

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

**SOL JELYÖNTEMİ İLE OPTİK UYGULAMALAR İÇİN Se-Ni
ORTAK KATKILI KADMIYUM OKSİT FİMLERİN ÜRETİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERAY PERÇİN

KİMYA ANABİLİM DALI

**TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Zafer ŞERBETÇİ**

BİNGÖL-2023

**SOL JELYÖNTEMİ İLE OPTİK UYGULAMALAR İÇİN Se-Ni ORTAK
KATKILI KADMIYUM OKSİT FİMLERİN ÜRETİLMESİ**

Prof. Dr. Zafer ŞERBETÇİ danışmanlığında, Eray PERÇİN tarafından hazırlanan bu çalışma/...../..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan :

İmza :

Üye :

İmza :

Üye :

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

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

Prof. Dr. Zafer ŞİAR
Enstitü Müdürü

Bu çalışma BAP projeleri kapsamında desteklenmiştir.

Proje No: BAP-FEF.2022.002

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 Prof. Dr. Zafer ŞERBETÇİ' ye,

Bu çalışmayı Proje No : BAP-FEF.2022.002no'lu proje kapsamında maddi olarak destekleyen Bingöl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BÜBAP)'a,

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

Son olarak bende büyük emekleri olan, benim için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan ve dualarını esirgemeyen annem Zarife PERÇİN, babam Ali PERÇİN ve kız kardeşim Eda PERÇİN'e tezin hazırlanması sırasında gösterdikleri sabır, fedakârlık ve desteklerinden dolayı eşim ve biricik kızım Ayça ve Ada PERÇİN'e özellikle teşekkürü bir borç bilirim.

Eray PERÇİN

Bingöl 2023

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. NANOBİLİM VE NANOTEKNOLOJİNİN TANIMI	3
2.1. Nanoteknolojinin Öncüleri.....	4
2.2. Nanoteknolojinin Tarihi	6
3. SOL-JEL YÖNTEMİ	8
3.1. Sol-Jel Yönteminin Avantajları	11
3.2. Sol-Jel Yönteminin Dezavantajları	12
4. KAYNAK ÖZETLERİ.....	13
5. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
5.1. Kullanılan Kimyasallar ve Cihazlar	19
5.2. Çözeltilerin Hazırlanması	19
5.2.1. Selenyumun Katkılı Kadmiyum Asetat Çözeltilerin Hazırlanması	19
5.2.2. Selenyum-Nikel Katkılı Kadmiyum Asetat Çözeltilerinin Hazırlanması	20
5.3. İnce Filmlerin Hazırlanması.....	20
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	21
6.1. Yapısal Özelliklerin XRD ile İncelenmesi	21
6.2. AFM ile Yüzey Özelliklerin İncelenmesi.....	22
6.3. Optik Özelliklerin İncelenmesi	26
6.3.1. CdO ve Katkılı CdO İnce Filmlerin Geçirgenlik Spektrumları ve Özellikleri	26

6.3.1.1. CdO ve Se Katkılı CdO İnce Filmlerin Geçirgenlik Spektrumları ve Özellikleri	26
6.3.1.2. CdO ve Se-Ni Katkılı CdO İnce Filmlerin Geçirgenlik Spektrumları ve Özellikleri	28
6.3.2. CdO ve Er Katkılı CdO İnce Filmlerin Kırılma İndisi Parametrelerin Belirlenmesi	30
6.3.2.1. CdO, Se ve Se-Ni Katkılı CdO İnce Filmlerin Kırılma İndisi Parametrelerin Belirlenmesi.....	30
6.4. Katkılı CdO İnce Filmlerin Dielektrik ve Elektrik Duyarlılık Özellikleri...	32
6.4.1. CdO ve Se Katkılı CdO İnce Filmlerin Dielektrik ve Elektrik Duyarlılık Özellikleri.....	32
6.4.2. CdO ve Se-Ni Katkılı CdO İnce Filmlerin Dielektrik ve Elektrik Duyarlılık Özellikleri.....	33
6.5. Nano Filmlerin Optik İletkenlik Özellikleri.....	35
6.5.1. CdO ve Se Katkılı CdO İnce Filmlerin Optik İletkenlik Özellikleri...	35
6.5.2. CdO ve Se-Ni Katkılı CdO İnce Filmlerin Optik İletkenlik Özellikleri	36
6.6. İnce Filmlerin Optik Bant Aralığı Özellikleri	38
6.6.1. CdO ve Se Katkılı CdO İnce Filmlerin Optik Bant Aralığı Özellikleri	38
6.6.2. CdO ve Se-Ni Katkılı CdO İnce Filmlerin Optik Bant Aralığı Özellikleri	39
6.7. CdO, Se ve Se-Ni Katkılı CdO İnce Filmlerin Fotolüminesans Özellikleri	40
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	42
KAYNAKLAR.....	45
ÖZGEÇMİŞ	49

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

3D	: Üç Boyut
AFM	: Atomik Kuvvet Mikroskobu
B	: Bor
c	: Işık Hızı
C ₂ H ₅ OH	: Etil Alkol
CdO	: Kadminyum Oksit
CH ₃ OH	: Metil Alkol
DC	: Reaktif Magnetron Püskürtme Yöntemi
DNA	: Deoksiribo Nükleik Asit
dT/dλ	: Geçirgenliğin Determinatı/Dalga Boyunun Determinatı
E	: Enerji
E _g	: İnce Film Aralığı
eV	: Elektron Volt
h	: Plank Sabiti
k	: Optik Kırılma Indisi Sanal
MIT	: Massachusetts Teknoloji Enstitüsü
n	: Optik Kırılma Indisi Gerçek
NaCl	: Tuz
NH ₂ .CH ₂ .OH	: Mono Etanolamin
Ni	: Nikel
nm	: Nanometre
NSET	: Nano Ölçekli Bilim Ve Teknoloji Konseyi
NSTC	: Ulusal Bilim Ve Teknoloji Konseyi
R	: Yansıma
rpm	: Dakikadaki Devir Sayısı
R _q	: Yüzey Pürüzsüzlük
Se	: Selenyum
Si-OR	: Metal Alkoksit

TCO	:	Şeffaf İletkenosit
TEOS	:	Tetraetil-Ortosilikat
TMOS	:	Tetrametil-Ortosilikat
UV	:	Mor Ötesi
VIS/NIR	:	Görünür Bölge/Yakın Kırmızı Ötesi
XRD	:	X-Işını Kırınımı
XRF	:	X-Işını Floresansı
Zn	:	Çinko
ϵ	:	Dielektrik Sabiti
λ	:	Dalga Boyu
σ	:	Optik İletkenliğin Reel Kısmı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Nano Malzeme Boyutlarının Karşılaştırılması (Bayda Et Al., 2020)	4
Şekil 2.2.	Kalıp İşleme İle Esnek Polimer Tüplerin İmalatı (Mijatovic Et Al., 2005).....	5
Şekil 2.3.	Nano Ölçekli Malzemelerin Sentezi İçin "Yukarıdan Aşağıya" Ve "Aşağıdan Yukarıya" Yaklaşımların Şematik Gösterimi(Beer ve Singh, N.D.)	6
Şekil 2.4.	Nanoteknolojide Gelişmeler (Bayda Et Al., 2020).	7
Şekil 2.5.	Adım Adım Sol-Gel Yönteminin Şematik Gösterimi.....	9
Şekil 3.1.	Sol-Jel Üretim Süreci (Fernandes Et Al., 2014).	10
Şekil 3.2.	Çeşitli Sol- Jel Türevli Ürünlerin Şematik Gösterimi.....	11
Şekil 6.1.	Kadmiyum Oksit, %0,1; 0,5, 2 Ve3 Se, Se-Ni Katkılı Kadmiyum Oksit Xrd Difraktagramları.....	21
Şekil 6.2.	Saf Kadmiyum Oksit'in Afm Görüntüsü (A) 40x40 Mm (B) 5x5 Mm..	23
Şekil 6.3.	%0,3 Se Katkılı Kadmiyum Oksit Afm Görüntüsü (A) 40x40 Mm (B) 5x5 Mm	23
Şekil 6.4.	%0,5 Se Katkılı Kadmiyum Oksit Afm Görüntüsü (A) 40x40 Mm (B) 5x5 Mm	23
Şekil 6.5.	%1 Se Katkılı Kadmiyum Oksit Afm Görüntüsü (A) 40x40 Mm (B) 5x5 Mm	24
Şekil 6.6.	%3 Se Katkılı Kadmiyum Oksit Afm Görüntüsü (A) 40x40 Mm (B) 5x5 Mm	24
Şekil 6.7.	%0,3 Se-Ni Katkılı Kadmiyum Oksit Afm Görüntüsü (A) 40x40 Mm (B) 5x5 Mm.....	24
Şekil 6.8.	%0,5 Se-Ni Katkılı Kadmiyum Oksit Afm Görüntüsü (A) 40x40 Mm (B) 5x5 Mm.....	25
Şekil 6.9.	%1 Se-Ni Katkılı Kadmiyum Oksit Afm Görüntüsü (A) 40x40 Mm (B) 5x5 Mm.....	25

Şekil 6.10. %3se-Ni Katkılı Kadmiyum Oksit Afm Görüntüsü (A) 40x40 Mm (B) 5x5 Mm.....	25
Şekil 6.11. Saf ve Se Katkılı Kadmiyum Oksit Filmlerinin Geçirgenlik Spektrumu Grafiği.....	27
Şekil 6.12. Saf ve Se Katkılı Kadmiyum Oksit Filmlerinin Dt/Dλ Karşı Dalga Boyu Grafiği	28
Şekil 6.13. Saf ve Se Ni Katkılı Kadmiyum Oksit Filmlerinin Geçirgenlik Spektrumu Grafiği	28
Şekil 6.14. Saf ve Se-Ni Katkılı Kadmiyum Oksit Filmlerinin Dt/Dλ Karşı Dalga Boyu Grafiği	29
Şekil 6.15. Saf ve Se Katkılı Kadmiyum Oksit İnce Filmlerinin Kırılma İndeksi ve Dalga Boyu Grafiği	31
Şekil 6.16. Saf ve Se-Ni Katkılı Kadmiyum Oksit İnce Filmlerinin Kırılma İndeksi ve Dalga Boyu Grafiği	31
Şekil 6.17. Saf ve Se Katkılı Kadmiyum Oksit Filmlerin Reel Dielektrik Sabiti Grafiği.....	33
Şekil 6.18. Saf ve Se Katkılı Kadmiyum Oksit Filmlerin Sanal Dielektrik Sabiti Grafiği.....	33
Şekil 6.19. Saf ve Se Katkılı Kadmiyum Oksit Filmlerin Reel Dielektrik Sabiti Grafiği.....	34
Şekil 6.20. Saf ve Se-Ni Katkılı Kadmiyum Oksit Filmlerin Sanal Dielektrik Sabiti Grafiği.....	34
Şekil 6.21. Saf ve Se Katkılı Kadmiyum Oksit Filmlerin Reel Optik İletkenlik Grafiği.....	36
Şekil 6.22. Saf ve Se Katkılı Kadmiyum Oksit Filmlerin Optik İletkenlik Grafiği..	36
Şekil 6.23. Saf ve Se-Ni Katkılı Kadmiyum Oksit Filmlerin Reel Optik İletkenlik Grafiği.....	37
Şekil 6.24. Saf ve Se-Ni Katkılı Kadmiyum Oksit'in Filmlerin Sanal Optik İletkenlik Grafiği.....	37
Şekil 6.25. Saf, %1, %3, %5 Se Katkılı Cdo İnce Filmlerinin Foton Enerjisine Bağlı Bant Aralığı Grafikleri	39

Şekil 6.26. %1, %3, %5 Se-Ni Katkılı Kadmiyum Oksit'in İnce Filmlerinin Foton Enerjisine Bağlı Bant Aralığı Grafikleri	40
Şekil 6.27. Saf, Se ve Se-Ni Katkılı Kadmiyum Oksit İnce Filmlerinin Pl Spektrumları Grafiği	41



TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 6.1.	Kadmiyum Oksitin %0,1; 0,5; 2,3 Se, Se-Ni Katkısıyla Xrd Şiddetinin Artış ve Azalış Yüzdesi	2
Tablo 6.2.	5x5µm Aralığındaki Afm Görüntülerinden Saf Kadmiyum Oksitin ve Se, Se-Ni Katkılı Cdo Filmlerinin Kristal Yapılı Nano Kümelenme Büyüklüğü ve Yüzey Pürüzsüzlük (Rq) Değerleri	26
Tablo 6.3.	Saf ve Katkılı Kadmiyum Oksit İnce Filmlerinin Bazı Önemli Optik Parametreleri.....	29
Tablo 6.4.	Kadmiyum Oksit Ve %0,3, %0,5, %1, %3 Se Ve Se-Ni Katkılı Kadmiyum Oksitin Nano Filmlerinin Foton Enerjisine Bağlı Bant Aralığı Değerleri.....	40
Tablo 6.5.	Saf, Se Ve Se-Ni Katkılı Kadmiyum Oksit Filmlerin Pl'e Bağlı Bant Aralık Değerleri	41

SOL JELYÖNTEMİ İLE OPTİK UYGULAMALAR İÇİN Se-Ni ORTAK KATKILI KADMIYUM OKSİT FİMLERİN ÜRETİLMESİ

ÖZET

Kadmiyum oksit (CdO) opto-elektronik uygulamalarındaki özelliklerinden dolayı metal oksit nano yapıları malzemelerin içinde yaygın olarak kullanılmakta olan yarı iletken bir malzemedir. Bu çalışmamızda sol-jel spin metoduyla katkılı kadmiyum oksit nano yapıları yarı iletken üretimi ile ilgili bir araştırmayı kapsamaktadır. Kadmiyum oksit ince nano yapıları filmi sol-jel spin kaplama yöntemiyle 470 °C sentezlenmiştir. Elde edilen kadmiyum oksit ince filmlerin bant aralığı (E_g) 2,05-2,47 eV arasında hesaplanmıştır. Yapı analizi XRD cihazı, boyut büyüklüğü ve yüzey pürüzlülüğü AFM ile belirlenmiştir. Optik parametrelere absorpsiyon ve kırılma spektrumları kullanılarak hesaplanmıştır. Katkılanmanın etkisi ile yapı ve optik ölçümlerdeki değişiklikler hesaplanmıştır. Tüm filmlerde floresans özellik ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kadmiyum oksit, nano yapıları ince filmler, optik bant aralığı, optik iletkenlik, floresan özellik.

PRODUCTION OF SE-Ni JOINT ADDITIVE CADMIUM OXIDE FILMS FOR OPTICAL APPLICATIONS WITH THE SOL GEL METHOD

ABSTRACT

Cadmium oxide (CdO) is a semiconductor material that is widely used in metal oxide nanostructured materials due to its properties in opto-electronic applications. This study covers a research on the production of doped cadmium oxide nanostructured semiconductors using the sol-gel spin method. Cadmium oxide thin nanostructured film was synthesized by sol-gel spin coating method at 470 °C. The band gap (E_g) of the obtained cadmium oxide thin films was calculated between 2.05-2.47 eV. Structure analysis XRD device, size magnitude and surface roughness were determined by AFM. Optical parameters were calculated using absorption and refraction spectra. Changes in structure and optical measurements due to the effect of doping were calculated. Fluorescence properties were measured in all films.

Keywords: Cadmium oxide, nanostructured thin films, optical tape range, optical conductivity, fluorescent property.

1. GİRİŞ

Yüksek taşıyıcı konsantrasyonu ve görünür bölgede yüksek optik güneş spektrumu özelliği umut vadeden bir materyal olarak kabul edilmesine sebep olmaktadır. Yüksek optik geçirgenlik, taşıyıcı alet kabiliyeti ve iletkenliğinden dolayı CdO'yu ince güneş pilleri yapımında ve gaz sensörleri, fotoğraf transistörleri, fotodiyotlarda kullanılmaktadır. Şeffaf oluşu nedeni ile çeşitli uygulamalarda elektrotlarda, sıvı kristal ekranlarda ve yansıma önleyici kaplamalarda kullanılmasına neden olmaktadır. Ayrıca optoelektronik özellikleri nedeni ile CdO ince filmleri, farklı metal iyonlarla katkısıyla kontrol edilebilir (Dakhel, 2009). Cd^{2+} dopant iyonlarının yarıçapı (0,097 nm) dir. Ayrıca CdO yapıların elektrik iletkenliği, optik bant aralığı arttırılabilir. Yüksek elektrik iletkenliğine sahip fotovoltaiik uygulamalarda sık kullanılmaktadır (Yakuphanoglu, 2011).

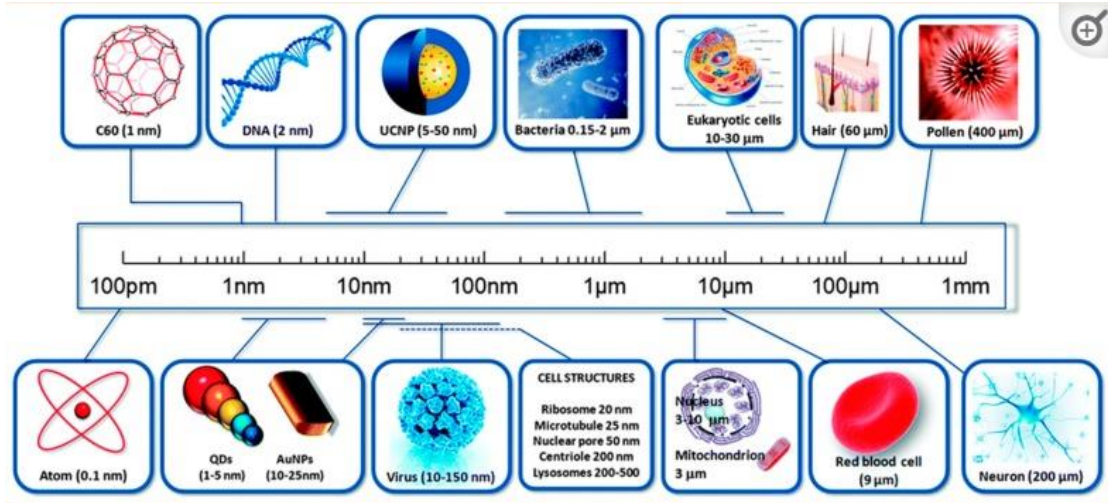
Metal-oksit yarı iletkenler yoğun şekilde kullanılmaktadır. Güneş pilleri gibi akıllı optoelektronik uygulamalarda, düz panel ekran ve ışık yayan diyetlerin yapısında oldukça sık kullanılmaktadır (Anna Selvan et al., 2006; Zhao et al., 2002). Ayrıca elektriği iyi iletmesi nedeniyle sık kullanım alanına sahiptir. Optik özellikleri yüksek oluşundan dolayı şeffaf iletken oksit (TCO) ince filmlerin elektronik cihazda büyük önemi vardır (Saha et al., 2008; Santos-Cruz et al., 2006). Uygulamalara bakıldığında bu TCO'lar arasında kadminyumoksit (CdO) çok kullanışlıdır. Bant aralığı iyi olan bir n-tipi yarı iletken olması CdO'un avantajlı olmasını sağlamaktadır (Yang et al., 2006). CdO doğrudan bant aralığı 2,2-2,7 eV olan yapı ve 1,18-2,20 eV ve 0,8-1,12 eV'lik iki dolaylı bant boşluğu vardır. Güneş pilleri ve fotodiyotlar gibi uygulamalarda düşük elektrik direncine sahiptir. Görünür bölge içindeki optik transmittans güneş spektrumu için CdO ince filmler sol-jel, kimyasal banyo depolaması, DC akım yöntemi, magnetron püskürtmesi, radyo frekansı püskürtmesi, sprej piroliz, vakum buharlaştırma, kimyasal buhar birikimi ve kimyasal banyo depolaması, ardışık iyonik katman adsorpsiyonu ve reaksiyonu, püskürtme pirolizi gibi bir çok teknikler kullanılarak hazırlanmıştır. Hazırlanmış olan bu filmlerin elektriksel ve optik özellikleri üzerine araştırma yapmıştır (de León-Gutiérrez et al., 2006; R. K. Gupta et al., 2011; Zheng et al., 2010).

Bununla birlikte CdO'nun çok daha küçük çaplı iyonlarla katkı edilmesi henüz araştırılmıştır. Bu çalışmada hazırlanan filmlerin yapısal, optiksel ve elektriksel özelliklerin incelenmek üzere AFM (Atomik Kuvvet Mikroskobu), XRD (X-ışınları kırınımı), UV (Mor Ötesi (Ultra Viole) Işın), Spectrophotometer analizleri yapılacaktır.



2. NANOBİLİM VE NANOTEKNOLOJİNİN TANIMI

Nano terimi Eski Yunan’da cüce anlamındaki ‘nanos’kelimesinden türemiştir; Nanobilim, herhangi bir ayrıntının 1-100 nanometre arasında kalan materyallerin özelliklerini inceleyen bilim dalıdır. Nanobilim atomik moleküler malzemelerin manüplasyonu ve olgularının incelenmesine denir. Fizik, malzeme bilimi kompleks moleküller kimyası vb, bilimlerin yer aldığı bir alandır. Nanobilimin amacı bu alanda kullanılan malzemelerin kimyasal ve fiziksel özelliklerini anlamlandırmak ve üretim kullanım alanlarını tanımlayabilmektir. Nano bilim ve Nanoteknolojiyi birbirinden ayırmalıyız. Nanoteknoloji gerçek hayatta karşımıza çıkan atomik moleküler teknolojilerdir. Nanoteknolojinin bir çağ olarak kabul görmesinde Nobel ödüllü fizikçi Richard Feynman’ın 29 Aralık 1959 yılında Kaliforniya Teknoloji Enstitüsünde yaptığı çığır açan konuşmasında yer alan ‘ Altınlarda kullanacak daha çok oda var’ sözü ile 21. Yüzyılın Nanoteknoloji Çağının öncüsü olmuştur. Yine Richard Feynman’ın ‘Bir şeyleri küçük ölçekte manipüle etmek ve kontrol etmektir.’ sözüyle de Nanoteknoloji terimini kullanmadan Nanoteknoloji uygulamalarından ve kavramından bahsetmiştir diyebiliriz. Yaklaşık 50 yıl öncesine kadar bir hayal gibi görünen nanoteknoloji o dönemde birçok bilim kurgu yazarına da ilham vermeye başlamış olacak ki Isaac Asimov’un geleceğe yönelik bir macerayı konu alan romanı müthiş bir hayal gücü ile buluşup sinema filmine aktarılmıştır. Ancak bilimin kaçınılmaz gerçeklerinden biri karşıt görüşler olduğundan karşıt görüşü savunan bilim adamlarının nanoteknolojinin daha pratik seviyede uygulanabilir olacağını savunmuşlardır. Bu fikri savunanda Richard Smalleyden başkası değildir. Nanoteknolojinin kullanım alanı oldukça geniş ve genişlemektedir .Bunu örneklendirecek olursak malzeme bilminde (hafif ve kuvvetli malzeme), matematik (modelleme), fizik (teorik öngörü), biyoloji (biyosensörler), eczacılık tıp,(yapay kemik), bilgisayar (kuantum bilgisayar), elektronik (Nano elektronik) gibi alanı çoğaltabiliriz (Benli, 2008; Didem Rodoplu, 2006; Mansoori ve Soelaiman, 2005; Merve Cicioğlu, 2019).



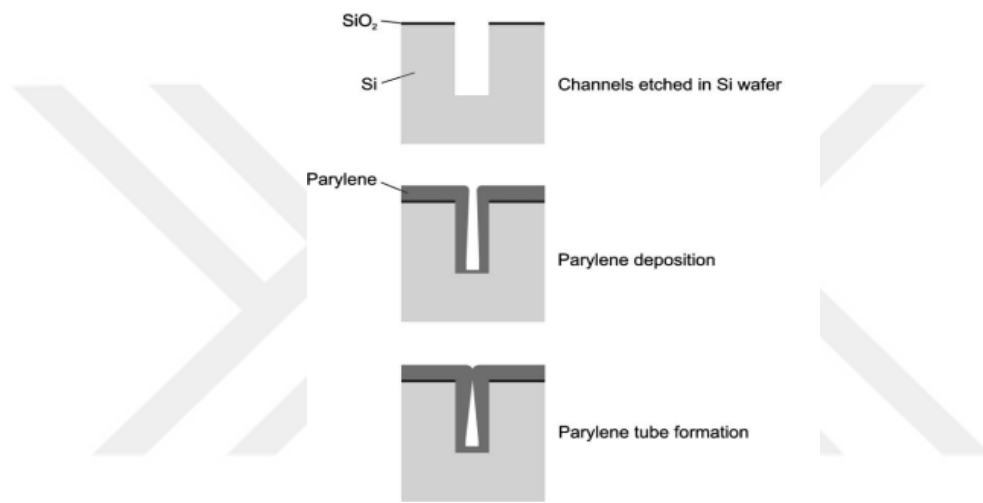
Şekil 2.1. Nano malzeme boyutlarının karşılaştırılması (Bayda et al., 2020)

2.1. Nanoteknolojinin Öncüleri

Nanoteknolojiyi tanımlarken nanoteknolojinin fikir babasının Nobel ödüllü Feynman, olduğundan bahsetmiştik. ‘Aşağıda kullanılacak bir sürü yer var.’ konuşmasında minyatürleşmenin olabilesinden bahsetmiş olup maddelerin atomik olarak deneylendirilmesine değinerek nanoteknolojinin temelini atmış oldu. Richard Feynman bu konuşmasıyla o döneme göre fazla hayalperest bulunmuş olmasına rağmen aslında Feynman günümüz teknolojisini tanımlamayı başarmıştır. Richard Feynman aslında göremediklerini arıyordu çıkış noktası da buydu. Sorusu da tam olarak daha küçükleri yok muydu? Fikrine çok inanıyordu ki 24 ciltlik Britannica Ansiklopedisini akıllamaz boyuttaki alan olan toplu iğne başına sığdırabileceğini savunuyordu. Aynı zamanda bunları gerçekleştirebilmek için döneminin tekniklerinin yeterli olmadığını biliyor fakat gelişecek olan teknolojiyle bilgisayarların minyatürleşeceğine çok çok küçük olan veya küçültülerek elde edilecek makinelerle DNA kodlarının dahi çözüleceğini biliyordu. Feynman’ın bu konuşmasındaki gençleri ödülle teşvik edip onları çalışmalara davet etmiş ve bu fikri karşılık bulmuş; önce 1983’te William McLellan istenileni yapmıştı. Yapmayı başardığı istenilen küçüklükte bir motordur. Tom Newman da aynı sene Charles Dickens’in romanını 25000 kez küçültmüştür. Yine 1970’te K.Eric Drexler konferans ve seminerlerle ve kitaplarıyla fikirlerini bilimin hizmetine sunup ilk kez nanoteknoloji terimini kullandı. Artık Nanoteknoloji terimi vardı bunu beslemek için 1981’de Heinrich Rohrer ve Gerd Karl Binnig’in 1989’da D.Eigler ve E.Schweizer de çalışmalarda bulundu. Bu yeni fikirler,

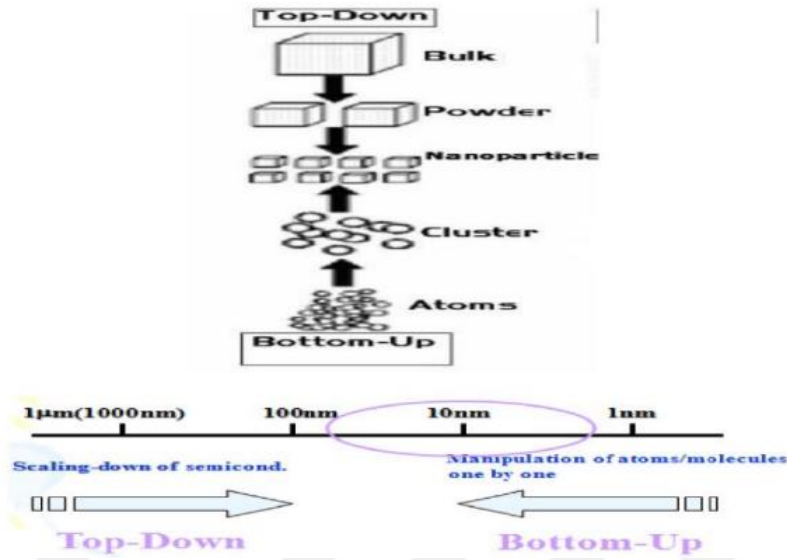
Feynman'ın hipotezlerinin doğrulandığını gösterdi ve bu nedenlerle Feynman, modern nanoteknolojinin babası olarak kabul edildi.

Aşağıdan yukarıya yöntemler bu makalenin eksiksiz olması için, burada nanoyapılandırma için aşağıdan yukarıya yöntemleri kısaca özetliyoruz. Bu tür yöntemlerde, atomlar ve moleküller, dikkatlice kontrol edilen kimyasal reaksiyonlarla en küçük nanoyapılarda (tipik olarak 2 ila 10 nm boyutlarında) birleştirilir, bu da bu tekniği litografik yöntemlere kıyasla daha ucuz hale getirir.



Şekil 2.2. Kalıp işleme ile esnek polimer tüplerin imalatı (Mijatovic et al., 2005)

Yukarıdan aşağıya sentez teknikleri, mikron boyutlu parçacıkların üretilmesi için kullanılmış olanların uzantısıdır. Yukarıdan aşağıya yaklaşımlar doğası gereği daha basittir ve istenen yapıyı uygun özelliklerle üretmek için yığın malzemenin çıkarılmasına veya bölünmesine veya toplu imalat işlemlerinin minyatürleştirilmesine bağlıdır. Yukarıdan aşağıya yaklaşımın en büyük sorunu, yüzey yapısının kusurlu olmasıdır. Örneğin, litografi ile yapılan nanoteller pürüzsüz değildir ve yüzeyinde birçok safsızlık ve yapısal kusur içerebilir. Bu tür tekniklere örnek olarak yüksek enerjili ıslak bilyeli öğütme, elektron ışını litografi, atomik kuvvet manipülasyonu, gaz fazı yoğunlaştırma, aerosol sprey vb. verilebilir (Beer ve Singh, n.d.).



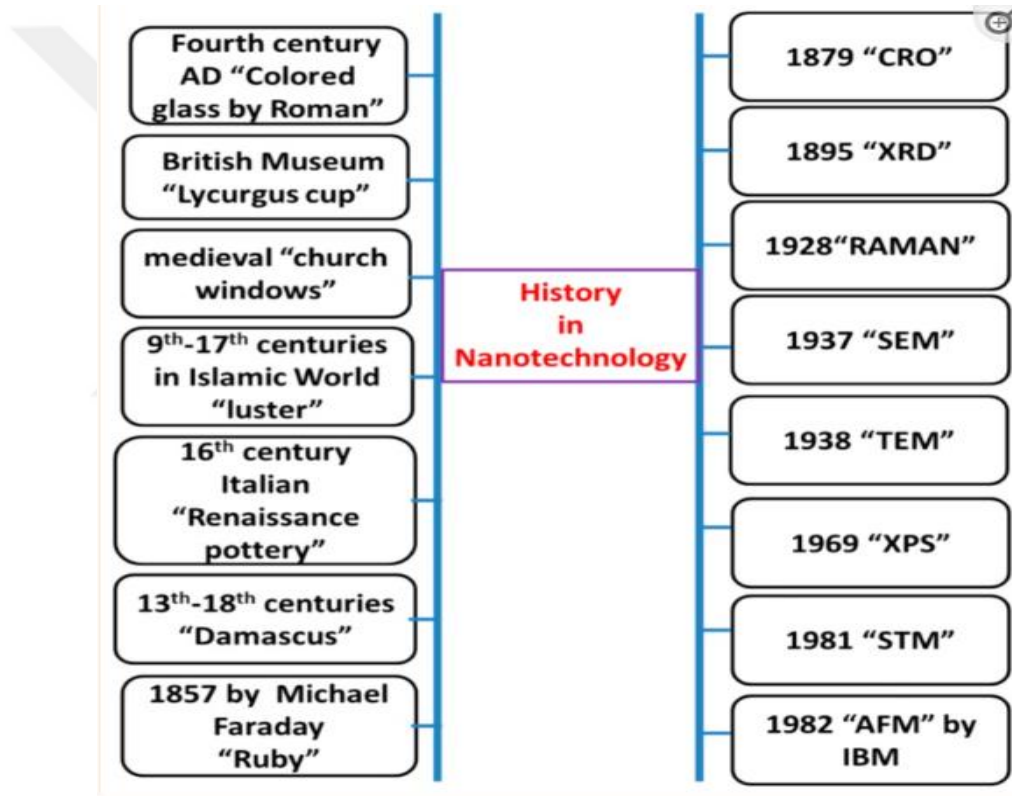
Şekil 2.3. Nano ölçekli malzemelerin sentezi için "yukarıdan aşağıya" ve "aşağıdan yukarıya" yaklaşımların şematik gösterimi (Beer ve Singh, n.d.)

2.2. Nanoteknolojinin Tarihi

Eski çağlardan beri yeni teknolojilere ve buluşlara zemin oluşturan hayal gücü ve kurgular nanoteknolojiye de zemin oluşturmıştır. 21. yüzyılın öncüsü olan nanoteknoloji, bunların eseri oldu. İnsanlık tarihi boyunca nanopartiküllere insan maruziyeti meydana gelse de, sanayi devrimi sırasında önemli ölçüde arttı. Nanopartiküllerin incelenmesi yeni değildir. Aslında Nanoteknolojinin varlığı 3 Milyar yıl öncesine denk gelmektedir; ancak somut varlığı 1960 lı yıllara rastlamaktadır. Bunuda 1959 yılında Richard Feynman'ın ünlü konuşmasına dayandırabiliriz. Akabinde Foresight Enstitüsü başkanı Dr.Eric Drexler MIT eğitimi sırasında nano teknoloji kelimesinden ilk kez bahsetmiştir.

Araştırmacıların çalışmaları arttıkça nanoteknolojinin çıkış noktası olan daha küçük boyutları çalışmayı izlemeyi zorlaştırdığından 1981 yılında yeni bir mikroskop olan 'Scanning Tunneling Microscope' IBM tarafından geliştirildi. Bu çalışmayı takip eden 90'lı yılların başında ise Richard Smalley öncülüğündeki araştırmacıların futbol topu şeklinde olan 'fullerene' molekülleri geliştirmeleridi. Bu molekül hem çok güçlü hem çok hafif hemde elektrik ve ısı geçirebiliyordu. Tabiki bu çalışma ses getirdi ve 1996 Nobel Kimya ödülünü aldırdı. Nanoteknoloji alanında resmi hükümet programını başlatan bütçe ayıran ise 1999'da Bill Clinton dönemi ABD hükümeti oldu. Daha sonra ABD'yi Japonya,

Tayvan, Singapur, Çin, İsrail, İsviçre benzer programlar başlattı. Nanoteknolojinin kronolojik gelişim sürecine bakarsak 1959 Richard Feynman'ın konferansı, 1974 Seiden ile Aviram'ın moleküler aygıt için patent alması, 1981 G.K. Binnig ve H. Rohrer'in mikroskobu icat etmeleri, 1985 C60'ın keşfi 1988 W.De Grado ve ekibinin sunu proteini yapmaları, 1991 Lizima çok duvarlı karbon nanotüpleri keşfettiler, 1997 ilk kez Rice Üniversitesinde Nanoteknoloji laboratuvarı kuruldu, 2002 Nanotellerin yapımı olmuştur. Bu çalışmalar eşliğinde gelişen nano teknoloji günümüzde kendini temizleyen boyalardan kanserli hücrelerin öldürülmesinde, kremlerde, buzdolaplarında askeri alanda akıllı üniformaların üretimi ile yeni bir teknoloji devrimi olarak hayatımızdaki yerini aldı.



Şekil 2.4. Nanoteknolojide Gelişmeler (Bayda et al., 2020)

3. SOL-JEL YÖNTEMİ

Sol-Jel sentezi üzerine ilk çalışmalar, 1800'lerin ortalarında Ebelman ve Graham'ın silis jellerinin üretimi konusundaki öncü çalışmalar ile başlamıştır. Jellere olan ilgi çok hızlı artışgösterdiği için önemli araştırmacılar yapmış oldukları çalışmalarla bu alana katkılarını sundular. Ostwald ve Lord Rayleigh jel potasyum dikromatta Liesegang halkalarının oluşumunu ve kristallerin büyümesini inceler. 1950'lerde Roy ve ark. Kullanım alanlarını genişletti ve çok çeşitli seramikler üretildi. 1970'lerde Dislich, çok bileşenli oksit camların sentezlenmesi için yeni yollar sundu. Son yıllarda Sol-Jel yöntemi, toplu cam ve seramik imal etmek için popüler bir yol haline geldi. O zamandan beri, çok sayıda araştırmacı Sol-Jel teknolojisinin gelişimine katkıda bulunmuştur (Navas et al., 2021).

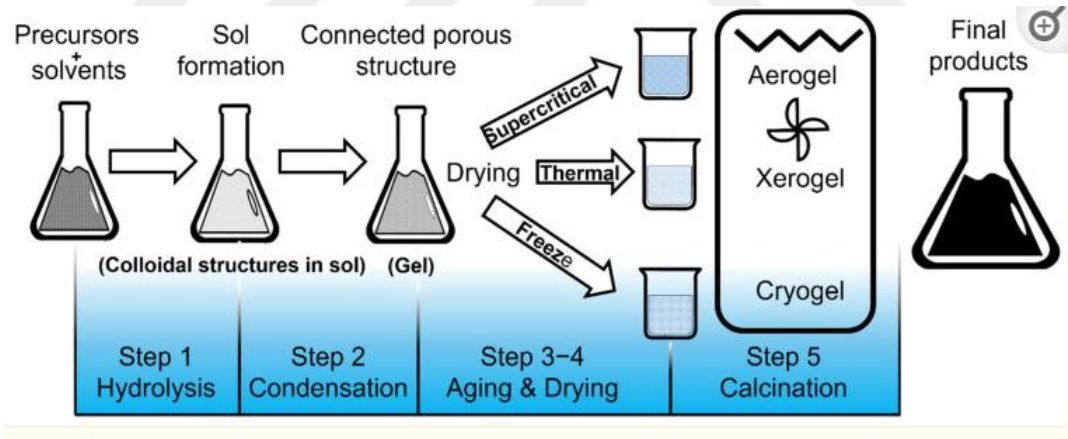
Tipik bir sol-jel sentez yöntemi iki farklı aşamadan oluşur; çözelti ve jelleşme şeklindedir. İlk aşamada, küçük moleküller (ön maddeler), genellikle çözelti içindeki metal alkoksit öncü maddelerinin veya organik/inorganik tuzların kontrollü hidrolizi ve yoğunlaştırılması yoluyla elde edilen birkaç kimyasal reaksiyon sonucunda hem sıvı hem de katıfaz içeren jel benzeri bir ağa dönüşen kolloidal bir çözeltinin (Sol) kullanımını içerir. İki tipe ayrılabilir: sulu veya hidrolitik ve susuz veya hidrolitik olmayan. Sulu Sol-Jel işlemi beş adımda açıklanabilir: hidroliz, yoğunlaştırma, ekşitme, kurutma ve kristalleştirmedir. İkinci aşamada, bir katalizörün (asit veya baz) eklenmesi nedeniyle ayrı parçacıklar veya polimer zincirleri içeren sert ve yüksek oranda birbirine bağlı üç boyutlu (3D) bir ağ (jel) oluşumuna yol açan çoklu yoğunlaşma reaksiyonu meydana gelir. Elde edilen jelin yapısı katalizöre bağlıdır ve bunun nedeni hidroliz ve yoğunlaşma reaksiyonlarının nispi oranlarıdır. Dolayısıyla, hidroliz ve yoğunlaşma reaksiyonlarının kinetiğini anlamak, sol-jel sentezi yöntemini fethetmenin anahtarıdır.

Genel olarak, jelleşme işlemi için düşük yoğunlaşma oranlarına sahip hidrolize monomerlerden oluşan berrak ve kararlı bir çözelti gereklidir. Dolayısıyla bu süreçler çözeltinin pH'ı, sıcaklık, reaktan konsantrasyonu ve sol-jel sentezinde kontrol edilebilen

katkı maddelerinin varlığı gibi deneysel parametrelerin sayısından etkilenir (Deshmukh et al., 2020).

Sol-jel işleminin diğer üstünlüğü, hidroliz, yoğunlaşma, çekirdeklenme gibi çeşitli kimyasal reaksiyonların kontrol edilebilir kinetiğine sahip oldukça saf ve homojen çok bileşenli sistemlerin sentezini ve özel şekil ve boyuta sahip mikro yapı elde etmek için birincil kolloidal parçacıkların evrimini içerir. Ayrıca sol-jel yöntemi, tüm bu parametrelerin kontrolünü kolaylaştırır ve moleküler ölçekte kontrollü homojenlik ile kişiye özel homojen malzemelerin senteziyle sonuçlanır (Chen et al., 2015).

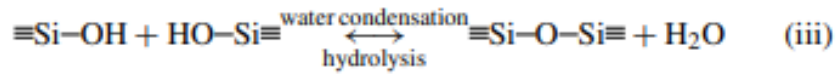
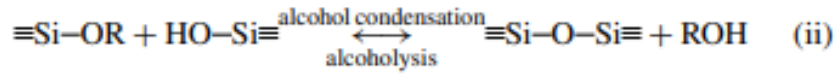
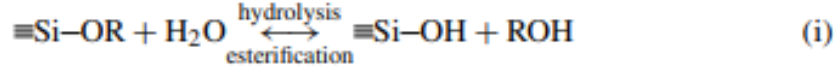
Sol-jel yönteminin uyarlanabilirliği, belirli bir uygulama için gerekli olan malzeme özelliklerinin manipüle edilmesine izin verir. Bu bağlamda, bu teknik, çevre dostu olması, düşük sıcaklıkta işlenmesi ve sentezlenen malzemelerin içsel biyouyumluluğu nedeniyle çok sayıda biyomedikal uygulama için biyoaktif malzemeler (biyomalzemeler) elde etmek için umut verici bir araçtır (Owens et al., 2016).



Şekil 3.1. Adım adım Sol-Gel yönteminin şematik gösterimi

Biyosensörlerdeki uygulamaları tasarlamak için iyi bir optik kalite ve kararlı sol-jel bazlı yapılara gereksinim duyulmaktadır. Bir sol ilk önce tetrametil-ortosilikat (TMOS) veya tetraetil-ortosilikat (TEOS) gibi bir alkoksit öncüsünün su, bir yardımcı çözücü ve bir asit veya baz katalizörü ile oda sıcaklığında karıştırılmasıyla oluşturulur. Bir algılama ajanı ile elde edilen sol, monolitler, cam slayt ve optik fiber üzerinde ince filmler olarak dökülebilir. Temel sol-jel reaksiyonu, metal alkoksit (Si-OR) suyla karıştırıldığında (hidroliz) başlar.

Aşağıdaki üç reaksiyon genel olarak sol-jel üretim sürecini tanımlamak için kullanılır (R. Gupta ve Chaudhury, 2007).



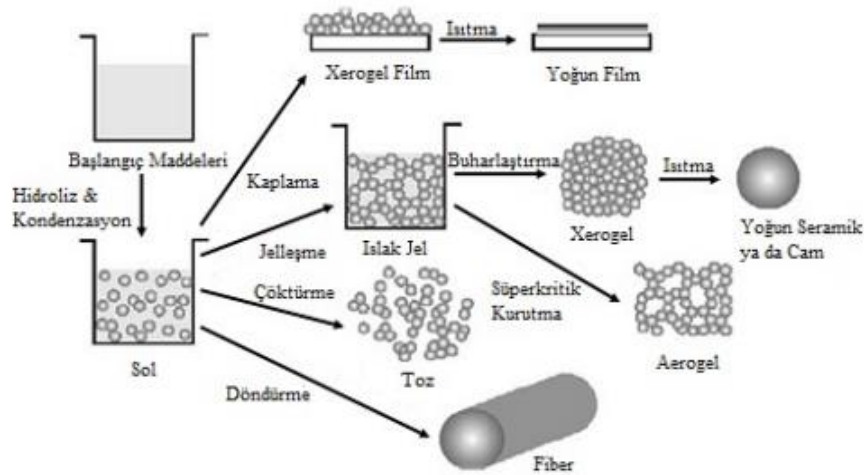
Şekil 3.2. Sol-Jel üretim süreci (Fernandes et al., 2014)

Daha yüksek R değeri, önemli yoğunlaşma meydana gelmeden önce monomerlerin daha eksiksiz hidrolizine neden olur. Sol-jel matrisinin içsel özellikleri, gözeneklilik, yüzey alanı, polarite ve rijitlik büyük ölçüde yukarıdaki denklemde gösterilen hidroliz ve yoğunlaşma reaksiyonlarının ilerlemesine bağlıdır.

(i)-(iii) ayrıca öncüllerin seçiminden, sudan öncül molar oranlara (R), çözücünden ve yardımcı çözücünden, basınçtan, sıcaklıktan, yaşlanmadan, kurutmadan ve kütleme koşullarından etkilenir (R. Gupta ve Chaudhury, 2007).

Sol- jel yöntemini oluşturan ana basamaklar sırasıyla;

1. Çözeltiyi oluşturmak
2. Hidroliz
3. Polimerizasyon
4. Yoğunlaşma
5. Jelleşme
6. Yaşlandırma



Şekil 3.4. Çeşitli sol- jel türevli ürünlerin şematik gösterimi

Sol-Jel yöntemini diğer metotlardan farklı kılan özelliği çok ılımlı koşullarda meydana gelebilmesidir. Sol-jel yöntemiyle çeşitli sayıda, şekil, biçim ve boyuta sahip özelliklerde ürünler elde etmek mümkündür. Bu ürünlere filmler, monolitler, fiberlerle örneklendirile bilmektedir. Sol-jel teknolojisi birçok alanda kendine yer bulmuştur. Bunların başında nükleer endüstri, elektronik endüstri, seramik endüstri, optik sensörler, katalizörler gelmektedir. Beraberinde bazı mühendislik alanlarında da kendine uygulama alanı bulmuştur (Şafak Toygun, Gülhan Köneçoğlu, 2013).

3.1. Sol-Jel Yönteminin Avantajları

Sol-jel işlemi, diğer geleneksel sentez metodolojilerine göre birkaç benzersiz değer sergiler. Sol-jel yönteminin en önemli avantajları arasında, nispeten pahalı olan diğer vakum bazlı sentez yöntemlerine kıyasla düşük üretim maliyetine ek olarak organik-inorganik hibrit malzemeler üretebilme yeteneği vardır (Lopez et al., 2006).

1. Tozlar, filmler veya kaplamalar, mikroküreler, lifler gibi özel ürünler elde etme imkânı;
2. Geliştirilmiş özelliklere sahip yeni katıların elde edilmesi;
3. Elde edilen malzemelerin yüksek saflığı ve homojenliği;
4. İşlem sırasında enerji tasarrufu;
5. Parçacık boyutu ve morfolojisi üzerinde tam kontrol;

6. Çözelti ve reaksiyon adımı, bazı iz elementlerin kolayca, tekdüze ve kantitatif olarak dahil edilmesini sağlayarak moleküler düzeyde tekdüze bir doping elde edilmesini sağlar.
7. Katı faz reaksiyonu ile karşılaştırıldığında, kimyasal reaksiyon daha basittir ve yalnızca daha düşük bir sentez sıcaklığı (<220 °C) gerektirir.
8. Düşük işlem sıcaklığı, yüksek bileşimsel homojenlik ve nispeten düşük işlem maliyeti gibi.

3.2. Sol-Jel Yönteminin Dezavantajları

1. Neme karşı çok hassastır;
2. Büyütmek zor;
3. Birkaç adım içerebilir ve zaman alan bir süreçtir;
4. Farklı adımlarda boyut ve hacim değişir (Navas et al., 2021).

4. KAYNAK ÖZETLERİ

Yakuphanoglu'nun kullanmış olduğu sol-jel spin metoduyla Bor katkılı CdO ince nano filmlerin elde edilmesi çalışmalarında, yüzey yapısına AFM ile incelenmiş olup sentez sonucu nano yapılar elde etmiştir. Sentez sonucunda elde edilmiş olan ince filmlerin partikül boyutu B (bor) katkısının etkisi ile değişmiş, değişim sonucu elde edilen katkılı CdO filmlerinin optik bant aralığı hesaplanarak 2,27 - 2,45 eV değerleri elde edilmiştir. Güneş pili özelliğini elde etmek, ölçüm alabilmek ve CdO filmlerin güneş pillerini elde edebilmek için, p tipi Si üzerine n tipi yarı iletken özelliği taşımakta olan %1 B katkılı CdO ile muamele edildiğinde güneş pili özelliğini elde ederek ölçümler almıştır. p-Si/n-CdO çalışmasının güneş pili yapımı için nano boyutlu B katkılı CdO bileşenli nano yapıya sahip güneş pilleri üretilebilmesi, geliştirilebilmesi için bu konuda araştırılma yapılması gerektiğini çalışmasında dile getirmiştir (Yakuphanoglu, 2011).

Dankhel ve ark. yapmış olduğu bu çalışma cam ve silikon taban üzerine döndürme kaplama ve sol-jel yöntemi ile Çinko katkılı kadmiyum oksit filmlerinin hazırlanmıştır. Bu çalışmalarında, filmlerin optik özelliklerini incelenmek için XRF, X- ışını kırınımı (XRD) yöntemleri kullanılarak filmlerin yapısal özellik ve analizleri incelenmiştir. Örneklerde %Zn (çinko) miktarı XRF'ı ve kristal yapısını XRF ve XRD yöntemiyle incelenmiştir. Deneysel sonuçlardan elde edilen verilere göre Zn^{2+} iyonlarının, çinko oksitin kristal yapısında herhangi bir değişim yapmadan katkıladığını keşfedilmiştir. Çalışmanın sonucunda çinko iyonlarının katkısı CdO kristalinin partikül boyutunda bir artışa neden olduğu bulunmuştur. Bu deneyin sonucunda Zn katkılı CdO bant aralığında bir daralmaya sebep olduğu belirlenmiştir (Dakhel, 2012).

Nano yapıları elde etmek için DC reaktif magnetron püskürtme yöntemini kullanılarak yapmış olduğu bu çalışmasında mikroskop cam üstüne Cr katkılı CdO filmlerinin üretilmesi yapılmıştır. X ışını kırınımı (XRD) spektrumlarından elde edilen film yapılarının basit kübik kristal bir yapıda olduğunu gözlemlenmiştir. Elde edilen basit kübik kristal yapılı ince filmlerin yüzey morfolojisine AFM ve FESEM cihazları kullanılması ile

ölçümler alınmıştır. Bu çalışmada yapılan ölçümler sonucunda elde edilen filmlerde gösterilen en yüksek optik geçirgenlik değeri %90 olarak ölçülmüştür (Hymavathi et al., 2015).

Dakhel'in vakum buharlaştırma yöntemiyle yapmış olduğu bu çalışma, cam üzerine Eu katkılı kadmiyum oksit filmler bu oranlarda (%0,4 , %0,5 , %0,8 ve %1,1) sentezlemişler o ayrıca sentezlenmiş olan bu filmlerin XRD yöntemi ve XRF yöntemi kullanılarak yapısal analizlerinin sonuçlarını elde etmiştir. UV-NIR spektropisi ile optik özelliklerini ve doğru akım elektriksel özelliklerine bakılmışlardır. Ayrıca yapmış olduğu deneysel verilerinden Eu^{3+} katkısının CdO'in kristal yapısının özelliklerini değiştirmediği optik ve elektriksel özelliklerinde değişimlere neden olduğunu gözlemlemiştir. CdO'in bant aralığı Eu^{3+} iyonlarının eklenmesiyle birlikte optik bant aralığının azaldığını ve 1,5-1,8 Ev olacak şekilde hesaplamıştır. Daha sonra, Eu katkı miktarı arttırıldıkça (%1,1'den daha az), enerji aralığında daralmalar olduğu bant aralığının daralmasıyla taşıyıcı yoğunluğunun artması sonucunda iletkenliğin artışı gözlemlenmiştir (Dakhel, 2009).

F. Dagdelen ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışma nanoyapılı Bi katkılı kadmiyum oksit ince filmler, sol-jel döndürme kaplama metodunu kullanılarak yüzey ve optik özelliklerine, atomik kuvvet mikroskobu ve UV görünür bölge spektroskopisi yöntemi kullanılarak incelenmişlerdir. Atomik kuvvet mikroskobu sonuçları, kadmiyum oksit filmlerinin nano yapılı oluştuğunu ve katkısız kadmiyum oksit filmin bant aralığı değeri 2,589 eV, Bi-katkılı kadmiyum oksit filminin bant aralığı değerleri 2,657-2,684 eV aralığında bulmuşlardır. Filmlerin parçacık boyutunun Bi-doping düzeyine bağlı olduğu gözlemlemiştir. Kadmiyum oksit filmlerinin bant aralığı, Bi-doping ile değiştiğini ve CdO filminin optik bant aralığı ve tane boyutunun Bi-doping ile kontrol edilebileceği değerlendirmişlerdir (Dagdelen et al., 2012).

Zayed A. ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada nanoyapılı Mn katkılı kadmiyum oksit filmlerini sol-jel yöntemini kullanarak sentezlemişlerdir. Mn katkılı CdO filmlerin yapısal ve morfolojik özellikleri atomik kuvvet mikroskobu ve X-ışını kırınım yöntemini kullanarak karakterizasyonunu incelenmiştir. Mn katkılı CdO filmlerin polikristal bir yapıda olduğu gözlemlenmiş ve X ışını kırınım sonuçları, Mn katkılı CdO filmlerinin ortalama kristalit boyutu 22-25 nm olan nanomalzemeler olduğunu gösterirken katkısız ve

Mn katkılı kadmiyum oksit filmlerin optik bant aralığı (E_g) değerleri 2,23-2,58 eV aralığında olduğu ve kadmiyum oksit filmlerin E_g değerlerinin Mn katkılı %6 Mn'ye kadar arttığı bulunmuştur. Elde edilen sonuçlarda, kadmiyum oksit filmlerinin yapı ve optiksel özelliklerinin Mn katkılama ile kontrolü bir şekilde değişebileceğini söylemişlerdir (Alahmed et al., 2015).

Wang ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışma sol-jel yöntemiyle hazırlanan çok kristalli CdO ince filmlerin manyetotransprat özelliklerini incelemiştir. Direnç ve elektron yoğunluğunun sıcaklığa bağlı olarak, bozulmalarına karşı yarı iletken özelliğini araştırmışlardır (Wang et al., 2016).

Carballeda ve arkadaşları sol-jel tekniği kullanılarak CdO ince filmlerini, cam yüzeyler üzerine $\text{Cd}(\text{OOCCH}_3)_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ 'un , etilen glikol, gliserol ve trietilamin ile çözeltilerini hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltilerden 200 °C'de tavlansak filmlerini elde etmişlerdir. UV-VIS spektroskopisi, XRD ve AFM (atomik kuvvet mikroskop) ile karakterize etmişlerdir. Elde edilen CdO ince filmleri, yüksek bir polikristalin yapıya sahip ve %95 ve neredeyse %100 yakın geçirgenlik değerini ölmüşlerdir. Doğrudan bant aralığı enerji verileri 2,06 ve 2,59 eV olarak hesaplamışlardır. Filmlerin bu özelliklerinin optoelektronik cihazlardaki uygulamaları açısından önemli bir özellik olduğunu bulmuşlardır (Carballeda-Galicia et al., 2000).

Yıldız ve arkadaşları Cu katkılı CdO nanomalzemeleri sol jel spin kaplama ve hidrotermal yöntemlerle sentezlemişlerdir. Katkısız CdO ve %0,2, %0,5, %1 ve %2 CuO katkılı CdO ince filmler ve nano toz olarak üretilmiştir. İnce filmlerin ve nanotozların polikristal ve yüzey merkezli kübik yapılar olduğu X-ışını kırınımı (XRD) analizi ile belirlenmiştir. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) görüntülerinden, ince filmlerin yapısının homojen ve yoğun çubuk şekilli yapılar olduğu, nanotozların ise Alan Emisyon Taramalı Elektron Mikroskobundan (FESEM) elde edilen küresel nanopartiküllerden oluşan kestane benzeri yapılar olduğu gözlenmiştir. Ultraviyole-görünür spektroskopi (UV-Vis) analizinden nanotoz ve ince filmlerin doğrudan bant geçişine sahip olduğu belirlenmiştir. İnce filmlerin enerji bant aralığının 2,33 ve 2,56 eV arasında değiştiğini bulmuşlardır. İnce filmlerin akım-gerilim grafiklerinden doping oranı yükseldikçe ince filmlerin iletkenliğinin azaldığı gözlenmiştir. Nano tozlar polikristal yapılarda olduğunu bulmuşlardır. CuO katkılama

oranı arttıkça aglomere kristal yapılara dönmüştür. CdO nanotozlarının elektriksel özellikleri, CuO'nun katkılanmasıyla değişmiştir. Sonuç olarak üretilen ince filmlerin ve nanotozların yarı iletken davranış gösterdiği belirlenmiştir. Nanotozların iletkenliği, üretim yönteminden dolayı ince filmlerden daha yüksekti. Elde edilen tüm sonuçlardan, ince filmlerin ve nanotozların yapısal, optik ve elektriksel özelliklerinin katkılama oranı ve sentez yöntemi farklılığına bağlı olarak değiştiği sonucuna varmışlardır (Yıldız et al., 2023).

Khan ve arkadaşlarının çalışmasında cam yüzeyler üzerinde saf ve Ag katkılı CdO nanoyapılı ince filmler sentezlemek için sol-jel döndürerek kaplama yöntemini kullanmışlardır. İnce filmler, (111) boyunca tercih edilen bir kristal yapıya sahip özellik göstermiştir. Saf CdO filmlerinin yüzey morfolojisi çiçek benzeri şeklindeki bir yapı göstermiştir. Filmlerin Raman spektrumları, $406,80 \text{ cm}^{-1}$ ve $566,54 \text{ cm}^{-1}$ 'de pikleri gözlemlemiştir. Ayrıca, optik bant boşlukları $1,42\text{-}1,70 \text{ eV}$ aralığında değişmektedir. Ag'nin CdO kristal kafesine dahil edilmesinden sonra, filmlerin kristal yapısındaki değişimi difraktogramların şiddetlerinin artması ve azalmasından gözlemlemiştir (Z.R. Khan a, 2022).

Erman E. ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada sol jel spin kaplama tekniği kullanılarak %1, 2, 3, 4 ve 5 Lu katkılı CdO konsantrasyonlarında saf ve yarı iletken ince filmleri sentezlemiştir. Katkılamanın etkisiyle filmlerin optik, yapısal ve yüzey özelliklerindeki değişimlerini incelenmiş ve katkılama işleminin filmlerin özelliklerinde önemli değişikliklere neden olduğu bulunmuştur. XRD sonuçları, numunelerin polikristalin kübik olduğunu ve ortalama kristalit boyutunun Lu katkısıyla 13.42 nm ile 26.39 nm arasında değiştiğini hesaplamışlardır. Geçirgenlik ve absorpsiyon spektrumları kullanılarak filmlerin optik absorpsiyon, kırılma indeksleri, dielektrik sabitleri, optik-elektrik iletkenliği ve optik bant aralığı hesaplanmış ve katkılamanın filmlerin optik özelliklerine etkisi incelemiştir. Lu miktarına bağlı olarak Eg değerlerinde değişimler görülmüştür. Filmlerin optik bant genişlik enerjileri $2,24$ ile $2,69 \text{ eV}$ arasında bulunmuştur. SEM'deki değişikliklerden Lu katkılamanın etkisiyle CdO'nun özelliklerini değiştirmede etkili olduğu ve bu filmlerin sensör ve ekran uygulamaları için uygun malzemeler olduğu belirtmişlerdir. SEM görüntüleri, Lu katkı oranının ince filmlerin yüzey değişikliğine neden olduğu ortaya çıkarılmıştır. CdO filmlerin Lu katkılamanın optoelektronik uygulamalar için uygun

malzemeler olduğu belirtmişlerdir. Lu katkılı CdO, ayarlanabilir bant aralığı ve optik özelliklere dayalı olarak optoelektronik cihazlar için iyi bir aday olduğunu söylemişlerdir (Erdoğan et al., 2021).

Rajput ve arkadaşlarının çalışmasında 350 °C ila 650 °C arasında farklı tavlama sıcaklıklarına sahip cam alt taban üzerinde sol-jel metodula CdO ince filmleri sentezlemişlerdir. Kristal yapı ve yüzey yapıları X-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazlarıyla incelenmişlerdir. İnce filmlerin kaya tuzu kübik yapısını gösteren ve tavlama sıcaklığına bağlı olarak ince filmlerin kristal özelliğini araştırmışlardır. İnce filmin SEM görüntüleri, tavlama sıcaklığına bağlı olarak bulunan ince filmin yüzeyinde nano çiçek benzeri yapıları sentelemişlerdir. Optik bant aralığı 2,42 eV'den 2,20 eV'a düşmüştür. Sol-jel yöntemini CdO ince filmlerin nano çiçek benzeri yapıları yüzey morfolojisini sahip malzemelerin elde etmenin hızlı, kolay ve etkili bir yolu olarak önermişlerdir (Rajput et al., 2017).

Hassan ve arkadaşlarını yapmış olduğu çalışmada ZnO-CdO nanokompozitleri (CZ1, CZ2 ve CZ3), polivinil alkol (PVA) polimerik yapı ile sol-jel (piroliz) tekniği ile NO₂ gaz duyarlılığı sensörü olarak serigrafi yoluyla ince film kaplı cam substrat olarak kullanılmak üzere hazırlamışlardır. Sentezlenen kompozit numuneler, X-ışını kırınımı (XRD), Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), Ultraviyole spektroskopisi (UV-vis) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak analiz edildi. ZnO-CdO nanokompozitlerinin 20-30 nm boyut aralığında küresel parçacıklardan oluştuğunu göstermektedir. Optik absorpsiyon sonuçları hazırlanan ZnO-CdO nanokompozitlerin optik özelliklerini ortaya koymuştur. Sentezlenen nanokompozitler, NO₂ gazını algılamak için iyi bir sensör özelliği gösterdiğini bulmuşlardır (Hassan ve Salih, 2021).

Dakhel yaptığı çalışma çeşitli Zn çinko katkılı CdO ince filmler, sol-jel döndürme tekniği kullanılarak cam silikon alt tabakalar üzerinde hazırlamıştır. Filmler, X-ışınları floresansı (XRF), X-ışını kırınımı (XRD), optik absorpsiyon spektroskopisi ve dc-elektrik ölçümleri ile karakterize edilmiştir. NIR spektral bölgesindeki absorpsiyon, klasik Drude teorisi çerçevesinde incelenmiştir. %0,51 katılma oranına sahip Zn²⁺ iyonlarının etkisiyle CdO filmin elektriksel iletkenliğini yaklaşık %200 ve taşıyıcı konsantrasyonunda yaklaşık %270 artışa neden olduğu, ancak taşıyıcı hareketliliğini yaklaşık %20 oranında azalttığı

gözlenmiştir. Deneysel sonuçlar, Zn^{2+} iyonlarının katkılanması ile kontrol edilebilir olduğunu bulmuştur (Dakhel, 2012).

Kwoka ve arkadaşlarının çalışmasında sol-jel döndürme kaplama yöntemini kullanarak tüm bileşim aralığında $Cd_{1-x}In_xO_{1+\delta}$ ince filmleri sentezlemişlerdir. Birçok optoelektronik uygulama için uygun, geniş bir bileşim aralığında yüksek hareketliliğe sahip $CdO-In_2O_3$ amorf oksit yarı iletken filmlerin büyümesi, daha önce oda sıcaklığında püskürtme kullanılarak rapor edilmişti. Düşük sıcaklık, düşük maliyetli vakumsuz işleme, geniş bant aralığı ayarlanaabilirliği ve düşük öz direnç, bu sol-jel alaşımlı filmleri, özellikle organik katmanlar ve esnek alt tabakalar üzerinde optoelektronik uygulamalar için umut vaat eden malzemeler arasında bulunmaktadır (Kwok et al., 2022).

Kumari ve arkadaşlarının çalışması Cam substrat üzerinde %3 (Gd) katkılı bir CdO filmi geliştirmek için sol-jel serigrafi işlemi ile kaplamışlardır. X-ışını kırınımı (XRD), %3 (Gd) katkılı CdO filminin kübik yapıya ve polikristal yapıya sahip olduğunu yapıyı sentezlemişlerdir. Yüksek yoğunluklu pik (200) yönünde gözlemlendi ve ortalama kristalit boyutunun 22.2 nm olduğu bulundu. SEM (Taramalı elektron mikroskobu) görüntüsü, filmdeki küresel tanelerin tek tip düzenlemelerini göstermiştir. UV-Görünür spektroskopi, %3 Gd katkılı bir CdO filminin geçirgenliğinin %58 ve optik bant aralığının (E_g) değerinin 2,61 eV'lik olarak bulmuşlardır. Mevcut araştırma çalışmalarında geliştirilen film, fotovoltaik cihazlarda geniş uygulamalara sahip olduğunu söylemişlerdir (Kumari et al., 2020).

5. MATERİYAL VE YÖNTEM

5.1. Kullanılan Kimyasallar ve Cihazlar

Elektronik Terazı

Isıtıcılı Manyetik Karıştırıcı

UV-VIS-NIR 3600 spektrofotometresi

XE 100E PARK Sistem AFM Cihazı

Rikagu XRD Cihazı

Ultrasonik banyo

Kül Fırını

Çeşitli ebatlarda beherler, erlenler

Kadmiyum asetat dihidrat

Etil alkol (C_2H_5OH)

Metil alkol (CH_3OH)

Mono etanolamin ($NH_2-CH_2-CH_2-OH$)

Damıtılmış su

5.2. Çözeltilerin Hazırlanması

5.2.1. Selenyumun Katkılı Kadmiyum Asetat Çözeltilerin Hazırlanması

Önce %0,3; %0,5; %1 ve %3 oranında olacak şekilde toz halindeki selenyum tartılarak her numuneden ayrı ayrı beherlere konulmuş ve nitrik asitle reaksiyonu sonucu selenik asit elde edilmiş ve hacmi 2 ml olacak şekilde metil alkolle çözeltileri hazırlanmıştır. Sonra hazırlanmış bu çözeltilerin üzerine kadmiyum asetat katısı eklenerek 10 ml 0,5 molarlık dört adet %0,1; 0,5; 1,0; 3,0 Se katkılı kadmiyum çözeltileri ve bir adet de katkısız kadmiyum asetat, asetatın metil alkolle çözeltileri hazırlanmıştır. Bu çözeltiler bir saat 50 °C'de manyetik karıştırıcıda karıştırılmış homojen ve jelimsi çözelti oluşması için stabilizatör olarak mono etanol aminden 1 ml eklenmiştir ve 12 saat daha 50°C'de ısıtıcılı

manyetik karıştırıcıda karıştırılmış katkısız kadmiyum asetat ve %0,3; 0,5; 1,0; 3,0 Se katkılı kadmiyum asetat çözeltileri elde edilmiştir.

5.2.2. Selenyum-Nikel Katkılı Kadmiyum Asetat Çözeltilerinin Hazırlanması

Yine 5.2.1 olduğu gibi selenyumun toz halindeki yapısından asidine çevrilip çözeltileri hazırlanmış bu çözeltilere yüzde oranı toplam çözeltide %0,3; %0,5; %1 ve %3 olacak şekilde nikel asetat di hidrat katısı eklenmiştir. Sonra hazırlanmış bu çözeltilerin üzerine kadmiyum asetat katısı eklenerek 10 ml 0,5 molarlık dört adet %0,3; 0,5; 1,0; 3,0 Se-Ni katkılı kadmiyum asetatın metil alkolle çözeltileri hazırlanmıştır. Bu çözeltiler bir saat 50 °C'de manyetik karıştırıcıda karıştırılmış homojen ve jelimsi çözelti oluşması için stabilizatör olarak mono etanol aminden 1 ml eklenmiş ve 12 saat daha 50°C'de manyetik karıştırıcıda karıştırılarak %0,3; 0,5, 1,0; 3,0 Se-Ni oranında olacak şekilde kadmiyum asetat çözeltileri elde edilmiştir.

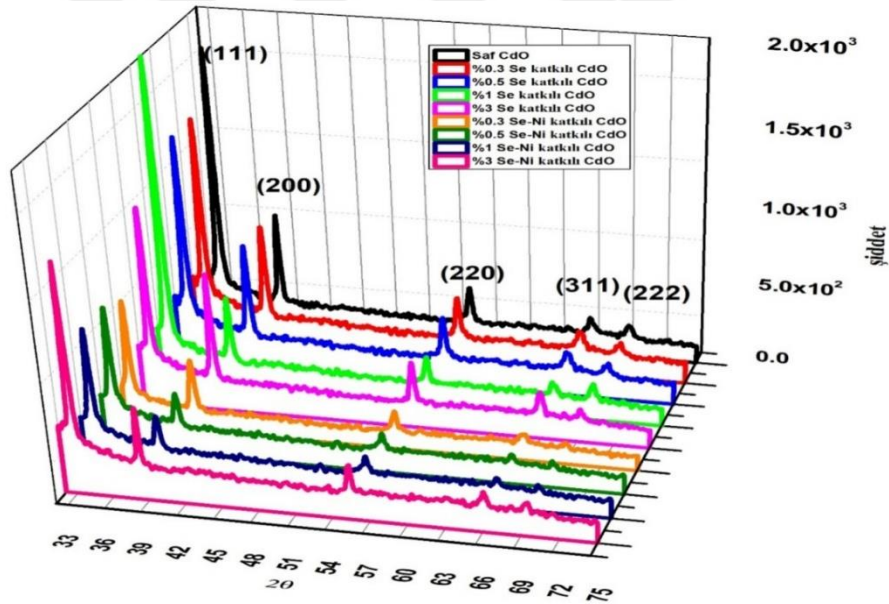
5.3. İnce Filmlerin Hazırlanması

Mikroskop silisyum camları 2x2 cm alanına sahip olacak şekilde kesilmiştir yirmi dakika süreyle ultrasonik banyoda sırasıyla n-etil alkol ve distile su ile temizlenmiş azot gazıyla yüzeyi kurutulmuştur. Bu çözeltilerle %Se, %Se-Ni ve saf CdO filmlerin hazırlanmasının ilk aşamasında döndürme kaplama yöntemi ile 60 saniye boyunca 1200 rpm'de mikroskop camının üzerine kaplanmış ve her kaplamadan sonra filmlerdeki organik birikintiler ve çözücünün buharlaştırılması için 4 dakika süreyle 170°C'de kurutulmuştur. Bu işlem on kez tekrarlanmıştır. Daha sonra, hazırlanan saf, Se katkılı ve Se-Ni katkılı kadmiyum oksit filmler oluşturmak için kül fırınında 2 saat boyunca 470°C'de yaşlandırılmıştır. İnce filmler yapı ve optik özelliklerini araştırmaya hazırlanmıştır.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. Yapısal Özelliklerin XRD ile İncelenmesi

Kadmiyum oksit, Se ve Se-Ni katkılı CdO filmlerinin x -ışınları difraktogramları Rikagu XRD cihazıyla Cu Ka dalgaboylu ($\lambda = 0,154\text{nm}$) de 40 kV ve 30 mA X-ışını ile alınmıştır. X-ışınları difraktogramları Şekil 6.1'deki gibidir. İnce filmlerin tamamı kadmiyum oksidin kaya tuzu (NaCl) yapısında yüzey merkezli kübik olduğunu ve elde edilen kübik (111), (200), (220), (311) ve (222) yönelimleri ile göstermişlerdir (JCPDS kart no 05-0640) (Carballeda-Galicia et al., 2000).



Şekil 6.1. Kadmiyum oksit, %0,1; 0,5, 2 ve 3 Se, Se-Ni katkılı kadmiyum oksit XRD difraktogramları

Saf CdO; filmine göre pik şiddetinde artış ve azalma olmuştur. (111) kırınım deseni artışı en fazla olan %1Se katkılı en az olanda %3Se-Ni CdO yapısıdır. (200) kırınım deseni şiddetinde artışı fazla olan %0,3 Se katkılı en az olanda %0,5 Se-Ni CdO filmidir. (220) kırınım deseni artışı en fazla olan %3 Se katkılı en az olanda %1 Se-Ni CdO yapısıdır. (311) kırınım deseni artışı en fazla olan %3 Se katkılı en az olanda %3 Se-Ni CdO yapısıdır. (222) kırınım

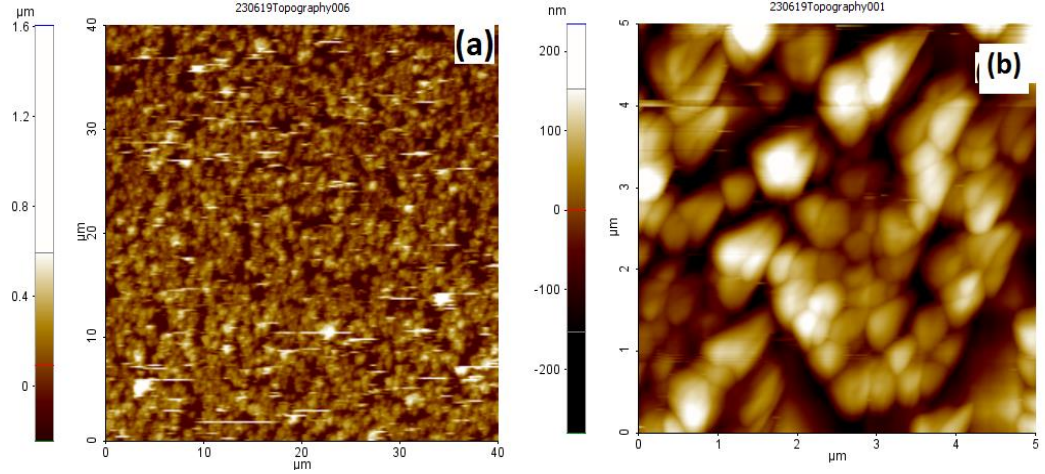
deseni artışı en fazla olan %1 Se katkılı en az olanda %1 Se-Ni CdO yapısıdır. Katkılı tüm filmlerde difraktogram piklerinin şiddetlerini saf yapıdaki kadmiyum oksitinin kırınım piklerinin şiddetinin göre artması ve azalması katkılanıma etkisiyle olmuştur. CdO katkılanma ile pik şiddetleri (Tablo 6.1)'de belirtilmiştir.

Tablo 6.1. Kadmiyum oksit 'in %0,1; 0,5; 2,3 Se, Se-Ni katkısıyla XRD şiddetinin artış ve azalış yüzdesi

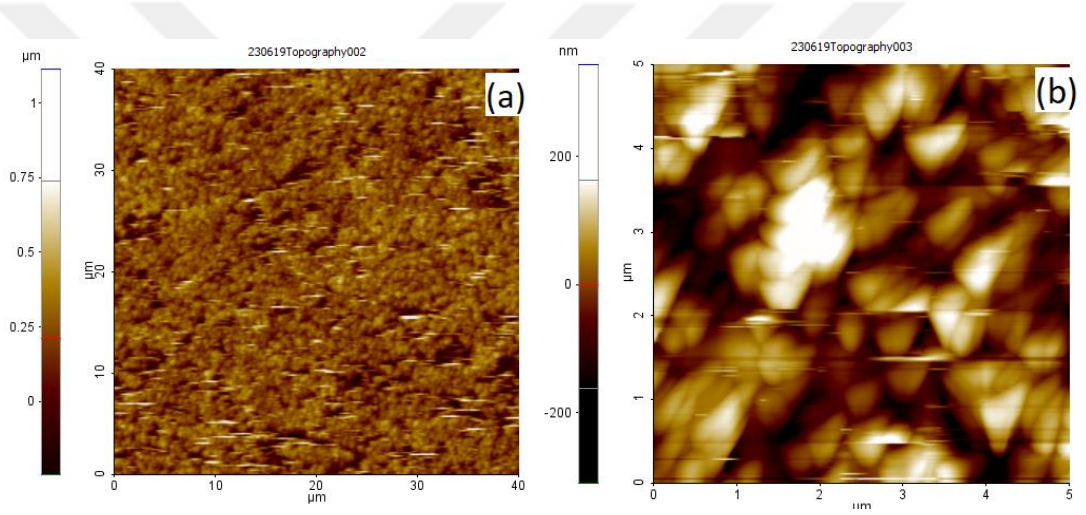
Filmler	111	200	220	311	222
%0,3Se	<17	>10	>9	>28	≈
%0,5Se	<19	>16	>18	>14	>16
%1Se	>10	>16	<10	≈	>16
%3Se	<29	>38	>18	>28	≈
%0,3Se-Ni	>53	<33	<27	<14	<33
%0,5Se-Ni	>48	<38	<36	<21	<33
%1 Se-Ni	>51	<44	<27	<14	<16
%3 Se-Ni	>29	<16	<10	≈	≈

6.2. AFM ile Yüzey Özelliklerin İncelenmesi

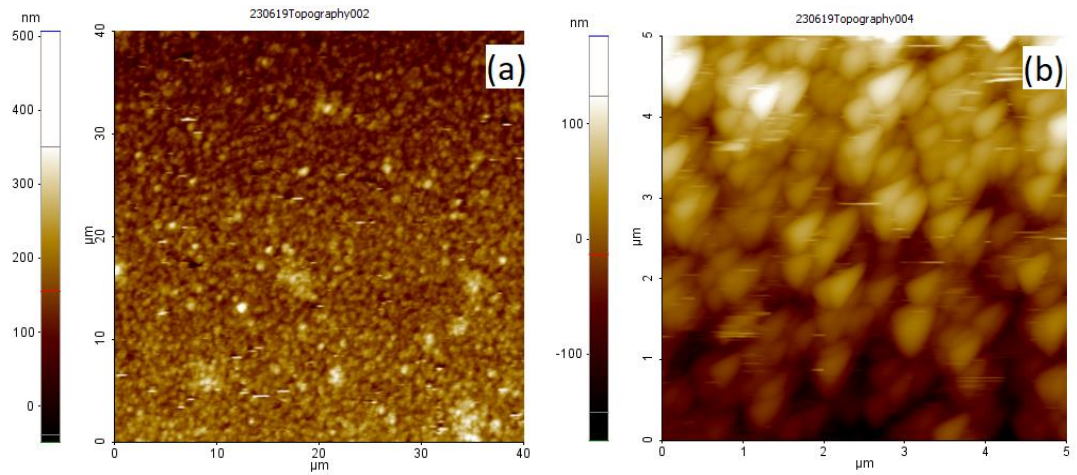
AFM kullanılarak CdO, Se ve Se-Ni katkılı filmlerinin yüzey özelliği incelenmiştir. 40x40 µm ve 5x5 µm mikron alanda alınmış saf CdO ve katkılı filmlerinin AFM görüntüleri Şekil 6.2 ve Şekil 6.10 arasında görülmektedir. Tüm filmler homojen dağılımlı nano yapıya sahip olup tanecik ve kümeler halindedir. Şekil 6.5 'de ve Şekil 6.10 'da görüldüğü gibi birleşik kümeli %1 Se, %3 Se-Ni katkılı CdO ince filmler tanecik büyüklüğü 80-100 nm arasında kristal tane boyutundaki taneciklerin birleşimiyle 450-1000 nm arasında kümelerden oluşmuştur. Tanecik yapı filmlerinde tanecik büyüklüğü ortalama 100-400 nm değerinde ölçülmüştür. Yüzey pürüzsüzlük (Rq) değerleri %3 Se-Ni katkılı kadmiyum oksit için 20 nm ile en küçük değerde ölçülmüştür. Yine Se-Ni katkılı CdO filmlerin katkılanım ile pürüzlük değeri azalmıştır. %3 Se-Ni katkılı CdO'ı n 130 nm ile en büyük Rq değeri ölçülmüştür.



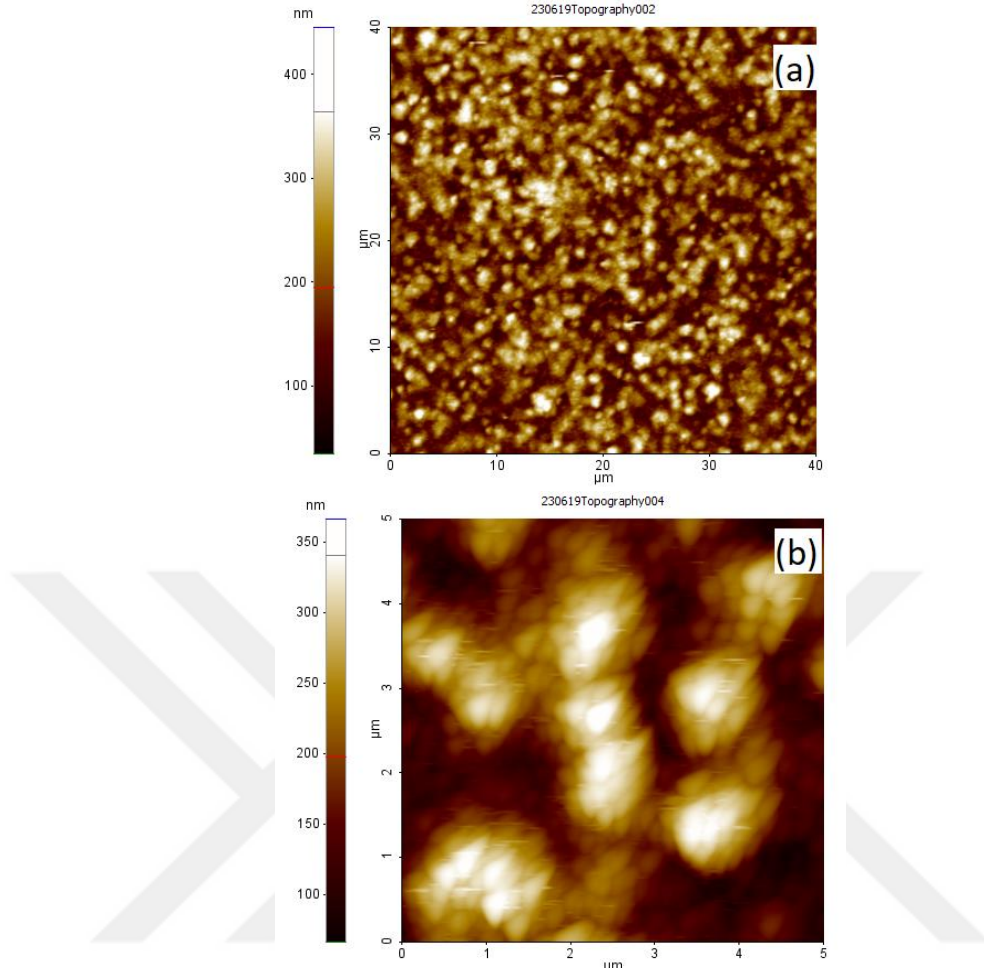
Şekil 6.2. Saf kadmiyum oksit'in AFM görüntüsü (a) 40x40 μm (b) 5x5 μm



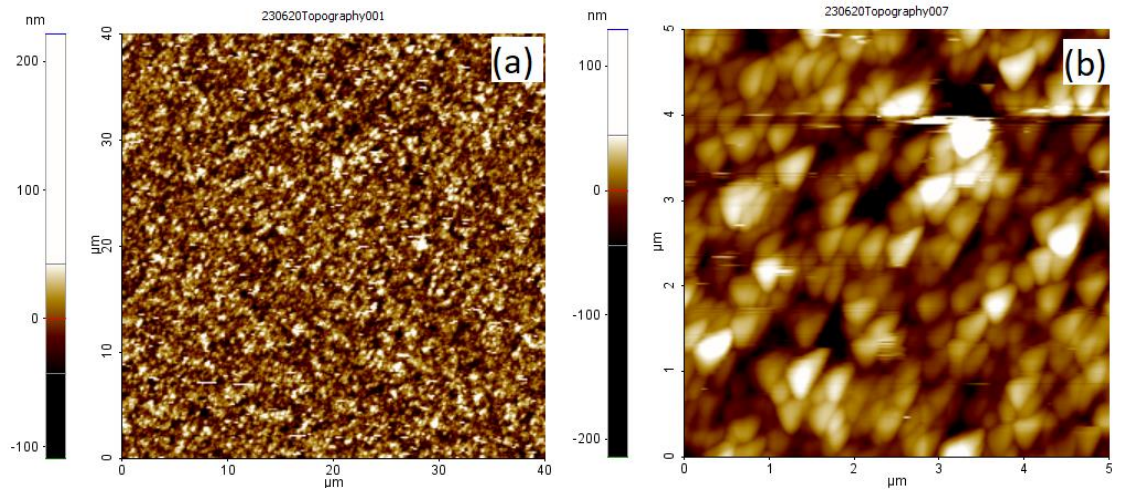
Şekil 6.3. %0,3 Se katkılı kadmiyum oksit AFM görüntüsü (a) 40x40 μm (b) 5x5 μm



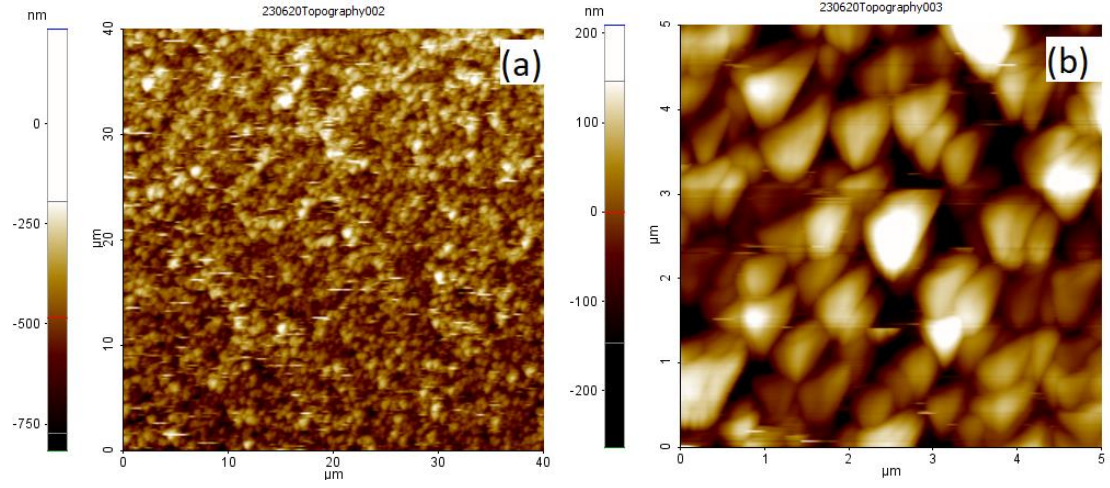
Şekil 6.4. %0,5 Se katkılı kadmiyum oksit AFM görüntüsü (a) 40x40 μm (b) 5x5 μm



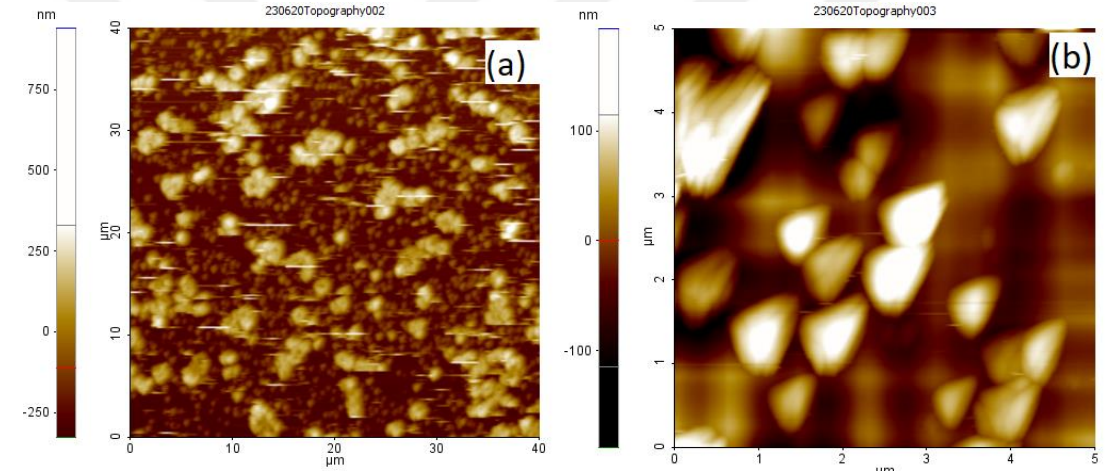
Şekil 6.5. %1 Se katkılı kadmıyım oksit AFM görüntüsü (a) 40x40 μm (b) 5x5 μm



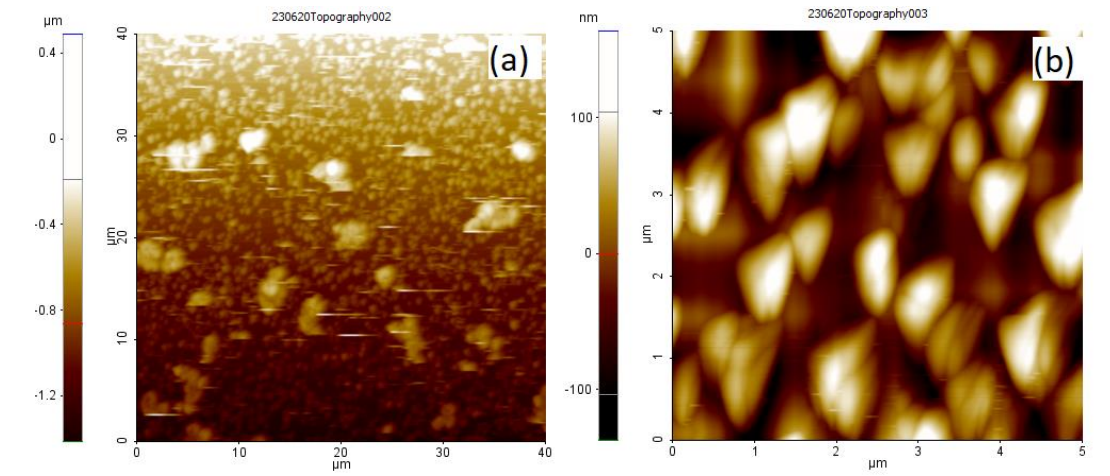
Şekil 6.6. %3 Se katkılı kadmıyım oksit AFM görüntüsü (a) 40x40 μm (b) 5x5 μm



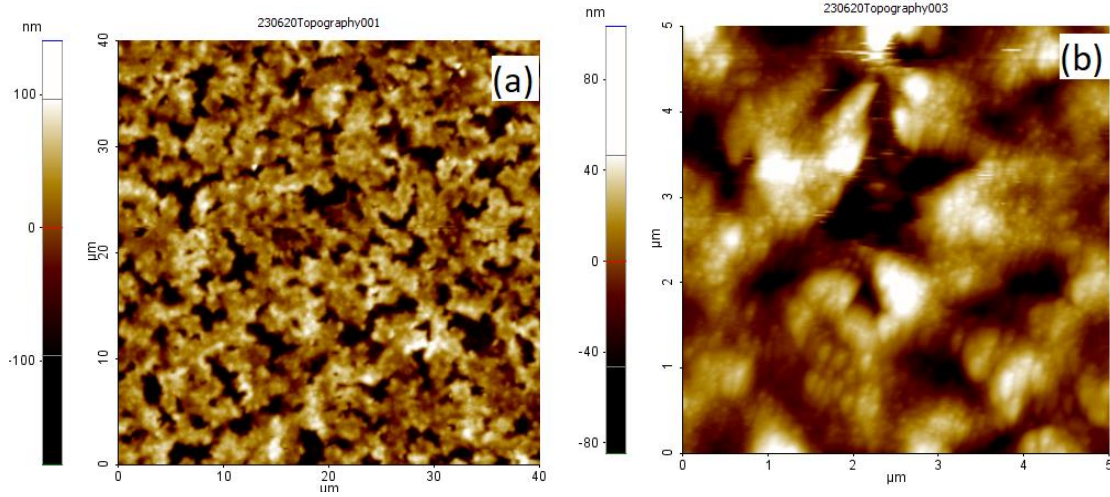
Şekil 6.7. %0,3 Se-Ni katkılı kadmiyum oksit AFM görüntüsü (a) 40x40 μm (b) 5x5



Şekil 6.8. %0,5 Se-Ni katkılı kadmiyum oksit AFM görüntüsü (a) 40x40 μm (b) 5x5



Şekil 6.9. %1 Se-Ni katkılı kadmiyum oksit AFM görüntüsü (a) 40x40 μm (b) 5x5



Şekil 6.10. %3Se-Ni katkılı kadmiyum oksit AFM görüntüsü (a) 40x40 μm (b) 5x5

Tablo 6.2. 5x5 μm aralığındaki AFM görüntülerinden saf kadmiyum oksitin ve Se, Se-Ni katkılı CdO filmlerinin kristal yapıları nano kümelenme büyüklüğü ve yüzey pürüzsüzlük (R_q) değerleri

Filmler oksit	Kadmiyum	Partikül Büyüklüğü (nm)	Kümelenme Büyüklüğü (nm)	Yüzey Pürüzsüzlüğü (R_q) (nm)
Saf		$\approx 200-400$	-	≈ 70
%0,3 Se		$\approx 80-400$	-	≈ 90
%0,5 Se		$\approx 100-500$	-	≈ 25
%1 Se		$\approx 100-450$	≈ 450	≈ 40
%3Se		$\approx 80-300$	-	≈ 25
%0,3 Se-Ni		$\approx 150-250$	-	≈ 130
%0,5Se-Ni		$\approx 300-600$	-	≈ 75
%1 Se-Ni		$\approx 200-400$	-	≈ 55
%3Se-Ni		$\approx 50-150$	≈ 1000	≈ 20

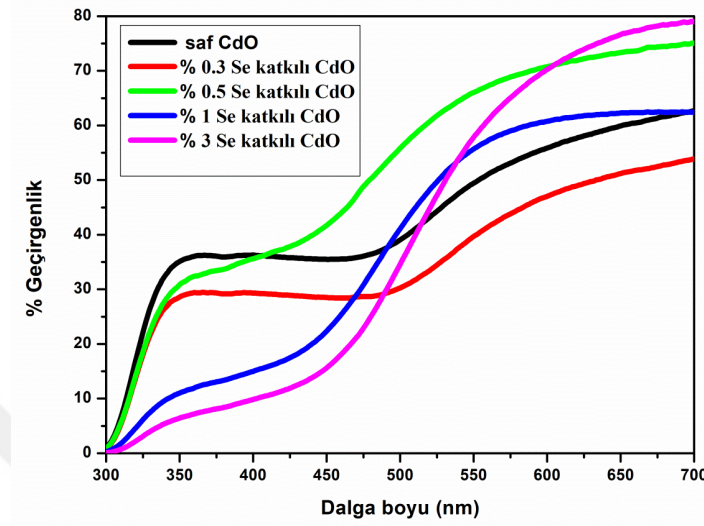
6.3. Optik Özelliklerin İncelenmesi

6.3.1. CdO ve Katkılı CdO İnce Filmlerin Geçirgenlik Spektrumları ve Özellikleri

6.3.1.1. CdO ve Se Katkılı CdO İnce Filmlerin Geçirgenlik Spektrumları ve Özellikleri

Kadmiyum oksit ve Se katkılı CdO nano filmlerin geçirgenlik spektrumları alınmış optik özelliklerini incelenmiştir. CdO ve Se katkılı CdO nano yapıları filmlerin yüzde geçirgenlik spektrumları alınmış ve Şekil 6.11'de gösterilmiştir. Spektrumlardan %3 Se katkılı CdO filminin ortalama geçirgenliği (%79) tüm filmler içinde en büyük değerde iken, %0,3 Se katkılı kadmiyum oksit filminin ortalama geçirgenliği (%54) en küçük değerde

ölçülmüştür. Bu ölçümler, literatürlerdeki geçirgenlik yüzdeleriyle uyumluluk göstermektedir (Khan et al., 2010; Moholkar et al., 2010).

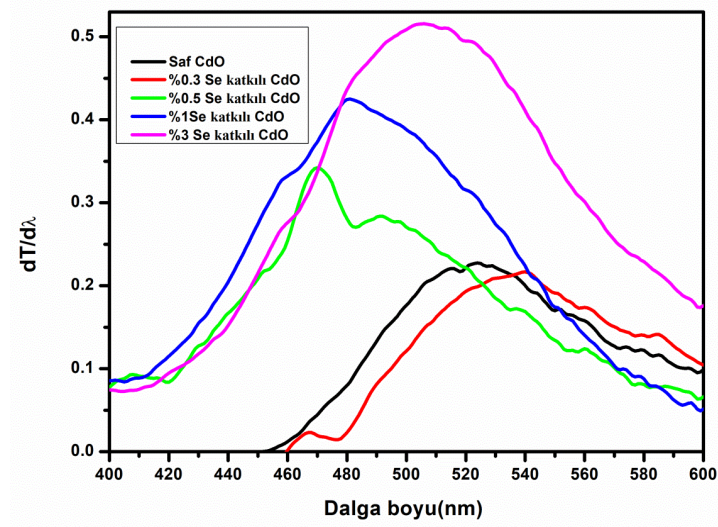


Şekil 6.11. Saf ve Se katkılı kadmiyum oksit filmlerinin geçirgenlik spektrumu grafiği

Tablo 6.3'te görüldüğü gibi, saf kadmiyum oksit filminin yüzde geçirgenlik değerine göre 0,3 Se katkısıyla CdO 'in azalmış %0,5, 1 ve 3 katkılı Se katkısıyla artmıştır. CdO ve Se katkılı CdO ince Şekil 6.12'de filmlerin dalga boyuna karşı $dT/d\lambda$ grafikleri çizilmiş maksimum geçirgenliklerin olduğu dalga boyu hesaplanmıştır.

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

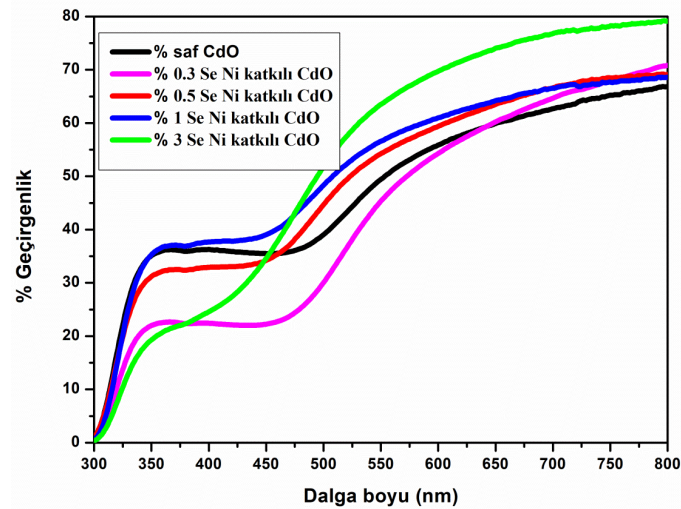
Denklem (1) kullanılarak E (enerji) h (Planck sabiti) c (ışık hızı) λ (dalga boyu) maksimum absorpsiyon değerleri kullanılarak hesaplanan kadmiyum oksit ve Se katkılı kadmiyum oksit nano filmlerin bant enerji aralıkları Tablo 6.3'te gösterilmiştir. Tablo 6.3'te görüldüğü gibi, saf kadmiyum oksit ve Se katkılı kadmiyum oksit nano yapılı filmlerin maksimum pik değerleri 469 ile 540 nm değerleri arasında değişmektedir. Saf kadmiyum oksit filminin hesaplanan enerji bandı değeri %2,27 eV tur. Selenyum katkısıyla azalma ve artma olmuştur (Serbetci et al., 2014).



Şekil 6.12. Saf ve Se katkılı kadmiyum oksit filmlerinin $dT/d\lambda$ karşı dalga boyu grafiği

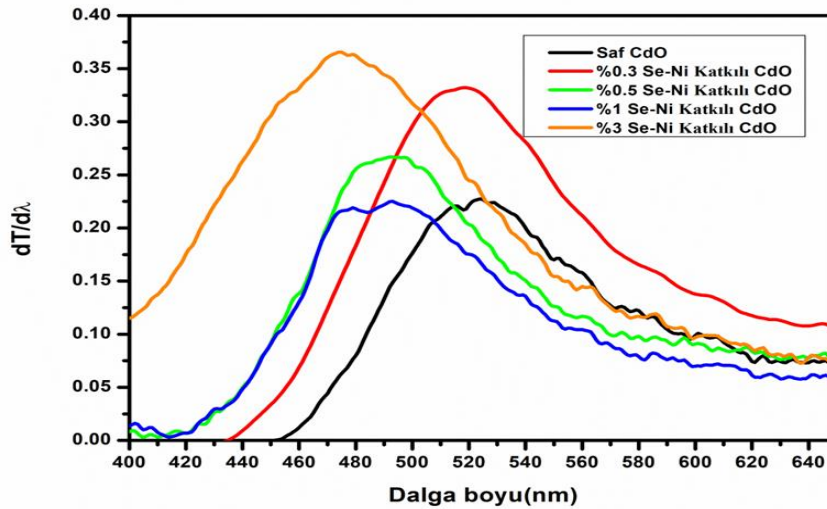
6.3.1.2. CdO ve Se-Ni Katkılı CdO İnce Filmlerin Geçirgenlik Spektrumları ve Özellikleri

Şekil 6.13'te Se-Ni katkılı kadmiyum oksit ince filmlerin geçirgenlik spektrumları alınmış optik özelliklerini incelenmiştir. Şekil de görüldüğü gibi tüm filmlerin yüzde geçirgenliği değeri saf Kadmiyum Okside artmıştır ve bu veriler Tablo 6.3'te verilmiştir. %3 Se katkılı CdO filminin yüzde geçirgenliği (%76) olarak filmler içinde en büyük değerde ölçülmüştür. Bu ölçümler, literatürdeki geçirgenlik değerlerle uyumluluk göstermektedir (Khan et al., 2010).



Şekil 6.13. Saf ve Se Ni katkılı kadmiyum oksit filmlerinin geçirgenlik spektrumu grafiği

Kadmiyum oksit ve Se katkılı Kadmiyum oksit nano filmlerinin Şekil 6.14 'de 3 dalga boyu eğrilerine karşı $dT/d\lambda$ grafikleri çizilerek maksimum geçirgenliğinin en büyük olduğu dalga boyu bulunarak denklem 1 kullanarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.14. Saf ve Se-Ni katkılı kadmiyum oksit filmlerinin $dT/d\lambda$ karşı dalga boyu grafiği

Denklem (1) kullanılarak hesaplanan Kadmiyum oksit ve Se-Ni katkılı Kadmiyum oksidin Tablo 6.3'te enerji bantlarının aralıkları verilmiştir. Tablo 6.3'teki gibi, saf Kadmiyum oksit ve Se-Ni katkılı Kadmiyum oksit nano yapıları filmlerin maksimum pik değerleri 475 ile 517 nm arasında değişmektedir, Saf CdO filminin denklem 1'den hesaplanan enerji bandı aralığı değeri %2,27 eV tur. Selenyum-Nikel katkısıyla artma olmuş ve Tablo 6.3'te hesaplan veriler gösterilmiştir (Serbetci et al., 2014).

Tablo 6.3. Saf ve katkılı kadmiyum oksit ince filmlerinin bazı önemli optik parametreleri

İnce Film	Saf CdO	Se Katkılı				Se-Ni Katkılı			
		%0,3	%0,5	%1	%3	%0,3	%0,5	%1	%3
Ortalama Geçirgenlik (%)	67	54	75	63	79	71	69	68	76
Maksimum Dalga Boyu (nm)	524	540	469	478	507	517	492	495	474
E_{abs} (eV)	2,37	2,30	2,64	2,60	2,50	2,4	2,52	2,51	2,62

6.3.2. CdO ve Er Katkılı CdO İnce Filmlerin Kırılma İndisi Parametrelerin Belirlenmesi

6.3.2.1. CdO, Se ve Se-Ni Katkılı CdO İnce Filmlerin Kırılma İndisi Parametrelerin Belirlenmesi

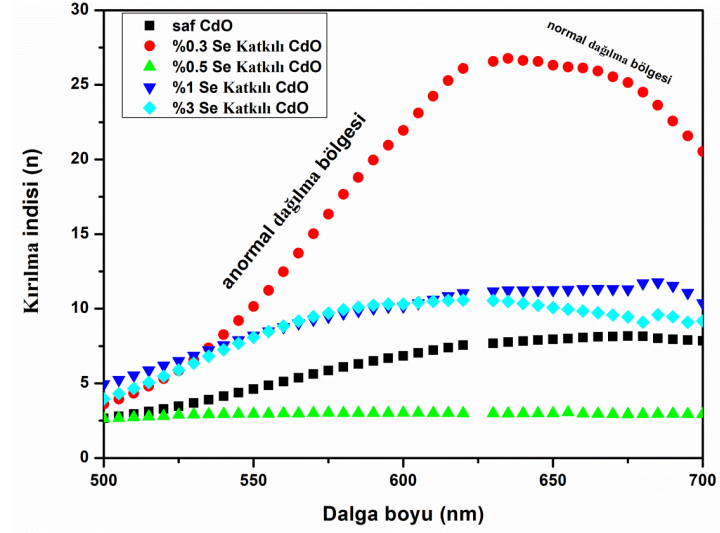
Kırılma indisi kompleks sayı ile ifade edilen malzemelerin optik özelliklerini belirlenmesinde gerçek ve sanal kısımları birbiriyle bağlantılı olan bir ifadedir. Optik kırılma indisini hesaplamada (2) numaralı formül kullanılmıştır. Formül 2 de kompleksin kırılma indisinin (n) gerçek (k) ise sanal kısmıdır (Dagdelen et al., 2012).

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

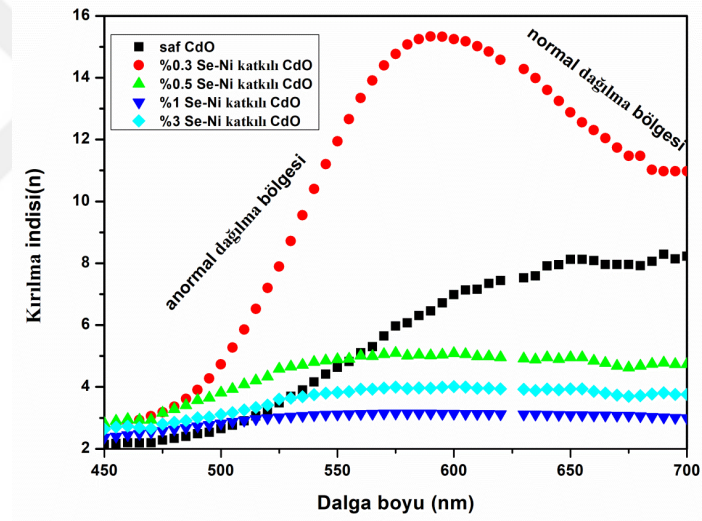
Sentezlenmiş nano yapıların kırılma indisleri (n) aşağıda verilen formül (3) ile elde edilmiştir.

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

Kadmiyum oksit, Se ve Se-Ni katkılı Kadmiyum oksit sentez yapıların optik kırılma indisine (n) karşılık dalga boyu grafikleri Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'da gösterilmiştir. Her iki şekilde de kırılma indisleri eğrileri normal ve anormal dağılım olarak adlandırılan iki bölgeden oluşmuştur. Filmlerdeki kırılma indisleri (n) değerleri normal dağılım dispersiyon bölgesinde artan dalga (λ) boyu ile azalırken, anormal dağılımdaki bölgede artmıştır.



Şekil 6.15. Saf ve Se katkılı kadmiyum oksit ince filmlerinin kırılma indeksi ve dalga boyu grafiği



Şekil 6.16. Saf ve Se-Ni katkılı kadmiyum oksit ince filmlerinin kırılma indeksi ve dalga boyu grafiği

6.4. Katkılı CdO İnce Filmlerin Dielektrik ve Elektrik Duyarlılık Özellikleri

6.4.1. CdO ve Se Katkılı CdO İnce Filmlerin Dielektrik ve Elektrik Duyarlılık Özellikleri

Kompleks yapının dielektrik sabiti denklem 4'te gösterilmiştir.

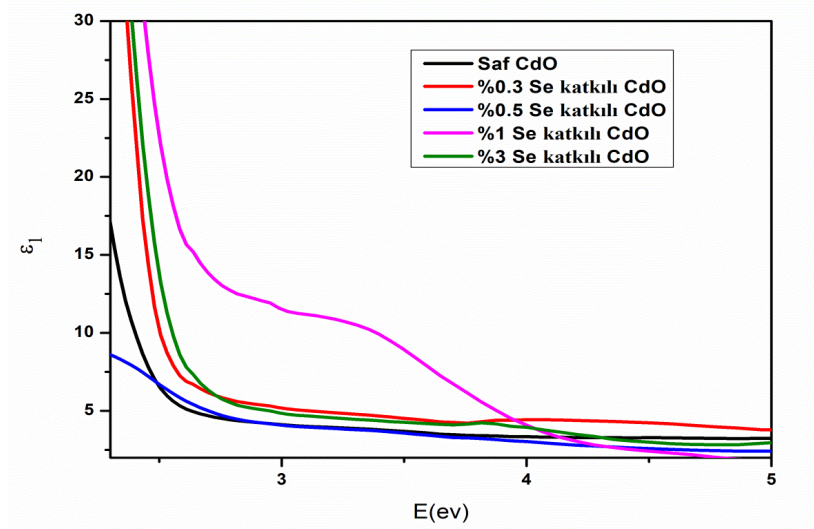
$$\varepsilon^* = \varepsilon_1 + i\varepsilon_2 = n^2 = (n \pm ik)^2 = (n^2 - k^2) + i2nk \quad (4)$$

Foton enerjisine dielektrik sabiti reel ε_1 ve sanal ε_2 kısımlarını göstermektedir. Burada n kırılma indisi k yok etme faktörüdür. Foton enerjisine dielektrik sabiti bağımlılığının reel ve sanal kısımları sırasıyla denklem 5'de ve 6' da gösterilmiştir.

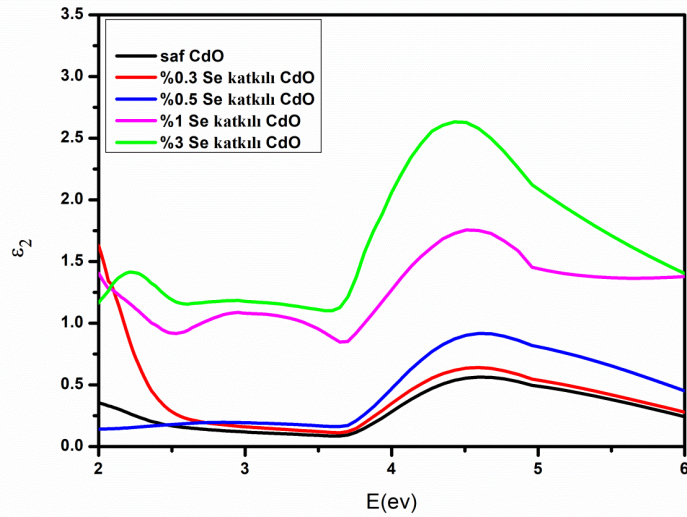
$$\varepsilon_1 = n^2 - k^2 \quad (5)$$

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

Formüldeki sönüm katsayısı $k = \alpha\lambda/4\pi$ ile hesaplanabilmektedir. α absorpsiyon kat sayısı (Frederick 1972). Şekil 6.17 ve Şekil 6.18'de görüldüğü gibi, ε_1 değerleri katılanma ile değişmektedir. Dielektrik sabitinin grafiğinin sanal kısmının (ε_2) görüldüğü gibi normal ve anormal dağılım bölgesi olarak iki bölgeden oluşmaktadır. Kadmiyum oksit ve Se katkılı Kadmiyum oksit nano filmlerindeki normal dağılım ve anormal dağılım eğrileri değişmiştir. CdO nano filmlerdeki değişme ε_2 'in Se'un katkısıyla olabileceğini göstermiştir. Kadmiyum oksit ve Se katkılı Kadmiyum oksit ince filmlerin dielektrik sabitinin grafiklerinden reel kısımlarının, dielektrik sabitinin sanal grafiklerdeki değerlerinden daha büyüktür yani $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$ 'dir.



Şekil 6.17. Saf ve Se katkılı kadmiyum oksit filmlerin reel dielektrik sabiti grafiği

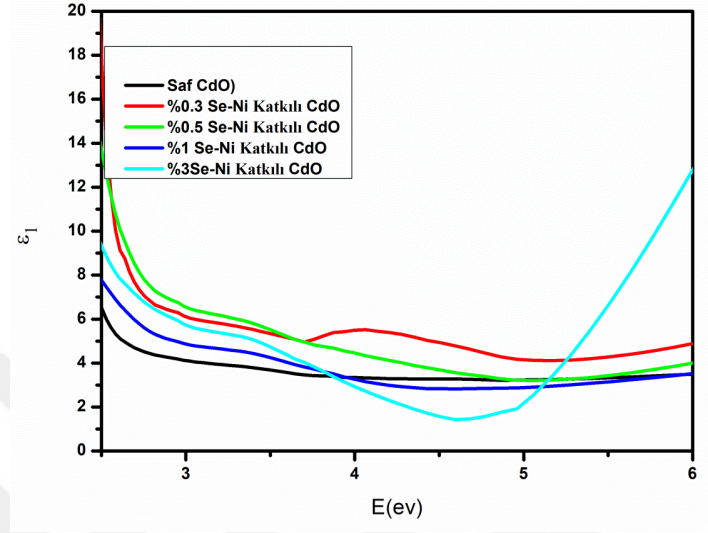


Şekil 6.18. Saf ve Se katkılı kadmiyum oksit filmlerin sanal dielektrik sabiti grafiği

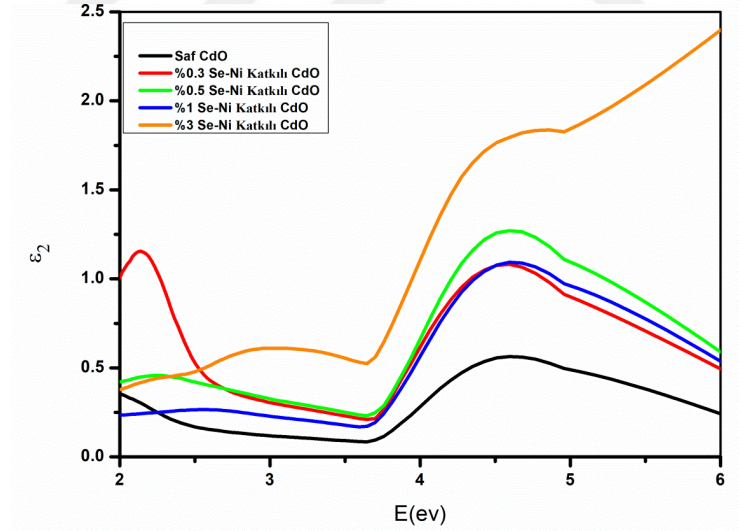
6.4.2. CdO ve Se-Ni Katkılı CdO İnce Filmlerin Dielektrik ve Elektrik Duyarlılık Özellikleri

Şekil 6.19 ve Şekil 6.20'de görüldüğü gibi, ϵ_1 değerleri katkılanma ile değişmektedir. Dielektrik sabitinin grafiğinin sanal kısmının (ϵ_2) görüldüğü gibi normal ve anormal dağılım bölgesi olarak iki bölgeden oluşmaktadır. Kadmiyum oksit ve Se-Ni katkılı Kadmiyum oksit nano filmlerindeki normal dağılım ve anormal dağılım eğrileri değişmiştir. CdO nano filmlerdeki değişme ϵ_2 'in Se-Ni'un katkısıyla olabileceğini

göstermiştir. Kadmiyum oksit ve Se-Ni katkılı Kadmiyum oksit ince filmlerin dielektrik sabitinin grafiklerinden reel kısımlarının, dielektrik sabitinin sanal grafiklerdeki değerlerinden daha büyük olduğu bulunmuştur. Yani $\epsilon_1 > \epsilon_2$ 'dir.



Şekil 6.19. Saf ve Se katkılı kadmiyum oksit filmlerin reel dielektrik sabiti grafiği



Şekil 6.20. Saf ve Se-Ni katkılı kadmiyum oksit filmlerin sanal dielektrik sabiti grafiği

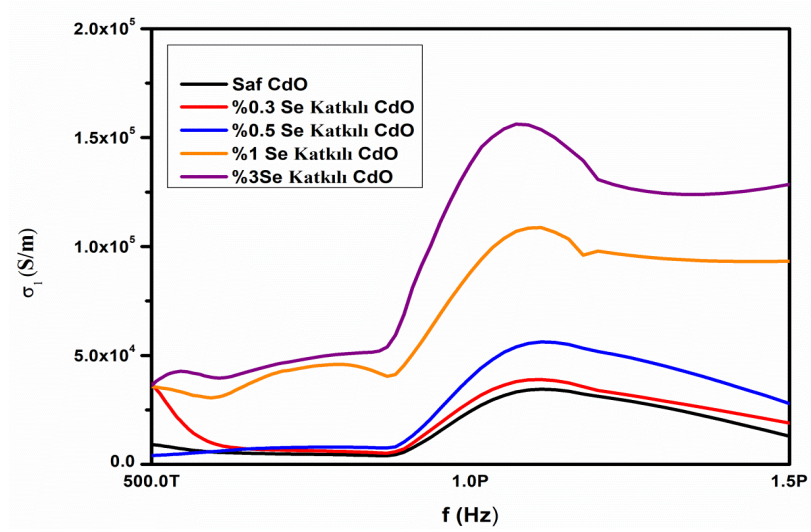
6.5. Nano Filmlerin Optik İletkenlik Özellikleri

6.5.1. CdO ve Se Katkılı CdO İnce Filmlerin Optik İletkenlik Özellikleri

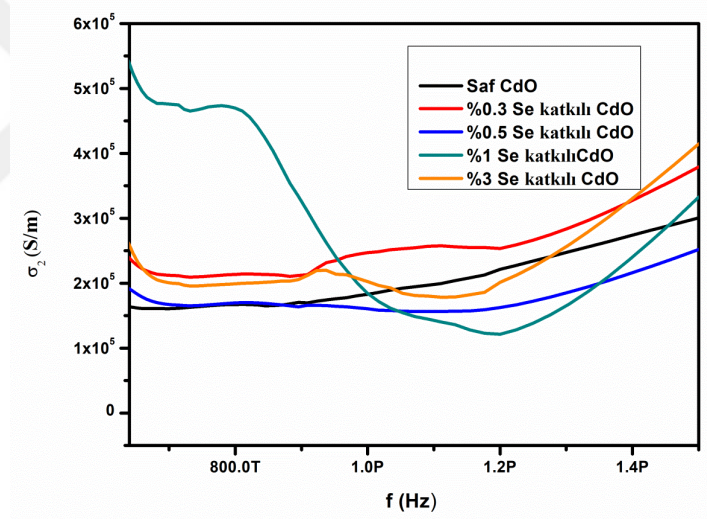
Kadmiyum oksit ve Se katkılı Kadmiyum oksit nano yapılı filmlerin optik iletkenliği Denklem 7 ile ifade edilir (JN Hodgson 1970; F Abeles 1972).

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

σ_1 optik iletkenliğin reel kısmını ve σ_2 tik iletkenlikteki sanal kısmı göstermektedir. Kadmiyum oksit ve Se katkılı Kadmiyum oksit nano yapılı filmlerdeki optik iletkenliklerin reel ve sanal kısımları sırasıyla Şekil 6.21 ve Şekil 22'de gösterilmiştir. Şekil 6.21 ve Şekil 22'de görüldüğü gibi, iletkenliğin reel kısmı (σ_1), yaklaşık 950 T Hz'a kadar frekansla normal şekilde artmaktadır ve 950 Hz den sora aniden yükselerek devam etmektedir. Daha sonra artan frekansla birlikte tekrar azalmaktadır buda katkılanma ile optik iletkenliğin değiştiğini göstermektedir. Yine anormal ve normal iki kısım gözlenmiştir. CdO ince filmin σ_2 değerleri, %3 Se 1P Hz kadar azalıp tekrar en fazla yükselmiştir. Diğer ince filmler ise 1P Hz frekansa kadar normal artmış ve sonrasında aniden artmıştır, katkılanma etkisiyle olmuştur. Şekil 6.22'de görüldü gibi önce azalmış sonra artmıştır, Kadmiyum oksit ve Se katkılı Kadmiyum oksit nano yapılı filmlerdeki optik iletkenliklerin reel kısmındaki değerleri sanal kısmındaki değerlerden daha büyüktür.



Şekil 6.21. Saf ve Se katkılı kadmiyum oksit filmlerin reel optik iletkenlik grafiği

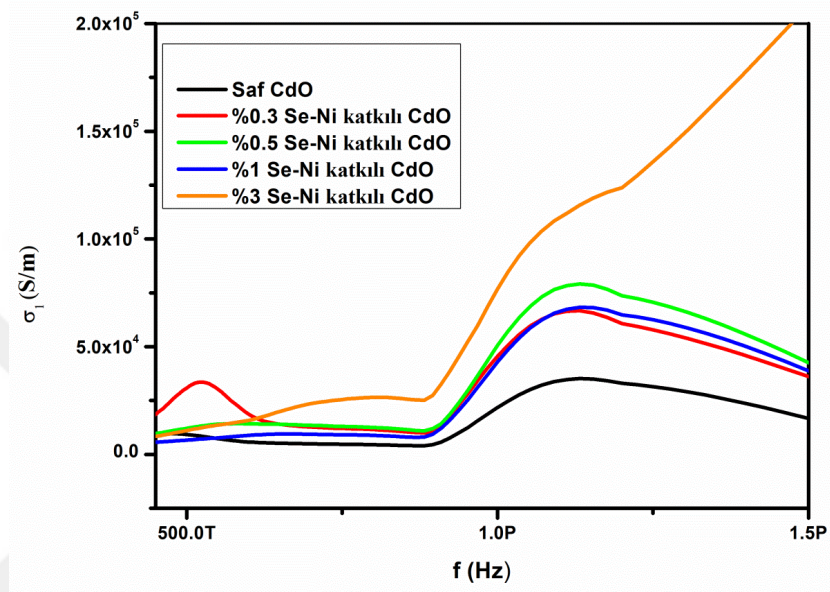


Şekil 6.22. Saf ve Se katkılı kadmiyum oksit filmlerin optik iletkenlik grafiği

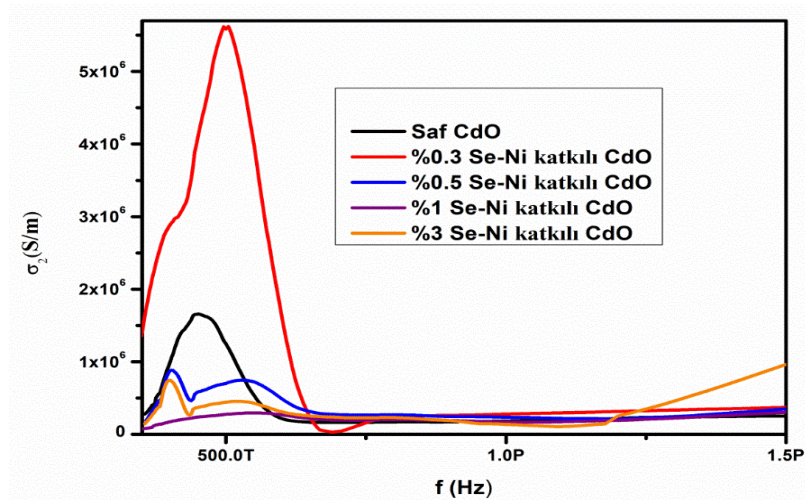
6.5.2. CdO ve Se-Ni Katkılı CdO İnce Filmlerin Optik İletkenlik Özellikleri

Kadmiyum oksit ve Se-Ni katkılı Kadmiyum oksit nano yapıları filmlerinin optik iletkenliğinin sanal reel ve sanal kısımları sırasıyla Şekil 6.23 ve Şekil 6.24'de gösterilmiştir. Şekil 6.23 ve Şekil 6.24'deki gibi, optik iletkenliğin reel kısmında (σ_1), yaklaşık 950 THz'a kadar frekansla normal şekilde artmaktadır ve 950 Hz den sonra aniden yükselerek devam etmektedir. Daha sonra artan frekansla birlikte tekrar azalmaktadır. %3

Se-Ni katkılı filmde 1.2 P Hz frekans da azalma olmayıp tekrar artma gözlenmiştir. Katkılanma ile optik iletkenliğin değiştiğini göstermektedir. CdO ince filmin σ_2 değerleri 500 1T Hz yükselmiştir. Sonra azalmıştır. CdO ve Se-Ni katkılı Kadmiyum oksit ince filmlerinin optik iletkenliklerin reel kısmı grafiklerindeki değerler iletkenliğin sanal kısmından daha büyüktür.



Şekil 6.23. Saf ve Se-Ni katkılı kadmiyum oksit filmlerin reel optik iletkenlik grafiği

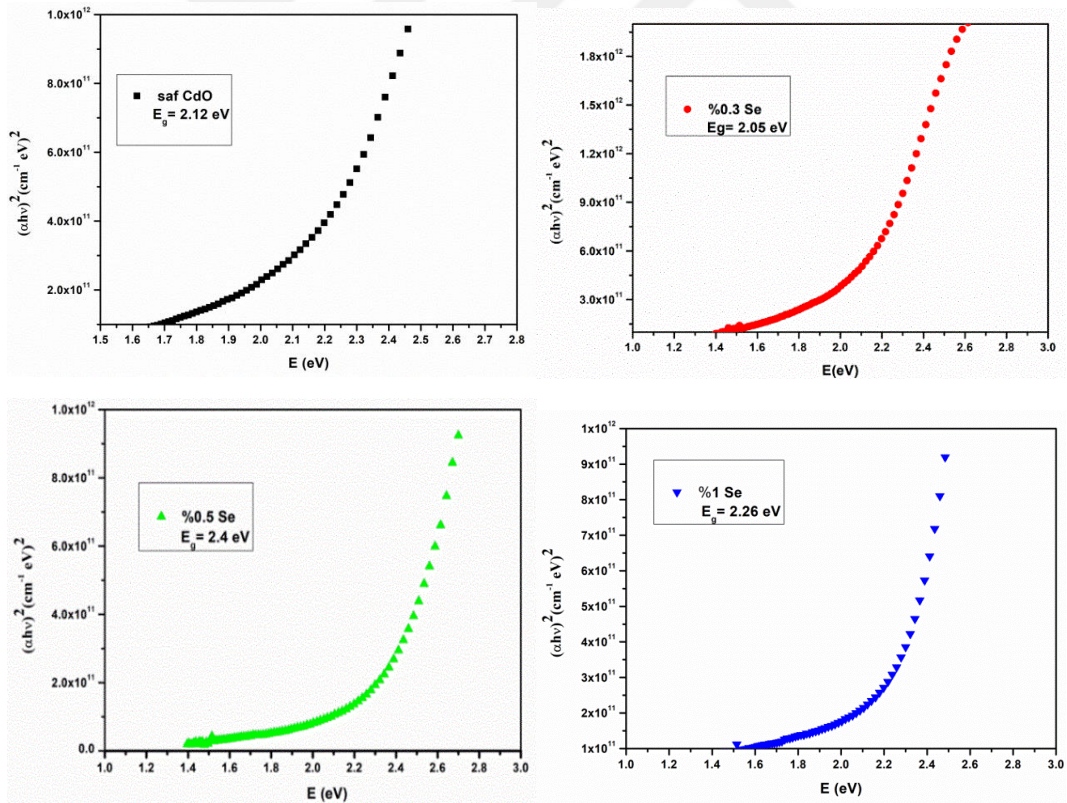


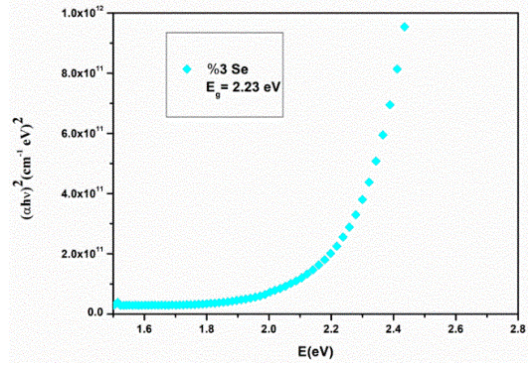
Şekil 6.24. Saf ve Se-Ni katkılı kadmiyum oksit'in filmlerin sanal optik iletkenlik grafiği

6.6. İnce Filmlerin Optik Bant Aralığı Özellikleri

6.6.1. CdO ve Se Katkılı CdO İnce Filmlerin Optik Bant Aralığı Özellikleri

Kadmiyum oksit ve Se katkılı Kadmiyum oksit ince filmlerin $(\alpha h\nu)^2$ karşılık $h\nu$ grafiği Şekil 6.25'te verilmiştir. Bu grafiklerden hesaplanarak bulunan optik bant aralıkları (E_g) Tablo 6.4'te verilmiştir. Tablo 6.4'te görüldüğü gibi Kadmiyum oksit göre selenyum katkısıyla %0,5, 1 ve 3 ince nano filmlerinin doğrudan enerji bant aralık değerleri büyümekte %0,3 olan ince filmin doğrudan enerji bant aralığı değerli küçülmektedir. Yine 0,3 selenyum katkılı ince filmin enerji bant aralığı 2,05 eV ile en küçük değerde iken 0,5 selenyum ince filminin bant enerji aralığı 2,40 eV ile en büyük olarak bulunmuştur. Literatürdeki bu aralık değerleri değerler 2,2 ile 2,8 arasında değişmiştir (Khan et al., 2010; Moholkar et al., 2010; Yakuphanoglu, 2011).

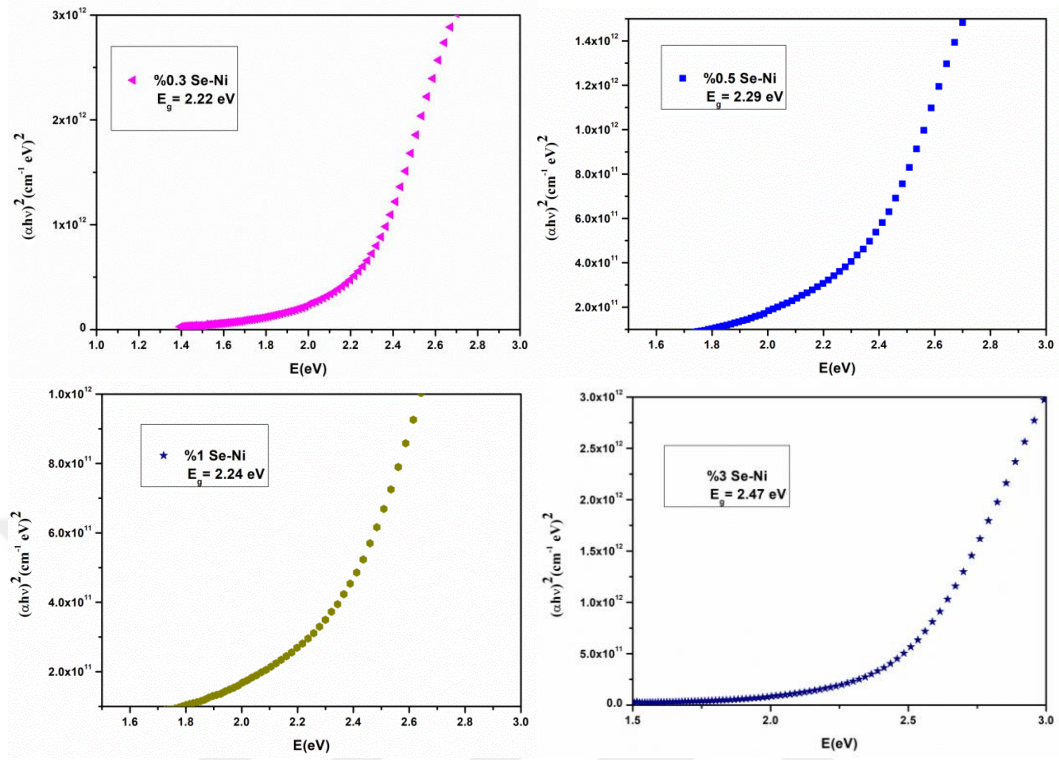




Şekil 6.25. Saf, %1, %3, %5 Se katkılı CdO ince filmlerinin foton enerjisine bağlı bant aralığı grafikleri

6.6.2. CdO ve Se-Ni Katkılı CdO İnce Filmlerin Optik Bant Aralığı Özellikleri

Kadmiyum oksit ve Se katkılı Kadmiyum oksit nano ince filmlerin $(\alpha h\nu)^2$ karşılık $h\nu$ grafiği Şekil 6.26'da verilmiştir. Bu grafiklerden hesaplanarak bulunan optik bant değerleri Tablo 6.4'te verilmiştir. Tablo 6.4'te gösterildiği gibi saf Kadmiyum oksit göre Selenyum-Nikel katkısıyla %0,3, 0,5, 1 ve 3 ince nano filmlerinin hesaplanan doğrudan bant enerji aralıkları değerleri artmıştır. 0,3 selenyum-nikel katkılı filmin 2,22 eV ile en düşük değerde iken %1 selenyum-nikel yapısının doğrudan enerji bant aralığı 2,47 eV ile en büyük olarak bulunmuştur. Literatürlerdeki bu değerler 2,2 ile 2,8 arasında değişmiştir (Khan et al., 2010; Moholkar et al., 2010; Yakuphanoglu, 2014).



Şekil 6.26. %1, %3, %5 Se-Ni katkılı kadmiyum oksit'in ince filmlerinin foton enerjisine bağlı bant aralığı grafikleri

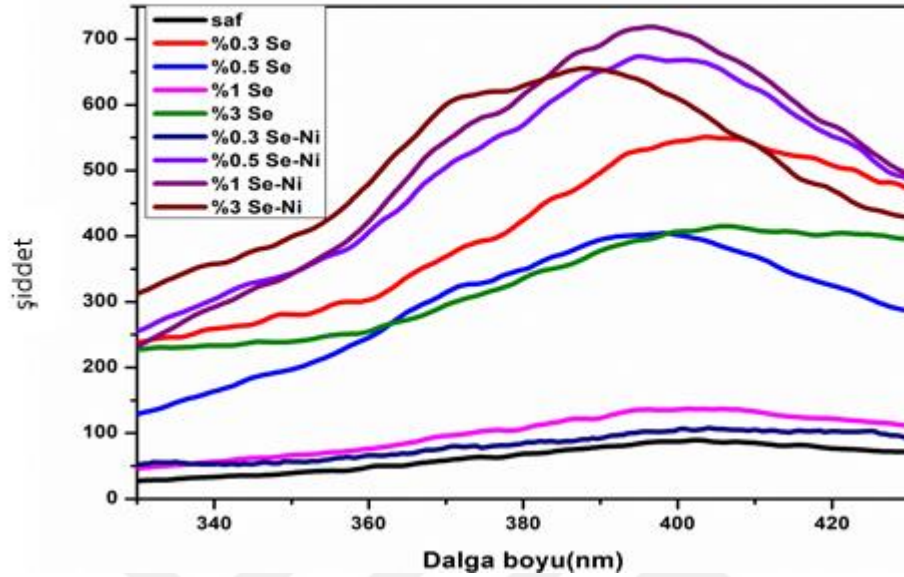
Tablo 6.4. Kadmiyum oksit ve %0,3, %0,5, %1, %3 Se ve Se-Ni katkılı kadmiyum oksitin nano filmlerinin foton enerjisine bağlı bant aralığı değerleri

İnce filmler	CdO	%0,3 Se	%0,5 Se	%1 Se	%3 Se
E_g (eV)	2,12	2,05	2,40	2,26	2,23
İnce filmler		%0,3 Se-Ni	%0,5 Se-Ni	%1 Se-Ni	%3 Se-Ni
E_g (eV)		2,22	2,29	2,24	2,47

6.7. CdO, Se ve Se-Ni Katkılı CdO İnce Filmlerin Fotolüminesans Özellikleri

Kadmiyum oksit ve Se ve Se-Ni katkılı Kadmiyum oksit nano yapıları ince filmlerin fotolüminesans spektrum ölçümleri 260 nm uyarılarak alınmıştır ve Şekil 6.27'de gösterilmiştir. Emisyon piki dalga boyu olarak en düşük %3 Se-Ni'in 387 nm en yüksek %1 Se katkılı CdO'in 409 nm olarak ölçülmüştür. Emisyon piki dalga boylarının birbirine yakın farklı dalga boylarında olması katkılamının etkisiyle göstermiştir. Yarı iletken bant aralığını tahmin etmenin yöntemlerinden biri de fotolüminesans spektroskopisidir

(Benhaliliba et al., 1989). E_p değerleri Tablo 6.5 'te verilmiştir. Bu değerler 3,07-3,20 eV arasında değişmektedir.



Şekil 6.27. Saf, Se ve Se-Ni katkılı kadmiyum oksit ince filmlerinin PL spektrumları grafiği

Tablo 6.5. Saf, Se ve Se-Ni katkılı kadmiyum oksit filmlerin PL'e bağlı bant aralık değerleri

Filmler	Saf CdO	%0,3 Se katkılı CdO	%0,5 Se katkılı CdO	%1 Se katkılı CdO	%3 Se katkılı CdO	%0,3 Se-Ni katkılı CdO	%0,5 Se-Ni katkılı CdO	%0,3 Se-Ni katkılı CdO	%0,3 Se-Ni katkılı CdO
Maksimum dalgaboyu (nm)	401	404	398	409	406	405	394	396	387
E_p	3,09	3,07	3,12	3,14	3,05	3,06	3,15	3,13	3,20

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sol-jel döndürme kaplama metoduyla nano yapılı kadmiyum oksit, Se ve katkılı kadmiyum oksit nano yapılı ince filmlerini 470 °C sıcaklıkta 2 saat ısıtılarak sentezlenmiştir. Oda koşullarında yapı analizi, yüzey morfolojisi, enerji bant aralığı ve optik iletkenlik özelliklerine UV-VIS-NIR spektrometresiyle bakılmıştır. X ışınları difraksiyon analizinde kadmiyum oksit, Se ve Se-Ni katkılı kadmiyum oksit filmlerinin, kübik kristal sistemi olan (111), (200), (220), (231) ve (222) yönelimlerinde polikristal yapıları sentezlenmişlerdir. Saf kadmiyum oksidin difraktogramı dışında pikler görülmemiştir buda katılanma ile kristal yapıda bir yeni bir değişme olmadığı yine yeni yapıların sentezlenmediği ve oluşmadığını, selenyum ve nikel atomlarının kadmiyum oksit kristallerinin yapısındaki boşluklarını doldurduğunu göstermiştir. Çoklu pik tüm yönelimlerinde selenyumun katkı etkisiyle, Saf CdO; filmine göre pik şiddetlerinde artış ve azalma olmuştur. (111) yönünde %1se, (200), (220) ve (311) yönünde %3 selenyum katkısıyla artma olmuştur. %1 Se azalmada gözlenmiştir. Se-Ni katkılı tüm filmlerinin XRD piklerinde azalma gözlenmiştir. Tüm filmlerin kristal piklerindeki şiddetin değişmesi selenyum ve selenyum-nikel katkı etkisiyle ile olmuştur. AFM görüntülerine bakıldığında tüm filmlerin nano yapılı homojen dağılımlı tanecik ve partiküller birleşimli kümeler halinde olarak sentezlenmiştir. Selenyum etkisiyle birleşik kümeli %1 Se nano tanecik boyutunun yaklaşık olarak 80 nm kristal tane boyutundaki taneciklerin birleşmesiyle 450 nm büyüklükteki kümelenmelerden oluşmuşlardır. Diğer filmler ise tanecik boyutunun ortalama 80-500 nm arasında değişen boyutlarda sentezlenmiştir. Se-Ni katkılı filmlerden %3 Se-Ni katkılı film yaklaşık 1000 nm kümelenmelerin 50 nm büyüklüğündeki taneciklerin birleşimiyle oluşmuştur. Diğer yapıları ise 150 ile 600 nm büyüklükteki tanecik yapıları sentezlenmiştir. %3 Se-Ni katkılı CdO, en küçük değerde ince filmlerin içinde tanecik yapıda sahip olduğu tespit edilmiştir. Selenyum katkılı ince filmlerin görünür bölgedeki katkı etkisiyle geçirgenlik ölçümü en düşük %0,3 Selenyum katkılı kadmiyum oksit nano ince filmde ölçülmüştür diğer filmlerde ise kadmiyum oksit göre geçirgenliği büyük olan saydam yarı iletken nano yapılı selenyum katkılı oksit filmleri elde edilmiştir. Tüm katkılı filmlerin $dT/d\lambda$ grafiğine dalga boyu grafikleri çizilmiştir.

Maksimum pik şiddetine göre dalga boyları bulunarak ölçülüp hesaplanan maksimum absorbsiyon bant aralığı selenyum etkisiyle (E_{abs}) 2,30-2,640 eV arasında bulunmuştur. Bu filmlerin içinde %0,3 Se yapısının bant aralığında daralma diğer filmlerde ise genişleme olduğunu bulunmuştur. Selenyum-Nikel katkılama etkisiyle tüm filmlerde hesaplanan saf kadmiyum oksit'in (2,12 eV) bant genişliğine göre, 2,4-2,62 eV arasında yükselme olup bant aralığında tüm filmlerde genişleme oluşmuş kırmızıya kaymıştır. Filmlerin geçirgenlik ölçümünde saf kadmiyum oksit göre daha yüksek olan nano yapıli saydam yarı iletken katkıli oksit filmleri sentezlenmiştir. Bütün filmler içinde geçirgenlik değeri en büyük olan %3 Se katkıli kadmiyum oksit ince filminde %79 olarak ölçülmüştür. Saf ve katkıli kadmiyum oksit filmlerinin kırılma indislerinin grafiğindeki değeri (n) normal dispersiyon bölgesinde artan dalga (λ) boyu ile azalırken, anormal dağılım bölgesinde artmıştır. Normal ve anormal dağılım olarak adlandırılan bu iki bölgenin oluşması optik uygulamaları için önemli sonuçlardan biridir. Kadmiyum oksit, Se ve Se-Ni katkıli kadmiyum oksit nano yapıların dielektrik sabitlerinin reel kısımlarındaki ölçümleri azalmıştır. Filmlerin optik iletkenlikler sanal kısımlarının optik iletkenliğin reel parçalarından daha düşüktür. Selenyum ve selenyum-nikel katkısıyla filmlerin ölçülen optik iletkenlikleri katkılanma ile değişmiştir. Reel kısmın grafiklerinde normal ve anormal dağılım olarak adlandırılan iki bölge oluşmuştur. Kadmiyum oksit ve Se katkıli kadmiyum oksit ince filmlerinin hesaplanan doğrudan enerji bant genişliği değeri tüm yapılar içinde selenyum katkısı %0,5, 1 ve 3 ince filmlerinin doğrudan enerji aralığı değeri artmakta %0,3 olan ince filmin doğrudan enerji aralığı değeri aralığı azalmaktadır. Yüzde katkı değeri ile bant aralığının değişebileceğini göstermiştir. Saf CdO göre Se-Ni katkısıyla %0,3-0,5, 1 ve 3 ince filmlerinin doğrudan enerji aralığı değeri artmıştır. Sentezlenen tüm filmler fotoluminesans özellik göstermiştir. Emisyon pikinin maksimum dalga boyuna göre bulunan nano yapıli tüm filmlerdeki bant aralıkları 3,06-3,20 eV arasında hesaplanmıştır. Dalga boyu olarak emisyon pikinin en küçük olanı %3 Se-Ni in 387 nm en büyük %1 Se katkıli kadmiyum oksit in 409 nm olarak ölçülmüştür. Emisyon piklerinin farklı dalga boylarında boylarının birbirine yakın olması katkılamanın etkisiyle olmuştur

Sentezlenen bütün filmler incelendiğinde oluşan yapıların yüzey morfolojisi değişimi, XRD piklerindeki şiddetlerin azalması artması, dielektrik (reel ve sanal), optik iletkenlik (reel ve sanal) değişimleri ve fotoluminesans özellikler kadmiyum oksit'in (Se) farklı

yüzdeleri ile ve aynı oksit ve farklı atom (Se-Ni) eksiyle değişmiştir. Bu sonuçlar optoelektronik uygulamalar ve çalışmalar için fayda verici bir aday olacaktı.



KAYNAKLAR

Alahmed, Z. A., Albrithen, H. A., Al-Ghamdi, A. A., and Yakuphanoglu, F. (2015). Optical band gap controlling of nanostructure Mn doped CdO thin films prepared by sol-gel spin coating method. *Optik*, 126(5), 575-577. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2015.01.005>.

Anna Selvan, J. A., Delahoy, A. E., Guo, S., and Li, Y. M. (2006). A new light trapping TCO for nc-Si:H solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 90(18-19), 3371-3376. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2005.09.018>.

Beer, P., and Singh, P. (n.d.). Top-Down And Bottom-Up Approaches For Synthesis Of Nanomaterials.

Benhaliliba, M., Benouis, C. E., Tiburcio-Silver, A., Yakuphanoglu, F., Avila-García, A., Tavira, A., Trujillo, R. R., and Mouffak, Z. (1989). Luminescence and physical properties of copper doped CdO derived nanostructures. *Journal of Luminescence*, 132(10), 2653-2658. <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2012.03.044>.

Benli, B. (2008). Nanoteknoloji and antik çağlara uzanan killi nanoyapılar. In *Kibited* (Vol. 1, Issue 3).

Carballeda-Galicia, D. M., Castanedo-Perez, R., Jimenez-Sandoval, O., Jimenez-Sandoval, S., Torres-Delgado, G., Zuniga-, C. I., Romeró, R., and Romeró~, R. (2000). High transmittance CdO thin films obtained by the sol-gel method ' '. In *Thin Solid Films* (Vol. 371).

Chen, X., Zhang, W., Lin, Y., Cai, Y., Qiu, M., and Fan, Y. (2015). Preparation of high-flux γ -alumina nanofiltration membranes by using a modified sol-gel method. *Microporous and Mesoporous Materials*, 214, 195-203. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2015.04.027>.

Dagdelen, F., Serbetci, Z., Gupta, R. K., and Yakuphanoglu, F. (2012). Preparation of nanostructured Bi-doped CdO thin films by sol-gel spin coating method. *Materials Letters*, 80. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2012.04.087>.

Dakhel, A. A. (2009). Transparent conducting properties of samarium-doped CdO. *Journal of Alloys and Compounds*, 475(1-2), 51-54. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2008.08.008>.

Dakhel, A. A. (2012). Structural and optoelectronic properties of Zn-incorporated CdO films prepared by sol-gel method. *Journal of Alloys and Compounds*, 539, 26-31. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2012.05.117>.

de León-Gutiérrez, L. R., Cayente-Romero, J. J., Peza-Tapia, J. M., Barrera-Calva, E., Martínez-Flores, J. C., and Ortega-López, M. (2006). Some physical properties of Sn-doped CdO thin films prepared by chemical bath deposition. *Materials Letters*, 60(29-30), 3866-3870. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2006.03.131>.

Deshmukh, K., Kovářík, T., Křenek, T., Docheva, D., Stich, T., and Pola, J. (2020). Recent advances and future perspectives of sol-gel derived porous bioactive glasses: a review. In *RSC Advances* 10(56): 33782-33835.. <https://doi.org/10.1039/d0ra04287k>.

Didem Rodoplu. (2006, December). Nanoteknolojinin Öncüleri. *Net Bilim Dergisi*.

Erdoğan, E., Turgut, G., and Yilmaz, M. (2021). Sol-gel spin coating derived cadmium oxide semiconductor thin films: Effect of Lutetium contribution. *Optik*, 240. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2021.166819>.

Gupta, R., and Chaudhury, N. K. (2007). Entrapment of biomolecules in sol-gel matrix for applications in biosensors: Problems and future prospects. In *Biosensors and Bioelectronics* (Vol. 22, Issue 11). <https://doi.org/10.1016/j.bios.2006.12.025>.

Gupta, R. K., Ghosh, K., Patel, R., and Kahol, P. K. (2011). Low temperature processed highly conducting, transparent, and wide bandgap Gd doped CdO thin films for transparent electronics. *Journal of Alloys and Compounds*, 509(10), 4146-4149. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2011.01.007>.

Hassan, T. B., and Salih, S. M. (2021). Synthesis of ZnO-CdO nanocomposite by sol-gel for NO₂ gas sensing. *Materials Today: Proceedings*, 42, 2320-2325. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.322>.

Hymavathi, B., Kumar, B. R., and Rao, T. S. (2015). Investigations on Physical Properties of Nanostructured Cr Doped CdO Thin Films for Optoelectronic Applications. *Procedia Materials Science*, 10, 285-291. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.06.052>.

Khan, M. K. R., Rahman, M. A., Shahjahan, M., Rahman, M. M., Hakim, M. A., Saha, D. K., and Khan, J. U. (2010). Effect of Al-doping on optical and electrical properties of spray pyrolytic nano-crystalline CdO thin films. *Current Applied Physics*, 10(3), 790-796. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2009.09.016>.

Kumari, R., Sharma, D. K., Sharma, K., Shukla, S., and Kumar, V. (2020). The consequence of gadolinium doping on optical and electrical characteristics of CdO film developed by the sol-gel derived screen printing process. *Materials Today: Proceedings*, 49, 3061-3065. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.904>.

Kwok, C. K. G., Liu, C., and Yu, K. M. (2022). Amorphous CdO-In₂O₃ alloy thin films with high conductivity and transparency synthesized by sol-gel method. *Journal of Alloys and Compounds*, 893. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.162341>.

Lopez, T., Manjarrez, J., Rembao, D., Vinogradova, E., Moreno, A., and Gonzalez, R. D. (2006). An implantable sol-gel derived titania-silica carrier system for the controlled release of anticonvulsants. *Materials Letters*, 60(23), 2903-2908. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2006.02.017>.

Mansoori, G. A., and Soelaiman, T. A. F. (2005). Nanotechnology-An Introduction for the Standards Community. In *Journal of ASTM International* (Vol. 2, Issue 6). www.astm.org.

Merve Cicioğlu. (2019, October 16). Nanobilim and Nanomühendislik Nedir? <https://www.tech-worm.com/nanobilim-ve-nanomuhendislik-nedir/>.

Moholkar, A. V., Agawane, G. L., Sim, K. U., Kwon, Y. Bin, Rajpure, K. Y., and Kim, J. H. (2010). Influence of deposition temperature on morphological, optical, electrical and optoelectrical properties of highly textured nano-crystalline spray deposited CdO:Ga thin films. *Applied Surface Science*, 257(1), 93-101. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2010.06.043>.

Navas, D., Fuentes, S., Castro-Alvarez, A., and Chavez-Angel, E. (2021). Review on Sol-Gel Synthesis of Perovskite and Oxide Nanomaterials. In *Gels* (Vol. 7, Issue 4). <https://doi.org/10.3390/gels7040275>.

Owens, G. J., Singh, R. K., Foroutan, F., Alqaysi, M., Han, C. M., Mahapatra, C., Kim, H. W., and Knowles, J. C. (2016). Sol-gel based materials for biomedical applications. In *Progress in Materials Science* (Vol. 77, 1-79). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2015.12.001>.

Rajput, J. K., Pathak, T. K., Kumar, V., Kumar, M., and Purohit, L. P. (2017). Annealing temperature dependent investigations on nano-cauliflower like structure of CdO thin film grown by sol-gel method. *Surfaces and Interfaces*, 6, 11-17. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2016.11.005>.

Toygun, Ş., Köneçoğlu, G., and Kalpaklı, Y. (2013). General principles of sol-gel. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 31(4), 456-476.

Saha, B., Thapa, R., and Chattopadhyay, K. K. (2008). Bandgap widening in highly conducting CdO thin film by Ti incorporation through radio frequency magnetron sputtering technique. *Solid State Communications*, 145(1-2), 33-37. <https://doi.org/10.1016/j.ssc.2007.10.001>.

Santos-Cruz, J., Torres-Delgado, G., Castanedo-Pérez, R., Jiménez-Sandoval, S., Márquez-Marín, J., and Zelaya-Angel, O. (2006). Influence of the growth parameters of p-CdTe thin films on the performance of Au-Cu/p-CdTe/n-CdO type solar cells. *Solar Energy*, 80(2), 142-147. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2005.04.010>.

Serbetci, Z., Gunduz, B., Al-Ghamdi, A. A., Al-Hazmic, F., Arik, K., El-Tantawy, F., Yakuphanoglu, F., and Farooq, W. A. (2014). Determination of optical constants of

nanocluster CdO thin films deposited by sol-gel technique. *Acta Physica Polonica A*, 126(3), 798-807. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.126.798>.

Wang, W. J., Xie, X. J., Liu, J. Y., and Gao, K. H. (2016). Weak localization in CdO thin films prepared by sol-gel method. *Solid State Communications*, 239, 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.ssc.2016.04.006>.

Yakuphanoglu, F. (2011). Synthesis and electro-optic properties of nanosized-boron doped cadmium oxide thin films for solar cell applications. *Solar Energy*, 85(11), 2704-2709. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.08.008>.

Yang, Y., Wang, L., Yan, H., Jin, S., Marks, T. J., and Li, S. (2006). Highly transparent and conductive double-layer oxide thin films as anodes for organic light-emitting diodes. *Applied Physics Letters*, 89(5). <https://doi.org/10.1063/1.2240110>.

Yıldız, T., Kati, N., and Gül, B. (2023). Characterization of CuO doped CdO nanomaterials synthesized by sol gel spin coating and hydrothermal method. *Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology*, 290. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2023.116306>.

Zhao, Z., Morel, D. L., and Ferekides, C. S. (2002). Electrical and optical properties of tin-doped CdO films deposited by atmospheric metalorganic chemical vapor deposition. In *Thin Solid Films* (Vol. 413).

Zheng, B. J., Lian, J. S., Zhao, L., and Jiang, Q. (2010). Optical and electrical properties of In-doped CdO thin films fabricated by pulse laser deposition. *Applied Surface Science*, 256(9), 2910-2914. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2009.11.049>.

Khan, Z. R., Alshammari, A. S., Shkir, M., Bouzidi, M., Mohamed, M., Kumar, M., & Sonker, R. K. (2022). Effect of Ag doping on structural, morphological and optical properties of CdO nanostructured thin films. *Physica B: Condensed Matter*, 632, 413762.