

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**ZnO NANOKRİSTALLERİNDE  
ELEKTROMANYETİK RADYASYON ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Lale SEPET**

**Anabilim Dalı : Enerji Bilim ve Teknoloji**

**Programı : Enerji Bilim ve Teknoloji**

**OCAK 2010**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**ZnO NANOKRİSTALLERİNDE  
ELEKTROMANYETİK RADYASYON ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Lale SEPET  
(30100001020)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2009**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Ocak 2010**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. N.D. BAYDOĞAN (İTÜ)  
Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. H. ÇİMENÖĞLU (İTÜ)  
Doç.Dr. N. ALTINSOY (İTÜ)**

**OCAK 2010**







## ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamı, ZnO nanokristalleri konusunda gerçekleştirmekle biraz olsun farklı bir dünyanın kapıları araladığımı düşünüyorum. Nano boyuttaki yapıların, kendine özgü davranışlarının, günlük yaşamımızda oldukça etkin rol oynadıklarını görmekle inanılmazla ulaşmanın etkileyici olduğunu belirtmeliyim. Böyle bir rüyaya kısa bir an için uzanmamı sağlayan ve bana eldeki imkanların tümünü sunan danışmanım öğretim üyesi Sn. Doç. Dr. Nilgün DOĞAN BAYDOĞAN hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca ince film kaplama laboratuvarı olanaklarından yararlanma izinini veren İ.T.Ü Kimya – Metalurji Fakültesi öğretim üyesi Sn. Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENOĞLU'na ve laboratuvar çalışmalarım esnasında desteklerini esirgemeyen Arş. Gör. Onur MERDANOĞLU ve Arş. Gör. Mert GÜNYÜZ'e teşekkür ederim.

Aralık 2009

Lale Sepet  
( Fizik )





## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
SEMBOL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
ABSTRACT.....	xix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. RADYASYON İLE MADDE ARASINDAKİ ETKİLEŞMELER.....</b>	<b>9</b>
2.1 Elektromagnetik Radyasyonların Madde Tarafından Absorpsiyonu.....	13
2.2 Gama Işınları İle Madde Arasındaki Karşılıklı Etki.....	14
2.2.1 Fotoelektrik olay.....	14
2.2.2 Compton olayı.....	15
2.2.3 Çift oluşumu.....	17
2.3 Optik Yapılarda Elektronik Geçiş Tipleri ve Enerji Bant Aralıkları.....	17
2.3.1 İç bant geçişleri.....	18
<b>3. SOL – JEL YÖNTEMİ.....</b>	<b>21</b>
3.1 Daldırarak Kaplama Yöntemi.....	22
3.1.1 Daldırarak kaplama yöntemi ile ilgili genel uygulamalar.....	22
3.1.2 Daldırma yönteminin üstünlükleri.....	23
3.1.3 Daldırma yönteminin sınırları.....	24
3.2 Döndürerek Kaplama Yöntemi.....	24
<b>4. DENEY.....</b>	<b>27</b>
4.1 Taşıyıcıların Hazırlanması.....	27
4.2 Solüsyonun Hazırlanması.....	28
4.3 Sol – Gel Daldırarak Kaplama Yöntemi ile Taşıyıcının Hazırlanması.....	29
4.4 Çalışılan Co – 60 Radyoizotopunun Tanıtımı.....	30
4.5 Işınlama Düzeneklerinin Tanıtımı.....	30
4.6 Deneyin Yapılışı.....	31
<b>5. DENEYİN SONUÇLARI.....</b>	<b>33</b>
5.1 ZnO İnce Filmlerin Kristal Yapılarının İncelenmesi.....	33
5.2 ZnO İnce Filmlerin Optik Geçirgenliğinin İncelenmesi.....	34
5.2.1 ZnO İnce filmlerin tabaka sayısına bağlı optik geçirgenliği.....	34
5.2.2 ZnO İnce filmlerin tavlama sıcaklığına bağlı optik geçirgenliği.....	37
5.3 ZnO İnce Filmlerindeki Optik Yansıtma Özelliğinin Belirlenmesi.....	40
5.3.1 ZnO İnce filmlerin tabaka sayısına bağlı optik yansıtıcılığı.....	41
5.3.2 ZnO İnce filmlerin tavlama sıcaklığına bağlı optik yansıtıcılığı.....	44
5.4 ZnO İnce Filmlerinin Optik Soğurma Özelliklerinin Belirlenmesi.....	47
5.4.1 ZnO İnce filmlerin tabaka sayısına bağlı optik soğurması.....	47

5.4.2 ZnO İnce filmlerin tavlama sıcaklığına bağlı optik soğurması .....	50
5.5 Co 60 Gama Kaynağı ile Işınlanan ZnO İnce Filmlerinin Optik Özelliklerinin Belirlenmesi.....	53
5.5.1 Co 60 Gama kaynağı ile farklı dozlarda ışınlanan ZnO ince filmlerinin optik geçirgenlik özelliğinin tavlama sıcaklığı değişimine bağlı belirlenmesi.....	54
5.5.2 Co 60 Gama kaynağı ile farklı dozlarda ışınlanan ZnO ince filmlerinin optik yansıtma özelliğinin tavlama sıcaklığı değişimine bağlı belirlenmesi.....	56
5.5.3 Co 60 Gama kaynağı ile farklı dozlarda ışınlanan ZnO ince filmlerinin optik soğurma özelliğinin tavlama sıcaklığı değişimine bağlı belirlenmesi.....	59
5.6 ZnO İnce Filmlerinin Enerji Bant Aralıklarının Belirlenmesi.....	61
5.7 Deney Sonuçlarının Mukayeseli İncelenmesi.....	70
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>77</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>79</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>83</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>105</b>

## KISALTMALAR

<b>AZO</b>	: Al katkılı Çinko Oksit İnce Filmler
<b>DEA</b>	: Di Ethanolamine
<b>ITO</b>	: İndiyum Kalay Oksit İnce Filmler
<b>NIR</b>	: Yakın Kızılötesi Işıklar
<b>TCO</b>	: Geçirgen İletken Oksit İnce Filmler
<b>UV - A</b>	: Morötesi Işıklar A Bölgesi (315 nm – 380 nm)
<b>UV - B</b>	: Morötesi Işıklar B Bölgesi (280 nm – 315 nm)
<b>UV</b>	: Morötesi Işıklar
<b>VIS</b>	: Görünür Işıklar
<b>XRD</b>	: X Işıkları Kırınımı



## ÇİZELGE LİSTESİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
<b>Çizelge 5.1 :</b> Işınlanmayan ve Co 60 Gama Kaynağı ile Işınlanan ZnO İnce Filmlerde Geçirgenliğin Başladığı Dalgaboyları.....	71
<b>Çizelge 5.2 :</b> Enerji Bant Aralıkları ile Optik Geçirgenliğin Olmadığı Dalgaboyuna Karşılık Gelen Enerji Bant Aralıklarının Kıyaslanması..	74



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1	: Elektromanyetik Spektrum.....	11
Şekil 2.2	: Compton Saçılması.....	15
Şekil 4.1	: Ultrasonik Banyo Cihazı.....	28
Şekil 4.2	: Daldırarak Kaplama Cihazı.....	29
Şekil 4.3	: ( a ) Co 60 radyoizotopu ve ( b ) Işınlama düzeneği.....	30
Şekil 5.1	: 600°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmin XRD sonuçları.....	33
Şekil 5.2	: 400°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin geçirgenlik değişimi...35	
Şekil 5.3	: 450°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin geçirgenlik değişimi...35	
Şekil 5.4	: 500°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin geçirgenlik değişimi...36	
Şekil 5.5	: 550°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin geçirgenlik değişimi...36	
Şekil 5.6	: 600°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin geçirgenlik değişimi...37	
Şekil 5.7	: Tek tabakalı ZnO ince filmlerinin geçirgenlik değişimi.....	38
Şekil 5.8	: Çift tabakalı ZnO ince filmlerinin geçirgenlik değişimi.....	38
Şekil 5.9	: Üç tabakalı ZnO ince filmlerinin geçirgenlik değişimi.....	39
Şekil 5.10	: Dört tabakalı ZnO ince filmlerinin geçirgenlik değişimi.....	39
Şekil 5.11	: Beş tabakalı ZnO ince filmlerinin geçirgenlik değişimi.....	40
Şekil 5.12	: 400°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin yansıtıcılık değişimi...41	
Şekil 5.13	: 450°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin yansıtıcılık değişimi...42	
Şekil 5.14	: 500°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin yansıtıcılık değişimi...42	
Şekil 5.15	: 550°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin yansıtıcılık değişimi...43	
Şekil 5.16	: 600°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin yansıtıcılık değişimi...43	
Şekil 5.17	: Tek tabakalı ZnO ince filmlerinin yansıtıcılık değişimi.....	44
Şekil 5.18	: Çift tabakalı ZnO ince filmlerinin yansıtıcılık değişimi.....	45
Şekil 5.19	: Üç tabakalı ZnO ince filmlerinin yansıtıcılık değişimi.....	45
Şekil 5.20	: Dört tabakalı ZnO ince filmlerinin yansıtıcılık değişimi.....	46
Şekil 5.21	: Beş tabakalı ZnO ince filmlerinin yansıtıcılık değişimi.....	46
Şekil 5.22	: 400°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin soğurma değişimi.....	47
Şekil 5.23	: 450°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin soğurma değişimi.....	48
Şekil 5.24	: 500°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin soğurma değişimi.....	48
Şekil 5.25	: 550°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin soğurma değişimi.....	49
Şekil 5.26	: 600°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin soğurma değişimi.....	49
Şekil 5.27	: Tek tabakalı ZnO ince filmlerinin soğurma değişimi.....	50
Şekil 5.28	: Çift tabakalı ZnO ince filmlerinin soğurma değişimi.....	51
Şekil 5.29	: Üç tabakalı ZnO ince filmlerinin soğurma değişimi.....	51
Şekil 5.30	: Dört tabakalı ZnO ince filmlerinin soğurma değişimi.....	52
Şekil 5.31	: Beş tabakalı ZnO ince filmlerinin soğurma değişimi.....	53
Şekil 5.32	: 0.0496 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı değişimi.....	54

<b>Şekil 5.33</b> : 0.157824 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı geçirgenlik değişimi.....	55
<b>Şekil 5.34</b> : 0.2868 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı değişimi.....	55
<b>Şekil 5.35</b> : 0.354541 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı değişimi.....	56
<b>Şekil 5.36</b> : 0.0496 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı yansıtıcılık değişimi.....	57
<b>Şekil 5.37</b> : 0.157824 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı yansıtıcılık değişimi.....	57
<b>Şekil 5.38</b> : 0.2868 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı yansıtıcılık değişimi.....	58
<b>Şekil 5.39</b> : 0.354541 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı yansıtıcılık değişimi.....	58
<b>Şekil 5.40</b> : 0.0496 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı soğurma değişimi.....	59
<b>Şekil 5.41</b> : 0.157824 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı soğurma değişimi.....	60
<b>Şekil 5.42</b> : 0.2868 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı soğurma değişimi.....	60
<b>Şekil 5.43</b> : 0.354541 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı soğurma değişimi.....	61
<b>Şekil 5.44</b> : Işınlanmayan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin enerji bant aralıkları....	62
<b>Şekil 5.45</b> : 0.0496 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin enerji bant aralıkları.....	63
<b>Şekil 5.46</b> : 0.157824 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin enerji bant aralıkları.....	63
<b>Şekil 5.47</b> : 0.2868 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin enerji bant aralıkları.....	64
<b>Şekil 5.48</b> : 0.354541 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin enerji bant aralıkları.....	64
<b>Şekil 5.49</b> : 400°C sıcaklıkta tavlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin soğrulan doza bağlı enerji bant aralığı değişimi.....	65
<b>Şekil 5.50</b> : 450°C sıcaklıkta tavlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin soğrulan doza bağlı enerji bant aralığı değişimi.....	65
<b>Şekil 5.51</b> : 500°C sıcaklıkta tavlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin soğrulan doza bağlı enerji bant aralığı değişimi.....	66
<b>Şekil 5.52</b> : 550°C sıcaklıkta tavlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin soğrulan doza bağlı enerji bant aralığı değişimi.....	66
<b>Şekil 5.53</b> : 600°C sıcaklıkta tavlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin soğrulan doza bağlı enerji bant aralığı değişimi.....	67
<b>Şekil 5.54</b> : Işınlanmayan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı enerji bant aralığı değişimi.....	68
<b>Şekil 5.55</b> : 0.0496 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı enerji bant aralığı değişimi.....	68
<b>Şekil 5.56</b> : 0.157824 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı enerji bant aralığı değişimi.....	69



<b>Şekil 5.57</b> : 0.2868 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı enerji bant aralığı değişimi.....	69
<b>Şekil 5.58</b> : 0.354541 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı enerji bant aralığı değişimi.....	70
<b>Şekil A.1</b> : 0.0641 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı geçirgenlik değişimi.....	84
<b>Şekil A.2</b> : 0.095494 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı geçirgenlik değişimi.....	84
<b>Şekil A.3</b> : 0.118469 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı geçirgenlik değişimi.....	85
<b>Şekil A.4</b> : 0.206392 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı geçirgenlik değişimi.....	85
<b>Şekil A.5</b> : 0.231974 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı geçirgenlik değişimi.....	86
<b>Şekil A.6</b> : 0.262941 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı geçirgenlik değişimi.....	86
<b>Şekil A.7</b> : 0.326311 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı geçirgenlik değişimi.....	87
<b>Şekil B.1</b> : 0.0641 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı yansıtıcılık değişimi.....	88
<b>Şekil B.2</b> : 0.095494 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı yansıtıcılık değişimi.....	88
<b>Şekil B.3</b> : 0.118469 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı yansıtıcılık değişimi.....	89
<b>Şekil B.4</b> : 0.206392 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı yansıtıcılık değişimi.....	89
<b>Şekil B.5</b> : 0.231974 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı yansıtıcılık değişimi.....	90
<b>Şekil B.6</b> : 0.262941 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı yansıtıcılık değişimi.....	90
<b>Şekil B.7</b> : 0.326311 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı yansıtıcılık değişimi.....	91
<b>Şekil C.1</b> : 0.0641 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı soğurma değişimi.....	92
<b>Şekil C.2</b> : 0.095494 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı soğurma değişimi.....	92
<b>Şekil C.3</b> : 0.118469 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı soğurma değişimi.....	93
<b>Şekil C.4</b> : 0.206392 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı soğurma değişimi.....	93
<b>Şekil C.5</b> : 0.231974 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı soğurma değişimi.....	94
<b>Şekil C.6</b> : 0.262941 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı soğurma değişimi.....	94
<b>Şekil C.7</b> : 0.326311 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı soğurma değişimi.....	95
<b>Şekil D.1</b> : 0.0641 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin enerji bant aralıkları.....	96

<b>Şekil D.2</b> : 0.095494 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin enerji bant aralıkları.....	96
<b>Şekil D.3</b> : 0.118469 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin enerji bant aralıkları.....	97
<b>Şekil D.4</b> : 0.206392 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin enerji bant aralıkları.....	97
<b>Şekil D.5</b> : 0.231974 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin enerji bant aralıkları.....	98
<b>Şekil D.6</b> : 0.262941 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin enerji bant aralıkları.....	98
<b>Şekil D.7</b> : 0.326311 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin enerji bant aralıkları.....	99
<b>Şekil E.1</b> : 0.0641 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı enerji bant aralığı değişimi.....	100
<b>Şekil E.2</b> : 0.095494 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı enerji bant aralığı değişimi.....	100
<b>Şekil E.3</b> : 0.118469 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı enerji bant aralığı değişimi.....	101
<b>Şekil E.4</b> : 0.206392 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı enerji bant aralığı değişimi.....	101
<b>Şekil E.5</b> : 0.231974 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı enerji bant aralığı değişimi.....	102
<b>Şekil E.6</b> : 0.262941 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı enerji bant aralığı değişimi.....	102
<b>Şekil E.7</b> : 0.326311 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı enerji bant aralığı değişimi.....	103

## SEMBOL LİSTESİ

A	aktivite
A	optik Soğurma
Al	Alüminyum
c	ışık Hızı
C	yarıiletkenlerde doğrudan geçiş sabiti
Co 60	kütle numarası 60 olan Kobalt
d	ince film kalınlığı
$\dot{D}$	radioaktif kaynak doz hızı
E	enerji
$E_A$	optik soğrulan enerji
$E_g$	optik bant aralığı
$E_\gamma$	gama fotonunun enerjisi
h	Planck sabiti
${}_2\text{He}^4$	Helyum
I	ortamdan geçen elektromanyetik radyasyon şiddeti
$I_0$	elektromanyetik dalga şiddeti
k	çift oluşum soğurma katsayısı
$K_\alpha$	atomun k'inci kabuğunun yayınladığı $\alpha$ serisi ışınım
$K_\gamma$	gama sabiti
L	optik kayıp
m	kütle
M	momentum
r	uzaklık
R	optik yansıtıcılık
S	optik saçılma
T	kinetik enerji
T	optik geçirgenlik
V	hız
W	çıkış ışığı
x	soğurucu malzemenin kalınlığı
$x_{1/2}$	soğurucu malzemenin yarı kalınlığı
Z	atom numarası
ZnO	Çinko Oksit
$\alpha$	optik soğurma katsayısı
$\Delta\lambda$	dalgaboyları arasındaki fark
$\mu$	lineer soğurma katsayısı
v	elektromanyetik dalga frekansı
$v_0$	fotoelektrik olayda eşik frekansı
$\theta_B$	Bragg difraksiyon açısı
$\sigma$	Compton soğurma katsayısı
$\tau$	fotoelektrik soğurma katsayısı



# ZnO NANOKRİSTALLERİNDE ELEKTROMANYETİK RADYASYON ETKİSİ

## ÖZET

ZnO, hem yarıiletken ve hemde piezoelektrik özellikler göstermesi bakımından eşsiz bir malzemedir. ZnO nanomalzemelerinin UV dedektörler, biosensörler, gaz sensörleri, fotodedektörler, güneş pilleri, ışık yayılım cihazları (LEDs), laser sistemleri, elektron yayınlıyıcı, UV yayınlıyıcı cihazlar, alan tesirli transistörler gibi çeşitli uygulama alanları mevcuttur. Dolayısıyla yalıtkan ZnO ince filmler yüzey akustik dalga cihazları (SAW), hacimsel akustik dalga cihazları (BAW), akustik – optik cihazlar ve mikroeletromekanik sistemler (MEMS) gibi farklı uygulamalarda kullanılmakta ve üretim parametrelerine bağlı olarak, ZnO yapı amorf bir yapıdan, kristal yapıya dönüşebilmektedir.

Söz konusu yüksek lisans tez çalışmasında, ZnO ince filmler, sol-jel daldırma yöntemi (dip coating) ile soda-kireç-silika cam taşıyıcılar üzerinde kaplanmıştır. ZnO ince filmin üretim parametreleri, nanokristal bir yapı üretmek için detaylı bir şekilde belirlenmesi hedeflenmiştir.

Gama ışınları ile ışınlama işleminden sonra uyartılan ZnO nanokristal yapıda enerji bant aralığında oluşan değişimler incelenmiştir. Co 60 radyoizotopu ile ZnO nanoyapının farklı soğurma dozlarında ışınlanmasından sonra soğurma kenarında ve enerji bant aralığındaki değişimler tavlama sıcaklığının artışı ile incelenmiştir. Böylece, ZnO yapının soğurduğu radyasyon dozu ile, morötesi bölgedeki enerjetik elektromanyetik radyasyonun geçişi kontrol edilmiştir.

ZnO nanoyapının üretim parametrelerinden tavlama sıcaklığı, sıcaklık artışına bağlı olarak ZnO yapıdaki kristalleşme özelliğini etkilediğinden, ZnO ince filmlerde kristal yapı elde etmek amacıyla farklı tavlama sıcaklıklarında tavlama işlemi uygulanmıştır. Co 60 radyoizotopu ile uyartılan ZnO nanokristalitlerde yapının kristal özellikleri detaylı bir şekilde farklı tavlama sıcaklıklarında tavlama ZnO ince filmleri incelenmiştir. Böylece, ZnO nanokristallerindeki kristallenme gelişimi detaylı bir şekilde gözlenmiştir. ZnO nanoyapının kristallenme gelişimine bağlı olarak fiziksel özelliklerini etkileyen üretim koşulları ayrıntılı bir şekilde tespit edilmiştir. Co 60 radyoizotopu kullanılarak, gama ışınları ile uyartılan ZnO nanoyapının, soğurma kenarı (absorption edge) ve enerji bant aralığındaki değişimler, tavlama sıcaklığına bağlı olarak hassas bir şekilde belirlenmiştir.



## **ELECTROMAGNETIC RADIATION EFFECT ON ZnO NANOCRYSTALLITES**

### **ABSTRACT**

ZnO is a unique structure as it has both semiconductor and piezoelectric properties. ZnO is extensively studied because of its potential applications in various fields as ZnO nanomaterials, such as UV detectors, biosensors, gas sensor, photo-detectors, solar cells, light emitting diodes (LEDs), UV laser systems, electron emitters, ultraviolet light emitting devices and field – effect transistors. Hence, insulating ZnO thin films are used in surface acoustic wave (SAW), acoustic wave devices (BAW), acoustic – optic devices and microelectromechanical systems (MEMS) and ZnO structure can change from the amorphous structure to the crystalline structure due to the production parameters.

ZnO thin films have coated by sol-gel dip coating process on soda-lime-silicate glass substrates. The production parameters of ZnO thin film have been determined clearly to produce the nanocrystalline structure.

The changes on energy band gap at induced ZnO nanostructure has investigated after the irradiation treatment by gamma rays. After the irradiation of ZnO nanostructure by Co-60 radioisotope at different absorbed dose the changes of absorption edge and energy band gap investigated with the increase of the annealing temperature. Therefore it could have been possible to control the transmittance of energetic electromagnetic radiation at ultraviolet range by the absorbed dose of ZnO.

ZnO thin films annealed at different firing temperatures which improved the ZnO nanostructure by increasing the Post - heating temperature and to investigate the crystalline properties of the structure at induced ZnO nanocrystallites by Co-60 radioisotope. Hence, the development of the crystallization at ZnO nanocrystallites were examined clearly at different annealing temperature and irradiated dose. So, ZnO nanocrystallites have been able regularly to observe the change of ZnO nanostructure. ZnO nanostructure to crystallize under specific production conditions which have been studied very clearly and the irradiated ZnO nanostructure at different absorbed dose determined the changes of absorption edge and energy band gap with the production parameters of annealing temperatures.





## 1. GİRİŞ

Yapılan yüksek lisans tez çalışmasında, sol-jel daldırma yöntemi (dip coating) ile kaplanan ve çeşitli cihaz ve düzeneklerde kullanılabilen ZnO nanoyapının, fiziksel özelliklerini etkileyen üretim parametreleri detaylı bir şekilde tespit edilmiştir. Co 60 radyoizotopu kullanılarak, gama ışınları ile uyartılan ZnO nanoyapının, soğurma kenarı (absorption edge) ve enerji bant aralığındaki değişimler, tavlama sıcaklığına bağlı olarak hassas bir şekilde belirlenmiştir. Bu yüksek lisans tez çalışması ile, literatür özetinde belirtilen devre ve sistemlerde kullanılan ZnO ince filmlerinin yapısal davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır.

Morötesi bölgeyi, UV-A (315-380 nm) ve UV-B (280-315 nm) olarak ikiye ayırmak gerekirse, özellikle morötesi bölgedeki sert ışınları içeren UV-B bölgedeki morötesi ışınların geçirgenliğinin, gama ışınları ile işlem gören ZnO nanokristalitlerde filtrelenebilmesi amaçlanmaktadır. Böylece, ZnO ince filmlerinin optimum kullanım detayları belirlenmiştir. Bu amaçla, ZnO ince filmlerde; film kalınlığının optik özelliklere etkisini incelemek için farklı tabaka sayılarında ZnO ince filmler hazırlanmıştır. ZnO nanokristalitlerindeki kristalleşme özelliğini detaylı bir şekilde incelenmesi amacı ile ZnO ince filmleri farklı tavlama sıcaklıklarında tavlantmıştır. Tavlama sıcaklığı, sıcaklık artışına bağlı olarak ZnO yapıdaki kristalleşme özelliğini etkilediğinden, ZnO ince filmlerinde kristal yapı elde etmek için 5 farklı tavlama sıcaklığında tavlama işlemi uygulanmıştır. Böylece, ZnO nanokristalitlerdeki, kristalleşme özelliğindeki gelişim detaylı bir şekilde incelenmiştir.

ZnO ince filmlerine ilişkin yapılan ön çalışmalarda, farklı doz ve tavlama sıcaklıklarında, ZnO nanokristalit yapıda Burstein - Moss etkisi oluşturulmuştur. Böylece, ZnO nanokristalit yapının soğurma kenarında bazı değişimler olduğu tespit edilmiş olup gama ışınları ile ZnO nanoyapıda Burstein-Moss etkisinin oluşturulmasıyla, söz konusu geçirgen nanoyapının ultraviyole geçirgenliğinin kontrol edilebileceği düşünülmüştür.

Yapılan yüksek lisans tez çalışması kapsamında, ışınlama işlemi sonunda ZnO nanokristalitlerin soğurduğu radyasyon dozunun, soğurma kenarına olan etkisi incelenerek enerji bant aralığındaki değişimler detaylı bir şekilde belirlenmiştir.

Yüksek lisans tez çalışması için üretilen ZnO oksit filmleri özellikle tercih edilmiştir. Uygulama alanları çok çeşitlilik göstermektedir. Gaz sensörleri, fotodedektörler, güneş pilleri, ışık yayılım cihazları (LEDs) ve laser sistemleri bunlar arasında sayılabilirler (Hongxia ve diğ., 2005). ZnO ince filmleri, 3.3 eV gibi geniş bant aralığına ve oda sıcaklığında 60 MeV eksiton yüksek bağlanma enerjisine sahip  $n -$  tipi yarıiletken bir malzemedir (Seungho ve diğ., 2009). Kristallenme şekli hekzagonal Wurtz yapısındadır ( $c = 5.205$  ve  $a = 3.249$ ). ZnO nanoyapılarının optik, elektrik, piezoelektrik ve mekanik özellikler göstermesi bakımından oldukça ilgi çekicidir (Hyeon ve diğ., 2009; Suengho ve diğ., 2009). Yüksek eksiton bağlanma enerjisi elektronik cihazların düşük eşik voltajında çalışmalarına neden olmaktadır. Bu nedenle ZnO ince filmleri tercih sebebidir (Singla ve diğ., 2009). Çeşitli elektronik yapılarda elektron yayınlıyıcı, UV yayınlıyıcı cihazlar ve alan tesirli transistörler olarak kullanılabilirler (Seungho ve diğ., 2009). Ayrıca, ZnO nanomalzemelerinin biosensörler ve UV dedektörler gibi günümüze kadar olan farklı uygulamaları geliştirilmiştir (Schuler, 2006).

ZnO nano yapılarının taşıyıcı malzemeye dik doğrultudaki  $c -$  eksen boyunca büyümeleri, piezoelektrik özelliği göstermelerinin nedenidir. Bu özelliklerinden dolayı yüzey akustik dalga cihazları (SAW), hacimsel akustik dalga cihazları (BAW), akustik – optik cihazlar ve mikroeletromekanik sistemler (MEMS) olarak kullanılmaktadırlar (Dinghua ve diğ., 1998). Geçirgen ZnO ince filmleri Al, Ga, vb. elementleri ile katkılıklarında iyi elektrik iletkenliği gösterirler. Katkılı ZnO ince filmler geçirgen iletken elektrot olarak bazı önemli cihazlarda İndiyum Kalay Oksit (ITO) yerine kullanılırlar. Yalıtkan ZnO filmler piezoelektrik uygulamalarda kullanılırken, yüksek iletken filmler ise geçirgen iletken elektrot olarak kullanılmaktadır (Srikant, 1997). İletken ZnO ince filmleri iyi bir kızılötesi yansıtıcıdır ve enerji verimliliğinin pencerelerden sağlanması gibi uygulama alanları mevcuttur. Isıyı yalıtan pencerelerde, yüksek düzeyde kızılötesi ışınlarını yansıtıcıları ve düşük düzeyde ısı yayılımı yapmaları beklenmektedir. Hidrojen plazması içerisinde İndiyum Kalay Oksit (ITO)

malzemesinden daha kararlı bir yapı göstermeleri nedeniyle hidrojenik amorf silikon güneş pilleri üretiminde kullanılabilirler. ZnO ince filmleri, yarıiletken gaz sensörleri uygulamaları için oldukça ümit vericidir (Dinghua ve diğ., 1998).

Çinko Oksidin optik özellikleri, yasak bölgedeki hapsedilmiş yük taşıyıcılarından dolayı ilgi çekicidir. Çünkü enerji bant aralığının genişlemesinden sorumludurlar (Singla ve diğ., 2009).

ZnO ince filmleri pek çok yöntemle üretilebilirler. Bunlar arasında sanayiye uygulanabilirliği açısından basit ve ekonomik olmasından dolayı en tercih edilen sol –jel üretim yöntemidir. Son yıllarda yaygın olarak kullanılan sol – jel yöntemi PT, PZT, KTN, BT gibi çeşitli ince filmlerin üretiminde kullanılmıştır. ZnO ince filmi de bunlardan biridir. Ayrıca, ZnO ince filminin metal tuzu olan çinko asetat kolay bulunan ekonomik bir malzemedir (Dinghua ve diğ., 1998).

ZnO ince filmlerinin, yapısındaki nano taneciklerin geliştirilmesinde yalnızca üretim teknikleri etkili değildir. Üretim koşulları da oldukça önem kazanmaktadır. Üretim koşullarından en önemli etki unsuru tavlama sıcaklığıdır. Tavlama sıcaklığı, ZnO nanoyapılardaki malzeme özelliğini değil aynı zamanda geçirgenlik özelliklerini ve ZnO ince filminin yüzey yapısını etkilemektedir (Hongxia ve diğ., 2005).

ZnO yapılar doğrudan optik geçişe ve geniş bir enerji bant aralığına sahip, fonksiyonel malzemeler olarak kullanılmaktadır. Bu malzemeler, oldukça iyi kimyasal ve termal kararlılığa sahiptir. Son tavlama işlemi, ZnO ince filmlerin optik ve kristal yapıya ilişkin özelliklerinde önemli bir rol oynamakta olup yapının amorf yapıdan kristale dönüşümünde yakından bağlantılıdır. Tavlama sıcaklığı, kaplama prosesi boyunca kristal kalitesini, oksijen kusurlarını ve lokal yapıyı etkileyen hassas parametrelerden birisi olarak göz önüne alınmaktadır. ZnO ince filmler, çeşitli elementler ile katkılandığında genelde enerji bant aralığı genişleyerek soğurma kenarı (absorption edge) daha kısa dalgaboyuna kaymaktadır (blue shift). ZnO ince filmde taşıyıcı konsantrasyonunun artmasıyla, soğurma kenarının daha kısa dalgaboyuna kayması olarak tanımlanan Burstein - Moss etkisi meydana gelmektedir (Sahal, 2009; Ka, 2009; Tang, 1994; Gonzales, 1998; Gao,2006; Triboulet, 2003; Lou, 2007).

ZnO ince filmlerinin spektroskopisi cihazı ile ölçümlenen optik geçirgenlik oranları bant kenarındaki genişlemeye işaret etmektedir. Bant kenarındaki genişlemenin elektron – boşluk düzensizliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca nano kristal boyutlarının da etken olduğu bilinmektedir. Kristal boyutlarının farklı sıcaklıklardaki soğurma davranışı artışına bağlı olarak geçirgenlik tayfindaki soğurma kenarının artmasına katkıda bulunur. Optik geçirgenlik tayfinda soğurma kenarının maviye kayması optik bant aralığının  $E_g$  genişlediğini göstermektedir. Katkılanan elementler nanokristallerin boyutlarının değişiminde etkili olacaklarından soğurma kenarının kayması ile yakın ilişkilidir. Soğurma kenarının maviye kaymasına neden olan elementler katkılı olduğunda taşıyıcı yoğunluğu artmaktadır (Soumen ve diğ., 2005).

ZnO ince filmlerine Alüminyum katkılanması, elektriksel özelliklerini oldukça farklılaştırmaktadır. Optik geçirgenlik davranışı, soğurma kenarının maviye kaydığını göstermektedir. Elektrik direncinin artması, oksijen atomları yerine elektronların tuzaklanmasıyla sonuçlanır (Valle ve diğ., 2004).

Al katkı oranı dikkate alınmadan Al katkılı ZnO (AZO) ince filmleri 450°C sıcaklıkta tavlendiğinde görünür bölgede geçirgenlik oranı % 80 ölçümlenmiştir. Al katkılı Çinko Oksit ince filmlerde geçirgenliğin başladığı dalgaboyları (cut – off) yaklaşık 375 nm dir. Geçirgenliğin başladığı dalgaboyu 375 nm, ZnO ince filmlerindeki bant aralığına (3.3 eV) çok yakındır. Bu durum filmin kristal yapı kalitesinin oldukça iyi olduğunu göstermektedir. Ayrıca, kayda değer bir durum da optik enerji bant aralığının Al katkı oranının % 3 mol ulaştığında maviye kaymasıdır. Tavlama sıcaklığı 750°C olan ZnO ince filmlerine % 3 mol Al katkılı olduğunda en geniş optik bant aralığı ve en yüksek taşıyıcı konsantrasyonuna ulaşmaktadır. Gözlemler, Burstein – Moss etkisinin soğurma kenarının maviye kayması şeklinde belirlediğini ortaya koymuştur. Diğer taraftan, ZnO ince filmleri % 5 mol oranında Al ile katkılı olduğunda  $E_g$  düşüşü Al atomlarının tanecik yüzeyinden ayırt edilmeksizin aktive olmalarını sağlamaktadır (Li ve diğ., 2006; Shou-Yi ve diğ., 2006; Denghuan ve diğ., 2002; Silva ve Zaniquelli, 2004; Sagar ve diğ., 2005).

AZO ince filmlerde, optik soğurma kenarının tavlama sıcaklığının 750°C'ye artışıyla maviye kaymaktadır. Halbuki, tavlama sıcaklığı 750°C'nin üzerine çıkarıldığında kırmızıya kayma gözlenmektedir. Optik soğurma kenarının kayması

tavlama sıcaklığının artışı ile ince filmlerin kalitesinin değiştiği konusunda fikir vermektedir. Tavlama sıcaklığı 750°C'ye artırıldığında ince filmlerin stokmetresi gelişmektedir (yapı kusurları artmaktadır). Tavlama sıcaklığının 750°C'nin üzerine çıkması ise yapı kusurlarında dramatik artışlara neden olmaktadır. Bu durum, tavlama sıcaklığının 750 – 950°C'de optik soğurma kenarının kırmızıya kaymasıyla sonuçlanır (Hongxia ve diğ., 2005).

Al yoğunluğunun artışı ile soğurma kenarının maviye kaydığı gözlenmiştir. Tavlama sıcaklığının artışı ile geçirgenlik azalmaktadır. Al iyonları filmlerde aynı oranda bulunsalardı, soğurma kenarının davranışı kısa dalgaboylarına kaymaktadır. Soğurma kenarının davranışına Burstein – Moss etkisi olarak adlandırılabilir (Gümüş ve diğ., 2006).

Yüksek geçirgenlik Al katkılı ZnO ince filmlerin en önemli uygulama alanları geçirgen iletken oksit (TCO) ince filmleridir (Li ve diğ., 2006).

ZnO ince filmleri görünür bölgede geçirgen ve keskin bir soğurma kenarına yaklaşık 370 nm dalgaboyunda sahiptir. Enerji bant aralığı 3.3 eV tur. Görünür bölgede % 80 oranında geçirgendir. Geçirgenlik oranındaki artış tavlama sıcaklığının artması ile birlikte optik saçılmanın azalmasına yol açmaktadır. Nano yapıların büyümesiyle yapıların sınır yoğunlukları azalmaktadır (Puricaa ve diğ., 2000).

ZnO ince filmlerine ara tav işlemi uygulandığında, görünür bölgedeki geçirgenlik oranı % 90'lara ulaşmaktadır. Soğurma kenarı 380 nm de gözlenmektedir. 300 – 1100 nm dalgaboyları aralığında ölçüm işlemleri yapıldığında geçirgenliğin daha da arttığı görülmüştür. Görünür bölgedeki optik geçirgenlik ortalama olarak % 95 seviyesine ulaşmıştır ve UV geçirgenliğin başladığı dalgaboyu 380 nm'dedir (Xue ve diğ., 2006; Subramanyam ve diğ., 1999 ).

Alüminyum katkılı ZnO ince filmler Co 60 radyoizotopu kullanılarak ışınlandığında soğurma kenarının maviye kaydığı gözlenmiştir. Katkı oranı gözönüne alınmadığında soğurma kenarının maviye kayma oranı giderek azalmaktadır. ZnO ince filmlerinin ışınlanması sonucu, soğurma kenarının uzun dalgaboylarına kaydıkları gözlenmiştir (Valle ve diğ., 2004; Xu ve diğ. , 2006).

Alüminyum katkılı Çinko Oksit (Al:ZnO) ince filmlerinin enerji bant aralığı 3.29 eV' tur. Vakum ortamında tavlanan % 0.2 Al katkılı ZnO ince filmlerinin ışınlandıktan sonra enerji bant aralığı 3.26 eV olmaktadır. Aynı koşullarda % 1.6 Al

katkılanan ZnO ince filmlerinin enerji bant aralıkları 3.12 eV olup ışlandıktan sonra enerji bant aralıkları 3.00 eV düşmektedir. Işınlanan ve ışınlanmayan Al katkı ZnO ince filmleri için soğrulan enerjiye karşılık gelen fotonun enerji grafiğinde, eğrinin lineer kısmı soğrulan enerjinin sıfır olduğu noktaya ekstrapole edilirse doğrudan geçiş enerji bant aralığı bulunmuş olur. Argon ortamında tavlanan % 1.0 Al katkı ZnO ince filmlerinin doğrudan geçiş bant aralığı 3.32 eV ve ışınlanan filmler için 3.37 eV. Işınlama işleminden sonra Al katkı miktarının artışı ile gözlenen doğrudan bant aralığının maviye kayma oranı artmaktadır (Valle ve diğ., 2004; Gümüş ve diğ., 2006).

Al katkı ZnO ince filmler ışlandıklarında elektriksel ve optik özelliklerinde gözlenmeye değer değişimler oluşmaktadır. Bütün filmlerin elektrik dirençleri radyasyon dozuyla artmaktadır. Filmlerin tavlama ortamı da elektriksel ve optik özellikleri etkilemektedir. Tavlama ortam koşulları, Al katkı oranı artışından daha fazla etkilediği gözlenmiştir (Valle ve diğ., 2004).

Radyasyona maruz bırakılarak malzemenin özelliklerinin geliştirilmesi çeşitli sanayi alanlarında uygulanabilmektedir. Uygulanan radyasyonun dozu ince filmlerin, fiziksel ve kimyasal özelliklerini önemli ölçüde değiştirebilmekte olup Co 60 radyoizotopu ince filmlerde oluşan yapısal değişimlerin incelenmesinde uygun bir radyoizotop olarak karşımıza çıkmaktadır (Baydoğan ve diğ., 2007).

Atomik mikroskopa göre Al katkı ZnO ince filmlerin parçacık büyüklüklerinde artma olmuştur. Enerji bant aralıkları daralmıştır ve soğurma başlangıcı daha uzun dalgaboylarına kaymıştır (Bhat ve diğ., 2007).

ZnO ince filmlerinin keskin soğurma kenarı bulunmaktadır ve genelde UV bölgesinde soğurmanın başladığı görülür. Optik soğurma kenarı, konsantrasyonun artışı ile uzun dalga boylarına kaymaktadır. Optik soğurma, optik bant aralığını ve ZnO ince filmlerinde doğrudan geçişe ait bant aralığı olduğunu göstermektedir. Yarıiletkenlerde doğrudan geçişler için optik bant aralığı  $E_g$ ,  $\alpha \cdot hv = C \cdot (h \cdot v - E_g)^{1/2}$  olarak verilmektedir. Burada  $h \cdot v$  gelen fotonun enerjisi, C doğrudan geçişler için bir sabit ve  $\alpha$  optik soğurma katsayısını göstermektedir. Burada,  $\alpha = (1/d) \cdot \ln(1/T)$  olarak tanımlanmaktadır. Soğurma katsayısı tanımında yer alan d film kalınlığı ve T optik geçirgenliği göstermektedir.  $(\alpha \cdot h \cdot v)^2$   $h \cdot v$ 'nün fonksiyonu olmak üzere, geçirgenlik tayfindan türetilen optik bant aralığı bulunur (Vafae ve Ghamsari,2006).

Al katkılı ZnO ince filmlerinin 450 – 700 nm dalgaboyları arasındaki bölgede ortalama geçirgenliği % 90 dan büyüktür. Elektrik direnci ise  $3.10^{-3} \Omega .cm$  dir. Optik geçirgenlikten türetilen enerji bant aralığı 3.76 eV tur. Bulunan enerji bant aralığı katkılanmamış ZnO ince filmlerinden daha yüksektir. Bant genişliğinin artması Burstein – Moss etkisi ile açıklanamaz. Bazı yazarlar, Al katkılı ZnO ince filmlerinin enerji bant aralığının genişlemesine neden olan etkenleri gözlediler, fakat asıl neden olan unsuru aydınlatamadılar. Genel kanı, Burstein – Moss etkisinin anahtar rolü oynadığıdır. ZnO doğal n – tipi bir malzemedir ve Fermi enerji düzeyi Al ile katkılandığında iletkenlik bandına inmektedir. Fermi enerji seviyesinin olduğu iletkenlik bandı dolu olduğundan soğurma kenarı daha yüksek enerjilere kayması gerekmektedir. Eğer Fermi enerji düzeyi iletkenlik bandına kayması durumunda Al katkılı ZnO ince filmi Sn katkılı Indiyum Oksit ince filmlerinin metalik karakteristiğini gösterir (Castanedo-Pe´rez ve diğ., 1999).





## 2. RADYASYON İLE MADDE ARASINDAKİ ETKİLEŞMELER

ZnO ince filmlerde elektromanyetik radyasyon etkisi incelendiğinden radyasyon kavramı ilgili genel bilgi verilmelidir. Burada Radyasyon sözü üzerinde durulmalıdır. Türkçe tam karşılığı "ışınma" dır. "Işınma" deyiminin buradaki anlamı, İngilizce "radiation", Fransızca "radionnement", Almanca "Strahlung" kelimelerinin karşılığı olarak seçilmiştir. Bu deyimler, elektromanyetik dalga veya hızlı parçacıklar demetinin herhangi bir kaynaktan yayınlanmasını belirtir (Saraç, 1978). Radyasyon, herhangi bir maddesel ortama ihtiyaç duyulmadan boşlukta enerjinin transfer edilmesidir.

Radyasyonlar kaynaklarına göre dört grupta sınıflandırılırlar:

- 1) Atomlardan yayınlanan ışınlar
- 2) Çekirdeklerden yayınlanan ışınlar
- 3) Çeşitli hızlandırıcılardan yayınlanan ışınlar
- 4) Kozmik ışınlar

Konu gereği atomlardan yayınlanan ışınlara kısaca değinilmektedir. Atomlardan yayınlanan ışınlar iki grupta toplanırlar:

- A) Elektromanyetik ışınlar
- B) Auger – elektronları

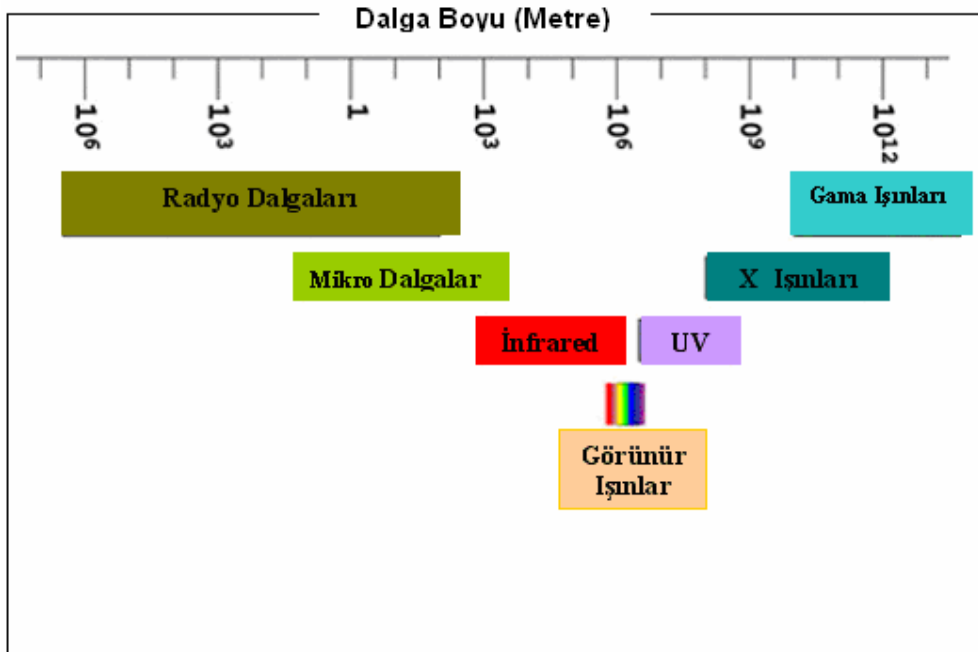
A) Elektromanyetik ışınlar; atomlardan yayınlanan bütün ışınlar iyonlayıcı etkiye sahip olmalarına rağmen bu ışınların sadece bir bölümü (Röntgen ışınları) "Çekirdek ışınları" kapsamına girerler. Bir atomun elektronları aracılığı ile yayınlanan elektromanyetik ışınlar dört gruba ayrılırlar.

- a) Kırmızı altı ışınlar (ısı ışınları): Atom ve moleküllerden yayınlanan en uzun dalgaboylu, en düşük enerjili ışınlardır. Her sıcaklıktaki bütün maddelerden yayınlanırlar. Ancak, sıcaklığı 750°C'ye kadar olan yani yaklaşık 2 – 1000 K arasında bulunan bütün atom ve moleküllerden

öncelikle yayınlanırlar. Düşük sıcaklıklarda yayınlanan kırmızı altı ışınların kaynağı genellikle atom ve moleküllerin dönme ve titreşimleridir. Daha yüksek enerjili kırmızı altı ışınların kaynağı ise genellikle en dış elektron seviyelerindeki geçişlerdir. Foton enerjileri  $\sim (10^{-3} \text{ eV} - 1 \text{ eV})$  ve dalga boyları  $\sim (10^{-1} \text{ cm} - 10^{-4} \text{ cm})$  arasındadır.

- b) Görünür ışınlar (ışık): Atom ve moleküllerden yayınlanan, enerjileri kırmızı altı ile mor üstü ışınlar arasındaki dar bölgeye sıkışmış elektromanyetik ışınlar denir. Kısmen iyonlayıcı ışınlardır. Sıcaklığı yaklaşık olarak  $750^\circ\text{C}$  yani  $10^3 \text{ K}$  üstünde olan bütün maddelerce yayınlanırlar. Atomların en dış elektron seviyelerindeki geçişler vasıtasıyla oluşmaktadır. Foton enerjileri  $\sim (1.6 \text{ eV} - 3.2 \text{ eV})$  ve dalga boyları  $\sim (7.8 \cdot 10^{-5} \text{ cm} - 3.6 \cdot 10^{-5} \text{ cm})$  arasındadır.
- c) Mor üstü ışınlar: Yumuşak röntgen ışınları ile aynı enerji bölgesine düşen kısımlarıyla "çekirdek ışınları" bölgesine dahil edilirler. İyonlayıcı ışılardır. Mor üstü ışınlar, görünür ışınlardan daha yüksek enerjili fakat maddenin derinlerine nüfuz edemeyip yüzeyde yutulan elektromanyetik ışınlardır. Sıcaklığı yaklaşık  $2000 \text{ K}$  veya daha yüksek bütün maddelerce yayınlanırlar. Atomların iç elektron seviyelerindeki geçişler kaynağıdır. Foton enerjileri  $\sim (3.2 \text{ eV} - 500\text{eV})$  ve dalga boyu  $\sim (3.6 \cdot 10^{-5} \text{ cm} - 3 \cdot 10^{-7} \text{ cm})$  arasındadır.
- d) X – ışınları (Röntgen ışınları): Atomların elektron tabakalarından yayınlanabilecek en yüksek enerjili ışınlardır. Yumuşak ve sert X – ışınları olmak üzere ikiye ayrılabilirler. Yumuşak X – ışınları mor üstü ışınların bittiği bölgeden başlar, kısmen mor üstü bölgesiyle de çakışır. Sert X – ışınlarının üst enerji sınırı da kesinlikle belirlenmiş değildir. Karakteristik X – ışınları olarak bilinen ışınların kaynağı atomların en iç elektron seviyelerindeki geçişleridir. Bu seviyelerindeki elektronların çekirdeğe bağlanma enerjileri en fazla olduğundan ilgili geçişlerde serbest bırakılan ışın enerjisi de büyüktür. Bu ışınlar kesikli bir tayfa sahiptirler (çizgi tayfı).

Hızlı elektronların bir madde içinde birden bire yavaşlatılması yoluyla yayınlanan X – ışınlarına "beyaz" X – ışınları denir. Bunlar sürekli bir tayfa sahiptirler. Çoğu zaman sürekli X – ışınları tayfı ile kesikli çizgi tayfı bir arada gözlenirler."Beyaz" X – ışınları oluşmaları bakımından "durdurulma" ışınlarıyla aynı tabiata ve yapıya sahiptirler (Bremsstrahlung). Kesikli tayf 100 keV den sonra sona erer. ( ${}_{92}\text{U}$  için sınır değeri 115 keV dir). X – ışınlarının foton enerjisi  $\sim (20\text{eV} - 20 \text{ GeV})$  ve dalga boyları  $\sim (6.10^{-6} \text{ cm} - 6.10^{-15} \text{ cm})$  arasındadır (Saraç, 1978).



**Şekil 2.1** : Elektromanyetik Spektrum (Richards ve diğ., 1982).

B) Auger elektronları; Auger tarafından 1925 yılında Auger sis odasında argon atomlarından fırlatılan foto elektronlar incelenmekte iken ilk olarak "ışınmasız geçiş" (radiationless transition) keşfedilmiştir. Bu olayda X – ışını yerine bir elektron dışarı fırlatılır. Bu elektronlara daha sonra "Auger elektronu" adı verilmiştir. Olay, X - ışını fotonunun yine aynı atomun bir elektronu tarafından yutulması ve o elektronun aynı enerji farkı ile atom dışına fırlatılmasıdır. Ancak böyle bir olay için X – ışını yayınlanmasını kabul etmek şart değildir. Elektronlar arasında bir Coulomb etkileşmesi ile doğrudan doğruya fazla enerji herhangi bir elektrona aktarılabilir. Herhangi bir etkenle uyarılmış atomların elektron tabakalarıdır. Kesikli enerji tayfına sahiptirler. Enerjileri karakteristik X – ışınları enerjisi mertebesinde (Saraç, 1978).

Tabii radyoaktif çekirdeklerden yayınlanan ışınlar üç grupta incelenmektedir:

- a)  $\alpha$  - ışınları ; kütle sayısı 200'den büyük kararsız çekirdeklerden büyük bir enerji ile fırlatılan  ${}^2\text{He}^4$  çekirdekleridir. 25 kadar tabii yayınlayıcı izotop vardır. Alfa parçacığının kütlesi yaklaşık olarak 4 atom kütle birimine eşittir. Yükü +2 dir. Maddede iyonlaşmaya yol açar.
- b)  $\beta$  - ışınları ; bu ışınlar çekirdekten yüksek hızla fırlatılan elektronlardan ibarettir. Beta bozunumuna çoğunlukla kesikli bir gama tayfı eşlik eder. Bugün için 900 kadar beta yayınlayıcı izotop mevcuttur. Bunlardan yalnız 20 kadarı tabii radyoaktif izoplardır. Diğerleri ise yapay yollarla elde edilirler. Beta bozunumu, çekirdekteki bir nötronun bir proton ve bir beta parçacığına ayrılması demektir. "Nötrino" adı verilen yüksüz ve çok küçük kütleli bir parçacık da yayınlanmaktadır. Bu parçacık enerjinin bir kısmını taşır. Beta ışınlarının en büyük enerji sınırı 3.15 MeV dir. Yüksek enerjili beta ışınlarının hızı, ışık hızı olan 300 000 km / sn ye yaklaşır. Beta ışınları iyonlaştırıcı ışınlardır.
- c)  $\gamma$  - ışınları ; Yüksüz taneciklerdir. Enerji kuantumları ışmasıdır. İki çeşit gama tayfı vardır. Kesikli ve sürekli tayf veya durdurma (frenleme) tayfı. Sürekli tayf X – ışınları tayfına benzemektedir. Bu tip sürekli gama tayfları çekirdekten bir parçacığın yayınlanması izler. Kesikli tayf için böyle bir şart yoktur. Kesikli gama ışınları atom çekirdeğinden uyarılmış bir durumdan temel duruma veya daha az uyarılmış bir duruma geçerken yayınladıkları sert ve girici (nüfuz edici) elektromanyetik ışınlara denir. Radyoaktif çekirdeklerden yayınlanan gama ışınları ikiye ayrılır: doğrudan ve beta ışınlarının frenlenmesinden yayınlanan gama ışınlarıdır. Hızları 300 000 km/sn dir. İyonlayıcı etkisi alfa ve beta ışınlarından düşüktür (Saraç, 1978).

Çekirdek reaksiyonlarında yer alan radyasyonlara *nükleer radyasyonlar* denir. Nükleer radyasyonlar; parçacık radyasyonları veya elektromagnetik radyasyonlardır. Parçacık radyasyonları; elektronlar, pozitronlar, protonlar, döteronlar, alfa parçacıkları ve nötronlardır. Elektromagnetik radyasyonlar, gama ışınları ve çekirdek dışından gelen X ışınlarıdır. Bu radyasyonların tanımlanması, ölçülenmesi, korunulması için madde ile olan reaksiyonlarının bilinmesi gerekir.

Eğer radyasyonun madde ile olan reaksiyonu oldukça zayıfsa, örneğin nötrino halinde olduğu gibi, radyasyon tanımlanamaz (Kaplan, 1965).

Nükleer radyasyonların tanımlanması ve ölçülmesi bakımından kullanılan araç ve gereçlerin dayandıkları metodları anlayabilmek için bu radyasyonların madde ile olan reaksiyonlarını bilmek gerekir. Radyasyonlar maddeden geçerken enerji kaybına uğrarlar veya soğrulurlar. Aşağıda, çeşitli nükleer radyasyonlarla madde arasındaki reaksiyonlar incelenecektir (Yaramış, 1985).

## 2.1 Elektromagnetik Radyasyonların Madde Tarafından Absorpsiyonu

Nükleer radyasyonlar arasında elektromagnetik radyasyon olarak  $\gamma$  ışınları, X ışınları ve Bremsstrahlung radyasyonları düşünülür (Kaplan, 1965).

Elektromagnetik radyasyonların, örneğin,  $\gamma$  radyasyonlarının maddede absorplanması  $\alpha$  ve  $\beta$  gibi yüklü parçacıkların madde tarafından absorpsiyonundan tamamen farklı bir şekilde olur. Reaksiyon özellikle atomun elektronları ile olur.  $\gamma$  radyasyonu enerjisinin büyük bir kısmını ve hatta tamamını bir tek olayda kaybedebilir. O halde  $\gamma$  ışınlarının  $\alpha$  ve  $\beta$  ışınlarında olduğu gibi belli bir erişme uzaklığı yoktur. Burada erişme uzaklığı bir parçacığın madde içinde aldığı yol olarak tanımlanmaktadır (Yaramış, 1985). Öyleyse erişme uzaklığı olmayan  $\gamma$  ışınları etkileşime girdikleri madde tarafından absorplanması üstel bir kanuna göre gerçekleşmektedir. Eğer homojen bir radyasyon demetinin ilk şiddeti  $I_0$  ise,  $x$  kalınlığında bir absorplayıcı maddeden geçtikten sonraki şiddeti için,

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x} \quad (2.1)$$

bağıntısı geçerlidir; burada  $\mu$  toplam veya lineer absorpsiyon katsayısı olup radyasyonun içinden geçtiği maddeye ve radyasyonun enerjisine bağlıdır. Elektromagnetik radyasyonların maddeden geçerken zayıflamaları *yarı kalınlık* adı verilen bir miktar ile ifade edilir. Bu miktar radyasyon şiddetinin yarıya inmesi için gerekli olan absorplayıcı madde kalınlığını gösterir. (2.1) nolu denklemden,

$$\ln(I/I_0) = -\mu \cdot x \quad (2.2)$$

$$2.303 \cdot \log(I/I_0) = -\mu \cdot x \quad (2.3)$$

$$2.303 \cdot \log(1/2 \cdot I_0 / I_0) = 2.303 \log 1/2 = -\mu \cdot x_{1/2} \quad (2.4)$$

$$x_{1/2} = 0.693 / \mu \quad (2.5)$$

bulunur; burada  $x_{1/2}$  yarı kalınlık,  $\mu$  de absorpsiyon katsayısıdır (Yaramış, 1985).

Gama ışınlarının absorpsiyon ölçümleri saçılma olaylarını önlemek için kurşun filtrelerle yapılır (Littlefield, 1973).

## 2.2 Gama Işınları İle Madde Arasındaki Karşılıklı Etki

Bir fotonun madde ile olan reaksiyonunda, çarpışma çekirdekle bir elektronla ya da çekirdeğin alanı ile olur. Bu çarpışmalar elastik, inelastik ya da fotonun tamamıyla absorpsiyonu şeklinde olur. Fakat gama ışınlarının absorpsiyonunda esas itibariyle şu üç olay meydana gelmektedir:

- 1) Fotoelektrik olay,
- 2) Compton olayı,
- 3) Elektron çiftlerinin meydana gelmesi (çift oluşumu olayı).

### 2.2.1 Fotoelektrik olay

*Fotoelektrik olay*, frekansı yeterli olan bir radyasyonun bütün enerjisini kaybederek atomdan elektron koparması olayıdır. Böylece bir iyon çifti meydana gelir. Meydana gelen elektronlara *fotoelektron* denir. Fotoelektrik absorpsiyon radyasyonun enerjisinin düşük (0,5 MeV den daha az) ve içinden geçtikleri maddenin atom numarasının büyüklüğü ile hızla artar (Yaramış, 1985). Fotoelektrik absorpsiyon olasılığı  $\sim Z^5 / E_\gamma^{7/2}$  dir.

Gelen  $\gamma$  radyasyonun enerjisi  $h\nu$  ise fotoelektrik absorpsiyonda,

$$h\nu = W + 1/2.mv^2 \quad (2.6)$$

(2.6) nolu denklemde Einstein bağıntısı geçerlidir, burada  $W$  elektronun çekirdeğin elektrik alanından koparılması için gereken enerjidir, buna *çıkış işi* de denir ve her metal için bir sabittir.  $1/2.mv^2$  de elektronun kinetik enerjisidir. O halde gelen gama radyasyonunun enerjisi, elektronu bulunduğu seviyeden koparmaya ve bir de  $h\nu - W$  farkına eşit elektronun kinetik enerjisine harcanmıştır.  $h$  Planck sabiti olup  $h = 6,62 \times 10^{-27}$  erg.s dir. Eğer  $h\nu = W$  ise, fotoelektronların hızı sıfırdır. O halde minimum bir  $\nu_0$  frekansı vardır ki, bundan daha küçük frekanslı bir radyasyon için

fotoelektrik olay meydana gelmez. Buna göre yukarıdaki denklem  $h.v = h.v_0 + 1/2.mv^2$  veya  $1/2.mv^2 = h.(v-v_0)$  olur,  $v_0$  eşik frekans metalin cinsine bağlıdır (Littlefield, 1973).

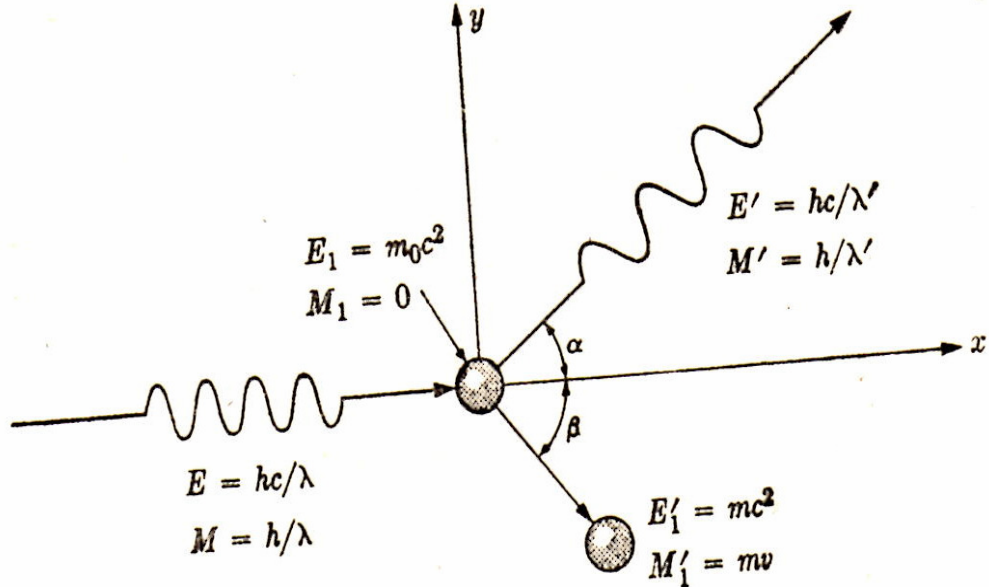
### 2.2.2 Compton olayı

*Compton Olayı*; gama ışını herhangi bir cisme gönderildiğinde, daha düşük frekanslı  $\gamma$  ışını ile bir elektronun meydana gelmesi olayıdır,  $\gamma$  ışını ile atomdaki elektron arasındaki çarpışmada,  $\gamma$  ışınının enerjisinin ancak bir kısmı elektrona verilmiştir.  $\gamma$  ışını çarpışmadan sonra daha düşük bir enerji ile başka bir doğrultuda gider. Gelen  $\gamma$  ışınının enerjisi  $h.v$  ise, Compton absorpsiyonunda,

$$h.v = h.v' + 1/2 .mv^2 \quad (2.7)$$

Einstein bağıntısı geçerlidir. Burada  $h.v'$  giden  $\gamma$  ışınının enerjisi ( $v > v'$ ),  $1/2.mv^2$  de atomdan çıkan elektronun kinetik enerjisidir. Yukarıdaki bağıntı  $h.v = h.v' + (m-m_0).c^2$  şeklinde yazılabilir (Yaramış, 1985).

Şekil 2.2' de Compton olayı görülmekte olup Compton değişimi adı verilen yani gelen ve giden gamaların dalga boyları arasındaki  $\Delta\lambda$  farkını veren bağıntı elde edilmektedir:



Şekil 2.2 : Compton Saçılması (Richards ve diğ., 1982).

Şekil 2.2’de Compton saçılması olayında gelen ve giden gama fotonlarının enerjisi E, Compton elektronunun momentumu M görülmektedir.  $\gamma$  ışınının çarpışmadan önceki momentumu  $h.v / c = h / \lambda$ ,  $\gamma$  ışınının çarpışmadan sonraki momentumu  $h.v' / c = h / \lambda'$  olarak verilmektedir. Compton değişimi incelendiğinde, Compton elektronunun kinetik enerjisi T de göz önüne alınmaktadır. Burada M ve T relativistiktir (Yaramış, 1985). Şekil 2.2’deki Compton saçılmasında aşağıda yer alan momentum ve kinetik enerji tanımlarından yararlanılmıştır:

$$M = m_0 \chi \cdot c / \sqrt{1 - \chi^2} \quad (2.8)$$

$$T = m_0 \cdot c^2 \left( \left( 1 / \sqrt{1 - \chi^2} \right) - 1 \right) \quad (2.9)$$

$$\chi = v / c \quad (2.10)$$

Momentumun korunumu:

$$h.v / c = h.v' / c \cdot \cos \alpha + M \cdot \cos \beta \quad (2.11)$$

$$0 = h.v' / c \cdot \sin \alpha - M \cdot \sin \beta \quad (2.12)$$

Enerjinin korunumu:

$$h.v = h.v' + T \quad (2.13)$$

(2.11) ve (2.12) denklemleri

$$h / \lambda - h / \lambda' \cos \alpha = m_0 \chi \cdot c / \sqrt{1 - \chi^2} \cdot \cos \beta \quad (2.14)$$

$$h / \lambda' \cdot \sin \alpha = m_0 \chi \cdot c / \sqrt{1 - \chi^2} \cdot \sin \beta \quad (2.15)$$

şeklinde yazıp karelerini aldıktan sonra taraf tarafa toplanırsa:

$$h^2 / \lambda^2 - h^2 / \lambda'^2 - 2 \cdot h^2 / \lambda \cdot \lambda' \cdot \cos \alpha = m_0^2 \cdot \chi^2 \cdot c^2 / 1 - \chi^2 \quad (2.16)$$

yahut

$$h^2 / \lambda^2 - h^2 / \lambda'^2 - 2 \cdot h^2 / \lambda \cdot \lambda' \cdot \cos \alpha = m_0^2 \cdot c^2 / 1 - \chi^2 - m_0^2 \cdot c^2 \quad (2.17)$$

yazabiliriz. (2.13) denklemini c ile bölünürse:

$$h / \lambda - h / \lambda' + m_0 \cdot c = m_0 \cdot c / \sqrt{1 - \chi^2} \quad (2.18)$$

ve iki tarafın karesini alındığında:

$$h^2 / \lambda^2 - h^2 / \lambda'^2 - 2 \cdot h^2 / \lambda \cdot \lambda' \cdot \cos \alpha + 2 \cdot m_0 \cdot c \cdot h \cdot (1 / \lambda - 1 / \lambda') + m_0^2 \cdot c^2 = m_0^2 \cdot c^2 / 1 - \chi^2 \quad (2.19)$$

Bu denklemden (2.17) denklemi çıkarıldığında:

$$2 \cdot h^2 / \lambda \cdot \lambda' (\cos \alpha - 1) + 2 \cdot m_0 \cdot c \cdot h (1 / \lambda - 1 / \lambda') = 0 \quad (2.20)$$



yahut

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = h / m_0.c ( 1 - \cos \alpha ) \quad (2.21)$$

bulunur. Bu denklem Compton olayında  $\gamma$  ışınının dalga boyunda meydana gelen değişimi verir.  $\alpha$  difüzyon açısıdır.  $\Delta\lambda$  yalnız difüzyon açısına bağlıdır, gelen gama ışınının dalga boyuna bağlı değildir. Compton olayı enerjileri 0,5 – 1,0 MeV arasında olan gama ışınlarında özellikle önemlidir (Yaramış, 1985).

Bu olay Z atom numarası ile orantılıdır (Yaramış, 1985).

### 2.2.3 Çift oluşumu

Bir gama ışınının enerjisi  $2.(0.51) = 1.02$  MeV den daha büyük ise, radyasyonun enerjisi şiddetli bir magnetik alanda, örneğin çekirdek çevresinde bir pozitif ve bir negatif elektrona dönüşür. Enerji fazlası meydana gelen elektronların kinetik enerjisine harcanır (Yaramış, 1985).

$I = I_0.e^{-\mu x}$  denkleminde görülen toplam absorpsiyon katsayısı, yukarıda özetlenen üç farklı olaya ait absorpsiyon katsayılarının toplamıdır :

$$\mu = \tau + \sigma + k \quad (2.22)$$

Burada  $\mu$  toplam, yahut lineer absorpsiyon katsayısı,  $\tau$  fotoelektrik absorpsiyon katsayısı,  $\sigma$  Compton absorpsiyon katsayısı ve k da çift oluşum absorpsiyon katsayısıdır (Yaramış, 1985).

## 2.3 Optik Yapılarda Elektronik Geçiş Tipleri ve Enerji Bant Aralıkları

Yarı iletkenlerde ve yalıtkanlarda temel soğurma aralığı ; yakın kızılötesi, görünür veya morötesi tayf bölgelerinde gözlenmektedir. Soğurulma, malzemenin temel bant aralığında optik geçişlere neden olur. Doğal olarak, fiziksel sürecin oluşumunun başlaması, katı malzemelerin elektronlarının uyarılması ile bantlar arasındaki geçişlere yol açar. Bu tür geçişlere “ *Soğurmali İç Geçiş* ” adı verilir. Söz konusu geçişin tam tersi olan, uyarılmış banttan foton yayınlayarak bir alt seviyeye inmesi ile gerçekleşen geçişlere “*Işımali İç Geçiş* ” denir (Fox, 2001).

Bantlar arasındaki geçişler, bütün katılarda gözlenmektedir. Burada özellikle, gözlenen malzemedeki soğurma tayfının bant yapısına ve geçişlerdeki seviye yoğunluğuna bağlılığının anlaşılmasıdır (Fox, 2001).

Bant içi soğurmayı anlayabilmek için; kuantum mekaniği uygulamalarından, katı yapıların bant seviyelerindeki ışık – madde etkileşmelerine dayandığı bilinmelidir. Bu da kuantum mekaniği ve bant teorisi alanlarında çalışma yeterliliğinin bulunması ile sağlanabilir. Ayrıca katıhal fiziğine aşina olmak da konuyu algılayabilmek açısından önemlidir. Sözü geçen alanlarda temel bilgi sahibi olunduğu varsayılarak, bantlar arasındaki geçiş biçimleri incelenmektedir (Fox, 2001).

### **2.3.1 İç bant geçişleri**

Yalıtılmış atomların enerji şemaları, birbirinden ayrılmış enerji seviyelerinden oluşur. Enerji seviyeler arasındaki optik geçişler, soğurma ve yayınım tayflarının enerji düzeyleri arasındaki artış farkını kesin olarak vermektedir. Atoma aktarılan enerjiyi ve osilatör direncinin hesaplanabilmesi için kuantum mekaniğinden yararlanır. Uygulamada klasik osilatör modelinden yararlanılarak frekansın, kırılma indeksi ve soğurma sabitine bağlı olduğunun gözlenmesi ile daha iyi anlaşılmaktadır (Fox, 2001).

Katı yapılardaki optik geçişler, burada anlatıldığından çok daha karmaşık bir süreç içermektedir. Uygulamada atomların başlı başına bazı özellikleri taşıdıkları düşünülür, yeni nesil fizik kuramında ise; atomik boyuttan atom altı boyuta inilerek bant yapılarının uyarılmış seviyelerde dahi incelenebilmesi ile sonuçlanmıştır. Klasik model, sürekli soğuran bantlardan ziyade alt seviye enerji bantlarına sahip ana enerji bantlarını açıklamakta zorlanmaktadır. Bu nedenle, optik özelliklerin frekansa bağlılığını açıklayan yeni teknikler geliştirilmesi zorunludur. Ayrıca, klasik osilatör modeli, frekansın soğurmalı geçişlerde bantlar arasındaki enerji farkından oldukça büyük olması durumunda geçerliliğini korumaktadır (Fox, 2001).

Katı bir yapıda enerji bant aralığı kavramı oldukça sadeleştirildiğinde; birbirinden ayrı iki enerji düzeyinde bulunan bantlar arasındaki enerji farkı anlaşılır.  $E_g$  ile sembolize edilirler. Optik iç bant geçişleri belli şartlar altında gerçekleşirler. Geçişler esnasında, elektron foton soğurarak alt enerji düzeyindeki enerji bandından bir üst düzeydeki enerji bandına geçer. Dahası, Pauli dışarılama prensibine göre üst düzeyde bulunan enerji bandının boş olması gerekir. Dolayısıyla, elektron foton tarafından uyarılarak dolu değerlik bandından boş iletkenlik bandına geçer. Konuya en iyi örnek oluşturan durum yalıtkan veya yarıiletkenlerdeki enerji bant geçişleridir (Fox, 2001).

İç bant geçişleri enerji korunumu kanununa göre aşağıdaki denklemle ifade edilirler :

$$E_f = E_i + \hbar \cdot w \quad (2.23)$$

(2.23) denkleminde  $E_i$  elektronun alt düzeyde enerjisi,  $E_f$  elektronun üst düzeyde enerjisi,  $\hbar \cdot w$  fotonun enerjisidir. Elektronun alt ve üst düzeyler arasındaki enerji farkı sürekli ve bir üst sınırı vardır. İç bant geçişleri, uyarıcı frekansların enerji bant aralığından büyük olması durumunda olanaklıdır. Uyarıcı frekansların üst sınırı, alt ve üst düzeydeki enerji bant aralıklarının sınırı ile tanımlanır (Fox, 2001).

Denklem (2.23)'deki enerji farkı  $E_g$ 'ye eşit olup en düşük düzeydeki enerji bant aralığını vermektedir. Buradan optik soğrulmanın eşik enerjisi olduğu sonucu çıkar. İç bant geçişleri  $\hbar \cdot w > E_g$  olduğunda mümkündür (Fox, 2001).

İç bant geçişleri, doğrudan ve dolaylı geçişler olarak ikiye ayrılır. Doğrudan iç bant geçişlerinde (2.23) denkleminde uygun şekilde davranırlar. Yani, gelen fotonun enerjisi  $\hbar \cdot w > E_g$  koşulu sağlandığında gerçekleşirler. Dolaylı iç bant geçişi, elektronun sadece foton soğurarak üst enerji bandına geçmesinin olanaklı olmadığı durumlarda momentum korunumu kanununa göre fononun eşlik ettiği iç bant geçişlerdir (Fox, 2001).



### 3. SOL – JEL YÖNTEMİ

Sol – jel yöntemi ile ilgili ilk gözlemler, 1846 yıllarında Silika cam yapısının geliştirilmesine neden olan nemli ortamda silis asidinin hidroliz ve yoğunlaştırma ara tepkimelerinin geliştirilmesi olmuştur. 1939’lu yıllarda amacı  $\text{SiO}_2$  tabakalar üretilmesi olan çalışmalar yapılmıştır. Fakat 1953 yılından itibaren üretilen otomobiller için arka görüşlü aynalar geliştirilmesi ile sonuçlanmıştır. 1964’lü yıllardan bu yana geliştirilen yansıtıcı olmayan kaplamalar ve 1969 yılında cam taşıyıcılar üzerine kaplanan, güneş yansıtıcı yüzey kaplamaları yapılmıştır. Söz konusu, kaplamalar  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{TiO}_2$  gibi diğer oksit malzemelerden oluşmaktadır (Klein, 1988).

Kimyasal gelişmeleri içeren süreçler, 1969 – 1971 yıllar arasında görülmektedir. Solüsyon içerisinde  $\text{M} - \text{O} - \text{M}$  kimyasal bağların kurumunu sağlayan pek çok metaloksit etkileşmelerin önemli olduğu görülmektedir. Metaloksit etkileşmeler; çok bileşenli oksit camları, cam seramiklerinin ve kristal kaplamaları mümkün kılmıştır. Böylelikle araştırmalar metal – organik bileşenlere kadar ilerlemiştir (Klein ve diğ., 2000).

1980 yıllarda sol–jel yöntemi yeniden ilgi çekmeye başlamıştır. Özellikle fiber optik ve diğer monolitik yapılar konusunda ilgi odağı olmuştur. Sentetik minerallerin üretilmesinde önem kazanmaktadır (Uhlmann ve Kreidl, 1984).

Sol – jel yönteminin yaygın olarak kullanılmasının nedeni diğer yöntemlere göre bazı üstünlüklerinin olmasıdır. Bunlar;

- İnce filmler taşıyıcılar üzerine kaplanmaktadır. Sol – jel yöntemi ile kısa zamanda seri üretim olanaklıdır.
- İnce filmlerin üretiminde sol –jel yöntemi uygulanması kolay bir yöntemdir. Ayrıca üretim kaynaklı olumsuzlukları en aza indirmektedir.
- Sol – jel yöntemi ekonomiktir.

- Sol – jel yöntemi, kimyasal alanda en iyi uygulamaların temelidir (Brinker ve Schrer, 1989).

Sol – jel yönteminde ince film oluşumu hidroliz ve yoğunlaşma etkileşmeleri ile başlar. Organik olmayan malzeme seçeneklerinde geniş bir alana sahiptir. Organik olmayan malzemeler jelleşme esnasında ortamda asılı kalmaktadır. Görüldüğü gibi sol – jel sürecini oluşturan iki aşamalı gerçekleşen kimyasal etkileşmeler sözkonusudur (Pulker, 1984).

### **3.1 Daldırarak Kaplama Yöntemi**

Sol –jel daldırma yöntemi optik geçirgen malzemelere uygulanmaktadır. Özellikle, yüzey kalitesi iyi geçirgen taşıyıcıların oksit filmlerle kaplanmasında kullanılır. Genelde cam taşıyıcılar tercih edilmektedir. Diğer taşıyıcıların da 500°C'ye varan sıcaklık değerlerine dayanıklılık, yüksek yüzey kalitesi, geçirgen malzeme olması gibi özellikleri taşıması yeterlidir. Kaplanan filmlerin kalınlığı 1 µm'ye ulaşmaktadır. Görünür bölge dalgaboyu sınırları arasında olan kaplama kalınlıkları tercih edilmektedir.

İnce film kimyasal oluşum sürecini, alkol bazlı solüsyon içerisindeki metal bileşenlerin hidrolizi başlatmaktadır. Oksitlenme 500°C sıcaklıkta başlamaktadır (Sakka, 2005).

#### **3.1.1 Daldırarak kaplama yöntemi ile ilgili genel uygulamalar**

Sol – jel yöntemi ince film kaplama tekniği, daldırma cihazı kullanılarak uygulanmaktadır. Kaplama işlemine başlanılmadan önce taşıyıcı malzemelerin temizlenmesi önem kazanmaktadır. Ayrıca daldırma cihazının kullanımına uygun ebatlarda hazırlanması gereklidir. Bu işlemlerden sonra taşıyıcı solüsyon içerisine daldırılarak kaplanabilmektedir.

Daldırma yönteminde kaplanan malzemenin film kalınlığı, oldukça basit şekilde kontrol edilmesine imkan tanınmaktadır. İnce filmin kalınlığının kontrolü daldırma ve çekme süreleri sabit. $v^{2/3}$  ile doğru orantılıdır. Diğer bir konuda, daldırma işlemi esnasında cam taşıyıcıya tutunan kimyasal sayısını arttırmaktır. Daldırma cihazının ayarlarını solüsyon içinde taşıyıcıyı bekletme süresini kontrol etmekle sağlanmaktadır (Bach ve Dieter, 1997).

Daldırma işleminden sonra ortam ile temas halinde olan sol kaplı taşıyıcı, ortamdaki nemden etkilenmektedir. Öyleki nem ile yoğunlaşma etkileşmesine girmektedirler. Böylece taşıyıcı üzerindeki sol uçmaktadır. Cam taşıyıcılar 400°C – 500°C sıcaklıkları arasında fırınlanırlar. Oksitlenmenin fırınlanma süreci ile başlaması ince filmlerin kimyasal yapısının oluştuğu süreçtir. Fırınlama süresi bitiminde, cam taşıyıcıların sıcaklığı ortam sıcaklığına ulaşmıncaya kadar fırından çıkarılamazlar. Sürecin hızı, 4 – 12 mm kalınlığındaki cam taşıyıcıların soğuma hızı ile sınırlıdır (Klein, 1988).

### **3.1.2 Daldırma yönteminin üstünlükleri**

Sol – jel kaplama yönteminin daldırarak kaplama tekniği diğer kaplama tekniklerine oranla üstünlükleri olması nedeniyle oldukça tercih edilmektedir. sanayiye uygulanabilir ve seri üretime olanak sağlanması dünya çapında tekniğin yaygınlaşmasını sağlamıştır. Özellikle sol – jel daldırarak kaplama yöntemi ile üretilen ince filmlerin yüzey pürüzlülüğünün olmaması, ince filmlerdeki nano yapıların kristallenme kalitesinin oldukça yüksek olduğunu göstermektedir. Başka bir konuda sol – jel daldırarak ince film üretim tekniğinin rahatlıkla tekrarlanabilir ve ince film üretim yönteminin pratik olmasıdır. İnce filmlerin üretimi esnasında film kalitesinin kontrol edilmesi ve kullanım amacına bağlı olarak farklı kalınlıklarda ince filmler üretilmesi istenmektedir. Sözkonusu yöntemde, çalışılan daldırma cihazları ile üretilen filmlerin kalınlıklarına; film solüsyonuna daldırılan taşıyıcının dalma hızını, solüsyon içerisinde bekleme süresi ve çekme hızı ayarlarının yapılması yeterlidir. Film kalınlığını değiştirme yöntemi kolay olduğundan seri üretime uygundur. Daldırma yönteminde sınırlı sayıda üretim koşulu oluşturulması yeterli olduğundan istenilen boyutlarda malzemeler rahatlıkla kaplanabilmektedir. Genel olarak, sol-jel daldırarak kaplama tekniği ile çalışma üstünlüklerine değinildiğinde yaygın olarak kullanılmasının nedenleri daha iyi anlaşılacaktır.

- Yüksek düzeyde homojenlik sağlar.
- Kalınlık kontrolü basit yöntemlerle sağlanır.
- Düzgün kaplama yüzeyleri elde edilir.
- Kaplama tekniği taşıyıcı boyutları ile sınırlı değildir.
- Çok tabakalı kaplamalar yapılmaktadır.

- Seri üretim için oldukça uygundur.
- Ekonomiktir.

### 3.1.3 Daldırma yönteminin sınırları

Sol – jel daldırma yönteminin üstünlükleri tartışıldıktan sonra doğal olarak yöntemin zayıflıkları nedir sorusu düşünülmektedir. Özellikle hazırlanan film solüsyonlarının her üretim işleminde yenilenmediği vurgulanırsa, seri üretim esnasında üretimi durdurabilecek faktörün solüsyonun özelliğini yitirmesi olduğu rahatlıkla görülebilir. İnce film solüsyonlarının dayanma süreleri oldukça uzundur ve fikir edinilmesi için sözkonusu sürenin 1 hafta ile 1 ay arasında değiştiğinin bilinmesinde yarar vardır.

### 3.2 Döndürerek Kaplama Yöntemi

Yöntemin temeli, sıvı filmin spin kaplama cihazı film kaplama yüzeyine (disk ) püskürtülmesine dayanır. Bu yöntem oldukça pratik olup homojen kaplama tekniği ile ilgi çekmektedir. Döndürerek kaplama süreci, kaplama sıvısının disk üzerinde dönen taşıyıcı malzemeye püskürtülmesinden ibarettir. Ortamdaki nem ile sıvı filmin oksit olması nedeniyle etkileşmektedir. Oksit ince filmler tavlama esnasında oluşmaktadır (Pulker, 1984).

Döndürerek kaplama yönteminde genel olarak bir çözücü ve katı hale dönüşen bir bileşen bulunur. Ortamdaki hava, döndürme diskinin üzerinde hareketsiz ise kaplama sürecinin değişken etkenleri ve elde edilen filmin özellikleri arasında basit bir bağıntı bulunur. Bu koşullar altında film kalınlığı açılal frekansın karekökü ile ters orantılıdır. İnce film oluşumunda çözücünün buharlaşması, fazla sıvının merkezkaç kuvvetinden daha önemlidir (Bach ve Dieter, 1997).

Döndürme yöntemini karakterize eden dört süreç bulunmaktadır (Bornside ve diğ., 1987): yüzeye tutunma, spin üzerinde, spin dışında ve buharlaşma. Model tekniği oldukça iyi bir şekilde açıklamaktadır. Yoğunluk miktarı ve film kalınlığı radyal doğrultuda bir sabit ile ilişkilendirilmiştir. Disk yüzeyindeki sıvı filmin yoğunluğu, viskozite ve difüzyon ile değişkenlik göstermektedir. Model, film kalınlığının karekökü ile ortam değişkenlerini zamanın fonksiyonu olarak incelemede başarılı olmuştur.



Çalışma, film yüzeyinde istenmeyen derileşme oluşumundan söz etmektedir. İki şekilde derileşmenin oluşumu önlenir :

1-) Çözücü bileşen ile ortamın doyuma ulaştırılması

2-) Buharlaşma noktası farklı ikinci bir çözücü bileşenin katkılanması (Bach ve Dieter, 1997).



#### **4. DENEY**

Deneyde, ZnO ince filmlerinin optik özelliklerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla taşıyıcılar hazırlandıktan sonra sol-gel tekniği ile kaplama işlemleri yapılmıştır. Hazırlanan ZnO filmlerin bir kısmı çeşitli dozlarda gama ışınlarına maruz bırakılmıştır. Yapıda oluşan yeni elektronik konfigürasyon neticesinde enerji bant aralığını incelenmesi amacıyla, Co-60 radyoizotopu kullanılmıştır. Bu şekilde, ZnO ince filmlerin yapısında değişimler oluşturularak enerji bant aralığının etkilenmesi sağlanmıştır. Spektrofotometrik incelemelerde, UV – VIS – kısmen NIR dalgaboylarında üretilen 193 – 1080 nm dalgaboylarında incelemeler yapılmıştır.

ZnO ince filmleri hazırlanırken, İ.T.Ü Kimya Metalurji Fakültesinin Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mekanik Metalurji Grubundaki ince film kaplama teknikleri laboratuvarından yararlanılmıştır.

##### **4.1 Taşıyıcıların Hazırlanması**

ZnO ince filmleri hazırlanırken oksitlenen ince filmler ile taşıyıcı malzemenin seçimine dikkat etmek gerekir. Oksit ince filmler amorf yüzeylere rahat tutundukları için tercih edilirler. Genelde, taşıyıcı malzemelerin cam olması istenir. Bu durumun pek çok nedeni vardır. Bunlardan bazıları; geçirgen olmaları, yüzey pürüzlülüğünün olmaması, 500°C civarındaki sıcaklığa dayanıklılık, ekonomik olması, erişimin kolay olmasıdır (Klein, 1988).

Deneyde, taşıyıcı malzeme olarak Soda – Kireç – Silika cam tercih edilmiştir. Çalışmaya başlanılmadan önce taşıyıcıların temizlenmesi oldukça önemlidir. Camın solüsyon ile etkileşmeye girdiği andan başlanılarak dışarıdan herhangi bir şekilde farklı bir etkenin deneyin hassasiyetini bozmaması gerekmektedir. Cam taşıyıcının temizlenmesi işleminde solvent tekniği kullanılmıştır (Pulker, 1984). Cam taşıyıcının temizliğinin aşamaları : deterjan ile yıkanır, saf su ile durulanır, aseton, alkol ve Şekil 4.1’de görülen ultrasonik banyoda saf su ile temizlenir. Son aşamada, camın üzerinde nem ve iz kalmaması için kuru hava ile kurutulurlar.



**Şekil 4.1 :** Ultrasonik Banyo Cihazı (Pulker, 1984).

#### **4.2 Solüsyonun Hazırlanması**

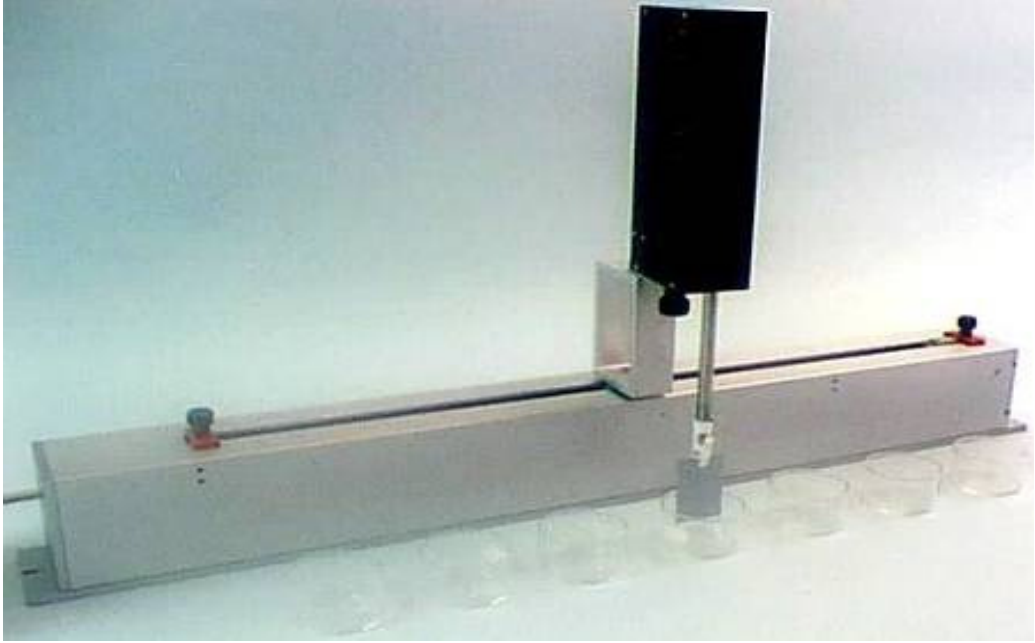
ZnO ince filmlerinin üretilebilmesi için öncelikle film malzemesinin hazırlanmış olması gerekmektedir. Bu amaçla, metal bileşenin tepkimeye girebilmesi için etkileşmeyi başlatan solüsyon hazırlanır ve sırasıyla şu adımlar izlenir :

- 1)  $[Zn(CH_3CO_2)_2 \cdot 2H_2O]$  Çinko asetat di Hidrat metal bileşeni katı olduğundan alkol bazlı çözücü kullanılarak çözülmelidir.
- 2) 5.4872 gr Çinko asetat di Hidrat, 50 ml  $[C_2H_6O]$  ethanol içinde tümüyle karıştırılarak çözülür.
- 3) Çözeltiye 2.5 ml  $[HN-(CH_2CH_2OH)_2]$  DEA (Di Ethanolamine) homojenliği sağlayan asıl çözücü olarak katılır. DEA Çinko asetatın çözeltide homojen dağılmasını sağlayarak etkileşmeyi başlatan etmen rolünü oynar. Aynı zamanda çözelti içinde oluşan etkileşmeleri dengeleyen ve sürekli kılan kimyasal maddedir.
- 4) Çözeltinin homojenliğinin sağlanması için DEA katılmasının yanı sıra manyetik karıştırıcıda 1 saat süreyle  $60^\circ C$  sıcaklığında karıştırılırlar. Bu şekilde etkileşmelerin sürebilmesi için çözeltiye çevreden ısı sağlanmış olunur.

- 5) Manyetik karıştırıcı süre bitiminde kapatılır. Fakat çözelti tamamen soğuyana kadar karıştırılır. Karıştırma işleminin sona ermesi ancak çözeltinin renginin berrak ve homojen olması durumunda mümkündür (Li ve diğ., 2004).

#### 4.3 Sol – Gel Daldırarak Kaplama Yöntemi ile Taşıyıcının Hazırlanması

ZnO ince filmleri için hazırlanan solüsyonun (çözelti) cam taşıyıcıya kaplanması gerekmektedir. Sol –gel daldırma yöntemi kaplama tekniği tercih edilmiştir. Başlangıçta solüsyon hazırlanmıştır. Cam taşıyıcı ile solüsyonun etkileşmeye geçmesi için Şekil 4.2’de görülen daldırma cihazı kullanılacaktır:



**Şekil 4.2 :** Daldırarak Kaplama Cihazı (Tekin ve diğ., 2009).

Daldırma cihazı ile kaplama işlemine başlanılmadan önce cihazın bazı değişkenleri ayarlanmalıdır. Söz konusu ayarlar film kalınlığını etkilediğinden elde edilmek istenen ince filmlerin özellikleri dikkate alınmalıdır. İnce filmlerin kalınlığı, taşıyıcı malzeme ile daldırılan solüsyon arasındaki daldırma eğim açısından, solüsyonun yoğunluğundan ve taşıyıcıyı çekme hızından etkilenmektedir. Teorik olarak film kalınlığı  $d$  ve çekme hızı  $v$  olduğunda  $d = \text{sabit} \cdot v^{2/3}$  bağıntısı geçerlidir (Bach ve Dieter, 1997). Deney, oda koşullarında  $22^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$  sıcaklıklarında ve % 30 – 40 nem oranlarında gerçekleştirilmiştir.

#### 4.4 Çalışılan Co 60 Radyoizotopunun Tanıtımı

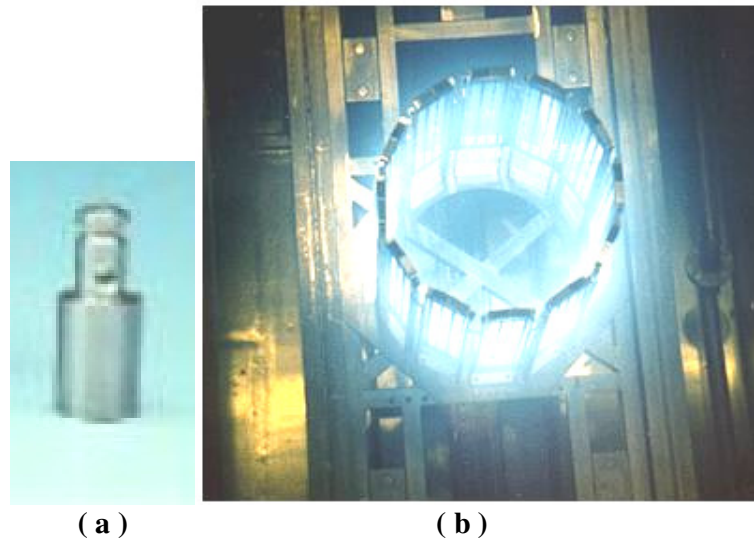
ZnO ince filmlerinin optik bant aralığı değişimini araştırmak üzere kalıcı etkisi olan elektromanyetik dalgalar ile uyarılması düşünülmüştü. ZnO nano yapılarının yüksek enerjili fotonlar ile etkileşmesi gerektiği açıktır. Bu nedenler ile ışınlama kaynağı olarak gama fotonları tercih edilmiştir.

Deneyde Co 60 radyoizotopu gama kaynağı olarak kullanılmaktadır. Co 60 radyoizotopu iki enerji düzeyinde gama fotonları yayınlamaktadır. Bunlar; 1.17 MeV ve 1.33 MeV'dir. Deneyde, gama ışınlarının monokromatik oldukları varsayılmıştır. Böylece, Co 60 radyoizotopunda monokromatik kaynak olduğu düşünülmüş ve yayınlanan gama fotonlarının enerjisi ortalama enerji olarak 1.25 MeV alınmıştır. Co 60 kaynağının aktivitesi 0.016157 mCi , yarıömrü 5.26 yıldır. Deney süresince ZnO ince filmleri yaklaşık olarak 0.35 Gy doz soğurmuşlardır.

Co 60 radyoizotopu ile ışınlama süresince, oda koşullarında 22°C – 25°C ve % 30 - 40 nem oranında çalışılmıştır.

#### 4.5 Işınlama Düzeneklerinin Tanıtımı

Deneyde kullanılan ışınlama düzeneği, Co 60 radyoizotopu merkezde konumlanmış ve etrafına eşit mesafede cam taşıyıcılar hegzagonal geometrik yerleşim düzeni kurulmuştur. Işınlama düzeneğinin panoramik yerleşim düzeni ve Co 60 radyoizotopu şekil 4.3'de görülmektedir:



Şekil 4.3 : ( a ) Co 60 radyoizotopu ve ( b ) Işınlama düzeneği görülmektedir.

#### 4.6 Deneyin Yapılışı

Daha önce ilgili konu başlıklarında detayları verilen adımlardaki uygulamalar gerçekleştirilerek ZnO ince filmleri hazırlanmıştır. Kısaca hatırlanması gerekirse, sol – jel daldırma tekniği kullanılarak ZnO ince filmler hazırlanmıştır. Sol – jel daldırma yöntemi ile ince film üretilmesi için; uygun taşıyıcının soda – kireç – silika olduğu belirlenmiş ve taşıyıcı deney koşullarına göre hazırlanmıştır. Üretilen ince filmler için uygun solüsyonun Çinko asetat di hidrat, etanol, DEA kimyasal bileşiklerinin film kompozisyonunu oluşturan oranlarına göre belirlenmiştir. Daldırma tekniği ile cam taşıyıcı kaplanmıştır.

Cam taşıyıcı ile solüsyonun ilk etkileşmesi yüzeye tutunma şeklinde gerçekleşir. Organik çözücülerin uçması ile hidroliz ve kimyasal bağ kurma etkileşmelerinin hızlanmasına neden olur. Organik bileşenlerin uçuculuğunu hızlandırma ve oluşmaya henüz başlayan etkileşmelerin kristallenme davranışına başlaması için taşıyıcılar 10 dakika süre ile 300°C sıcaklıkta tavlanylabilir (Raoufi and Raoufi, 2009). Bu şekilde ara tava maruz kalan taşıyıcı yüzeylerinde jelleşme görülür. Oluşan jel ortamı ince film kimyasal yapısının oluşmaya başlaması için en uygun ortamdır.

Deneyde, optik özellikler tavlama sıcaklığı ve film kalınlığı değişimine bağlı olarak incelenmektedir. ZnO ince film kalınlığını değiştirmenin yolu taşıyıcıya birden fazla sayıda kaplama yapılması ile mümkün olmuştur. Taşıyıcı üzerindeki kaplanan tabaka sayısının çoğaltılması ara tav işleminde yapılmıştır. Taşıyıcı üzerine ne kadar sayıda film tabakası kaplanması düşünülmüşse aynı sayıda ara tav işlemi tekrarlanır. Asıl tav işlemi sıcaklıkları 400 – 600°C arasında beş farklı sıcaklıkta 1 saat süre boyunca uygulanmıştır.

Söz konusu aşamalardan sonra üretilen ZnO ince filmlerin tabaka sayısı 1 – 5 arasında ve tavlama sıcaklıkları 400 – 600°C arasında değişen filmler hazırlanmıştır. ZnO ince filmlerin optik özelliklerinin incelenmesi spektroskopi cihazı kullanılarak sağlanmıştır. Spektroskopi cihazı ile optik yansıtıcılık ve geçirgenlik ölçümlenmiştir. Optik soğurma oranı ise hesaplanmıştır. Optik bantlarda gerçekleşen olaylar,

$$I = R + T + L \quad (L = A + S) \quad (4.1)$$

(4.1) bağıntısı ile verilmektedir. Burada L = kayıp, A = soğurma, S = saçılma, R = yansıtıcılık ve T = geçirgenliği temsil etmektedir. Optik soğurma hesaplanırken

$S = 0$  alınır. Çünkü optik bant içerisindeki etkileşme mekanizmaları saçılarak kaybolduğu düşünülen parçacıkları sistem içinde farklı yollarla kullanırlar (Klein, 1988).

Optik özellikleri belirlenen ZnO ince filmlerinin yüksek enerjili gama ışınları ile etkileşimde bulunduğu durumda optik özellikler ve bant aralığının değişimi gözlenmiştir. Bu nedenle, Co 60 gama kaynağı ile 0.35 Gy dozuna kadar 44 gün 13 saat süresince toplam 11 farklı dozda ışınlama yapılmıştır. Her dozda optik ölçümler yapılarak optik özelliklerin değişimi ve soğurma kenarının davranışı izlenmiştir.

ZnO ince filmleri Wurtz yapısı gösteren yarıiletken malzeme olduğundan doğrudan bant geçişleri gözlenmektedir. Doğrudan bant geçişinin soğurma katsayısı

$$\alpha.(h \cdot \nu) \propto (h \cdot \nu - E_g)^{1/2} \quad (4.2)$$

ile verilmektedir. Soğurma katsayısı  $\alpha \propto -\ln T$  ile orantılıdır (Shan ve diğ., 2006).

Buradan gelen fotonun enerjisi  $h \cdot \nu$ , soğrulan foton enerjisine  $[\alpha.(h \cdot \nu)]^2$  karşılık gelen enerji grafiği çizilmiştir. Enerji bant aralıklarında soğrulma olayı  $h \cdot \nu = E_g$  olduğu durumlarda gerçekleşir. (4.2) denkleminde koşul  $\alpha.(h \cdot \nu) = 0$  olması durumunda sağlanır. Bu nedenle, enerji bant aralıkları hesaplanırken; gelen fotonun enerjisine karşılık soğrulan foton enerjisinin verildiği grafiklerde alınan herhangi bir noktadaki soğrulan enerji sıfır kabul edilir. Bu koşul, grafik üzerinde değerlerin değişmediği noktaların ekstrapole edilerek gelen fotonun enerjisinin olduğu eksenini kestiği noktanın tespit edilmesi ile sağlanır. Bulunan nokta  $E_g$ 'nin değerini vermektedir. Bu yöntemle farklı dozlara ait enerji bant aralıkları bulunularak enerji bant aralıklarının değişimleri gözlenmiştir.

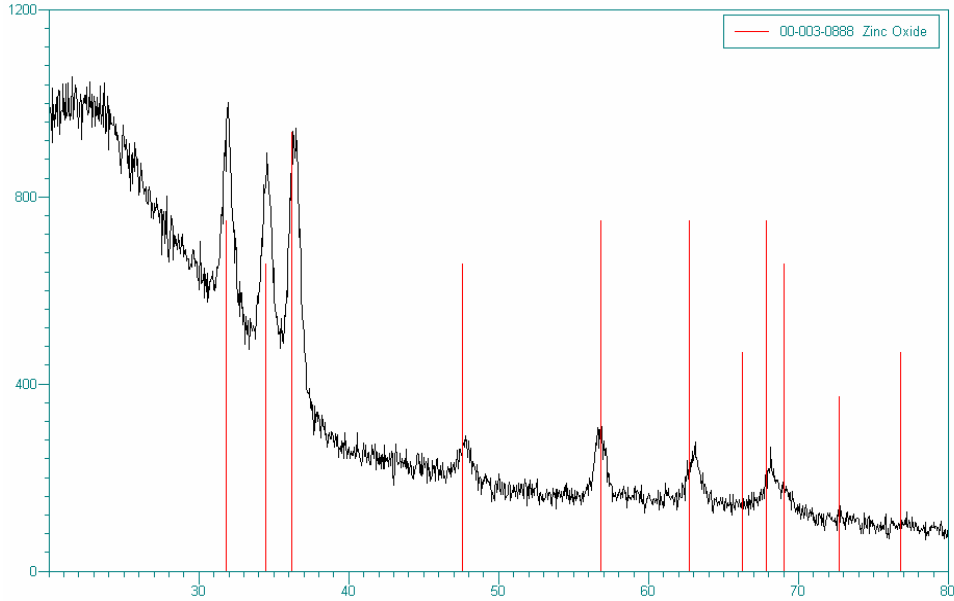


## 5. DENEYİN SONUÇLARI

Yüksek lisans tezi kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda, 400 – 600°C arasında değişen beş farklı sıcaklıkta tavlama işlemi yapılmış ve ZnO nanokristalitlerin yapısal özelliklerinde oluşan değişimler, ışınlama işleminden önce ve Co-60 radyoizotopu kullanılarak ışınlama işleminden sonra incelenmiştir.

### 5.1 ZnO İnce Filmlerin Kristal Yapılarının İncelenmesi

Kristal yapılı ZnO ince film oluşumundaki en önemli etmen filmlerin elde edilmesi aşamasından sonraki tavlama işlemi olmaktadır. ZnO ince filmlerinde kristalleşme 500°C tavlama sıcaklığından itibaren görülmektedir (Klein, 1988). Tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı olarak ZnO yapıda kristal büyümesi meydana gelebileceği düşünüldüğünden en yüksek tavlama sıcaklığı olan 600°C’de, ZnO kristal yapı incelenmiştir. Böylece elde edilen maximum nanokristalit büyüklüğü belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 5.1’de, XRD yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalarda, ZnO ince filmlerin tavlama işleminden sonra kristalleşme özelliği görülmektedir:



Şekil 5.1 : 600°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmin XRD sonuçları.

ZnO filmlerin kristal yapısı ve c eksenindeki oryantasyonu, X-Işın difraktometresinden, Cu K<sub>α</sub>'ya ait, 1.54 Å dalgaboyundaki ışınların yayınlanması durumunda belirlenmiştir. Sürekli tarama modunda, 20°, 80° aralığında 2(θ) açısında datalar toplanmıştır. Şekil 5.1'deki ZnO nanokristaller, (100), (002) and (101) difraksiyon piklerine sahip olup, 600 °C'de tavlanan ZnO yapının X-Işın difraksiyon paternlerini göstermektedir.

Ortalama kristalit büyüklüğünü belirlemek için XRD analiz sonuçları kullanılarak (5.1) nolu denklemde belirtilen Scherrer Denklemi kullanılmıştır. Burada λ, 1.54 Å'lük X-ışın dalgaboyu, θ<sub>β</sub> Bragg difraksiyon açısı ve β ise θ<sub>β</sub> 'ye ait FWHM (Full Width Half Maximum of a distinctive peak) değeridir. ZnO yapının ortalama kristalit büyüklüğü ~ 26 nm olarak belirlenmiştir.

$$G = \frac{0.9\lambda}{\beta \cdot \cos\theta\beta} \quad (5.1)$$

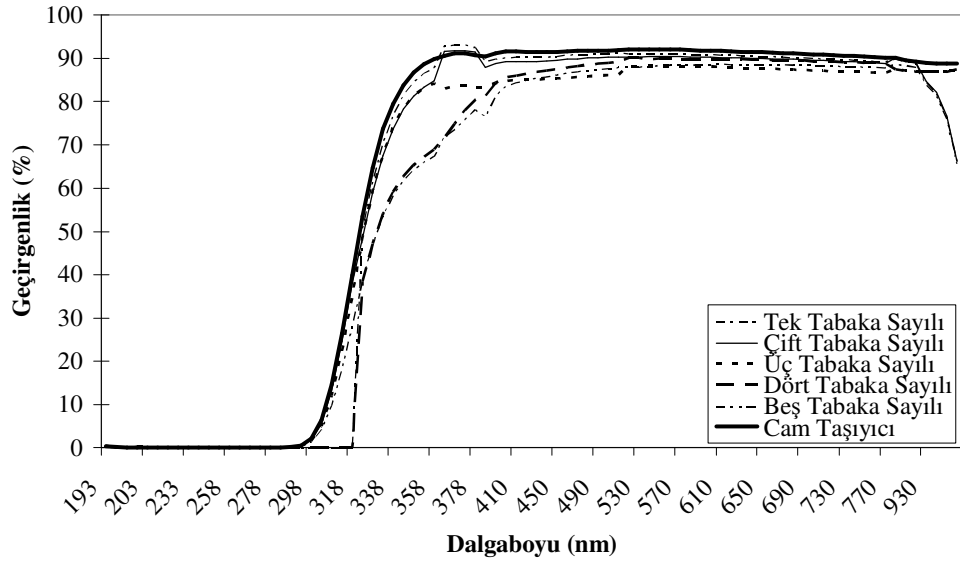
## 5.2 ZnO İnce Filmlerin Optik Geçirgenliğinin İncelenmesi

ZnO nanoyapıdaki optik özellikleri incelemek amacıyla ince filmler farklı sıcaklıklarda tavlansak üretilmişlerdir. ZnO ince film yapısına bağlı olarak optik özelliklerin geliştirilmesi mümkün olmaktadır.

### 5.2.1 ZnO İnce filmlerin tabaka sayısına bağlı optik geçirgenliği

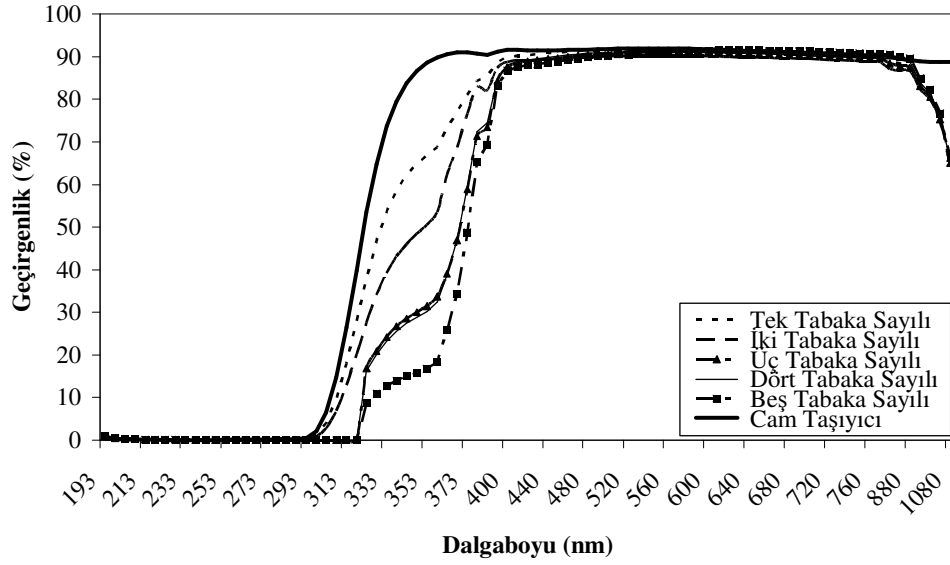
ZnO ince filmlerdeki geçirgenliği izlemek için 400 – 600°C arasında beş farklı sıcaklıkta tavlansak olup, değişimler Şekil 5.2 ile Şekil 5.6 arasında görülmektedir. Söz konusu bu şekillerde, tabaka sayısı arttıkça optik geçirgenliğin azaldığı görülmektedir. Nanoyapının 20 – 70 nm arasındaki kalınlık değişim etkisi 1 – 5 arasında değişen tabaka sayılarında ince film hazırlanarak oluşturulmuştur.

Şekil 5.2'de 400°C sıcaklıkta tavlansak ZnO ince filmlerinin 1 – 5 arası tabaka sayısı değişimine bağlı optik geçirgenlik özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi görülmektedir.



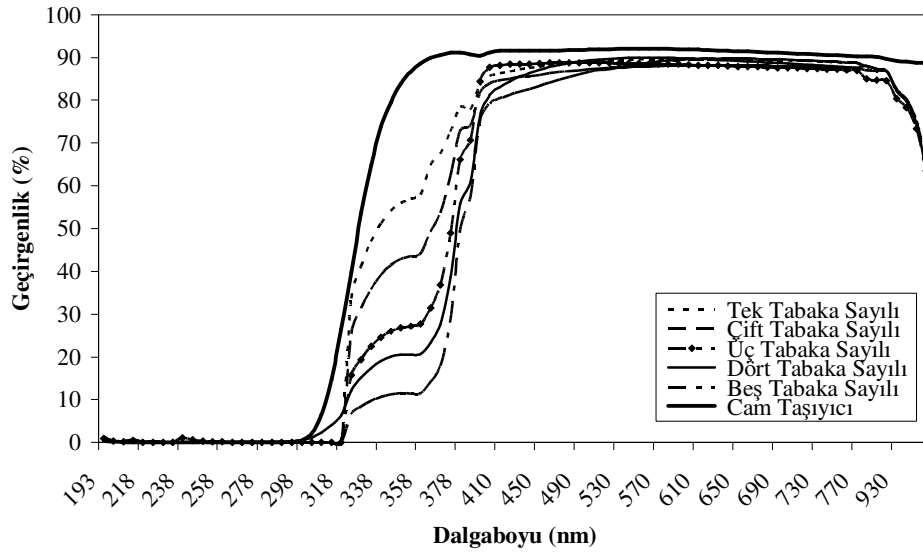
Şekil 5.2 : 400°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin geçirgenlik değişimi.

Şekil 5.3’de 450°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin 1 – 5 arası tabaka sayısı değişimine bağlı optik geçirgenlik özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi görülmektedir:



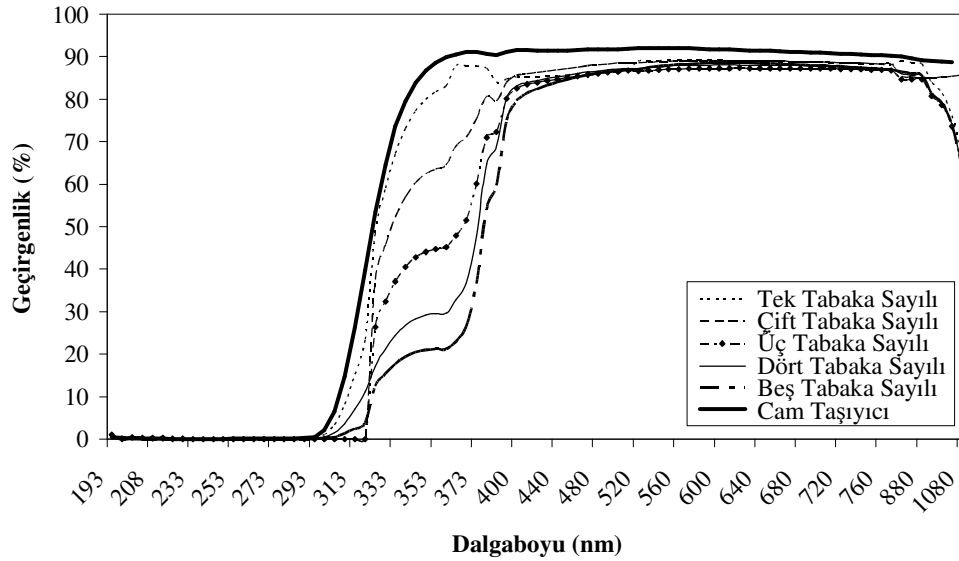
Şekil 5.3 : 450°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin geçirgenlik değişimi.

Şekil 5.4’de 500°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin tabaka sayısına bağlı optik geçirgenlik değişimi görülmektedir:



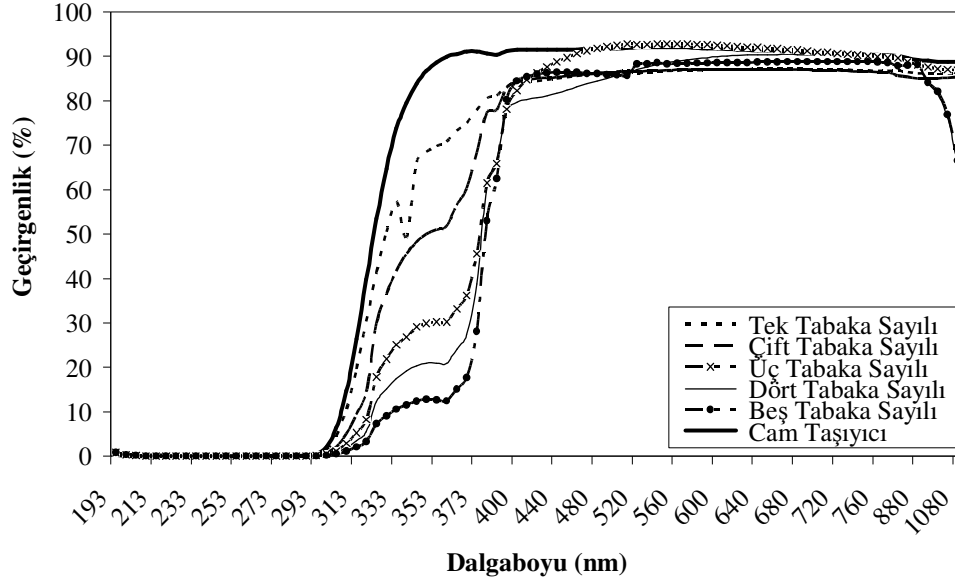
Şekil 5.4 : 500°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin geçirgenlik değişimi.

Şekil 5.5’de 550°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin tabaka sayısına bağlı optik geçirgenlik değişimi görülmektedir:



Şekil 5.5 : 550°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin geçirgenlik değişimi.

Şekil 5.6'da en yüksek tavlama sıcaklığı olan 600°C'de ZnO yapının optik geçirgenlik davranışı incelenmiştir. Tavlama sıcaklığı arttıkça geçirgenliğin azaldığı görülmektedir:



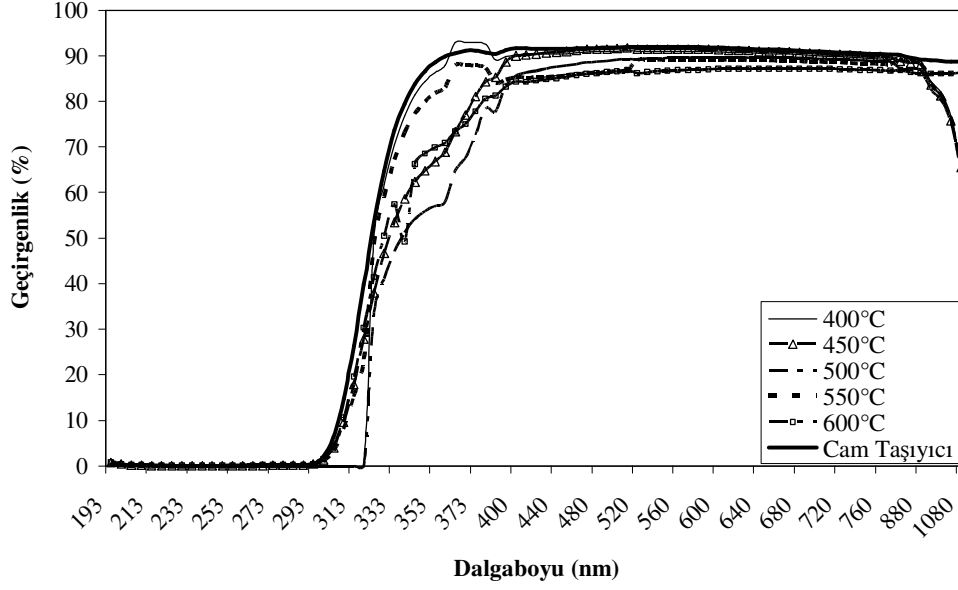
Şekil 5.6 : 600°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin geçirgenlik değişimi.

400°C – 600°C tavlama sıcaklıklarındaki ZnO ince filmlerinin Şekil 5.2 – 5.6 grafikleri ayrı ayrı incelendiğinde optik geçirgenlik özelliklerinin tabaka sayısı artışına bağlı olarak azaldığı görülmüştür. Soğurma kenarının davranışı dikkate alındığında ince filmlerden 263 nm dalgaboyuna kadar sert UV B ışınlarının filtrenmesinde kullanılmasının uygun olduğu sonucu çıkarılmıştır. ZnO ince filmlerinin 380 nm – 780 nm dalgaboyu aralığındaki görünür bölgede optik geçirgenlik kararlı kalmaktadır.

### 5.2.2 ZnO İnce filmlerin tavlama sıcaklığına bağlı optik geçirgenliği

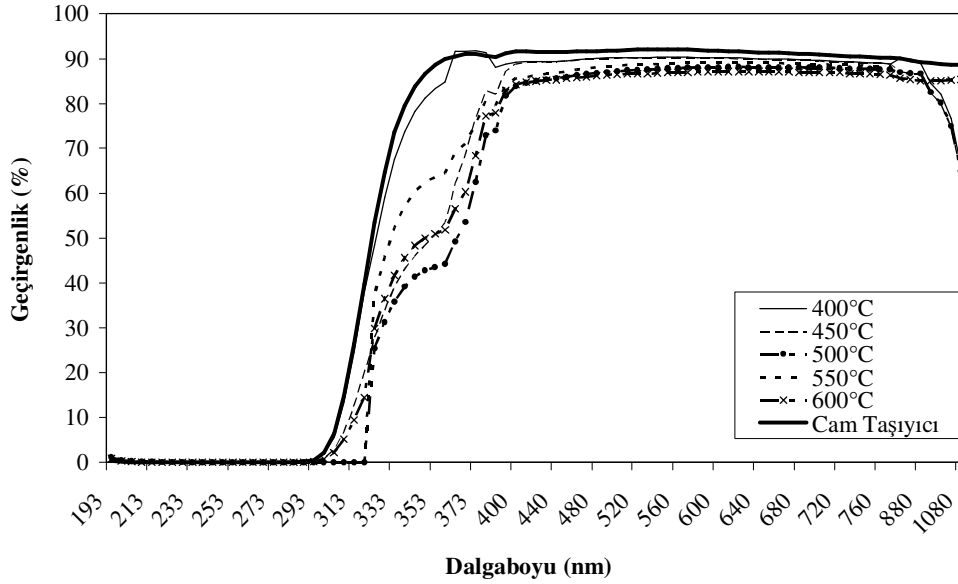
400 – 600°C arasında değişen ZnO ince filmler üretilmiştir. Üretilen ince filmlerin optik geçirgenlik davranışları, 193 – 1080 nm dalgaboyu aralığında incelenmiştir. Elde edilen veriler Şekil 5.7 - Şekil 5.11 arasında, tavlama sıcaklığına bağlı olarak incelenmiştir.

Şekil 5.7'de, tek tabaka sayılı ZnO ince filmlerinin 400°C – 600°C arası değişen tavlama sıcaklıklarına bağlı optik geçirgenlik özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi görülmektedir.



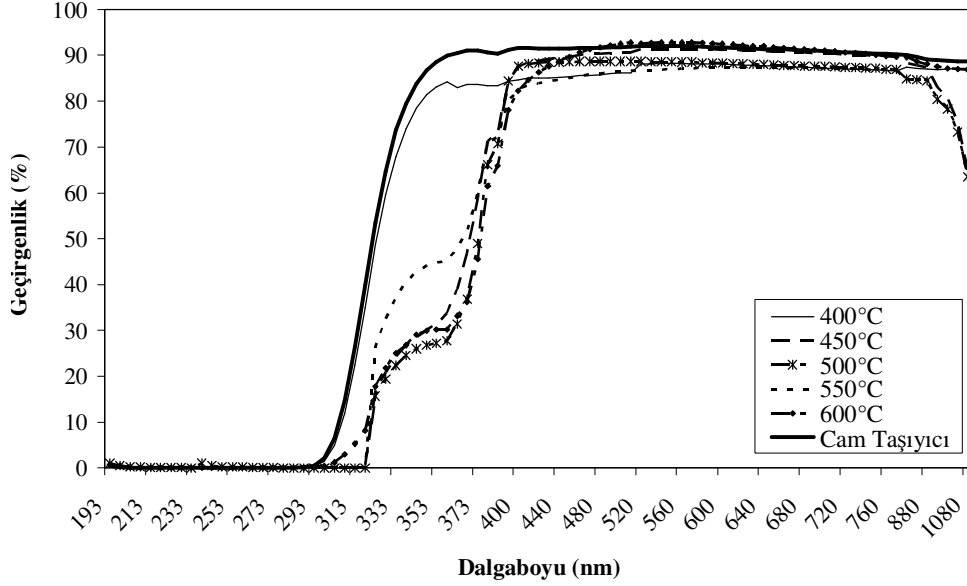
Şekil 5.7 : Tek tabakalı ZnO ince filmlerinin geçirgenlik değişimi.

Şekil 5.8’de, çift tabaka sayılı ZnO ince filminin 400°C – 600°C arası değişen tavlama sıcaklıklarına bağlı optik geçirgenlik özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi görülmektedir:



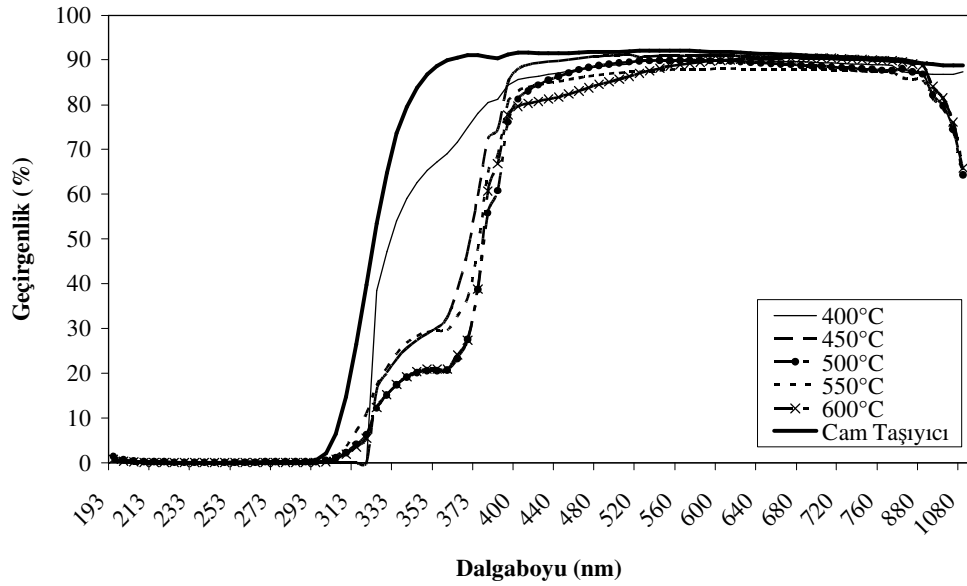
Şekil 5.8 : Çift tabakalı ZnO ince filmlerinin geçirgenlik değişimi

Şekil 5.9’da, üç tabakalı ZnO ince filmlerin 400°C – 600°C arası değişen tavlama sıcaklıklarına bağlı optik geçirgenlik özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi görülmektedir:



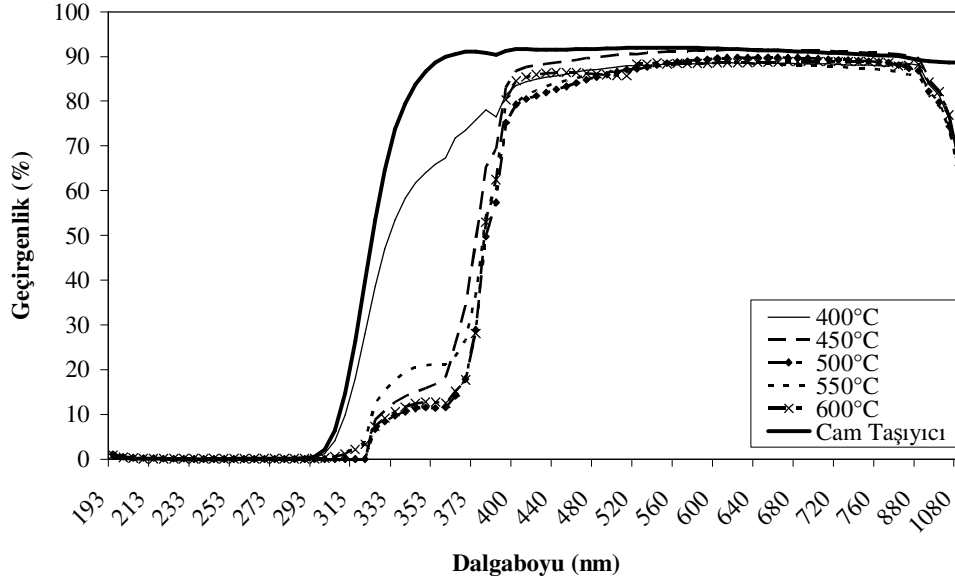
**Şekil 5.9 :** Üç tabakalı ZnO ince filmlerinin geçirgenlik değişimi.

Şekil 5.10’da, dört tabaka sayılı ZnO ince filmlerinin 400°C – 600°C arası değişen tavlama sıcaklıklarına bağlı optik geçirgenlik özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi görülmektedir:



**Şekil 5.10 :** Dört tabakalı ZnO ince filmlerinin geçirgenlik değişimi.

Şekil 5.11’de, beş tabaka sayılı ZnO ince filmlerinin 400°C – 600°C arası değişen tavlama sıcaklıklarına bağlı optik geçirgenlik özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi görülmektedir:



Şekil 5.11 : Beş tabakalı ZnO ince filmlerinin geçirgenlik değişimi.

Şekil 5.7 – 5.11’de ZnO ince filmlerin optik geçirgenlik özellikleri tavlama sıcaklığının artması ile azalmıştır. Soğurma kenarının tavlama sıcaklığı arttıkça uzun dalgaboylarına kaydıkları bilinmektedir (Xiabo-bo ve diğ., 2007). Buradaki yüksek lisans tez çalışması kapsamında, ZnO nanoyapılarının 500°C tavlama sıcaklığına kadar soğurma kenarlarının 263 – 318 nm ve 500°C tavlama sıcaklığı üzerinde 283 – 318 nm dalgaboyları arasında kaydığı gözlenmektedir. 500°C’ye kadar soğurma kenarlarının kısa dalgaboylarına, 500°C’den itibaren uzun dalgaboylarına kaydıkları görülmektedir. ZnO yapıda optik geçirgenliğin film tabaka sayısı ve tavlama sıcaklığındaki artıştan etkilendiği tespit edilmiştir.

### 5.3 ZnO İnce Filmlerindeki Optik Yansıtma Özelliğinin Belirlenmesi

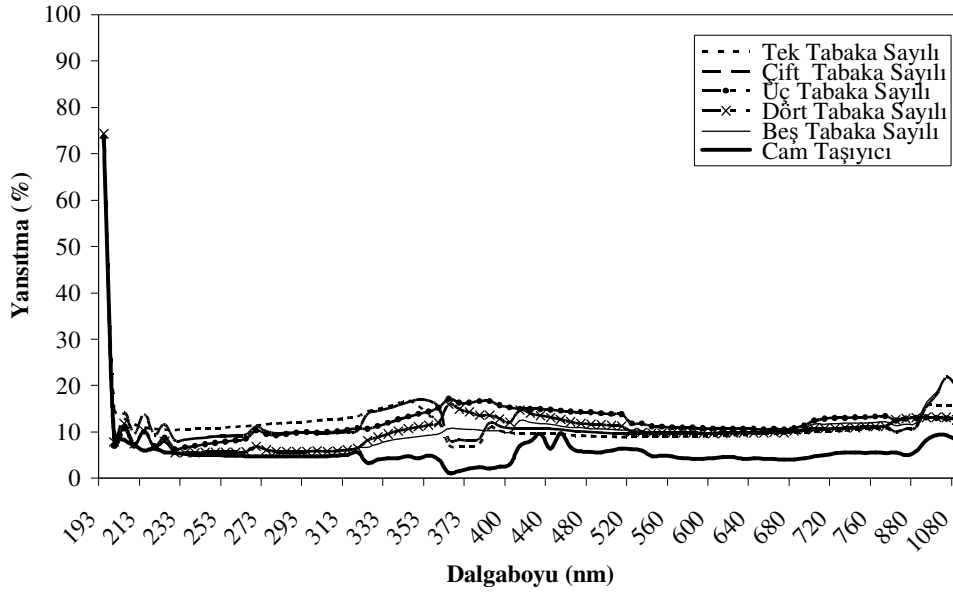
Günlük yaşamda optik yansıtma özelliğine dayanan uygulamalar çok yaygındır. Sol – jel daldırma tekniği ile farklı yansıtıcılık özelliklerine sahip ZnO ince filmler üretilmektedir (Klein, 1988).



### 5.3.1 ZnO İnce filmlerin tabaka sayısına bağı optik yansıtıcılığı

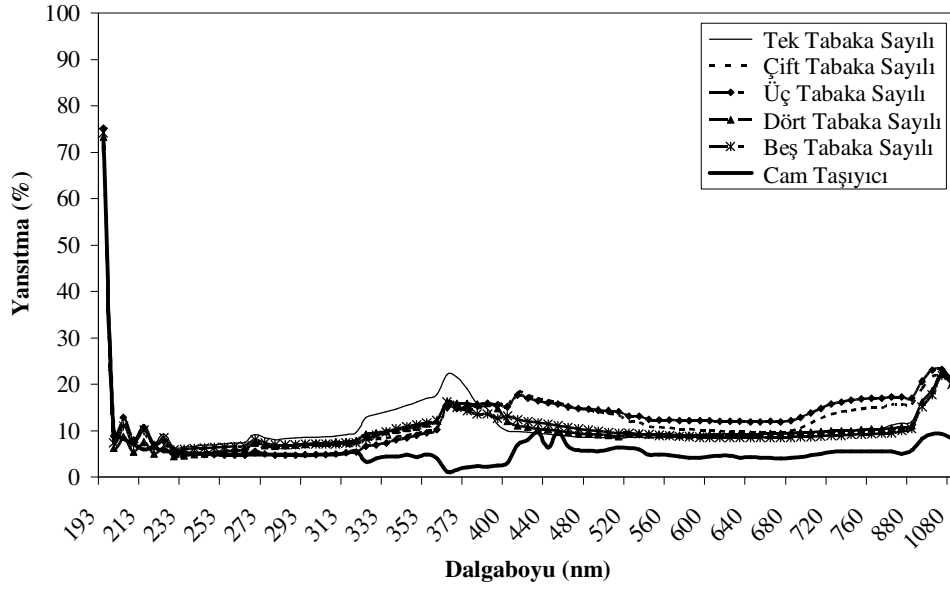
ZnO ince filmlerin yansıtıcılık özelliği, 193 nm – 1080 nm dalgaboyu aralığında incelenmiştir. Şekil 5.12 - Şekil 5.16'de ZnO ince filmlerin optik yansıtıcılık özelliğinin incelenmesinde en önemli etki mekanizmasının film tabaka sayısı ve tavlama sıcaklığı olduğu görülmüştür.

Şekil 5.12'de 400°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin 1 – 5 arası tabaka sayısı değişimine bağı optik yansıtıcılık özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi görülmektedir:

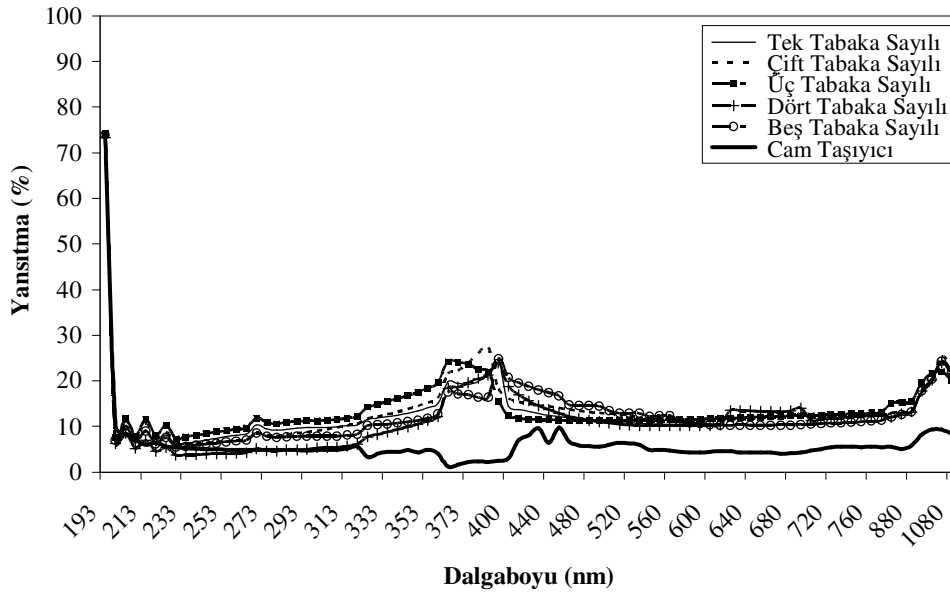


Şekil 5.12 : 400°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin yansıtıcılık değişimi.

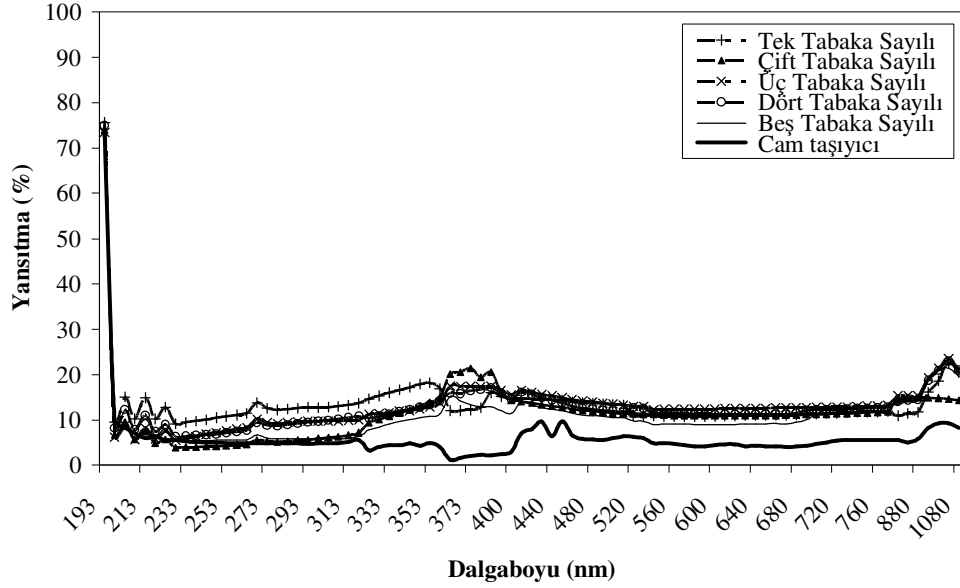
Şekil 5.13'de 450°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin 1 – 5 arası tabaka sayısı değişimine bağı optik yansıtıcılık özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi görülmektedir.



Şekil 5.14’de 500°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin 1 – 5 arası tabaka sayısı değişimine bağlı optik yansıtıcılık özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi görülmektedir:

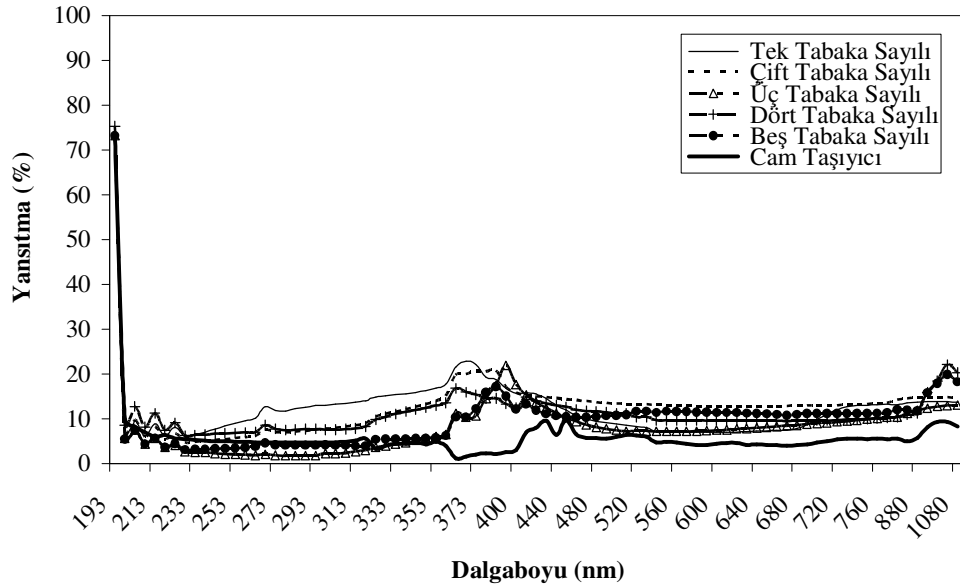


Şekil 5.15’da 550°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin 1 – 5 arası tabaka sayısı değişimine bağlı optik yansıtıcılık özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi görülmektedir:



Şekil 5.15 : 550°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin yansıtıcılık değişimi.

Şekil 5.16’da, 600°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin 1 – 5 arası tabaka sayısı değişimine bağlı optik yansıtıcılık özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi verilmektedir:



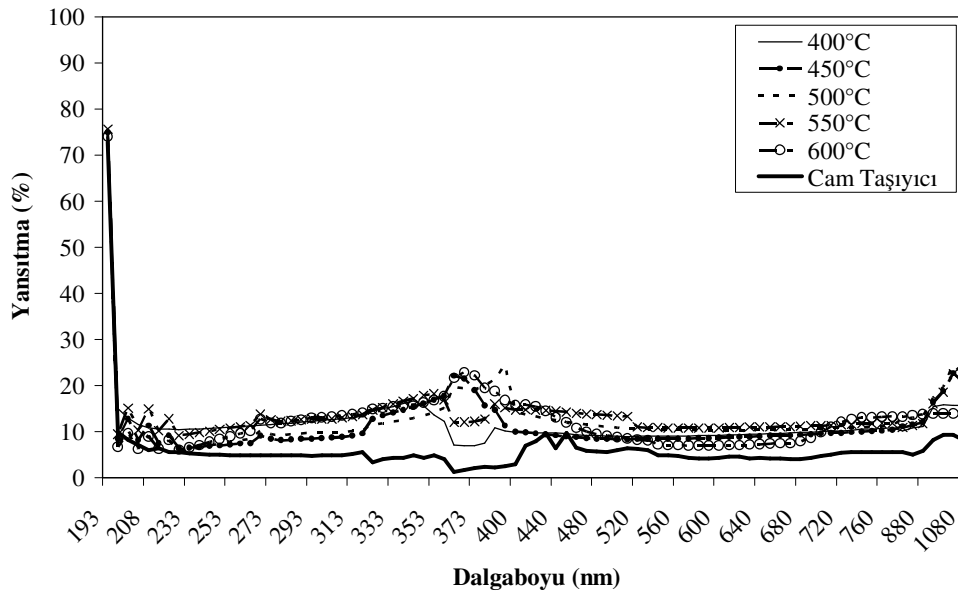
Şekil 5.16 : 600°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin yansıtıcılık değişimi.

Şekil 5.12 – 5.16’deki elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, ZnO ince filmlerinin tabaka sayısının artışı ile optik yansıtıcılığının azaldığı görülmüştür.

### 5.3.2 ZnO İnce filmlerin tavlama sıcaklığına bağlı optik yansıtıcılığı

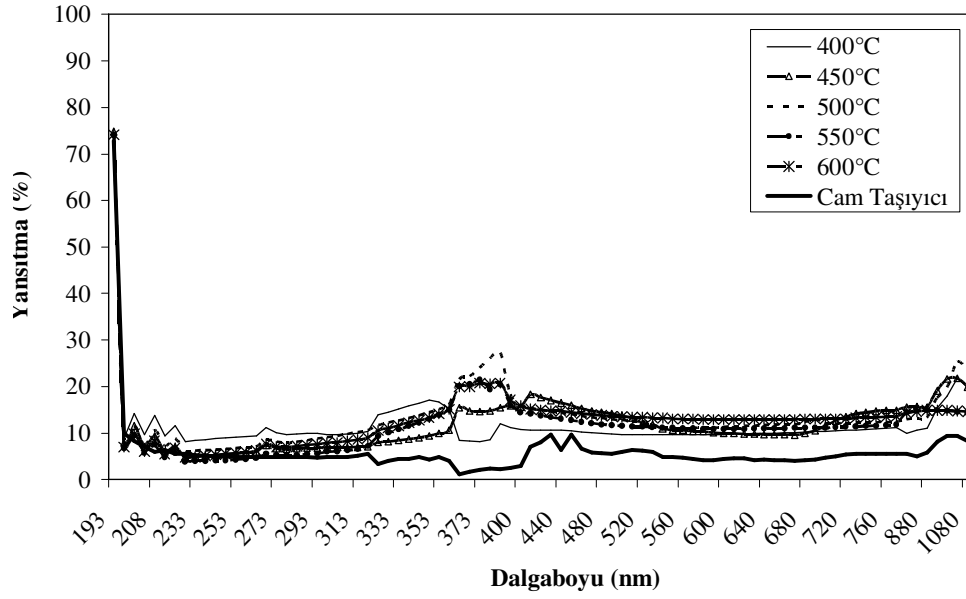
Bu yüksek lisans tezi kapsamında, ZnO ince filmin optik yansıtma özelliğinde tavlama sıcaklığının etkili olduğu tespit edilmiştir. ZnO yapının optik yansıtıcılığı, 193 nm – 1080 nm dalgaboyu arasında, 400°C - 600°C aralığındaki tavlama sıcaklıklarında incelenmiştir. Sonuçlar Şekil 5.17 – Şekil 5.21 arasında arz edilmektedir.

Şekil 5.17’de ZnO ince filmlerinin tek tabaka sayılı 400°C – 600°C arası değişen tavlama sıcaklıklarına bağlı optik yansıtıcılık özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi görülmektedir:



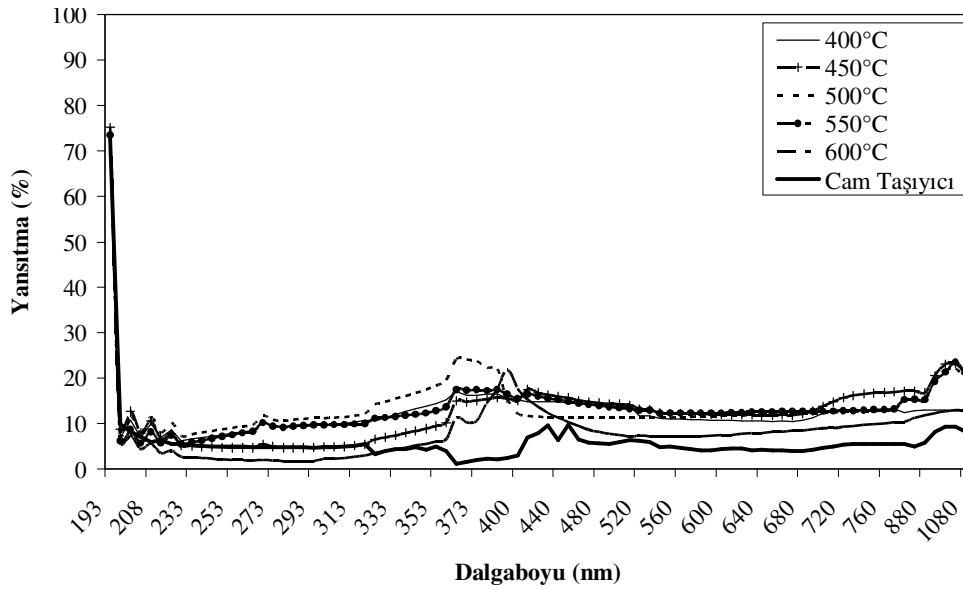
Şekil 5.17 : Tek tabakalı ZnO ince filmlerinin yansıtıcılık değişimi.

Şekil 5.18’de, ZnO ince filmlerinin çift tabaka sayılı 400°C – 600°C arası değişen tavlama sıcaklıklarına bağlı optik yansıtıcılık özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi görülmektedir.



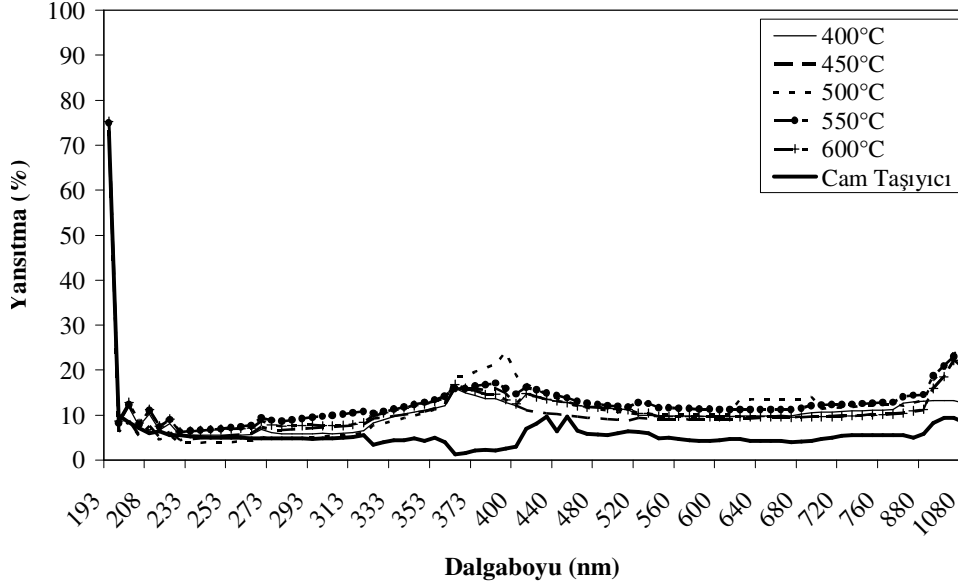
**Şekil 5.18 :** Çift tabakalı ZnO ince filmlerinin yansıtıcılık değişimi.

Şekil 5.19’da, ZnO ince filmlerinin üç tabaka sayılı 400°C – 600°C arası değişen tavlama sıcaklıklarına bağlı optik yansıtıcılık özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi verilmektedir:



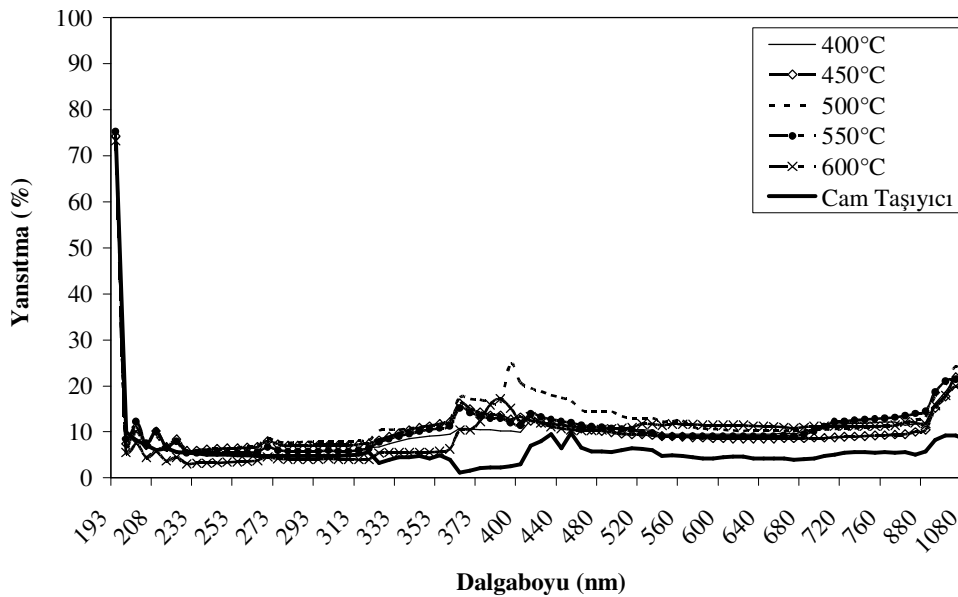
**Şekil 5.19 :** Üç tabakalı ZnO ince filmlerinin yansıtıcılık değişimi.

Şekil 5.20’de, ZnO ince filmlerinin dört tabaka sayılı 400°C – 600°C arası değişen tavlama sıcaklıklarına bağlı optik yansıtıcılık özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi arz edilmektedir:



Şekil 5.20 : Dört tabakalı ZnO ince filmlerinin yansıtıcılık değişimi.

Şekil 5.21’de, ZnO ince filmlerinin beş tabaka sayılı 400°C – 600°C arası değişen tavlama sıcaklıklarına bağlı optik yansıtıcılık özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi görülmektedir:



Şekil 5.21 : Beş tabakalı ZnO ince filmlerinin yansıtıcılık değişimi.

ZnO ince filmlerinin farklı film kalınlıkları için optik yansıtıcılık davranışları Şekil 5.17 – 5.21 arasındaki grafikler üzerinde görülmektedir. Bu grafiklere göre filmlerin tavlama sıcaklığının artması ile optik yansıtıcılık artmıştır.

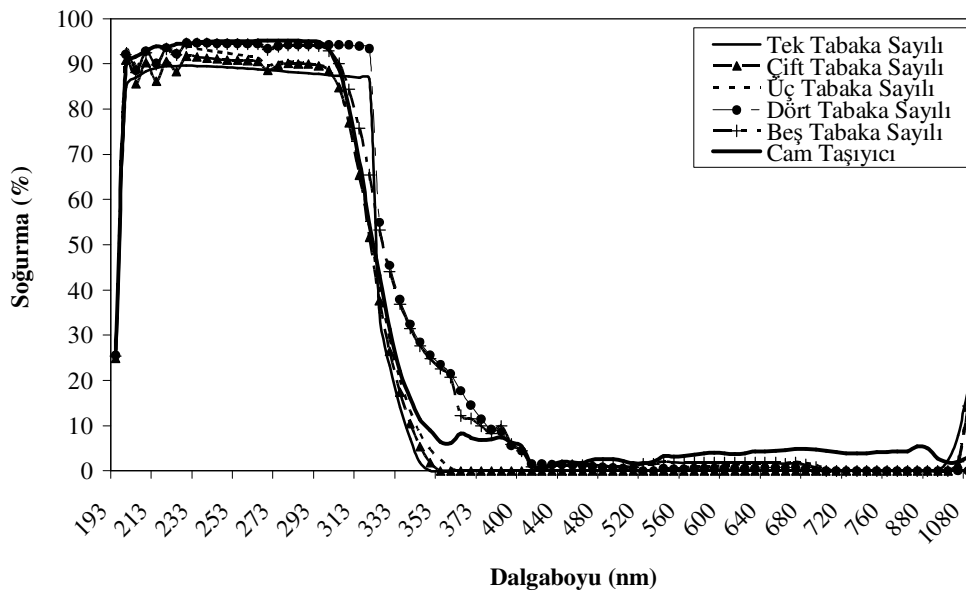
#### 5.4 ZnO İnce Filmlerinin Optik Soğurma Özelliklerinin Belirlenmesi

ZnO ince filmlerinin optik soğurma özelliğinden çeşitli alanlarda yararlanılır. ZnO ince filmlerin soğurma davranışı kaplama özelliğine bağlı olarak değişebilmektedir.

##### 5.4.1 ZnO İnce filmlerin tabaka sayısına bağlı optik soğurması

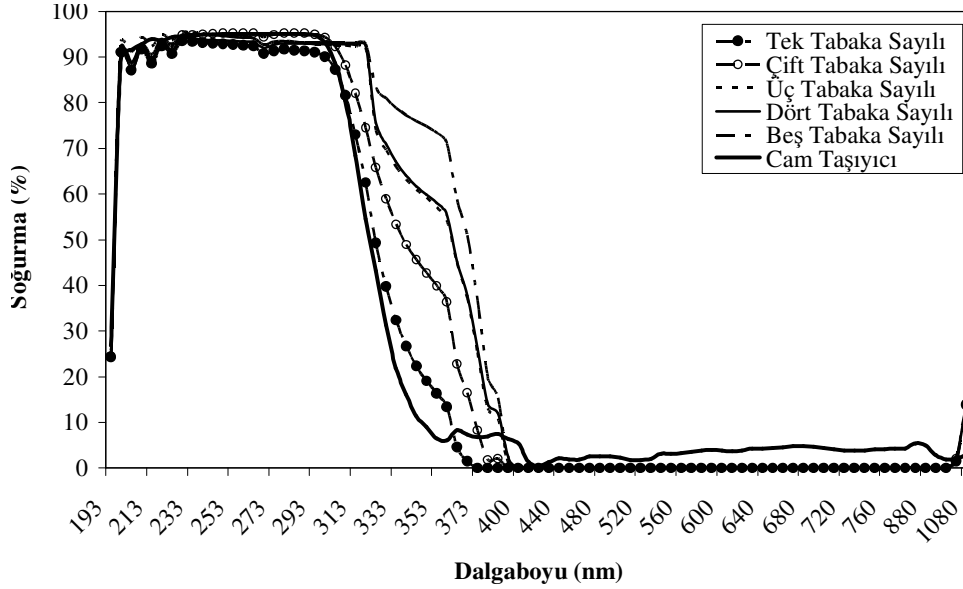
Çalışma alanlarının hassasiyeti nedeni ile ZnO ince filmlerinin optik soğurma özelliklerinin geliştirilmesi gereklidir (Bach ve Dieter, 1997). Bu bölümde soğurmayı etkileyen başlıca faktörlerden biri olan ince film tabaka sayısının değişimi üzerinde durulmuştur. Amaca uygun olarak, beş farklı tabaka sayısında üretilmişlerdir. Optik soğurma davranışları 193 nm – 1080 nm dalgaboylarındaki elektromanyetik dalgaların etkisi altında analiz edilmektedir. İlgili analizler grafikleştirilmiş olup Şekil 5.22 – 5.26 görülmektedir.

Şekil 5.22’de 400°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin 1 – 5 arası tabaka sayısı değişimine bağlı optik soğurma özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi görülmektedir:



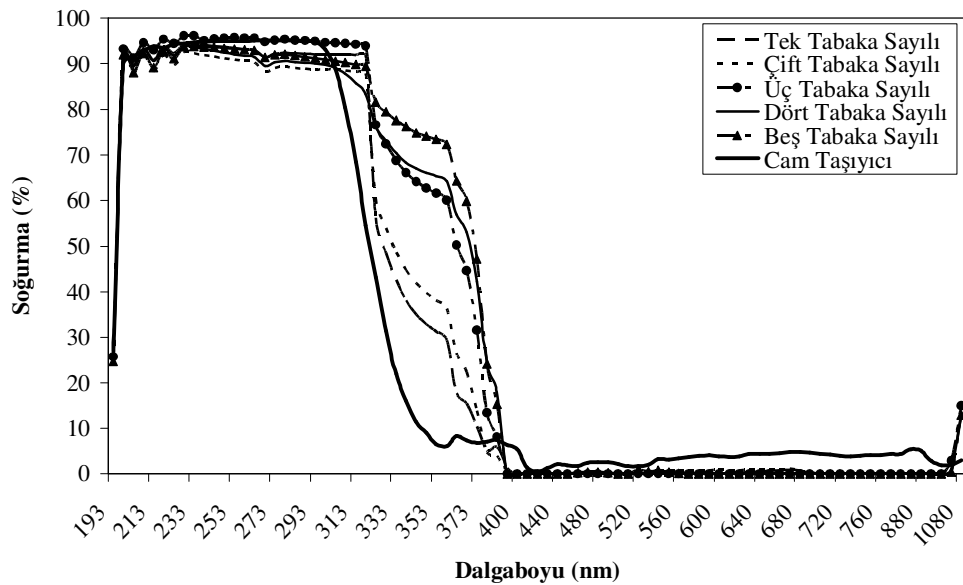
Şekil 5.22 : 400°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin soğurma değişimi.

Şekil 5.23’de, 450°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin 1 – 5 arası tabaka sayısı değişimine bağlı optik soğurma özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi görülmektedir:



Şekil 5.23 : 450°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin soğurma değişimi.

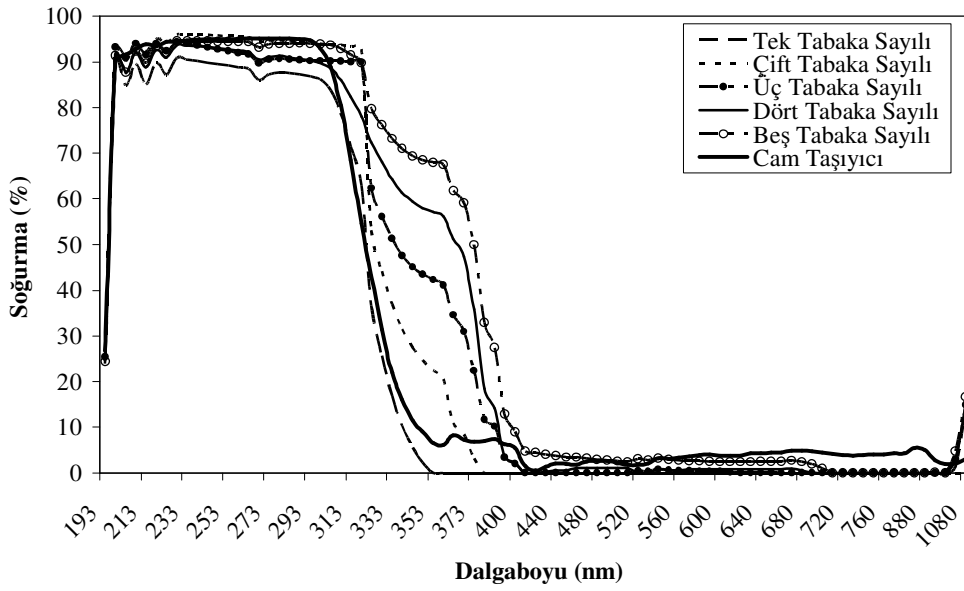
Şekil 5.24’de, 500°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin 1 – 5 arası tabaka sayısı değişimine bağlı optik soğurma özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi sunulmaktadır:



Şekil 5.24 : 500°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin soğurma değişimi.

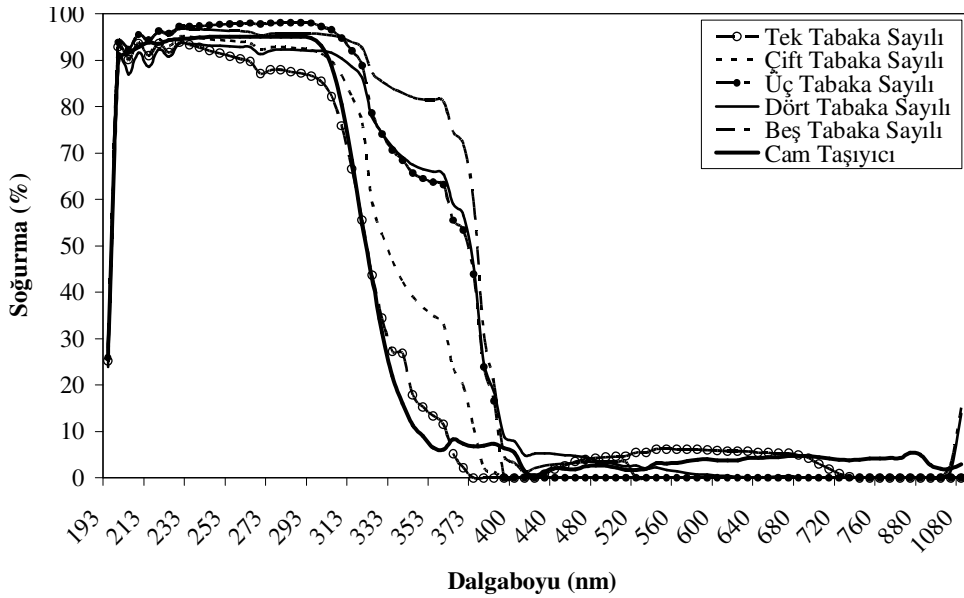


Şekil 5.25’de, 550°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin 1 – 5 arası tabaka değişimine bağlı optik soğurmanın dalgaboyuna göre değişimi gözlenmektedir:



Şekil 5.25 : 550°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin soğurma değişimi.

Şekil 5.26’de, 600°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin 1 – 5 arası tabakanın değişimine bağlı optik soğurma özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi mevcuttur:



Şekil 5.26 : 600°C sıcaklıkta tavlanan ZnO ince filmlerinin soğurma değişimi.

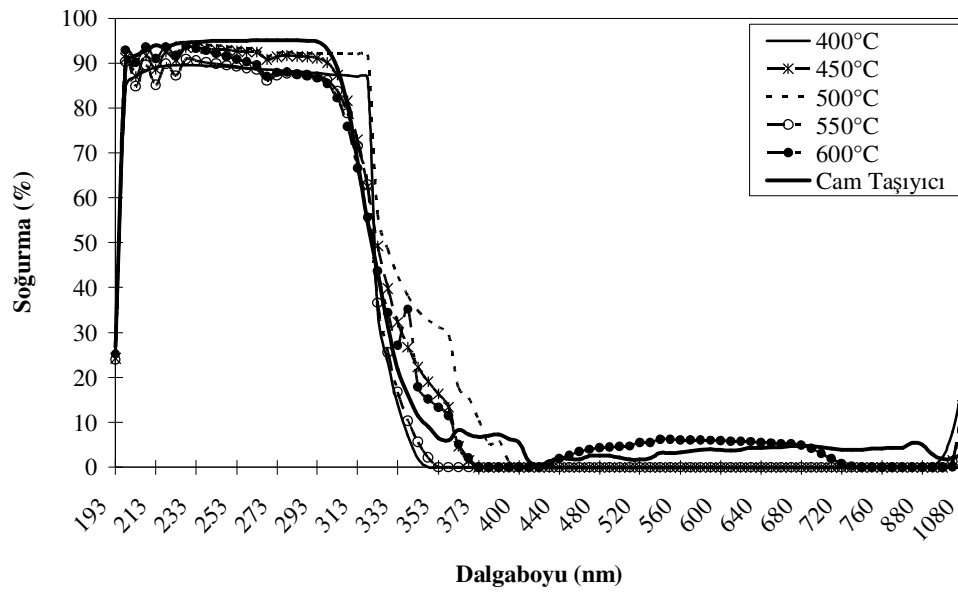
Şekil 5.22 – 5.26’ya göre ZnO ince filmlerinin tabaka sayısı arttıkça optik soğurma davranışı artmaktadır.

#### 5.4.2 ZnO İnce filmlerin tavlama sıcaklığına bağlı optik soğurması

Uyaranların etkisine daha hassas ince filmler üretilmesi için film kalitesini etkileyen diğer bir unsur olan tavlama sıcaklığı değişimi irdelenmiştir.

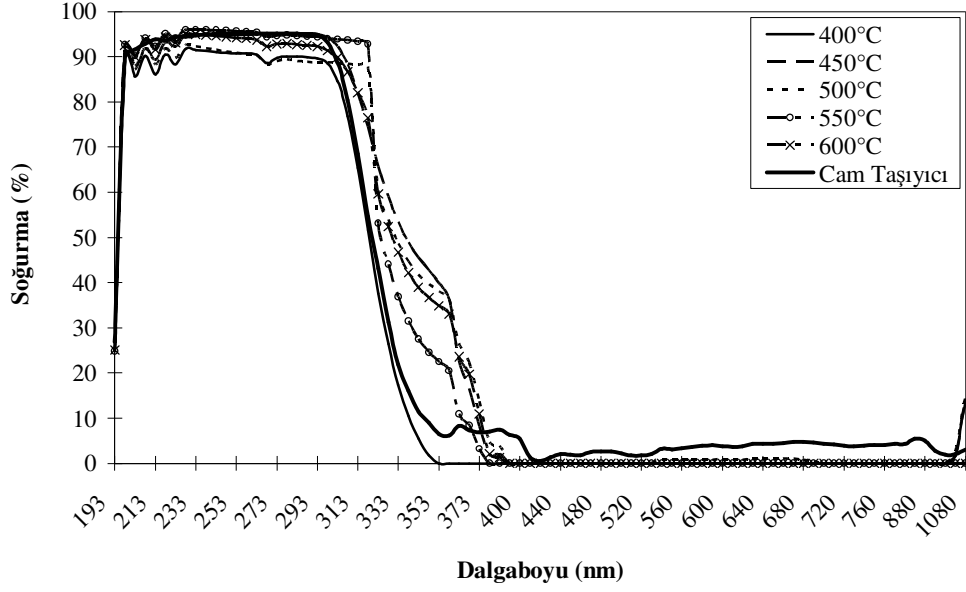
ZnO ince filmleri, 400°C - 600°C arasında beş farklı sıcaklıkta tavlannmıştır. Optik soğurma davranışları 193 nm – 1080 nm dalgaboylarında incelenmiştir. Sonuçlar grafik olarak Şekil 5.27 – 5.31 arasında verilmiştir.

Şekil 5.27’de tek tabaka sayılı ZnO ince filmlerinin 400°C – 600°C tavlama sıcaklıklarına bağlı dalgaboyuna göre değişimleri görülmektedir :



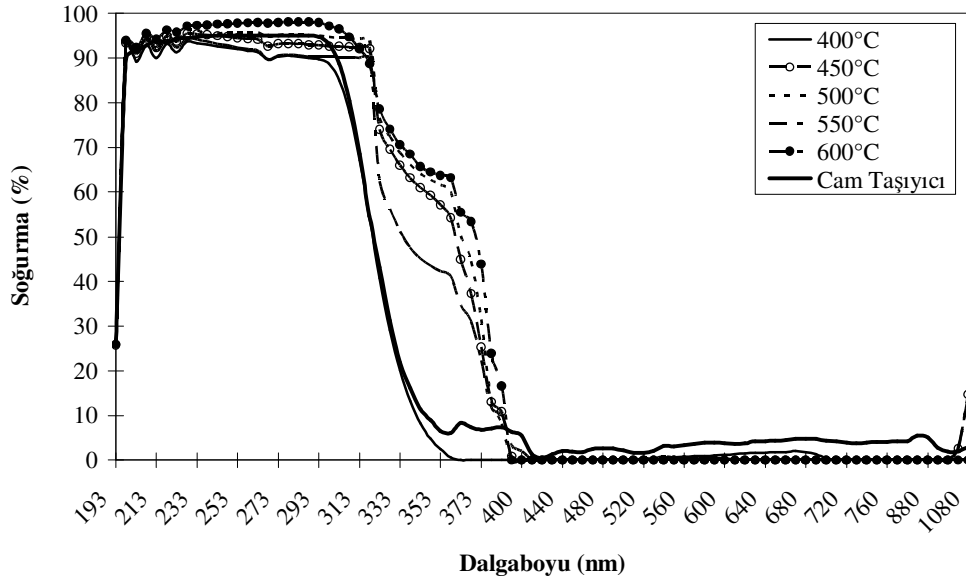
Şekil 5.27 : Tek tabakalı ZnO ince filmlerinin soğurma değişimi.

Şekil 5.28’de ZnO ince filmlerinin çift tabaka sayılı 400°C – 600°C tavlama sıcaklığı değişimine bağlı optik soğurma özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi verilmektedir.



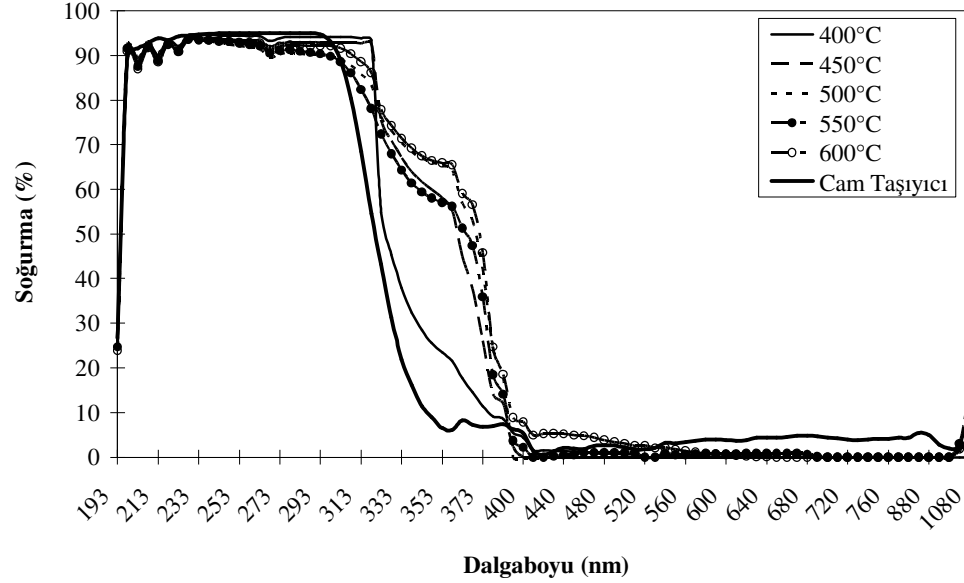
Şekil 5.28 : Çift tabakalı ZnO ince filmlerinin soğurma değişimi.

Şekil 5.29’da ZnO ince filmlerinin üç tabaka sayılı 400°C – 600°C tavlama sıcaklığı değişimine bağlı optik soğurma özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi irdelenmektedir:



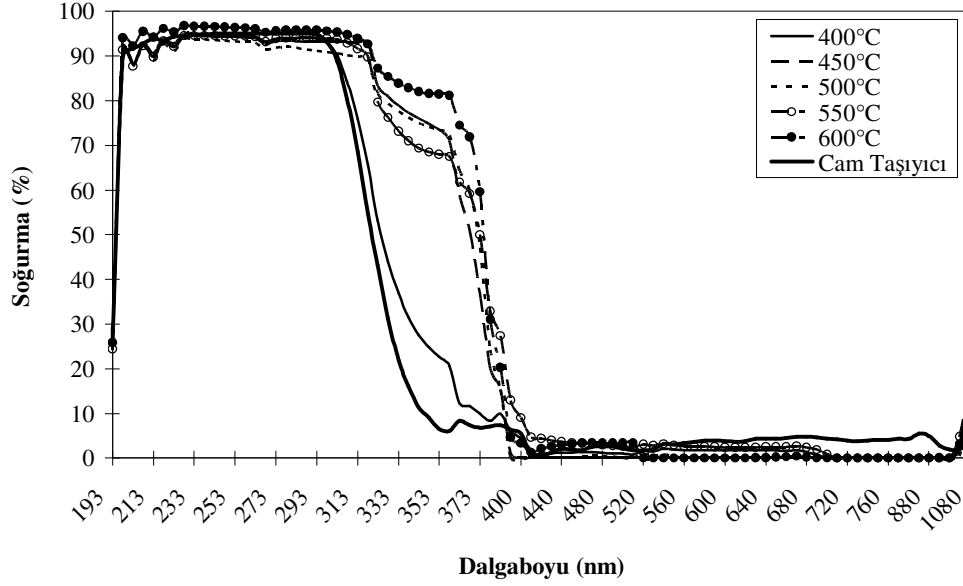
Şekil 5.29 : Üç tabakalı ZnO ince filmlerinin soğurma değişimi.

Şekil 5.30'da ZnO ince filmlerinin dört tabaka sayılı 400°C – 600°C tavlama sıcaklığı değişimine bağlı optik soğurma özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi irdelenmektedir :



Şekil 5.30 : Dört tabakalı ZnO ince filmlerinin soğurma değişimi.

Şekil 5.31'da ZnO ince filmlerinin beş tabaka sayılı 400°C – 600°C tavlama sıcaklığı değişimine bağlı optik soğurma özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi görülmektedir.



**Şekil 5.31** : Beş tabakalı ZnO ince filmlerinin soğurma değişimi.

Şekil 5.27 – 5.31 optik soğurma grafikleri incelendiğinde tavlama sıcaklığı artışına bağlı olarak optik soğurmanın arttığı görülmüştür. Optik soğurma davranışının filmin tavlama sıcaklığı unsuru da birlikte düşünüldüğünde, 600°C’de tavlansak ZnO nano kristallerin oluştuğu beş tabaka sayılı ince filmlerin geçirgenliğinde değişim görülmektedir.

### 5.5 Co 60 Gama Kaynağı ile Işınlanan ZnO İnce Filmlerinin Optik Özelliklerinin Belirlenmesi

ZnO ince filmlerinin optik özellikleri daha önce belirlenmiştir. Alınan sonuçlara göre ince film kalınlığı artışına bağlı olarak optik geçirgenliğin azaldığı, optik soğurmanın arttığı ve en son olarak optik yansıtıcılığın azaldığı bulunmuştur. Optik özellikler ve gelen gama fotonlarının enerjisinin yüksek olduğu dikkate alınmıştır. Bu nedenle, ışınlama etkisinin en uygun tespit edilebileceği filmlerin tabaka kalınlığı en yüksek filmler olduğu sonucuna varılmıştır. ~ 0.05 - 0.35 Gy arasında değişen 11 farklı doz aralığında 5.2 ve 5.3 nolu denklemler yardımı ile ışınlama dozları bulunmuştur. ZnO ince filmlere uygulanan dozlar sırası ile; 0.0500, 0.0641, 0.0955, 0.1185, 0.1578, 0.2064, 0.2320, 0.2630, 0.2868, 0.3263, 0.3545 Gy’dir.

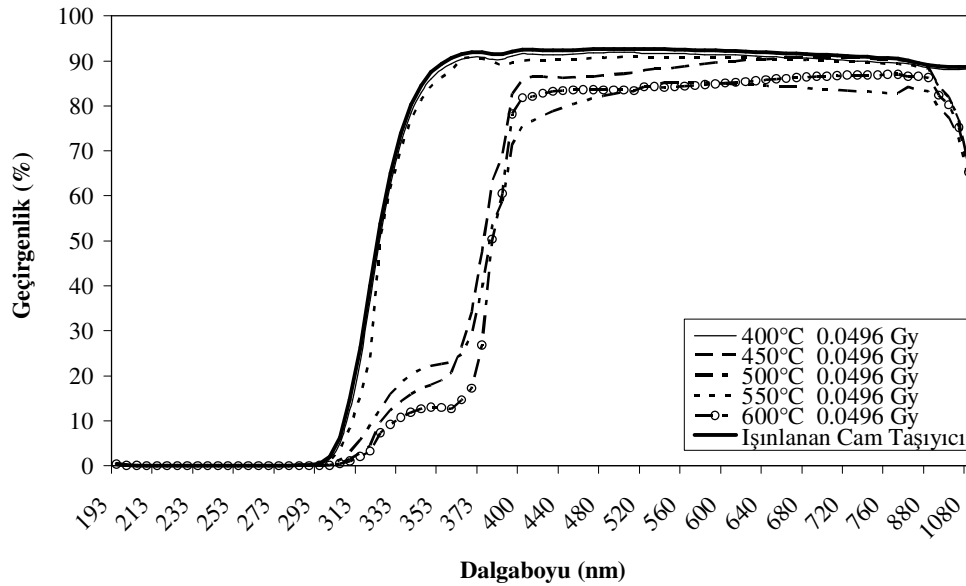
$$\dot{D} = K\gamma \frac{A}{r^2} \quad (5.2)$$

(5.2) nolu denklemde yer alan  $\dot{D}$  (rad / saat) doz hızını,  $K_\gamma = 1.32$  (Rm<sup>2</sup> / h Ci) gama sabitini, A (Ci) aktiviteyi, r (m) gama kaynağı ile ışınlanan malzeme arasındaki mesafedir. Alınan gama dozunun miktarı rad radyoaktif ışınlama birimi cinsinden, doz hızı ile ışınlama süresinin çarpımı şeklinde tespit edilmektedir.

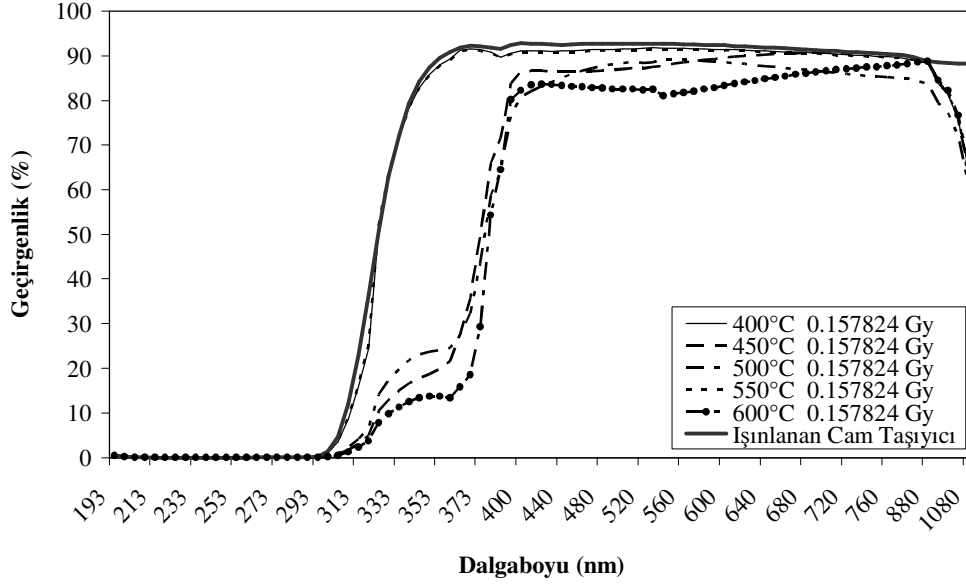
Co 60 gama kaynağı ile ışınlanan ZnO ince filmlerinin optik özellikleri değişmiştir. ZnO ince filmlerinde oluşan optik değişimler farklı dozlar için geçirgenlik, yansırma ve soğurma özellikleri ölçümlenerek incelenmiştir. Sonuçlar ilgili konu başlıklarında grafikler halinde açıklanmıştır.

### 5.5.1 Co 60 Gama kaynağı ile farklı dozlarda ışınlanan ZnO ince filmlerinin optik geçirgenlik özelliğinin tavlama sıcaklığı değişimine bağı belirlenmesi

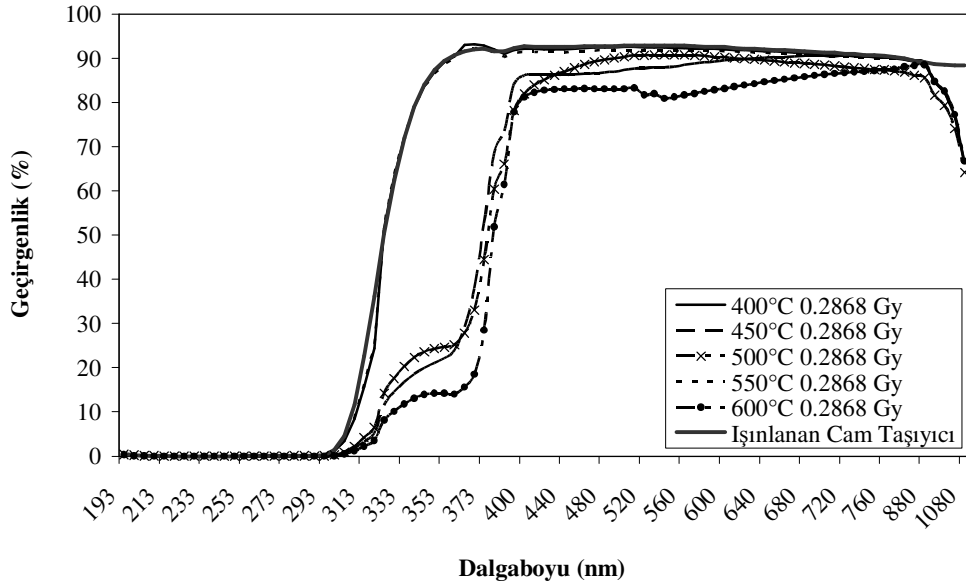
Co 60 gama ışını kullanılarak farklı dozlarda ışınlanan ZnO ince filmlerinin optik geçirgenlik özelliği deneyde kullanılan en kalın filmlerde, 193 – 1080 nm elektromanyetik dalgaboylarına göre incelenmiştir. Şekil 5.32 – 5.35 grafikleri üzerinde ilgili sonuçlar görülmektedir:



Şekil 5.32 : 0.0496 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağı geçirgenlik değişimi.

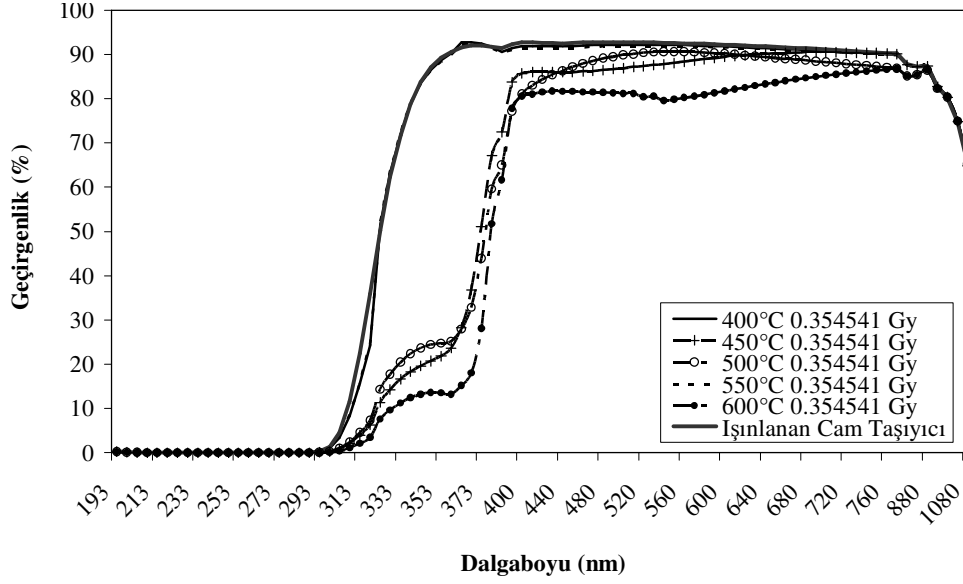


**Şekil 5.33 :** 0.157824 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı geçirgenlik değişimi.



**Şekil 5.34 :** 0.2868 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı geçirgenlik değişimi.

Şekil 5.35’de Co 60 Gama kaynağı ile 0.354541 Gy doz ışınlanan beş tabaka sayılı ZnO ince filmlerinin 400°C – 600°C tavlama sıcaklığı değişimine bağlı optik geçirgenlik özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi görülmektedir.



**Şekil 5.35 :** 0.354541 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı geçirgenlik değişimi.

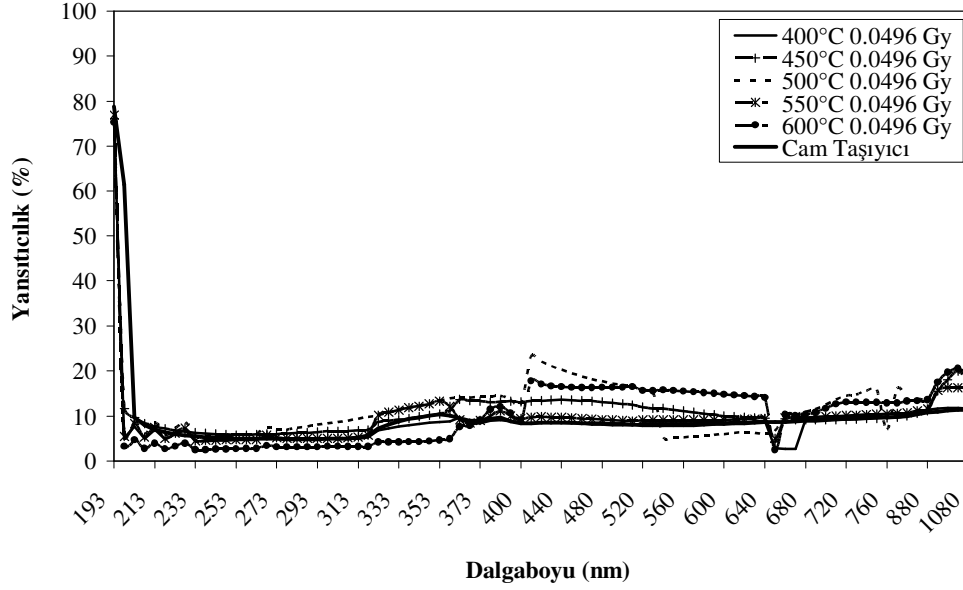
Şekil 5.32 - 5.35 arasındaki grafikler incelendiğinde, Co 60 radyoizotopu ile ışınlanan ZnO ince filmlerinin optik geçirgenlik özelliği tavlama sıcaklığının artışı ile azalmaktadır. Işınlanmayan ZnO ince filmlerine göre alınan radyasyon dozunun artması ile birlikte optik geçirgenlik azalmaktadır. Ayrıca, optik geçirgenliğin farklı dozlardaki davranışını gözlenmesi amacıyla daha fazla sayıda çalışma yapılmıştır. Söz konusu sonuçlar grafikler halinde Ek A verilmektedir.

Gama ışınlarına maruz kalan ZnO ince filmlerinde dozun artımı soğurma kenarının kısa dalgaboylarına kaymasına neden olur. Soğurma kenarı tüm tavlama sıcaklıkları için 0.118469 Gy dozundan itibaren uzun dalgaboylarına kaymaktadır. Soğurma kenarı morötesi dalgaboylarından görünür bölgeye doğru kayma eğilimindedir.

### 5.5.2 Co 60 Gama kaynağı ile farklı dozlarda ışınlanan ZnO ince filmlerinin optik yansıtma özelliğinin tavlama sıcaklığı değişimine bağlı belirlenmesi

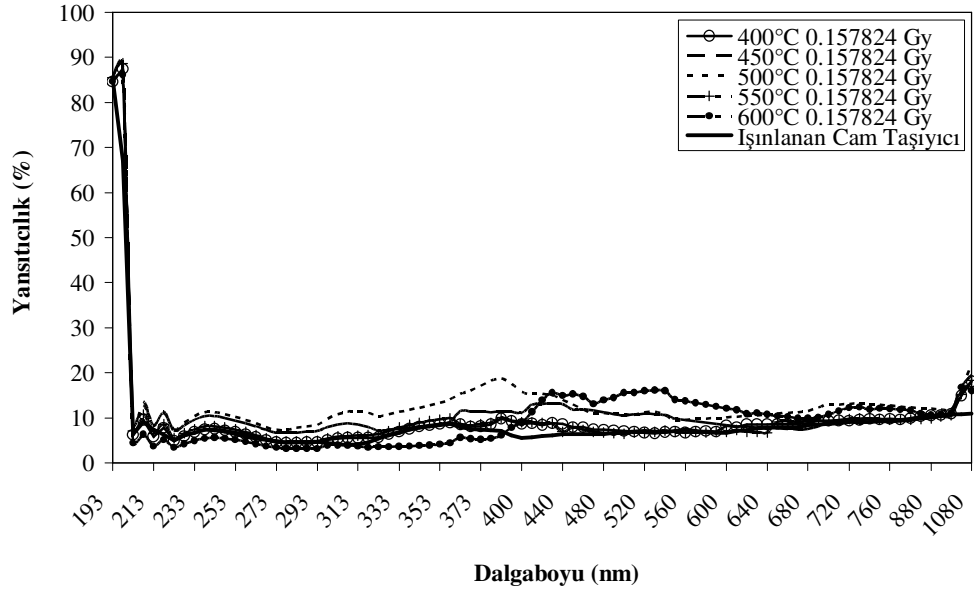
Co 60 gama kaynağı ile ışınlanan ZnO ince filmlerinin farklı dozlardaki optik yansıtıcılık davranışı 193 nm – 1080 nm dalgaboylarındaki elektromanyetik dalgalar ile etkileşimlerine bağlı olarak 0.0496, 0.157824, 0.2868, 0.354541 Gy olmak üzere dört farklı dozda Şekil 5.36 – Şekil 5.39'daki grafiklerde değerlendirilmiştir. Diğer 7 farklı ışınlama dozlarına ait yansıtıcılık grafikleri ise Ek B'de yer almaktadır.



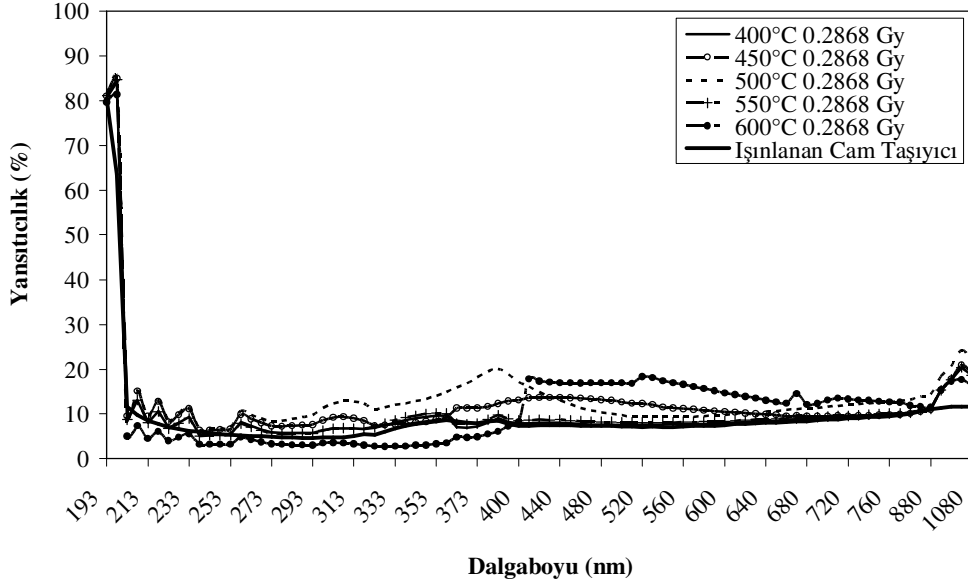


**Şekil 5.36** : 0.0496 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı yansıtıcılık değişimi.

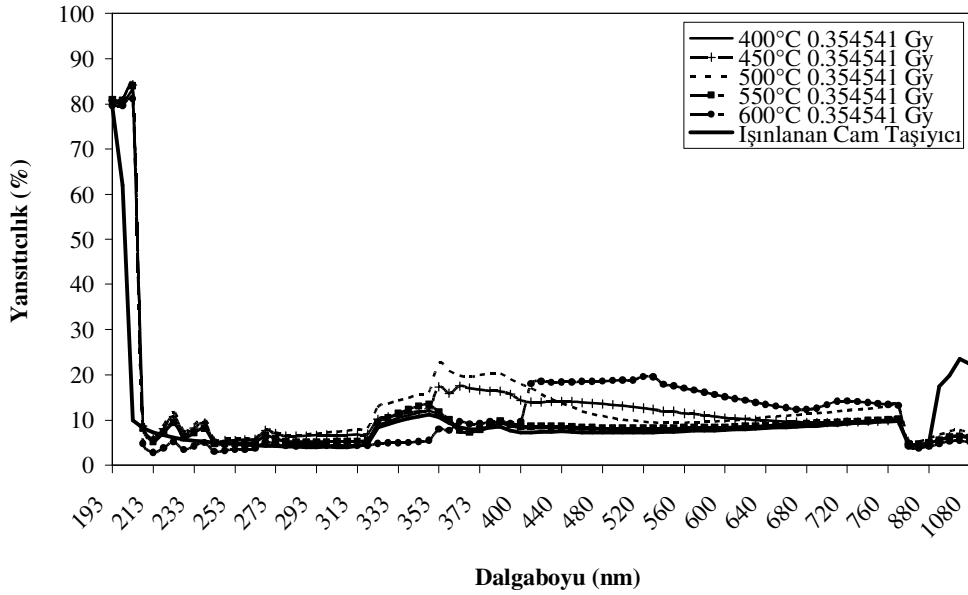
Şekil 5.37’de Co 60 Gama kaynağı 0.157824 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerin tavlama sıcaklığına göre yansıtıcılık özelliği görülmektedir. Şekil 5.38’de ise Co 60 Gama kaynağı ile 0.2868Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerin tavlama sıcaklığına göre yansıtıcılık özelliği verilmiştir. Şekil 5.39’da ise 0.354541Gy dozda ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerin tavlama sıcaklığına göre yansıtıcılığı arz edilmektedir.



**Şekil 5.37** : 0.157824 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı yansıtıcılık değişimi.



**Şekil 5.38 :** 0.2868 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı yansıtıcılık değişimi.

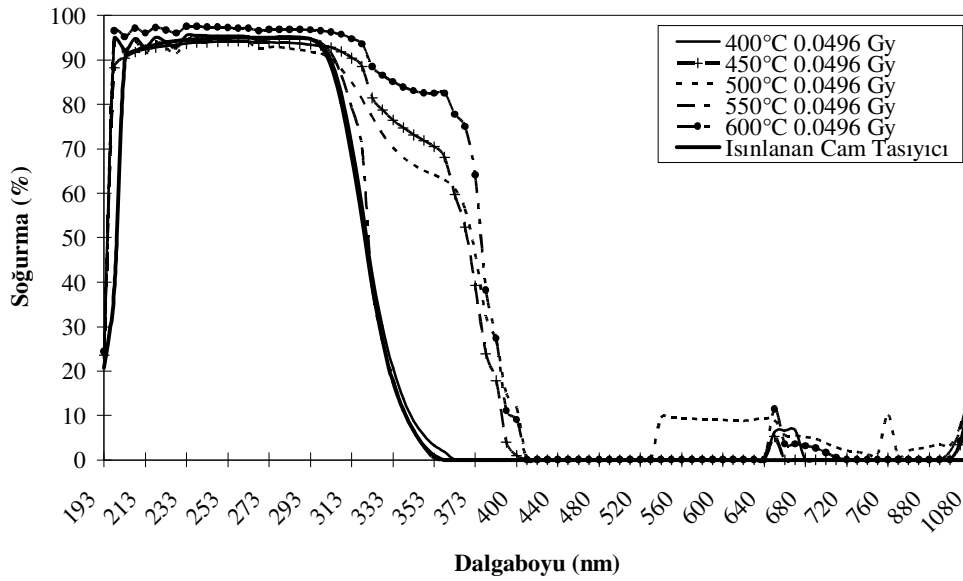


**Şekil 5.39 :** 0.354541 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı yansıtıcılık değişimi.

Şekil 5.36 – 5.39 grafikleri incelendiğinde, ışınlanan ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığı artışına bağlı olarak farklı dozlardaki optik yansıtma değerlerinin arttığı görülmüştür.

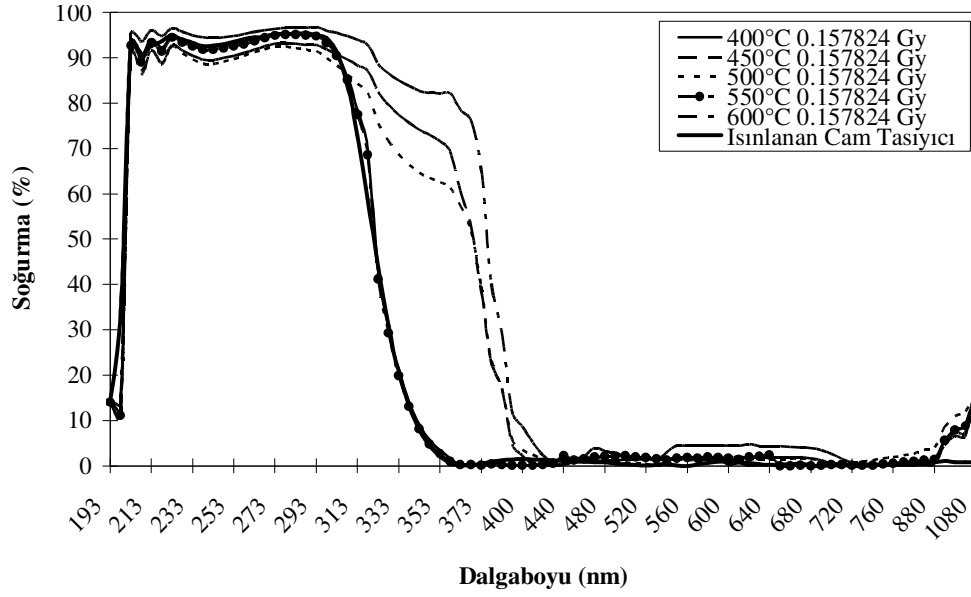
### 5.5.3 Co 60 Gama kaynağı ile farklı dozlarda ışınlanan ZnO ince filmlerinin optik soğurma özelliğinin tavlama sıcaklığı değişimine bağlı belirlenmesi

Co 60 gama kaynağı ile farklı dozlarda ışınlanan ZnO ince filmlerinin 93 – 1080 nm dalgaboylarındaki optik yansıtma özelliği tavlama sıcaklığına bağlı olarak Şekil 5.40 – 5.43 grafiklerinde verilmektedir. Şekil 5.40’da, Co 60 Gama kaynağı ile 0.0496 Gy doz ışınlanan beş tabaka sayılı ZnO ince filmlerinin 400°C – 600°C tavlama sıcaklığı değişimine bağlı optik soğurma özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi verilmiştir:



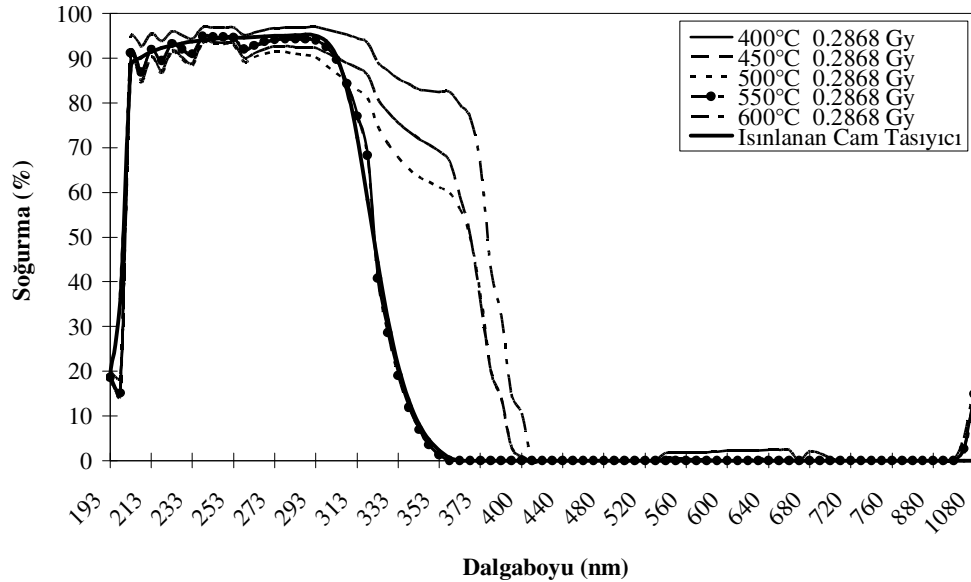
**Şekil 5.40** : 0.0496 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı soğurma değişimi.

Şekil 5.41’de, 0.157824 Gy doz ışınlanan beş tabaka sayılı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığı değişimine bağlı optik yansıtıcılık özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi arz edilmiştir.

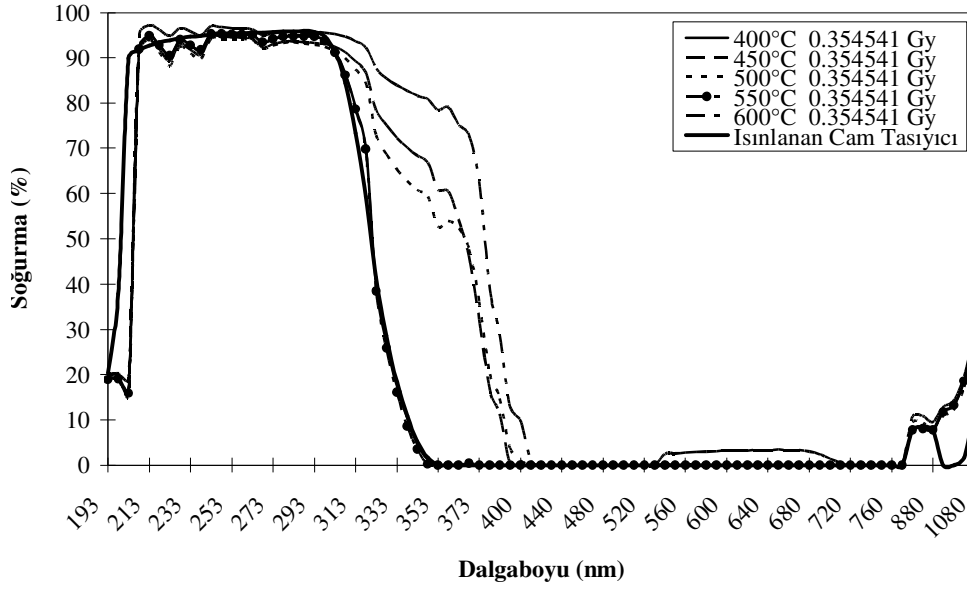


**Şekil 5.41 :** 0.157824 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı soğurma değişimi.

Şekil 5.42’de Co 60 Gama kaynağı ile 0.2868 Gy doz ışınlanan beş tabaka sayılı ZnO ince filmlerinin 400°C – 600°C tavlama sıcaklığı değişimine bağlı optik yansıtıcılık özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi görülmektedir. Şekil 5.43’de 0.354551 Gy doz ışınlanan ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığı değişimine bağlı optik yansıtıcılık özelliğinin dalgaboyuna göre değişimi verilmektedir.



**Şekil. 5.42 :** 0.2868 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı soğurma değişimi.



**Şekil 5.43 :** 0.354551 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı soğurma değişimi.

0.0496, 0.157824, 0.2868, 0.354541 Gy olmak üzere dört farklı dozda Şekil 5.40 – Şekil 5.43 grafikler incelendiğinde, Co 60 radyoizotopu ile farklı dozlarda ışınlanan ZnO ince filmlerinin optik soğurma davranışının tavlama sıcaklığı artışı ile arttığı gözlemlenmiştir. Diğer 7 farklı ışınlama dozlarını içeren optik soğurma davranışını veren grafikler Ek C’de bulunmaktadır.

### 5.6 ZnO İnce Filmlerinin Enerji Bant Aralıklarının Belirlenmesi

Yüksek enerjili gama fotonları ile etkileşmeye giren n tipi yarıiletken yapısındaki ZnO ince filmlerin enerji bantları uyarılırlar. Yüksek enerjili fotonlar, fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşumu olayları yapıdaki elektronlarla etkileşmeye girerler. Yapıda serbest kalan elektronlar, kristallerin iletkenlik bandında yer alırlar ya da en yakın atomun değerlik elektronları ile etkileşerek bağlı çift oluştururlar.

Temel etkileşme olayları sonucunda enerji bantları uyarılırlar (Shan ve diğ., 2006). Optik soğurma, enerji bant aralığında etkin olmaktadır. Enerji bant aralığı  $E_g$  olmak üzere yarıiletkenler için doğrudan bant aralığı 5.3 nolu denklemde verilmiştir.

$$\alpha \cdot h \cdot \nu = C \cdot (h \cdot \nu - E_g)^{1/2} \quad (5.3)$$

ile verilmektedir.  $h \cdot \nu$  gelen fotonun enerjisi, C doğrudan geçiş için sabit sayısı ve  $\alpha$  optik soğurma katsayısı olmaktadır.

(5.3) denkleminde yer alan optik soğurma katsayısı  $\alpha$  'yı veren bağıntı 5.4 nolu denklemde görülmektedir:

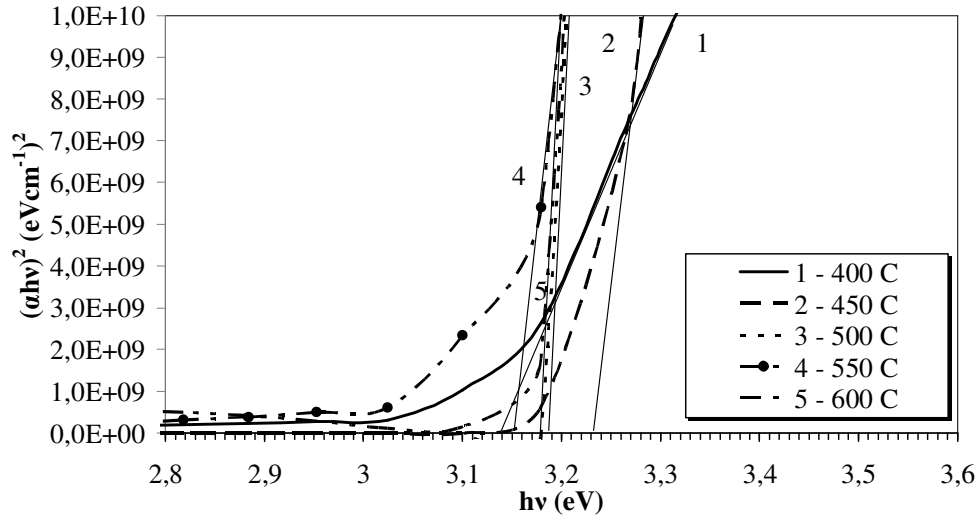
$$\alpha = \left(\frac{1}{d}\right) \cdot \ln\left(\frac{1}{T}\right) \quad (5.4)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada d film kalınlığı ve T optik geçirgenlik değeridir. Buradan soğrulan enerji,

$$E_A = (\alpha \cdot h \cdot \nu)^2 \quad (5.5)$$

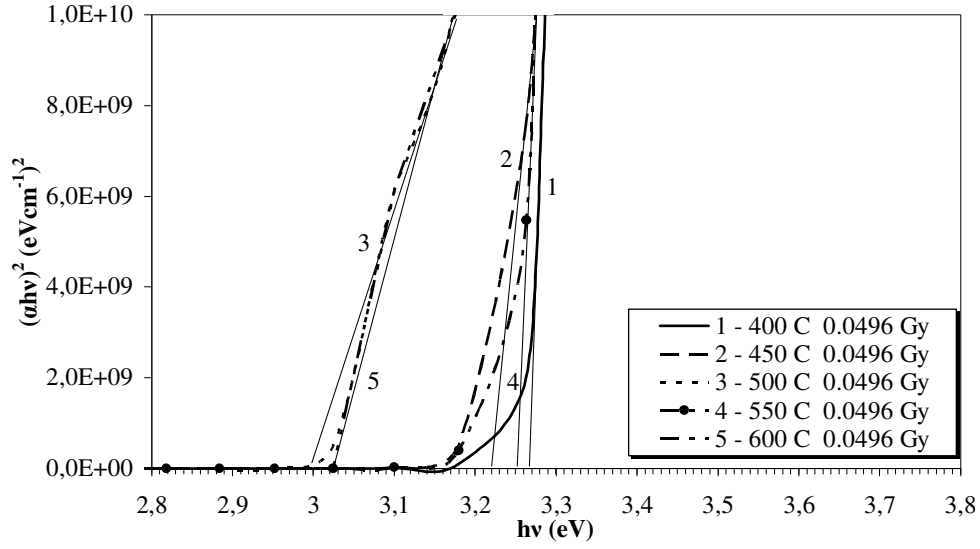
bulunur. Enerji bant aralığı,  $h\nu$  olarak gelen fotonun enerjisinin fonksiyonu olan  $(\alpha h\nu)^2$  şeklinde, grafik ile gösterilmiştir. Grafik üzerinde soğurma kenarının doğrusal artış gösteren ucun, enerji ekseninde kesiştiği nokta, ekstrapolasyon yapılarak bulunmuştur (Lou ve diğ., 2007).

Şekil 5.44'de, ışınlanmayan ZnO ince filmler için enerji bant aralığı verilmektedir. Genel olarak, tavlama sıcaklığındaki artış ile enerji bant aralığının azaldığı görülmektedir:

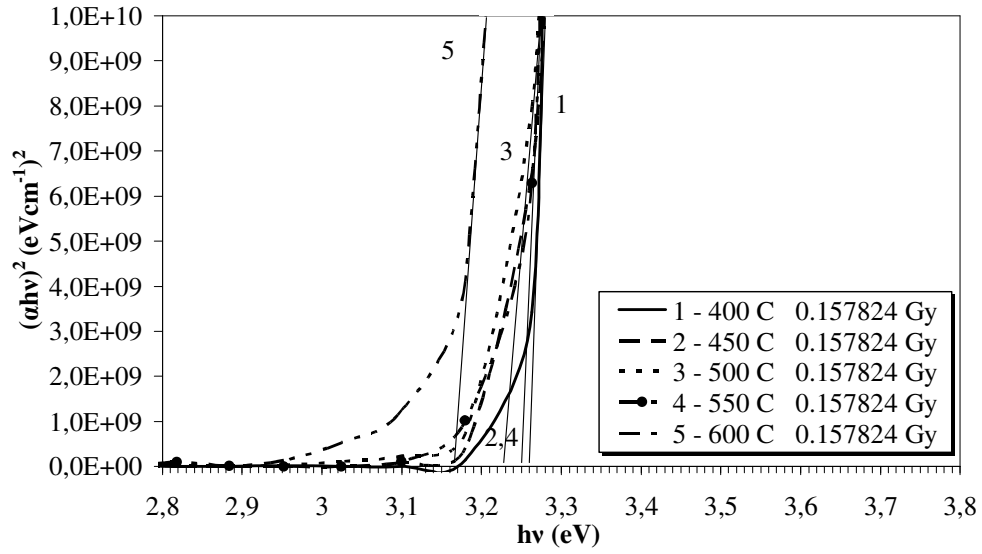


**Şekil 5.44 :** Işınlanmayan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin enerji bant aralıkları.

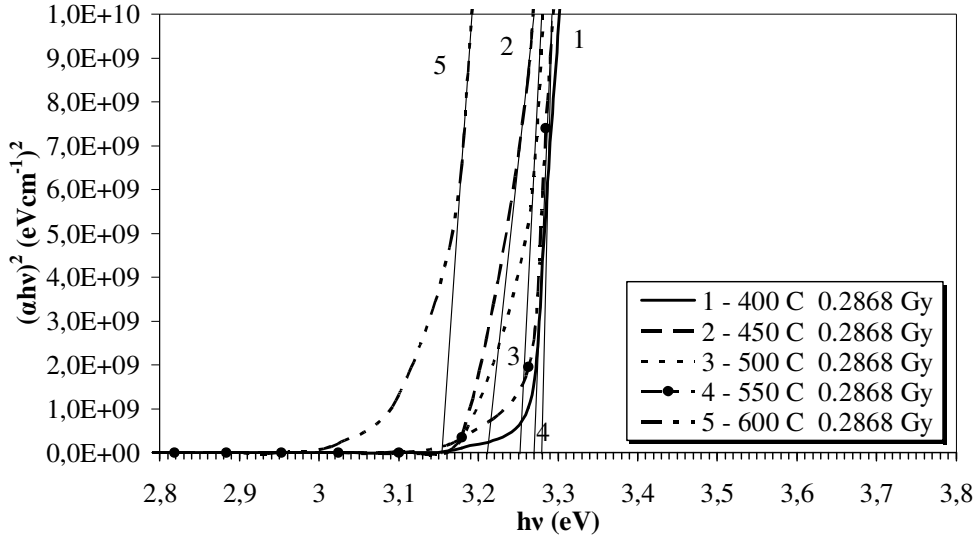
Şekil 5.45 - Şekil 5.48'de 0.0496, 0.157824, 0.2868, 0.354541 Gy olmak üzere dört farklı dozda ışınlanan ince filmler için enerji bant aralığı değişimleri verilmektedir. ZnO nanokristalit yapının soğurduğu 7 farklı dozda yapılan incelemeler ise Ek D'de bulunmaktadır. Enerji bant aralığına bağlı olarak, 7 farklı dozda (0.0641, 0.0955, 0.1185, 0.2064, 0.2320, 0.2630, 0.3263 Gy) yapılan incelemelere ilişkin diğer detaylar Ek D'de arz edilmektedir.



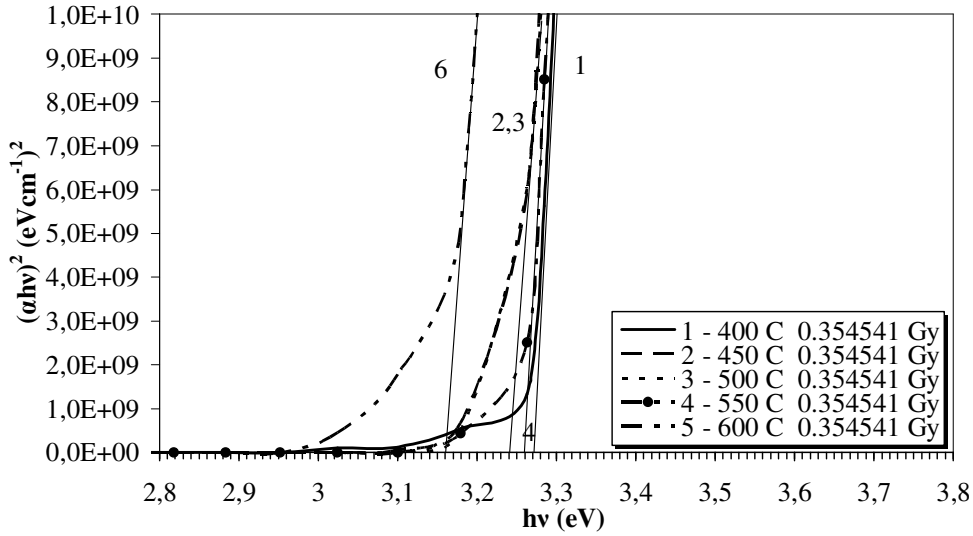
Şekil 5.45 : 0.0496 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin enerji bant aralıkları.



Şekil 5.46 : 0.157824 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin enerji bant aralıkları.



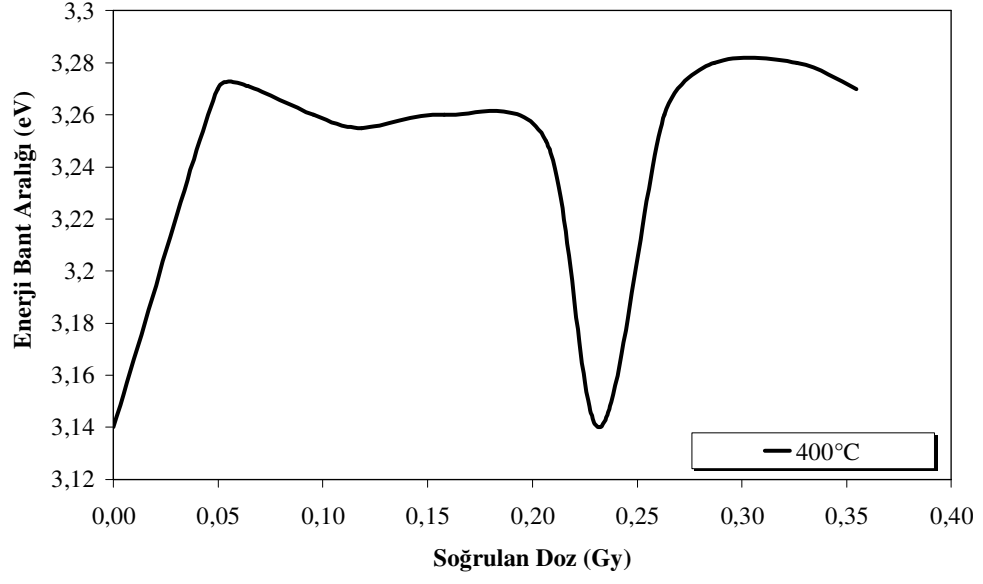
**Şekil 5.47 :** 0.2868 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin enerji bant aralıkları.



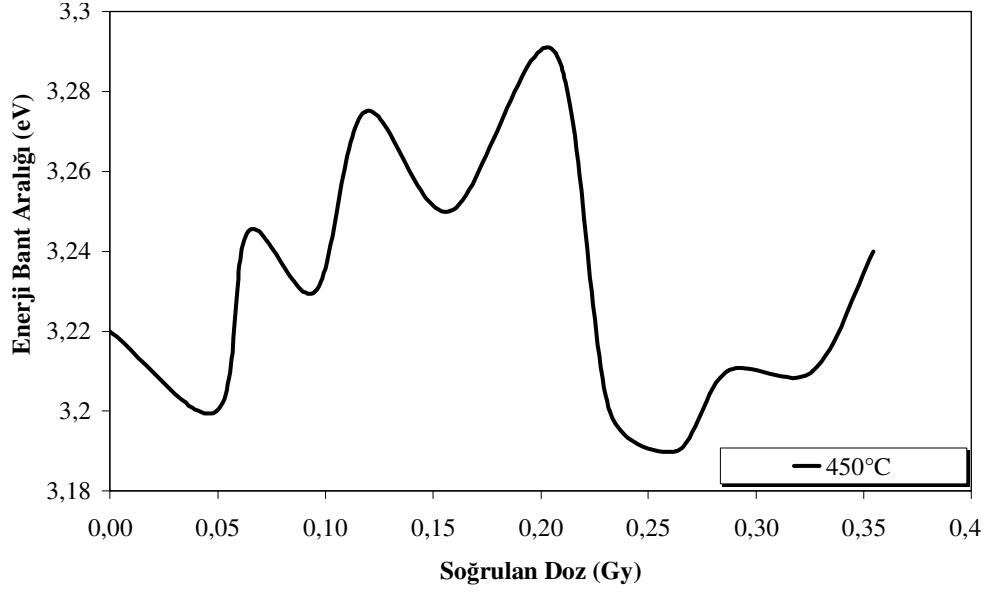
**Şekil 5.48 :** 0.354541 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin enerji bant aralıkları.

ZnO ince filmlerinin soğurduğu doza bağlı olarak enerji bant aralığının değişimleri Şekil 5.49 – Şekil 5.53 arasında arz edilmektedir. ZnO nanokristalit yapıya uygulanan 11 farklı doz göz önüne alındığında, enerji bant aralığının değiştiği görülmüştür. 400-550 °C arasında tavlanan ZnO yapının soğurduğu radyasyon dozundaki artış ile ~ 0.2 Gy'ye kadar enerji bant aralığının arttığı görülmüştür. Ancak, 400-550 °C arasında tavlanan tüm ZnO ince filmlerde, enerji bant aralığının ~ 0.23 Gy'de azaldığı ve tekrar artış gösterdiği görülmektedir.

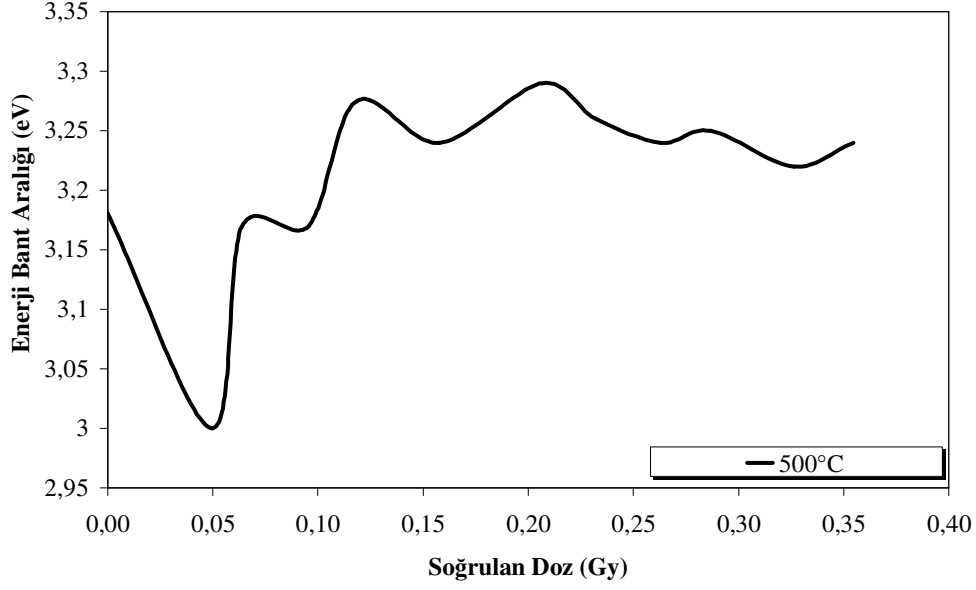




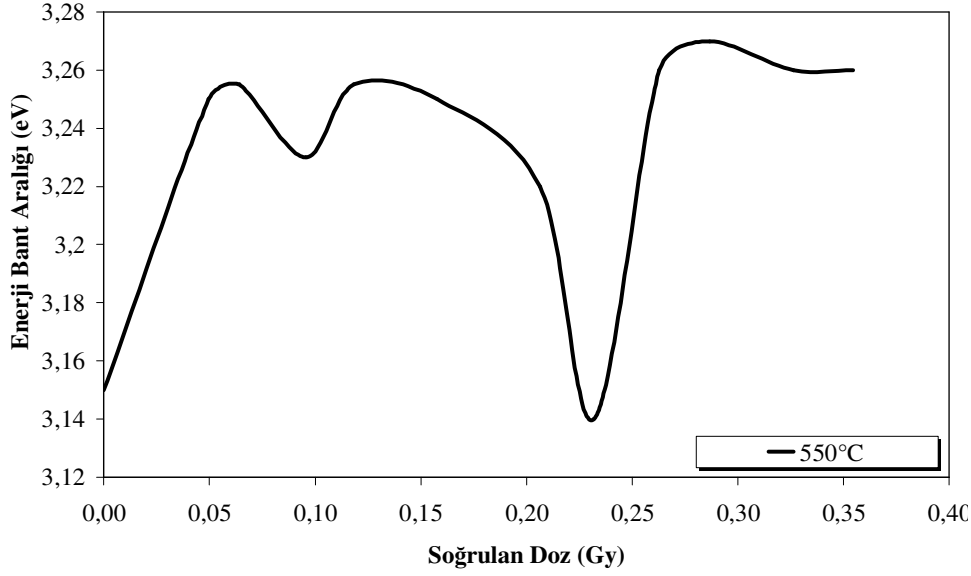
**Şekil 5.49 :** 400°C sıcaklıkta tavlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin soğrulan doza bağlı enerji bant aralığı değişimi.



**Şekil 5.50 :** 450°C sıcaklıkta tavlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin soğrulan doza bağlı enerji bant aralığı değişimi.

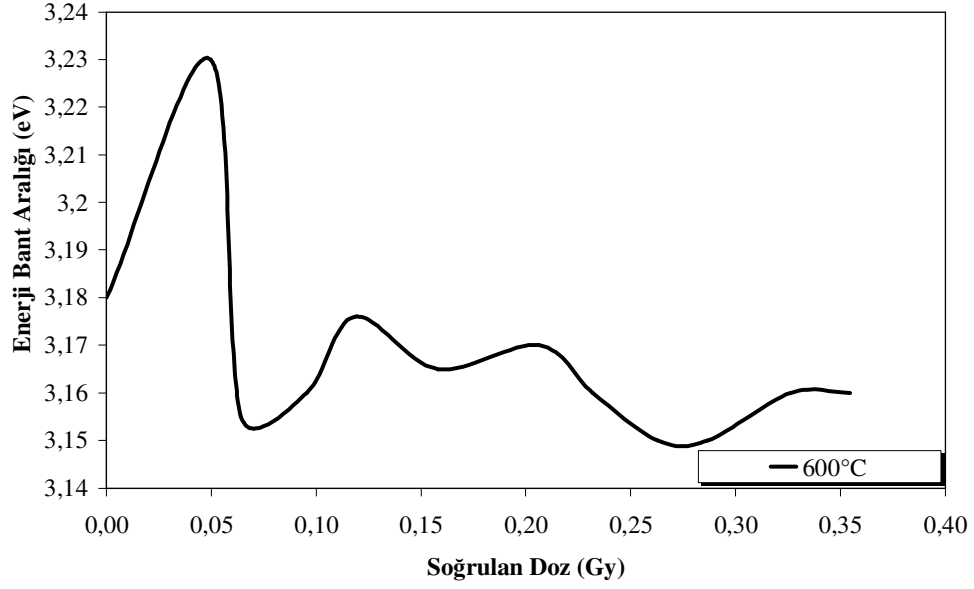


**Şekil 5.51 :** 500°C sıcaklıkta tavlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin soğrulan doza bağlı enerji bant aralığı değişimi.



**Şekil 5.52 :** 550°C sıcaklıkta tavlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin soğrulan doza bağlı enerji bant aralığı değişimi.

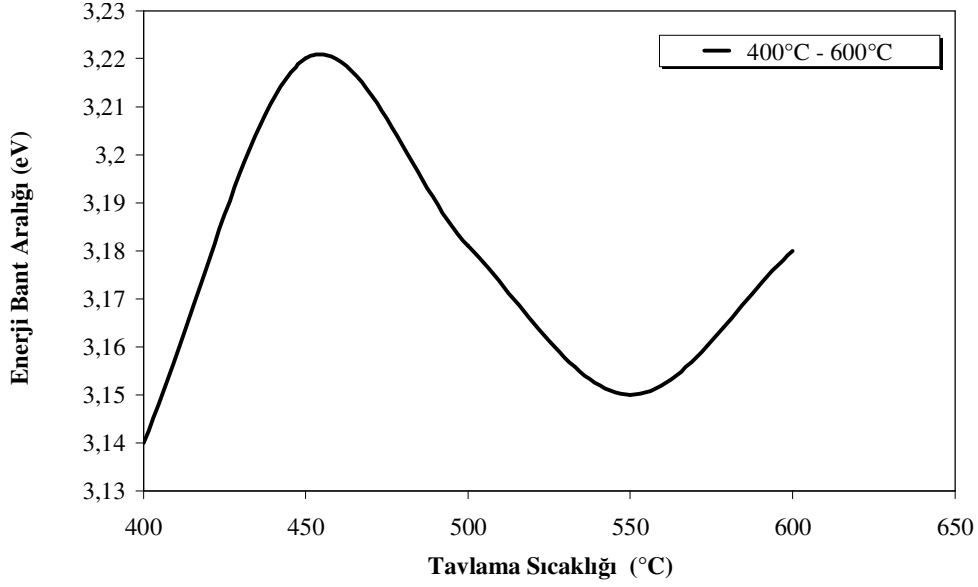
Şekil 5.53'de 600 °C'de tavlanan ZnO yapının enerji bant aralığı, ~ 0,05 Gy'de soğurduğu radyasyon dozu ile artmaktadır. Ancak, ZnO ince filmlerde, enerji bant aralığının ~ 0,05 Gy'den sonra kaydadeğer bir şekilde azaldığı görülmektedir.



**Şekil 5.53 :** 600°C sıcaklıkta tavlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin soğrulan doza bağlı enerji bant aralığı değişimi.

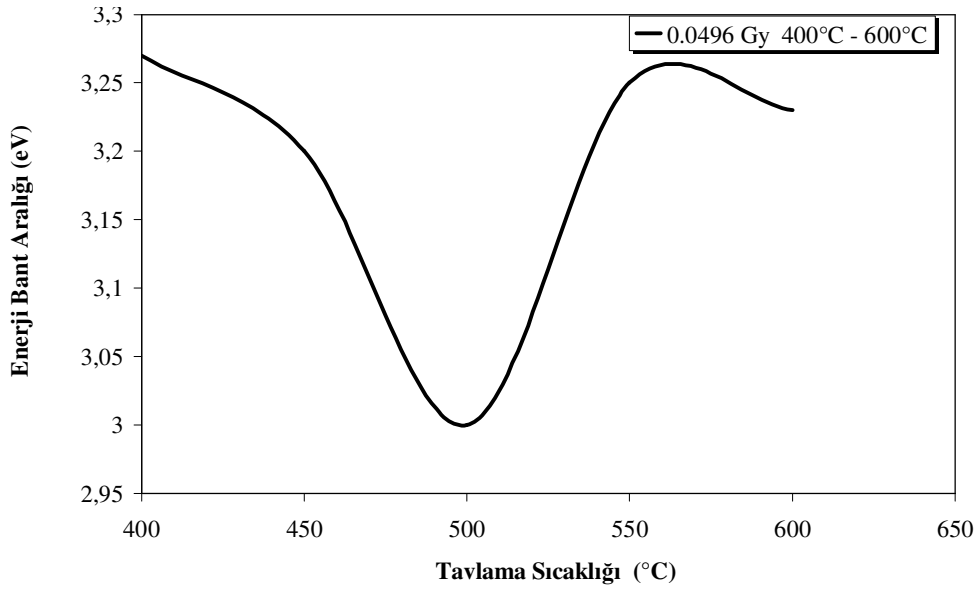
Şekil 5.54 – Şekil 5.58’de ZnO ince filmlerin tavlama sıcaklığına bağlı olarak, enerji bant aralığının değişimi verilmektedir. 450°C’de tavlanan ZnO ince filmde enerji bant aralığının önemli bir artış sağladığı görülmüştür. Tavlama sıcaklığının artışıyla enerji bant aralığının azaldığı görülmüştür. Ayrıca, ZnO yapının soğurduğu dozdeki artış ile enerji bant aralığının azalma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 5.54’de ışınlanmayan ZnO ince filmlerin tavlama sıcaklığına göre enerji bant aralığında oluşan değişim görülmektedir. 450°C’deki tavlama sıcaklığından sonra 550 °C’ye kadar azaldığı görülmüştür.

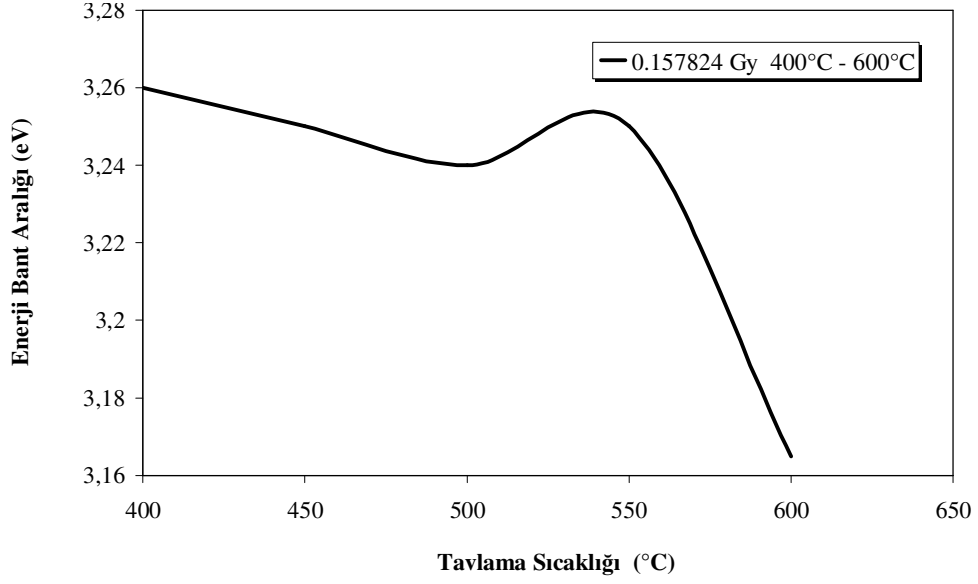


**Şekil 5.54 :** Işınlanmayan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı enerji bant aralığı değişimi.

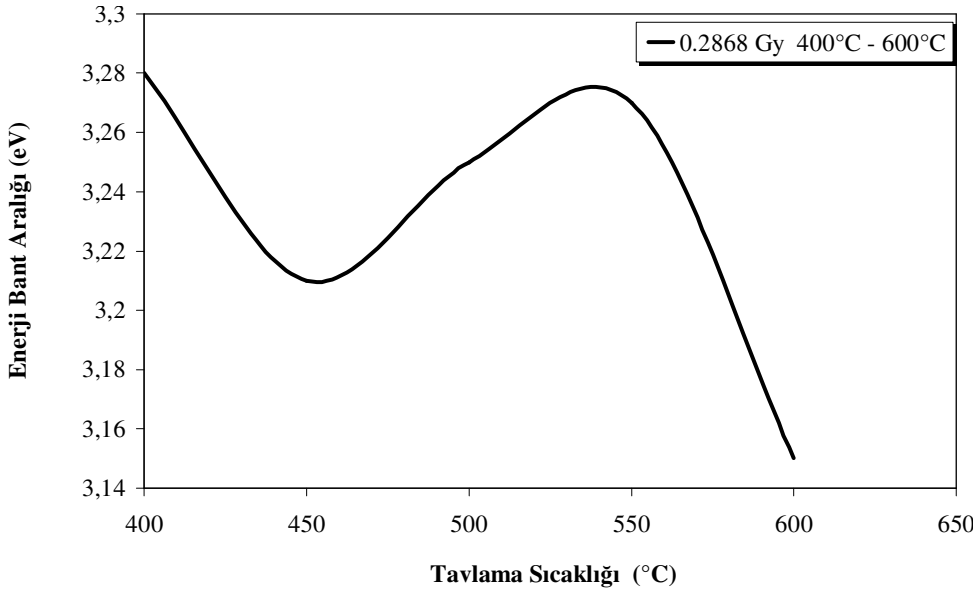
Şekil 5.55 – Şekil 5.58 arasında arz edilen grafiklerde 0.0496, 0.157824, 0.2868, 0.354541 Gy olmak üzere dört farklı dozda ışınlanan ince filmlerin, tavlama sıcaklıklarına göre enerji bant aralıklarının değişimi arz edilmektedir. Ayrıca, tavlama sıcaklığına bağlı olarak, enerji bant aralığında meydana gelen değişimler, 7 farklı dozda (0.0641, 0.0955, 0.1185, 0.2064, 0.2320, 0.2630, 0.3263 Gy) incelenmiştir. Bununla ilgili detaylar Ek E’de verilen grafiklerde yer almaktadır.



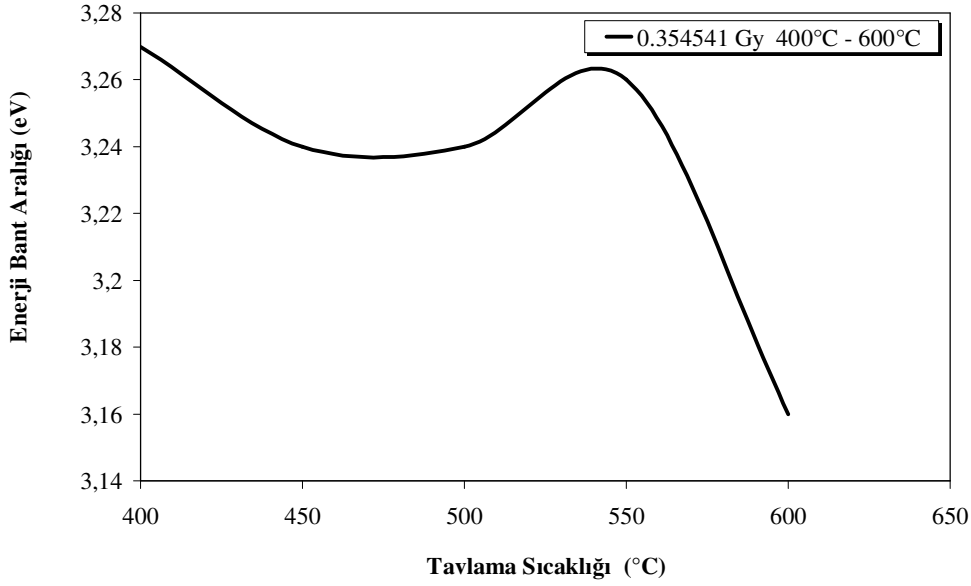
**Şekil 5.55 :** 0.0496 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı enerji bant aralığı değişimi.



**Şekil 5.56** : 0.157824 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığı değişimine bağlı enerji bant aralığı değişimi.



**Şekil 5.57** : 0.2868 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı enerji bant aralığı değişimi.



**Şekil 5.58** : 0.354541 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı enerji bant aralığı değişimi.

### 5.7 Deney Sonuçlarının Mukayeseli İncelenmesi

Çizelge 5.1’de, 193 - 1080 nm dalgaboyları arasında yapılan spektroskopik incelemeler sonucunda tespit edilen, geçirgenliğinin başladığı dalgaboyları arz edilmektedir. Bu çizelgede, ışınlanmayan ve 11 farklı dozda ışınlanan ZnO ince filmlerin geçirgenliğinin başladığı dalgaboyları incelenmiştir.

Çizelge 5.1’de, uygulanan radyasyon dozundaki artışla geçirgenliğin başladığı dalgaboyu giderek azalmaktadır. Soğurulan radyasyon dozu artmaya devam ettiğinde ise, geçirgenliğin başladığı dalgaboyunun giderek arttığı görülmüştür. Geçirgenliğin başladığı dalgaboyu ışınlanmayan ZnO ince filmde 287.5 nm’dir.

Kaplanmamış cam taşıyıcıda ve 400 °C’de tavlanan ZnO ince filmde 0.095494 Gy doza kadar geçirgenliğin başladığı dalgaboyunda azalma görülmüştür. Ancak, 450 - 600 °C’de tavlanan ZnO ince filmlerde ise 0.118469 Gy dozdan itibaren geçirgenliğin başladığı dalgaboyunda artma görülmüştür.

Cam taşıyıcı ve 400 °C’de tavlanan ZnO ince filmin ışlandıktan sonraki geçirgenliğe başladığı dalgaboyunda görülen davranışlarının birbirlerine daha yakın olduğu görülmektedir.

**Çizelge 5.1** Işınlanmayan ve Co 60 Gama Kaynağı ile Işınlanan ZnO İnce Filmlerde Geçirgenliğin Başladığı Dalgaboyları

<b>Işınlanan Malzemenin Cinsi</b>	<b>Tavlama Sıcaklıkları (°C)</b>	<b>Işınlanmayan Filmin Dalgaboyu (nm)</b>	<b>0,0496 Gy Işınlanan Filmin Dalgaboyu (nm)</b>	<b>0,0641 Gy Işınlanan Filmin Dalgaboyu (nm)</b>	<b>0,095494 Gy Işınlanan Filmin Dalgaboyu (nm)</b>	<b>0,118469 Gy Işınlanan Filmin Dalgaboyu (nm)</b>	<b>0,157824 Gy Işınlanan Filmin Dalgaboyu (nm)</b>	<b>0,206392 Gy Işınlanan Filmin Dalgaboyu (nm)</b>
Beş Tabaka ZnO Film Kaplı Cam Taşıyıcı	400	287.5	287.5	267.5	257.5	272.5	287.5	287.5
Beş Tabaka ZnO Film Kaplı Cam Taşıyıcı	450	317.5	292.5	262.5	262.5	262.5	292.5	292.5
Beş Tabaka ZnO Film Kaplı Cam Taşıyıcı	500	317.5	292.5	262.5	262.5	257.5	292.5	287.5
Beş Tabaka ZnO Film Kaplı Cam Taşıyıcı	550	292.5	287.5	257.5	257.5	257.5	287.5	272.5
Beş Tabaka ZnO Film Kaplı Cam Taşıyıcı	600	292.5	297.5	262.5	262.5	257.5	292.5	287.5
Cam Taşıyıcı	-----	282.5	282.5	262.5	257.5	262.5	287.5	287.5

**Çizelge 5.1 (devam)** Işınlanmayan ve Co 60 Gama Kaynağı ile Işınlanan ZnO İnce Filmlerde Geçirgenliğin Başladığı Dalgaboyları

Işınlanan Malzemenin Cinsi	Tavlama Sıcaklıkları (°C)	0,206392 Gy Işınlanan Filmin Dalgaboyu (nm)	0.231974 Gy Işınlanan Filmin Dalgaboyu (nm)	0.262941 Gy Işınlanan Filmin Dalgaboyu (nm)	0.2868 Gy Işınlanan Filmin Dalgaboyu (nm)	0.326311 Gy Işınlanan Filmin Dalgaboyu (nm)	0.354541 Gy Işınlanan Filmin Dalgaboyu (nm)
Beş Tabaka ZnO Film Kaplı Cam Taşıyıcı	400	287.5	287.5	277.5	287.5	287.50	287.50
Beş Tabaka ZnO Film Kaplı Cam Taşıyıcı	450	292.5	292.5	287.5	292.5	292.50	292.50
Beş Tabaka ZnO Film Kaplı Cam Taşıyıcı	500	287.5	292.5	272.5	292.5	287.50	292.50
Beş Tabaka ZnO Film Kaplı Cam Taşıyıcı	550	272.5	287.5	267.5	287.5	277.50	287.50
Beş Tabaka ZnO Film Kaplı Cam Taşıyıcı	600	287.5	297.5	267.5	297.5	292.50	297.50
Cam Taşıyıcı	-----	287.5	287.5	272.5	287.5	287.50	287.50



Çizelge 5.2’de ZnO ince filmlerinin soğurduğu doza bağlı olarak enerji bant aralığının değişimi, geçirgenliğin olmadığı dalgaboyu (cut off) değerleri ve cut off olayının gerçekleştiği enerjiler detaylı bir şekilde arz edilmektedir. Ayrıca ilgili tabloda, ZnO ince filmlerin tavlama sıcaklığına bağlı olarak enerji bant aralığının değişimi verilmektedir. 400-550 °C arasında tavlanan ZnO yapının soğurduğu radyasyon dozundaki artış ile önce enerji bant aralığının 0.2 Gy’ye kadar arttığı görülmüştür. Ancak, 400-550 °C arasında tavlanan tüm ZnO ince filmlerinde, enerji bant aralığının ~ 0.23 Gy’de azaldığı ve tekrar artış gösterdiği görülmektedir. 600 °C tavlama sıcaklığında, ZnO yapının enerji bant aralığı, ~ 0.05 Gy’de soğurduğu radyasyon dozu ile artmaktadır. ZnO ince filmlerinde, enerji bant aralığı ~ 0.05 Gy’den sonra azalmaktadır. 450°C’de tavlanan ZnO ince filmlerinde enerji bant aralığının önemli bir artış sağladığı görülmüştür. Daha sonra, tavlama sıcaklığının artması ile birlikte enerji bant aralığının azaldığı görülmüştür. ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına göre enerji bant aralığında oluşan değişimler değerlendirildiğinde, 450°C tavlama sıcaklığından sonra 550 °C’ye kadar azaldığı görülmüştür. Benzer değişimler, geçirgenliğin olmadığı dalgaboyu (cut off) değerleri ve cut of olayının gerçekleştiği enerjiler içinde tespit edilmiştir.

**Çizelge 5.2** Enerji Bant Aralıkları ile Optik Geçirgenliğin Olmadığı Dalgaboyuna Karşılık Gelen Enerji Bant Aralıklarının Kıyaslanması

Alınan Doz (Gy)	Tavlama Sıcaklığı (°C)	Enerji Bant Aralığı (eV)	Enerji Bant Aralığına Karşılık Gelen Dalgaboyu (nm)	Geçirgenliğin Olmadığı Dalgaboyu (nm)	Geçirgenliğin Olmadığı Dalgaboyuna Karşılık Gelen Enerji Bant Aralığı (eV)
Işınlanmayan ZnO İnce Film	400	3.140	390	287.5	4.313
	450	3.220	380	317.5	3.905
	500	3.181	380	317.5	3.905
	550	3.150	390	292.5	4.239
	600	3.180	390	292.5	4.239
0.0496	400	3.270	377.5	287.5	4.313
	450	3.200	380	292.5	4.239
	500	3.000	410	292.5	4.239
	550	3.250	380	287.5	4.313
	600	3.230	380	297.5	4.168
0.0641	400	3.271	377.5	267.5	4.635
	450	3.245	380	262.5	4.723
	500	3.170	390	262.5	4.723
	550	3.255	380	257.5	4.815
	600	3.155	390	262.5	4.723
0.095494	400	3.260	380	257.5	4.815
	450	3.230	380	262.5	4.723
	500	3.170	390	262.5	4.723
	550	3.230	380	257.5	4.815
	600	3.160	390	262.5	4.723
0.118469	400	3.255	380	272.5	4.550
	450	3.275	377.5	262.5	4.723
	500	3.275	377.5	257.5	4.815
	550	3.255	380	257.5	4.815
	600	3.176	390	257.5	4.815
0.157824	400	3.260	380	287.5	4.313
	450	3.250	380	292.5	4.239
	500	3.240	380	292.5	4.239
	550	3.250	380	287.5	4.313
	600	3.165	390	292.5	4.239
0.206392	400	3.250	380	287.5	4.313
	450	3.290	377.5	292.5	4.239
	500	3.290	377.5	287.5	4.313
	550	3.220	380	272.5	4.550
	600	3.170	390	287.5	4.313

**Çizelge 5.2 ( devam )** Enerji Bant Aralıkları ile Optik Geçirgenliğin Olmadığı Dalgaboyuna Karşılık Gelen Enerji Bant Aralıklarının Kıyaslanması

Alınan Doz (Gy)	Tavlama Sıcaklığı (°C)	Enerji Bant Aralığı (eV)	Enerji Bant Aralığına Karşılık Gelen Dalgaboyu (nm)	Geçirgenliğin Olmadığı Dalgaboyu (nm)	Geçirgenliğin Olmadığı Dalgaboyuna Karşılık Gelen Enerji Bant Aralığı (eV)
0.231974	400	3.140	390	287.5	4.313
	450	3.200	380	292.5	4.239
	500	3.260	380	292.5	4.239
	550	3.140	390	287.5	4.313
	600	3.160	390	297.5	4.168
0.262941	400	3.260	380	277.5	4.468
	450	3.190	380	287.5	4.313
	500	3.240	380	272.5	4.550
	550	3.260	380	267.5	4.635
	600	3.150	390	267.5	4.635
0.2868	400	3.280	377.5	287.5	4.313
	450	3.210	380	292.5	4.239
	500	3.250	380	292.5	4.239
	550	3.270	377.5	287.5	4.313
	600	3.150	390	297.5	4.168
0.326311	400	3.280	377.5	287.5	4.313
	450	3.210	390	292.5	4.239
	500	3.220	380	292.5	4.239
	550	3.260	380	287.5	4.313
	600	3.160	390	297.5	4.168
0.354541	400	3.270	377.5	287.5	4.313
	450	3.240	380	292.5	4.239
	500	3.240	380	292.5	4.239
	550	3.260	380	287.5	4.313
	600	3.160	390	297.5	4.168



## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yüksek lisans tezi kapsamında, radyasyon bölgesinde kullanımı düşünülebilecek sensörlerdeki piezoelektrik filmler gibi çeşitli cihaz ve düzeneklerde yer alabilecek dielektrik özelliklere sahip ZnO ince filmlerin, radyasyon karşısında davranışları incelenmiştir.

Tavlama sıcaklığının artışı ile ZnO yapıdaki nanokristalit büyüklüğü artabileceğinden, sol-jel daldırarak kaplama metodu ile üretildikten sonra 600 °C’de tavlanan ince filmlerin XRD analizi yapılmış ve oluşan kristal yapıdaki nanokristalit büyüklüğü 26 nm olarak belirlenmiştir.

Co-60 radyoizotopu kullanılarak, 11 farklı radyasyon dozunda çalışılmıştır. ZnO ince filmlere uygulanan dozlar sırası ile; 0.0500, 0.0641, 0.0955, 0.1185, 0.1578, 0.2064, 0.2320, 0.2630, 0.2868, 0.3263, 0.3545 Gy’dir. ZnO nanokristalitlerden oluşan ince filmlerin soğurduğu doz arttıkça, optik davranışların değiştiği tespit edilmiştir.

ZnO yapının valans bandındaki elektronun elektromanyetik dalga ile etkileşimi sonucu yapının optik soğurma ucunda, direk izinli geçiş meydana geldiği tespit edilmiştir. ZnO nanokristalit yapının soğurduğu radyasyon dozuyla ve tavlama sıcaklığının değişimi ile yapıdaki elektronik düzenin değiştiği tespit edilmiştir. ZnO ince filmin soğurduğu doza bağlı olarak, enerji bant aralığının değişimi ve buna bağlı olarak morötesi bölgedeki optik soğurma ucunun değiştiği görülmüştür. 400, 450, 500, 550 ve 600 °C olmak üzere beş farklı tavlama sıcaklığına göre enerji bant aralığı incelendiğinde, ZnO ince filmlerin tavlama sıcaklığına bağlı olarak, enerji bant aralığının değiştiği tespit edilmiştir.

Radyasyon bölgesinde kullanımı düşünülebilecek cihaz ve düzeneklerde yer alabilecek ZnO yapının, radyasyon karşısında davranışları incelendiğinde, ZnO yapıda oluşan yeni elektronik konfigürasyon göz önüne alınmıştır.

400, 450, 500, 550, 600 ° C olmak üzere beş farklı tavlama sıcaklıkları, Çizelge 5.2’de incelendiğinde, ZnO yapı tarafından 0.28Gy’de kadar soğurulan radyasyon dozlarında, enerji bant aralığının genelde arttığı daha yüksek dozlarda ise

enerji bant aralığının daraldığı görülmüştür. ZnO yapının soğurduğu radyasyon dozunda meydana gelen değişimler göz önüne alındığında, optik soğurma ucunda meydana gelen değişimlere bağlı olarak enerji bant aralığında meydana gelen benzer değişimlerin, optik geçirgenliğin sona erdiği dalgaboylarında da olduğu tespit edilmiştir.

## KAYNAKLAR :

- Bach, H. and Dieter, K.**, 1997: Thin films on glass : Springer – Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- Baydoğan N., Zayim E., Tuğrul A.B.**, 2007: Solar parameters of induced WO<sub>3</sub>-coated glass Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 264.
- Bhat, J.S., Maddani, K.I., Karguppikar A.M., Ganesh, S.**, 2007: Electron beam radiation effects on electrical and optical properties of pure and aluminum doped tin oxide films. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 258.
- Bornside, D.E., Macosko, C.W., Scriven, L.E.**, 1987: On the modeling of spin coating. J. Imaging Technol. 13.
- Bouderbala, M., Hamzaoui, S., Amrani, B., Reshak, A.H., Adnane, M., Sahraoui, T., Zerdali, M.**, 2008: Thickness dependence of structural, electrical and optical behaviour of undoped ZnO thin films. Physica B, 403. Elsevier.
- Brinker, C.J., and Schrer, G.W.**, 1989: Sol – gel science : The physics and chemistry of sol - gel processing. Academic Pres.Elsevier Science,USA
- Castanedo-Pe´ rez, R., Jime´nez-Sandoval, O., Jime´nez-Sandoval, S., Ma´rquez-Mari´n, J., Mendoza-Galva´ n, A., Torres-Delgado, G.**, 1999: Influence of annealing temperature on the formation and characteristics of sol – gel prepared thin films. J. Vac. Sci. Technol. A 17.4., Jul/Aug 1999.
- Dengyuan, S.,Widenborg, P., Chin, W., Aberlei, A.G.**, 2002: Investigation of lateral parameter variations of Al-doped zinc oxide films prepared on glass substrates by rf magnetron sputtering. Solar Energy Materials & Solar Cells 73.
- Dinghua, B., Haoshuang, G., Anxiang, K.**, 1998: Sol – gel derived c – axis oriented ZnO thin films. Thin Solid Films, 312. Elsevier.
- Fox, Mark**, 2001: Optical properties of solids. Oxford University Press, New York
- Gao, F., Naik, S.P., Sasaki, Y., Okubo, T.**, 2006: Preperation and optical property of nanosized ZnO electrochemically deposited in mesoporous silica films, Thin Solid Films 495.
- Gonzales, A.E.J., Urueta, J.A.S.**, 1998: Optical transmittance and photoconductivity studies on ZnO:Al thin films prepared by the sol-gel technique, Solar Energy Materials and Solar Cells, 52
- Gümüş, C., Ozkendir, O. M., Kavak, H., Ufuktepe, Y.**, 2006: Structural and optical properties of zinc oxide thin films prepared by spray pyrolysis method. Journal of Optoelectronics and Advanced Materiels, Vol. 8, No. 1, February 2006.
- Han, K., Zhao, Z., Zheng, X., Chunlie, W., Junhu, Z., Bai, Y.**, 2007: The sol – gel preparation of ZnO / Silika core – shell composites ans hollow silica structure. Materials Letter 61. Elsevier.

- Hongxia, L., Jiyang, W., Hong, L., Huaijin, Z., Xia, L.,** 2005: Zinc oxide films prepared by sol–gel method. *Journal of Crystal Growth* 275. Elsevier.
- Hyeon, S.S., Jung, I.S., Dong, C.K., Wilhelm, T.S.H., Mark, E.W., Hee, C.C., Dae, J.K.,** 2009: Density control of ZnO nanowires grown using Au – PMMA nanoparticles and their growth behaviour. *Nanotechnology* 20. IOP Publishing.
- Ka E. L., Mingsong, W., Eui, J. K., Sung, H. H.,** **Article in press** 2009: Structural, electrical and optical properties of sol–gel AZO thin films, *Current Applied Physics*.
- Kaplan, Irving,** 1965: Nükleer fizik. Berksoy Matbaası. İstanbul
- Klein, Lisa C.,** 1988: Sol gel technology for thin films, fibers, preforms, electronics, and specialty shapes. Noyes Publications.
- Klein, L.C., Feng, X, Pope, J.A., Komarneni, S.,** 2000: Sol Gel Commercialization and Applications. *Ceramic Transactions*, v.123, American Ceramic Society.
- Li, Z.Q., Zhang, D. X., Lin, J. J.,** 2006: Optical and electrical transport properties of facing-target sputtered Al doped ZnO transparent film. *Journal of Applied Physics* 99.
- Littlefield, T.A., Thorley N.,** 1973: Atom ve çekirdek fiziği (giriş). Şirketi Mürettebiye Basımevi. İstanbul.
- Lou, X., Shen, H., Zhang, H., Li, B.,** 2007: Optical properties of ZnO films prepared by sol-gel process. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 17. Science Press.
- Pulker, H.K.,** 1984 : Thin films science and technology, 6. Coating on glass. Elsevier Science & Technology Publishers B.V., Printed in Netherland.
- Purica, M., Budianua, E., Rusu, E.,** 2000: Heterojunction with ZnO polycrystalline thin films for optoelectronic devices applications. *Microelectronic Engineering* 51–52.
- Raoufi, D. and Raoufi, T.,** 2009: The effect of heat treatment on the physical properties of sol – gel derived ZnO thin films. *Applied Surface Science* 255. Elsevier.
- Richards, J.A., Sears, F.W., Wehr, M.R., Zemansky, M.W.,** 1982: Modern Üniversite Fiziği, Optik ve Modern Fizik, Cilt 3. Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- Sagar, P., Kumar, M., Mehra, R.M.,** 2005: Influence of hydrogen incorporation in sol-gel derived aluminum doped ZnO thin films. *Thin Solid Films* 489.
- Sahal, M., Hartiti, B., Ridah, A., Mollar, M., Mari, B.,** 2009: Structural, electrical and optical properties of ZnO thin films deposited by sol–gel method, *Microelectronics Journal*.
- Sakka, S.,** 2005: Handbook of sol – gel science and technology processing characterization and applications: Sol – gel processing. v.1 Kluwer Academic Press, USA.
- Salim, N.T., Aw, K.C., Gao, W., Wright, B.E.,** 2009: ZnO as dielectric for optically transparent non-volatile memory. *Thin Solid Films*, 518. Elsevier.
- Saraç, A.İ,** 1978: Radyoaktif bozunma. radyasyonların tanıtılması ve deteksiyon prensipleri. T.C. Başbakanlık Atom Enerjisi Komisyonu Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Eğitim Yayınları No. 4.



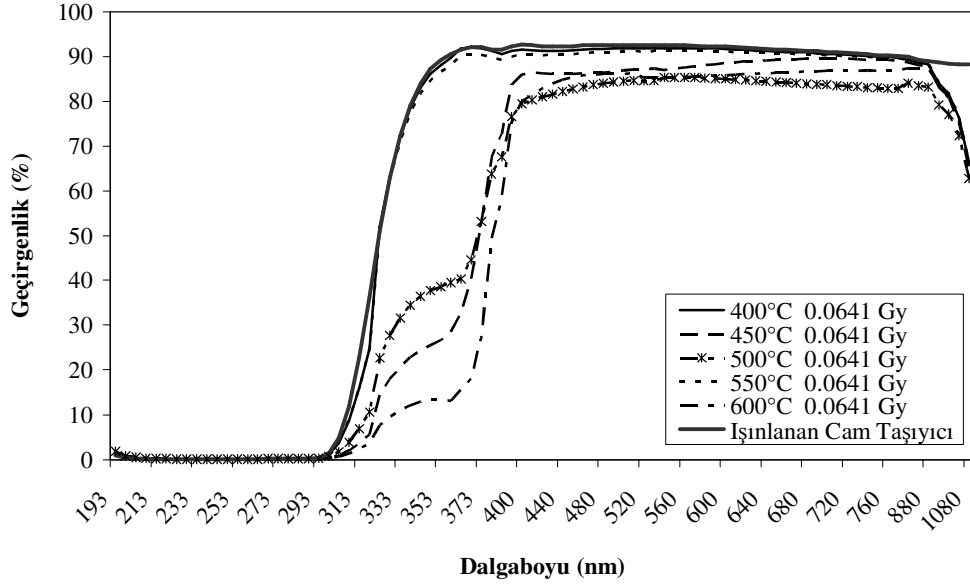
- Schuler, L.P., Alkaisi, M.M., Miller, P., Reeves, R.J.**, 2006: UV sensing using surface acoustic wave device on DC sputtered ZnO monolayer, *Microelectronic Engineering*, 83.
- Seungho, C., Dao – Seob, S., Seungh - Ho, J., Eugene, O., Bo Ram, L., Kun – Hong, L.**, 2009: Fabrication of ZnO nanoneedle array by direct microwave irradiation. *Materials Letters*, 63. Elsevier.
- Shan, F.K., Liu, G.X., Lee, W.J., Shin, B.C.**, 2006: Stokes shift, blue shift and red shift of ZnO – based thin films deposited by pulsed – laser deposition. *Journal of Crystal Growth* 291. Elsevier.
- Shou-Yi, K., Wei-Chun, C., Fang-I L., Chin-Pao, C., Hao-Chung K., Shing-Chung W., Wen-Feng H.**, 2006: Effects of doping concentration and annealing temperature on properties of highly-oriented Al-doped ZnO films *Journal of Crystal Growth* 287.
- Silva, R.F. and Zaniquelli, M. E. D.**, 2009: Aluminium-doped zinc oxide films prepared by an inorganic sol–gel route. *Thin Solid Films* 449.
- Singla, M.L., Shafeeq, M.M., Kumar, M.**, 2009: Optical characterization of ZnO nanoparticles capped with various surfactants. *Journal of Luminescence*, 129. Elsevier.
- Soumen, D., Supriya, C., Subhadra, C.**, 2005: Optical transmission and photoluminescence studies of ZnO - MgO nanocomposite thin films. *Journal of Physics. D : Appl. Phys.*38.
- Srikant, V., Clarke, D.R.**, 1997: Anomalous behaviour of the optical band gap of nanocrystalline zinc oxide thin films, *J.Mater.Res.*, Vol.12, No.6.
- Subramanyam, T.K., Srinivasulu Naidu, B.,Uthanna, S.**, 1999: Characterisation of DC Reactive Magnetron Sputtered ZnO Films Prepared at Different Oxygen Pressures. *Phys. Stat. Sol. (a)* 173, 425.
- Tang, W. and Cameron, D.C.**, 1994: Aluminium doped zinc oxide transparent conductors deposited by the sol-gel process, *Thin Solid Films*, 238.
- Tekin, M., Tuğral, H., Özdemir, Ö., Çimenoğlu, H., Kayalı, E.S., Tuğrul, A.B., Baydoğan, N., Baydoğan, M., Altınsoy, N., Albayrak, G., Sengel, H., Akmaz, F., Parlar, A.**, 2009: Investigation of Heat Treatment and Al Doping On Irradiated Nanosize Hexagonal ZnO, 5th International Advanced Technologies Symposium (IATS 09), May 13-15, 2009, Karabuk, Turkey.
- Triboulet, R., Perrière, J.**, 2003: Epitaxial growth of ZnO films, *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, 47.
- Uhlmann, D.R. and Kreidl, N.J.**, 1984: *Glass : Science and technology*, v. 2. Academic Press. Elsevier.
- Vafae, M., and Ghamsari, M.S.**, 2006: Preparation and characterization of ZnO nanoparticles by a novel sol–gel route. *Materials Letters*.
- Valle, G.G., Hammer, P., Pulcinelli, S.H., Santilli, C.V.**, 2004: Transparent and conductive ZnO:Al thin films prepared by sol-gel dip-coating. *Journal of the European Ceramic Society* 24.
- Wei, X.Q., Zhang, Z.G., Liu, M., Chen, C.S., Sun, G., Xue, C.S., Zhuang, H.Z., Man, B.Y.**, 2007: Annealing effect on the microstructure and photoluminescence of ZnO thin films. *Materials Chemistry and Physics*, 101. Elsevier.
- Xu, Z.Q., Deng, H., Li, Y., Guo, Q.H., Li, Y.R.**, 2006: Characteristics of Al-doped c-axis orientation ZnO thin films prepared by the sol–gel method. *Materials Research Bulletin* 41.

- Xue, S.W., Zu, X.T., Zhouc, W.L., Denga, H.X., Xiang, X., Zhang, L., Deng, H.,** 2006: Effects of post-thermal annealing on the optical constants of ZnO thin film. Journal of Alloys and Compounds.
- Xue, Z.Q., Deng, H., Li, Y., Cheng, H.,** 2006: Al-doping effects on structure, electrical and optical properties of c-axis-orientated ZnO:Al thin films. Materials Science in Semiconductor Processing 9.
- Yaramış, Bahriye,** 1985: Nükleer Fizik. Cilt 1. İ.T.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Yayınları. İstanbul.
- Zayim, E.Ö., Baydoğan, N.D.,** 2006: Irradiation Effect in WO<sub>3</sub> Thin Films, Solar Energy Materials & Solar Cells, Volume 90.

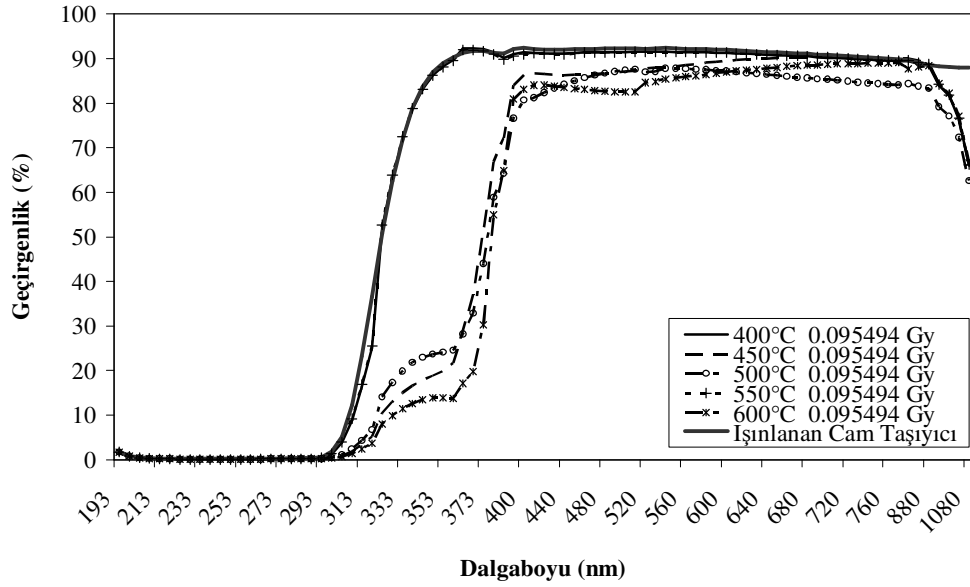
**EKLER :**

- EK A** : Co 60 Gama kaynağı ile farklı dozlarda ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin 400°C – 600°C tavlama sıcaklıklarına bağlı geçirgenlik değişimleri.
- EK B** : Co 60 Gama kaynağı ile farklı dozlarda ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin 400°C – 600°C tavlama sıcaklıklarına bağlı yansıtıcılık değişimleri.
- EK C** : Co 60 Gama kaynağı ile farklı dozlarda ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin 400°C – 600°C tavlama sıcaklıklarına bağlı soğurma değişimleri.
- EK D** : Co 60 Gama kaynağı ile farklı dozlarda ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin 400°C – 600°C tavlama sıcaklıklarına bağlı enerji bant aralıkları.
- EK E** : Co 60 Gama kaynağı ile farklı dozlarda ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin 400°C – 600°C tavlama sıcaklıklarına bağlı enerji bant aralığı değişimleri.

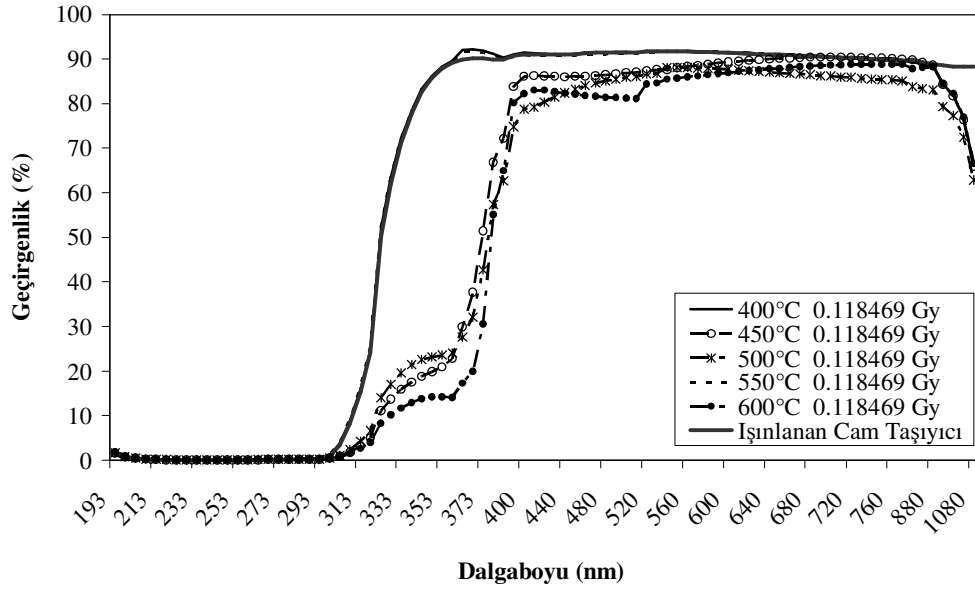
**EK A :**



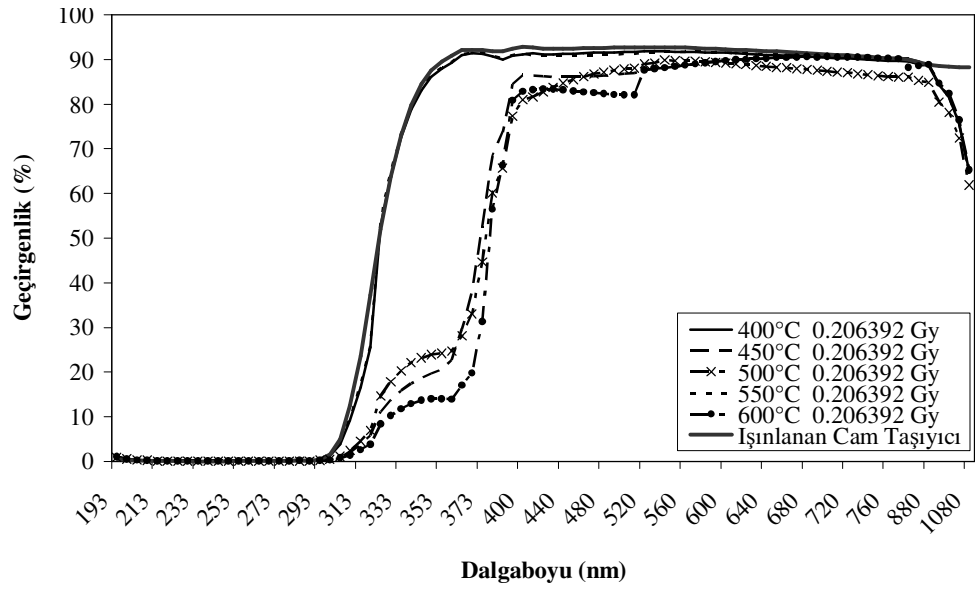
**Şekil A.1 :** 0.0641 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı geçirgenlik değişimi.



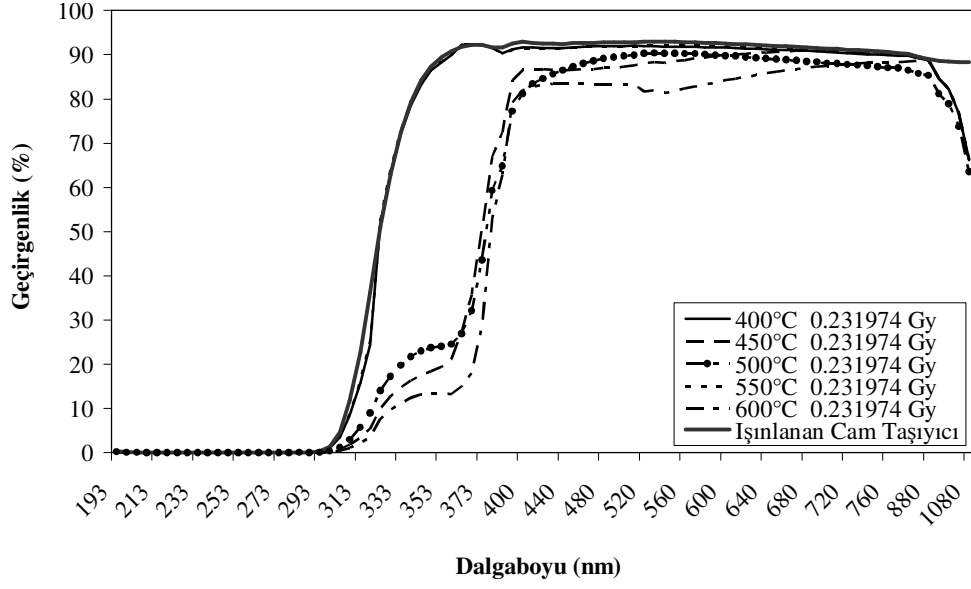
**Şekil A.2 :** 0.095494 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı geçirgenlik değişimi.



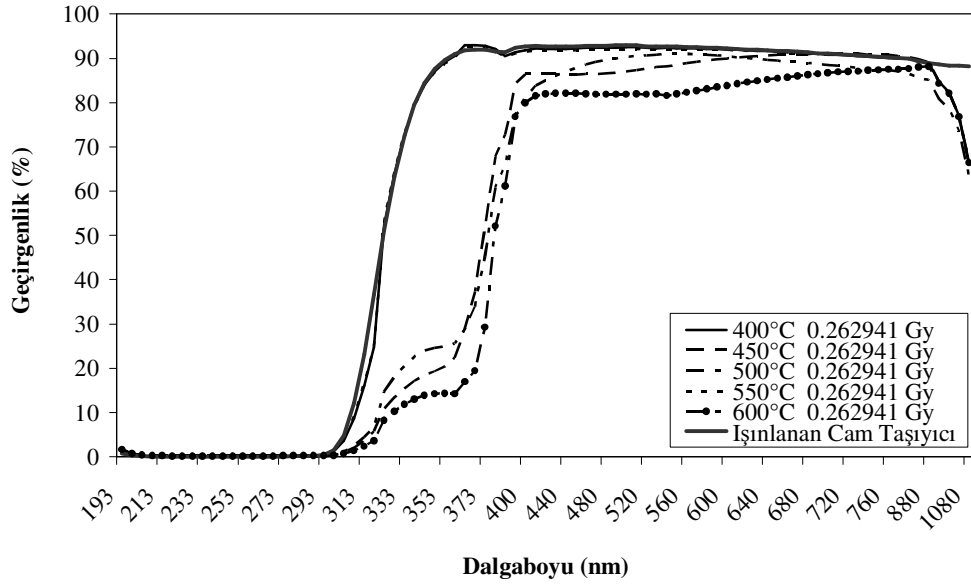
Şekil A.3 : 0.118469 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı geçirgenlik değişimi.



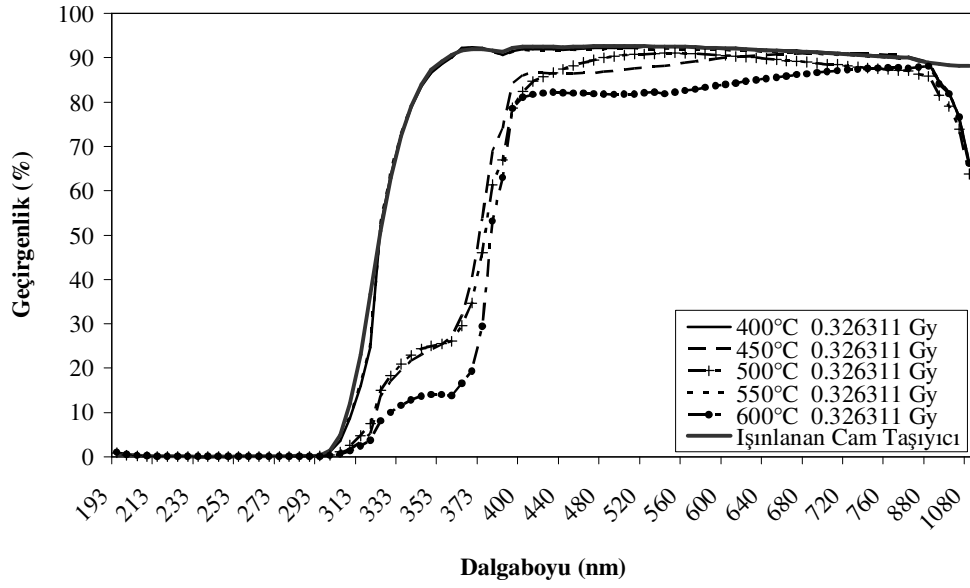
Şekil A.4 : 0.206392 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı geçirgenlik değişimi.



**Şekil A.5 :** 0.231974 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı geçirgenlik değişimi.

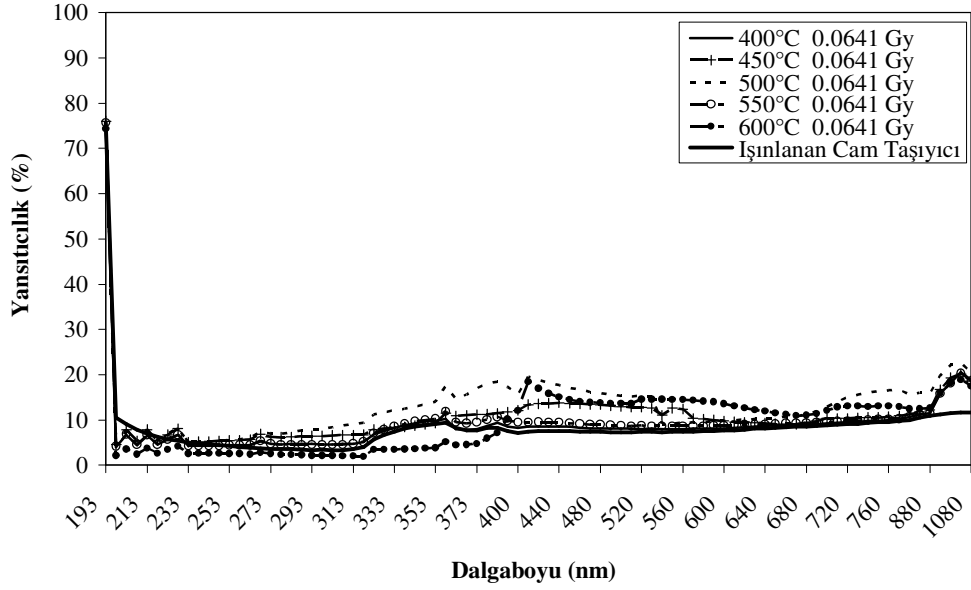


**Şekil A.6 :** 0.262941 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı geçirgenlik değişimi.

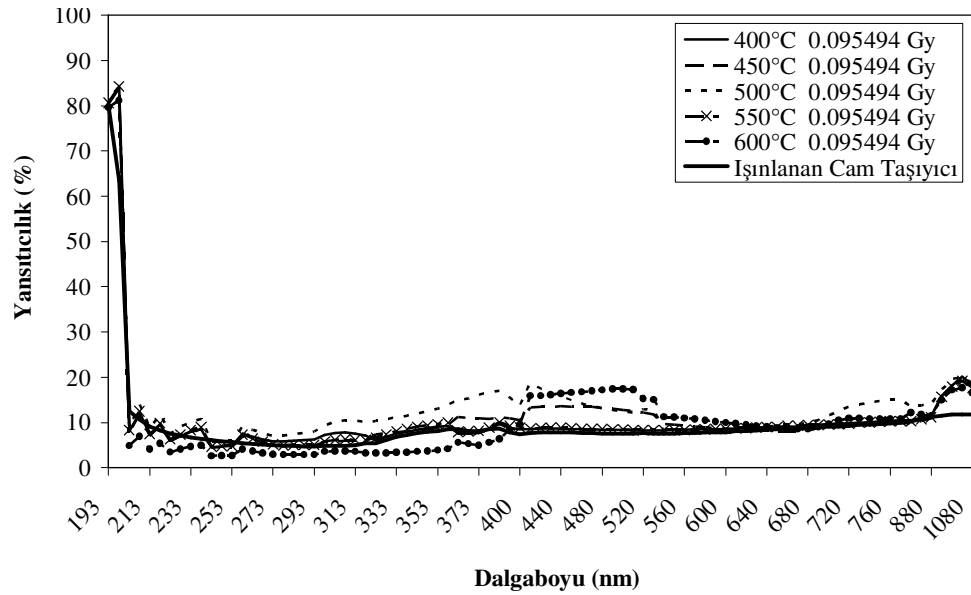


**Şekil A.7 :** 0.326311 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı geçirgenlik değişimi.

**EK B :**

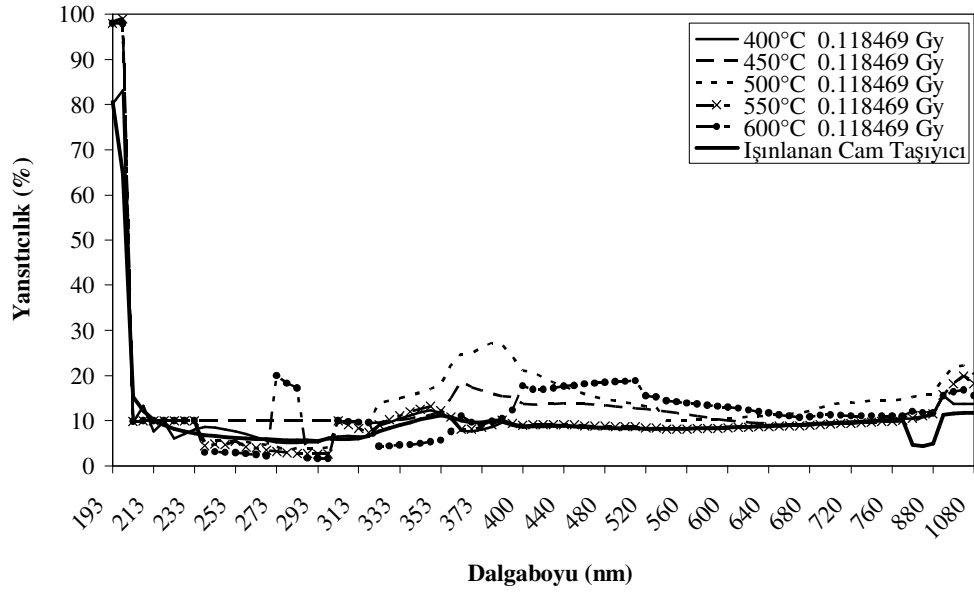


**Şekil B.1 :** 0.0641 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı yansıtıcılık değişimi.

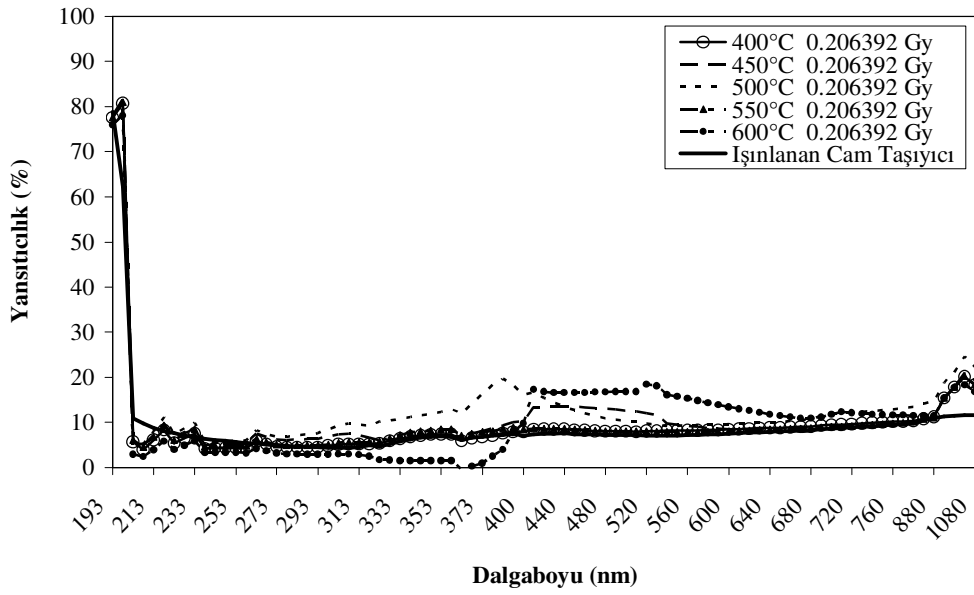


**Şekil B.2 :** 0.095494 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı yansıtıcılık değişimi.

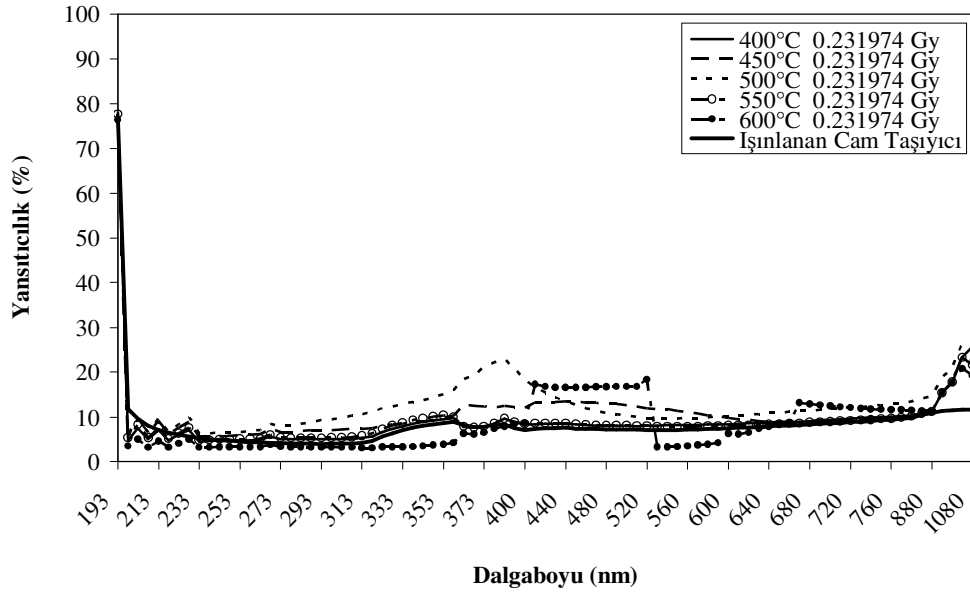




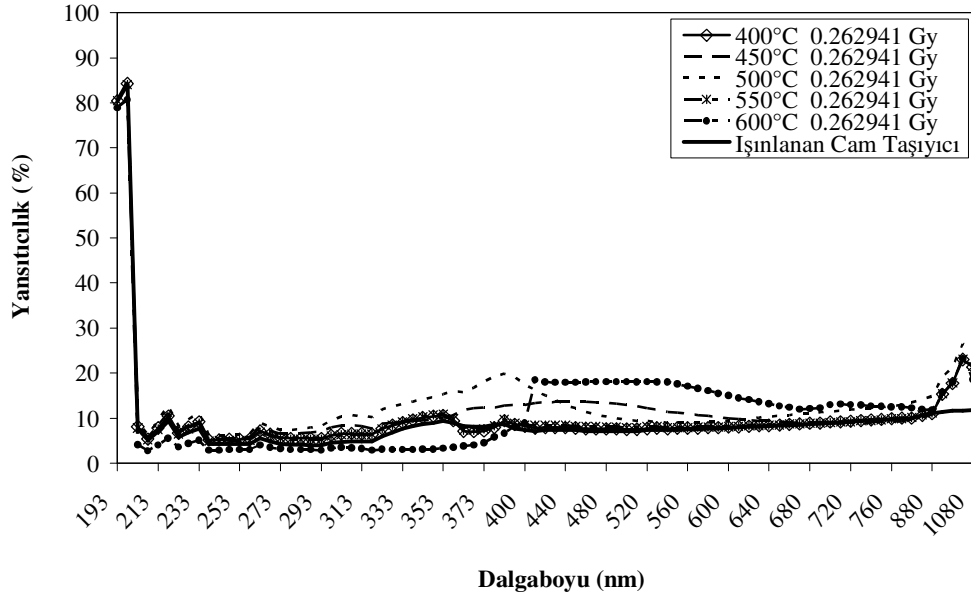
**Şekil B.3 :** 0.118469 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı yansıtlılık değişimi.



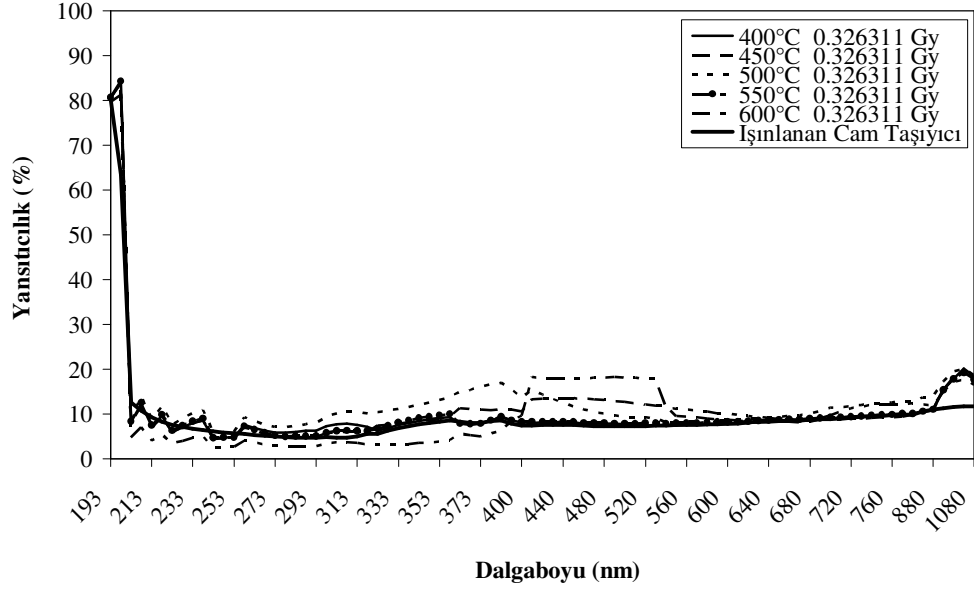
**Şekil B4 :** 0.206392 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı yansıtlılık değişimi.



Şekil B.5 : 0.231974 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı yansıtıcılık değişimi.

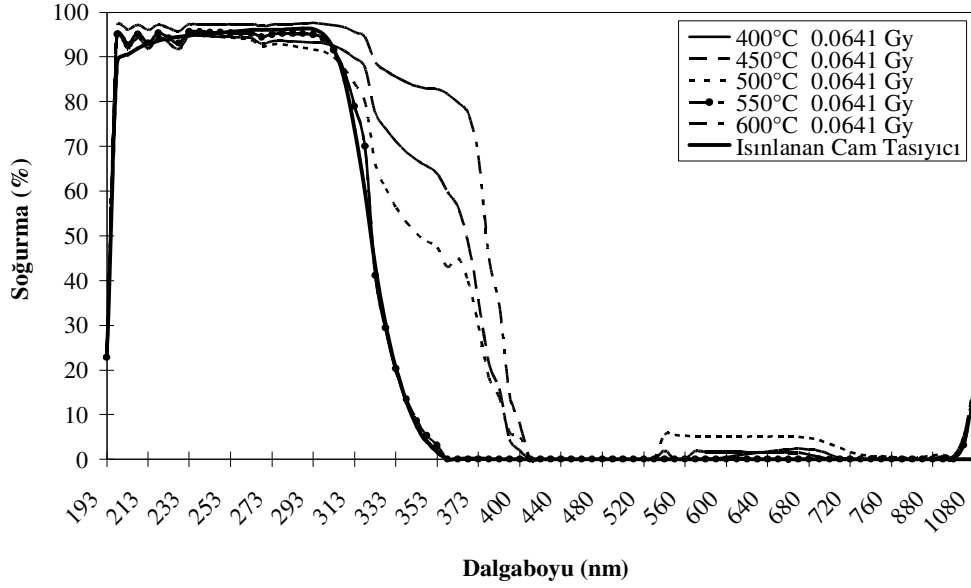


Şekil B.6 : 0.262941 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı yansıtıcılık değişimi.

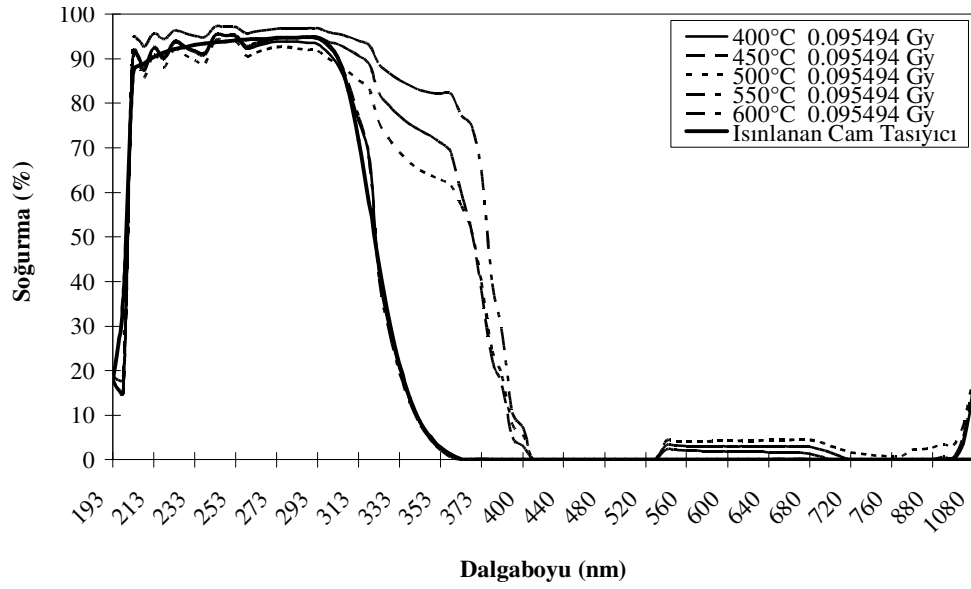


**Şekil B.7** : 0.326311 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı yansıtıcılık değişimi.

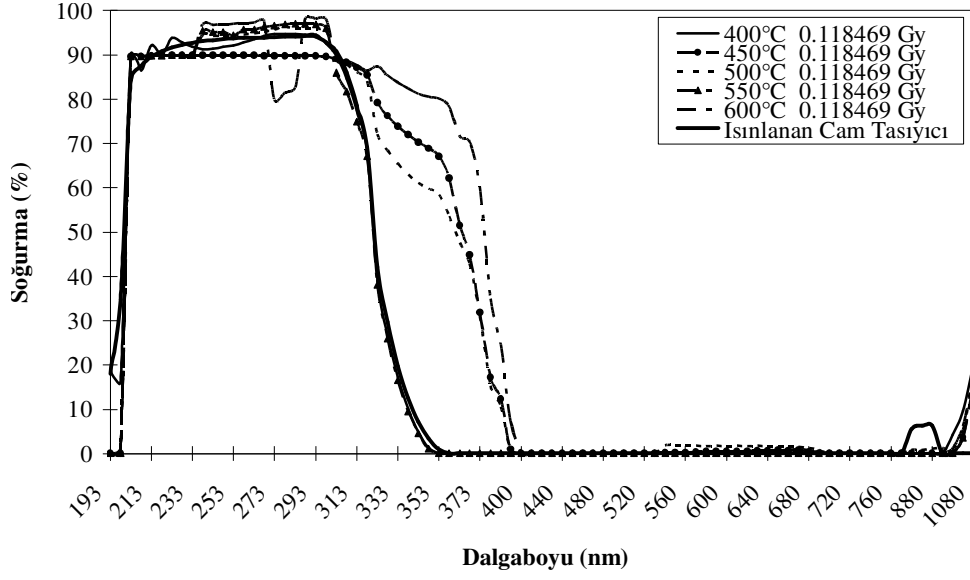
**EK C :**



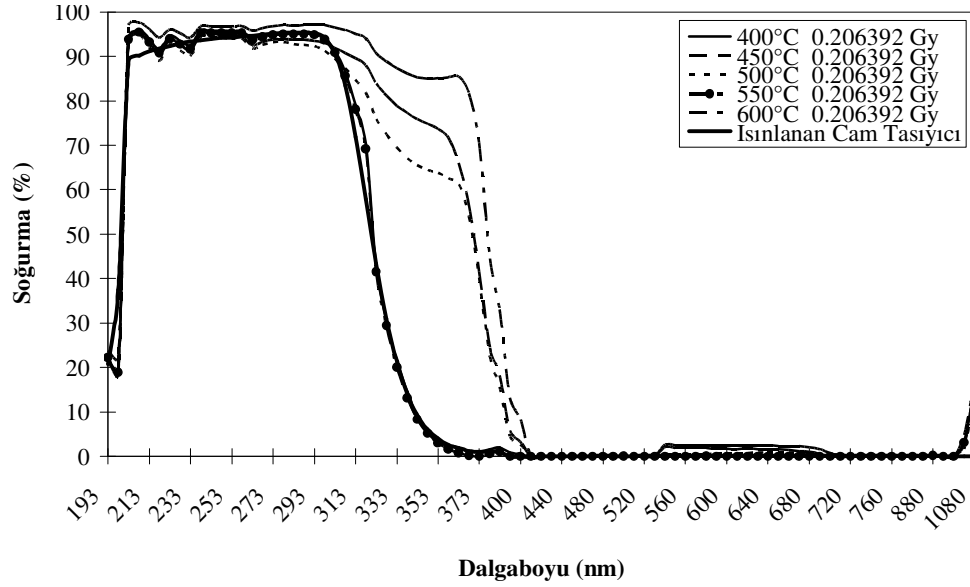
**Şekil C.1 :** 0.0641 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı soğurma değişimi.



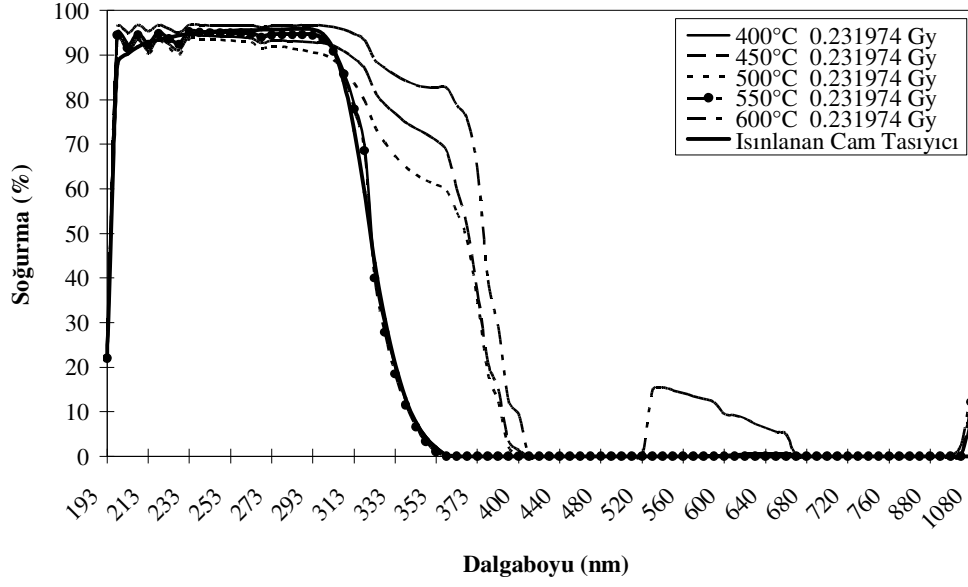
**Şekil C.2 :** 0.095494 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı soğurma değişimi.



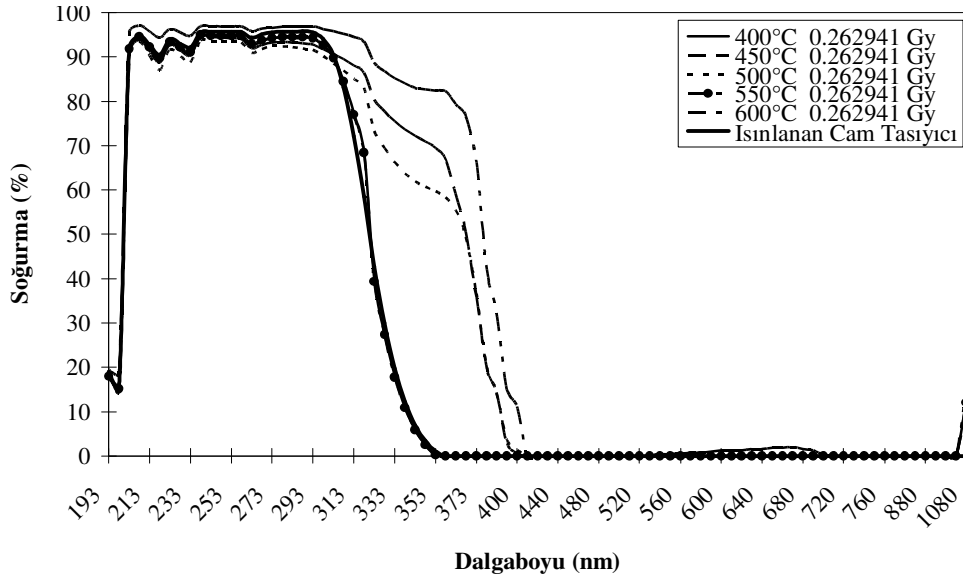
Şekil C.3 : 0.118469 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı soğurma değişimi.



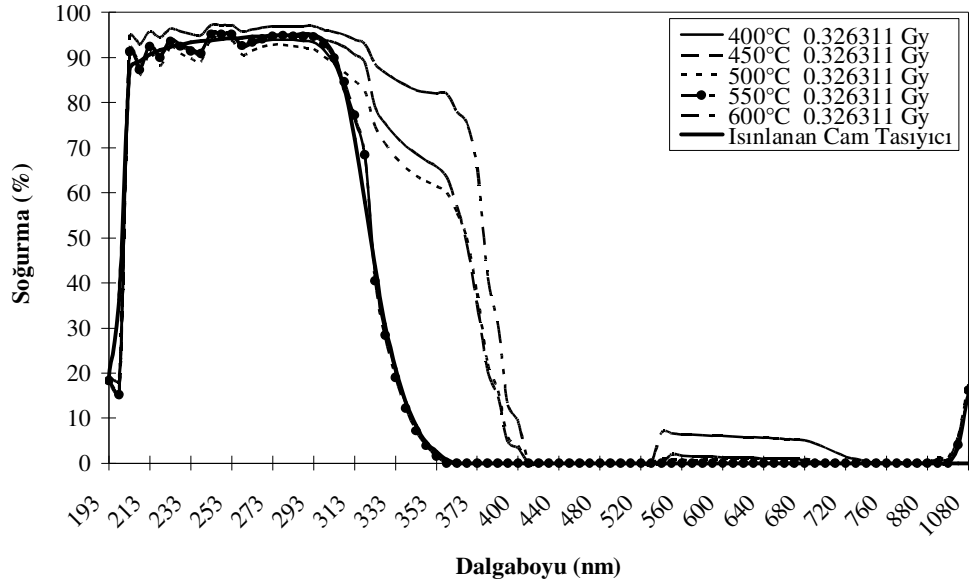
Şekil C.4 : 0.206392 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı soğurma değişimi.



**Şekil C.5 :** 0.231974 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı soğurma değişimi.

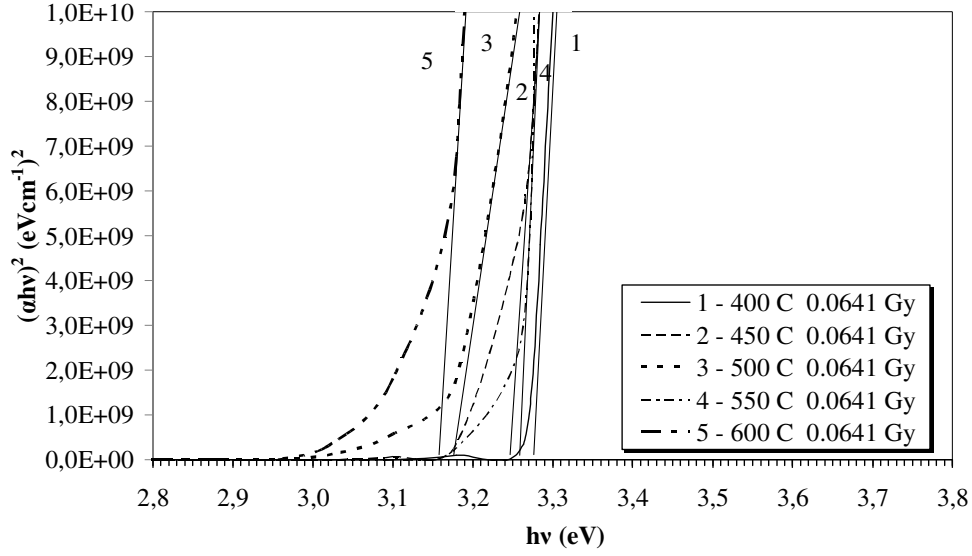


**Şekil C.6 :** 0.262941 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı soğurma değişimi.

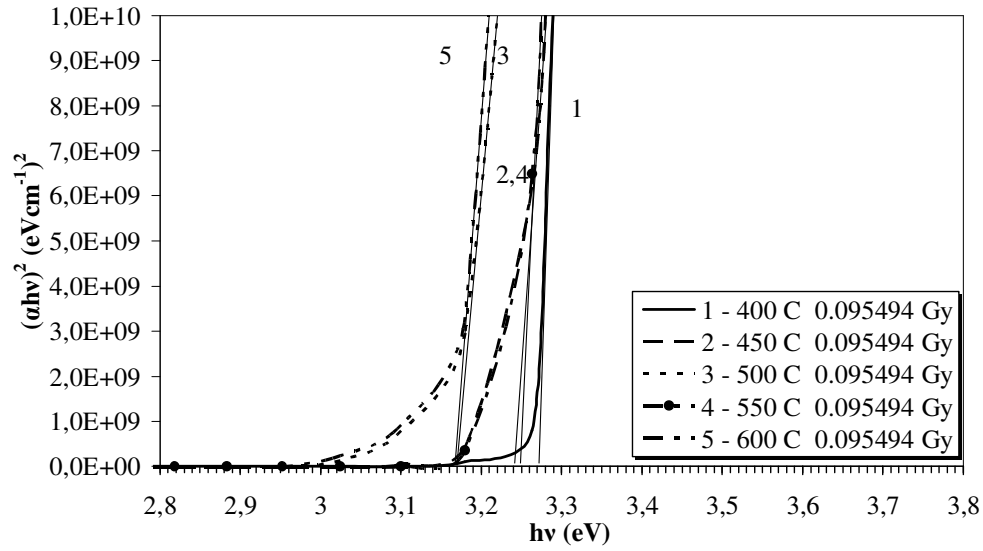


**Şekil C.7 :** 0.326311 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı soğurma değişimi.

**EK D :**

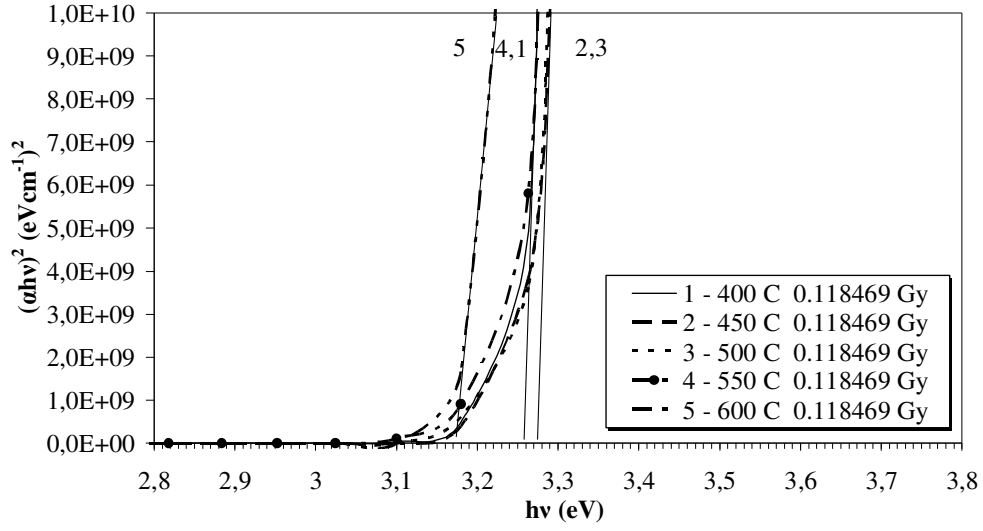


**Şekil D.1 :** 0.0641 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin enerji bant aralıkları.

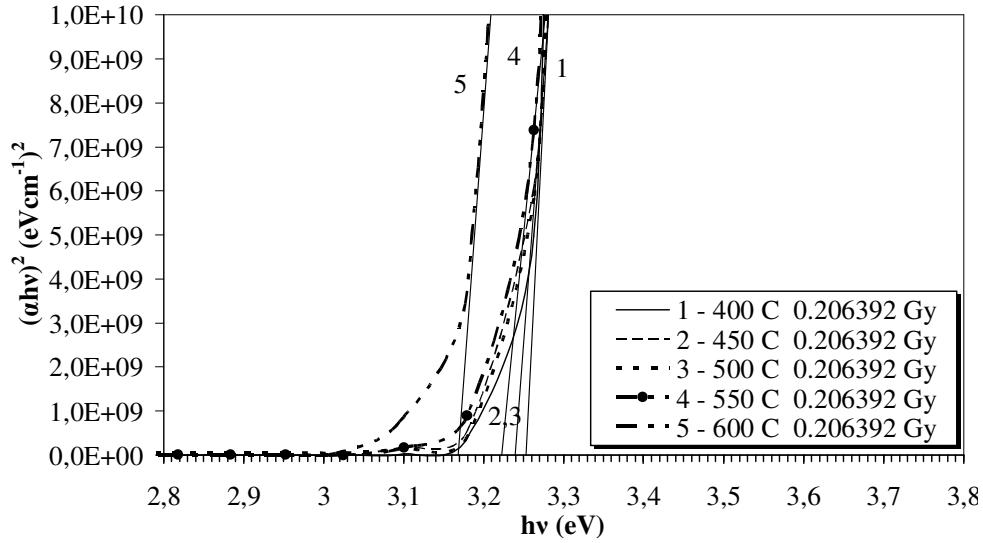


**Şekil D.2 :** 0.095494 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin enerji bant aralıkları

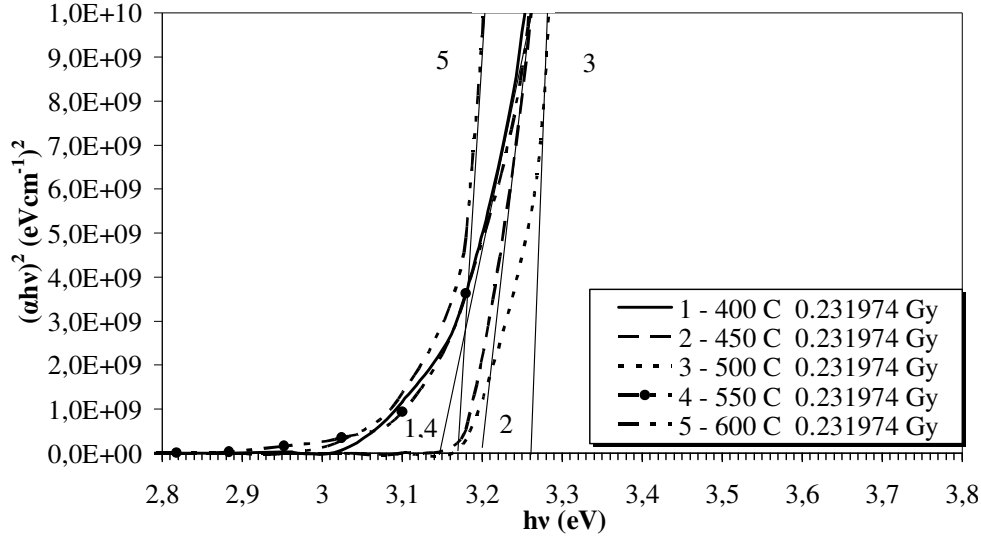




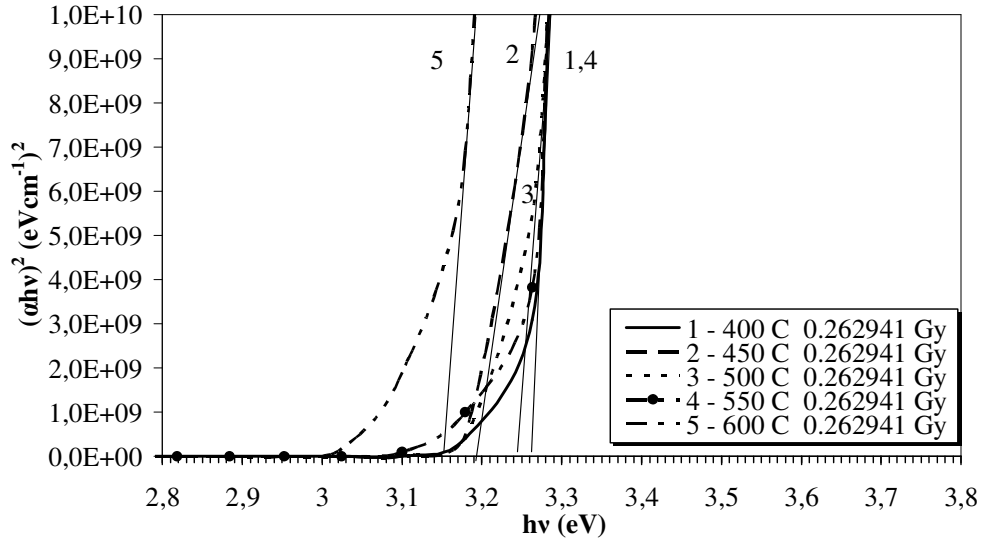
Şekil D.3 : 0.118469 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin enerji bant aralıkları.



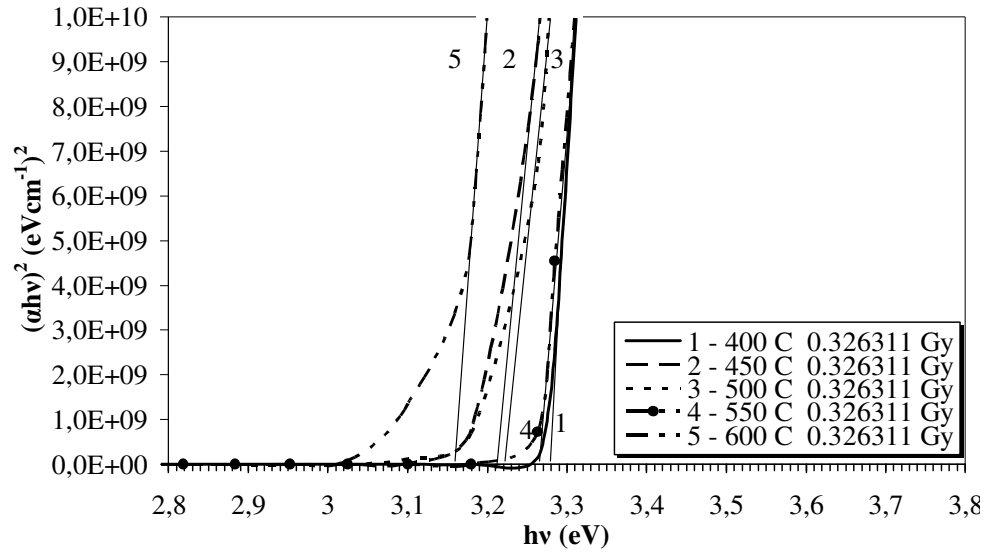
Şekil D.4 : 0.206392 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin enerji bant aralıkları.



**Şekil D.5 :** 0.231974 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin enerji bant aralıkları.

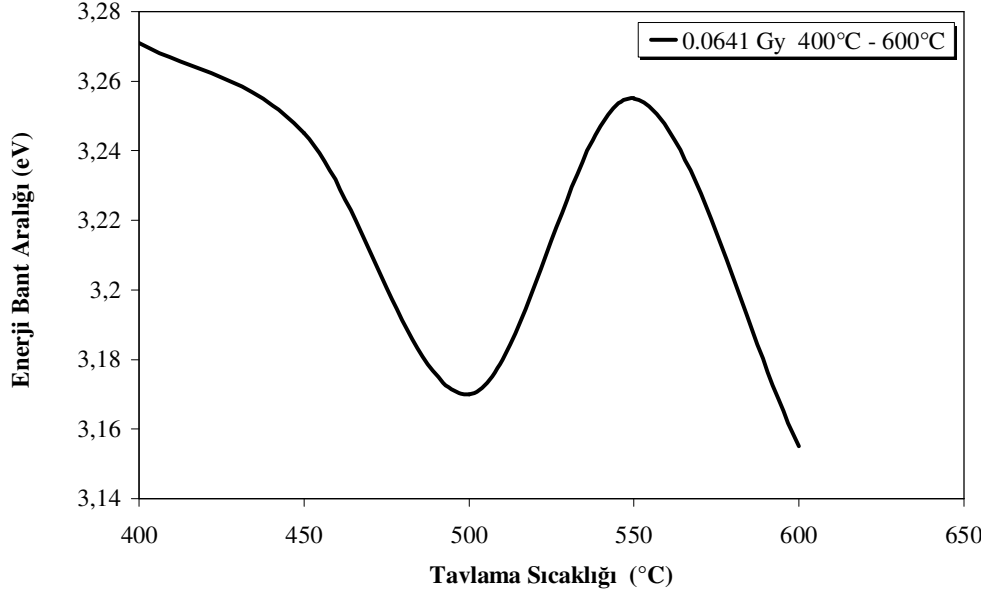


**Şekil D.6 :** 0.262941 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin enerji bant aralıkları.

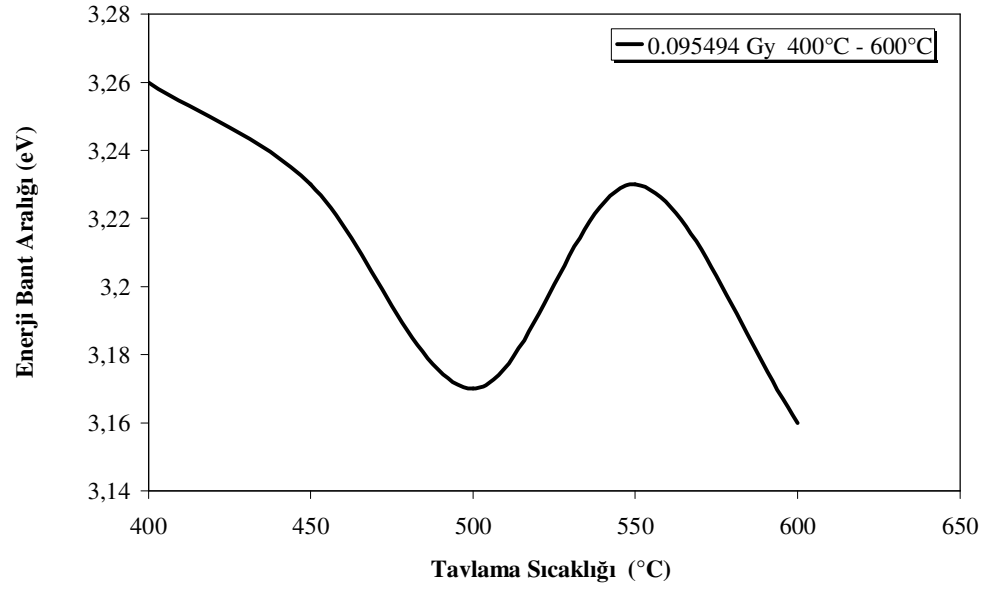


Şekil D.7 : 0.326311 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin enerji bant aralıkları.

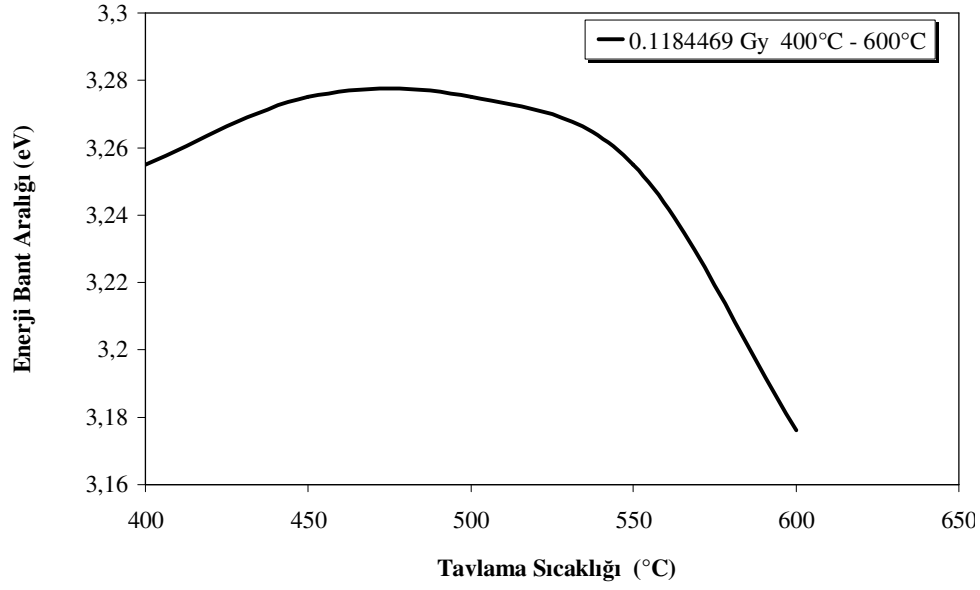
**EK E :**



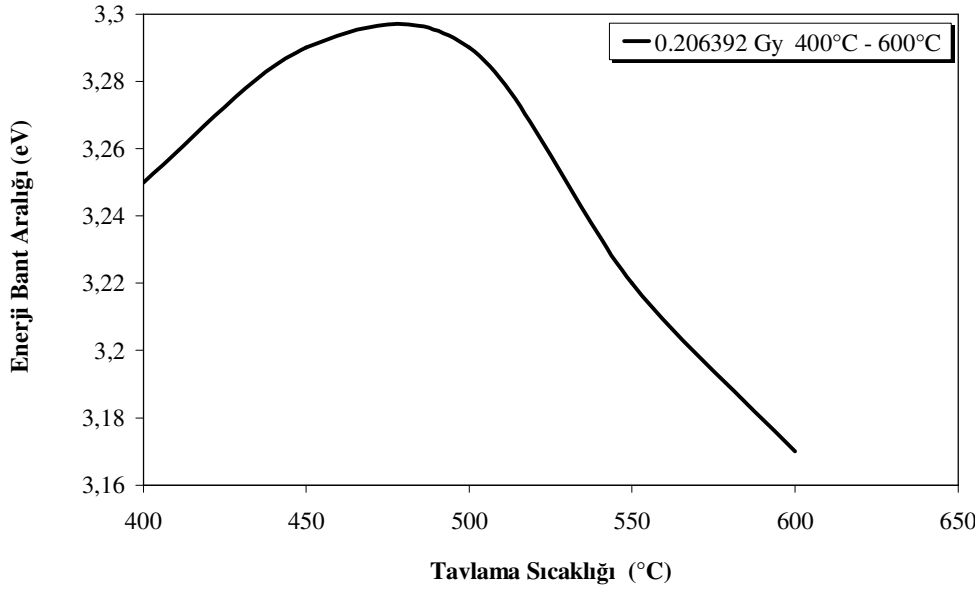
**Şekil E.1 :** 0.0641 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı enerji bant aralığı değişimi.



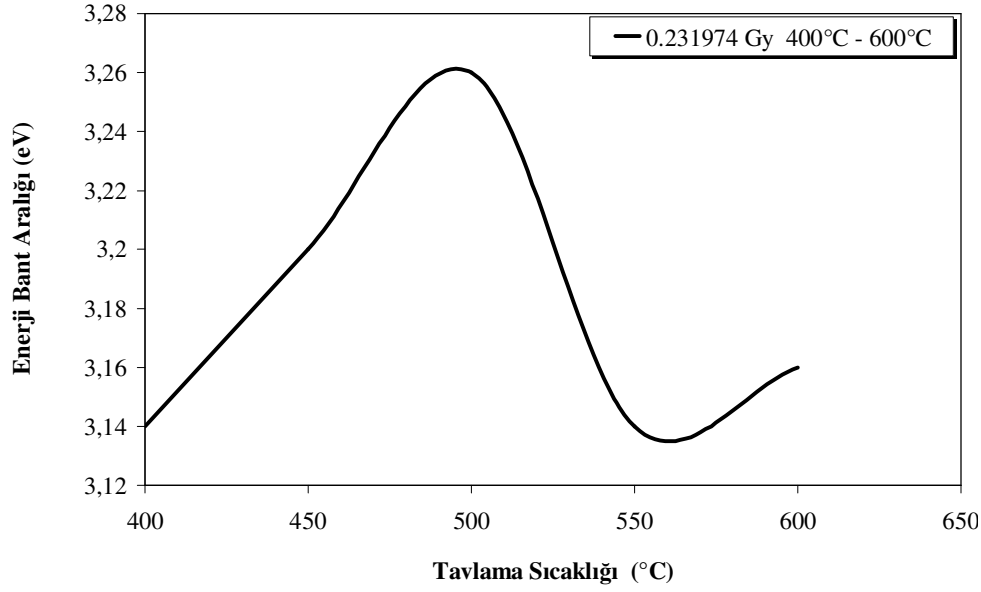
**Şekil E.2 :** 0.095494 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı enerji bant aralığı değişimi.



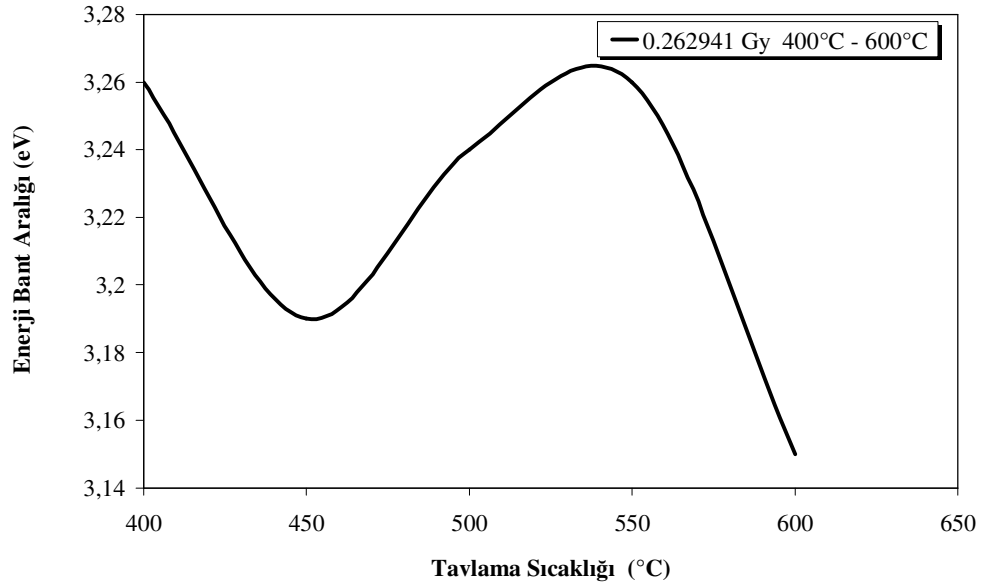
**Şekil E.3 :** 0.01184469 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı enerji bant aralığı değişimi.



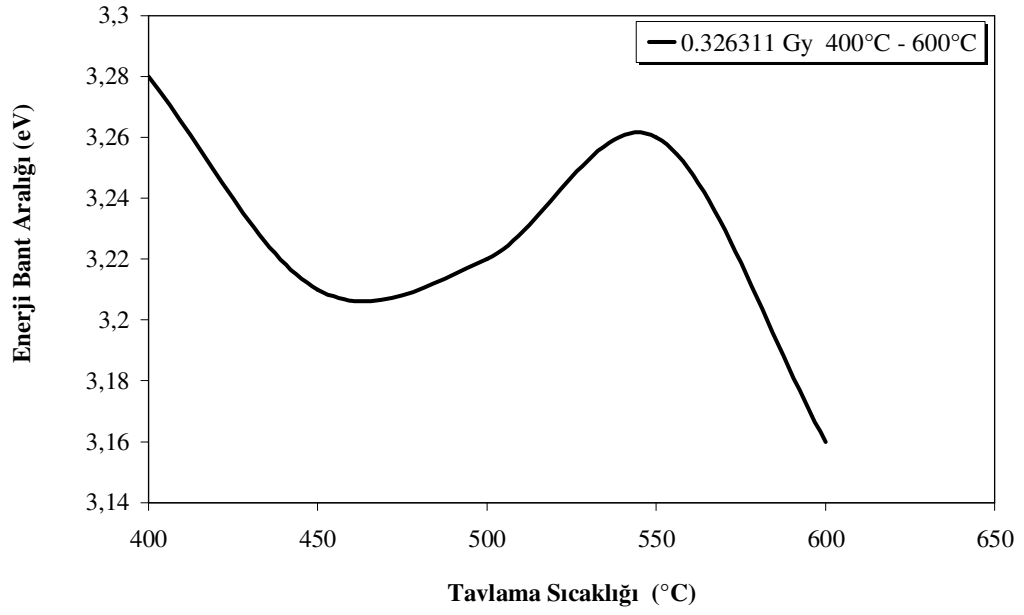
**Şekil E.4 :** 0.206392 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı enerji bant aralığı değişimi.



**Şekil E.5 :** 0.231974 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı enerji bant aralığı değişimi.



**Şekil E.6 :** 0.262941 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı enerji bant aralığı değişimi.



**Şekil E.7 :** 0.326311 Gy doz ışınlanan beş tabakalı ZnO ince filmlerinin tavlama sıcaklığına bağlı enerji bant aralığı değişimi.





## **ÖZGEÇMİŞ**

**Ad Soyad:** Lale Sepet

**Doğum Yeri ve Tarihi:** Berlin / Almanya 1976

**Lisans:** Yıldız Teknik Üniversitesi