

**KADMİYUM OKSİT KARBON NANOTÜP
NANOKOMPOZİTİNİN
ELEKTRİKSEL VE OPTİK ÖZELLİKLERİ**

Metalurji ve Malzeme Müh. Mehmet TAKGÜN

**Yüksek Lisans Tezi
Malzeme Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ömer GÜLER**

OCAK-2016

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KADMIYUM OKSİT KARBON NANOTÜP NANOKOMPOZİTİNİN ELEKTRİKSEL
VE OPTİK ÖZELLİKLERİ

MEHMET TAKGÜN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez, 20/01/2016 tarihinde, aşağıda belirlenen jüri tarafından **oybirliği ile başarılı** olarak değerlendirilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Ömer GÜLER 

Üye : Yrd. Doç. Dr. Handan AYDIN 

Üye : Yrd. Doç. Dr. Halil DİKBAŞ 

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü yönetim kurulunun/...../..... Tarih ve Sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ÖNSÖZ

Yapmış olduğum bu çalışmada, bütün evrelerinde bana yol gösterip yardımını esirgemeyen Danışmanım Yrd. Doç. Dr. Ömer GÜLER 'e teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Ayrıca, çalışmalarım esnasında bana yardım eden sayın Prof. Dr. Fahrettin YAKUPHANOĞLU, Prof. Dr. Ertan EVİN, Yrd. Doç. Dr. S. Hale GÜLER ve Arş. Gör. M. Gökhan ALBAYRAK 'a teşekkür ederim.

Metalurji ve Malzeme Mühendisi

MEHMET TAKGÜN

ELAZIĞ - 2016

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
TABLolar LİSTESİ	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
RESİMLER LİSTESİ	XI
KISALTMALAR.....	XII
1. GİRİŞ.....	1
2. NANO BİLİMİ.....	2
2.1. Karbon Nanotüp, Tarihçesi ve Özellikleri	3
2.2. Karbon Nanotüp Sentez Yöntemleri	6
3. YARIİLETKENLER	8
3.1. Yarıiletkenlerin Bağ Yapıları	10
3.2. Yarıiletkenlere Ait Bazı Terimler.....	11
3.3. n Tipi Yarıiletkenler	12
3.4. p Tipi Yarıiletkenler	13
3.5. Fermi – Dirac Dağılım Fonksiyonu ve Fermi Seviyesi.....	14
4. KADMİYUMOKSİT VE ÖZELLİKLERİ.....	15
5. SOL – JEL	17
5.1. Sol – Jel Teknolojisi	17
5.2. Sol – Jel Yönteminin Avantajları – Dezavantajları	19
6. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	21
7. SONUÇLAR.....	25

7.1. Karbon Nanotüplerin Üretimi	25
7.2. Kadmiyumoksit – Karbon Nanotüp Kompozitinin Mikroyapı İncelemesi Sonuçları	27
7.3. Üretilen Kadmiyumoksit – Karbon Nanotüp Kompozit Numunelerinin Elektriksel Deney Sonuçları	32
7.4. Üretilen Kadmiyumoksit – Karbon Nanotüp Kompozit Numunelerinin Optik Deney Sonuçları	41
8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	60
9. KAYNAKÇA	61
10. ÖZGEÇMİŞ	69

ÖZET

Bu çalışmada kadmiyum oksit esaslı karbon nanotüp takviyeli kompozit malzeme üretilmiş ve elde edilen kompozitin optik ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. Takviye malzemesi olarak kullanılan karbon nanotüpler kimyasal buhar çöktürme yöntemi kullanılarak sentezlenmiştir. Daha sonra, ticari olarak temin edilen kadmiyum oksit tozlarına farklı oranlarda takviye edilmiştir. Diğer bir grup numune olarak; kadmiyum oksit tozları sol-jel yöntemi ile sentezlenmiş ve karbon nanotüpler yine farklı oranlarda takviye edilmiştir. Sentezlenen karbon nanotüpler TEM incelemesine tabi tutulmuşlardır. Elde edilen kompozit malzemeler yapısal olarak SEM ile incelenmiştir. Ardından elde edilen kompozitlerin sıcaklık ile elektriksel iletkenliklerindeki değişimler ölçülmüştür. Numunelerin UV-vis spektrometreleri alınarak optik özellikleri tespit edilmiştir.

Üretilen kompozitlerin sıcaklığa bağlı elektriksel incelemeleri sonucunda; her iki numune grubunda da karbon nanotüp artışı ile beraber elektriksel iletkenliğin arttığı tespit edilmiştir. Bunun yanında, Sol-jel ile üretilmiş CdO içeren kompozitlerin hazır olarak temin edilmiş CdO içeren kompozitlere oranla elektriksel iletkenliklerinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

Sol-jel ile üretilmiş CdO kullanılan kompozitler elektriksel ve optik özellikler açısından ticari CdO kullanılan numunelere göre daha iyi bir performans göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Karbon Nanotüp, Kadmiyum Oksit, Sol-Jel, Kompozit

SUMMARY

Electrical and Optical Properties of Cadmium Oxide Carbon Nanotube Nanocomposite

In this study, composite materials reinforced with carbon nanotubes (CNT) containing cadmium oxide were produced and investigated optical and electrical properties of them. Carbon nanotubes which used support materials were synthesized by chemical vapor deposition. After then, they were reinforced in to the cadmium oxides which were sold by commercial. As an other group, cadmium oxides were synthesized by sol-gel method and reinforced carbon nanotubes with different rate. Synthesized CNT's were subjected to TEM investigation. Obtained CNT 's were also subjected to SEM as structural. After those, gained composite samples were investigated for both electrical conductivity, changing temperatures and optical properties by UV-vis spectrometers.

It was clear, as a result that electrical conductivity were increased by raising CNT rates for both groups. Beside composites containing CdO, synthesized by sol-gel method have higher conductivity than composites containing CdO bought by commercial have.

To sum up, CdO composites synthesized by sol-gel have both higher conductivity and optical properties comparing with commercials have.

Keywords: Carbon Nanotube, Cadmium Oxide, Sol-Gel, Composite

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1. Mekanik Özellikler ve Yoğunluk	5
Tablo 3.1. Bazı Metallerin Eg Değerleri.....	9
Tablo 6.1. Numunelerin Kodları ve Diğer Özellikleri.....	24
Tablo 7.1. Numune İçerikleri ve Eg Değerleri	59

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1. a) Koltuk tipi, b) Zikzak tipi, c) Chiral tipi	3
Şekil 2.2. Koltuk tipi	4
Şekil 2.3. Zikzak tipi	4
Şekil 2.4. Chiral tipi	4
Şekil 3.1. Yarıiletkenlerin mutlak ve oda sıcaklıklarındaki valans ve iletkenlik bandı şematik gösterimi	8
Şekil 3.2. İletkenlik – yarıiletkenlik – yalıtkanlık durumu	9
Şekil 3.3. Metal,yalıtkan ve yarıiletken band yapısı	9
Şekil 3.4. Si elmas yapısı	10
Şekil 3.5. Yarıiletken bant şeması	11
Şekil 3.6. Valans bandından iletim bandına elektron transferi.....	12
Şekil 3.7. n tipi yarıiletken bant şeması.....	13
Şekil 3.8. p tipi yarıiletken bant şeması.....	14
Şekil 5.1. Sol – Jel yöntemiyle üretilmiş polimer malzemelerin potansiyeli ve uygulama alanları	18
Şekil 5.2. a) Sol formatı, b) Jel formatı, c) Sol’un içindeki jel formatı	18
Şekil 7.1. Üretilen karbon nanotüplere ait XRD analiz sonuçları	25
Şekil 7.2.a. Üretilen karbon nanaotüplerin TEM görüntüleri	26
Şekil 7.2.b. Üretilen karbon nanotüplerin TEM görüntüleri	26
Şekil 7.3. H1 numunesinin SEM görüntüsü	27
Şekil 7.4. H2 numunesinin SEM görüntüsü	28
Şekil 7.5. H5 numunesinin SEM görüntüsü	29
Şekil 7.6. S1 numunesinin SEM görüntüsü.....	30
Şekil 7.7. S2 numunesinin SEM görüntüsü.....	31

Şekil 7.8.	S5 numunesinin SEM görüntüsü.....	32
Şekil 7.9.	H1 numunesinin $\ln\sigma - 1000/T$ grafiği.....	33
Şekil 7.10.	H2 numunesinin $\ln\sigma - 1000/T$ grafiği.....	34
Şekil 7.11.	H3 numunesinin $\ln\sigma - 1000/T$ grafiği.....	35
Şekil 7.12.	H4 numunesinin $\ln\sigma - 1000/T$ grafiği.....	36
Şekil 7.13.	H5 numunesinin $\ln\sigma - 1000/T$ grafiği.....	37
Şekil 7.14.	S1 numunesinin $\ln\sigma - 1000/T$ grafiği	38
Şekil 7.15.	S2 numunesinin $\ln\sigma - 1000/T$ grafiği	39
Şekil 7.16.	S3 numunesinin $\ln\sigma - 1000/T$ grafiği	39
Şekil 7.17.	S4 numunesinin $\ln\sigma - 1000/T$ grafiği	40
Şekil 7.18.	S5 numunesinin $\ln\sigma - 1000/T$ grafiği	40
Şekil 7.19.	H1 numunesinin yansım – dalga boyu spektrum grafiği.....	44
Şekil 7.20.	H1 numunesinin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği	44
Şekil 7.21.	H2 numunesinin yansım – dalga boyu spektrum grafiği.....	45
Şekil 7.22.	H2 numunesinin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği	46
Şekil 7.23.	H3 numunesinin yansım – dalga boyu spektrum grafiği.....	47
Şekil 7.24.	H3 numunesinin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği	47
Şekil 7.25.	H4 numunesinin yansım – dalga boyu spektrum grafiği.....	48
Şekil 7.26.	H4 numunesinin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği	49
Şekil 7.27.	H5 numunesinin yansım – dalga boyu spektrum grafiği.....	50
Şekil 7.28.	H5 numunesinin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği	50
Şekil 7.29.	S1 numunesinin yansım – dalga boyu spektrum grafiği	51
Şekil 7.30.	S1 numunesinin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği.....	52
Şekil 7.31.	S2 numunesinin yansım – dalga boyu spektrum grafiği	53
Şekil 7.32.	S2 numunesinin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği	53
Şekil 7.33.	S3 numunesinin yansım – dalga boyu spektrum grafiği	54

Şekil 7.34.	S3 numunesinin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği	55
Şekil 7.35.	S4 numunesinin yansım – dalga boyu spektrum grafiği	56
Şekil 7.36.	S4 numunesinin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği	56
Şekil 7.37.	S5 numunesinin yansım – dalga boyu spektrum grafiği	57
Şekil 7.38.	S5 numunesinin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği	58

RESİMLER LİSTESİ

	Sayfa No
Resim 6.1. Jeol Jem 2100 F marka TEM cihazı	21
Resim 6.2. Jeol Jsm 7001 F marka elektron mikroskobu	23
Resim 6.3. Shimadzu UV-3600 PC marka Uv-Vis spektrometre	23

KISALTMALAR LİSTESİ

TEM	Geçirmeli Elektron Mikroskobu
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	X-Işınları Difraktometresi

1.GİRİŞ

Günümüz modern çağında insanlığın hizmetine sunulan teknolojik gelişmeler malzemenin geliştirilmesi esasına dayanmaktadır. Hayal edilen cihazlara yaklaşılabilmesi için ileri malzeme ihtiyacı, cihazın tasarımından daha önemli bir hal almaktadır. İş bu yüzden, teknolojinin gelişimini anlamak, malzemenin gelişimini bilmekle başlamaktadır.

Her geçen gün üzerine daha yeni bir yenilik koyarak ilerleyen malzeme bilimi, artık daha hassas işler yapabilmektedir. Bunun için ise var olunan sistemlerin elemanlarını daha duyarlı bir hale getirmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen son ürün her daim işlevsellik olarak çıtayı bir üst noktaya kaldırmayabilir. Ekonomik faktörler insanların karar verirken ikinci basamakta tuttuğu önemli bir kıstastır. Bir malzemenin ihtiyaçlara cevap vermesinin ardından bakılan bu ikinci basamak, onu elde etmek için ona biçilen değerdir. Bilim adamları ve mühendislerin yapmış oldukları bu çalışmalar ticari olarak ürünlerin bir başka ürünlerle rekabet edebileceği makul fiyatlandırmalar çerçevesinde de insanlığa hizmet etmektedir. Milyonda bir (ppm) mertebesine kadar düşürülmüş gaz ölçüm hassasiyetli cihazların ticari olarak makul fiyat etiketleriyle satılması buna iyi bir örnektir.

Artık dünyanın bir marka olduğu bu bilişim çağında ürünlerin üretiminden çok ekonomik bir değer taşıması, talepçilerin istekleri doğrultusunda hedefe en yakını üretme konulabilmesi değer kazanmıştır.

2.NANO BİLİM

Nano; kelime olarak Yunancada “Cüce” manası taşımaktadır. Bilim insanları ise bu terimi 10^{-9} yani milyarda bir mertebesini betimlemek için kullanmaktadır. Son yıllarda bilimsel çalışmalar içerisinde kendisine çok popüler bir yer edinen ve bilim adamlarının bu alandaki gelişmeler için kullandıkları ortak isim olan “Nano Bilim” ise malzeme ve yapılar üzerinde yapılan çalışmaların metrik sistemdeki yerini belirleyen nanometre mertebesinden kaynaklanmaktadır. Birkaç örnek verecek olursak kullandığımız 210x297mm ebadındaki A4 isimli kâğıtlarımız 75000 nanometre (nm) kalınlığa sahiptir. Bir başka örnek olarak, 1nm’nin yaklaşık 10000 katı bir insan saçının teli ile aynı kalınlığa sahiptir.

Bilim adamlarını böylesine küçük boyutlarda çalışmaya iten itici güçlerden biri, malzemelerin bu denli düşük boyutlarda, makro ölçekli hallerinden kısmen ya da tamamen farklı fiziksel ve kimyasal özellikler sergilemesidir. Nano boyutta gümüş elementi anti-bakteriyel amaçla günümüz beyaz eşya üreticileri tarafından kullanılmaktadır. Bunun sebebi bakterilerin antibiyotiğe karşı geliştirdikleri direnci nano boyutlu gümüşe karşı geliştirememesinden kaynaklanmaktadır. Temas eden mantar, virüs veya bakteri hücrelerinin metabolizmaları hızla bozunmakta, elektriksel iletişimle enzimleri etkisiz hale gelmektedir. Bunun yanı sıra, insan vücuduna karşı sağlığımızı tehlikeye atacak hiçbir yan etki göstermemektedir.

Bir malzemede mm düzeyindeki ölçekleri çıplak gözle gözlemlemek mümkündür, daha düşük seviyeler için bir büyüteç işinizi görebilir fakat incelemek istediğiniz malzemenin boyutu biraz daha azaldığında bir mikroskop sorununuzu çözecektir. Bu ilerlemeye bakılırsa malzeme boyutu azaldıkça incelemek için gereken aletin nitelikleri artmaktadır. Haliyle de bu denli küçük ölçekli çalışmalarda kullanılmak üzere niteliği çok daha ileri düzeyde olan cihazlara gereksinim duyulmaktadır. Nano boyutta bir inceleme yapmak istenirse yüksek çözünürlükte mikroskoplar kullanılmalıdır.

Nano bilim, farklı disiplinlerde çalışan bilim adamlarının ortak bir alanı olarak 20 ve 21. yüzyıl bilimine damgasını vurmuş ve vurmaya da devam edeceği tahmin edilmektedir. Fen ilimleri, mühendislik ve tıp bilimlerinde ileri çalışmalar nano bilim ışığında gerçekleşmektedir.

2.1.Karbon Nanotüp, Tarihçesi ve Özellikleri

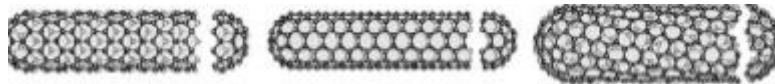
Karbon Nanotüp; karbonun silindirik ve nano boyuttaki bir allotropu olarak tanımlanabilir. 132000000:1 oranına kadar uzunluk/genişlik gibi eşine az rastlanan orana sahip bir malzemedir. Birbirine bağlanmış silindirik yapıdaki bu karbon atomları kümesinin sahip olduğu olağan dışı özellikler, nanoteknoloji, elektrik, optik ve diğer malzeme bilimi ve teknoloji alanları için çok değerlidir. Genellikle termal iletkenlik, mekanik ve elektriksel özelliklerinden dolayı son zamanlarda bilim adamları tarafından yapılan çalışmalarda bir katkı malzemesi olarak kompozit üretiminde kullanılmaktadır.

Karbon Nanotüp (KNT); 1985 yılında Rick Smalley ve arkadaşları'nın tesadüf eseri bulduğu, futbol topunu andıran görüntüsüyle ismine "C60" ya da "bucky ball" 'da denildiği 12 adet pentagon ve 20 adet hegzagon yapılardan oluşmuş ilk "Fulleren" yapıyla keşfinin önü açılmıştır [1].

1991 yılında Iijima'nın TEM (Transmission Electron Microscope) incelemesi esnasında farketdiği Çok Duvarlı Karbon Nanotüp (ÇDKNT), C60'ın uzama prosesi ile elde edilmişti. Bu çalışmadan yalnız iki yıl sonra Iijima ve arkadaşları ile Bethune ve arkadaşları tarafından tesadüfen Tek Duvarlı Karbon Nanotüp (TDKNT)'lerin varlığı ilk olarak gözlenmiştir [1].

Her ne kadar Iijima tarafından yapılan çalışmalar neticesinde fark edilse bile, KNT'ler hakkındaki bilinen ilk çalışma 1956 yılında Bacon tarafından karbon ark çalışmalarıyla gözlemlenmiştir. Yüksek basınç ve sıcaklık altında grafitin ergitilmesi çalışması esnasında muhtemel KNT üretimi gerçekleştirildiği düşünülmektedir. 1960 yılında yayınladığı çalışmasında SEM (Scanning Electron Microscope) görüntüleri içerisinde rulo şeklinde nano yapılar gözlemlenmiştir [1].

Temelde KNT'ler 3 farklı şekilde mevcudiyet göstermektedir.



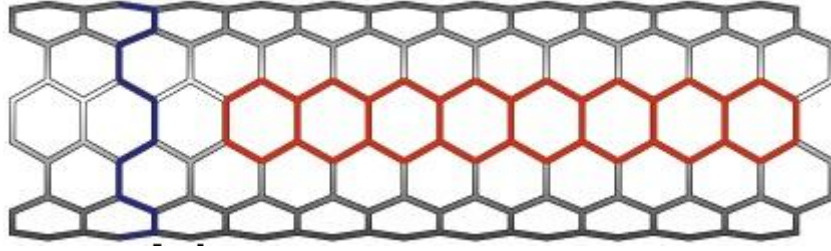
Şekil 2.1.

a) Koltuk tipi

b) Zikzak tipi

c) Chiral tipi

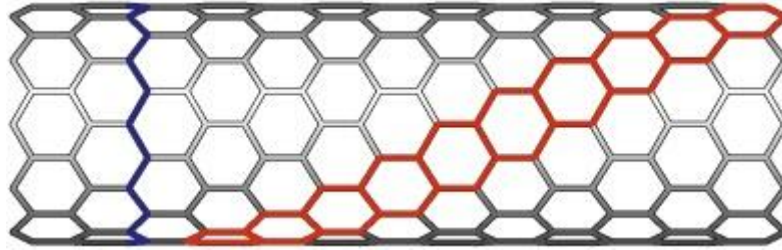
a) Koltuk Tipi KNT'ler



Şekil 2.2. Koltuk tipi KNT

Şekil 2.2.'de görüldüğü gibi tabakaların düzgün ve simetrik kıvrılması ile koltuk tipi karbon nanotüp oluşur ve bu yapı metalik özelliktedir.

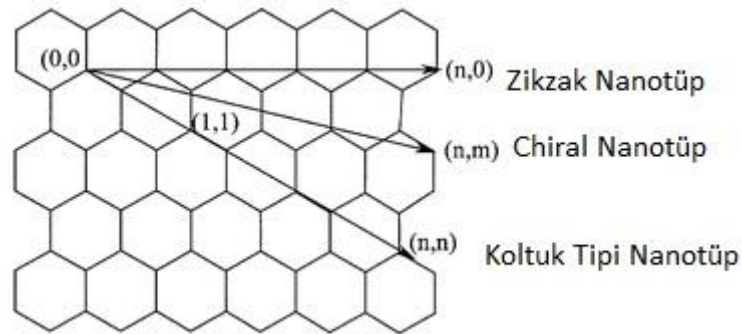
b) Zikzak Tipi KNT'ler



Şekil 2.3. Zikzak tipi KNT

Tabakanın zikzak kıvrılmasıyla bu yapı oluşur ve bu yapı yarıiletken özelliktedir.

c) Chiral Tipi KNT'ler



Şekil 2.4. Chiral tipi KNT

Tek duvarlı karbon nanotüplerin (TDKNT) çoğu yaklaşık olarak 1 nm genişliğe, genişliğinin milyonlarca katı ise uzunluğa sahiptir. TDKNT'lerin oluşumu, bir atom kalınlığındaki grafen tabakalarının dürüm şeklinde sarılmasıyla açıklanabilir. Dürüm

şeklinde grafenin sarılmasıyla iki adet indis meydana gelir. Bunlar n ve m olarak isimlendirilir. Grafenin bal peteği kristal kafesi içindeki iki uzaklık arasındaki vektör olarak tanımlanan bu n ve m, birer tamsayıdır. Eğer m sıfıra eşit ise nanotüp zikzak tipi, n ile m eşit ise nanotüp koltuk tipi, harici durumlarda ise nanotüp chiral tipidir. İdeal nanotüp çapı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilir.

$$d = \frac{a}{\pi} \sqrt{n^2 + mn + m^2} = 78,3 \sqrt{n + m^2 - nm} \quad a = 0,246\text{nm}$$

Denklem 2.1. İdeal Nanotüp Çapı

TDKNT'leri önemli kılan, özelliklerinin n ve m indisleriyle değişmesidir. Yasak band aralığı 0-2 eV değerleri arasında oluşu, hem iletken, hem de yalıtkan yani yarıiletken bir malzeme olarak kullanılabileceğini kanıtlamaktadır.

Gogotsi tarafından yapılan deneysel çalışmalar sonucunda KNT'lerin 1-1,8 TPa skalasında değişen elastiklik modülüne ve TEM esaslı çekme ve eğme deneyleri neticesinde 0,8-150 GPa arasında değişen çekme dayanımına sahip olduğu gözlemlenmiştir [2]. Yu ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada, 13 - 52 GPa arasındaki kırılma dayanımı sonucu KNT 'lerin dış yüzeylerinde taşıdığı yükler vasıtasıyla oluşturulan gerilme-gerinim eğrilerinden elde edilmiştir [3]. Aynı yöntemi kullanarak çok cidarlı KNT 'ler için yapılan çalışmada ise 13-63 GPa arasında çekme dayanımı, 0,27-0,95 TPa mertebesinde elastiklik modülü saptanmıştır. Spesifik olarak çelikten çok daha yüksek dayanıma sahip olduğu yapılan çalışmalar neticesinde aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Tablo 2.1. Mekanik özellikler ve yoğunluk [4].

	Young Modülü (GPa)	Gerilme Kuvveti (GPa)	Yoğunluk ($gr\ cm^3$)
ÇDNT	1200	~150	2.6
TDNT	1054	75	1.3
TDNT Yığını	563	~150	1.3
Grafit	350	2.5	2.6
Çelik	208	0.4	7.8

Sahip olduğu simetri ve eşsiz elektronik yapısından dolayı nanotüpün yapısı elektriksel özelliklerini de etkilemektedir. Eğer bir nanotüp n=m durumunda ise metalik özellik göstermekte yani mutlak sıfır harici sıcaklıklarda iletken, eğer n-m=3k durumunda ise artan sıcaklıklarda nanotüpün elektrik iletkenliği artmakta yani yarıiletken durumundadır. Böylece bütün koltuk tipi nanotüpler metalik, (6,4), (9,1) gibi nanotüpler de yarıiletkendir

denilebilir [5]. Bunu bir kural olarak görmemek gerekmektedir, zira buna özel bir istisnai durum vardır. Çok küçük çaplı tüplerde eğrilik etkisi sebebiyle elektriksel özelliklerde etkilenmeler gözlenmektedir. Hesaplamaya göre (5,0) TDKNT bir yarıiletken özellik göstermesi gerekirken, metalik özellik taşımaktadır. Zikzak ve Chiral tipi dar genişliğe sahip nanotüplerin de sınırlı bir aralıkta metalik özellik göstermesi gerekmektedir [5].

Nano boyutlardaki ara kesitlerinden dolayı elektron hareketi sadece tüp ekseninde gerçekleşmektedir. Bundan dolayı KNT'ler sadece tek boyutlu iletken olarak isimlendirilmektedir.

2.2.Karbon Nanotüp Sentez Yöntemleri

Yıllardan beri gelişen teknoloji ışığında, gerek üretim maliyetlerini düşürmek, gerek elde edilen son ürünün özelliklerini iyileştirebilmek için çeşitli yöntemlerin denendiği nano bilim alanında KNT üretimi için birçok çalışma yapılmıştır. Uygun birkaç üretim yöntemleri aşağıda sıralanmıştır.

1) Ark Boşalma: İlk KNT 1991 yılında fulleren üretmek için 100 amper gibi yüksek akımda bir ark boşalması esnasında grafitin karbon isisi içerisinde gözlenmiştir [6]. İlk büyük çaplı üretim ise bundan bir yıl sonra 1992 yılında "Fundamental Research Laboratory" araştırmacıları tarafından gerçekleştirilmiştir [7]. Uygulanan metot, 1991'deki metodun aynısıdır. Yüksek boşalma sıcaklığı sebebiyle işlem sırasında KNT'ler negatif elektrotta birikmiştir.

2) Lazer Ablasyon: Lazer ablasyon metoduyla üretimde yüksek sıcaklık reaktörü içerisinde inert gaz akışı esnasında lazer vuruşları grafit hedef üzerine gönderilir. Reaktörün soğutma kısmında KNT'ler buharlaşmış karbon olarak yoğunlaşır. Su soğutmalı nanotüpleri toplamak için sistem içerisine ilave edilebilir. Bu metot lazerle metal patlatarak birçok metal molekül üreten, KNT'yi bulan Richard Smalley ve Rice Üniversitesi'ndeki arkadaşları tarafından bulunmuştur. Nanotüp oluşumunu gören bu araştırmacılar, kullandıkları metali grafitle değiştirerek ÇDKNT üretmeyi de başarmışlardır [7].

3) Plazma Torç: TDKNT'nin termal plazma yöntemiyle üretimi ilk olarak Kanada'da Institut National de la Recherche Scientifique'de 2000 yılında Oliver Smiljanic tarafından üretilmiştir. Lazer ablasyon ve ark boşalması yaklaşımlarını hakim kılmak lakin karbon ihtiva eden gazı grafit çöktürmenin yerini alması için bu süreç tasarlanmıştır. Yöntem

sonucunda grafit çöktürme işlemine göre karbon içerikli gaz kullanımıyla 10 kat daha az enerji harcandığı tespit edilmiş ve düşük sıcaklıklarda sürekli olarak üretilmiştir. Sürekli süreç için argon, etilen ve ferrosen gaz karışımı yoğun alevli bir çeşidi olan plazmayı atmosferik basınçta atomize eden bir mikrodalga plazma torçun içinden geçirilmiştir. Oluşan is içinde TDKNT varlığı tespit edilmiştir [8-9].

4) Kimyasal Buhar Biriktirme: Her ne kadar KNT üretimi olarak bakıldığında ilk örneği 2007 yılında Cincinnati Üniversitesi'nde çalışan araştırmacılar olarak görülse de, kimyasal buhar biriktirme metodu 1950'li yıllara dayanmaktadır.

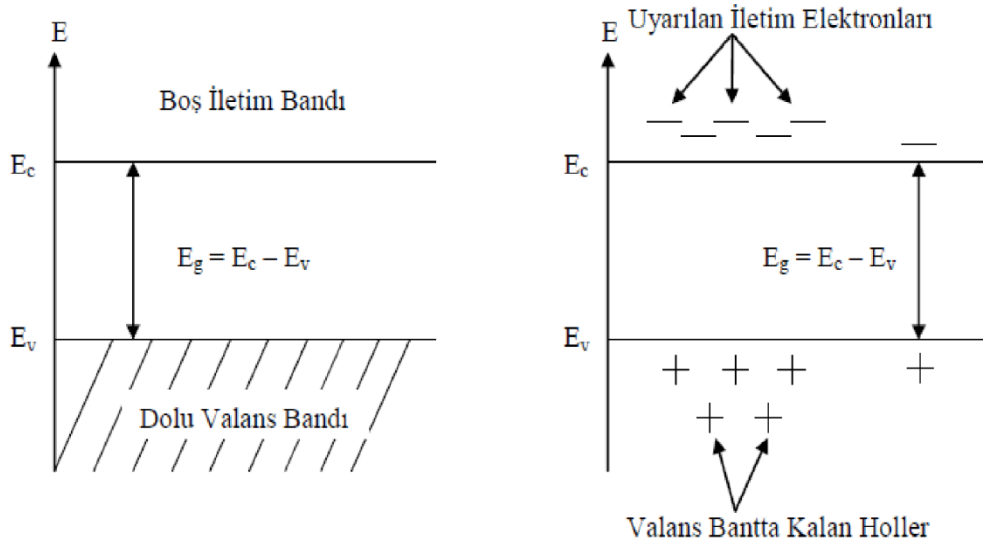
Bu yöntemin temelinde nikel, kobalt gibi parçacıklar ihtiva eden altlık malzemeler hazırlanır. Bu metal parçacıkların boyutu, oluşacak KNT'lerin boyutunu etkileyen bir parametredir. Hazırlanan parça yaklaşık 700 °C'ye ısıtılır ve ilk büyüme için reaktör içerisine karbon içeren bir gaz ile amonyak, hidrojen veya nitrojen gazlarından herhangi biri verilir. Sonuçta karbon içerikli gaz karbona parçalanır ve karbon atomları parçacıklar üzerinde birleşerek karbon nanotüp yapısını oluştururlar [10].

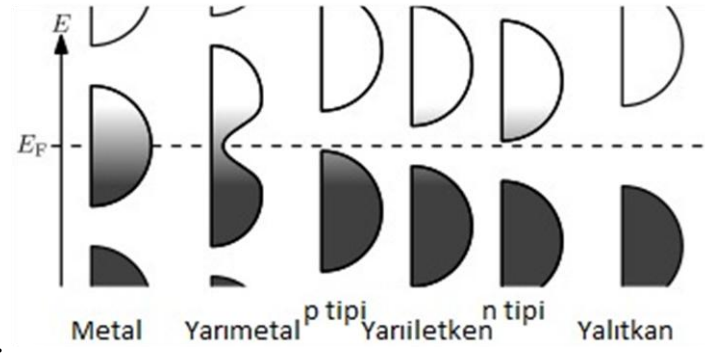
3. YARIİLETKENLER

Malzemelerin geneline bakıldığında elektriği iletenler yani iletkenler, iletmeyenler yani yalıtkanlar ve belirli sıcaklık, akım ve manyetik alan değerlerine kadar iletmeyip, bu değerler üzerindeki sıcaklıklarda, akımlarda ve manyetik alan değerlerinde elektriği ileten maddeler yani yarıiletken malzemeler olarak gruplandırılabilir.

Neden yarıiletken sorusuna verilebilecek bir cevap, aynı malzemenin kimi zaman yalıtkan, kimi zaman ise iletken olarak kullanılabilir olması bizi tatmin edecek bir cevap olur. Bu doğrultuda bir yarıiletken 0 K (-273,3 C°)'de tamamen dolu elektronik holler bandı yine bu sıcaklık değerinde tamamen boş yasak bir band ki bu band dolu banddan tamamen dar bir enerji aralığı ile ayrılmış boş bir iletkenlik bandına sahip bir kristal olarak tarif edilebilir.

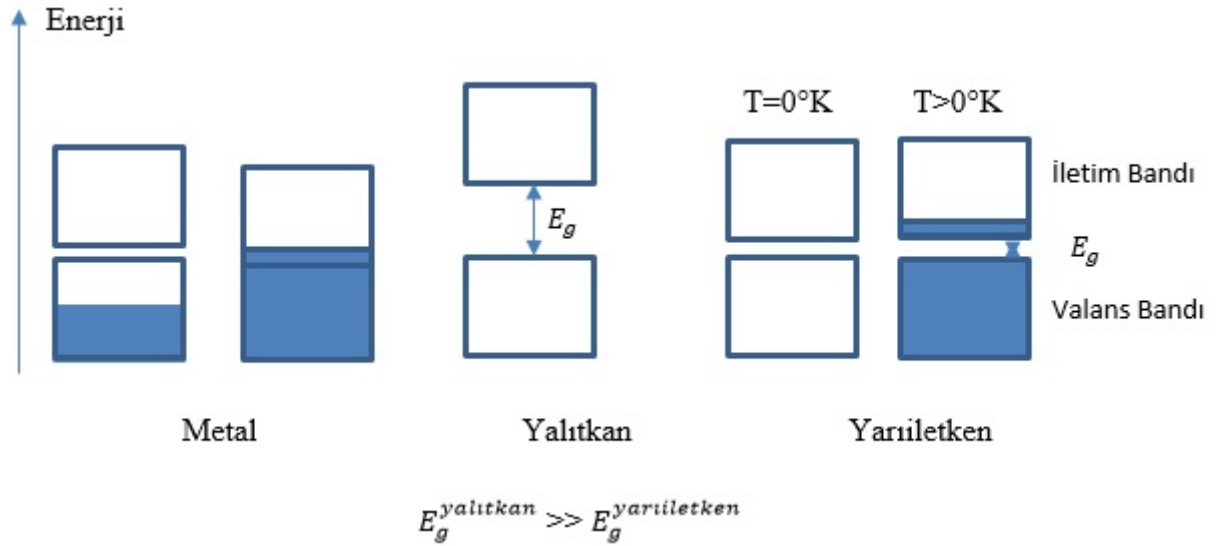
Mutlak sıfır değerine yaklaşıldıkça malzemenin iletkenlik değeri hızla sıfıra yani yalıtkan sınıfına doğru yaklaşmaktadır. Bunun sebebini malzemenin kısmen de olsa dolu bir bandının olmamasına bağlamak mümkündür. Sıcaklığın artmasıyla tamamen dolu ya da boş olan bandlar arasında elektron hareketi gözlenmekte ve böylece elektriksel iletkenliğin artmasına katkıda bulunulur [11].





Şekil 3.2. İletkenlik – yarıiletkenlik - yalıtkanlık durumu [12].

Yukarıda görüldüğü gibi enerji bantları tamamen dolu ya da tamamen boş olduğu durumlarda elektronların taşıma yapmayacağı için iletim sağlanmamaktadır.



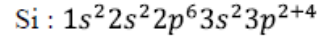
Şekil 3.3. Metal, yalıtkan ve yarıiletken band yapısı

Tablo 3.1. Bazı metallerin E_g değerleri.

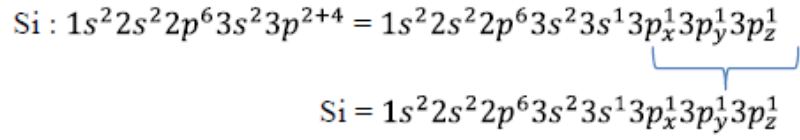
$E_g^{\text{Germanyum}}$	0,6 eV (Yarıiletken)
E_g^{Silisyum}	1,2 eV (Yarıiletken)
E_g^{Karbon}	5,4 eV (Yalıtkan)
E_g^{GaAs}	1,43 eV (Yarıiletken)

3.1.Yarıiletkenlerin Bağ Yapıları

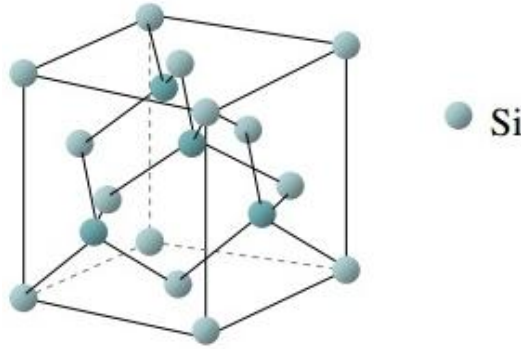
Yarıiletkenler genellikle son yörüngesi yarı dolu olan elementlerdir. Bileşik yarıiletkenler de aynı özelliği gösterebilir. Örnek olarak Ge ve Si verilebilir. Si için:



Si atomları bağ yapacağı zaman s ve p yörüngelerine ait elektronlar sp^3 hibritleşir ve d4 bağ yaparak aralarında 120° açı yaparlar.

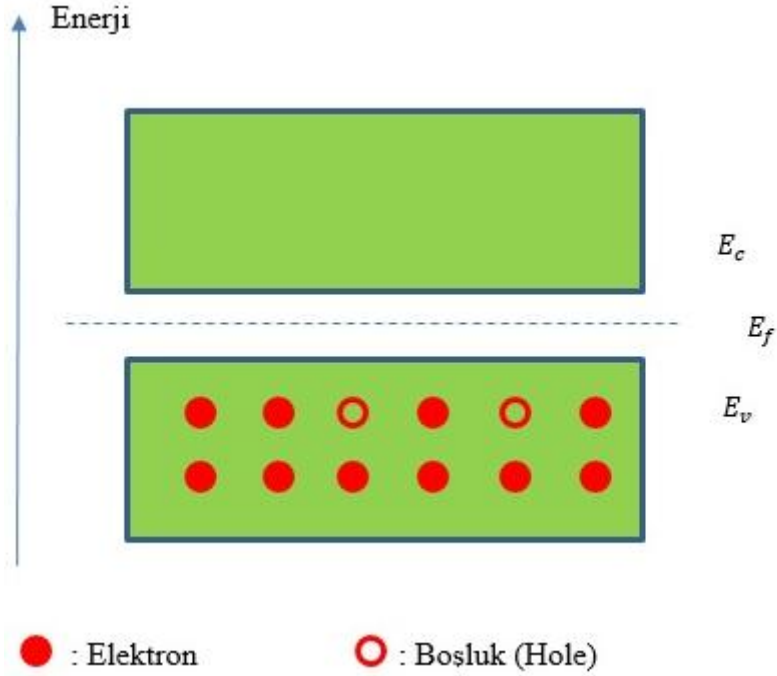


Bu hibritleşmenin sonucu kovalent bağlı elmas yapı olarak bilinen kristal yapısı oluşur.



Şekil 3.4. Si elmas yapısı [13].

3.2.Yarıiletkenlere Ait Bazı Terimler



Şekil 3.5. Yarıiletken band şeması.

E_c : İletim Bandı

E_v : Valans Bandı (Değerlik)

E_f : Fermi Seviyesi

E_g : Yasak Enerji Aralığı

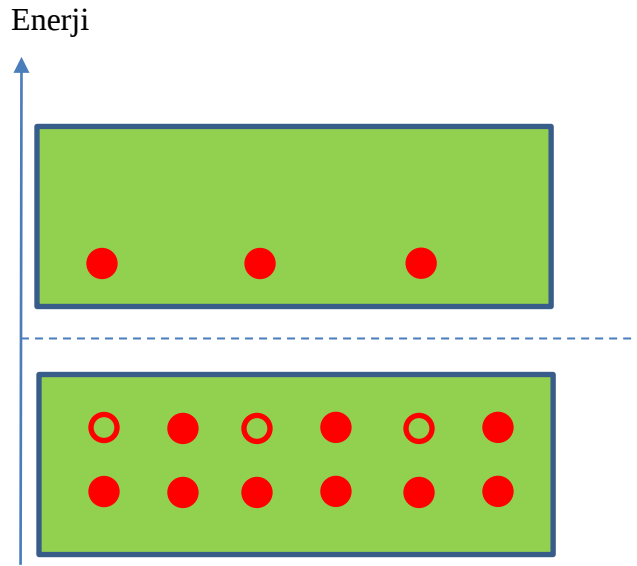
Boşluk (Hole) : Valans bandında elektronun olması gereken yerde olmadığı boşluktur.

Etkin Kütle (m^*) : Kristal içerisindeki elektronlar ve olmayan elektronlar yani boşluklar tamamen serbest halde değildirler. Kristal içerisinde çok zayıf bile olsa örgü potansiyeli ile etkileşimler mevcuttur. Bu etkileşim neticesinde serbest uzaydaki gibi boşluk olarak nitelendirilmeleri doğru değildir. Etkileşim göz önüne alındığında elektron hareketi elektronun (boşluğun) boş uzaydaki kütlesi yani m_0 yerine etkin kütle " m^* " olarak tanımlamak daha doğrudur. O halde;

Elektronların Etkin Kütlesi	$m_e^* = \frac{h^2}{\frac{\partial^2 E_c}{\partial k^2}}$	Denklem 3.2.1.
-----------------------------	---	----------------

Boşluğun Etkin Kütlesi	$m_0^* = \frac{h^2}{\frac{\partial^2 E_v}{\partial k^2}}$	Denklem 3.2.2.
------------------------	---	----------------

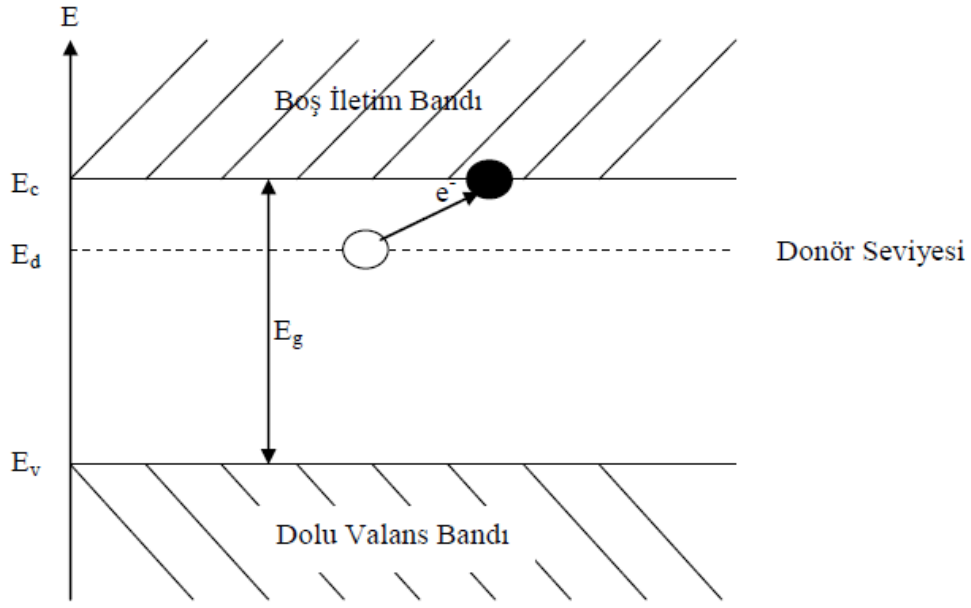
Yarıiletkenlerin içinde bulundurdıkları atomlara göre farklı isimler alabilmektedir. Saf yani tek cins atomlardan oluşan yarıiletkenler intrinsic yani özgün olarak, katkılanmış yarıiletkenler ise extrinsic yani katkılı olarak isimlendirilir.



Şekil 3.6. Valans bandından iletim bandına elektron transferi.

3.3. n - tipi Yarıiletkenler

Ne saf Si ne de Ge tek başlarına iyi bir yarıiletken değildir. Sahip oldukları 4 valans atomları paylaşarak komşularıyla bir kristal kafes oluştururlar. Dışarıdan gelecek bir uyarı olmaksızın toplam elektronları titreşim haline geçemezler. Ancak eğer ki Si elementinin sahip olduğu valans değerinden daha fazlasına sahip bir başka atom kristale dop edilirse, kafesin davranışı değişecektir. Her atom kafeste fazladan bir elektron bırakacağı için kafes negatif yüklenecektir. Bu fazlalık valans elektronları kafesteki iletimi elektronlar üzerinden yapılmasına olanak sağlamaktadır.

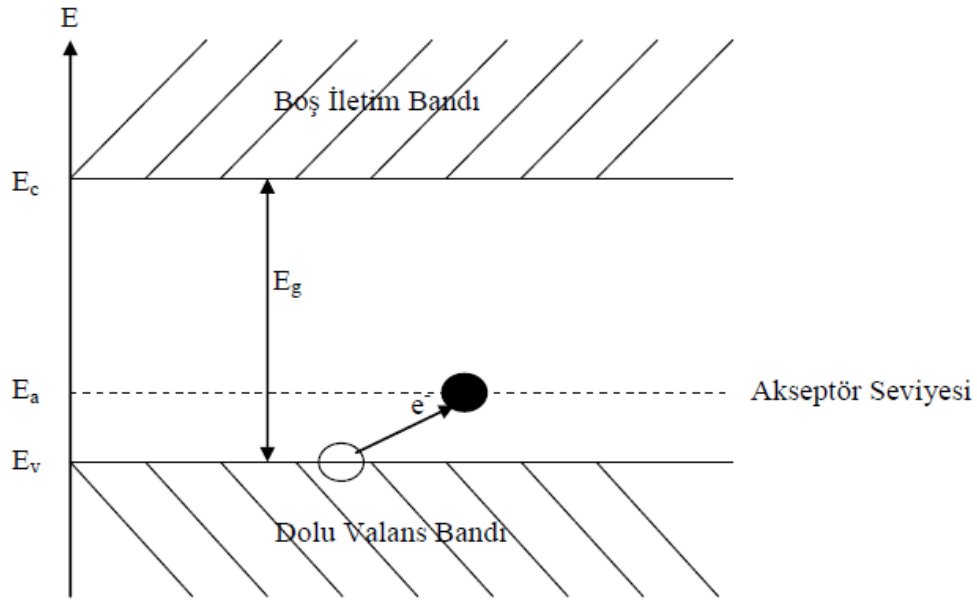


Şekil 3.7. n - tipi yarıiletken bant şeması

E_d : Verici enerji donör seviyesi

3.4. p - tipi Yarıiletkenler

Temelde, yapılan bütün dop etme işlemleri serbest yük taşıyıcı sayısını artırmak için yapılmaktadır. Bu sebeple de valans değeri daha düşük bir atom ilavesiyle kristal pozitif değer almaktadır. Her bir atom kristali daha fazla pozitif yapmaktadır. Tamamlanmayan valans değeri neticesinde boşluklar oluşmaktadır. Elektrik iletkenliği n - tipi yarıiletkenlerde fazla olan elektronlar üzerinden olduğu gibi p - tipi yarıiletkenlerde ise mevcut boşluklardan (hole) sağlanmaktadır.



Şekil 3.8. p - tipi Yarıiletken Bant Şeması

E_a : Alıcı enerji seviyesi

3.5. Fermi-Dirac Dağılım Fonksiyonu ve Fermi Seviyesi

Bir yarıiletkenin iletim bandı birçok dolu veya boş enerji seviyelerini ihtiva eder. Kaç elektronun bu boşlukları dolduracağını hesaplamak için uymamız gereken iki ana faktör vardır.

- İletim bandında verilen enerji aralığında ne kadar enerji seviyesi var?
- Her seviyenin bir elektron tarafından doldurulma olasılığı nedir?

İkinci faktör için Fermi - Dirac dağılım fonksiyonu mevcuttur. Bir elektronun boşluğu doldurabilme olasılığı $f(E)$;

$$f(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - E_f}{k_b T}\right)} \quad \text{Denklem 3.5.1.}$$

k_b : Boltzman Sabiti ($8,62 \times 10^{-5}$ eV/K)

T : Sıcaklık (Kelvin) , E_f : Fermi Enerji Seviyesi

E : Elektronun boşluğu doldurabilmesi için gerekli enerji

4. CdO ve ÖZELLİKLERİ

Kadmiyum; kimyasal simgesi Cd, periyodik tabloda atom numarası 48,atom ağırlığı 112,40 gr, erime sıcaklığı 321°C,kaynama noktası 767 °C, yoğunluğu 8,6gr cm³ ve rengi gümüş beyaz olan kimya, elektrik ve seramik sanayisinde kullanılan kanserojen ve ağır bir metaldir. Fiziksel olarak bıçakla çizilebilecek kadar yumuşak olup hegzagonal kristal yapıya sahiptir. Şekillendirilmesi kolay, kaynak yapılma kabiliyeti ise yüksektir. Oksidi kararlıdır, havada bile yavaş yavaş oksit oluşturabilir. Doğada genellikle CdS ve formatlarında bulunan kadmiyum, çinko üretimi esnasında yan ürün olarak elde edilir.

Bakır oksit (CuO), çinko oksit (ZnO), kalay oksit (SnO), kadmiyum oksit (CdO) gibi transparan oksit iletkenler sahip oldukları yarı iletken optoelektronik özelliklerinden dolayı çok fazlaca irdelenmiştir [14]. CdO n-tipi bir yarı iletkendir. 2.2 - 2.8 eV bant aralığına sahip ve düşük elektrik direnci ve yüksek optik geçirgenliği neticesinde fotodiyot, güneş hücreleri gibi birçok uygulama alanında kullanılmaktadır [15-16]. Donör gibi davranan oksijen boşlukları ve fazla bulunan Cd atomlarının varlığından dolayı katkılanmamış filmler de n-tipi yarıiletken özellik gösterir [17].

CdO'nun verilen fiziko - kimyasal özellikleri sadece kimyasal kompozisyonuna değil, ölçü, şekil, yüzey şekilleri ve üretim tekniğine de bağlıdır [18]. Literatürde CdO üretimi için çok farklı yöntemler mevcuttur. Bu yöntemler neticesinde nano boyutta CdO eldesi mümkün kılınmıştır. Fiziksel, kimyasal ve termal olarak birkaç üretim metodu;

- Hidrotermal Yöntem [19-20]
- Şablon Destekli Yöntem [21]
- Solvotermal Yöntem [22]
- Mekano-kimyasal Yöntem [23-24]
- Termal Bozunma Yöntemi [25]
- Fotosentetik Yöntem [26]
- Sonokimyasal Yöntem [27]

Yarı iletken saydam oksitlerden olan CdO güneş spektrumunun görünür bölgesinde

optik geçirgenliği ve yüksek elektrik iletkenliği nedeniyle fotovoltaik uygulamalar için umut verici bir malzeme olarak kabul edilir [28] ve partiküler boyuttaki CdO'nun düşük direnç ve yüksek yük taşıyıcı özelliğinden dolayı optoelektronik cihazlarda kullanılması uygun bulunmaktadır

[29-30-31].

CdO yapılı yarı iletkenler görünür bölgede olağanüstü büyük bir taşıyıcı mobilitesi ve iyi optik geçirgenlik özelliğine sahip olduklarından dolayı kullanımlarına olan ilgi artmaktadır [32-33-34]. CdO, yüksek iletkenlik, yüksek geçirgenlik ve düşük bant aralığı gibi özelliklerinden dolayı fotodiyotlar, güneş hücreleri, düz panel ekranları, optik haberleşme, ince-film dirençler, fototransistörler, fotovoltaik, saydam iletken elektrotlar, sıvı kristal ekranlar ve IR dedektörleri yapımında kullanılır [35-36-37].

CdO ince filmleri düşük özdirenç göstermesine rağmen, düşük optik bant aralığı nedeniyle katkısız CdO optoelektronik ve fotovoltaik olarak kullanılmamaktadır[31-38]. CdO, NaCl'ün kaya tuzu kristal yapısında (yüzey merkezli kübik yapı) n-tipi yarıiletkenidir [39]. CdO'nun band aralığı değerleri 2,5 eV [40]; 2,2 – 2,8 eV [41-42]; 2,16 eV [41]; 2,2 – 2,4 eV [43]; 2,2 – 2,7 eV [44-45-46-47] ve 2,2 eV [48]; 2,2 – 2,7 eV değerleri arasında değişen [44-38-49] bir enerji band aralığı vardır.

Araştırmacılar, CdO yapılı ince filmlerin kimyasal ve fiziksel özellikleri geliştirmek için filmlerin farklı geometrik şekilli (küreler, küpler, çubuklar, teller, tüp, tetrapodların, kurdeleler gibi) nano yapılı malzemelerin sentezlerini çalışmaktadır [50-51]. CdO ince filmlerine yüksek kaliteli elektriksel ve optik özellikleri nedeniyle büyük teknolojik ilgi vardır [52]. Saf ve katkılı CdO filmlerin hazırlanmasında sol-jel tekniği, boyut ve morfolojide kontrolün sağlandığı ucuz bir yöntemdir [53] ve nano partiküller sentezleme için en umut verici yöntemlerden biridir.

Son yıllarda CdO yarıiletken bileşiği, güneş pillerinde, saydam elektrotlarda, fototransistörlerde, fotodiyotlarda, gaz sensörlerde, fotovoltaik ve optoelektronik devrelerde, sıvı kristal göstergelerde, IR dedektörlerde, yansıma yapmayan kaplamalarda kullanılmaktadır. CdO bu uygulamalarda çok sık kullanılan bir yarıiletken bileşiktir [54-55].

CdO filmler katkısız halde bile oldukça yüksek bir taşıyıcı yoğunluğuna sahiptirler [56]. CdO, yüksek elektriksel iletkenliğe sahip n-tipi bir yarıiletkenidir. Genelde katkılanmamış filmlerde donör olarak davranan fazla Cd atomları veya oksijen boşluklarının varlığında n-tipi iletkenlik gösterir [57].

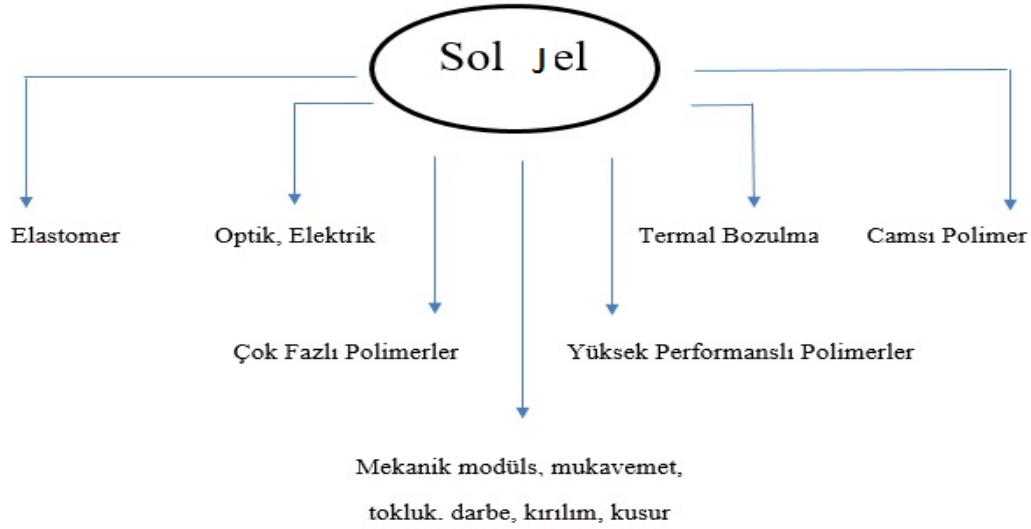
5. SOL - JEL

Son dönemlerde malzeme bilimi içerisinde sol-jel metodu üzerine yoğun çalışmalar yapıldığı açıktır. Gerek bilimsel, gerek gündelik yaşam ve gerek askeri malzemeler açısından bu teknik üzerine bilim adamları ve mühendisler ciddi mesai harcamaktadır. Askeri olarak, Amerika Birleşik Devletleri Savunma Birimi [58] malzemenin performansını artırmak için örneğin yüksek performans, yer çekiminden minimum etkilenmesi, yüksek sıcaklık dayanımı gibi konularda sol-jel metodu üzerinde çalışmalar yaptırdığını duyurmuştur. Bilim adamlarına göre bu teknik hem basit hem de basit olduğu kadar da işlevseldir. Özellikle silikonla yapılan son zaman çalışmalarında, bilimsel alanlarda sol-jel metodu kendine özel bir yer sahibi olmuştur. Doğada en çok bulunan ikinci element olan silikon, sadece oksijenle bileşik yapmaktadır [59]. Yani tek başına değil, oksit ve silikat olarak doğada bulunur. Doğasından gelen yüksek sıcaklık dayanımı, mekanik dayanımı gibi özellikler neticesinde silikon tabanlı malzeme üretimi bilim adamları ve mühendislerin ilgisini çekmiştir ve hala da çekmeye devam etmektedir.

5.1. Sol Jel Teknolojisi

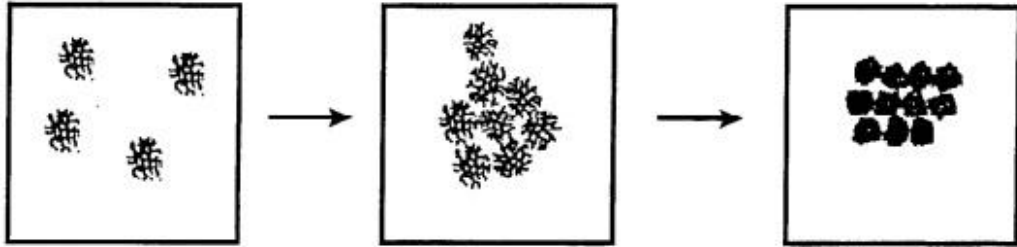
Sol jel metodunun bilinen tarihinin çok daha eskiye dayanmasına rağmen bilim adamları ve mühendisler tarafından 1970'li yılların ortalarına kadar metal oksit çözeltilerinden karmaşık yapıları çeşitli inorganik malzeme üretimine başlanılmasına kadar kullanıldığı pek söylenemez. Metot sayesinde yüksek sıcaklıklara çıkılmaksızın düşük sıcaklıklarda bile homojen, yüksek saflıkta inorganik cam oksitleri sentezlenebilmektedir.

Gaz ayrıştırıcı, elastomer ve kaplama gibi teknikler için ergitilmiş jel, eğrilmiş elyaf, ince film, moleküler kafes gibi çeşitli ürünlerin üretilmesi için geliştirilmiştir [58].



Şekil 5.1. Sol-jel yöntemiyle üretilmiş polimer malzemelerin potansiyeli ve uygulama alanları [58].

Bu kimyasal tekniği sol, jel ve solun içindeki jel olarak kendi arasında 3 kısma ayırabiliriz [60]. Sol; sıvı içerisindeki küçük parçacıkların koloidal bir şekilde dağılması olarak tanımlanabilir, Jel; genel olarak bir sürekli sıvı fazı kapsayan sürekli bir ağdan oluşmuş bir maddedir [61-62].



Şekil 5.2. a) Sol Formatı

b) Jel Formatı

c) Sol'un içindeki Jel Formatı [60]

Sol jel reaksiyonu sol'un yani koloidal parçacıkların jel yani ağ oluşum maddesi içindeki büyümesini organik alkoksit monomerin hidroliz ve yoğunlaşma reaksiyonu sayesinde teşvik eder niteliktedir. Bu koloidlerin oluştuğunu gösterenler metal veya metaloid etrafını saran çeşitli ligandlardır. Bunların en popülerleri ise metal oksitlerdir. Kullanılan en popüler metal oksitler tetrametoksisilan (TMOS) ve tetraetoksisilan (TEOS) gibi alkoksisilanlardır. Fakat aluminat, titanat, zirkonat ve borat gibi diğer metal oksitlerde sol jel metodunda TEOS ile birlikte ya da tek başlarına kullanılan diğer metal oksitleridir.

5.2. Sol - Jel Yönteminin Avantajları – Dezavantajları

Avantajları;

- * Kimyasal yönü kontrol edilebilir.
- * Ham maddelere kıyasla daha homojen numuneler üretilebilir.
- * Üretilen toz boyutu mikronun altındadır.
- * Malzeme üretimi için düşük sıcaklıklar yeterlidir.
- * İnce film yapımı için de elverişlidir.
- * İstenilen yapı ve kalınlık elde edilebilir.
- * Diğer üretim teknikleri ile karşılaştırıldığında daha ucuz bir yöntemdir.
- * Çok çeşitli elementlerin katılımıyla yeni ve değişik türde bileşikler elde edilebilir.
- * Ürünler yüksek saflıkta elde edilir. Ortamdan gelen safsızlıklar ve reaksiyon kabıyla etkileşim oldukça düşüktür. Bu özellikten dolayı optik ürünlerde önemli avantajlar sağlar.
- * Polimerizasyon sırasında jel içinde değişik zincir uzunluğunda polimer moleküllerinin bulunması ve işlem sırasında bunların kısmen faz ayırımına uğramaları nedeniyle yapıda bileşim farklılığı göstermeden yapısal değişiklikler gösteren bölgelerin oluşabilmesi mümkündür.
- * İşlem için gerekli ısı işlem sıcaklıkları genellikle 1000 ° C' nin altında olduğundan önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanır.
- * Eritme işleminde buharlaşmadan kaynaklanan kayıplar bu yöntemde en aza indirilir [56].

Dezavantajları;

- * Hammadde fiyatları yüksek olduğundan uygulamalar bazı özel seramikler ve kaplama üretimi ile sınırlı kalabilir.
- * İşlem süresi uzundur.
- * İşlem süresinin uzunluğu üretim miktarını kısıtlayıcı bir faktördür. Seri olarak malzeme üretmek ve kaplama yapmak çok zordur.
- * Kullanılan organik hammaddelerin sağlığa zararlı olmaları uygulamalarda özel koruyucu tedbirler alınmasına neden olduğundan maliyet artar.
- * Jel içinde kalan gözenekler, hidroksil iyonları ve karbon atomları bazı özel

amaçlı ürünlerde hataya neden olur.

- * Üretilen tozların maliyeti yüksektir.
- * Yapım esnasında büzülme miktarı çoktur.
- * Yapıda çatlaklar yer alabilir.
- * Yapıda OH(hidroksit) veya C grubu bulunabilir [56].

6. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada matris olarak Kadmiyum oksit (CdO) kullanılmıştır. Üretilen ilk grup numunelerde Acros Organic marka (Code: 223792500) % 99 saflıkta hazır CdO tozları kullanılmıştır. Diğer grup numunelerde ise CdO tozları sol-jel yöntemi ile hazırlanmıştır.

Takviye olarak kullanılan karbon nanotüpler (KNT) ise kimyasal buhar çöktürme yöntemi ile sentezlenmiştir. Karbon nanotüp sentezi tek kristal bir silisyum (100) altlık kullanılmıştır. Bu altlık ultrasonik bir banyo içerisinde önce aseton ile sonra etanol ile yıkanmıştır. Daha sonra bu altlık bir botun üzerinde bir tüp fırının ortasına yerleştirilmiştir. Tüp fırının içi bir pompa ile vakumlanmış ve havadan arındırılmıştır. Daha sonra fırın 650 °C'e ısıtılmıştır. Isıtma sırasında argon atmosferi kullanılmıştır. Ar sisteme dakikada 1 litrelik akış hızı ile verilmiştir. Tüp fırın 650 °C'e ulaştıktan sonra Ar gazının akışı kesilmiş ve 40 dakika boyunca asetilen (C_2H_2) gazı verilmiştir. 40 dakika sonunda asetilen gazı kesilmiş ve fırın oda sıcaklığına soğuyuncaya kadar Ar gazı tekrar sisteme verilmiştir. Elde edilen nanotüplerin karakterizasyonu X-ışını difraksiyonu (XRD) ile ve geçirmeli elektron mikroskobu (TEM) ile yapılmıştır. Jeol Jem 2100 F marka TEM cihazı kullanılmıştır.



Resim 6.1. Jeol Jem 2100 F marka TEM cihazı.

Birinci grup numunelerin üretimi şöyle gerçekleştirilmiştir;

Karbon nanotüplerin sentezinden sonra kompozit numunelerin üretimine başlanmıştır. Öncelikle hazır olarak temin edilen CdO'e ağırlıkça % 0.1, 0.2, 0.5 ve 1 oranlarında karbon nanotüp ilave edilmiştir. Kompozitin üretimi için uygun ağırlıktaki karbon nanotüp tartılıp bir beher içerisine alınmış ve üzerine alkol eklenmiştir. Homojen bir karışım için alkol karbon nanotüp karışımı ultrasonik bir karıştırıcıda karıştırılmış ve ardından uygun miktardaki CdO eklenmiştir. Alkol buharlaşmaya kadar manyetik balıklı karıştırıcıda karıştırılmıştır. Elde edilen toz karışımı 600 MPa basınçta preslenerek pelet haline getirilmiş ve ardından 450 °C'de sinterlenmiştir.

İkinci grup numunelerin üretimi şöyle gerçekleştirilmiştir;

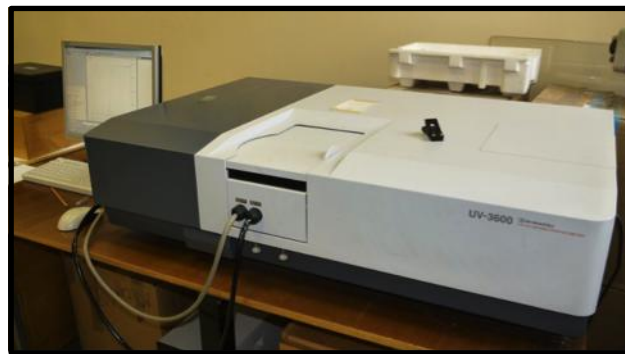
Bu gruptaki CdO tozları sol-jel yöntemi kullanılarak sentezlenmişlerdir. Sentezleme için 1 mol kadmiyum asetat dihidrata 46 mol metanol, 0,2 mol gliserol ve 0,5 mol triethylamine kullanılmıştır. İlk olarak kadmiyum asetat 23 mol metanol içerisinde manyetik bir karıştırıcı kullanılarak çözülmüştür. Karıştırma işlemi karışımın şeffaf bir renk almasına kadar sürmüştür. Ardından gliserol eklenmiş ve daha sonra ise triethylamine ve geri kalan metanol karışıma eklenmiştir. Tüm karışım 60 °C'de 2 saat boyunca manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Ardından homojen bir karışım elde etmek için oda sıcaklığında 12 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Karıştırma işlemiyle iyice homojenleşen çözeltiler içindeki çözücünün uzaklaştırılması için Kalsinasyon ısıl işlemi uygulanmıştır. Elde edilen toz karışımı 600 °C'de 1 saat kalsine edilmiş ve işlem sonunda kahverenginde bir toz elde edilmiştir. Daha sonra, sol-jel yöntemi ile sentezlenen CdO'e ağırlıkça % 0.1, 0.2, 0.5 ve 1 oranlarında karbon nanotüp ilave edilmiştir. Homojen bir karışım için alkol karbon nanotüp karışımı ultrasonik bir karıştırıcıda karıştırılmış ve ardından uygun miktardaki CdO eklenmiştir. Alkol buharlaşmaya kadar manyetik balıklı karıştırıcıda karıştırılmıştır. Elde edilen toz karışımı 600 Mpa basınçta preslenerek pelet haline getirilmiş ve ardından 450 °C'de sinterlenmiştir.

Elde edilen kompozitlerin iç yapıların taramalı elektron mikroskobu kullanılarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan Jeol Jsm 7001 F marka elektron mikroskobu kullanılmıştır.

Kompozitlerin içyapı karakterizasyonundan sonra sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlikleri tespit edilmiştir. Keithley 6517A Electrometer/High-Resistance Meter marka cihaz ile iki prob yöntemi kullanılarak sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlikler alınmıştır. Elektriksel iletkenlik testlerinden sonra numunelerin optik özellikleri karakterize edilmiştir. Bunun için, Shimadzu UV-3600 PC marka Uv-Vis spektrometre kullanılmıştır.



Resim 6.2. Jeol Jsm 7001 F marka elektron mikroskobu



Resim 6.3. Shimadzu UV-3600 PC marka Uv-Vis spektrometre

Bu çalışmada üretilen numunelere kolaylık olması için kodlar verilmiştir. Numune kodları ve numunelerin gördüğü işlemler aşağıda Tablo 6.1’de özetlenmiştir.

Tablo 6.1. Numunelerin kodları ve diğer özellikleri

Numune Kodu	CdO'un türü	KNT miktarı (% ağı)
H1	Hazır	0
H2	Hazır	0.1
H3	Hazır	0.2
H4	Hazır	0.5
H5	Hazır	1
S1	Sol-Jel	0
S2	Sol-Jel	0.1
S3	Sol-Jel	0.2
S4	Sol-Jel	0.5
S5	Sol-Jel	1

7. SONUÇLAR

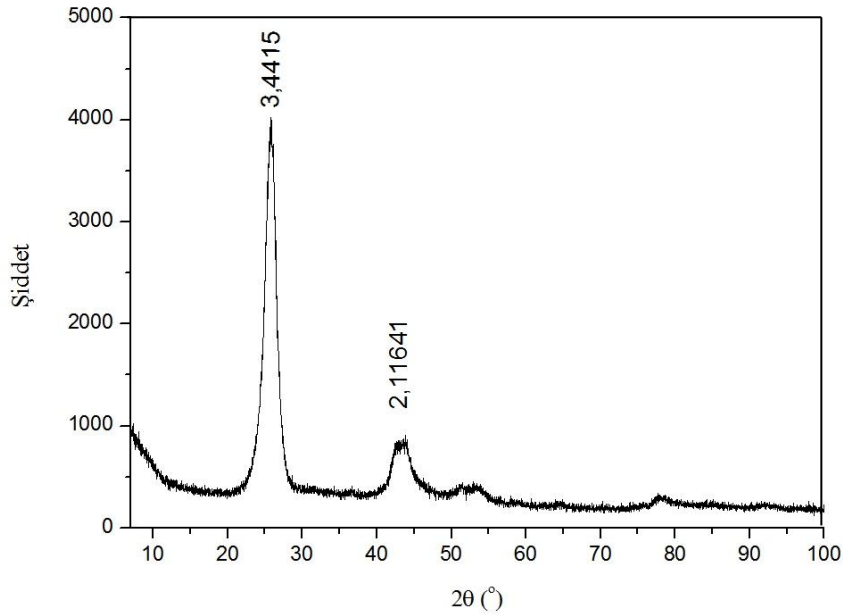
7.1. Karbon Nanotüplerin Üretimi

Şekil 7.1’de Kimyasal buhar çöktürme yöntemi ile üretilen karbon nanotüplere ait XRD analizi verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi tozlar yaklaşık 26°’de kuvvetli bir pik vermiştir. Bu pik hem şiddetli hemde geniş bir piktir. Bu pik XRD cihazının databasede (Piklerin analizi Diffraction Evaluation Software ICDD kütüphanesi no 00-058-1638) de karbon nanotüplerin pikleriyle örtüşmektedir. Pikin geniş olması da Debye-Scherrer eşitliği gereğince tozların nano boyutlu olduğuna işaret etmektedir. Debye-Scherrer eşitliği;

$$D = \frac{0,9 \lambda}{B \cos \theta}$$

Denklem 7.1.1

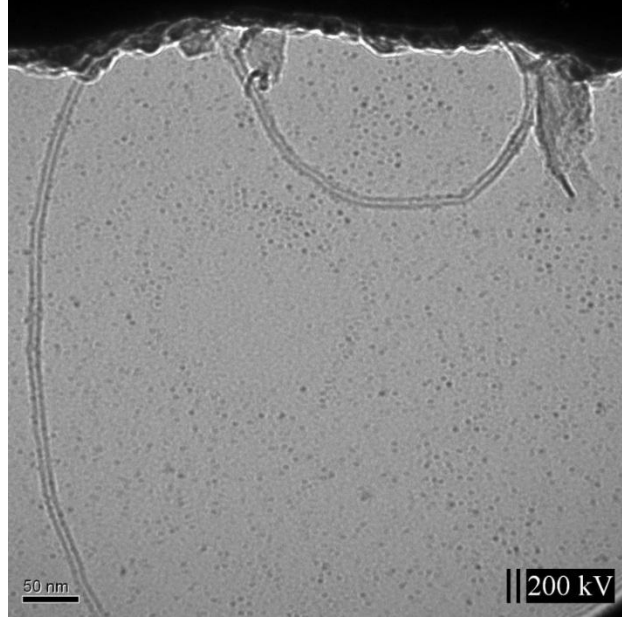
D : Kristal büyüklüğü, B : Maksimum şiddetli pikin radyan cinsinden yarı pik genişliği, θ : Bragg açısı, λ : Kırınımında kullanılan ışığın dalga boyu



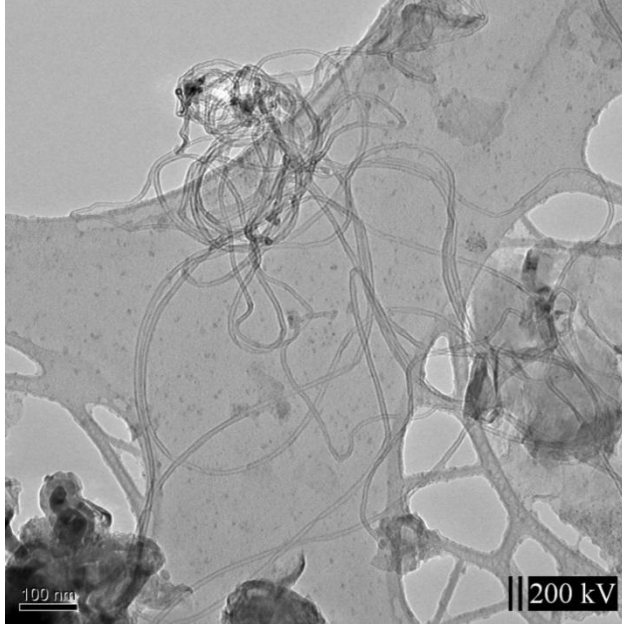
Şekil 7.1. Üretilen karbon nanotüplere ait XRD analiz sonuçları

Şekil 7.2.’de üretilen karbon nanotüplerin TEM görüntüleri verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi elde edilen yapılar karbon nanotüplerdir. Elde edilen yapıların ortalarında bir boşluk mevcut olup, iki yanında belli kalınlıklarda duvarlar bulunmaktadır. Üretilmiş

olan karbon nanotüplerin çapları 15-20 nm arasında olup boyları ise 1-5  m arasında değişim göstermektedir.



şekil 7.2.a üretilen karbon nanotüplerin TEM görüntüleri

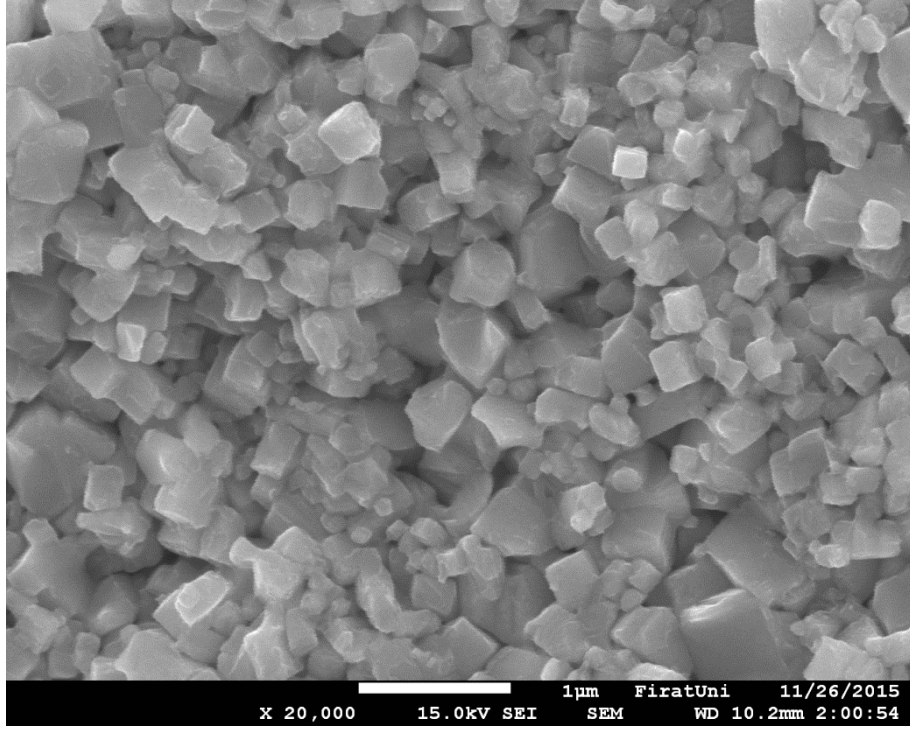


şekil 7.2.b üretilen karbon nanotüplerin TEM görüntüleri

Bazı tüplerin ortak veya u  kısımlarında siyah partiküller görülmektedir (şekil 7.2.b.). Bu partiküller karbon nanotüplerin sentezi sırasında katalizör olarak kullanılmış olan nano boyutlu demir partikülleridir. Karbon nanotüpler bu partiküller üzerinde büyümüşlerdir.

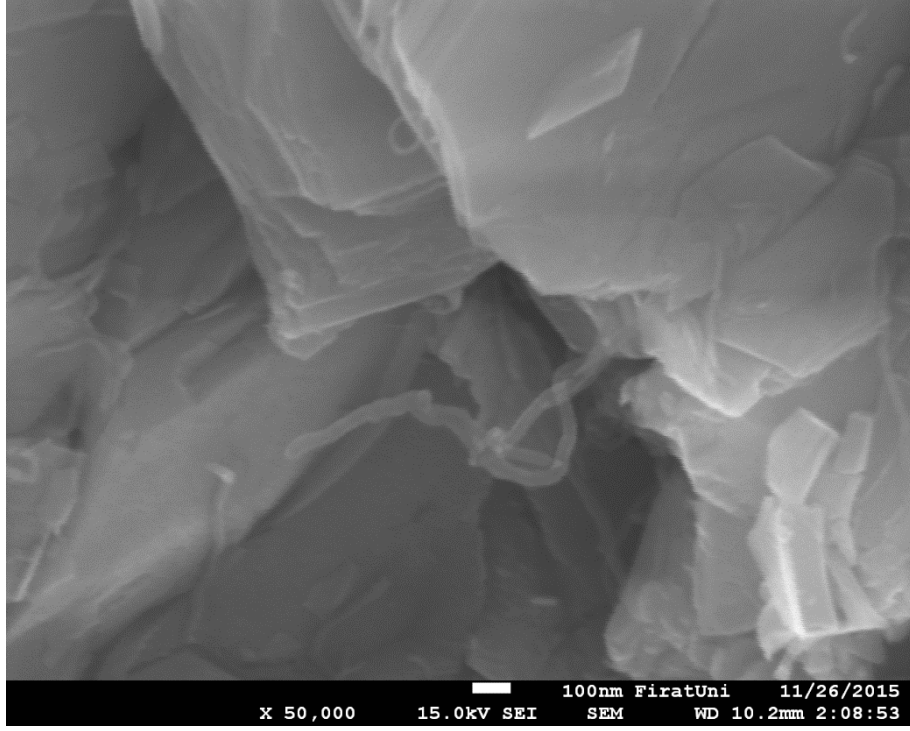
7.2. CdO-KNT kompozitinin Mikroyapı incelemesi Sonuçları

Şekil 7.3’de H1 numunesine ait SEM görüntüsü verilmiştir. H1 numunesi ticari olarak üretilmiş saf CdO’dur. Şekilden de görüldüğü gibi homojen ve bir birine yakın boyutta pek çok partikülden oluşan bir yapıya sahiptir.



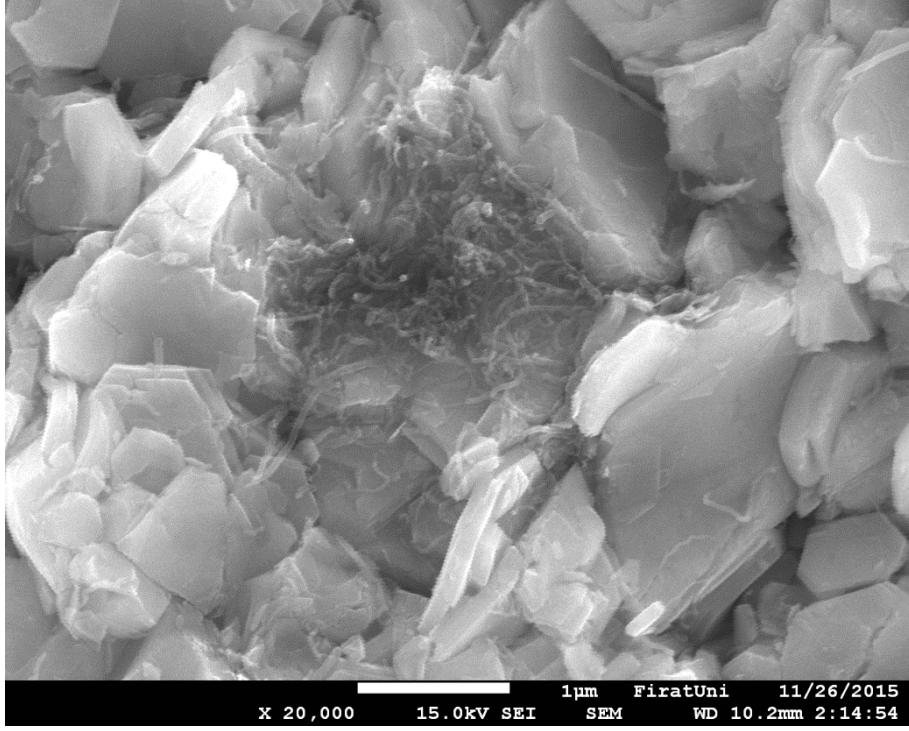
Şekil 7.3. H1 numunesinin SEM görüntüsü

Şekil 7.4.’de H2 numunesinin SEM görüntüsü verilmiştir. H2 numunesinde miktar olarak KNT oranı az olduğundan dolayı yapı içerisinde de seyrek bir şekilde bulunmaktadır. Ayrıca KNT’ler yapı içerisine homojen dağılmışlardır.



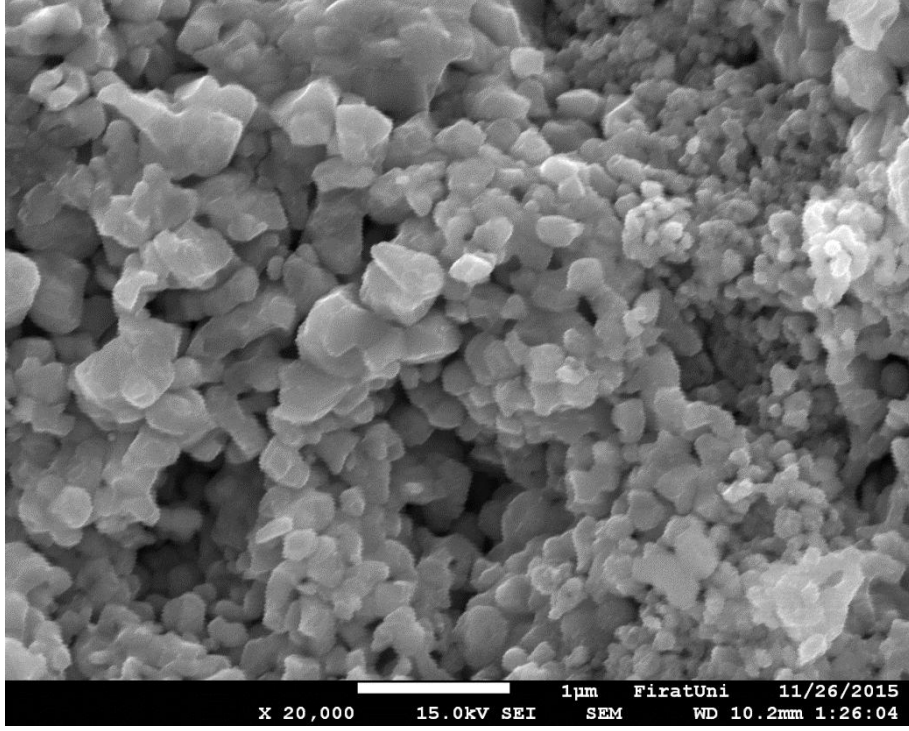
Şekil 7.4. H2 numunesinin SEM görüntüsü

Şekil 7.5’de ise H5 numunesinin SEM görüntüsü verilmiştir. H5 numunesinde KNT oranı ağırlıkça % 1’dir. Şekilden de görüldüğü gibi KNT oranının artması ile KNT’lerin yapı içerisine homojen bir şekilde dağıtılmalarında güçlükler ortaya çıkmıştır. KNT’ler CdO matris içerisinde bazı bölgelerde dağılmadan topak halinde kalmışlardır. Bunun yanında homojen olarak dağıldığı kısımlarda mevcuttur.



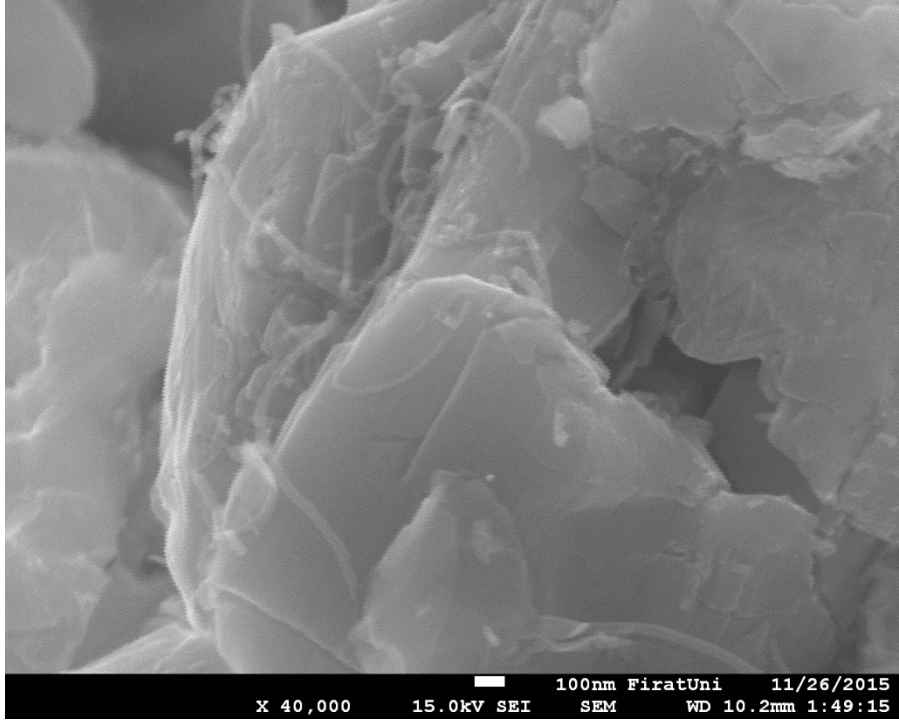
Şekil 7.5. H5 numunesinin SEM görüntüsü

Şekil 7.6 'da ise S1 numunesinin SEM görüntüsü verilmiştir. S1 numunesi sol-jel yöntemi ile üretilmiş saf CdO'dur. Şekilden de görüldüğü gibi oluşan yapılar küresel şekilli homojen partiküller olup, partiküllerin boyutları 100 nm civarındadır.



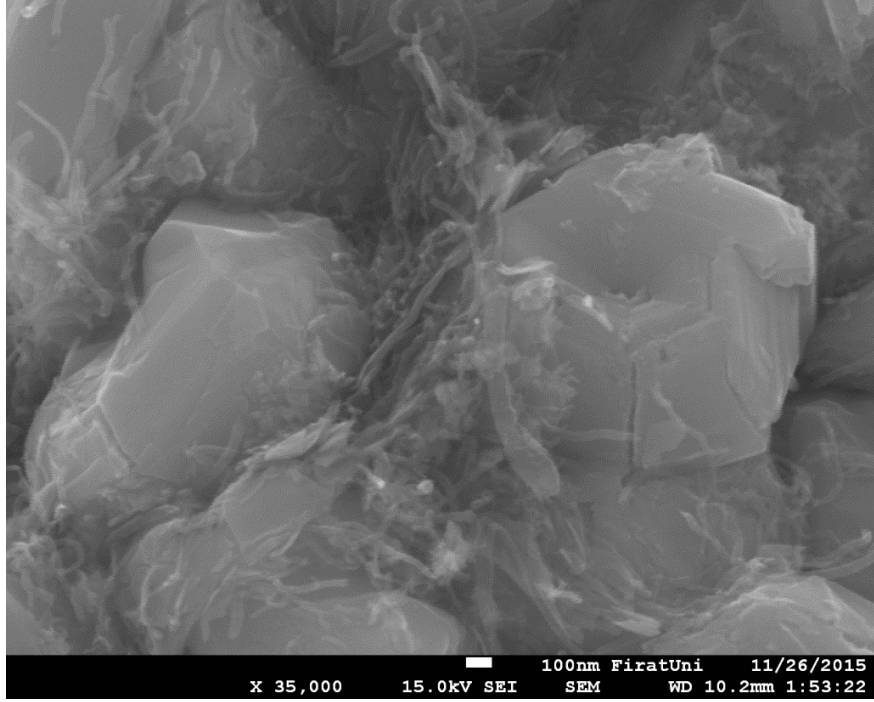
Şekil 7.6. S1 numunesinin SEM görüntüsü

Şekil 7.7’de S2 numunesinin SEM görüntüsü görülmektedir. S2 numunesi sol-jel yöntemi ile üretilmiş CdO matrise % 0.1 KNT takviye edilmiş kompozit numunedir. Yapı içerisine KNT’lerin homojen bir şekilde dağıldığı söylenebilir. Bunun yanında yapı içerisinde KNT topaklarına rastlanmamıştır.



Şekil 7.7. S2 numunesinin SEM görüntüsü

Şekil 7.8’de S5 numunesine ait SEM görüntüsü verilmiştir. S5 numunesi sol-jel yöntemi ile üretilmiş CdO matrise % 1 KNT takviye edilmiş kompozit numunedir. Yapı içerisinde KNT’lerin homojen dağıldığı bölgeler olmasına karşın, az da olsa H5 numunesindeki gibi KNT’lerin dağılmayıp öbekler halinde bulunduğu bölgelere de rastlanmıştır.

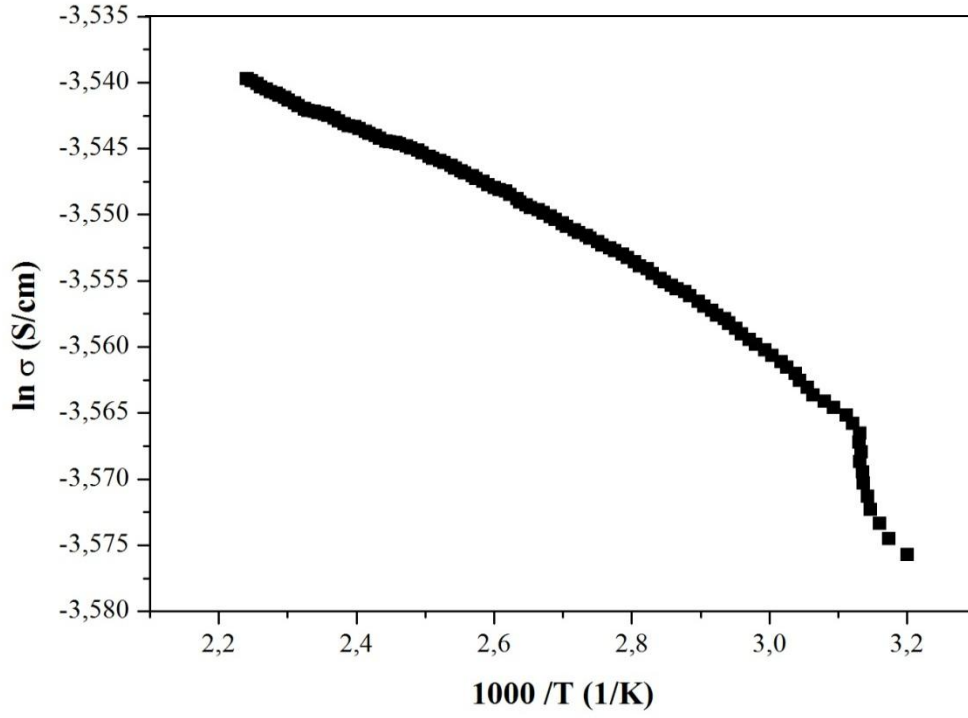


Şekil 7.8. S5 numunesinin SEM görüntüsü

7.3.Üretilen CdO-KNT kompozit numunelerinin Elektriksel Deney Sonuçları

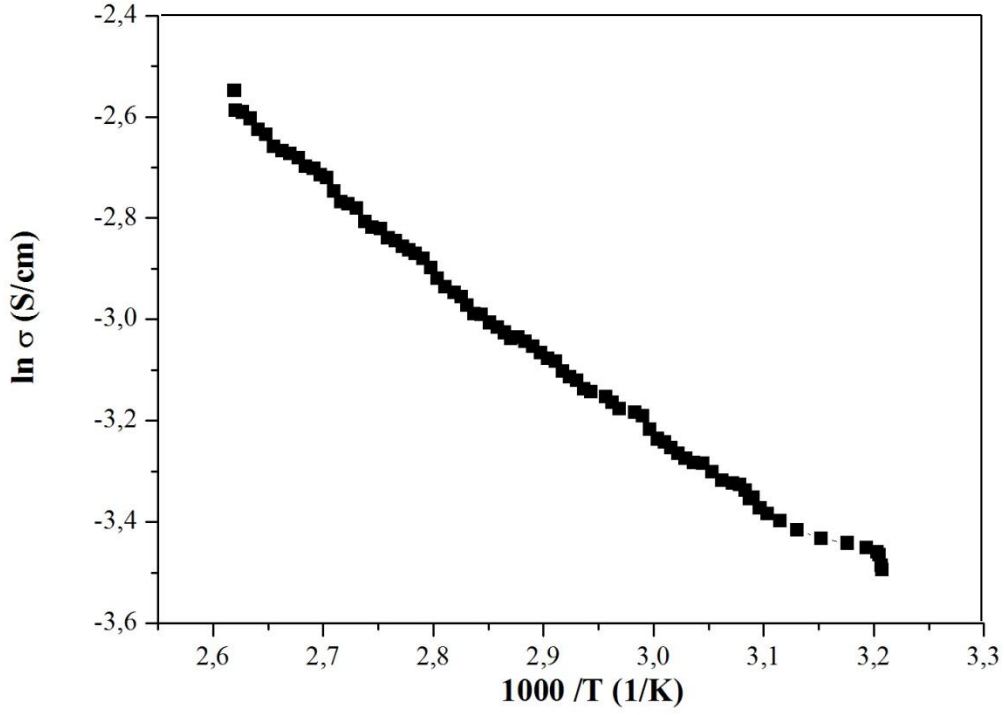
Üretilen yarıiletken numunelerin iletkenliklerinin sıcaklığa göre değişimi karanlık bir ortamda 0,5-5 V akım uygulanarak 300-433 K aralığında sıcaklık değerleri uygulanarak alınmıştır. Numunelerin sıcaklığa bağlı akım değerlerinin ölçülmesinde KEITHLEY 6517A elektrometresi kullanılmıştır.

Şekil 7.9’da H1 numunesinin $\ln\sigma-1000/T$ grafiği verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi numunede tek bir iletkenlik mekanizması hakim olup bu mekanizma taşıyıcı yüklerin termal olarak uyarılması ile ortaya çıkmıştır. H1 numunesinin iletkenlik grafiği incelendiğinde nispeten düşük sıcaklıklarda iletkenlikte ani bir artış gösterirken daha üst sıcaklıklarda ise iletkenlik lineer bir şekilde artış göstermiştir.



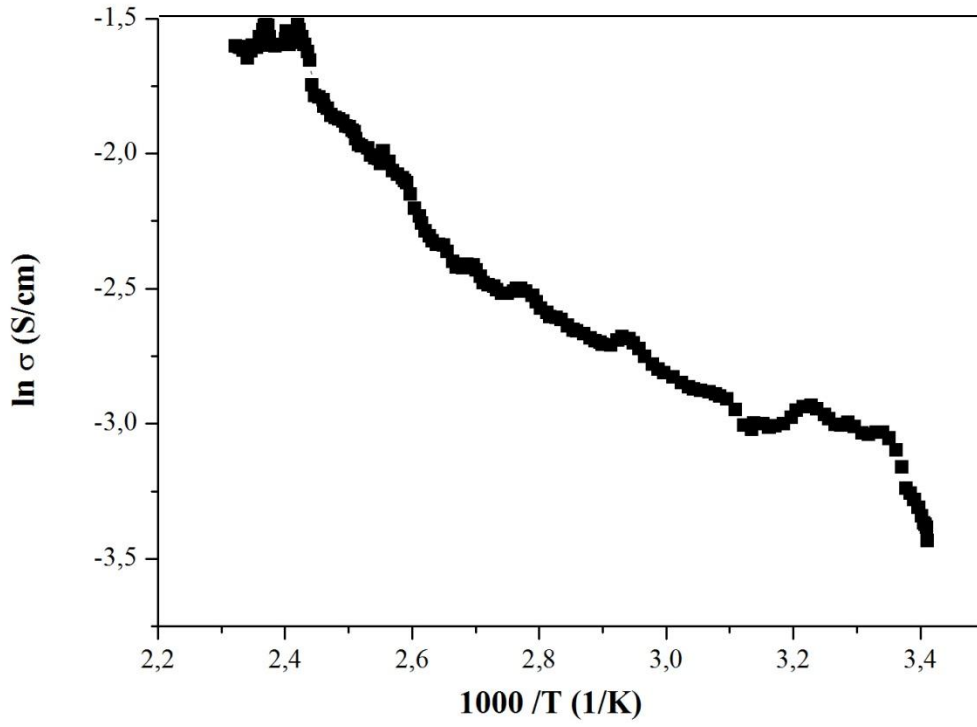
Şekil 7.9. H1 numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği

Şekil 7.10'da H2 numunesine ait $\ln\sigma$ -1000/T grafiği görülmektedir. H2 numunesi ağırlıkça % 0.1 KNT içeren numunedir. KNT ilavesi saf CdO numunesine nazaran gerek oda sıcaklığında gerekse daha yüksek sıcaklıklara iletkenlikte artışa sebep olmuştur. H2 numunesinde sıcaklığın artışı ile beraber elektriksel iletkenlikte lineer bir artışın meydana geldiği görülmektedir.



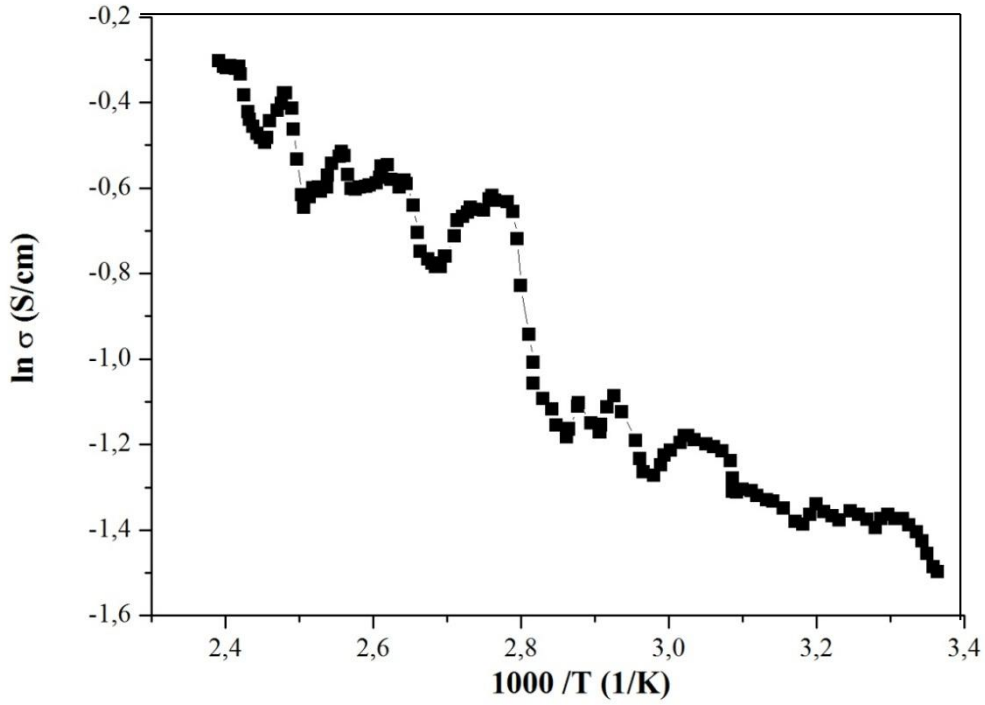
Şekil 7.10. H2 numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği

Şekil 7.11’de H3 numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği verilmiştir. % 0.2 KNT içeren H3 numunesinin nispeten düşük sıcaklıklarda iletkenliği H1 ve H2 numunelerine yakın değerlerdeyken sıcaklık artışı ile beraber H3 numunesinin iletkenliğinde önemli bir artış meydana gelmiştir. H grubu numuneler içerisinde de karşılaştırıldığında sıcaklık artışıyla elektrik iletkenlik değerlerinde en önemli artışı gösteren numune H3 numunesidir. H3 numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T eğrisi incelendiğinde nispeten düşük sıcaklıklarda sıcaklığın artışı ile beraber iletkenlikte önemli bir artış gözlenirken, daha sonra eğri lineer şekilde bir yükselme göstermiştir.



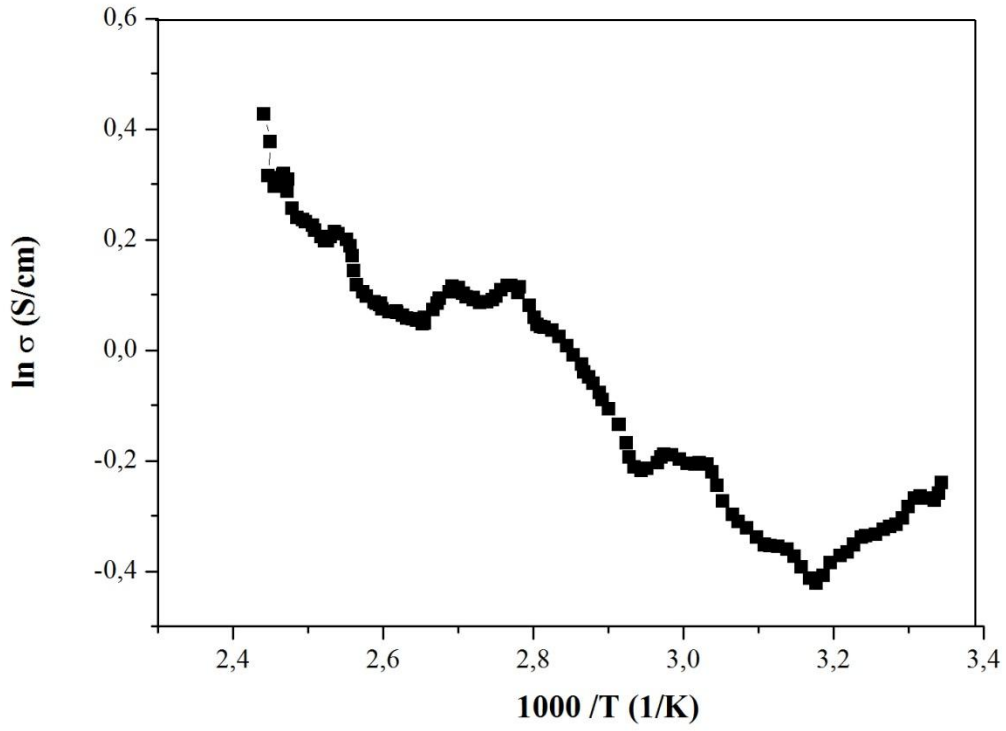
Şekil 7.11. H3 numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği

Şekil 7.12’de H4 numunesine ait $\ln\sigma$ -1000/T eğrisi verilmiştir. H4 numunesi % 0.5 KNT içeren CdO-KNT kompozitidir. Şekilden görüleceği gibi H4 numunesinin hem düşük sıcaklıklardaki hemde yüksek sıcaklıklardaki iletkenlik değerleri H1, H2, H3 numunelerinkine göre yüksektir.



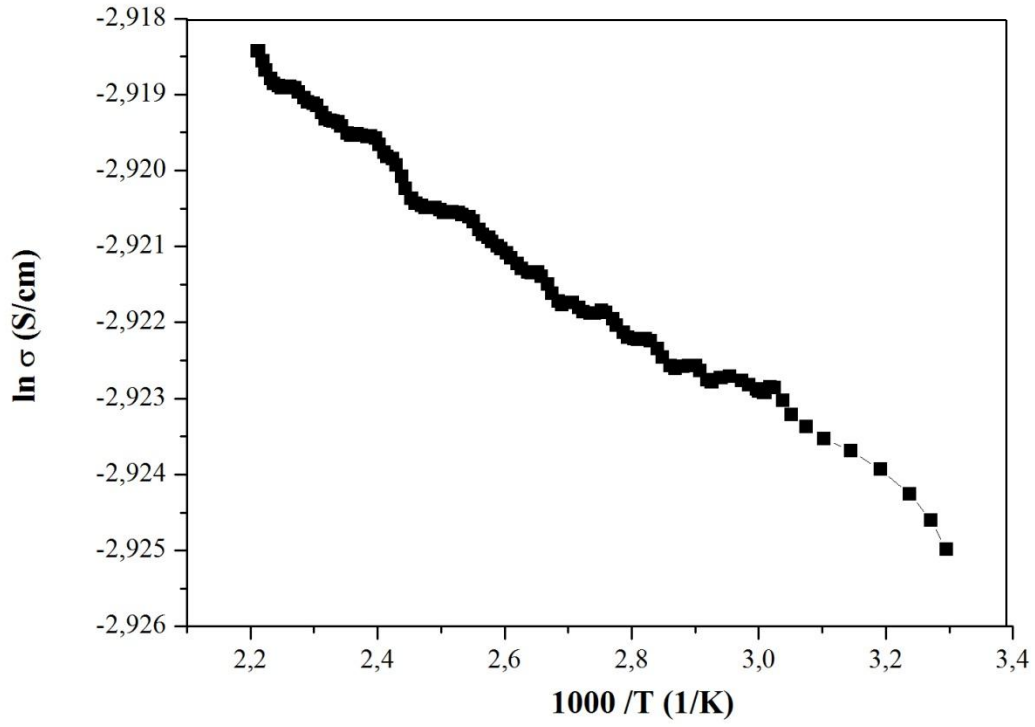
Şekil 7.12. H4 numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği

Şekil 7.13’de ise H5 numunesine ait $\ln\sigma$ -1000/T eğrisi verilmiştir. H5 numunesi % 1 KNT içeren CdO-KNT kompozitidir. Bu numunenin elektriksel iletkenliği gerek saf CdO’a göre gerekse diğer H grubundaki takviyeli diğer numunelere göre yüksek bir değerdedir. Yapılan SEM incelemeleri de göstermiştir ki % 1 KNT takviyesinde yapı içerisinde homojen dağılım güçleşmektedir ve KNT’ler bazı bölgelerde dağılmamış öbekler halinde bulunmaktadır. Hatta, fazla KNT takviyesi CdO partiküllerinin etrafı KNT’ler ile sarılmıştır. Bu durumun, CdO’un kendi karakterini göstermesine engel olabileceği düşünülmektedir.



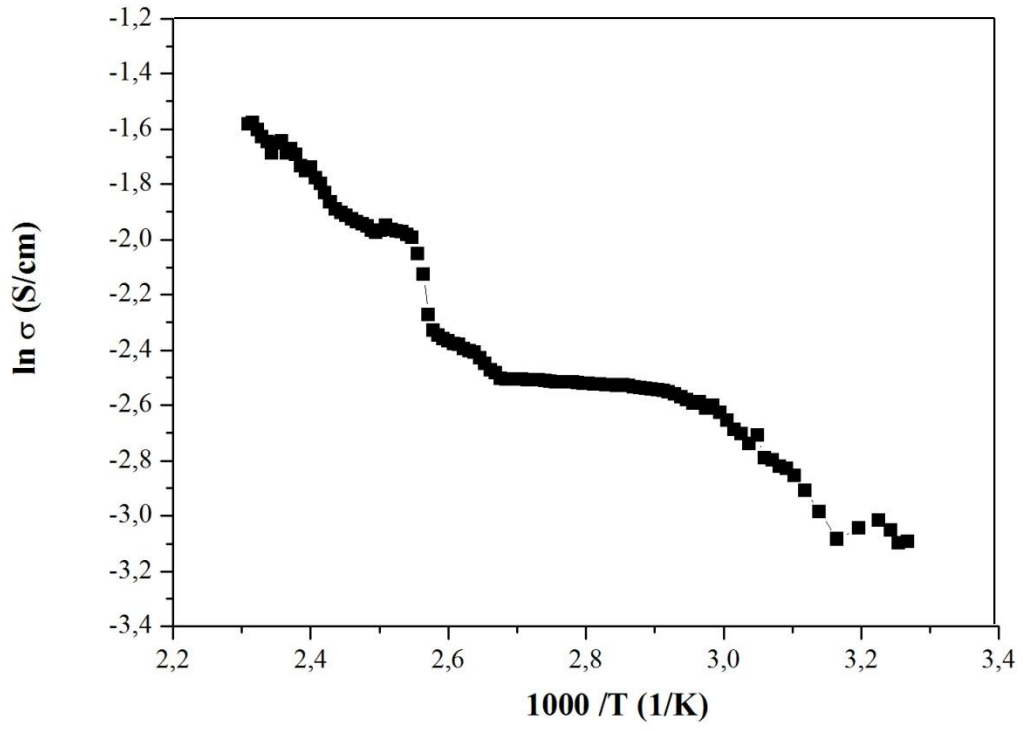
Şekil 7.13. H5 numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği

Şekil 7.14’de S1 numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği verilmiştir. S1 numunesi sol-jel ile üretilmiş ve takviyelendirilmemiş saf CdO numunesidir. S1 numunesi de H1 numunesine benzer bir sıcaklık-zaman iletkenlik eğrisi vermiştir. Sıcaklıkla beraber iletkenlikteki artış H1 numunesinde olduğu gibi çok kısıtlı seviyededir. Fakat, S1 numunesi elektriksel iletkenliği H1 numunesinden gerek nispeten düşük sıcaklıklarda gerekse de daha yüksek sıcaklıklarda daha yüksek seviyededir.

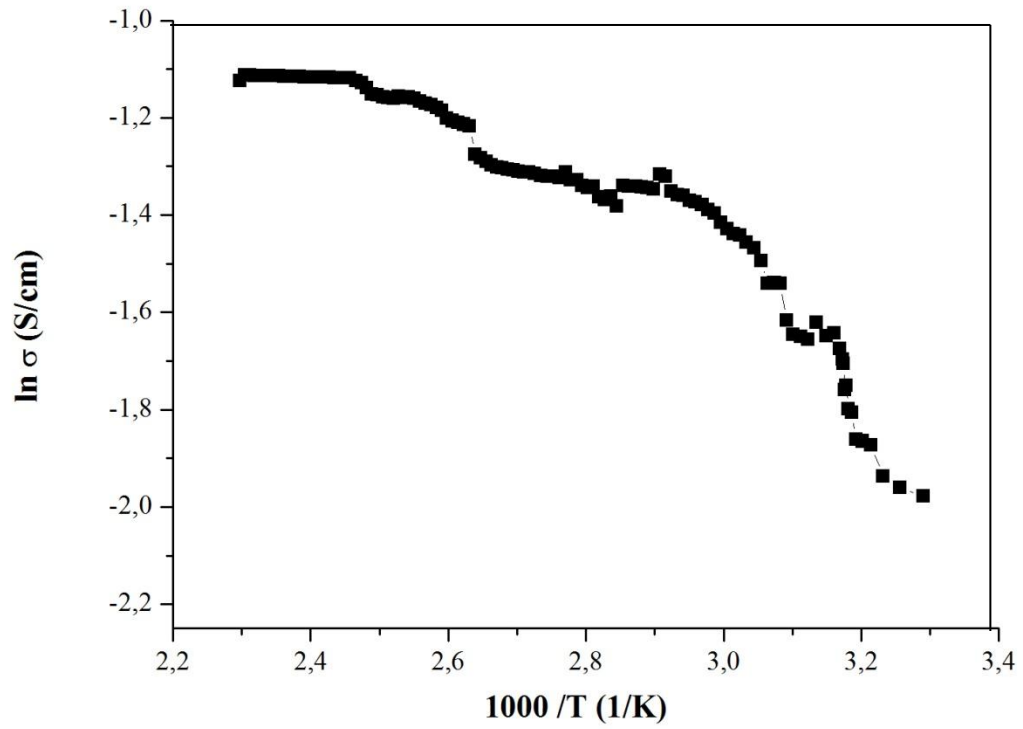


Şekil 7.14. S1 numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği

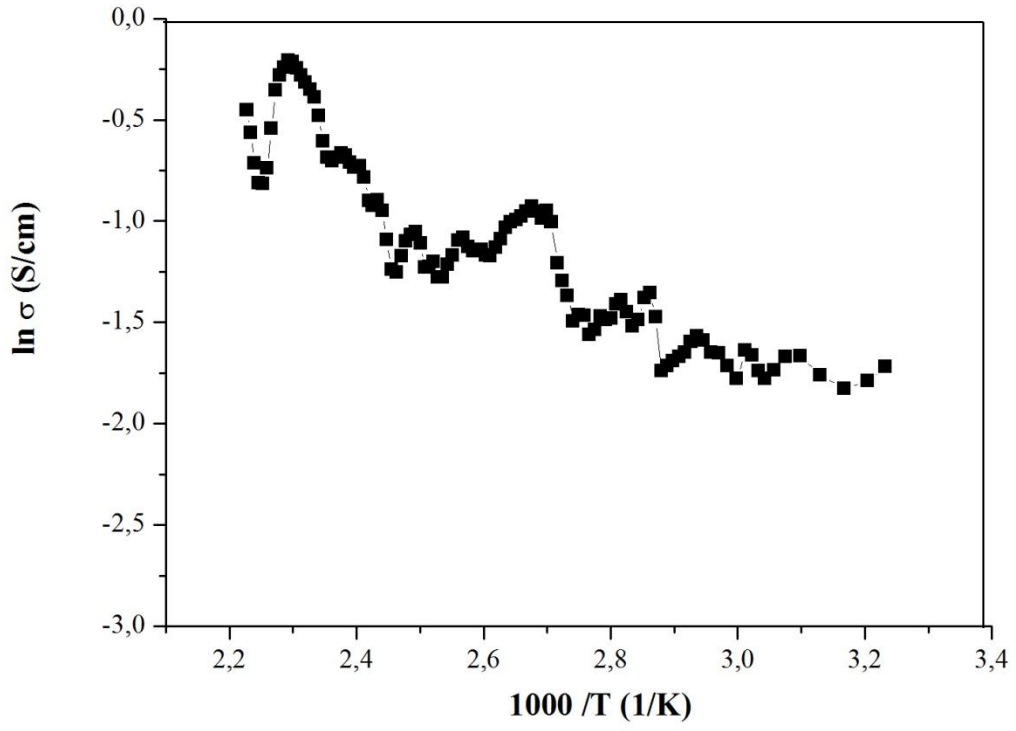
Şekil 7.15’de S2 numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği verilmiştir. S2 numunesi sol-jel ile üretilmiş ve % 0.1 KNT ile takviyelendirilmiş CdO-KNT kompozitidir. S2 numunesinin elektriksel iletkenliği sıcaklık artışına çok duyarlıdır. Sıcaklığın artışı ile beraber iletkenlikte önemli derecede artış gözlenmiştir. Ayrıca S2 numunesi S1 numunesi ile karşılaştırıldığında oda sıcaklığı gibi nispeten daha düşük sıcaklıklarda daha düşük bir iletkenliğe sahip olduğu söylenebilir.



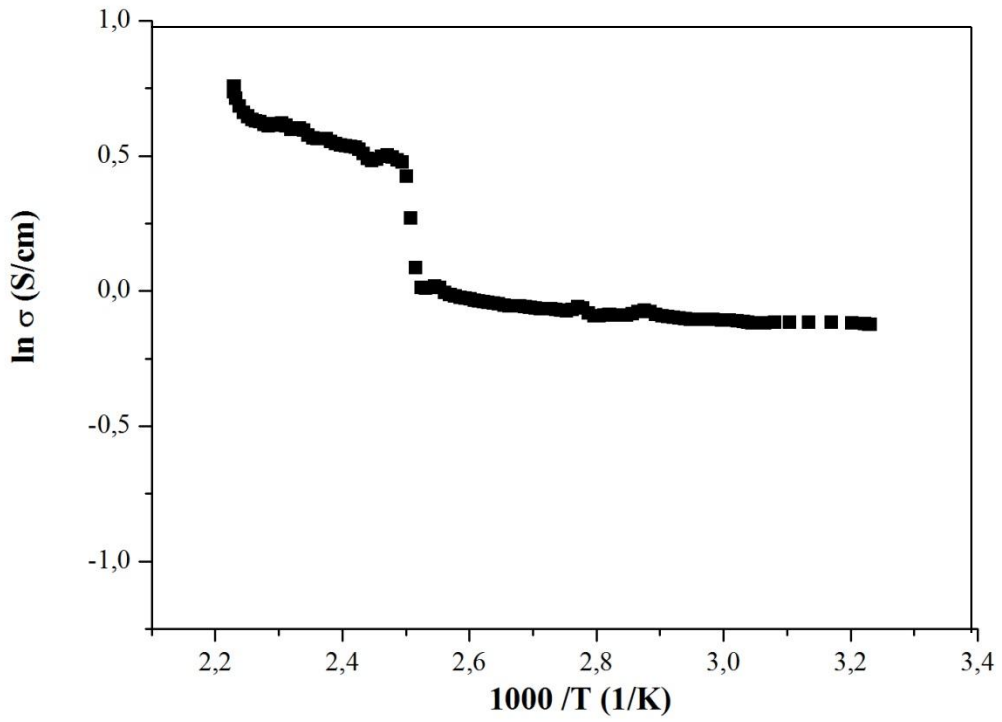
Şekil 7.15. S2 numunesinin $\ln \sigma$ -1000/T grafiği



Şekil 7.16. S3 numunesinin $\ln \sigma$ -1000/T grafiği



Şekil 7.17. S4 numunesinin $\ln \sigma$ -1000/T grafiği



Şekil 7.18. S5 numunesinin $\ln \sigma$ -1000/T grafiği

Şekil 7.16’da S3 numunesine, Şekil 7.17’de S4 numunesine ve Şekil 7.18’de S5 numunesine ait $\ln\sigma-1000/T$ grafikleri verilmiştir. S3 numunesi % 0.2, S4 numunesi % 0.5, S5 numunesi ise % 1 oranında KNT ile takviyelendirilmiş numunelerdir. S3 numuneside S2 numunesi gibi sıcaklıkla önemli oranda değişen bir elektriksel iletkenlik karakteri sergilemektedir. S4 ve S5 numunelerinde ise iletkenliğin sıcaklığa karşı duyarlılığı nispeten daha azdır. Hatta, S5 numunesinde belli bir sıcaklığa kadar iletkenlik değeri yatay seyredirken bir noktada ani bir artış göstermiş ve daha sonra yine yatay bir seyir göstermiştir. Sol-jel ile üretilen numunelerin tamamı aynı KNT oranı için hazır olarak temin edilen numuneler ile üretilen kompozitlere göre daha yüksek bir elektriksel iletkenlik davranışı göstermişlerdir.

7.4.Üretilen CdO-KNT kompozit numunelerinin Optik Deney Sonuçları

Yarıiletken malzeme üzerine gönderilen bir foton; yarıiletkenin yasak enerji aralığına (E_g) eşit veya daha büyük bir enerjiye sahipse, bu durumda valans bandındaki bir elektron uyarılarak iletim bandına geçer ve bu olay soğurma olarak adlandırılır. Lineer soğurma katsayısı α ;

$$\alpha = A/d \quad \text{Denklem 7.4.1.}$$

ifadesi kullanılarak bulunur. Burada A absorpsiyonu ve d malzemenin kalınlığını göstermektedir. α malzemenin yoğunluğuna, gelen ışığın dalga boyuna ve malzemenin yasak enerji aralığına bağlı olarak değişir. Yarıiletkenlerde dört çeşit soğurma olayı meydana gelir. Bunlar temel soğurma olayı, ışığın eksitonlar tarafından soğurulması, ışığın serbest yük taşıyıcıları tarafından soğurulması ve katkı atomları tarafından soğurulmasıdır [63-64].

Temel soğurma olayı, yarıiletken üzerine gelen fotonların valans bandındaki elektronlar tarafından soğurulması ile valans bandındaki bu elektronların sökülerek iletim bandına geçmeleri sonucu meydana gelir. Bu durumun gerçekleşebilmesi için yarıiletken üzerine gelen fotonun enerjisinin yarıiletkenin yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük olması gerekir. Yani;

$$h\nu \geq E_g \quad \text{Denklem 7.4.2.}$$

olmalıdır. Burada $h\nu$ fotonun enerjisini ve E_g 'de yarıiletkenin yasak enerji aralığıdır. Yarıiletkenlerde ikinci soğrulma olayı eksitonlar tarafından soğrulmaz. Yarıiletkenlerde bağlı bir elektronla hol birbirlerini Coulomb kuvvetiyle çekerler ve birbirlerinin etrafında dönerler. Eksitonlar tarafından soğrulma için,

$$h\nu \geq E_g - E_{eks} \quad \text{Denklem 7.4.3.}$$

şartının sağlanması gerekir. Burada E_{eks} eksitonun bağlanma enerjisidir.

Yarıiletkenlerde üçüncü soğrulma olayı ışığın serbest yük taşıyıcıları tarafından soğrulmasıdır. Gelen fotonun enerjisi yarıiletkenin yasak enerji aralığına eşit veya ondan küçük ise, bu foton valans bandındaki bir hol ya da iletim bandındaki bir elektron tarafından soğrulur ve serbest yük taşıyıcılarının aynı band içerisinde daha yüksek enerji seviyelerine uyarılmalarını sağlar. Bu olay serbest yük taşıyıcıları tarafından soğrulma olarak bilinir [63-64].

Dördüncü soğrulma olayı ise ışığın katkı atomları tarafından soğrulmasıdır. Katkılı yarıiletkenlerde meydana gelen bu olayda, yarıiletkenine gelen fotonun enerjisi yarıiletkenin yasak enerji aralığından küçük olduğu için valans bandındaki bir elektron iletim bandına çıkamaz. Gelen foton katkılı yarıiletkenin tipine göre donör ve akseptör atomları tarafından soğrulur.

Malzeme üzerine gönderilen fotonlar, bir elektronu daha yüksek bir enerji seviyesine uyarmak için yeterli enerjiye sahip değillerse, soğrulma yerine geçirilirler ve malzeme saydam olarak davranır. Geçirgenlik geçen ışık şiddetinin gelen ışık şiddetine oranı olarak tanımlanır ve T ile temsil edilir. Malzeme ile fotonların etkileşmesi sonucu meydana gelen diğer bir optik olayda yansımadır. Yansıma, malzeme yüzeyinden yansıyan ışık şiddetinin gelen ışık şiddetine oranı olarak tanımlanır ve R ile temsil edilir. Malzemenin yüzeyi düzgünse ve gelen fotonlar düşük bir enerjiye sahipse, fotonların bir kısmı malzeme yüzeyinden yansıtılır.

Yarıiletken malzemelerin optik ölçüm sonuçlarından faydalanılarak belirlenen diğer bir parametre ise yasak enerji aralığıdır. Yarıiletkenlerin yasak enerji aralığının direkt olarak belirlenmesinde belkide en basit yöntem temel soğurma spektrumundan faydalanarak optik metodu kullanmaktır. Enerjisi bilinen bir foton tarafından valans bandından iletim bandına

uyarılması olarak bilinen ve soğurmanın keskin bir artış gösterdiği bölge temel soğurma bölgesi olarak tanımlanır. Temel soğurma sınırında yarıiletkenlerde doğrudan band geçişi ve dolaylı band geçişi olmak üzere iki tür geçiş olayı meydana gelebilir. Doğrudan band yapılı yarıiletkenlerde valans bandının üst sınırı ile iletim bandının alt sınırı enerji-momentum uzayında aynı k değerindedir. Bu geçişte valans bandındaki bir elektronun iletim bandına geçebilmesi için, enerjisi yarıiletken malzemenin yasak enerji aralığına eşit yada daha büyük olan bir fotonu soğurması gerekir.

Dolaylı band yapılı yarıiletkenlerde ise valans bandının üst sınırı ile iletim bandının alt sınırı enerji-momentum uzayında aynı k değerinde değildir. Bu geçişte valans bandındaki bir elektronun iletim bandına geçebilmesi için, bir fotonun absorblanması veya salınması gerekir [63-64].

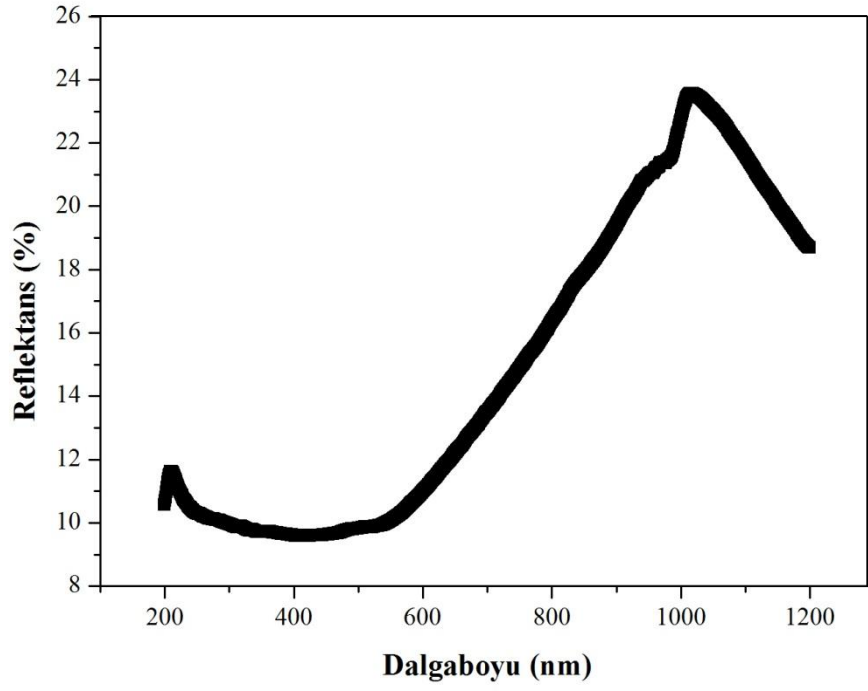
Direkt band geçişte soğurma katsayısı (α) ile gelen fotonun enerjisi ($h\nu$) arasındaki bağıntı;

$$n_0 \alpha h\nu \sim (h\nu - E_g)^n \quad \text{Denklem 7.4.3.}$$

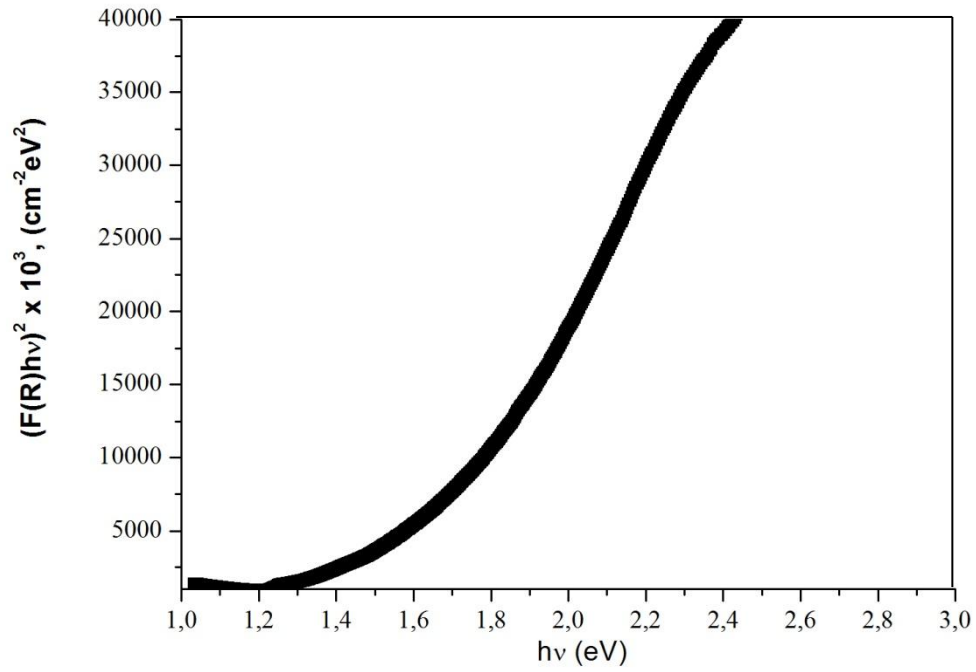
ile verilir. Burada n_0 kırılma indisidir ve direkt band geçişli bir yarıiletken için geçişin izinli veya izinsiz olmasına bağlı olarak $n=1/2$ veya $n=3/2$ dir.

Yarıiletkenlerin yasak enerji aralıklarının belirlenmesinde kullanılan optik metot aynı zamanda optik geçişler hakkında da bilgi verir. Bu metotta yarıiletken malzemenin yasak enerji aralığı, temel soğurma spektrumu kullanılarak çizilen $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiğinden belirlenir. Bu değişimin lineer kısmının doğrultusunun $h\nu$ eksenini $(\alpha h\nu)^2=0$ 'da kestiği noktanın enerji değeri, yarıiletkenin yasak enerji aralığını vermektedir [63-64].

Şekil 7.19'da H1 numunesinin yansımada – dalga boyu spektrum grafiği verilmiştir. Şekil 7.20'de ise $(\alpha h\nu)^2$ 'in $h\nu$ (foton enerjisi)'e göre değişim grafiği verilmiştir. Bu grafiğin lineer kısmının $h\nu$ enerji eksenini kestiği noktadan yasak enerji aralığı hesaplanmıştır. H1 numunesi için yasak enerji aralığı E_g 1,75 eV olarak bulunmuştur.

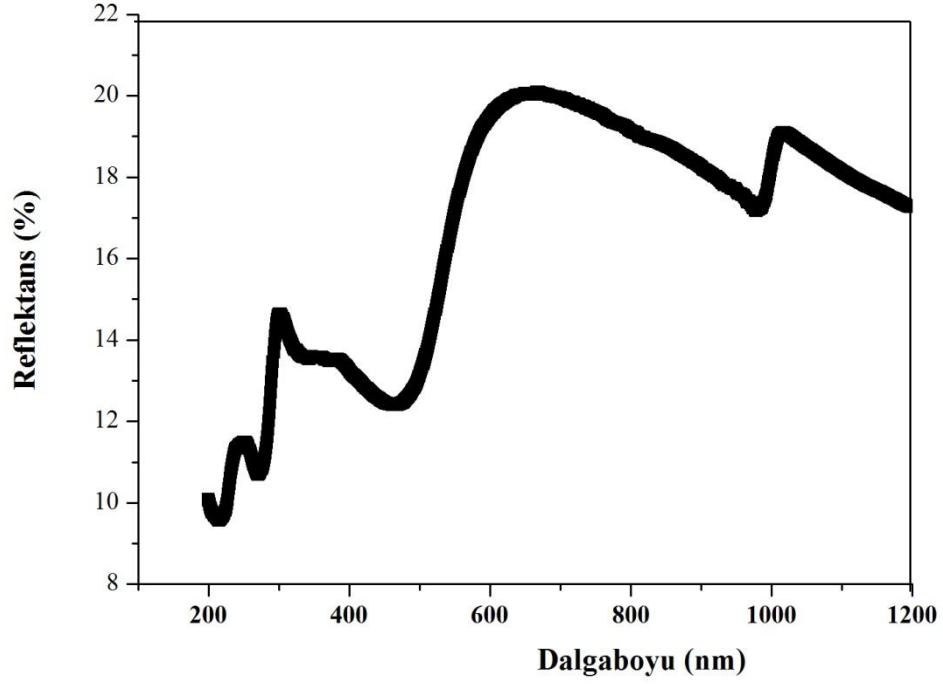


Şekil 7.19. H1 numunesinin yansımaya – dalga boyu spektrum grafiği

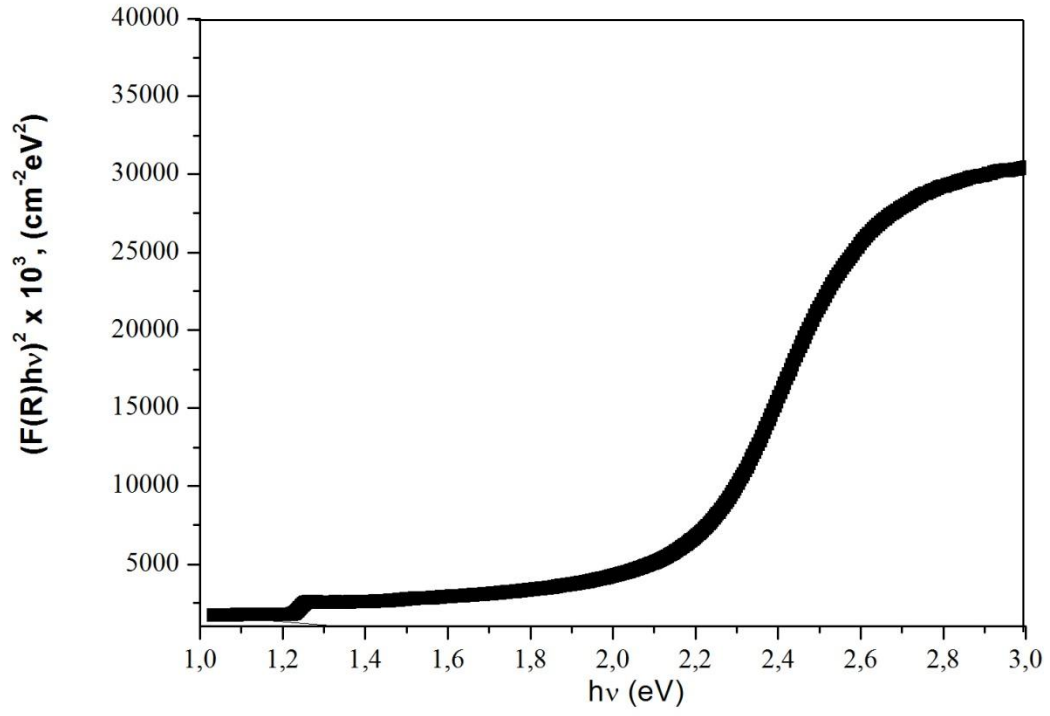


Şekil 7.20. H1 numunesinin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ (foton enerjisi) değişim grafiği

Şekil 7.21’de H2 numunesinin yansım – dalga boyu spektrum grafiği verilmiştir. Şekil 7.22’de ise $(\alpha h\nu)^2$ ’in $h\nu$ (foton enerjisi)’e göre değişim grafiği verilmiştir. Bu grafiğin lineer kısmının $h\nu$ enerji eksenini kestiği noktadan yasak enerji aralığı hesaplanmıştır. H2 numunesi için yasak enerji aralığı E_g 2,15 eV olarak bulunmuştur.

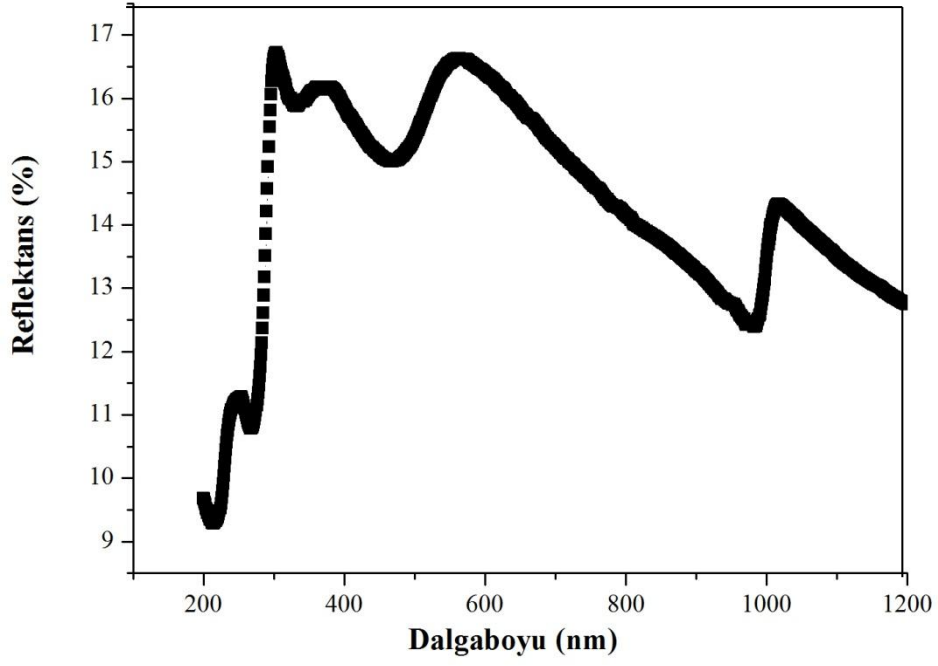


Şekil 7.21. H2 numunesinin yansım – dalga boyu spektrum grafiği

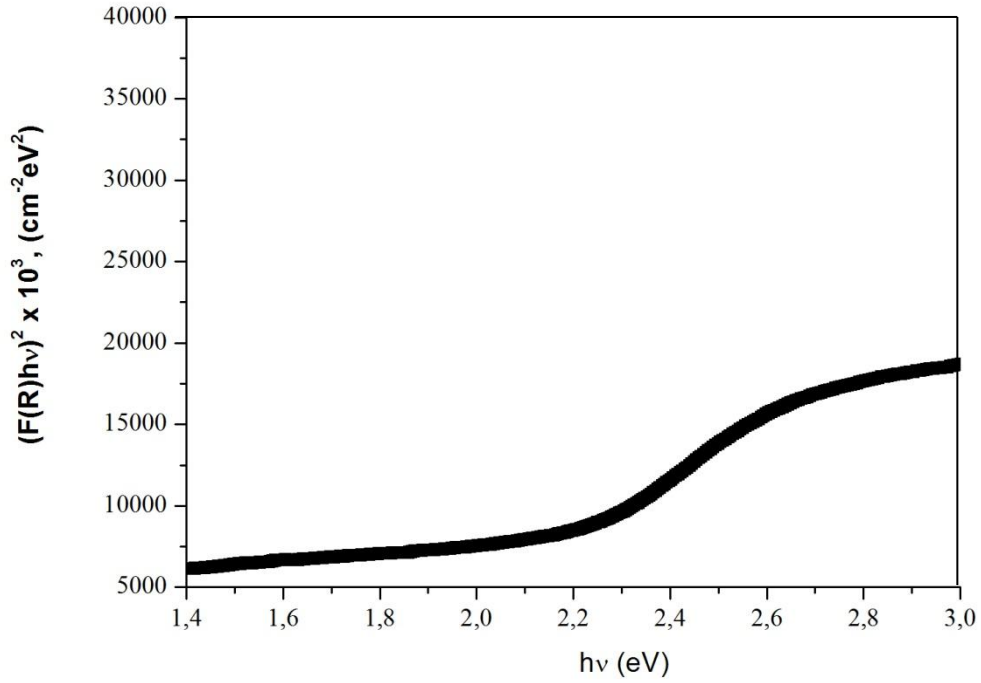


Şekil 7.22. H2 numunesinin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ (foton enerjisi) değişim grafiği

Şekil 7.23’de H3 numunesinin yansım – dalga boyu spektrum grafiği verilmiştir. Şekil 7.24’de ise $(\alpha h\nu)^2$ ’in $h\nu$ (foton enerjisi)’e göre değişim grafiği verilmiştir. Bu grafiğin lineer kısmının $h\nu$ enerji eksenini kestiği noktadan yasak enerji aralığı hesaplanmıştır. H3 numunesi için yasak enerji aralığı E_g 2,01 eV olarak bulunmuştur.

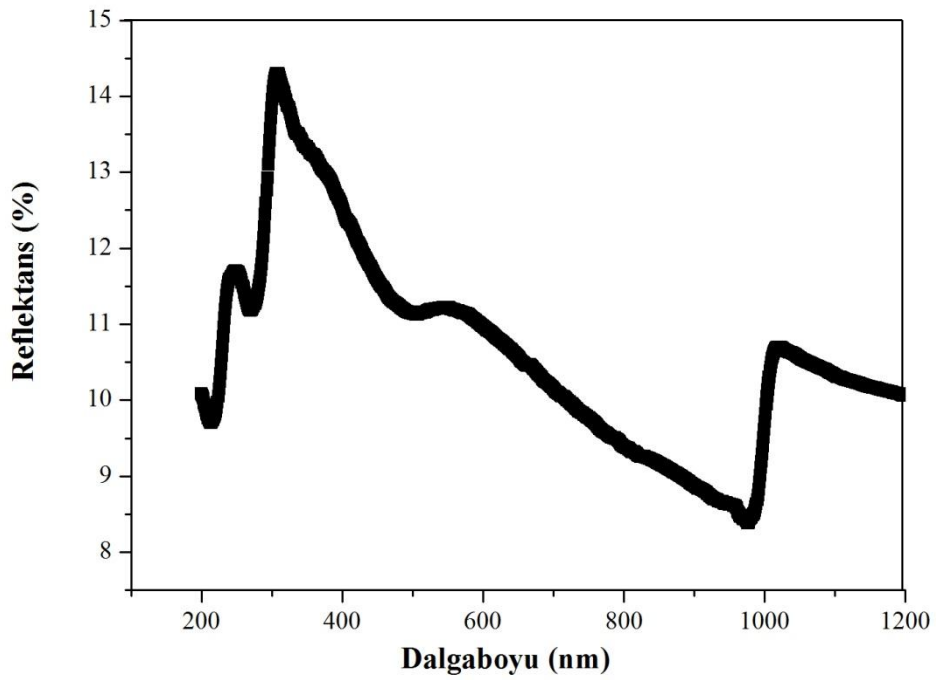


Şekil 7.23. H3 numunesinin yansımaya – dalga boyu spektrum grafiği

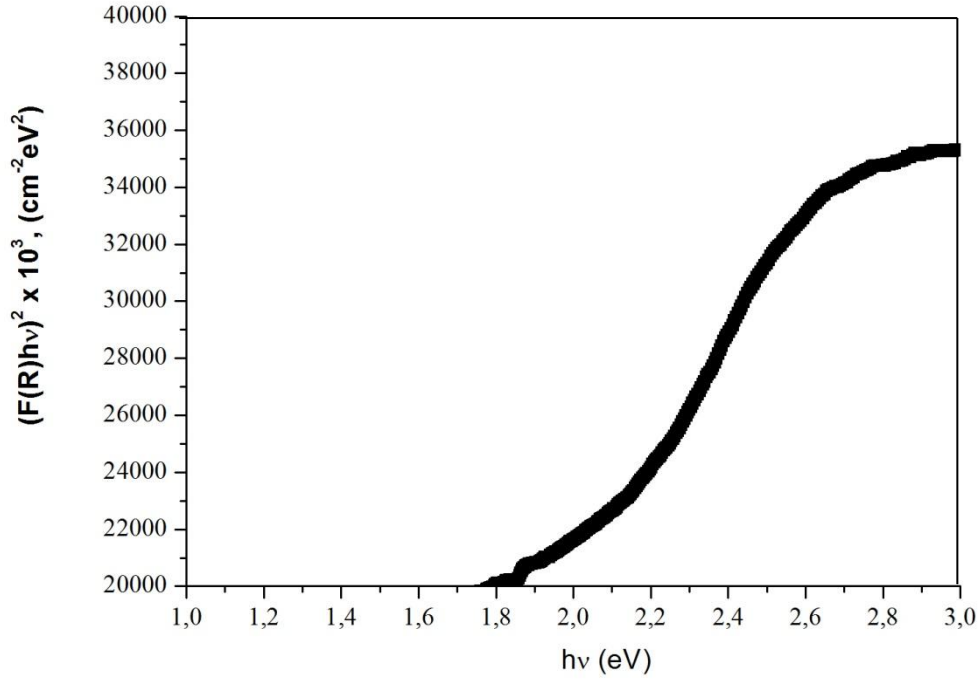


Şekil 7.24. H3 numunesinin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ (foton enerjisi) değişim grafiği

Şekil 7.25’de H4 numunesinin yansım – dalga boyu spektrum grafiği verilmiştir. Şekil 7.26’de ise $(\alpha h\nu)^2$ ’in $h\nu$ (foton enerjisi)’e göre değişim grafiği verilmiştir. Bu grafiğin lineer kısmının $h\nu$ enerji eksenini kestiği noktadan yasak enerji aralığı hesaplanmıştır. H4 numunesi için yasak enerji aralığı E_g 2,09 eV olarak bulunmuştur. Bu sonuç literatürle uyumludur [66].

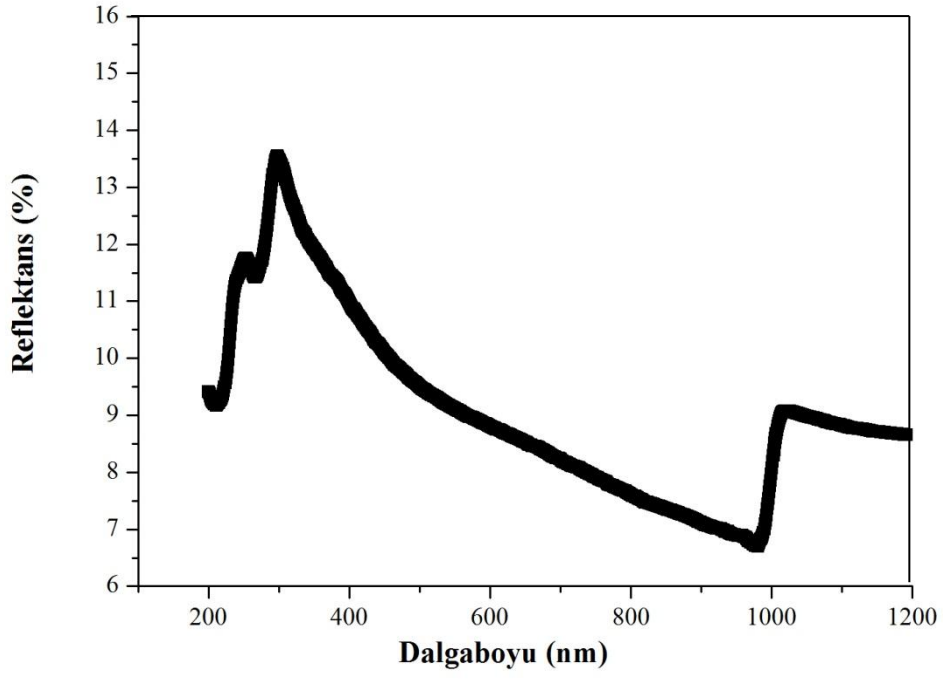


Şekil 7.25. H4 numunesinin yansım – dalga boyu spektrum grafiği

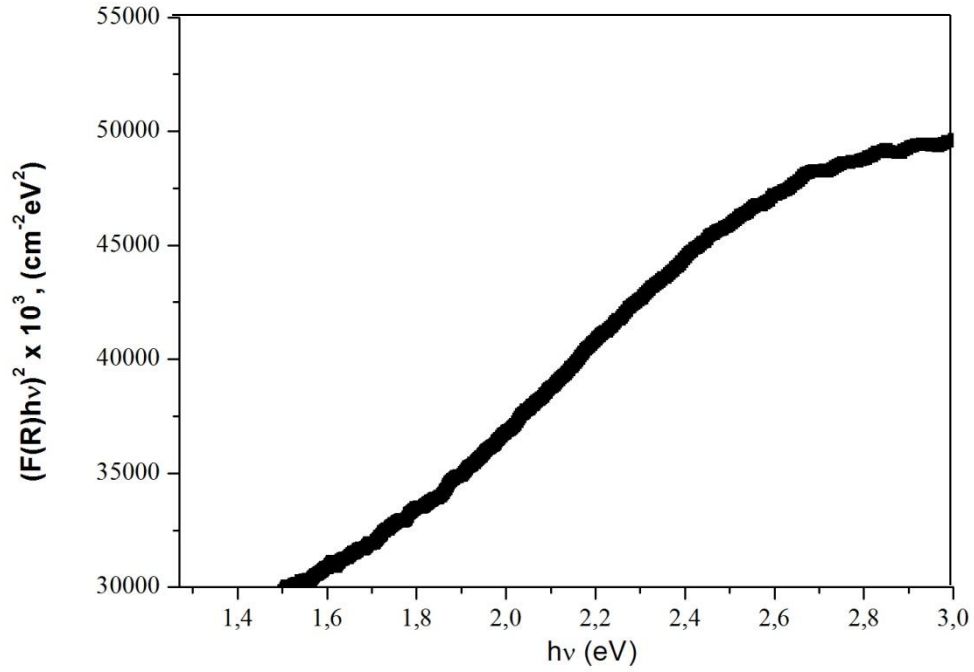


Şekil 7.26. H4 numunesinin $(\alpha hv)^2 \sim hv$ (foton enerjisi) değişim grafiği

Şekil 7.27’de H5 numunesinin yansım – dalga boyu spektrum grafiği verilmiştir. Şekil 7.28’de ise $(\alpha hv)^2$ ’in $h\nu$ (foton enerjisi)’e göre değişim grafiği verilmiştir. Bu grafiğin lineer kısmının $h\nu$ enerji eksenini kestiği noktadan yasak enerji aralığı hesaplanmıştır. H5 numunesi için yasak enerji aralığı E_g 1,79 eV olarak bulunmuştur.

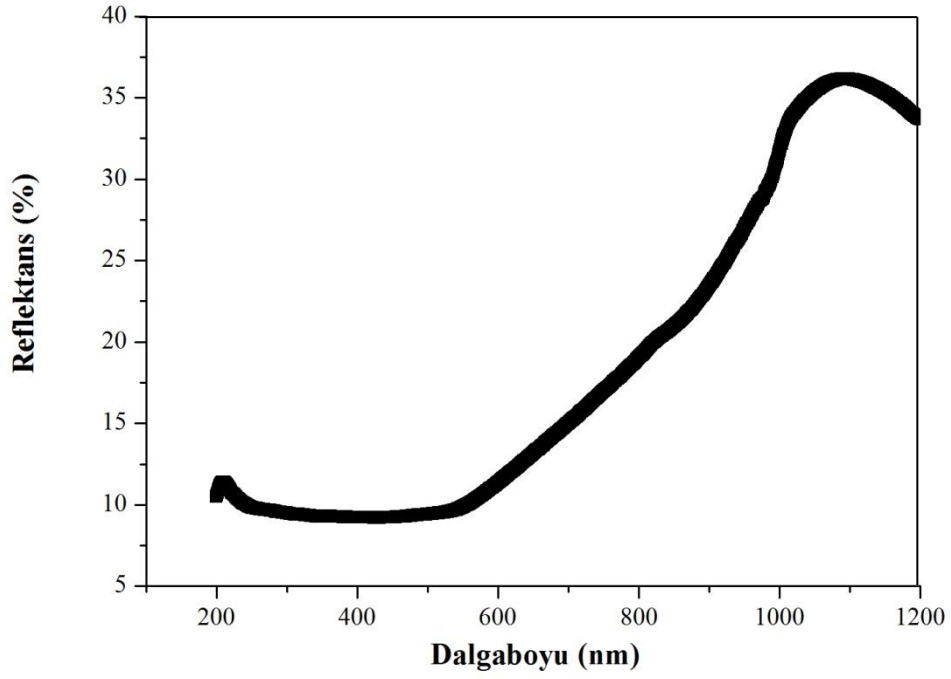


Şekil 7.27. H5 numunesinin yansım – dalga boyu spektrum grafiği

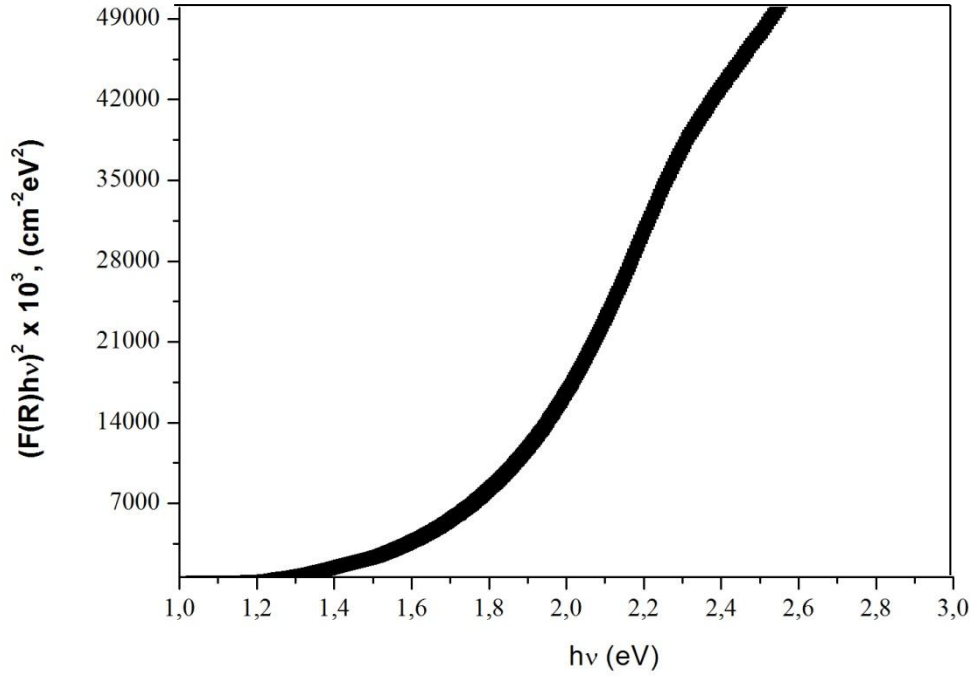


Şekil 7.28. H5 numunesinin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ (foton enerjisi) değişim grafiği

Şekil 7.29’da S1 numunesinin yansım – dalga boyu spektrum grafiği verilmiştir. Şekil 7.30’da ise $(\alpha h\nu)^2$ ’in $h\nu$ (foton enerjisi)’e göre değişim grafiği verilmiştir. Bu grafiğin lineer kısmının $h\nu$ enerji eksenini kestiği noktadan yasak enerji aralığı hesaplanmıştır. S1 numunesi için yasak enerji aralığı E_g 1,88 eV olarak bulunmuştur.

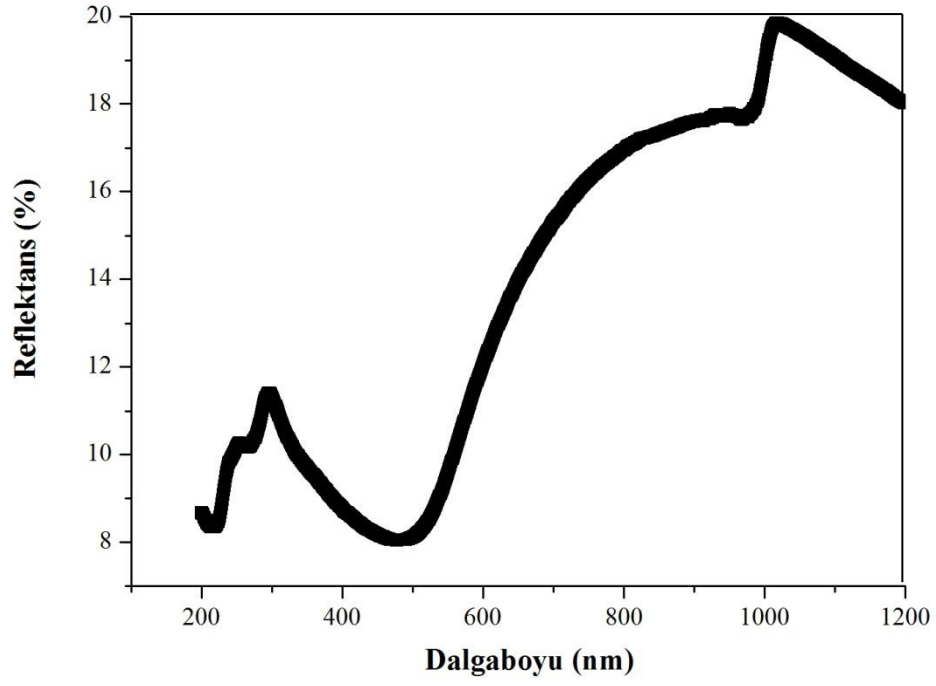


Şekil 7.29. S1 numunesinin yansım – dalga boyu spektrum grafiği

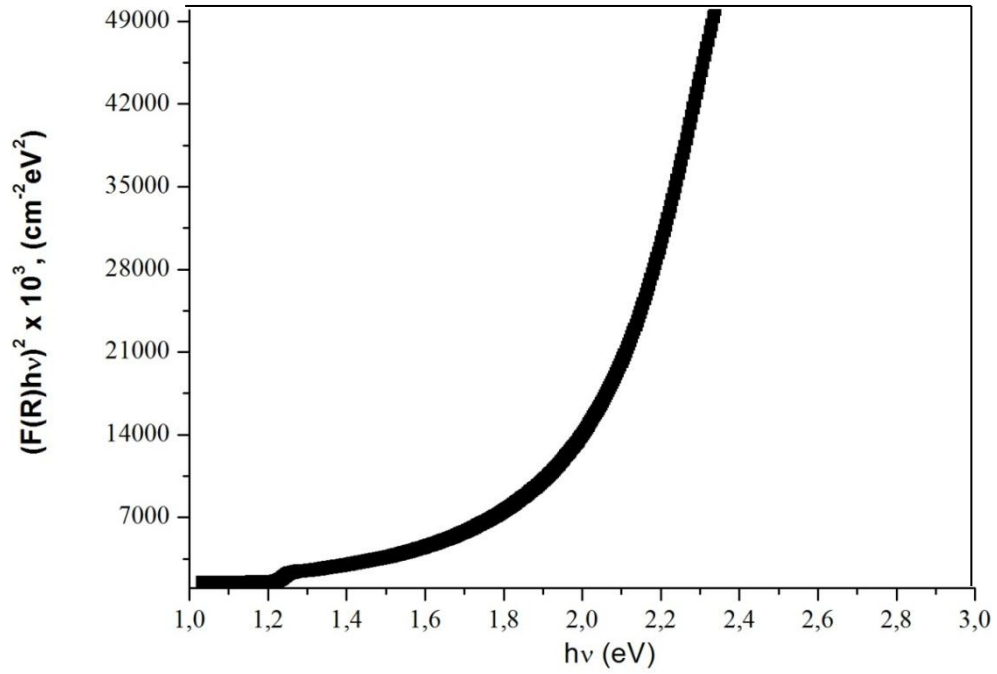


Şekil 7.30. S1 numunesinin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ (foton enerjisi) değişim grafiği

Şekil 7.31’de S2 numunesinin yansım – dalga boyu spektrum grafiği verilmiştir. Şekil 7.32’de ise $(\alpha h\nu)^2$ ’in $h\nu$ (foton enerjisi)’e göre değişim grafiği verilmiştir. Bu grafiğin lineer kısmının $h\nu$ enerji eksenini kestiği noktadan yasak enerji aralığı hesaplanmıştır. S2 numunesi için yasak enerji aralığı E_g 2,02 eV olarak bulunmuştur.

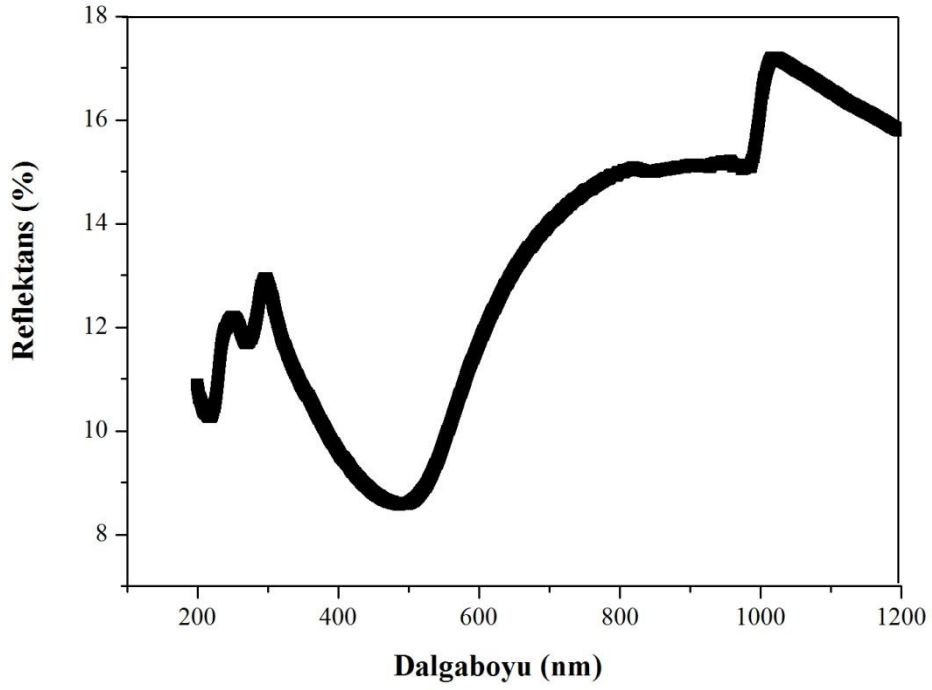


Şekil 7.31. S2 numunesinin yansım – dalga boyu spektrum grafiği

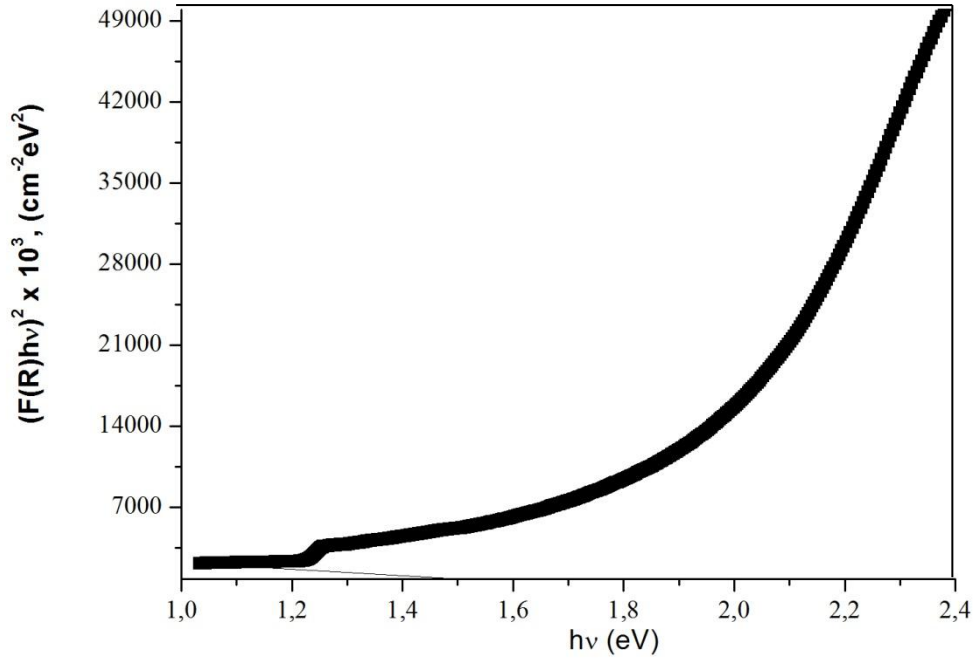


Şekil 7.32. S2 numunesinin $(\alpha hv)^2 \sim hv$ (foton enerjisi) değişim grafiği

Şekil 7.33’de S3 numunesinin yansım – dalga boyu spektrum grafiği verilmiştir. Şekil 7.34’de ise $(\alpha h\nu)^2$ ’in $h\nu$ (foton enerjisi)’e göre değişim grafiği verilmiştir. Bu grafiğin lineer kısmının $h\nu$ enerji eksenini kestiği noktadan yasak enerji aralığı hesaplanmıştır. S3 numunesi için yasak enerji aralığı E_g 1,93 eV olarak bulunmuştur.

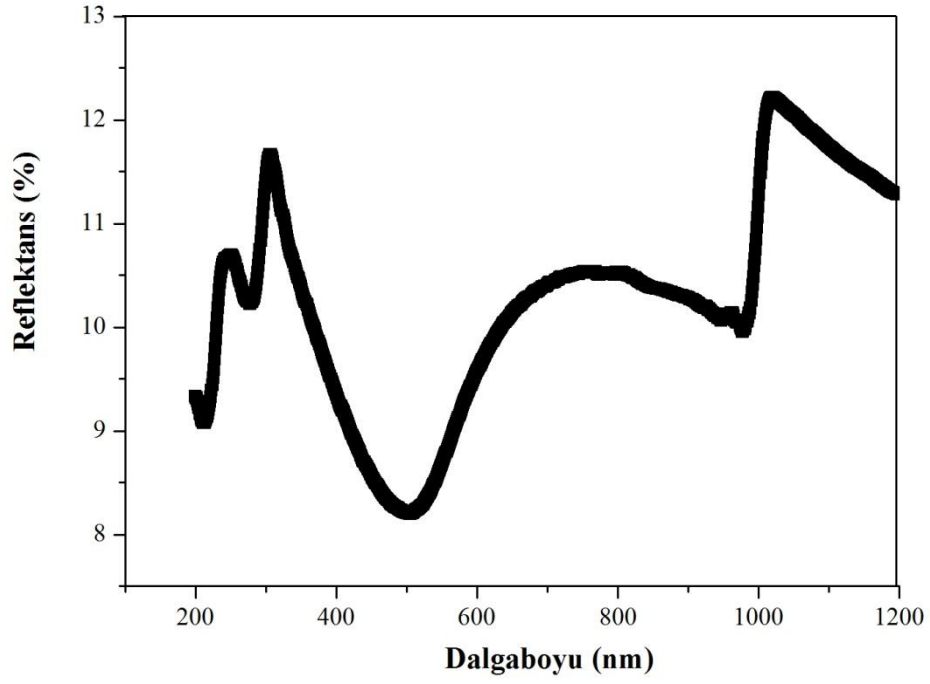


Şekil 7.33. S3 numunesinin yansım – dalga boyu spektrum grafiği

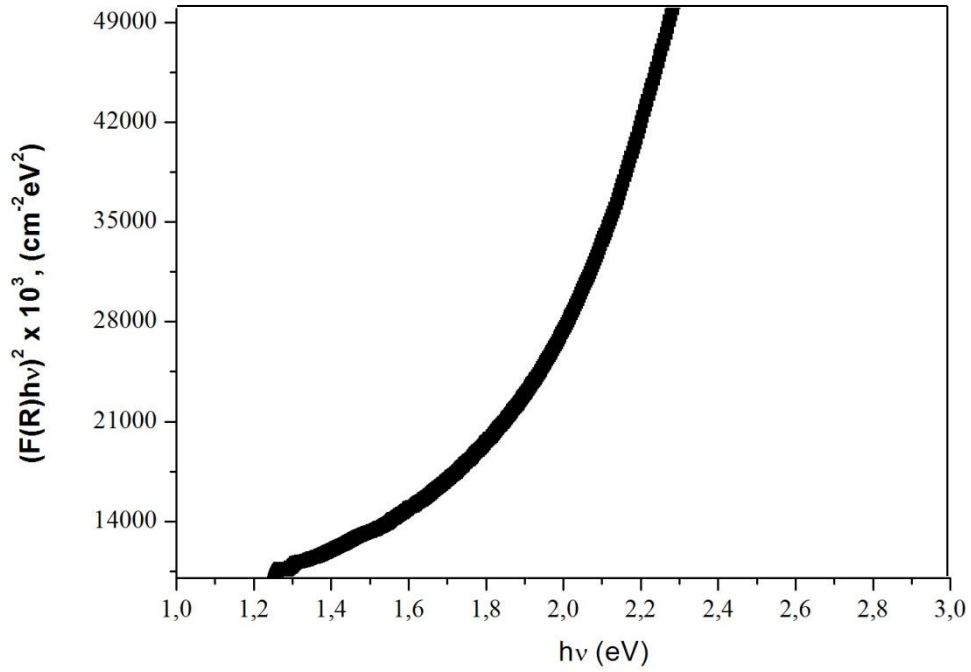


Şekil 7.34. S3 numunesinin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ (foton enerjisi) değişim grafiği

Şekil 7.35’de S4 numunesinin yansıma – dalga boyu spektrum grafiği verilmiştir. Şekil 7.36’da ise $(\alpha h\nu)^2$ ’in $h\nu$ (foton enerjisi)’e göre değişim grafiği verilmiştir. Bu grafiğin lineer kısmının $h\nu$ enerji eksenini kestiği noktadan yasak enerji aralığı hesaplanmıştır. S4 numunesi için yasak enerji aralığı E_g 1,84 eV olarak bulunmuştur.

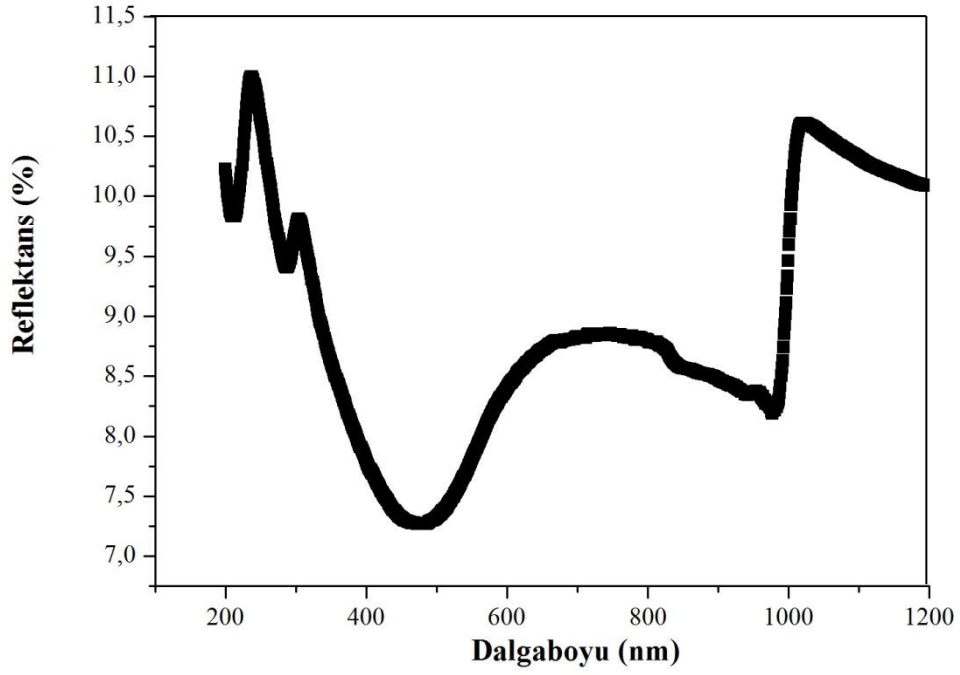


Şekil 7.35. S4 numunesinin yansımaya – dalga boyu spektrum grafiği

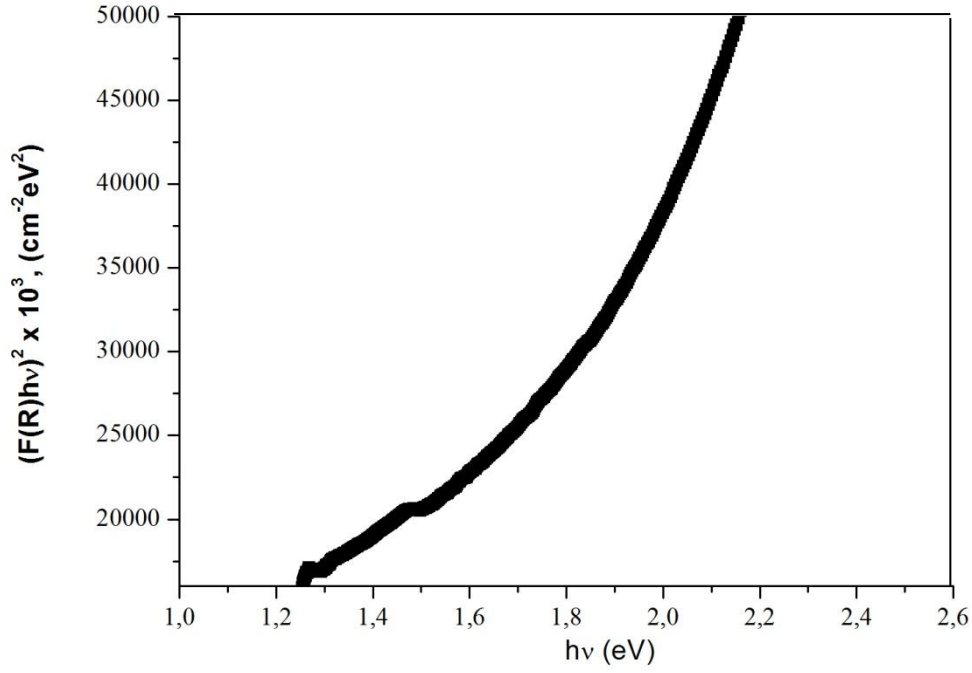


Şekil 7.36. S4 numunesinin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ (foton enerjisi) değişim grafiği

Şekil 7.37’de S5 numunesinin yansıma – dalga boyu spektrum grafiği verilmiştir. Şekil 7.38’de ise $(\alpha h\nu)^2$ ’in $h\nu$ (foton enerjisi)’e göre değişim grafiği verilmiştir. Bu grafiğin lineer kısmının $h\nu$ enerji eksenini kestiği noktadan yasak enerji aralığı hesaplanmıştır. S5 numunesi için yasak enerji aralığı E_g 1,75 eV olarak bulunmuştur.



Şekil 7.37. S5 numunesinin yansıma – dalga boyu spektrum grafiği



Şekil 7.38. S5 numunesinin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ (foton enerjisi) değişim grafiği

Tüm numuneler için elde edilen optik sonuçlar literatür ile uyumludur [65-66]. Ticari olarak üretilmiş CdO kullanılarak imal edilen kompozitlerde yasak enerji aralığı KNT takviyesi ile artış gösterip % 1 KNT takviyesinde ise bu değerde azalma meydana gelerek saf CdO seviyesine inmiştir. Benzer durum sol-jel yöntemi ile üretilen CdO kullanılarak imal edilen kompozitlerde de geçerlidir. Fakat, karbon nanotüp artışı ile enerji aralığındaki artış seviyesi H grubu numunelerine nispetle daha düşük seviyededir. Hem S grubu numunelerde hem de H grubu numunelerde en yüksek yasak enerji aralığı % 0.1 KNT içeren numunelerde elde edilmiştir.

Tablo 7.1. Numune içerikleri ve Eg değerleri

Numune Kodu	CdO'nun Türü	KNT Miktarı (% ağı.)	Eg (eV)
H1	Hazır	0	1,75
H2	Hazır	0,1	2,15
H3	Hazır	0,2	2,01
H4	Hazır	0,5	2,09
H5	Hazır	1	1,79
S1	Sol - Jel	0	1,88
S2	Sol - Jel	0,1	2,02
S3	Sol - Jel	0,2	1,93
S4	Sol - Jel	0,5	1,84
S5	Sol - Jel	1	1,75

8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

- CVD yöntemi kullanılarak çapları 15-25 nm arasında değişen, boyları ise 2-5 µm arasında değişen karbon nanotüpler sentezlenmişlerdir.
- Elde edilen karbon nanotüpler ticari olarak temin edilen CdO'un içerisine % 0.1, 0.2, 0.5, 1 oranlarında takviye edilerek H grubu olarak adlandırılan kompozit numuneler üretilmişleridir. Sol-jel yöntemi ile üretilen CdO içerisine karbon nanotüpler % 0.1, 0.2, 0.5, 1 oranlarında takviye edilerek S grubu olarak adlandırılan kompozit numuneler üretilmişleridir.
- Üretilen kompozitlerin SEM incelemeleri, karbon nanotüp miktarının artması ile homojen bir kompozit yapının üretiminin güçleştiğini göstermiştir. % 1 KNT içeren numunelerde, bazı bölgelerde karbon nanotüplerin dağılmadan öbekler halinde bulunduğu tespit edilmiştir.
- Üretilen kompozitlerin sıcaklığa bağlı elektriksel incelemeleri sonucunda; her iki numune grubunda da karbon nanotüp artışı ile beraber elektriksel iletkenliğin arttığı tespit edilmiştir. Bunun yanında, Sol-Jel ile üretilmiş CdO içeren kompozitlerin hazır olarak temin edilmiş CdO içeren kompozitlere oranla elektriksel iletkenliklerinin daha yüksek olduğu söylenebilir.
- Optik incelemeler sonucunda tüm numunelerin yasak enerji aralıkları tespit edilmiştir. H grubu numunelerde saf CdO numunesinin yasak enerji aralığı 1,75 eV bulunmuş ve KNT artışı ile beraber % 0.1 KNT içeriğinde maksimum seviyeye yükselmiş daha sonra KNT artışı ile bu değer azalmıştır. % 1 KNT içeren kompozitte ise yasak enerji aralığının saf CdO seviyesine geldiği tespit edilmiştir. S grubu numunelerde ise saf CdO numunesinin yasak enerji aralığı 1,88 eV bulunmuş ve KNT artışı ile beraber % 0.1 KNT içeriğinde maksimum seviyeye yükselmiş daha sonra KNT artışı ile bu değer azalmıştır. % 1 KNT içeren kompozitte ise yasak enerji aralığının saf CdO seviyesine geldiği tespit edilmiştir.
- Sonuç olarak, Sol-Jel ile üretilmiş CdO kullanılan kompozitler elektriksel ve optik özellikler açısından H grubu numunelere göre daha iyi bir performans göstermiştir.

9. KAYNAKÇA

- [1] **O' Connel, M.**, 2006 , “Carbon Nanotubes, Properties and Applications”, CRC PRESS, Florida.
- [2] **Gogotsi, Y.**, 2006, “Nanotubes and Nanofibers”, ISBN 0849393876, CRC Press Taylor&Francis Group, Boca Raton.
- [3] **Yu, M.F., Files, B.S., Arepalli, S., Ruoff, R.S.** 2000. “Tensile Loading of Ropes of Single Wall Carbon Nanotubes and their Mechanical Properties”, Physical Review Letters, vol.84, no.24, p.5552-5555.
- [4] **Özgür I.**, 2014, “Nanotüp ve Nanotel Yapılarının Xrd Ile Karakterizasyonu” Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enst.,.
- [5] **Lu, X., Chen, Z.**, 2005,"Curved Pi-Conjugation, Aromaticity, and the Related Chemistry of Small Fullerenes (C₆₀) and Single-Walled Carbon Nanotubes". Chemical Reviews 105 (10): 3643–3696.
- [6] **Iijima, S.**, 1991, "Helical microtubules of graphitic carbon". Nature 354 (6348): 56–58.
- [7] **Ebbesen, T. W.; Ajayan, P. M.**, 1992, "Large-scale synthesis of carbon nanotubes".Nature 358 (6383): 220–222.
- [8] **Smiljanic, O., Stansfield, B.L, Dodelet, J.P., Serventi, A., Désilets, S.**, 2002, "Gas-phase synthesis of SWNT by an atmospheric pressure plasma jet". Chemical Physics Letters 356 (3–4): 189–193.
- [9] **Smiljanic, O.**, "Method and apparatus for producing single-wall carbon nanotubes".US Patent.
- [10] **Naha, S, and Ishwar K. P.**, 2008 "A model for catalytic growth of carbon nanotubes". Journal of Physics D: Applied Physics 41 (6): 065304.

[11] **Aydoğan, Ş.**, 2011, “Katıhal Fiziği”, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 221-225, 503-507.

[12] www.en.wikipedia.org/semiconductors “2015”

[13] www.acikders.org.tr/yariiletken “2015”

[14] **C. Aydin, H.M. El-Nasser, F. Yakuphanoglu, I.S. Yahiaa, M. Aksoy**, 2011, “Nanopowder synthesis of aluminum doped cadmium oxide via sol–gel calcination processing”, *Journal of Alloys and Compounds* 509, 854–858.

[15] **Azizar M., M.K.R. Rahman Khan**, 2014, “Effect of annealing temperature on structural, electrical and optical properties of spray pyrolytic nanocrystalline CdO thin films”, *Mater. Sci. Semicond. Process.* 24 26–33.

[16] **Yakuphanoglu F.**, 2011, “Synthesis and electro-optic properties of nanosized-boron doped cadmium oxide thin films for solar cell applications”, *Sol. Energy* 85, 2704–2709.

[17] **Ferro, R. and Rodriguez, J.A.**, 1999, “Some physical properties of F-doped CdO thin films deposited by spray pyrolysis”, *Thin Solid Films*, 347, 295-298.

[18] **Divine Mbom Y. , Josepha Foba T. , Agwara Moise O., Joseph Ketcha M.**, 2014, “CdO Nanoparticles by Thermal Decomposition of a CadmiumHexamethylenetetramine Complex”, *Journal of Materials Science Research*; Vol. 3, No. 3.

[19] **Ye, M., Zhong, H., Zheng, W., Li, R., Li, Y.**, 2007, “Ultralong Cadmium Hydroxide Nanowires: Synthesis, Characterization, and Transformation into CdO Nanostrands. *Langmuir*, 23(17), 9064-9068.

[20] **Zhang, J., Wang, Y., Lin, Z., Huang, F.** 2010, “Formation and Self-Assembly of Cadmium Hydroxide Nanoplates in Molten Composite-Hydroxide Solution”, *Crystal Growth & Design*, 10(10), 4285-4291.

- [21] **Prakash, T., Arunkumar, T., Sathya Raj, D., Jayaprakash, R.** (2013). “Surfactant-liaised Variation in CdO Nanocomposites Morphology”, *Physics Procedia*, 49, 36-43.
- [22] **Ghoshal, T., Biswas, S., Nambissan, P. M. G., Majumdar, G., De, S. K.** (2009). “Cadmium Oxide Octahedrons and Nanowires on the Micro-Octahedrons: A Simple Solvothermal Synthesis”, *Crystal Growth & Design*, 9(3),
- [23] **Tadjarodi, A., Imani, M.** (2011). “A novel nanostructure of cadmium oxide synthesized by mechanochemical method”. *Materials Research Bulletin*, 46(11), 1949-1954.
- [24] **Tadjarodi, A., Imani, M.** (2011b). “Synthesis and characterization of CdO nanocrystalline structure by mechanochemical method”. *Materials Letters*, 65(6), 1025-1027.
- [25] **Shi, W., Wang, C., Wang, H., Zhang, H.** (2006). “Hexagonal Nanodisks of Cadmium Hydroxide and Oxide”, *Journal of Materials Science Research Vol. 3, No. 3*; 2014 11 with Nanoporous Structure. *Crystal Growth & Design*, 6(4), 915-918.
- [26] **Andeani, J. K., Mohsenzadeh, S.** (2013). “Phytosynthesis of Cadmium Oxide Nanoparticles from *Achillea wilhelmsii* Flowers”. *Journal of Chemistry*, 2013, 1-4.
- [27] **Ramazani, M., Morsali, A.** (2011). “Sonochemical syntheses of a new nano-plate cadmium(II) coordination polymer as a precursor for the synthesis of cadmium(II) oxide nanoparticles”, *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(5), 1160-1164
- [28] **Yang, Y., Wang, L., Yan, H., Jin, S., Marksa, T.J., Li, S., 2006.** “Highly transparent and conductive double-layer oxide thin films as anodes for organic light-emitting diodes *Appl.*”, *Phys. Lett.* 89, 051116.
- [29] **Lewis, B.G., Paine, D.C., 2000.** “Applications and Processing of Transparent Conducting Oxides”, *MRS Bull.* 25, 22

- [30] Yan, M., Lane, M., Kannewurf, C.R., Chang, R.P.H., 2001. "Highly conductive epitaxial CdO thin films prepared by pulsed laser deposition", Appl Phys Lett 78, 2342.
- [31] Zheng, B.J., Lian, J.S., Zhao, L., Jiang, Q., 2011. "Vacuum Optical and electrical properties of Sn-doped CdO thin films obtained by pulse laser deposition", Vacuum 85 (2011) 861.
- [32] Coutts, T.J., Young, D.L., Li, X., Mulligan, W.P., Wu, X., Vac, J., 2000. "Search for improved transparent conducting oxides: A fundamental investigation of CdO, Cd₂SnO₄, and Zn₂SnO₄". Sci. Technol. A 18, 2646.
- [33] Metz A.W., Ireland J.R., Zheng J.G., Lobo R.P., Yang Y., Ni J., Stern C.L., Dravid V.P., Bontemps N., Kannewurf C.R., Poeppelmeier K.R., Marks T.J., 2004. "Transparent conducting oxides: texture and microstructure effects on charge carrier mobility in MOCVD-derived CdO thin films grown with a thermally stable, low-melting precursor", J. Am. Chem. Soc. 126, 8477.
- [34] Kumaravela, R., Menakaa, S., Regina, S., Snegaa, M., Ramamurthia, K., Jeganathan, K., 2010. "Electrical optical and structural properties of aluminum doped CdO thin films prepared by spray pyrolysis technique", Materials Chemistry and Physics 122 , 444.
- [35] Bhosale , C.H., Kambale, A.V., Kokate, A.V., Rajpure, K.Y., 2005. Structural, optical and electrical properties of chemically sprayed CdO thin films, Materials Science and Engineering B, 122, 67–71
- [36]Uplane, M.D., Kshirsagar, P.N., BLokhande, B.J., Bhosale, C.H., 1999. "Stability and electronic properties of ZnxCd1-xO alloys", Mater. Chem. Phys. 1, 8630

- [37] **Peter, L.M.**, 1979. “The photoelectrochemical properties of anodic Bi_2S_3 films, Journal of Electroanalytical Chemistry and Interfacial Electrochemistry”, Volume 98, Issue 1, Pages 49-58
- [38] **Zhao, Z., Morel, D.L., Ferekides, C.S.**, 2002. “Electrical and optical properties of tin- doped CdO films deposited by atmospheric metalorganic chemical vapor deposition”, Thin Solid Films 413, 203–211
- [39] **Zheng, B.J., Lian, J.S., Zhao, L., Jiang, Q.**, 2010. “Optical and electrical properties of In- doped CdO thin films fabricated by pulse laser deposition”, Applied Surface Science 256, 2910–2914
- [40] **Saha, B., Das, S., Chattopadhyay, K.K.**, 2007. “Electrical and optical properties of Al doped cadmium oxide thin films deposited by radio frequency magnetron sputtering Solar Energy Materials and Solar Cells”, Volume 91, Issue 18, Pages 1692-1697
- [41] **Jefferson, P.H., Hatfield, S.A., Veal, T.D., King, P.D.C., McConville, C.F., Zuniga- Perez, J., Munoz-Sanjose, V.**, 2008. Appl. Phys. Lett. 92, 022101.
- [42] **Cruz-Gandarilla, F., Morales-Acevedo, A., Vigil, O., Hesiquiogarduno, M., Vaillant, L., ve Contrera-Puente, G.**, 2003. “Micro-Structural Characterization of Annealed Cadmium-Zinc Oxide Thin 91 Films Obtained by Spray Pyrolysis”. Materials Chemistry and Physics, 78:840-846.
- [43] **Navarro, R.M., del Valle, F., Fierro, J.L.G.**, 2008. Int. Journal of Hydrogen Energy 33, 4265.
- [44] **Chopra, K.L., Major, S., Pandya, D.K.**, 1983. “Transparent conductors, A status review Review Article”, Thin Solid Films, Volume 102, Issue 1, Pages 1-46.
- [45] **Choi, Y.S., Lee, C.G., Cho, S.M.**, 1996. “Transparent conducting $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{O}$ thin films prepared by the sol-gel process”, Thin Solid Films 289, 0153.

- [46] **Dakhel, A.A.**, 2008. “Correlated transport and optical phenomena in Ga-doped CdO films”, *Semicond. Sci. Technol.*, 23, 055017.
- [47] **Kondo, R., Okhimura, H., Sakai, Y.**, 1971. “Electrical Properties of Semiconductor Photodiodes with Semitransparent Films”, *Jpn J Appl Phys* 10, 1547.
- [48] **Aksoy, S., Caglar, Y., Ilican, S., Caglar, M.**, 2009. “Effect of heat treatment on physical properties of CdO films deposited by sol–gel method”, *Int. J. Hydrogen Energy* 34, 5191.
- [49] **Galicia, D.M.C., Perez, R.C., Sandoval, O.J., Sandoval, S.J., Delgado, G.T., Romero, C.I.Z.**, 2000. “High transmittance CdO thin films obtained by the sol-gel method”, *Thin Solid Films* 371, 105.
- [50] **Nozik, J.A.**, 2010. “Nanoscience and Nanostructures for Photovoltaics and Solar Fuels”, *Nano Letters* 10, 2735.
- [51] **Vidyasagar, C.C., Naik, Y.A., Venkatesh, T.G., Viswanatha, R.**, 2011. *Powder Technology* 214, 337
- [52] **Flores, M.A., Castanedo, R., Torres, G., Zelaya, O.**, 2009. “Solar Energy Materials & Solar Cells”, 93, 28
- [53] **Aydın, C., El-Nasser, H.M., Yakuphanoglu, F., Yahia, I.S., Aksoy, M.**, 2011. “Nanopowder synthesis of aluminum doped cadmium oxide via sol–gel calcination processing”, *Journal of Alloys and Compounds* 509, 854.
- [54] **Dinek, T.**, 2006. “CdO yarıiletken bileşiğinin spray pyrolysis yöntemi ile elde edilmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [55] **Irmak, S.**, 2006. “Flor katkılı CdO yarıiletken bileşiğinin spray pyrolysis yöntemi ile elde edilmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

[56] **Akyüz, İ.** 2005. “CdO Filmlerinin Bazı Fiziksel Özellikleri Üzerine Al Katkılama ve Tavlama İşlemlerinin Etkileri”, *Katıhal Fiziği Doktora Tezi*, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Tokat.

[57] **Ferro, R. ve Rodriguez, J.A.**, 1999, Some physical properties of F-doped CdO thin films deposited by spray pyrolysis, *Thin Solid Films*, 347, 295-298.

[58] **Sandra K. Y.**, “Overview of Sol-Gel Science and Technology” Army Research Laboratory, January 2002.

[59] **Lide, D. R.**, “Handbook of chemistry and Physics.” Boca Raton, FL: CRC Press LLC, 1992.

[60] **Brinker, C. J., Scherer G. W.**, “The Physics and Chemistry of Sol Gel Processing”. Columbus, SolGel Science, New York, Academic Press Inc., 1990.

[61] **Brinker, C. J.**, “The Colloid Chemistry of Silica. Columb“ SoI-Gel Processing. New York, Academic Press, Inc., 1990. 24.

[62] **Brinker, C. J.**, “Journal of Non-Crystalline Solids“ SoI-Gel Processing. Colombus OH, ACS Publication, 1994.

[63] **Demir, M.**, 2005. “SnO₂ filmlerinin bazı fiziksel özellikleri üzerine taban sıcaklığının etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

[64] **Ateş T.** 2012, “Metal Oksit Yarıiletken Malzemelerin Üretilmesi Ve Kuartz Kristal Mikroterazi Nem Sensörlerinin Hazırlanması”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

[65] Aydın C, 2010. Metal Oksit Katkili Yariiletken Malzemelerin Üretilmesi Ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

[66] Aydın C., El-Nasser H.M., Yakuphanoglu F, Aksoy M., Nanopowder synthesis of aluminium doped cadmium oxide via sol-gel calcination processing, Journal of Alloys and Compound, 509, 2011, 854-858

10. ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Malatya ‘da doğdu. İlköğrenimini Malatya Atatürk İlköğretim Okulu ‘nda tamamladı. Malatya Cumhuriyet Lisesi ‘nde Lise öğrenimini tamamladı. 2011 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü ‘nden başarıyla mezun oldu. 2012 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilim Dalı ‘nda yüksek lisans eğitimine başladı. Özel girişimlerin sahibi olduğu çeşitli döküm fabrikalarında Mühendis ve Supervisor olarak halen görev yapmaktadır.

Mehmet TAKGÜN