mekanik öğütücüler, titreşimli öğütücüler, sıkıştırılmış hava gücü öğütücüleri gibi sistemler daha çok kullanılır. Mekanik öğütme yöntemi öğütücüler yardımı ile malzemeyi büyük ölçülerden atomik boyuta küçültme işlemidir.

- **Isıl (termik) Yöntemi:**

Isıl yöntemde genellikle belirlenmiş sıcaklık değerleri kullanılır. Lazer yönteminden farklı bilinen ısıtma işlemine dayanır.

- **Dönen Soğuk Yüzeyde Katılaştırma Yöntemi:**

Bu yöntemde daha çok eritilen malzemenin kaplanacak soğuk yüzeye püskürtülmesine ve burada katılaşması sağlanır. Püskürtme hızlı yapılarak nano boyutta birikim sağlanır.

- **Yüksek enerji yöntemi:**

Daha çok güneş ve lazer ışınları kullanılarak eritilen metal parçacıkların bir yüzeyde biriktirilmesine dayanır. Karbon nano tüpler bu yöntemle üretilir.

- **Gaz Atomizörü:**

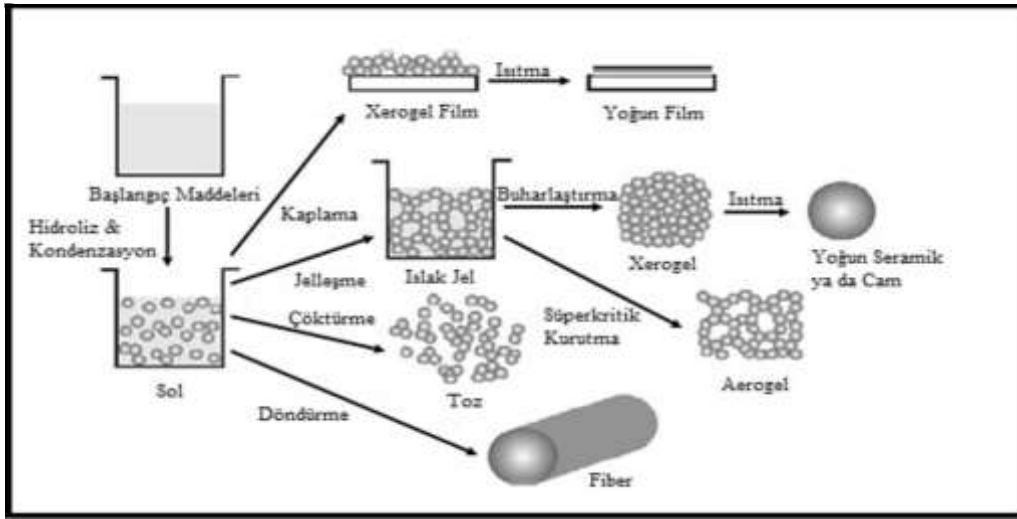
Bu yöntemde sıcak metal üzerine gönderilen bir soygaz yardımı ile kopan metal iyonların bir yüzeyde birikmesi sonucu nano yapı elde edilir.

Sol-Jel Sentezi

Sol- jel metodu yumuşak kimya “chimie douce” olarak da adlandırılır 1970 li yıllardan günümüze kullanılan bu yöntem sonradan küçük metal oksit parçacıkların elde etme yöntemi olarak rağbet görmüştür. Bu sayede istenilen özelliğe sahip (sertlik, kimyasal dayanıklılık, direnç, gözenekli yapı, optik geçirgenlik vb.) inorganik oksit malzemeler sentezinde özellikle kullanılmaktadır. Ayrıca düşük sıcaklıkta (oda koşulunda) yüksek erime sıcaklığına gerek duyulmaksızın çok rahat bir şekilde elde edilmektedir (Brinker C. J. and Scherer G.W. 1989; Maruszewski K. et al 2003). Sol-jel metodu laboratuvar şartlarında rahat ve kullanışlı bir metottur. Bu metot küçük ölçekli üretimlerde büyük ölçekli üretimlerde de kullanımı giderek artmaktadır (Pierre A. C. 1998)’ ye göre Sol- jel yöntemi genel olarak şu temel basamaklardan oluşur:

- Ön başlatıcının hidrolizi
- Sol- jel aktif türlerinin alkol ya da su kondenzasyonu
- Jelleşme
- Kurutma
- Yaşlandırma
- Yüksek sıcaklık işlemine dayanır.

Kısaca tabloda gösterecek olursak Şekil 2.2’de ki gibi şematiğe edebiliriz.



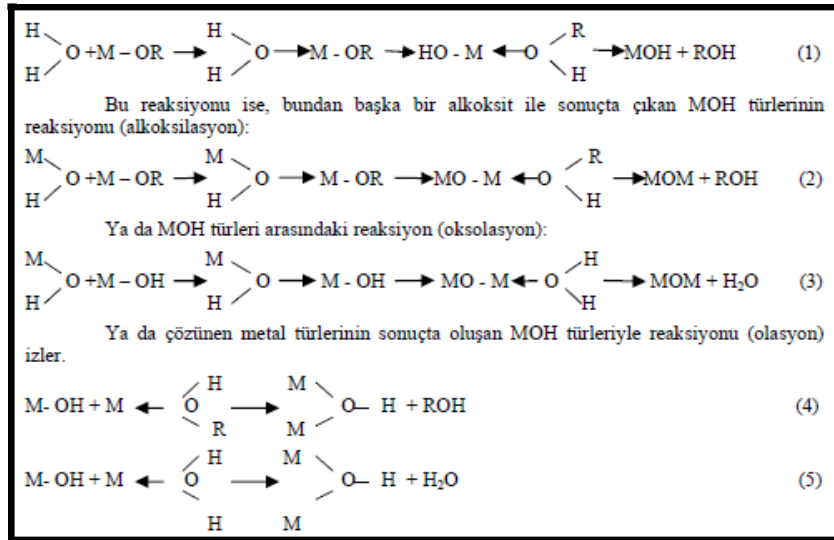
Şekil 2.2. Sol jel yönteminin oluşumunda oluşan ürün süreci (Toygun Ş. et al 2013).

Bu yüzden sol jel metodu, Locher M et al (2005)’e göre “Fiberler, filmler, monolitler ve parçacıklar gibi çeşitli boyut, şekil ve biçimlerde ürün elde etmek için kullanılabilir.” İsminden de anlaşılacağı üzere bu metotta ilk olarak koloidal bir karışım oluşturmak gereklidir. İnorganik karmaşık yapıların üretimini ve ardından bir jel oluşturmak için solün jelleşmesini sağlayacak karmaşık yapıcı maddeler eklemek gereklidir. Jel ısıtılarak su, organik çözücüler gibi maddelerden uzaklaştırılır. Akabinde kurutma işleminden sonrası bu jelin kuru jel (xerogel) haline dönüşmesini içerir (Aurobind SV et al 2006). Böylece sıvının uzaklaştırılması ile yapıların birleşmesiyle oluşan akıcı olmayan vizkozluğu yüksek jel oluşur (Pierre A and C 1998). Bütün sol yapılar jel oluşturmayabilir. Jel oluşması için değerli kıstas, en ufak çözücü yapıları ile çözünen tanecik molekülleri arasında bağ oluşmasıdır. Eğer sıvı bağları koloidal sol taneciklerden yapılmışsa jele koloidal denir. Jel yapıyı oluşturan tanecikler birbirine kuvvetli veya zayıf bağlarla bağlanarak, boşluklarında sıvı bulunan iskelet yapı oluşur. Sol- jel metodunda homojen yapıdaki moleküler birbirini izleyen reaksiyonlarla dönüşümler geçirir.

Bu dönüşümleri Znaidi L (2010) ve Aurobind SV (2006) bu oluşumu şu şekilde sıralamıştır;

- Moleküler ön başlatıcının hidrolizi
- İyonların birbirini izleyen bimoleküler birleşmeleri ile polimerleşmesi sonucu oluşan okso-,hidroksil ya da aqua- köprüleri
- Dehidrasyon yoluyla kondenzasyon
- Çekirdekline
- Büyüme şeklinde olmaktadır.

Sol jel metodunda bazı kimyasal reaksiyonlar oluşur bu reaksiyonlar Şekil 2.3’de gösterildiği gibi gerçekleşir.



Şekil 2.3. Sol jel yönteminde oluşan tepkime mekanizmaları (Toygun Ş. et al 2013)

Bu farklı metotların termodinamiğine göre ayrılan yapıların kararlılığı ve yükü, elektrofildeki metalin kısmi pozitif yükü ve hidrolizden gelen nükleofilin kısmi negatif yüküyle belirlenir. Daha pozitif yüklü gruplarla ayrılma daha hızlı olur (Wright JD and Sommerdijk NAJM 2001). Sol jel yapıların oluşumunu etkileyen çeşitli faktörler vardır. Li W et al (2004); Znaidi L (2010); Aurobind SV (2006) bunları sıra ile şu şekilde ifade etmişlerdir;

- Ön başlatıcının doğası ve konsantrasyonu
- Çözücünün türü ve ortamın asitliği
- Çözücüdeki her türün konsantrasyonu
- Katkıların türü ve konsantrasyonu
- Karışımın yaşlanma zamanı
- Sıcaklık
- Uygulanan ısı işlemler gibi koşullardan önemli ölçüde etkilenir.

Sol jel yönteminin avantajları ve dezavantajlarını Pierre AC (1998), Wright JD and Sommerdijk NAJM (2001), Li W et al (2004), Hamadani M et al (2010), Mohammadi MR and Derek JF (2011), Toygun Ş. vd. (2013) yaptıkları çalışmalarda sıra ile;

- ✓ Yoğunlaşma dışındaki tüm basamaklarda ihtiyaç duyulan sıcaklıklar düşüktür, çoğunlukla oda sıcaklığına yakındır. Böylece malzemenin termal bozunuma riski en aza indirilmiş olur ve yüksek saflık ve oran elde edilebilir.
- ✓ Metal alkoksitler ve karışım alkil/alkoksitler gibi ön başlangıç maddeleri çoğunlukla uçucudur ve mikro elektronik endüstrisi için geliştirilen teknikler kullanılarak kolayca çok yüksek seviyelerde saflaştırılabilirler (örneğin: destilasyon ya da süblimleşme). Bu da yüksek saflıkta ürün elde edilmesini sağlar.
- ✓ Farklı metaller içeren organometalik ön başlangıç malzemeleri çoğunlukla
- ✓ Karıştırılabilirliğinden, homojen bir şekilde kontrollü katkılendirme kolayca yapılır.
- ✓ Metotun kimyasal şartları ılımlıdır. Hidroliz ve yoğunlaşma asit ve bazlar ile kataliz edilir. Belirli yöntemlerle pH hassasiyeti olan organik yapılar ve hatta enzim içeren biyolojik türler ve bütün hücreler tutulabilir ve hala fonksiyonlarını sürdürebiliyor durumda olurlar.
- ✓ Bu yöntemle yüksek nano kristal materyaller ve poroziteli materyaller yapılabilir.
- ✓ Ön başlangıç maddesinin uygun kimyasal modifikasyonu ile hidroliz ve yoğunlaşmanın hızı, koloidal parçacık boyutu ve gözenek boyutu ve son ürünün gözenek yapısı ve gözenek yüzey kimyası kontrol edilebilir.

- ✓ Çeşitli başlangıç malzemeleri kullanılırken, gözenekli cam yapılara biyolojik ve organik türlerin kovalent bağlanması mümkün sağlanabilir.
- ✓ Kurutma ve yaşlandırma koşulları kontrol edilebilir, ayrıca gözenek boyutu ve mekanik gücün kontrolü sağlanabilir.
- ✓ Polimerize organik ligantlar içeren organometalik başlangıç maddeleri kullanarak, hem organik hem de inorganik polimer ağı malzemeler üretilir.
- ✓ Organik türlere bağlı yapılar için kontrollü boyut ve şekle sahip gözenekleri oluşturmak için iş görebilir. Daha sonra bu türlerin uzaklaştırılması (örneğin; sıcaklık artırılarak ya da pH değeri yüksek asit işlemiyle), katalizör bölgeye sahip moleküler ayak izleri oluşturur.
- ✓ Sıvı ön başlangıç maddeleri kullanıldığından beri, işleme veya eritmeye ihtiyaç olmaksızın, seramik malzemeleri çeşitli karmaşık şekillerde dökmek ve fiberler ya da ince filmler üretmek mümkündür.
- ✓ Optik kalitesi optik parça materyalleri için öncülük edecek kadar iyidir,
- ✓ Sol-jel yönteminin düşük sıcaklığı, genelde oksit materyallerin kristalizasyon sıcaklığının altındadır ve bu ürünün amorf malzeme üretimine nadir izin verir.

Tüm bu avantajlara rağmen dezavantajlarını;

- ✓ Ön başlangıç maddeleri genellikle pahalı ve neme duyarlıdır.
- ✓ Bu, optik kaplamalar gibi özel uygulamalar için büyük ölçeklerdeki üretimi sınırlar. Metot de zaman alıcı ve çok aşamalıdır ve yaşlandırma ve kurutma işlemlerinin dikkatli yapılmasını gerektirir.
- ✓ Tam olarak sınırlayıcı bir etken olmamasına rağmen uzun ve sürekli bir üretimin planlandığı durumlarda, süreçteki materyalin toplam hacmi, daha hızlı süreçlere göre önemli ölçüde daha fazladır. Sonuç olarak yoğunlaşma sırasındaki boyutsal değişimler, kurutma sırasındaki çekme ve gerilme çatlakları yoğun dikkat ister. Şeklinde ifade etmişlerdir.

Tabi bu tür dezavantajlar üstesinden gelinemeyecek problemler değildir.

3. DENEYSEL İŞLEMLER

Gupta et al. (2011) tarafından sol jel yöntemiyle üretilen Lityum (Li) katkılı Kadmiyumoksit (CdO) ince filmlerin yüzey özelliklerini ve optik özelliklerini incelemiştir. Saf CdO'ın parçacık büyüklüğünün Li katkılı olanlara göre daha küçük olduğunu bulunmuştur. Li katkılı CdO filmler partikül büyüklüğü 95 ile 160 nm arasında olduğunu ölçmüştür. Bunun yanında Li katkılı CdO bileşiklerinde optik geçirgenliğe bakıldığında Li oranı arttıkça geçirgenliğin azaldığı ve Li katkısıyla CdO 'ın band aralığının daraldığı görülmüştür.

Z Serbetci et al (2014) tarafından CdO ve platin (Pt) katkılı CdO filmler Sol-jel döndürme kaplama yöntemini kullanılarak cam yüzeyine kaplanmıştır. Filmlerin parçacık büyüklüğü 55 nanometre (nm) ile 350 nm nanometre düzeyinde oluşmuştur. Bu nanometre boyutundaki filmlerin Pt-katkı seviyesine bağlı olarak band aralığının 2,264 ile 1,948 elektrovolt (eV) aralığında değiştiği ifade edilmiştir.

AA Dakhel (2009) tarafından Vakumlu buharlaştırma yöntemi ile hazırladığı %0,4 ve %0,8 Eu katkılı CdO filmlerinin yapı analizlerini almıştır. Katkı maddesi Eu^{+3} iyonlarının etkisi ile filmlerin bant aralıklarında %20 oranında azaldığını ölçmüştür. Klasik bant değişimi, bilinen bant aralığı etkisi modeli (BNG) ile açıklamıştır. Araştırılan Eu katkılarının dejenere olduğu görülmüştür. DC elektrik iletim parametrelerini ağırlık kısmının bir fonksiyonu olarak ölçülmüştür. Eu n-tipi yarı iletken filmlerinin enerji aralığını 1,5-1,8 eV olarak çıkmıştır. %0,8 Eu katkısını, elektron hareketliliğini yaklaşık 3,5 kat arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca iletkenliğin 40 kat ve taşıyıcı yoğunluğunun 11 kat artışı görülmüştür. Şeffaf iletkenlikten dolayı Eu'nun CdO katkısı için yeterince etkili olduğu görülmüştür. Tıpkı In, Sn, Sc ve Y gibi diğer metaller gibi Eu'nun da etkin bir katkı maddesi olduğu belirtmiştir.

AA Dakhel (2012) tarafından Zn katkılı CdO filmlerinin Sol jel döndürme ile kaplama teknikleri ile hazırlanan yapı analizlerini incelemiş ve deneysel olarak Zn katkılı CdO filmlerin kontrol edilir sonuçlar verdiğini görmüştür. CdO'da gömülü pozisyonların ve yapısal boşlukların bulunması Zn iyonlarının bir kısmının kristali üzerinde birikmesine neden olmuştur. Zn iyonlarının kristal üzerinde yoğunlaşması ile toparlanmaların olduğu görülmüştür. Yapı analizlerinde Zn katkılı CdO'nun bant genişliğinin azaldığı ve daraldığı görülmüştür. (% 0,51) Zn^{2+} bileşimine oranla bant genişliğinin yaklaşık %8 daraldığı ölçülmüştür. Buna ek olarak (%0,51) Zn^{2+} iyonlarının, elektrik iletkenliğinde artışa neden olduğu görülmüştür. CdO filminin yaklaşık %200 oranında taşıyıcı konsantrasyonun ise %270 oranında değiştiği bulunmuştur. Taşıyıcı hareketliliğin yaklaşık %20 oranında azalırken iletkenliğin artmasını Zn^{+2} 'den dolayı olduğu belirtilmiştir. Elektron taşıyıcı dağılımın artmasını Zn^{+2} ile açıklanmıştır. NIR spektral bölgedeki absorpsiyonu, klasik Drude teorisi çerçevesi içinde açıklanmıştır.

B Hymavathi et al (2015) tarafından DC reaktif magnetron püskürtme yöntemi ile 1 ila 4 cm³/sn arasında değişen oksijen akış hızları kullanılarak cam substratlar üzerine [111] yönünde tercih edilen oryantasyonlu Cr katkılı CdO ince filmler hazırlanmıştır. SEM görüntülerinde filmlerin kolon şeklinde bir nano yapıya sahip olduğu görülmüştür. Tanecik genişliği ve boyutunun oksijen akış hızının artmasıyla azaldığı görülmüştür. 2 cm³/sn oksijen akış hızında biriken filmler için öz direncin ($47 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$), yüksek optik geçirgenliğin %90 ve taşıyıcı yoğunluğun ($1,36 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$) olduğunu ölçmüştür. Cr katkılı CdO ince filmlerin düşük elektriksel dirence ve yüksek optik geçirgenliğe sahip olduğu belirtilmiştir ve bu özelliğinden dolayı gelecekteki optoelektronik uygulamalar da umut verici bir çalışma olabileceği önerilmiştir.

M Benhaliliba et al. (2012) tarafından CdO ile Cu katkılı CdO ince filmlerini Sol-jel döndürme yöntemi ile elde etmişlerdir. Yapıların AFM ile 2D ve 3D görüntüleri alınmış bu görüntüler ışığında yapı şu şekilde açıklanmıştır. Yüzeylerin morfolojisinde 11 nm eninde ve dikey yığılmalar olduğu belirtilmiş ve XRD CdO filmleri ile kristal örüntüsünün [111] kristal yönelmesi ile bir araya geldiği önerilmiştir. Cu katkılı yapıların VIS- IR da yapılan cam filmlerin analizlerinde ışık geçirgenliğinin katkıyla ile arttığını ifade etmişlerdir. Geçirgenliğin %56 dan %79'a kadar değiştiğini, IR spektrumlarında ise bu oranın %90 dolaylarında olduğu görülmüştür. Bunun nedenini VIS-IR analizlerinde ki

saydamlığa ve düşük dirençli oluşuna bağlı olarak değiştiği ifade edilmiştir. Nano tel yapımında ve çeşitli yüzey kaplamalardan yararlanabilir bir özelliğe sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

F Yakuphanoglu et al (2010) tarafından n-CdO / p-Si Heterojen diyotunu sol jel metodu ile elde etmişlerdir. Yapısal ve optik özelliklerini araştırmışlar. Filmin kübik yapılı CdO yapısının olduğunu, yüzey analizinde görmüşlerdir. CdO bant boşluğunun 2,45 eV olduğu tespit edilmiştir. P-n heterojen filminin elektriksel özellikleri CdO ve Si yarı iletkeni için incelenmiştir. Diyotun idealite faktörünü 5,41 olarak çıkmıştır. İki yarı iletken için ara yüzey ve seri dirençleri hesaplanmıştır. Diyotun akımının 100 mW cm^{-2} lik aydınlatma ile kuvvetinin arttığı görülmüştür. Diyotun açık devre voltajı 0,12 V ve kısa devre akımları $0,53 \times 10^{-6} \text{ A}$ olarak bulunmuştur. Ayrıca durum yoğunluk değerleri 7.82×10^{13} ile $3.02 \times 10^{12} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ arasında olduğu belirlenmiştir.

Ghosh et al. (2003) tarafından Oldukça iletken olan flor katkılı kadmiyum oksit ince filmlerini sol jel daldırma kaplama tekniği ile hazırlamışlardır. Filmlerdeki F konsantrasyonu X ışını analizi ile %2,0 ve %13,8 arası olduğu görülmüştür. Röntgen kırılması ile çok kristalli olduğu tespit edilmiştir. Optimum F ile maksimum iletkenlik elde etmek için konsantrasyonun %9,7 oranında tutulduğu ifade edilmiştir. Elektriksel iletkenliğin $1.088 \times 10^4 \text{ S/cm}$ ve hareketliliğin 60.41 V / cm^2 olduğu görülmüştür. Yine yapılan UV-VIS-NIR spektrumunun F konsantrasyon değeri %9,7 için bant boşluğu 2,3 eV olarak hesaplanmıştır.

M Eslami et al. (2013) tarafından Nd^{+3} katkılı $\text{SiO}_2\text{-CaO-MgO}$ cam ve cam yüzeyli seramik tozu sol jel metodu ile hazırlamışlardır. Sentezlenen tozların özellikleri eş zamanlı olarak termal analiz (STA), X-ışını kırınımı (XRD), fotoluminesans (PL) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak belirlenmiştir. STA analizi sonucu yumuşama noktası ile kristalleşmenin artan sıcaklık ve katkı içeriği ile yüksek değerlere kaydığı görülmüştür. Cam örneklerinde Nd'nin XRD da bir ara oksit özelliği taşıdığı belirlenmiştir. XRD analiz grafikleri minerallerin yüksek sıcaklıkta (900°C 'de) ısı muamelesinden sonra cam matriste oksit kristallerinin oluştuğu görülmüştür. Floresan spektrumunun cam seramik tarafından yapılananın dopant içeriklere oranla daha güçlü

ışığa yaydığı belirlenmiştir. SEM görüntülerin homojen tek yapılı ve düzgün yüzeyli bir yapıda olduğu tespit edilmiştir.

F Yakuphanoglu (2010) tarafından CdO nano ince filmler sol-gel yöntemi kullanılarak başarıyla sentezlemiştir. İnce filmlerin güneş pili yapısını p-Si / n-CdO olacak şekilde üretilmiştir. Optik bant aralığı 2,27 volt olarak hesaplanmıştır. Elektriksel özellikleri cihaz yardımı ile ölçmüştür. İnce filmlerin gösterdiği en iyi değerlerin p-Si / n-CdO güneş hücresi için aydınlatma altında, $V_{oc} = 0.41$ ve $J_{sc} = 2,19 \text{ mA} / \text{cm}^2$ olarak hesaplamıştır.

F Yakuphanoglu (2011) tarafından B katkılı CdO ince filmler sol jel kaplama yöntemi ile hazırlanmıştır. Borun yapısal, elektriksel ve optik özellikleri incelenmiştir. Bor elementinin CdO oksit üzerinde önemli değişikliğe neden olduğu tespit edilmiştir. Hazırlanan %1, %5, %10 ve %15 B katkılı filmlerin bant aralığı 2,17 eV, 2,45 eV, 2,29 eV ve 2,24 eV olarak ölçülmüştür. Katkı oranının değişimine bağlı olarak bant aralıklarının değiştiği tespit edilmiştir. Ayrıca iletkenlik değerleri %1, %5, %10 ve %15 B katkıları için ölçülmüş ve değerler sırası ile $5,55 \cdot 10^1$ (S / cm), $4,27 \cdot 10^1$ (S / cm), $5,77 \cdot 10^1$ (S / cm) ve $4,48 \cdot 10^1$ (S / cm) olarak bulunmuştur. Ayrıca kırılma indeksi dağılımının tek osilatör modeline uygun çıktığı görülmüştür. Hazırlanan %1 B katkılı p-Si/n-CdO heterojen yapılı güneş pili için en iyi açık devre voltaj değerleri, aydınlatılma altında $V_{oc} = 0,37$ volt ve kısa devrenin akım yoğunluğu, $J_{sc} = 0,81 \text{ mA} / \text{cm}^2$ olarak elde edilmiştir.

AA Dakhel (2010) yaptığı çalışmada vakumlu buharlaştırma yöntemi ile CdO Te katkılı %1, %3 ve %5 filmler hazırlamıştır. Katkı maddesi Te iyonlarının etkisi ile filmlerin bant aralıkların da %23 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedenini klasik bant değişimi, bilinen bant aralığı modeli ile açıklanmıştır. Bu büzülme nedeninin örtüşmeden kaynaklı olduğu önerilmiştir. DC-elektrik iletim parametrelerinin ağırlığın bir fonksiyonu olarak ölçülmüştür. Te n-tipi yarı iletken filmlerinin enerji aralığı 1,7–2,2 eV olarak bulunmuştur. %1 Te-katkılı CdO filminin, CdO elektron hareketliliği yaklaşık 5 kat arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca iletkenliği 140 kat ve taşıyıcı yoğunluğunu 27 kat artığı görülmüştür. Tıpkı In, Sn, Sc ve Y metalleri gibi Te elementinin de etkin bir katkı maddesi olduğunu ifade etmiştir.

S KOSE et al (2009) yaptığı çalışmada ultrasonik spreylere piroliz ile cam yüzeyler üzerine In katkıları yapılmış ve CdO cam filmleri üretilmiştir. Katkılar %1, %3, %5 ve saf CdO cam filmleridir. Yapılan film XRD analizlerinde yapının polikristal yapıda olduğu görülmüştür. Ayrıca analizlerde hem sıcaklığın hem de In katkılarının bant aralıklarını nasıl değiştirdiği belirlenmiştir. Yine optik, yapısal, yüzey ve iletkenlik analizleri yapılmıştır. CdO filmleri için, bazı optik parametreler, örneğin yansıma (R), kırılma indisi (n), yok olma katsayısı (k) ve bant boşluğu ile bant kuyruğu (E_0) analizleri yapılmıştır. Geçirgenlik (T) ve absorpsiyon (A) spektrumları ile yapılar farklı maddeler katkılanarak kristal yapılarındaki değişimler incelenmiştir. Optik incelemelerde geçirgenliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu yapıların SEM görüntüleri alınarak yüzey morfolojileri incelenmiştir.

K Siraj et al (2011) yaptığı çalışmada Al-ekskü CdO filmlerin silikon tabaka üzerine lazer biriktirme tekniğı ile kristal yapılar sentezlenmiştir. Birikim sıcaklığının yapısal, yüzey, optik ve manyetik özelliklerine olan etkisi incelenmiştir. Farklı sıcaklıkların bu özellikleri nasıl değiştirdiğı belirlenmiştir. XRD ile kalıpların birikiminin nano yapı olduğu görülmüştür. XRD'nın sıcaklık ile filmlerin tercih edilen kristal büyümesi hakkında yeterli bilgi verdiğini söylemişlerdir. 100°C de filmlerin (111) ve (200) yönelimli kristal yapıları oluştuğunu söylemişlerdir. Sıcaklığın 200°C ve 400°C ye yükseltince sadece (200) yönelimli kristaller oluştuğunu ifade etmişlerdir. Yok olma katsayısı (k), kırılma indisi (n) ve optik bant boşluk enerjisi, absorptivite, yansıtma, gerçek dielektrik sabit (ϵ_1), biriktirilmiş hayali dielektrik sabiti (ϵ_2) gibi özelliklerin biriktirme sıcaklığına göre değiştiğini söylemişlerdir. Biriktirme sıcaklıkları ayrıca manyetik özellikler üzerinde de bazı ilginç etkiler gösterdiğini belirtmişlerdir. 25 °C 'de biriken filmlerin M – H ilmeğı özelliğı taşıdığını ve 100°C sıcaklıklarda biriken filmlerin paramanyetik özellik taşıdığını bulmuşlardır. Filmlerin 200-400°C ferromanyetik karakter sergilediğini ifade etmişlerdir. Filmlerin mıknatıslanmada birikim sıcaklığına göre değiştiğini ifade etmişlerdir. Taramalı elektron analizleri yapıların dağılmış olan uzun kanallarını gösterdiğini belirtmişlerdir. 400°C 'de biriktirilen filmlerin, yani (200) yönelimli olanların (FWHM) yarı maksimumda yarı genişliğinin en düşük değerini aldığını söylemişlerdir. Ayrıca düzgün yüzey morfolojisi olduğunu, en düşük bant boşluğuna sahip olduğunu ve ferromanyetik özellik gösterdiğini ifade etmişlerdir. Sonuç olarak birikim sıcaklığının yapı karakterini değiştirdiğini söylemişlerdir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Kullanılan Cihaz ve Kimyasallar

Numunelerin XRD ölçümü için:.....Rikagu X-ışını Difraksiyon Cihazı
Numunelerin yüzey görüntüsü için:.....XE 100E PARK Sistem AFM Cihazı
Numunelerin 200 ve 1100 nm aralığındaki yansıtma geçirgenlik değerlerinin ölçümü için:..... UV-VIS-NIR 3600 Spektrofotometresi
Numunelerin PL ölçümü için:..Floresan Spektroskopi Cihazı Perkin Elmer(Model LS55)
Numunelerin hassas kütle ölçümü için:.....Elektronik Terazı
Hassas çözelti hazırlamak için:.....Pipet
Numunelerin homojen çözelti eldesi için:.....Manyetik Karıştırıcı
Zararlı kimyasalların solunmaması için:.....Çeker Ocak
Numunelerin ısıt işlemleri için:.....Fırın
Çözelti hazırlamak için:.....Çeşitli Ebatlarda Erlen ve Beherglas
Cam kapların temizlenmesi için:.....Etil Alkol
Çözelti hazırlamak için:.....Metil Alkol
Numune için:.....Kadmiyum Asetat Dihidrat
Numune için:.....Erbiyum III Nitrat Dihidrat
Numune için:.....Mono Etenol Amin
Filim kaplaması için:.....Spin Kaplama Cihazı (FYTRONIX)
Homojen çözelti ve malzeme temizliği için:.....Ultrasonic Banyo
Cam kapların temizlenmesi için:.....Saf su
Çözelti hazırlamak için:.....Damlalık
Hassas ve güvenli çalışma için:.....Eldiven
Hassas ve güvenli çalışma için:.....Gözlük
Hassas ve güvenli çalışma için:.....Önlük
Numune için:.....Saklama Kabı

4.2. Çözeltilerin Hazırlanması

60°C’de yedi adet 0,5 Molar $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ çözeltisi hazırlanmıştır. 45 dakika bekletilerek çözeltinin içine kütlece %0,1 ,%0,3 ,%0,5 ,%1 ,%3 ,%5 erbiyum olacak şekilde değişik miktarlarda $\text{Er}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ katısı ilave edilmiştir. Oluşan yeni çözeltiler ultrasonik banyoda 60 dakika 60°C’de bekletilmiştir. Daha sonra magnet karıştırıcı yardımı ile üzerlerine monoetenolamin ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$) ilave edilmiştir. Çözeltiler 24 saat bekletilmiş ve jel oluşumu için bekletilmiştir (F Yakuphanoglu 2011).

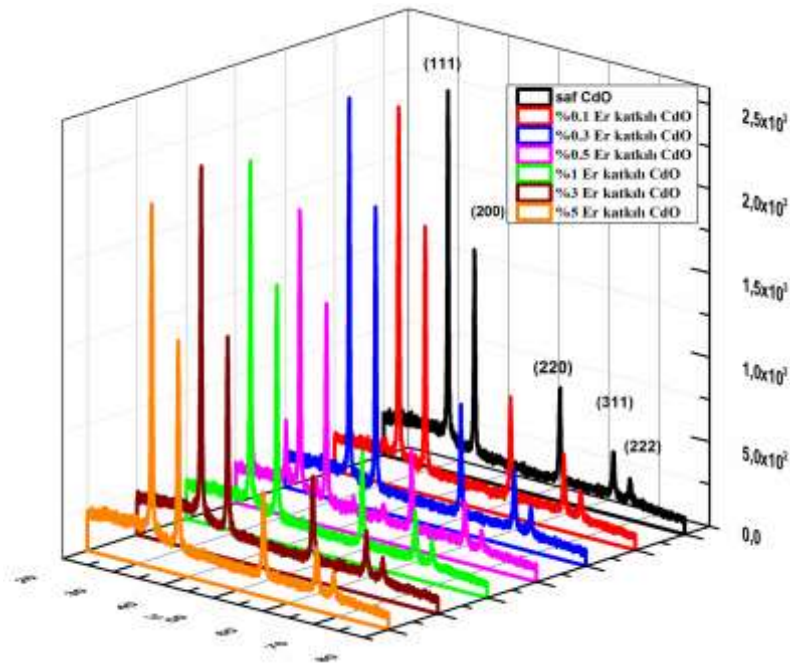
4.3. Filmlerin Hazırlanması

Mikroskop Camı 2×1 cm boyutunda kesilip Saf su ve alkol kullanarak ultrasonik banyoda 30 dk boyunca bekletilmiş ve temizlenmiştir. Cam filmlerin kurutulmasında azot gazı kullanılmıştır. CdO ve erbiyum katkılı CdO çözeltileri cam üzerine döndürme kaplama yöntemi ile 1500 rpm’de filmler oluşturulmuştur. Yapılan her kaplama öncesi 170°C sıcaklıkta çözücü uzaklaştırılarak 2 dk beklenmiştir. Cam malzeme üzerine 10 kat kaplama yapılmıştır. CdO ve erbiyum katkılı CdO ince filmler 450°C’de yaşlandırma işlemi yapılarak sentezlenmiştir (Ghosh et al. 2003; F Yakuphanoglu et al 2010; M Benhaliliba et al. 2012; Z Şerbetçi et al 2014). Daha sonra filmlerin sıra ile UV-VIS-IR, AFM, XRD, PL, incelemeleri için kutulara alınmış ve numune analizi için hazırlanmıştır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yukarıda yapılan çalışmalar neticesinde bulunan veriler işlenerek çalışmanın amacı doğrultusunda fikir beyanında bulunmak sureti ile sonuçlar aşağıda bilimsel olarak sunulmuştur.

5.1. XRD İle Yapısal Özelliklerin İncelenmesi



Şekil 5.1. CdO, %0,1, %0,3, %0,5, %1, %3 ve %5 Er katkılı CdO filmlerinin XDR pikleri

Şekil 5.1’den de görüldüğü gibi saf ve Er katkılı CdO’in yapısının yüzey merkezli kübik poli kristal yapısında olduğu ve elde edilen kübik (111), (200), (220), (311) ve (222) yönelimleri ile Tablo 5.1’de gösterilmiştir (Velusamy et al. 2018; Dakhel et al. 2017; Aydın vd. 2017; Aydın vd. 2011). Bu pikler dışında, farklı piklerin gözlenmemesi erbiyumun CdO yapısının kristal şeklinin bozulmadığı ve Er ile katkılandığı tespit edilmiştir. CdO’e Er katkısıyla pik şiddetlerindeki artış ve azalış Tablo 5.1’de belirtilmiştir.

Filmler içinde en fazla pik şiddetinde artış olan %0,3 Er katkılı CdO yapısıdır. Pik şiddet artışı en az olan ise %0,5 Er katkılı CdO filmidir. (200) kırınım deseni şiddeti saf kübik yapıdaki CdO’in kırınım desenlerine göre katkılı tüm filmlerde artmıştır. Diğer yönelmelerde düzenli artma ve azalma gözlemlenmemiştir.

Tablo 5.1. %0,1, %0,3 , %0,5 , %1, %3, %5 Er katkılı CdO filmlerinin XRD piklerinin Saf CdO göre yüzde pik şiddetlerindeki değişim oranları

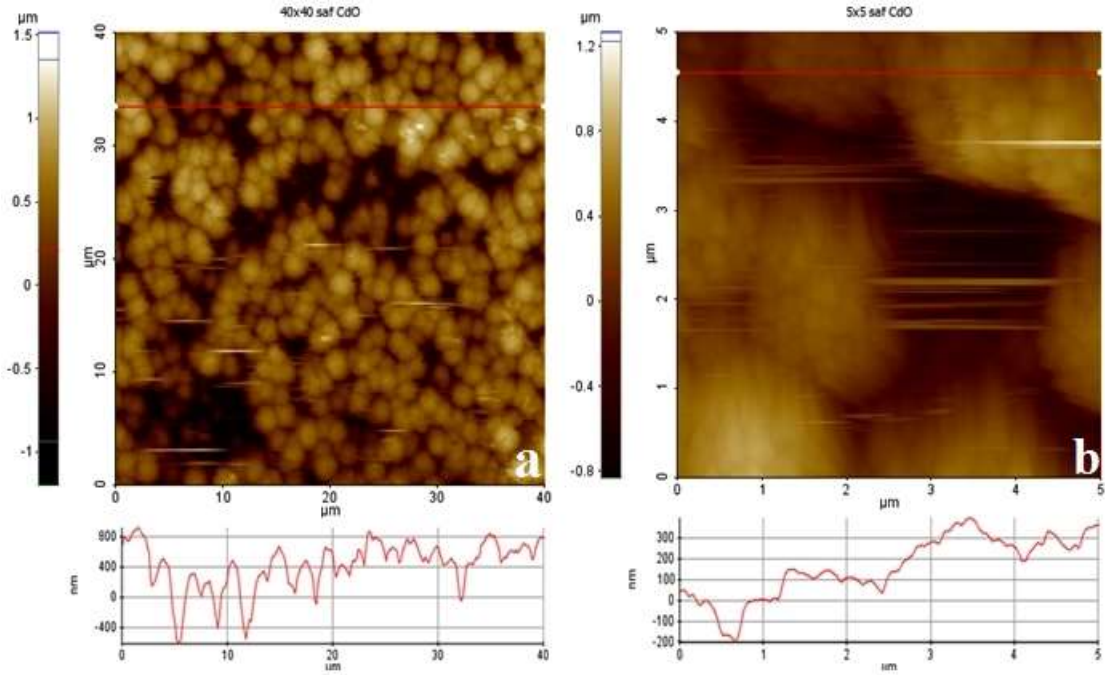
Filmler	111	200	220	311	222
%0,1	>4	>16	>5	>21	>4
%0,3	>7	>13	>10	>20	>4
%0,5	<18	≈	<14	>20	<4
%1	<3	>13	≈	≈	>7
%3	>2	<2	<8	<1	>1
%5	<4	<2	<7	≈	>7

5.2. AFM İle Yüzey Özelliklerin İncelenmesi

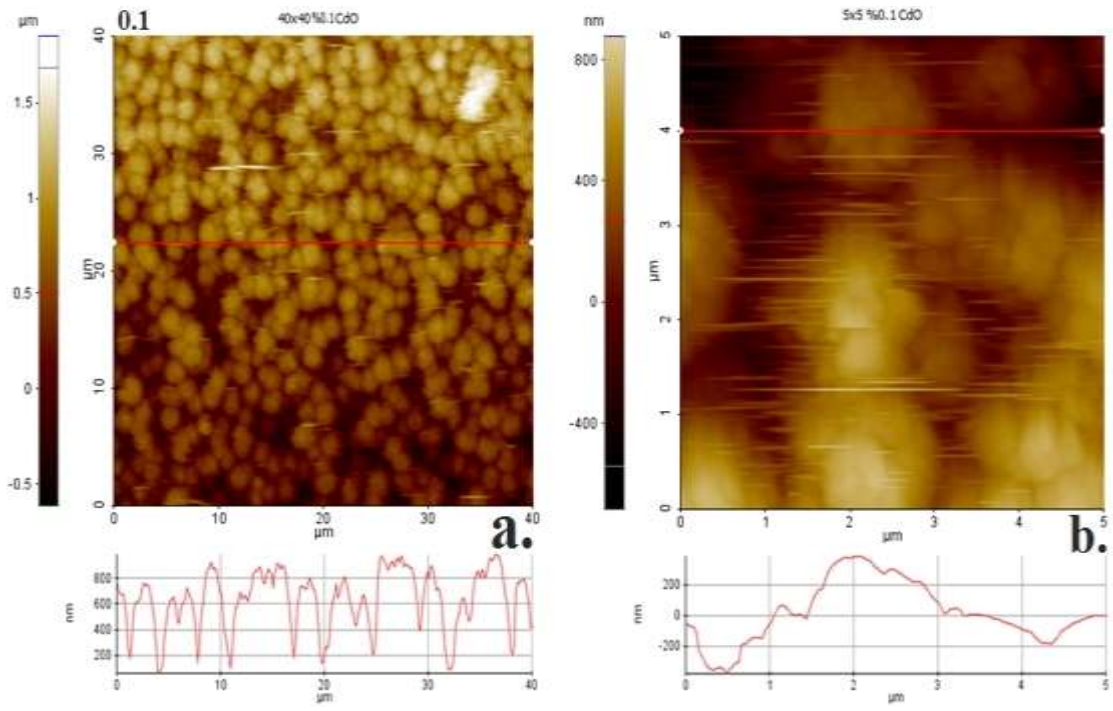
CdO ve Er katkılı CdO ince filmlerin yüzey morfolojisi özelliği AFM kullanılarak incelenmiştir.

Şekil 5.2. ile Şekil 5.8 arasında saf CdO ve Er katkılı ince filmlerinin 40x40 µm ve 5x5 µm mikron alanda alınmış AFM görüntüleri görülmektedir.

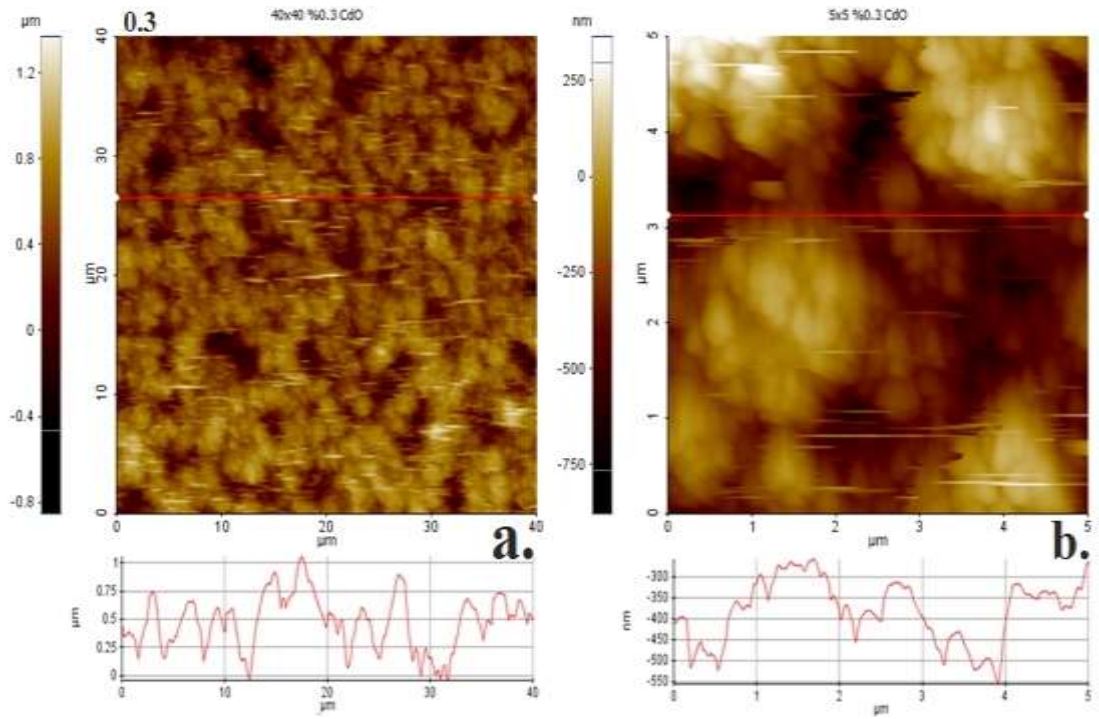
Tüm filmler hemen hemen homojen bir dağılıma sahip olup nano yapıli birleşik kümeler halindedir. Şekil 5.8’de görüldüğü gibi %5 Er katkıli CdO ince filmi 80 nm ortalama kristal tane boyutundaki taneciklerin birleşimiyle 1600 nm büyüklükte kümeler oluşturmıştır. Filmlerin içinde en küçük değerde olduğu bulunmuştur. Yüzey pürüzsüzlük (Rq) değeri saf %1 Er katkıli CdO için 144 nm ile en düşük değerde görülmüştür. Bununla birlikte katkılanım ile pürüzlük değeri azalmıştır. CdO’in 398 nm ile Rq değeri bütün filmler içinde yaklaşık en büyük değerde ölçülmüştür. Er kakılama oranı arttıkça kümelenme boyutu git gide azalmıştır. AFM görüntülerinden de açıkça görülmüştür.



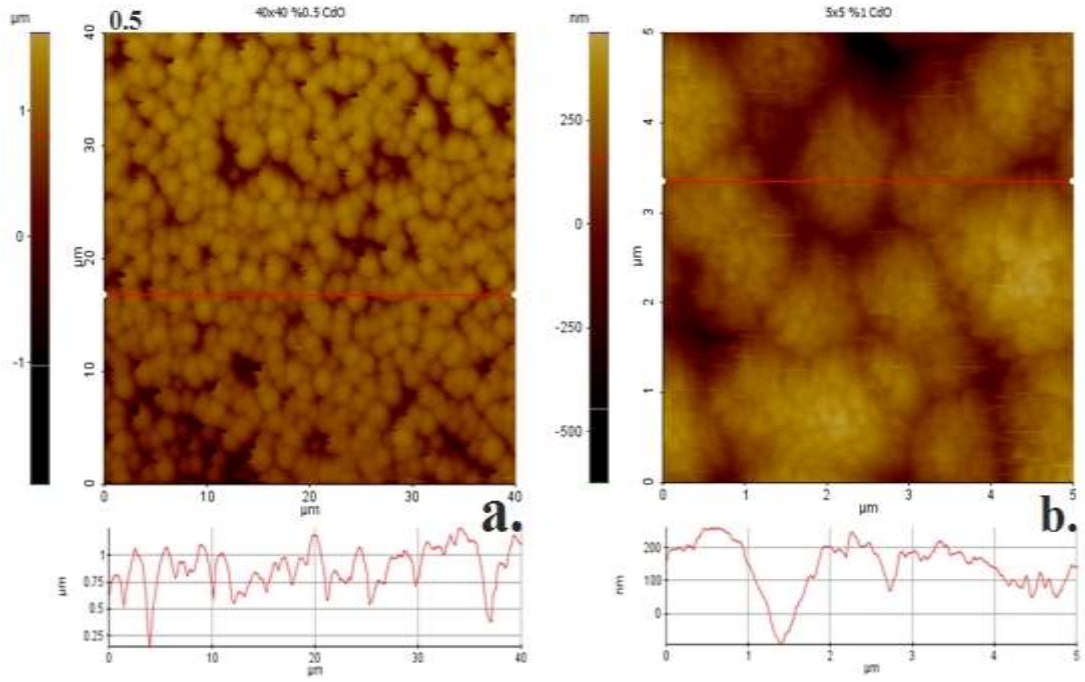
Şekil 5.2. Saf CdO filminin AFM görüntüsü (a) 40x40 µm (b) 5x5 µm



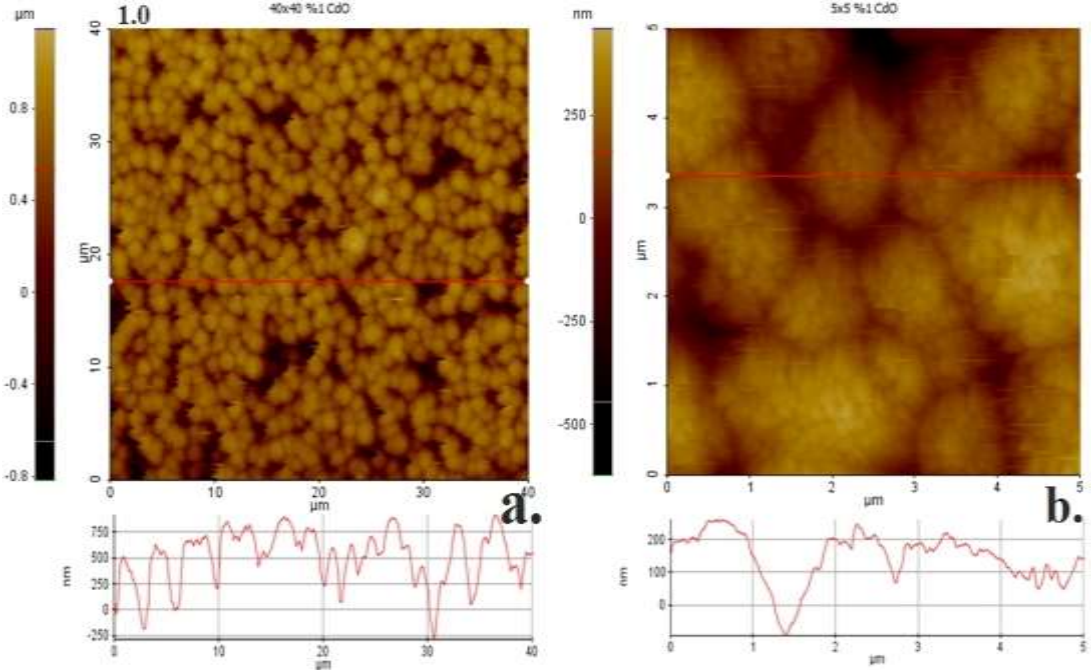
Şekil 5.3. %0,1 Er katkılı CdO AFM görüntüsü (a) 40x40 μm (b) 5x5 μm



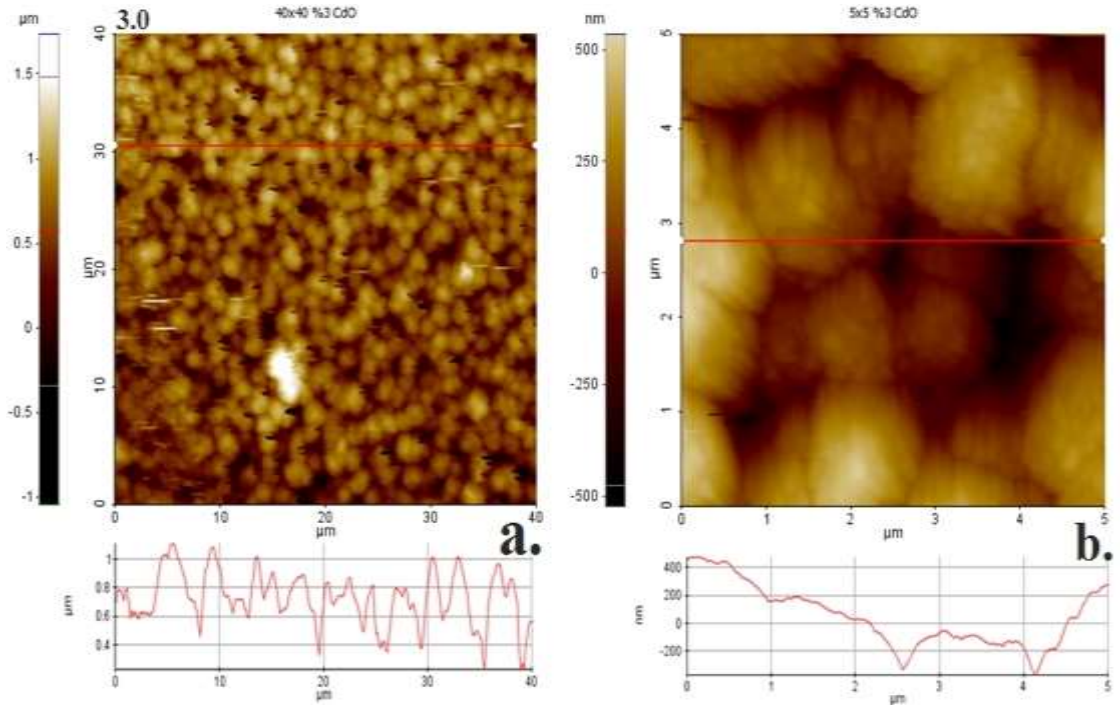
Şekil 5.4. %0,3 Er katkılı CdO AFM görüntüsü (a) 40x40 μm (b) 5x5 μm



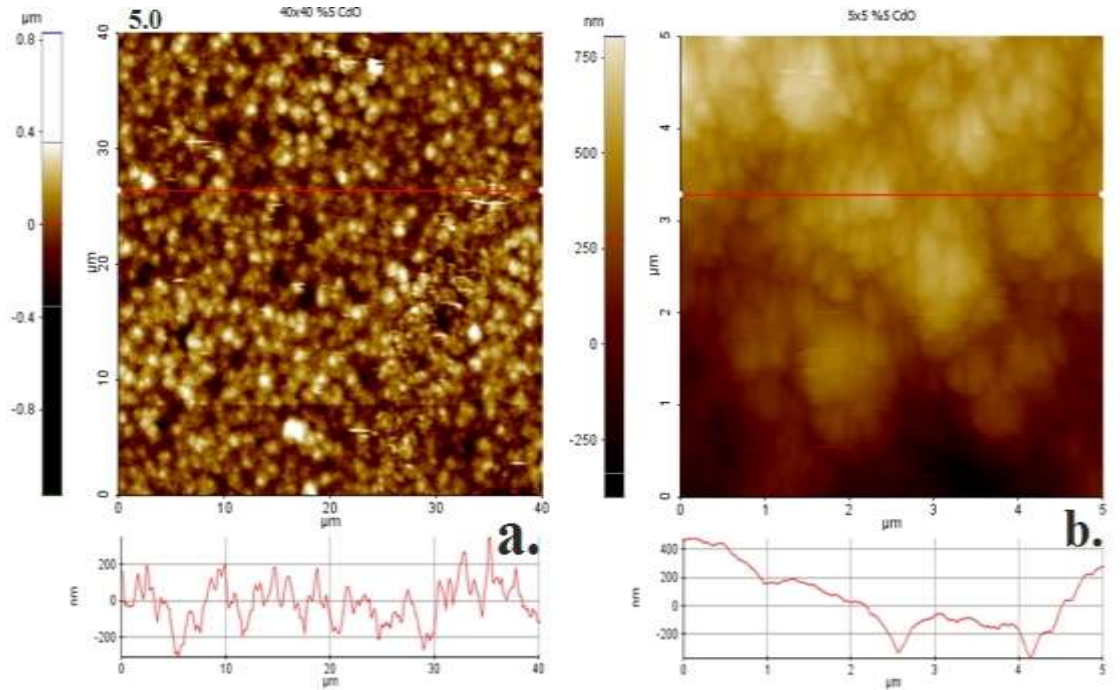
Şekil 5.5. %0,5 Er katkılı CdO AFM görüntüsü (a) 40x40 μm (b) 5x5 μm



Şekil 5.6. %1 Er katkılı CdO AFM görüntüsü (a) 40x40 μm (b) 5x5 μm



Şekil 5.7. %3 Er katkılı CdO AFM görüntüsü (a) 40x40 μm (b) 5x5 μm



Şekil 5.8. %5 Er katkılı CdO AFM görüntüsü (a) 40x40 μm (b) 5x5 μm

CdO ve Er katkılı CdO'in 5x5µm aralığındaki filmlerinde nano yapıları kümeler içindeki küçük kristallerin büyüklükleri belirlenmiş ve Tablo 5.2'de verilmiştir. Ayrıca tüm yüzeylerin filmi 5x5 µm alanı içinde çekilen CdO ve Er katkılı CdO ince filmlerin yüzey pürüzsüzlük (Rq) değerleri belirlenmiş ve Tablo 5.2'de verilmiştir.

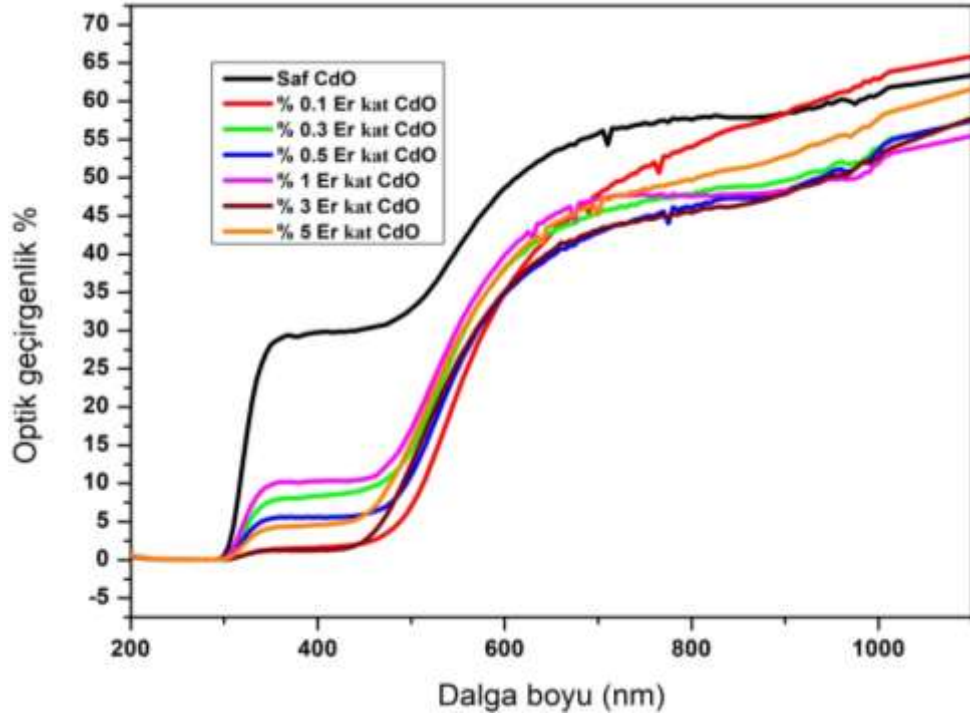
Tablo 5.2. 5x5µm aralığındaki AFM görüntülerinden saf CdO ve Er katkılı CdO filmlerinin kristal yapıları nano kümelenme büyüklüğü ve yüzey pürüzsüzlük (Rq) değerleri

İnce Filmler	Yüzey Partikül büyüklüğü (nm)	Nano kümelenme büyüklüğü(nm)	Pürüzsüzlüğü (Rq) (nm)
Saf CdO	≈100	≈2500	≈398
%0,1Er-CdO	≈200	≈2100	≈270
%0,3Er-CdO	≈120	≈2000	≈196
%0,5Er-CdO	≈90	≈2150	≈242
%1Er-CdO	≈100	≈1700	≈144
%3Er-CdO	≈230	≈1800	≈195
%5Er-CdO	≈80	≈1600	≈234

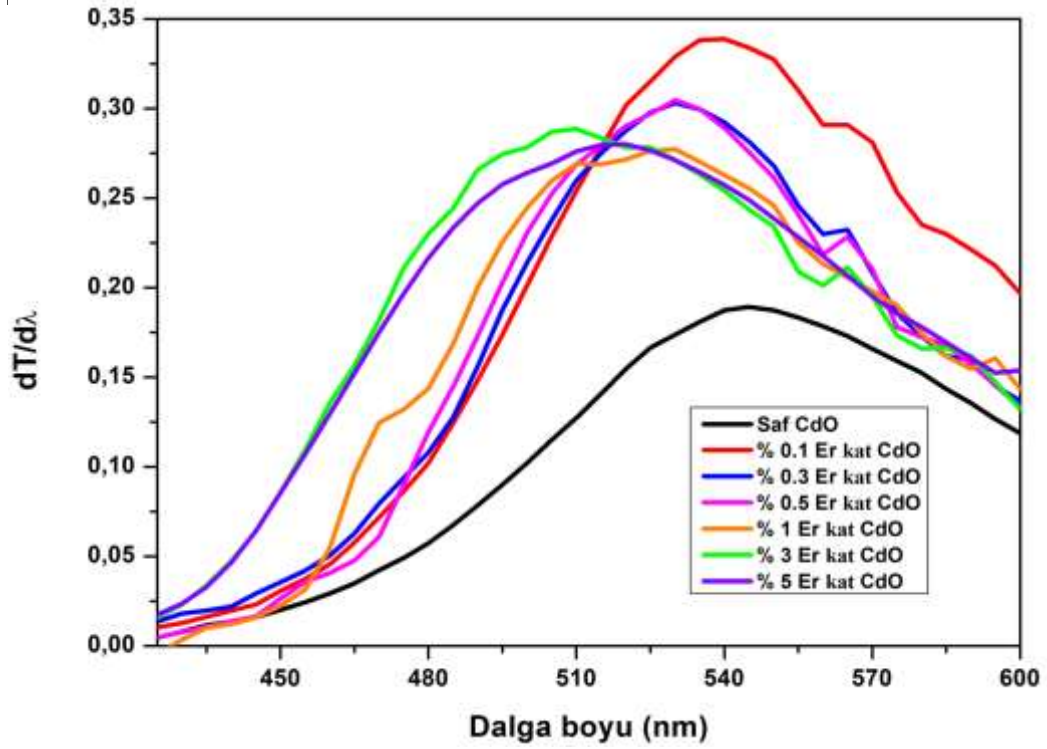
5.3. Optik Özelliklerin İncelenmesi

5.3.1. CdO ve Er Katkılı CdO İnce Filmlerin Geçirgenlik Spektrumları ve Özellikleri

CdO ve Er katkılı CdO ince filmlerin optik özelliklerini incelemek için geçirgenlik spektrumları alınmıştır. CdO ve Er katkılı CdO ince filmlerin ortalama geçirgenlik değerleri hesaplanmış ve Şekil 5.9'de gösterilmiştir. Şekil 5.9'de görüldüğü gibi %1 Er katkılı CdO ince filminin ortalama geçirgenliği (%53,6) tüm filmler içinde en küçük değerde iken, %0,1 Er katkılı CdO ince filminin ortalama geçirgenliği (%65,8) en büyük değerdedir. Bu değerler, literatürdeki geçirgenlik değerleri ile uyumluluk göstermektedir. (Ghosh et al. 2006; Mohalkara et al. 2010; Khan et al. 2010).



Şekil 5.9. Saf ve Er katkılı CdO'in filmlerinin geçirgenlik spektrumu grafiği



Şekil 5.10. Saf ve Er katkılı CdO'in filmlerinin $dT/d\lambda$ karşı dalga boyu grafiği

Tablo 5.3’de görüldüğü gibi, CdO ince film ortalama geçirgenlik değeri Er katkısıyla önce artmış daha sonra azalmıştır. CdO ve Er katkılı CdO ince Şekil 5.10’da filmlerin $dT/d\lambda$ karşı dalga boyu eğrileri çizilerek maksimum geçirgenliğinin sağlandığı dalga boyu hesaplanmıştır

$$E = h.c / \lambda \quad (E=eV, h=eV.s, c=nm/s, \lambda=nm) \quad (1)$$

Denklem (1) kullanılarak E (enerji) h (Planck sabiti) c (ışık hızı) λ (dalga boyu) maksimum absorpsiyon değerlerinden hesaplanan CdO ve Er katkılı CdO ince filmlerin enerji bant aralıkları Tablo 5.3’de verilmiştir. Tablo 5.3’de görüldüğü gibi, saf CdO ve Er katkılı CdO ince filmlerin maksimum pik değerleri 545 ile 509 nm arasında değişmektedir, Saf CdO ince filminin enerji bant aralığı değeri %3 Er katkısıyla 2,279 eV’den 2,344 eV’a çıkmıştır (Z Şerbetçi et al 2014).

Tablo 5.3. Saf ve Er katkılı CdO ince filmlerinin bazı önemli optik parametreleri

İnce film	Saf CdO	%0,1	%0,3	%0,5	%1	%3	%5
Ortalama Gecirgenlik (%)	63,4	65,8	57,5	57,3	53,6	57,8	61,6
Maksimum dalga boyu (nm)	545	537	530	529	528	509	518
E_{abs} (eV)	2,279	2,313	2,343	2,347	2,352	2,44	2,398

5.3.2. CdO ve Er katkılı CdO İnce Filmlerin Kırılma İndisi Parametrelerin Belirlenmesi

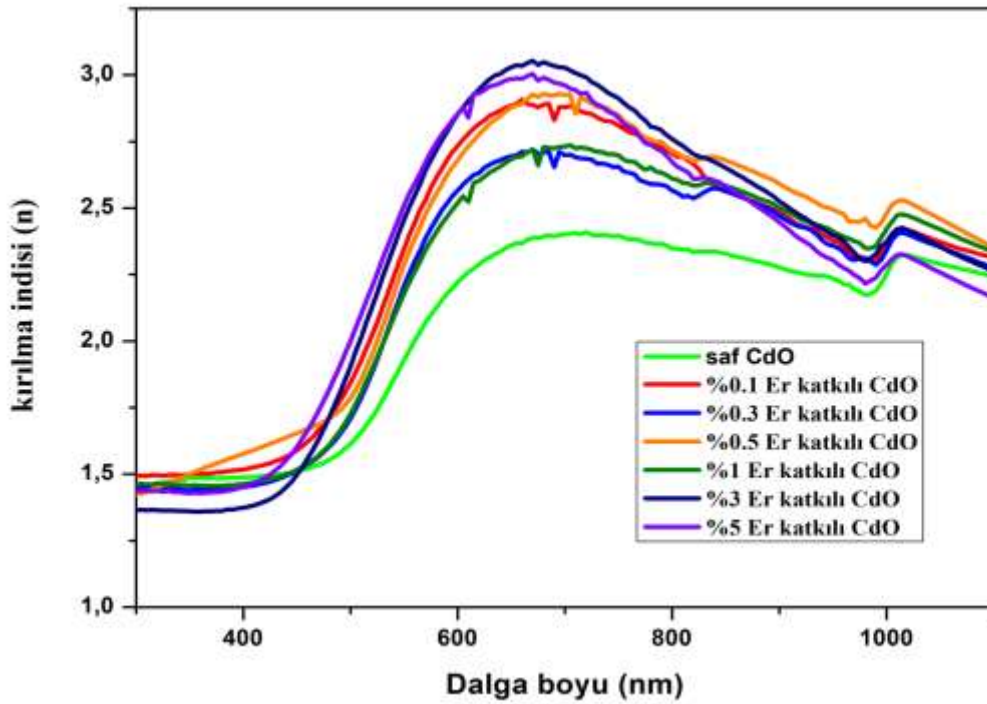
Malzemenin optik özelliklerini belirleyen ve kompleks sayı ile ifade edilen kırılma indisinin gerçel ve sanal kısımları birbiriyle bağlantılıdır. Kırılma indislerin hesaplanmasında optik kırılma indisi için (1) numaralı formül ile hesaplanmıştır. Denklemde n kompleksin kırılma indisinin gerçel k ise sanal kısımdır.

$$\hat{n} = n(\omega) + ik(\omega) \quad (2)$$

Filmlerin karakteri geçirgenlik ve yansıtma gibi özellikleri, kırılma indisi ile paralellik taşıdığı için kırılma indisi değerleri bize numune hakkında optik bir özellikleri hakkında bilgi vermektedir.

Ayrıca filmlere ait dalga boyuna karşılık gelen yansıtma değerlerinden faydalanarak kırılma indisi değerleri (3) nolu formülden hesaplanmıştır. Buradaki R yansıtma değeri k sönüm katsayısı (F Yakuphanoglu et al 2012).

$$n = \left\{ \left[\frac{4R}{(R-1)^2} - k^2 \right]^{1/2} - \frac{R+1}{R-1} \right\} \quad (3)$$



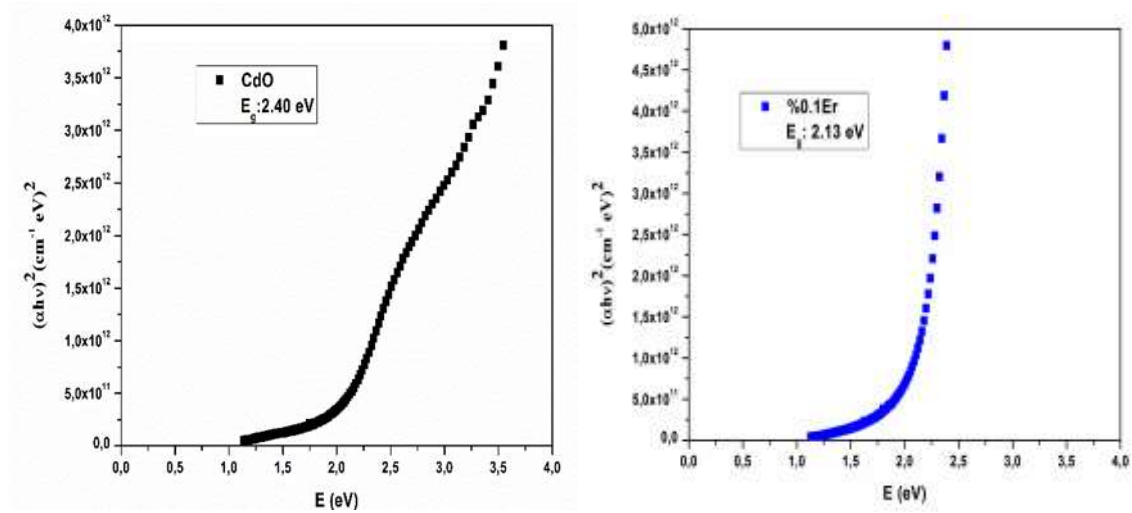
Şekil 5.11. Saf ve Er katkılı CdO filmlerinin kırılma indisi grafiği

Şekil 5.11’de CdO ince filmlerinin Er katkısıyla %0,3 katkılı film hariç diğer ince filmlerin kırılma indislerinin katkı miktarına paralel bir artma meydana getirdiği görülmektedir.

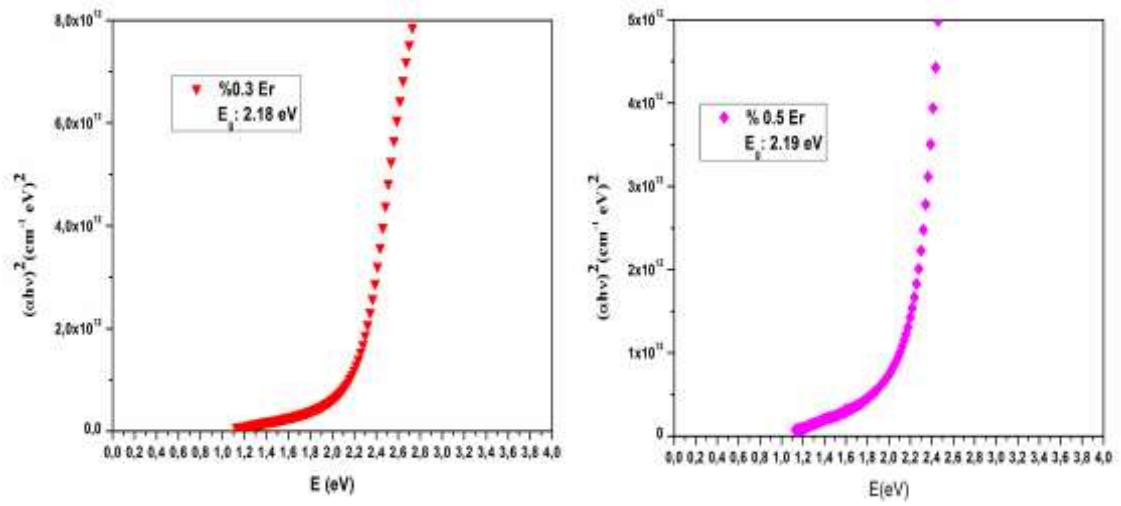
Yapıların Er katkı ile kırılma indislerinin paralellik göstermesi literatürdeki yapılan çalışmalar ile benzerlik taşımaktadır. Kırılma indislerinin 3,136 ile 2,560 arasında olduğu görülmektedir. (S. Kose at al 2009). CdO ve Er katkılı CdO ince filmlerin n değerleri anormal dağılım bölgesindeki λ arttıkça artarken, CdO ve Er katkılı CdO ince filmlerin kırılma indisi n değerleri, normal dağılım bölgesinde artan dalga boyuyla birlikte azalmaktadır. Bu da optoelektronik uygulamalar için çok önemli bir gelişmedir.

5.3.3. CdO ve Er katkılı CdO İnce Filmlerin Optik Bant Aralığı Özellikleri

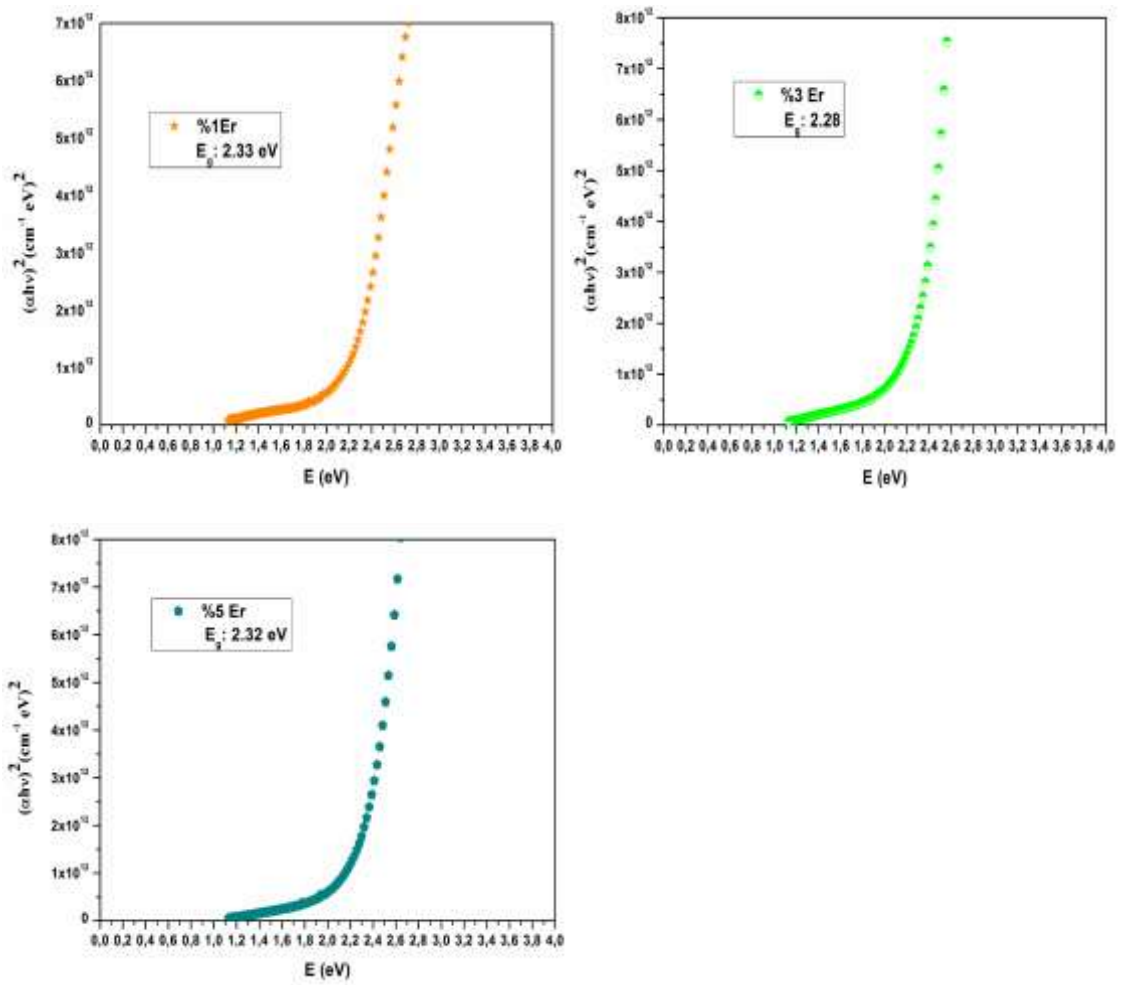
CdO ve Er katkılı CdO ince filmlerin $(\alpha h\nu)^2$ karşılık $h\nu$ grafiği Şekil 5.12-14'de verilmiştir. Bu grafiklerden faydalanarak bulunan optik bant aralıkları Tablo 5.4'de verilmiştir. Tablo 5.4'de görüldüğü gibi CdO göre erbiyum katkısı %0,1, %0,3 ve %0,5 ince filmlerinin doğrudan enerji aralığı değerleri azalmakta %1, %3 ve %5 olan ince filmlerden doğrudan enerji aralığı değerleri artmaktadır. Yine 0,1 erbiyum katkılı filmin 2,13 eV ile en düşük değerde iken CdO ince filminin enerji bant aralığı 2,40 eV ile en yüksek olarak bulunmuştur. Literatürde bu değerler 2,2 ile 2,8 arasında değişmektedir (Mohalkara et al. 2010; Khan et al. 2010; Yakuphanoglu vd. 2014).



Şekil 5.12. Saf CdO ve %0,1, Er katkılı CdO ince filmlerinin foton enerjisine bağlı bant aralığı grafikleri



Şekil 5.13. %0,3, %0,5, Er katkılı CdO ince filmlerinin foton enerjisine bağlı bant aralığı grafikleri



Şekil 5.14. %1, %3, %5 Er katkılı CdO ince filmlerinin foton enerjisine bağlı bant aralığı grafikleri

Buradan erbiyum katkısıyla CdO'nin enerji bant aralığının arttığı ve uygun miktarda erbiyum ilavesiyle CdO ince filminin elektrik iletkenliğinin azalacağı ve artacağı anlaşılmaktadır.

Tablo 5.4. CdO ve %0,1, %0,3, %0,5, %1, %3, %5 Er katkılı CdO ince filmlerinin foton enerjisine bağlı bant aralığı değerleri

İnce filmler	CdO	%0,1Er	%0,3Er	%0,5Er	%1Er	%3Er	%5Er
E_g (eV)	2,40	2,13	2,18	2,19	2,33	2,28	2,32

5.4. CdO ve Er Katkılı CdO İnce Filmlerin Dielektrik ve Elektrik Duyarlılık Özellikleri

Kompleks yapının dielektrik sabiti denklem 4'de gösterilmiştir.

$$\varepsilon^* = \varepsilon_1 + i\varepsilon_2 = n^2 = (n \pm ik)^2 = (n^2 - k^2) + i2nk \quad (4)$$

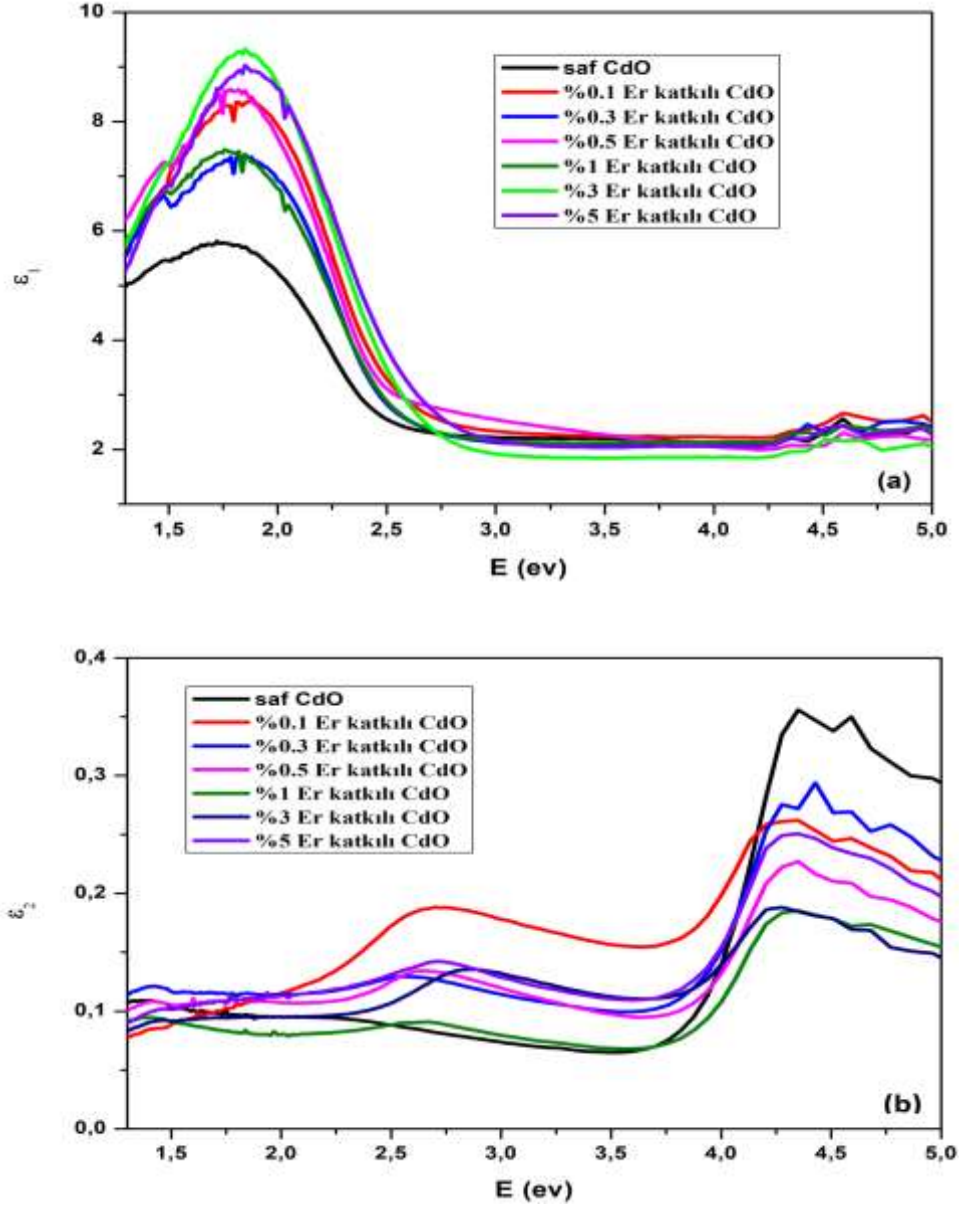
Foton enerjisine dielektrik sabiti bağımlılığının gerçel ε_1 ve sanal ε_2 kısımlarını göstermektedir. Burda n kırılma indisi k sönüm katsayısıdır. Foton enerjisine dielektrik sabiti bağımlılığının gerçek ve sanal kısımları sırasıyla Denklem 5 ve 6'da gösterilmiştir.

$$\varepsilon_1 = n^2 - k^2 \quad (5)$$

$$\varepsilon_2 = 2nk \quad (6)$$

Burada sönüm katsayısı $k = \alpha\lambda/4\pi$ ile hesaplanabilir. α absorpsiyon kat sayısı (Frederick 1972). Şekil 5.15 (a-b)'de görüldüğü gibi, dielektrik sabitinin gerçel kısmının çiziminde, normal ve anormal dağılım bölgesi olarak adlandırılan yaklaşık 1,3 eV ve 2,7 eV arasında iki bölgeden oluşmaktadır. CdO ve Er katkılı CdO ince filmlerin ε_1 değerleri, normal dağılım bölgedeki artan foton enerjisi artarken, CdO ve Er katkılı CdO ince filmlerin ε_1 değerleri, foton enerjisinin anormal dağılım bölgesi azalmıştır.

CdO ince filminin ϵ_1 'in Er 'un katkısıyla artabileceğini göstermiştir. Şekil 5.15 (a-b)'de görüldüğü gibi, ϵ_2 değerleri katkılanıma ile değişmektedir. CdO ve Er katkılı CdO ince filmlerin dielektrik sabitinin gerçel kısımları, dielektrik sabitinin sanal bölümlerinden daha büyüktür.



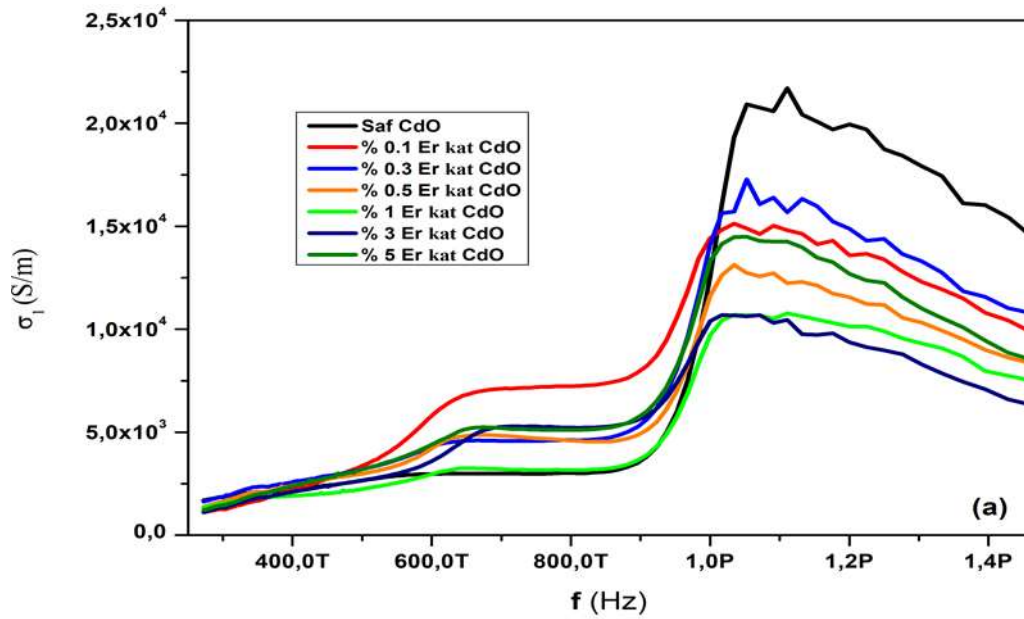
Şekil 5.15. Saf ve Er katkılı CdO filmlerin gerçel (a) ve sanal (b) dielektrik sabiti grafiği

5.5. CdO ve Er katkılı CdO ince filmlerin optik iletkenlik özellikleri

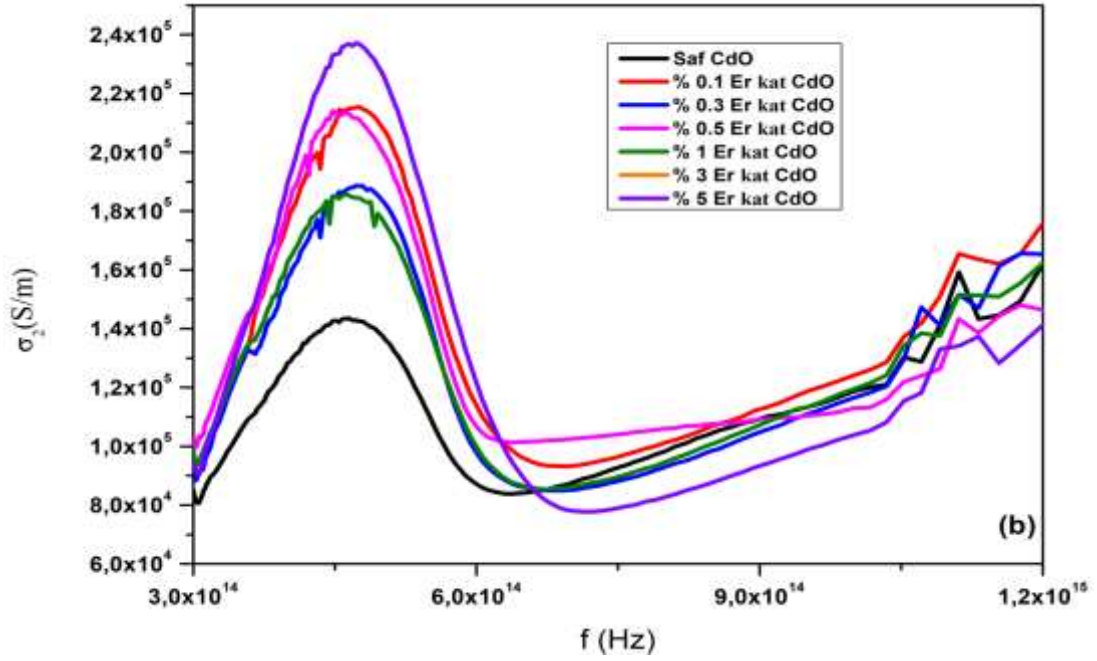
Kompleks yapılı CdO ve Er katkılı CdO ince filmlerin optik iletkenliği Denklem 7 ile ifade edilir (Hodgson JN 1970; Abeles F 1972).

$$\sigma(\omega) = \sigma_1(\omega) + i\sigma_2(\omega) \quad (7)$$

σ_1 iletkenliğin gerçel kısmı ve σ_2 ise iletkenliğin hayali kısmıdır. CdO ve Er katkılı CdO ince filmlerin optik iletkenliğinin gerçel kısmı ve hayali parçaları sırasıyla şekil 5.16 ve şekil 5.17’de gösterilmektedir. Şekil 5.16’da görüldüğü gibi, optik iletkenliğin gerçel kısmı (σ_1), yaklaşık 0,9 THz’a kadar frekansla artmaktadır. Daha sonra artan frekansla birlikte tekrar azalmaktadır. Şekil 5.17’de görüldüğü gibi yaklaşık 300 THz ve 680 THz arasında bir tepe noktası gözlenmektedir. CdO ince filmin σ_2 değerleri, Er katkısıyla ve yaklaşık 300 THz ve 680 THz bölgesi arasında değişmiştir. %5 Er katkılı CdO ince film en yüksek değer iken CdO ince filmin σ_2 ’si tüm filmlerin en düşük değeridir. Bu, CdO ince filminin σ_2 ’sinin Er’nin katkısıyla hem azaltılabileceğini hem de arttırılabileceğini göstermektedir. Şekil 5.17’de görüldüğü gibi, CdO ve Er katkılı CdO ince filmlerin optik iletkenliğinin sanal kısmı optik iletkenliğin gerçel kısmından daha yüksektir.



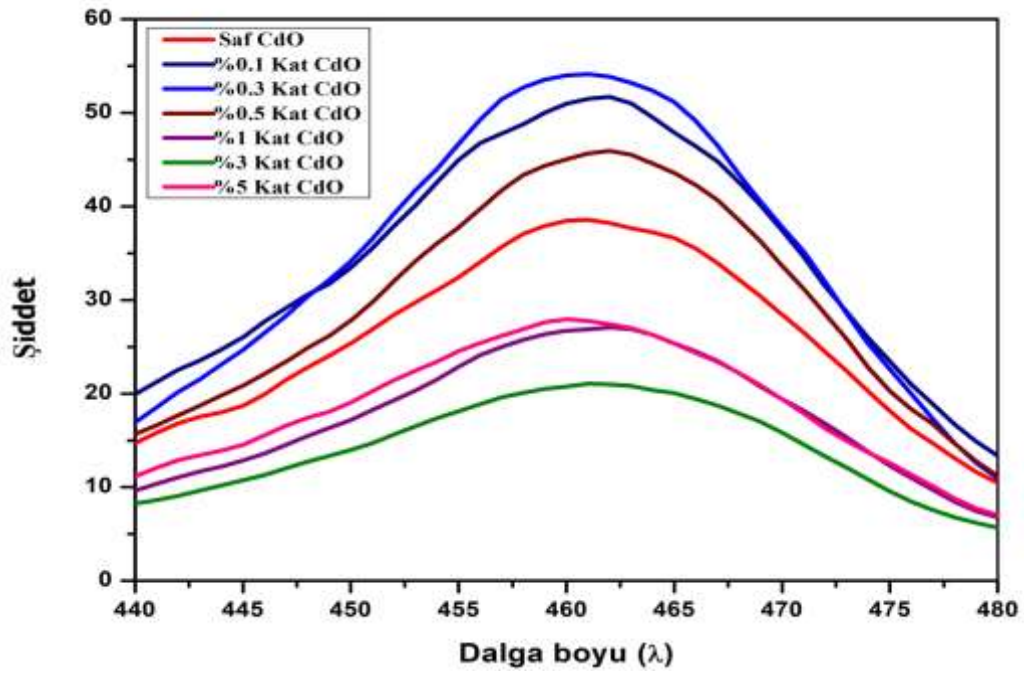
Şekil 5.16. Saf ve Er katkılı CdO filmlerin gerçel optik iletkenlik grafiği



Şekil 5.17. Saf ve Er katkılı CdO filmlerin sanal optik iletkenlik grafiği

5.6. CdO ve Er katkılı CdO İnce Filmlerin Fotolüminesans Özellikler

CdO ve Er katkılı CdO ince filmlerin fotolüminesans spektrumları 375 nm uyarılarak alınmıştır ve Şekil 5.18’de gösterilmiştir. Emisyon piki dalga boyu olarak en düşük saf CdO in 459 nm en yüksek %1 Er katkılı CdO in 464 nm olarak ölçülmüştür. Katkılamamanın etkisini emisyon piki dalga boylarının birbirine yakın farklı dalga boylarında olmasıyla göstermiştir. Fotolüminesans spektroskopisi, yarı iletken bant aralığını tahmin etmenin yöntemlerinden biridir (Benhaliliba et al 2012). E_p değerleri Tablo 5.5’de verilmiştir. Bu değerler 2,67-2,72 eV arasında değişmektedir.



Şekil 5.18. Saf ve Er katkılı CdO ince filmlerinin PL spektrumları grafiği

Tablo 5.5. Saf ve Er katkılı CdO filmlerin PL'e bağlı bant aralık değerleri

Filmler	Saf CdO	%0,1 Er katkılı CdO	%0,3 Er katkılı CdO	%0,5 Er katkılı CdO	%1 Er katkılı CdO	%3 Er katkılı CdO	%5 Er katkılı CdO
Maksimum dalgaboyu (nm)	459	461	462	463	464	463	460
E_p	2,70	2,69	2,68	2,69	2,67	2,68	2,72

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sol-jel yöntemiyle nano yapılı CdO ve Er katkılı CdO ince filmleri 450 °C sıcaklıkta yaşlandırılarak sentezlenmiştir. Yapısal, yüzey ve optik özelliklerine Oda şartlarında bakılmıştır. XRD analizinde CdO ve Er katkılı CdO filmlerinin, kübik kristal sistemi olan (111), (200), (220), (231) ve (222) yönelimlerinde polikristal yapılarda sentezlenmiştir. Katkılanımı ile saf CdO pikleri dışında piklere olmayışı yeni yapıların oluşmadığını, Erbiyum atomlarının kadmiyum oksit 'in kristal boşluklarını doldurduğunu göstermiştir. Polikristal pik şiddetinin tüm yönelimlerinde %0,1ve %0,3 artma %0,5, %1, %3ve %5 de de artma ve azalma gözlenmiştir. Kristal piklerindeki şiddetin değişmesi Erbiyum katkısı ile ortaya çıkmıştır. AFM görüntülerinden tüm filmler nano partiküller birleşimli kümeler halinde homojen dağılımlı olarak sentezlenmiştir. Nano tanecik boyutunun 80-230 nm arasında kümelerin büyüklüğünün ise 1600-2500 nm arasında değişmiştir. 80 nm ortalama kristal tane boyutundaki taneciklerin birleşimiyle 1600 nm büyüklükte kümelenme oluşturan %5 Er katkılı CdO, ince filmlerin içinde en küçük değerde tanecik yapıda sahip olduğu tespit edilmiştir. CdO'in ve kümelenme boyut 2500 nm olarak ölçülmüştür buda yüzey pürüzsüzlük değerinin en büyük değerde 398 nm olmasına sebep olmuştur. Görünür bölgede katkılama etkisiyle geçirgenlik değeri en yüksek %0,1 Erbiyum katkılı CdO ince filmde ölçülmüştür diğer filmlerde ise CdO göre düşük olan saydam iletken Erbiyum katkılı oksit filmler elde edilmiştir. Bu filmlerin $dT/d\lambda$ göre maksimum pik şiddetine göre dalga boyu bulunarak ölçülen absorbsiyon band aralığı (E_{abs}) 2,279-2,441eV bulunmuştur, buda katkılanıma etkisiyle band aralığında genişleme olduğunu göstermiştir. CdO ve Er katkılı CdO ince filmlerin kırılma indisi (n) grafiğinde değerleri normal dağılım bölgesinde artan dalga (λ) boyu ile azalırken, anormal dispersiyon bölgesinde artmıştır. Optik uygulamalar için normal ve anormal dağılım

olarak adlandırılan iki bölgenin oluşması önemli sonuçtur. CdO ve Er katkılı CdO ince filmlerin doğrudan enerji bant aralığı değerleri tüm ince filmler içinde %0,1 Er katkılı CdO'in 2,13 eV ile en düşük değerde iken saf CdO'in 2,40 eV ile en yüksek olarak bulunmuştur. Katkılanıma ile bant aralığının değişebileceğini göstermiştir. CdO ve Er katkılı CdO ince filmlerin dielektrik sabitleri gerçel kısımları, dielektrik sabitinin sanal bölümlerinden daha büyüktür. Filmlerin optik iletkenliğinin sanal parçaları optik iletkenliğin gerçel parçalarından daha yüksektir Erbiyum katkısıyla optik iletkenlik artırılıp azaltılabilmektedir. CdO ve Er katkılı CdO ince filmler fotoluminesans özellik göstermiştir. Emisyon pikinin maksimum dalga boyuna göre hesaplanan bant aralıkları 2,67-2,72 eV arasında hesaplanmıştır. CdO filmlerin Optik bant aralığı ayarlanabildiğinden Erbiyum katkısıyla görünür bölgede optoelektronik uygulamalar için umut verici bir aday olacaktır.

KAYNAKÇA

Abeles F (1972) Optical Properties of Solids, North-Holland, Publishing Company, London, UK

Akyuz I, Kose S, Ketenci E, Bilgin V, Atay F (2011) Journal of Alloys and Compounds 509: 1947–1952

Al Ghamdi AA, Albrithen HA, Al-Ghamdi AA, Yakuphanoglu F (2015) Optical band gap controlling of nanostructure Mn doped CdO thin films prepared by sol–gel spin coating method . Optik 126: 575-577

Alahmeda ZA, Serbetci Z, Yakuphanoglu F (2013) Effects of La Dopant on Nanocluster Size and Optical Band Gap of CdO Films Prepared by Sol-Gel Method. APhysPolA 124: 88-86

Anna Selvan JA, Delahoy E, Sheyu Guo, Yuan Min Li (2006) Solar Energy Materials & Solar 90: 3371-3376

Aurobind SV, Amirthalingam KP, Gomathi H (2006) Advances in Colloid and Interface Science 121: 1–7

Aydin C, El Nasser HM, Yakuphanoglu F, Yahia IS, Aksoy M (2011) Journal of Alloys and Compounds Nanopowder synthesis of aluminum doped cadmium oxide via sol–gel calcination processing 509: 854–858

Aydin R, Sahin B (2017) The role of Triton X-100 as a surfactant on the CdO nanostructures grown by the SILAR method. Journal of Alloys and Compounds 705: 9-13

Azizar Rahman M, Khan MKR (2014) Materials Science in Semiconductor Processing 24: 26–33

Benhaliliba M, Benouis CE, Tiburcio-Silver A, Yakuphanoglu F Avila-García A, Brinker CJ, Scherer GW (1989) Sol- gel science- the physics and chemistry of sol- gel processing, Academic, New York

Carbellade-Galicia DM, Castenedo Perez R, Jimenezsandoval O, Torres Delgado G, and Zuniga Romera CI (2000) High Transmittance CdO Thin Films Obtained by the Sol-gel Method Thin Solid Films 371: 105-108

Cuba M, Qamhie N, Saleh N, Ananth Kumar RT, Hussein AM, Saleh TM (2018) Journal of Luminescence 198: 289–295

Dagdelen F, Serbetci Z, Gupta RK, Yakuphanoglu F (2012) Preparation of nanostructured Bi-doped CdO thin films by sol–gel spin. Materials Letters 80: 127–130

Dakhel AA (2009) Bantgap narrowing in CdO doped with europium. Optical Materials 31: 691–695

Dakhel AA (2010) Effect of tellurium doping on the structural, optical, and electrical properties of CdO Solar Energy 84: 1433–1438

Dakhel AA (2011) Effect of cerium doping on the structural and optoelectrical properties of CdO nanocrystallite thin films Materials Chemistry and Physics 130: 398– 402

Dakhel AA (2012) Structural and optoelectronic properties of Zn-incorporated CdO films prepared by sol–gel method. Journal of Alloys and Compounds 539: 26–31

Dakhel AA (2017) Improving carrier mobility with vanadium doping of transparent conducting CdO Microelectronics Reliability 79: 276–280

Duman S, Turgut G, Özçelik FŞ, Gurbulak B (2014) The synthesis and characterization of sol–gel spin coated CdO thin films: As a function of solution molarity, Materials Letters, 126: 232–235

Eslami M, Hamnabard Z, Nemati A (2013) Science Direct journal of rare earths, Vol. 31, No. 6, P. 595

Frederick W (1972) Optical Properties of Solids Department of Applied Science University of California Davis, California

Ghosh PK, Maity R, Chattopadhyay KK (2004) Electrical and optical properties of highly conducting CdO:F thin film deposited by sol–gel dip coating technique Solar Energy Materials & Solar Cells 81 : 279-289

Gomez Daza O, Arias-Carbajal Readıgos A, Campos J, Nair MTS, Nair PK (2001) Modern Physics Letters B, 17: 609-612

Gupta RK, Serbetci Z, Yakuphanoglu F (2012) Bantgap variation in size controlled nanostructured Li–Ni co-doped CdO thin films, *Journal of Alloys and Compounds*, 515: 96– 100

Gutierrez LR, Romero JJC, Tapia JMP, Calva EB, Flores JCM, Lopez MO (2006) *Materials Letters* 60: 3866–3870

Hamadanian M, Reisi-Vanani A, Majedi A (2010) Sol-Gel Preparation and Characterization of Co/TiO₂ Nanoparticles: Application to the Degradation of Methyl Orange, *J. Iran. Chem. Soc.* 7: 52-58

Hodgson JN (1970) *Optical Absorption and Dispersion in Solids*, Chapman and Hall LTD, 11 New fetter Lane London EC4

Huang B, Hsueh Liang C, Moo Chin W , Chao L , Weng Sing H , Xiujian Z (2016) Phase formation, growth kinetics and optical properties of 0.5ZnO-0. 5CdO thin films synthesized by sol-gel spin coating processes *Ceramic International* 42: 17843–17852

Hymavathi B (2015) Investigations on Physical Properties of Nanostructured Cr Doped CdO Thin Films for Optoelectronic Applications. *Procedia Materials Science* 10: 285 – 291

Isbilir E, Serbetci Z, Soylu M (2014) ZnO nanostructured thin films Structural and optical properties controlled by ruthenium content. *Superlattices And Microstructures* 67: 144-155

Kim H, Gilmore CM, Piqué A, Horwitz JS, Mattoussi H, Murata H, Kafafi Z H, Chrisey DB (1999) *J. Appl. Phys.* 11: 6451

Khan MKR, Azizar Rahman M, Shahjahan M, Mozibur Rahman M, Hakim MA, Dilip Kumar S, Jasim Uddin K (2010) Effect of Al-doping on optical and electrical properties of spray pyrolytic nano-crystalline CdO thin films *Current Applied Physics* 10: 790–796

Kose S, Atay F, Bilgin V, Akyuz I (2009) In doped CdO films: Electrical, optical, structural and surface Properties. *Internaonal journal of hydrogen energy* 34: 5260 – 5266

Kumaravel R, Ramamurthi K, Sulania I, Asokan K, Kanjilal D, Avasti DK, Kulria PK (2011) *Radiation Physics and Chemistry* 80: 435–439

Li W, Fries DP, Malik A (2004) Sol–gel stationary phases for capillary electro chromatography, *Journal of Chromatography A*, 1044: 23–52

Locher M, Romano V, Weber HP (2005) *Optics and Lasers in Engineering* 43: 341–347

- Lokhande BJ, Patil PS (2004) Uplane Materials Chemistry and Physics 84: 238–242
- K, Strek W, Jasioriski M (2003) Technology and Applications of Sol-Gel Materials Radiation Effects & Defects in Solids, 158: 1-6, 439–450
- Mohamed SH, Hadi NMA, Diab AK, Abdel H, Synthesis AM (2014) photoluminescence and optical constants evaluations of ultralong CdO nanowires prepared by vapor transport method Journal of Alloys and Compounds 609: 68–72
- Mohammadi MR, Fray DJ (2011) Sol-gel derived nanocrystalline and mesoporous barium strontium titanate prepared at room temperature, Particuology, 9: 235–242,
- Moholkara AV, Agawane GL, Kyu Ung S, Ye bin K, Rajpure KY (2010) Influence of deposition temperature on morphological, optical, electrical and opto-electrical properties of highly textured nano-crystalline spray deposited CdO: Ga thin films Applied Surface Science 257: 93–101
- Pierre AC (1998) Introduction to Sol-Gel Processing, Kluwer Academic Publishers, Boston, Dordrecht, London
- Saha B, Thapa R, Chattopadhyay KK (2008) Solid State Communications 145: 33–37
- Santos-Cruz J, Torres-Delgado G, Castanedo-Perez R, Jimenez Sandoval S, Marquez-Marin J, Zelaya-Angel O (2006) Solar Energy 80: 142–147
- Serbetci Z, Gupta RK, Yakuphanoglu F (2012) Preparation and characterization of nanorods Sb doped CdO films by sol-gel technique J Sol-Gel Sci Technol 61: 477 – 483
- Serbetci Z, Gunduz B, Al Ghamdi AA, Al Hazmic F, Arık K, El Tantawy F, Yakuphanoglu F, Farooq WA (2014) Determination of Optical Constants of Nanocluster CdO Thin Films Deposited by Sol - Gel Technique 10.12693/A Phys Pol A. 126.798
- Singh G, Kapoor IPS, Dubey R, Srivastava P (2011) Materials Science and Engineering B 176: 121–126
- Siraj K, Khaleeq ur Rahman M, Hussain SI, Rafique MS, Anjum S (2011) Journal of Alloys and Compounds 509: 6756–6762
- Temel S, Nebi M, Peker D (2017) Sol-Gel Döndürerek Kaplama Tekniği ile Saydam İletken ZnO İnce Filmlerin Üretilmesi ve Karakterizasyonu GU J Sci, Part C, 5(3): 51-59

Thirumoorthi M, Thomas Joseph Prakash J (2016) A study of Tin doping effects on physical properties of CdO thin films prepared by sol-gel spin coating method Journal of Asian Ceramic Societies 4: 39-45

Toygun Ş, Köneçoğlu G, Kalpaklı Y (2013) Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi Sigma 31: 456-476

URL-1; <https://www.herkesebilimteknoloji.com/haberler/toplum/nanoteknolojinin-babasi-richard-feynman-ve-katkilari> (20. 11. 2018)

URL-2;http://nanoteknolojinedir.com/upload/files/201303190540_Nanoteknoloj-ve-uygulamalari.pdf (15. 11. 2018)

Wright JD, Sommerdijk NAJM (2001) Sol-gel materials: chemistry and applications, Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam

Velusamy P, Ramesh Babu R, Ramamurthi K, Elangovan E, Viegas J, Sridharan M (2018) Spray deposited ruthenium incorporated CdO thin films for opto-electronic and gas sensing applications, Journal of Physics and Chemistry of Solids 112: 127–136

Yakuphanoglu F, Cukurovali A, Yilmaz I (2004) Single-oscillator model and determination of optical constants of some optical thin film materials Physica B 353: 210–216

Yan M, Lane M, Kannewurf CR, and Chang RPH (2001) Highly conductive epitaxial CdO thin films prepared by pulsed laser deposition 78: 2342

Yakuphanoglu F (2010) Nanocluster n-CdO thin film by sol-gel for solar cell applications. Applied Surface Science 257: 1413–1419

Yakuphanoglu F (2011) Nanocluster n-CdO thin film by sol-gel for solar cell applications. Applied Surface Science 257: 1413–1419

Yang Y, Wang L, Yan H, Jin S, Tobin J Marks, Shuyou Li (2006) Appl. Phys. Lett. 89: 051116

Zheng BJ, Lian JS, Zhao L, Jiang Q (2010) Applied Surface Science 256 : 2910–2914

Znaidi L (2010) Sol – gel deposited ZnO thin films: A review, Materials Science and Engineering B, 174: 18–30

ÖZGEÇMİŞ

1982 Yılında Malatya’da doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini Hatay Namık Kemal İlkokulu ve Adana Ceyhan Pamukeli Ortaokulunda tamamlamıştır. Lise öğrenimini 1997-2000 yılları arasında Hatay Payas Lisesinde tamamlayıp 2000-2005 yıllarında ise T.C Malatya İnönü Üniversitesinde Fen-Edebiyat Fakültesi kimya ve matematik alanları kimya öğretmenliği tezsiz yüksek lisans bölümü mezunu olmuştur. 2013-2019 yılları arasında T.C Bingöl Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi kimya anabilim dalında anorganik kimya alanında yüksek lisans yapmıştır.