

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**NÖTRONLARA MARUZ KALAN ZnO:Al İNCE FİMLERDE  
OPTİK MODELİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Teyfik ÖZDURMUŞOĞLU**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Ana Bilim Dalı**

**HAZİRAN 2013**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**NÖTRONLARA MARUZ KALAN ZnO:Al İNCE FİLMLERDE  
OPTİK MODELİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Teyfik ÖZDURMUŞOĞLU  
(301091076)**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Ana Bilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Nilgün BAYDOĞAN**

**HAZİRAN 2013**



İTÜ, Eneji Enstitüsü'nün 301091076 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Teyfik ÖZDURMUŞOĞLU**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**NÖTRONLARA MARUZ KALAN ZnO:Al İNCE FİLMERDE OPTİK MODELİN İNCELENMESİ** ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Nilgün BAYDOĞAN**  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :Prof. Dr. Beril TUĞRUL.....**  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENOĞLU.....**  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi : 3 Mayıs 2013**  
**Savunma Tarihi : 3 Haziran 2013**



*Aileme,*





## ÖNSÖZ

Bu çalışmada Al katkılı ZnO ince filmlerinin nötron radyasyonu karşısındaki davranışını araştırılmıştır.

Sadece bu tez çalışmam da değil tüm yüksek lisans eğitimim sırasında bana her konuda yardımcı olan Sayın Hocam Doç. Dr. Nilgün DOĞAN BAYDOĞAN' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ürettiğim örneklerin ışınlanmasında yardımcı olan İ.T.Ü Enerji Enstitüsü, TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü personeline teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca ürettiğim ince film kaplamalarda İnce Film Laboratuvarı'nda çalışma imkanı sunan, İ.T.Ü Kimya – Metalurji Fakültesi Malzeme Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden Sayın Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim. İ.T.Ü Kimya – Metalurji Fakültesi Malzeme Mühendisliği Bölümü İnce Film Laboratuvarı çalışanlarından, Ar. Gör. Onur MEYDANOĞLU ile arkadaşlarım Fizikçi Kami ÇİLİNGİRYAN ve Metalurji ve Malzeme Mühendisi Yeliz GÖKÇE' ye teşekkürü bir borç bilirim.

Sadece eğitim hayatımda değil bütün hayatımın her alanında benim yanımda olan, aldığım bütün kararları destekleyen canım aileme, yakın arkadaşlarım Kimyager Ali Acar ÖZDEMİR ve muhasebeci Birkan KORKMAZ'a teşekkür ederim.

Mayıs 2013

Teyfik ÖZDURMUŞOĞLU



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER .....	xi
KISALTMALAR .....	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
SEMBOL LİSTESİ.....	xxiv
ÖZET.....	xxvii
SUMMARY .....	xxix
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı .....	4
1.2 Literatür Özeti .....	5
<b>2. İYONLAŞTIRICI RADYASYON VE MALZEME İLE ETKİLEŞMESİ .....</b>	<b>9</b>
2.1 Radyasyonun Malzeme İle Etkileşmesi .....	9
2.2 Radyasyonun Malzemeyi Etkileme Mekanizmaları .....	9
2.2.1 Nötronların Malzeme ile Etkileşmesi.....	11
<b>3. SOL-JEL YÖNTEMİ .....</b>	<b>14</b>
3.1 Daldırarak Kaplama Yöntemi .....	16
3.1.1 Daldırarak Kaplama Yöntemi ile İlgili Genel Uygulamalar .....	17
3.1.2 Döndürerek Kaplama Yöntemi .....	18
<b>4. ZnO:Al İNCE FİMLERİNİN ÖZELLİKLERİ.....</b>	<b>22</b>
4.1 Elektriksel Özellikleri .....	22
4.2 Optik Özellikleri.....	23
4.3 Radyasyon Karşısındaki Davranışları .....	27
<b>5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>33</b>
5.1 Altlıkların Hazırlanması.....	33
5.2 Solüsyonun Hazırlanması .....	33
5.3 Yapılan Kaplama İşlemleri .....	34
5.4 Filmlerin Kalınlık Ölçümleri.....	35
5.5 Çalışılan Filmlerin Optik Özellikleri .....	35
5.6 Çalışılan Nötron Işınlama Düzeneginin Tanıtımı .....	35
5.7 Işınlama İşlemleri.....	36
<b>6. DENEY SONUÇLARI.....</b>	<b>38</b>
6.1 ZnO:Al İnce Filmlerin Kalınlıkları .....	38
6.2 ZnO:Al filmlerin Yapısal Karakterizasyonu .....	39
6.3 Optik Özelliklerin İncelenmesi .....	45
6.3.1 Optik geçirgenliğin incelenmesi .....	46
6.3.1.1 Işınlama işleminden önce ZnO:Al filmlerinin optik geçirgenliğinin tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı olarak değişimi.....	46
6.3.1.2 Işınlama işleminden sonra ZnO:Al filmlerinin optik geçirgenliğinin tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı olarak değişimi.....	48

6.3.1.3 Işınlama işleminden önce ZnO:Al filmlerin Al konsantrasyonuna bağlı olarak optik geçirgenliğinde oluşan değişimler .....	50
6.3.1.4 Işınlama işleminden sonra ZnO:Al filmlerin Al konsantrasyonuna bağlı olarak optik geçirgenliğinde oluşan değişimler .....	52
6.3.2 Optik yansıtıcılığın incelenmesi .....	54
6.3.2.1 Işınlama işleminden önce ZnO:Al filmlerinin optik yansıtıcılığının tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı olarak değişimi .....	54
6.2.2.2 Işınlama işleminden sonra ZnO:Al filmlerin optik yansıtıcılığının tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı olarak değişimi .....	57
6.3.2.2 Işınlama işleminden önce ZnO:Al filmlerinin optik yansıtıcılığında Al konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak oluşan değişimler .....	59
6.3.3 Dielektrik sabitlerinin incelenmesi .....	64
6.3.3.1 Kırılma indislerinin incelenmesi .....	64
Işınlama işleminden önce ZnO:Al filmlerin kırılma indislerinin tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı olarak değişimi .....	64
Işınlama işleminden sonra ZnO:Al filmlerin kırılma indislerinin tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı değişimi .....	65
Işınlama işleminden önce ZnO:Al filmlerin Al konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak kırılma indisinde oluşan değişimler .....	66
Işınlama işleminden sonra ZnO:Al filmlerin Al konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak kırılma indisinde oluşan değişimler .....	68
6.3.3.2 Sönüm katsayısının incelenmesi .....	70
Işınlama işleminden önce ZnO:Al filmlerin sönüm katsayısının tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı olarak değişimi .....	70
Işınlama işleminden sonra ZnO:Al filmlerin sönüm katsayısının tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı olarak değişimi .....	71
Işınlama işleminden önce ZnO:Al filmlerin Al konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak sönüm katsayısında oluşan değişimler .....	72
Işınlama işleminden sonra ZnO:Al filmlerin Al konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak sönüm katsayısında oluşan değişimler .....	74
6.3.4 Optik bant aralığının incelenmesi .....	76
6.2.4.1 Işınlama işleminden önce ZnO:Al filmlerin Al konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak optik bant aralığında oluşan değişimler .....	76
6.2.4.2 Işınlama işleminden sonra ZnO:Al filmlerin Al konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak optik bant aralığında oluşan değişimler .....	78
6.2.4.2 Optik bant aralığının tavlama sıcaklığı ile değişiminin incelenmesi ..	80
6.4 Işınlanmış ve ışınlanmamış ZnO:Al ince filmelerinin optik özelliklerinin mukayeseli olarak incelenmesi .....	80
6.4.1 Işınlanmamış ve ışınlanmış ZnO:Al ince filmlerin optik geçirgenliğinin değişiminin mukayeseli olarak incelenmesi .....	81
6.4.2 Işınlanmamış ve ışınlanmış ZnO:Al ince filmlerde optik yansıtıcılığın değişiminin mukayeseli olarak incelenmesi .....	82
6.4.3 Işınlanmamış ve ışınlanmış ZnO:Al ince filmlerde kırılma indisinin mukayeseli olarak incelenmesi .....	85
6.4.4 Işınlanmamış ve ışınlanmış ZnO:Al ince filmlerde sönüm katsayısının değişiminin mukayeseli olarak incelenmesi .....	88
6.4.5 Işınlanmamış ve ışınlanmış ZnO:Al ince filmlerde optik bant aralığının değişiminin mukayeseli olarak incelenmesi .....	92
<b>7. SONUÇ VE TARTIŞMA .....</b>	<b>94</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>96</b>





## KISALTMALAR

<b>ZnO:Al</b>	: Al katkılı ZnO
<b>Al</b>	: Alüminyum sembolü
<b>ZnO</b>	: Çinko oksit sembolü
<b>TCO</b>	: Transparent conducting oxide
<b>SEM</b>	: Scanning Electron Microscope
<b>RF</b>	: Radyo Frekans
<b>LED</b>	: Light emitting diode
<b>MCA</b>	: Multichannel Analyzer
<b>UV</b>	: Morötesi Işıklar
<b>VIS</b>	: Görünür Işıklar
<b>HVT</b>	: Half Value Thickness
<b>HVL</b>	: Half Value Layer
<b>TVL</b>	: Tenth Value Layer
<b>DVD</b>	: Digital Versatile Disc
<b>CD</b>	: Compact Disc
<b>DC</b>	: Direct Current
<b>Ra</b>	: Roughness Average
<b>Rms</b>	: Root Mean Square of Roughness





## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 3. 1: Sol-Jel yönteminin üstünlükleri ve sınırlılıkları .....	16
Çizelge 4. 1: Katkılı ve katkısız filmlerin elektron ışınlarına maruz bırakıldıktan önceki sonrasındaki katman direnci ve öz dirençlerindeki değişim .....	28
Çizelge 6. 1: Vakum ortamında tavlama filmlerin kalınlıkları. ....	38
Çizelge 6. 2: Nötronlara maruz kalan filmlerin parçacık büyüklüğünde ve yüzey pürüzlülüğünde (Ra ve Rms değerleri olarak) oluşan değişimler .....	45
Çizelge 6. 3: Tavlama sıcaklıklarına göre optik bant aralıklarının değerleri .....	80
Çizelge 6. 4: Filmlerin ışınlama durumuna göre optik bant aralığı değerleri .....	92



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2. 1: Nötron - madde etkileşmesinin sınıflandırılması.....	12
Şekil 3. 1: Sol-jel sürecinin şematik gösterimi .....	15
Şekil 3. 2: Sol-jel prosesinde hidroliz ve kondenzasyon reaksiyonları.....	15
Şekil 3. 3: Daldırarak kaplama tekniğinin şematik anlatımı .....	17
Şekil 3. 4: Döndürerek kaplama (spin coating) metodunun aşamaları .....	19
Şekil 4. 1: Al katkı oranına göre taşıyıcı konsantrasyonu $n$ , mobilite $\mu$ ve iletkenlikteki $\sigma$ değişim.....	22
Şekil 4. 2: 200-800 nm dalga boyu aralığında 575°C' ta Al katkı oranına göre geçirgenliğin değişimi.....	23
Şekil 4. 3: 450°C' de tavllanmış olan ZnO:Al filmlerin katkı oranına göre geçirgenlik grafiği .....	24
Şekil 4. 4: Tauc grafiği kullanılarak katkı oranına göre bant aralığı hesaplanması ...	26
Şekil 4. 5: 500°C tavllanmış 9 kat kaplanmış filmlerin UV-VIS spektrumu a) ZnO b) ZnO:Al filmlerinin elektron ışınlarına maruz kalmadan önceki ve sonrasındaki dalga boyunun fonksiyonu olarak geçirgenlik grafiği.....	29
Şekil 4. 6: 500°C' de tavllanmış 9 kat kaplanmış filmlerde sönüm katsayısını dalga boyunun fonksiyonu olarak gösteren grafik a) ZnO b) Al:ZnO filmlerinin elektron ışınlarına maruz bırakılmadan önceki ve sonraki sönüm katsayılarındaki değişim .....	30
Şekil 4. 7: 500°C' de tavllanmış 9 kat kaplanmış filmlerde kırılma indisinin dalga boyunun fonksiyonu olarak gösteren grafik a) ZnO b) Al:ZnO filmlerinin elektron ışınlarına maruz bırakılmadan önceki ve sonraki kırılma indisindeki değişim.....	31
Şekil 5. 1: Ultrasonik banyo (Sonorex Ultrasonic Bath RK-100 H).....	33
Şekil 5. 2: KSVLMX2 dip coater cihazı .....	34
Şekil 5. 3: ITU TRIGA Mark-II Reaktor'ündeki teğetsel ışınlama düzeneğinin konumu.....	35
Şekil 5. 4: ITU TRIGA Mark-II reaktörünün teğetsel ışınlama tüpünde ışınlanan örneklerin ışınlama pozisyonu .....	36
Şekil 6. 1: Üretilen filmlerin XRD analizi .....	39
Şekil 6. 2: ZnO:Al ince filmlerin (2D) AFM görüntüsü .....	40
Şekil 6. 3: ZnO:Al ince filmlerin (3D) AFM görüntüsü .....	41
Şekil 6. 4: ZnO:Al filmlerin AFM cihazı kullanılarak belirlene yüzey pürüzlülüğü. 42	
Şekil 6. 5: Nötronlara maruz kalan ZnO:Al ince filmlerin (2D) AFM görüntüsü .....	43
Şekil 6. 6: ZnO:Al ince filmlerin (3D) AFM görüntüsü .....	44
Şekil 6. 7: ZnO:Al filmlerin AFM cihazı kullanılarak belirlene yüzey pürüzlülüğü. 45	
Şekil 6. 8: Işınlanmamış, % 0,8 katkılı filmlerin geçirgenliklerinin tavlama sıcaklığına göre değişimi .....	46
Şekil 6. 9: Işınlanmamış, % 1,0 katkılı filmlerin geçirgenliklerinin tavlama sıcaklığına göre değişimi .....	47
Şekil 6. 10: Işınlanmamış, % 1,2 katkılı filmlerin geçirgenliklerinin tavlama sıcaklığına göre değişimi.....	47

Şekil 6. 11: Işınlanmamış, % 1,6 katkılı filmlerin geçirgenliklerinin tavlama sıcaklığına göre değişimi .....	48
Şekil 6. 12: Işınlanmış, % 0,8 katkılı filmlerin geçirgenliklerinin tavlama sıcaklığına göre değişimi .....	48
Şekil 6. 13: Işınlanmış, % 1,0 katkılı filmlerin geçirgenliklerinin tavlama sıcaklığına göre değişimi .....	49
Şekil 6. 14: Işınlanmış, % 1,2 katkılı filmlerin geçirgenliklerinin tavlama sıcaklığına göre değişimi .....	49
Şekil 6. 15: Işınlanmış, % 1,6 katkılı filmlerin geçirgenliklerinin tavlama sıcaklığına göre değişimi .....	50
Şekil 6. 16: 450°C' de tavllanmış, ışınlanmamış filmlerin katkı oranına göre geçirgenlik grafiği .....	51
Şekil 6. 17: 500°C' de tavllanmış, ışınlanmamış filmlerin katkı oranına göre geçirgenlik grafiği .....	51
Şekil 6. 18: 550°C' de tavllanmış, ışınlanmamış filmlerin katkı oranına göre geçirgenlik grafiği .....	52
Şekil 6. 19: Işınlanmış, 450°C' de tavllanmış filmlerin katkı oranına göre geçirgenlik grafiği .....	53
Şekil 6. 20: Işınlanmış, 500°C' de tavllanmış filmlerin katkı oranına göre geçirgenlik grafiği .....	53
Şekil 6. 21: Işınlanmış, 550°C' de tavllanmış filmlerin katkı oranına göre geçirgenlik grafiği .....	54
Şekil 6. 22: Işınlanmamış, % 0,8 katkılı filmlerin yansıtıcılığının tavlama sıcaklığına göre değişimi .....	55
Şekil 6. 23: Işınlanmamış, % 1,0 katkılı filmlerin yansıtıcılığının tavlama sıcaklığına göre değişimi .....	55
Şekil 6. 24: Işınlanmamış, % 1,2 katkılı filmlerin yansıtıcılığının tavlama sıcaklığına göre değişimi .....	56
Şekil 6. 25: Işınlanmamış, % 1,6 katkılı filmlerin yansıtıcılığının tavlama sıcaklığına göre değişimi .....	56
Şekil 6. 26: Işınlanmış, % 0,8 katkılı filmlerin yansıtıcılığının tavlama sıcaklığına göre değişimi .....	57
Şekil 6. 27: Işınlanmış, % 1,0 katkılı filmlerin yansıtıcılığının tavlama sıcaklığına göre değişimi .....	58
Şekil 6. 28: Işınlanmış, % 1,2 katkılı filmlerin yansıtıcılığının tavlama sıcaklığına göre değişimi .....	58
Şekil 6. 29: Işınlanmış, % 1,6 katkılı filmlerin yansıtıcılığının tavlama sıcaklığına göre değişimi .....	59
Şekil 6. 30: Işınlanmamış, 450°C' de tavllanmış filmlerin katkı oranına göre yansıtıcılık grafiği.....	60
Şekil 6. 31: Işınlanmamış, 500°C' de tavllanmış filmlerin katkı oranına göre yansıtıcılık grafiği.....	61
Şekil 6. 32: Işınlanmamış, 550°C' de tavllanmış filmlerin katkı oranına göre yansıtıcılık grafiği.....	61
Şekil 6. 33: Işınlanmış, 450°C' de tavllanmış filmlerin katkı oranına göre yansıtıcılık grafiği .....	62
Şekil 6. 34: Işınlanmış, 500°C' de tavllanmış filmlerin katkı oranına göre yansıtıcılık grafiği .....	63
Şekil 6. 35: Işınlanmış, 550°C' de tavllanmış filmlerin katkı oranına göre yansıtıcılık grafiği .....	63

Şekil 6. 36: Işınlanmamış, % 1,0 katkıli filmlerin kırılma indislerinin tavlama sıcaklığına bağlı değişimi.....	64
Şekil 6. 37: Işınlanmamış, % 1,2 katkıli filmlerin kırılma indislerinin tavlama sıcaklığına bağlı değişimi.....	65
Şekil 6. 38: Işınlanmış, % 1,0 katkıli filmlerin kırılma indislerinin tavlama sıcaklığına bağlı değişimi.....	65
Şekil 6. 39: Işınlanmış, % 1,2 katkıli filmlerin kırılma indislerinin tavlama sıcaklığına bağlı değişimi.....	66
Şekil 6. 40: Işınlanmamış ve 450 <sup>0</sup> C' de tavllanmış filmlerin kırılma indislerinin katkı oranına göre değişimi .....	67
Şekil 6. 41: Işınlanmamış ve 500 <sup>0</sup> C' de tavllanmış filmlerin kırılma indislerinin katkı oranına göre değişimi .....	67
Şekil 6. 42: Işınlanmamış ve 550 <sup>0</sup> C' de tavllanmış filmlerin kırılma indislerinin katkı oranına göre değişimi .....	68
Şekil 6. 43: Işınlanmış ve 450 <sup>0</sup> C' de tavllanmış filmlerin kırılma indislerinin katkı oranına göre değişimi .....	68
Şekil 6. 44: Işınlanmış ve 500 <sup>0</sup> C' de tavllanmış filmlerin kırılma indislerinin katkı oranına göre değişimi .....	69
Şekil 6. 45: Işınlanmış ve 550 <sup>0</sup> C' de tavllanmış filmlerin kırılma indislerinin katkı oranına göre değişimi .....	69
Şekil 6. 46: Işınlanmamış, % 1,0 katkıli filmlerin sönüm katsayılarının tavlama sıcaklığına göre değişimi.....	70
Şekil 6. 47: Işınlanmamış, % 1,2 katkıli filmlerin sönüm katsayılarının tavlama sıcaklığına göre değişimi.....	71
Şekil 6. 48: Işınlanmış, % 1,0 katkıli filmlerin sönüm katsayılarının tavlama sıcaklığına göre değişimi.....	71
Şekil 6. 49: Işınlanmış, % 1,2 katkıli filmlerin sönüm katsayılarının tavlama sıcaklığına göre değişimi.....	72
Şekil 6. 50: Işınlanmamış, 450 <sup>0</sup> C' de tavllanmış filmlerin katkı oranına göre sönüm katsayılarının değişimi .....	73
Şekil 6. 51: Işınlanmamış, 500 <sup>0</sup> C' de tavllanmış filmlerin katkı oranına göre sönüm katsayılarının değişimi .....	73
Şekil 6. 52: Işınlanmamış, 550 <sup>0</sup> C' de tavllanmış filmlerin katkı miktarına göre sönüm katsayılarının değişimi.....	74
Şekil 6. 53: Işınlanmış, 450 <sup>0</sup> C' de tavllanmış filmlerin katkı miktarına göre sönüm katsayılarının değişimi .....	74
Şekil 6. 54: Işınlanmış, 500 <sup>0</sup> C' de tavllanmış filmlerin katkı miktarına göre sönüm katsayılarının değişimi .....	75
Şekil 6. 55: Işınlanmış, 550 <sup>0</sup> C' de tavllanmış filmlerin katkı miktarına göre sönüm katsayılarının değişimi .....	75
Şekil 6. 56: Işınlanmamış ve 450 <sup>0</sup> C' de tavllanmış filmlerin katkı oranına göre optik bant aralığı.....	77
Şekil 6. 57: Işınlanmamış ve 500 <sup>0</sup> C' de tavllanmış filmlerin katkı oranına göre optik bant aralığı.....	77
Şekil 6. 58: Işınlanmamış ve 550 <sup>0</sup> C' de tavllanmış filmlerin katkı oranına göre optik bant aralığı.....	78
Şekil 6. 59: Işınlanmış ve 450 <sup>0</sup> C' de tavllanmış filmlerin katkı oranına göre optik bant aralığı.....	78
Şekil 6. 60: Işınlanmış ve 500 <sup>0</sup> C' de tavllanmış filmlerin katkı oranına göre optik bant aralığı.....	79

Şekil 6. 61: Işınlanmış ve 550 <sup>0</sup> C' de tavllanmış filmlerin katkı oranına göre optik bant aralığı.....	79
Şekil 6. 62: Işınlama durumuna göre 450 <sup>0</sup> C' de tavllanmış filmlerin geçirgenlik grafiği .....	81
Şekil 6. 63: Işınlama durumuna göre 500 <sup>0</sup> C' de tavllanmış filmlerin geçirgenlik grafiği .....	82
Şekil 6. 64: Işınlama durumuna göre 550 <sup>0</sup> C' de tavllanmış filmlerin geçirgenlik grafiği .....	82
Şekil 6. 65: Işınlama durumuna göre 450 <sup>0</sup> C' de tavllanmış filmlerin yansıtıcılık grafiği .....	83
Şekil 6. 66: Işınlama durumuna göre 500 <sup>0</sup> C' de tavllanmış filmlerin yansıtıcılık grafiği .....	84
Şekil 6. 67: Işınlama durumuna göre 550 <sup>0</sup> C' de tavllanmış filmlerin yansıtıcılık grafiği .....	84
Şekil 6. 68: 450 <sup>0</sup> C de tavllanmış, % 1,0 katkılı filmin nötronlara maruz kaldıktan sonraki kırılma indisindeki değişim .....	85
Şekil 6. 69: 450 <sup>0</sup> C de tavllanmış, % 1,2 katkılı filmin nötronlara maruz kaldıktan sonraki kırılma indisindeki değişim .....	86
Şekil 6. 70: 500 <sup>0</sup> C de tavllanmış, % 1,0 katkılı filmin nötronlara maruz kaldıktan sonraki kırılma indisindeki değişim .....	86
Şekil 6. 71: 500 <sup>0</sup> C de tavllanmış, % 1,2 katkılı filmin nötronlara maruz kaldıktan sonraki kırılma indisindeki değişim .....	87
Şekil 6. 72: 550 <sup>0</sup> C de tavllanmış, % 1,0 katkılı filmin nötronlara maruz kaldıktan sonraki kırılma indisindeki değişim .....	87
Şekil 6. 73: 550 <sup>0</sup> C de tavllanmış, % 1,2 katkılı filmin nötronlara maruz kaldıktan sonraki kırılma indisindeki değişim .....	88
Şekil 6. 74: 450 <sup>0</sup> C' de tavllanmış % 1,0 katkılı filmin nötronlara maruz kaldıktan sonraki sönüm katsayısındaki değişim .....	89
Şekil 6. 75: 450 <sup>0</sup> C' de tavllanmış % 1,2 katkılı filmin nötronlara maruz kaldıktan sonraki sönüm katsayısındaki değişim .....	89
Şekil 6. 76: 500 <sup>0</sup> C' de tavllanmış % 1,0 katkılı filmin nötronlara maruz kaldıktan sonraki sönüm katsayısındaki değişim .....	90
Şekil 6. 77: 500 <sup>0</sup> C' de tavllanmış % 1,2 katkılı filmin nötronlara maruz kaldıktan sonraki sönüm katsayısındaki değişim .....	90
Şekil 6. 78: 550 <sup>0</sup> C' de tavllanmış % 1,0 katkılı filmin nötronlara maruz kaldıktan sonraki sönüm katsayısındaki değişim .....	91
Şekil 6. 79: 550 <sup>0</sup> C' de tavllanmış % 1,2 katkılı filmin nötronlara maruz kaldıktan sonraki sönüm katsayısındaki değişim .....	91



## SEMBOL LİSTESİ

<b>D</b>	: Optik Yoğunluk
<b>A</b>	: Absorbans (Optik soğurma)
<b>R</b>	: Reflektans (Optik yansıtıcılık)
<b>T</b>	: Transmittans (Optik geçirgenlik)
<b>n</b>	: Kırılma indisi
<b>k</b>	: Sönüm katsayısı
<b><math>\epsilon</math></b>	: Dielektrik sabiti
<b><math>\alpha</math></b>	: Soğurma katsayısı
<b><math>\rho</math></b>	: Özdirenç
<b><math>\sigma</math></b>	: İletkenlik
<b><math>I_0</math></b>	: Gelen ışığın şiddeti
<b>I</b>	: Geçen ışığın şiddeti
<b><math>E_g</math></b>	: Enerji bant aralığı
<b>c</b>	: Işık hızı
<b><math>\lambda</math></b>	: Dalgaboyu
<b>d</b>	: Film kalınlığı
<b>h</b>	: Planck sabiti
<b>E</b>	: Nötron enerjisi





## **NÖTRONLARA MARUZ KALAN ZnO:Al İNCE FİMLERDE OPTİK MODELİN İNCELENMESİ**

### **ÖZET**

Al katkılı ZnO (ZnO:Al) ince filmler soda-kireç cam taşıyıcılar üzerine sol-gel daldırarak kaplama yöntemi ile hazırlanmıştır. Al ile yapılan katkılandırılma üretilen ince filmlerin optik performansını etkilemiştir. Filmlerin optik özellikleri üzerine tavlama sıcaklığının, Al konsantrasyonunun ve radyasyonun etkisi incelenmiştir.

Nötronlara maruz kalan filmlerin optik performansı incelenmiştir. Işınlanmış ve ışınlanmamış filmlerin optik özellikleri karşılaştırılmıştır. Işınlama sonrasında ZnO:Al ince filmlerin kırılma indisi artmış, fakat sönüm katsayısı azalmıştır. Nötronlarla ışınıldıktan sonra filmlerin optik bant aralığının azaldığı tespit edilmiştir.

## **INVESTIGATION OF OPTICAL MODEL OF THE IRRADIATED ZnO:Al THIN FILMS BY NEUTRONS**

### **SUMMARY**

Al doped ZnO (ZnO:Al) thin films were prepared on soda lime silicate glass substrates by sol-gel dip coating technique. The effects of annealing temperature, Al concentration and radiation on optical properties of the films were investigated.

Optical performance of the films exposed to neutrons was investigated. Optical properties of irradiated and unirradiated films were compared. After irradiation, refractive index of ZnO:Al thin films increased, but extinction coefficient decreased. After the irradiation by neutrons, decreasing optical band gap of the films was determined.



## 1. GİRİŞ

ZnO ince filmlerin yüksek enerjili radyasyon karşısında kararlı olmaları nedeniyle bu filmler opto-elektronik uygulamalarda ilgi çekmektedirler. ZnO yapıların radyasyon hasarına karşı direnç göstermeleri, uzay uygulamalarında ZnO filmleri uygun ve elverişli hale getirmiştir (**Look, 2001**).

Courtois Fransa' da 1781' de beyaz çinkoyu üretmiş, fakat 1840'a kadar sanayide kullanılmamıştır. Sülfür gazından etkilenmemesi (siyahlaşmaması), toksik madde içermemesi ve iyi saklanabilmesi nedeniyle kurşun oksidin yerini almıştır. Ayrıca çinko oksit 19. yüzyılın ikinci yarısı süresince, kauçuğun ebonitleştirilme mekanizmasını kısaltmak için kullanılmış, 1906 yılında ilk ebonitleştirme organik hızlandırıcılarının bulunması ile bu malzemelerin içinde aktivatör görevi gören çinko oksidin önemi artmıştır (**Bulun, 2010**).

Çinko oksit, çeşitli bilimsel alanlarda kullanılan çok fonksiyonlu bir materyaldir. Çinko oksit bileşiğiyle hazırlanan filmler yüksek elektriksel iletkenliğe, yüksek geçirgenliğe sahiptir ve görünür bölgedeki yansımalarından dolayı, metal oksit yarı iletkenleri arasında en çok tercih edilen materyallerdir. Düşük dirençli çinko oksit filmler, III. grup elementleri olan Al, Ga, In veya VII. grup elementleri olan flor gibi elementlerle katkılanarak elde edilirler (**Karacasu, 2010; Bulun, 2010**).

Geçirgen iletken oksitler (Çinko Oksit (ZnO), İndiyum Kalay Oksit, Kadmiyum Oksit) son birkaç yıldır çok fazla ilgilenilen materyaller içerisinde yer almıştır. Bu materyaller geçirgen ve iletken özelliklerinin her ikisine sahip olduğu için endüstriyel ve bilimsel araştırmalarda çok geniş uygulamalara sahiptir (**Tekin, 2009; Tüzemen, 2007**).

Çinko oksit yarı iletken materyale büyük ilgi duyulmaya başlanmış olması son zamanlarda yayınlanan makalelerden anlaşılmaktadır. ZnO' ya olan ilgi 300°K' de 3.3 eV değerinde olan direk geniş enerji bant aralığı sayesinde optoelektronik uygulamadaki geniş alanından kaynaklanır (**Tuğral, 2010**). ZnO' yu diğer yarı iletkenlerden ayıran farklı özellikleri vardır. Bazı deneyler ZnO'nun uzay araştırmaları için uygun olduğunu ispatlamıştır. ZnO'nun yüksek enerji ışınımı çok dayanıklıdır. ZnO tüm asit ve alkalilerde kolaylıkla aşındırılabilir ve küçük boyutlu aygıtların üretimi için bir fırsat sağlar (**Tuğral, 2010; Tekin, 2009; Tüzemen, 2007**).

Uygulama alanları çok çeşitlilik göstermektedir. Gaz sensörleri, fotodedektörler, güneş pilleri, ışık yayılım cihazları (LEDs) ve laser sistemleri bunlar arasında sayılabilirler (**Hongxia, 2005**). ZnO ince filmleri, 3.3 eV gibi geniş bant aralığına ve oda sıcaklığında 60 MeV eksiton yüksek bağlanma enerjisine (**Seungho ve diğ. 2009**) sahip n – tipi yarı iletken bir malzemedir. Kristallenme şekli hekzagonal Wurtz yapısındadır ( $c = 5.205$  ve  $a = 3.249$ ). ZnO ince filmlerinin hem elektrik hem de optik özellikleri bulunmaktadır (**Suengho, 2009**). Yüksek eksiton bağlanma enerjisi elektronik cihazların düşük eşik voltajında çalışmalarına neden olmaktadır. Bu nedenle ZnO ince filmleri tercih sebebi olmaktadır (**Singla, 2009**). Çeşitli elektronik yapılarda elektron yayınlıyıcı, UV yayınlıyıcı cihazlar ve alan tesirli transistörler olarak kullanılabilirler (**Seungho, 2009**). ZnO nano yapılarının, taşıyıcı malzemeye dik doğrultudaki  $c$  – eksenli boyunca büyümeleri, piezoelektrik özelliği göstermelerinin nedenidir. Geçirgen ZnO ince filmleri Al, Ga, vb. elementleri ile katkılı olduklarında iyi elektrik iletkenliği gösterirler (**Dinghua, 1998**). Katkılı ZnO ince filmler geçirgen iletken elektrot olarak bazı önemli cihazlarda indiyum kalay oksit (ITO) yerine kullanılırlar. 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 indiyum kalay oksit (ITO) malzemesinden daha kararlı bir yapı göstermeleri nedeniyle hidrojenik amorf silikon güneş pilleri üretiminde kullanılabilirler. ZnO ince filmleri, yarı iletken gaz sensörleri uygulamaları için oldukça ümit vericidir (**Dinghua, 1998**).

Al katkılı ZnO ince filmler ışınılandıklarında 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 etkilemektedir (**Valle, 2004**).

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

Atomik mikroskopa göre Al katkılı ZnO ince filmlerin parçacık büyüklüklerinde artma olmuştur. Enerji bant aralıkları daralmıştır ve soğurma başlangıcı daha uzun dalgalıboylarına kaymıştır (**Bhat, 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. Yarı iletkenlerde doğrudan geçişler için optik bant aralığı  $E_g$ ,  $\alpha hv = C (hv - E_g)^{1/2}$  olarak verilmektedir. Burada  $hv$  gelen fotonun enerjisi,  $C$  doğrudan geçişler için bir sabit ve  $\alpha$  optik soğurma katsayısını göstermektedir.  $\alpha = (1/d) \ln (1/T)$  olarak tanımlanmaktadır. Soğurma katsayısı tanımında yer alan  $d$  film kalınlığı ve  $T$  optik geçirgenliği göstermektedir.  $(\alpha hv)^2$   $hv$ ' nun fonksiyonu olmak üzere, geçirgenlik tayfindan türetilen optik bant aralığı bulunur (**Vafae, 2006**).

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 dalgalıboylarına kaymaktadır. Soğurma kenarının davranışı Burstein – Moss Etkisi olarak adlandırılır (**Baydogan, 2012a; Baydogan, 2012b; Gümüş, 2006**).

Al katkılı ZnO ince filmlerinin 450 – 700 nm dalgalıboyları arasındaki bölgede ortalama geçirgenliği % 90' dan büyüktür. Elektrik öz 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 araştırmacılar, 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 katkılındığında iletkenlik bandına inmektedir. Fermi enerji seviyesinin olduğu iletkenlik bandı dolu olduğundan soğurma kenarının daha yüksek enerjilere kayması gerekmektedir. (**Castanedo-Pe'rez, 1999**).

Al katkı oranı dikkate alınmadan Al katkılı ZnO (ZnO:Al) ince filmleri 450°C sıcaklıkta tavlendiğinde görünür bölgede geçirgenlik oranı % 80 ölçümlenmiştir. Al katkılı Çinko Oksit ince filmlerde geçirgenliğin başladığı dalgalıboyları (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 bant aralığının Al katkı oranının % 3 mol' e ulaştığında maviye kaymasıdır. Tavlama sıcaklığı 750°C olan ZnO ince filmlerine % 3 mol Al katkılı olduğunda en geniş optik bant aralığına 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 aktif olmamalarını sağlamaktadır (Li, 2006).

ZnO:Al ince filmlerde, optik soğurma kenarının tavlama sıcaklığının 750°C' ye ulaşmasıyla 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 arttırıldığında ince filmlerin stokimetresi 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, 2005).

Bütün ZnO:Al filmlerinde görünür bölgede 400 – 750 nm dalgaboyları arasında ortalama geçirgenlik % 83 civarındadır ve 360 nm dalgaboyunda keskin bir soğurma kenarına sahiptir (Shou-Yi, 2006; Denghuan, 2002).

Yüksek geçirgenliğe sahip Al katkılı ZnO ince filmlerin en önemli uygulama alanları geçirgen iletken oksit (TCO) ince filmleridir (Li, 2006). Bununla birlikte güç dönüştürücüsü, ısı yansıtıcısı, yarı iletken kavşak, lüminasens malzeme olarak da kullanılmaktadır. (Jimeéez-Gonzaalez ve diğ., 1998).

## 1.1 Tezin Amacı

Nötron dozuna bağlı olarak, vakum atmosferinde tavllanmış olan iletken geçirgen ZnO:Al ince filmlerin optik özelliklerinde oluşan değişimlerin incelenmesi ve nötronlara maruz kalan ZnO:Al ince filmlerde dielektrik sabitlerinin (kırılma indisi ve sönüm katsayısı) belirlenmesi ve bununla birlikte nötronlarla ışınlanan iletken geçirgen ZnO:Al ince filmlerinde optik modelin kurulmasıdır.



## 1.2 Literatür Özeti

ZnO ince filmleri katkılama ve tavlama yöntemleri ile bu filmlerin optik ve elektrik özelliklerinin tespit edilmiştir. Ayrıca, gama ışınları yardımı ile optik ve elektrik özelliklerin geliştirilmesi mümkündür. Soğurulan dozun artışı ile optik yoğunluğun kaydadeğer bir şekilde geliştirilebileceği tespit edilmiş edilmiştir. Soğurulan dozun artışı, elektrik özellikleri azaltan anahtar bir parametredir **(Baydoğan, Özdemir, Çimenoglu, 2013-basımında)**

ZnO filmler, güneş pilleri flat panel göstergeleri, akıllı camlar ve ışık dedektörlerini içeren çeşitli uygulamalarda 20 yıldan fazla bir süredir kullanılmaktadır. Amorf silikon güneş pillerinin üretimiyle bağlantılı olarak, son zamanlarda Al ile katkılanan yüksek iletken ZnO filmler geliştirilmiştir. ZnO filmlerdeki bu gelişmenin esas nedenini, Al gibi metal elementleri ile katkılanan, iletken ZnO film kaplı amorf silikon güneş pilleri oluşturmaktadır **(Glaser, 2000)**.

Solar radyasyonu geçirebilecek geniş bir bant aralığına (3.3 eV) sahip bu yarı iletken filmler görünür bölgede oldukça geçirgen olup, alüminyum gibi uygun bir metalle katkıldığında elektrikçe iletkenlerdir **(Radhouane, 2005)**.

ZnO filmlerin elektrik iletkenlik özelliği, alüminyum ile katkılanarak artırılabilirdiğinden, Al ile katkılanan geçirgen çinko oksit filmler iyi elektrik iletkenlik gösterirler ve geçirgen iletken elektrotlar olarak kullanılabilirler **(Glocker ve Shah, 1997)**.

Bu filmler, güneş pilleri ve flat panel göstergeleri için ideal bir pencere malzemesi özelliğine sahiptir. ZnO filmlerin kimyasal kararlılığından dolayı, özellikle Al katkılı ZnO filmler, güneş pilleri ve flat panel göstergelerdeki geçirgen elektrotlarda kullanılabilirlerdir. Geçirgen iletken bu filmler, ince film güneş pillerinde elektrot olarak vazgeçilmez bir öneme sahip olup, güneş pillerindeki ve fotovoltaik devrelerin mevcut geçirgen elektrotlarında da önem kazanmaktadır **(Xu ve diğ., 2006; Yoo ve diğ., 2005)**.

ZnO ince film yapımıyla ilgili diğer bir çalışmada sprej püskürtme yöntemi kullanılmıştır. Sprej için  $ZnCl_2$  sulu çözeltisi hazırlanmış, sprej çökeltisine  $AlCl_3$  eklenerek katkılanmış ve bu karışım daha sonra mikroskop camı üzerine püskürtülmüştür. 300-540°C aralığındaki yüzey sıcaklığında aynı kalınlıktaki cam

yüzeylerde çalışılmış ve ayrıca % 0,3 Al katkısı yapılarak 430<sup>0</sup>C civarında da optik özellikler gözlenmiştir (**Mohammad ve diğ. 2006**).

Yapılan bir çalışmada, polimer yüzeylerde radyo frekans (RF) magnetron püskürtme yöntemiyle ZnO'ya Al katkılanarak ince filmler hazırlanmıştır. Saflık derecesi % 99,99 olan ZnO ve yine saflık derecesi % 99,99 olan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> karışımı ana metaryal olarak kullanılmıştır. 10<sup>-3</sup> Pa basınç altında 12 cm çaplı Al katkılı ZnO hedeflere püskürtme yapılarak filmler çöktürülmüştür. Hedefler hazırlanırken geleneksel sintering işlemi yapılmıştır. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> % 1, % 2, %3, % 5 ve % 10 olacak şekilde katkılanmıştır. Püskürtülen % 99,99 saflıktaki Ar gazı yüksek frekans güç kaynağı denetimli bir kristal yardımıyla kontrol edilmiştir. Polimer yüzeyler için seçme kriteri, hazırlanan filmlerin yüzeylere yapışmasıdır (**Zhang ve diğ., 2000**).

Diğer bir çalışmada DC magnetron püskürtme yöntemiyle Al katkılı ZnO ince filmlerin büyütüldüğü görülmektedir. Al katkılı ZnO filmler cam yüzeye asimetric, tek kutuplu, atmalı DC magnetron püskürtme ile çöktürülmüştür. Püskürtme hedefi % 99 ZnO, % 1 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozları karışımından oluşturulmuştur. Püskürtme odası turbo moleküler pompa ile 5x10<sup>-6</sup> Torr basınca düşürülmüş ve püskürtme gazı olarak Ar kullanılmıştır. Bu çalışma 400<sup>0</sup>C sıcaklıkta, 5 mTorr basınç altında 10-50 kHz atma frekansı aralığında gerçekleştirilmiştir (**K-O ve diğ., 2005**).

Yapılan başka bir çalışmada da sol-jel metodu kullanılmıştır. Bu yöntemde saflığı % 99,5 olan Zn(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O ile saflığı % 98 olan AlCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O, 2-metoxetanol ve monoetanolin (MEA) kullanılmaktadır. Çözelti corning1737 cam üzerine daldırarak kaplama yöntemiyle çöktürülmüştür. Bu çalışmada mikro yapıdaki ısısall davranış Al yoğunluğunun etkisi ve ZnO filmlerin optik ve elektrik özellikleri incelenmiştir. Al oranı % 1 ve % 2 kadardır (**Musat ve diğ., 2004**).

2007 yılına ait yapılan başka bir çalışmada sol-jel ile hazırlanan Al katkılı ZnO ince filmlerin optik ve foto ışıldama özellikleri incelenmiştir. Yine bu çalışmada Zn(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O (çinkoasetatikihidrat), çözücü olarak etanol, sol-stabilize olarak da HN(CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OH)<sub>2</sub> (Dietanolamin) kullanılmıştır. Katkı olarak Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>.9H<sub>2</sub>O' dan alınan Al üç farklı Al/Zn (% 0, % 0,5, % 2,0) oranda eklenmiştir. Çinko asetatin etanolik çözeltisi çözücü olarak kullanılmıştır. 30 dakika kuvvetlice uyarıldıktan sonra dietanolamin damla damla çözeltiliye eklenmiştir. Daha sonra karışımdaki molar oranı 1'e sabitlenmiştir. Bu çözelti bir gece sürekli karıştırıldıktan sonra ince film

kaplamaya hazır hale getirilmiştir. Burada yüzey olarak kuartz ve corning cam kullanılmıştır. 300 nm kalınlığındaki Al katkılı ZnO ince filmler daldırma kaplama yöntemiyle yüzeyler üzerine hazırlanmıştır. Çöktürmeden önce yüzeyler iyice temizlenmektedir. Bu işlemden sonra 0,5 molar çözelti içersine daldırılmıştır. Arzulanan kalınlıkta film elde etmek için saniyede 1,2 mm olacak şekilde yüzeyler geri çekilmiştir. Kaplama bittikten sonra 400°C sıcaklıkta 4 dakika boyunca kurulum yapılmıştır. Yapılan teknik işlemlerden sonra X-ışınları kırınımı, iletkenliğin ve yoğunluğun dalga boyuna göre değişimi incelenmiştir (**Wang ve diğ., 2003**).

ZnO ince filmlerinde, görünür bölgede geçirgenlik oranı % 80' ler civarındadır. Enerji bant aralıkları Al katkı oranına göre 3.34 – 3.46 eV arasında değişmektedir. Al katkılı nanokristallerde soğurma başlangıcı maviye kaymaktadır. Al katkı oranının artması taşıyıcı oranını arttırarak en düşük iletkenlik bandını doldurmaktadır. Böylece Burstein – Moss adıyla bilinen etki oluşmaktadır. Burstein-Moss etkisi, Fermi enerji düzeyinin iletkenlik bandındaki yukarı hareketinin yarı iletkenin dejener olmasına ve enerji bant aralığının genişlemesine, maviye kaymasına yol açmaktadır (**Baydoğan, 2012a; Baydogan, 2012b; Gümüş, 2006**).

ZnO:Al ince filmlerinde Al katkı oranının etkisi üzerinde çalışılmıştır. Bütün filmlerin görünür bölgede geçirgenlik oranı % 80' in üzerindedir. Optik soğurma, Al konsantrasyonunun artışı ve yüksek foton enerjisi bölgesinde maviye kaymaktadır. Al katkılı nanokristaller soğurmanın maviye kaymasını, taşıyıcı yoğunluğunun artışı ile iletkenlik bandının dolmasını Burstein – Moss Etkisi olarak açıklamaktadırlar. ZnO ince filmlerine Al katkılı olduğunda ZnO:Al ince filmlerinin soğurma kenarı daha yüksek enerjide maviye kaymaktadır (**Sagar, 2005**). Al katkılı ZnO ince filmlerinde kristallerin boyutları ile sınırlı olarak maviye kayma gözlenmektedir. Soğurma kenarı optik bant aralığı ile ilişkilidir (**Xu, 2006**).



## 2. İYONLAŞTIRICI RADYASYON VE MALZEME İLE ETKİLEŞMESİ

Birçok nüklit kararlı olmasına rağmen, bir kısmı da kararsızdır (**Jiri Hala ve Navratil, 2003**). Kararlılık bir nüklidin bulundurduğu nötron ve proton sayıları arasındaki denge ile belirlenir. Daha küçük kararlı nüklitler eşit sayıda proton ve nötrona sahipken, daha büyük kararlı nüklitler ise protondan biraz daha fazla nötrona sahiptir (**Timothy ve diğ., 1998**). Çok fazla nötronu bulunan nüklitler bir nötronu bir protona dönüştürerek, kendilerini daha kararlı bir yapıya kavuşturma eğilimindedir ve beta bozunumu olarak bilinen bu süreç, beta parçacığı olarak adlandırılmış negatif yüklü bir elektronun yayınlanması ile neticelenir (**Url-1, 2012**). Çok sayıda protonu olan nüklitler ise beta bozunumundan farklı olarak, fazla protonları nötronlara dönüştürerek, pozitif yüklü elektron olan pozitron yayınlanması ile pozitif yükünü kaybeder. Bu dönüşümlerde çoğu kez atom çekirdeği, gama ışınları olarak adlandırılan yüksüz ve kütsüz yüksek enerjili fotonlar yayarak fazla enerjisini kaybeder. Atom çekirdeğinin kendiliğinden dönüşümüne radyoaktivite denir ve yayınlanmış fazla enerji de (iyonlaştırıcı) radyasyon biçimindedir. Bu dönüşüm eylemine “bozunum”, değişen ve radyasyon yayan atom çekirdeğine ise “radyoizotop” denir (**Cooper ve diğ. 1998**). Bazı ağır çekirdekler; iki proton ve iki nötrondan oluşan alfa parçacığı yayınlayarak bozunur.

### 2.1 Radyasyonun Malzeme İle Etkileşmesi

Maddeyle yaptığı etkileşme açısından radyasyonu temel olarak iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak ikiye ayırabiliriz. Radyasyon kelimesi günlük hayatta her ne kadar genellikle iyonlaştırıcı radyasyon (bir atomu iyonlaştırmaya yetecek kadar enerjiye sahip radyasyon) için kullanılsa da iyonlaştırıcı olmayan radyasyonu (radyo dalgaları, mikrodalgalar, ısı ve görülebilir ışık, mor ötesi) da ifade eder (**Bilge ve Tuğrul, 1990; Url-1, 2012**).

### 2.2 Radyasyonun Malzemeyi Etkileme Mekanizmaları

Radyasyon madde içinden geçerken, onları oluşturan atom ve / veya moleküller ile çarpışır ve etkileşir. Tek bir çarpışma ya da etkileşimde radyasyon, genellikle enerjisinin çok küçük bir kısmını atom ya da moleküllere aktaracaktır. Atom ya da molekül etkileşme sonunda bir iyon dönüşebilir.

Bir alfa parçacığı bir seri çarpışmalardan sonra kısa, yoğun bir iyon yığını yaratarak tüm enerjisini kaybeder ve durur. Bu olay havada birkaç santimetrede, bir parça kağıt

kalınlığında, kumaş veya deri tabakasında olur. Sonuç olarak, alfa parçacığı yayan radyoizotoplar dış hasara neden olmazlar. Bir diğer anlatımla, alfa yayıcısı vücut dışında ise hasar vermez anlamındadır. Fakat, besinler veya solunum yolu ile vücuda alınan alfa yayıcıları ciddi iç hasara neden olurlar (**Oldham ve McLean, 1998**).

Enerjilerine bağlı olmak üzere, beta parçacıkları havada birkaç metre, madde içinde ise (örneğin doku ve plastik) birkaç santimetre yol kat edebilirler (**Bilge ve Tuğrul, 1990**). Sonuç olarak, beta parçacıkları enerjilerini kaybettikleri zaman hemen yavaşlarlar ve ortam tarafından soğurulurlar. Beta yayıcı radyoizotoplar iç hasara neden olurlar, ancak yüksek enerjili beta yayıcıları ise dış hasar verirler zırhlayıcılarıdır (**Jiri Hala ve Navratil, 2003**).

Kurşun gibi atom ağırlığı büyük olan elementler, her bir etkileşimde beta parçacıklarının enerjilerinin büyük bir kısmını soğururlar, fakat sonuçta atomlar "bremstrahlung" olarak isimlendirilen X-ışınlarını üretirler. Böylelikle zırhlama malzemesi bir X-ışını yayıcısına dönüşür ve ilave bir zırhlamayı gerektirirler. Bu nedenle küçük atom ağırlıklı (düşük yoğunluktaki) malzemeler zırhlama için daha kalın malzeme gerektirmelerine karşın en etkin beta radyasyonu zırhlayıcılarıdır (**Jiri Hala ve Navratil, 2003**).

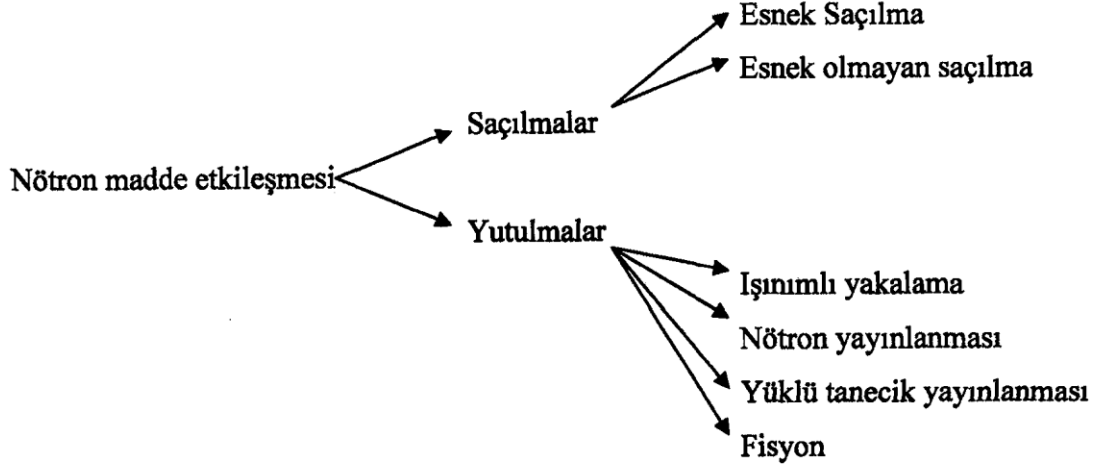
Gama ve X-ışınları çok giricidirler. Fakat, iyonlaşmaya neden oldukları gibi, ışın demetinden çıkarılabilir veya enerjilerini kaybederler. Böylelikle, maddeye giricilik özellikleri azalır ve ciddi bir dış hasara neden olmayacak şekilde sayıca azaltılarak zayıflatılırlar (**Jiri Hala ve Navratil, 2003**).

Gama ve X-ışınlarının giricilik gücünü ya da kalitesini ifade etmek aynı zamanda zırhlama malzemelerinin yaklaşık olarak kalınlıklarını tahmin etmede bazı kolaylıklar sağlar. Yarı-değer kalınlığı (HVT) ya da yarı-değer tabakası (HVL) olarak verilen kalınlıklar radyasyonun başlangıçtaki değerini yarısına indiren malzeme kalınlıklarıdır. Onda bir-değer kalınlığı da (TVT) benzer olarak, radyasyonu ilk değerinin onda birine indiren malzeme kalınlığıdır. Çelik ve kurşun gibi ağır atomları ve molekülleri olan malzemeler, gama ve X-ışını radyasyonu için en etkin (en ince kalınlıkta) zırhlamayı sağlar (**Bilge ve Tuğrul, 1990**).

### 2.2.1 Nötronların Malzeme ile Etkileşmesi

Nötronlar madde içinde yol alırken karmaşık bir şekilde hareket ederler. Hızlı nötronlar, büyük atom ve moleküllerde çok fazla enerji kaybetmeksizin saçılmaya uğrarlar. Fakat, küçük bir atom ya da molekülle olan çarpışmada, nötronların enerjilerinin bir kısmı soğurur. Nötronların enerjilerinde en fazla azalmaya, en küçük atom olan hidrojen atomu neden olmaktadır. Bu nedenle su, yağ, balmumu ve polietilen gibi hidrojen içeren maddeler, nötron zırhlaması için en uygun malzemelerdir. Nötronlar hemen hemen tüm enerjilerini kaybettikleri zaman, "yakalanabilirler", yani bir atom tarafından tamamen soğurulurlar. Bu ise, atomun yeni bir şekil kazanması ve genellikle oldukça yüksek enerjili gama ışınları yayan yeni bir radyoizotopa dönüşmesiyle sonuçlanır (**Baydoğan, ve Tuğrul, 2013; Baydoğan ve Tuğrul, 2012**). Özel olarak yapılmış nötron soğurucu hidrojenli zırhlar, nötronları soğurmaya yardımcı olan bir miktar bor içerirler (**Bilge ve Tuğrul, 1990**).

Atom çekirdeğini meydana getiren asal elemanlardan biri olan nötronlar 1,008665 akb' lik kütleyle sahip ve elektrik yükleri olmayan yüksüz parçacıklardır. Nötronların kütlelerinin olması onları partiküler radyasyon grubuna dahil eder. Nötronlar herhangi bir malzeme içinden geçerken, atomdaki çekirdeklerle etkileşmeleri çok farklı şekillerde gerçekleşir. Nötronların durgun hedef çekirdekleriyle yaptığı etkileşimler, "saçılmalar" ve "yutulmalar" olarak iki grupta toplanarak gösterilebilir. Şekil 2.1' de nötron ile madde etkileşmesinin sınıflandırılması verilmiştir (**Baydoğan, ve Tuğrul, 2013; Baydoğan ve Tuğrul, 2012; Bilge ve Tuğrul, 1990; Erdoğan, 2005, TAEK, 2009a; TAEK, 2009b**).



**Şekil 2. 1:** Nötron - madde etkileşmesinin sınıflandırılması.

Bu etkileşmelerde birinci derecede önemli olan, nötronların sahip olduğu enerji seviyesidir. Nötronların enerji seviyelerine göre sınıflandırılması aşağıdaki gibi yapılır (Erdoğan, 2005):

- Termal nötronlar  $E = 0,025 \text{ eV}$
- Epitermal nötronlar  $E = 0,0025 \text{ eV} - 1 \text{ eV}$
- Yavaş nötronlar  $E = 1 \text{ eV} - 10 \text{ eV}$
- Rezonans nötronları  $E = 10 \text{ eV} - 300 \text{ eV}$
- Ara nötronları  $E = 300 \text{ eV} - 1 \text{ MeV}$
- Hızlı nötronlar  $E = 1 \text{ MeV} - 20 \text{ MeV}$

Nötronun madde ile etkileşmesinde, nötronun bu etkileşmeleri yapması ancak belli olasılıkla mümkündür. İşte bu olasılık değerine “tesir kesiti” denilmektedir. Yukarıdaki nötron sınıflandırması içinde en büyük tesir kesitine termal nötronlar sahiptir. Bu nedenle nükleer tekniklerde çoğu kez termal nötronlar tercih edilir (Baydoğan, ve Tuğrul, 2013; Baydoğan ve Tuğrul, 2012; Bilge ve Tuğrul, 1990; Erdoğan, 2005).





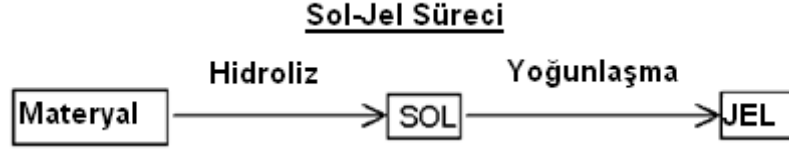
### 3. SOL-JEL YÖNTEMİ

Genelde, metal olmayan inorganik maddeler yüksek sıcaklık gerektiren işlemlerle oluşturulurlar. Böylece malzemelerin oluşturulmasında birçok kimyasal yöntem geliştirilerek araştırmalara devam edilmektedir. Bu kimyasal yöntem, başlangıç malzemesi olarak bir solüsyon içerdiği ve bu solüsyonu kullanarak bir jel elde edildiği için “Sol-Jel Yöntemi” adı altında toplanmıştır (Özdemir, 2009; Tekin, 2009; Şener, 2006). Sol-Jel yöntemi dışında da bir çok ince film kaplama yöntemi vardır. Bunlar gaz fazdan (kimyasal buhar depolama tekniği, fiziksel buhar depolama tekniği), sıvı fazdan (sol-jel, elektrokimyasal yolla kaplama ve kimyasal yolla kaplama) ve ergimiş veya yarı ergimiş fazdan kaplama teknikleridir (Ohring, 2001).

Sol-jel yöntemi, kimyasal kompozisyonun kolay kontrol edilebilmesi ve düşük sıcaklıkta üretimi nedeniyle kaplama üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Tuğral, 2010; Çakır ve diğ., 2006).

Sol-jel vakum-dışı kimyasal bir metot olup, atomik boyutta karışım sağladığı için homojenlik artmakta, ufak tane boyutu için vakum ortamına ve yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulmamaktadır. Sol-jel yöntemi çok yönlü bir yöntem olup sıvı (solüsyon) fazın katı (jel) fazına dönüşümünü içeren bir sistemdir. Solüsyonun hazırlanmasında başlangıç kimyasalları olarak genellikle inorganik metal tuzları veya organik metal bileşikleri kullanılır. Sol-jel işleminde, başlangıç kimyasalı hidroliz ve polimerizasyon işlemlerine tabi tutularak kolloidal süspansiyon veya solüsyon elde edilir. Sade uygulanan ileri işlemler farklı şekillerde seramik malzemelerin üretimini mümkün kılar. Örneğin ince filmlerin üretiminde olduğu gibi daldırma veya spin yöntemi ile altlık üzerinde ince film oluşturulur. Daha sonra uygulanan kurutma ve ısıtma işlemi ile nihai kaplama elde edilmiş olunur. Yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulmaması özellikle kullanılan metal altlıklarda mekanik bozunmaya ya da faz dönüşümüne neden olmaması bakımından sol-jel yönteminin önemli bir avantajıdır. Bu özelliklerden dolayı çeşitli şekil ve büyüklükteki yüzeylere kolaylıkla uygulanabilmektedir (Karacasu, 2010; Çakır ve diğ., 2006).

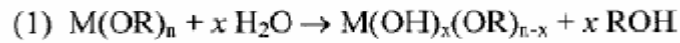
Sol-jel sürecinin şematik gösterimine Şekil 3.1’ de yer verilmiştir (Özdemir ve diğ., 2010).



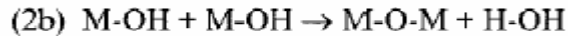
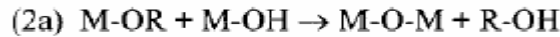
**Şekil 3. 1:** Sol-jel sürecinin şematik gösterimi.

Sol-jel reaksiyonları için başlatıcı madde olarak bir metal alkoksit (Si, Ti, Al, Zn, vb.) veya metal tuzu kullanılır. Bu başlatıcı madde uygun bir organik çözücü ve/veya su içerisinde çözülür ve hidroliz reaksiyonları gerçekleştirilir. Hidroliz reaksiyonları asit veya alkali katalizli olarak gerçekleştirilebilir (Şekil 3.2). Hidroliz sırasında alkoksit grupları (-OR), hidroksi (-OH) veya (-O-) ile yer değiştirir. Hidroliz ürünleri çözelti içinde düşük-orta derecede çapraz bağlanan metal partikülleridir. Bu şekilde hazırlanan çözeltiler; saydam, stabil ve 50 nm' den daha küçük partikül çapına ve % 4-20 katı içeriğine (solid content) sahip nano büyüklükte homojen yapılardır. Normalde, bu şekilde hazırlanan nanosoller hidrolize uğramış başlatıcı maddelerin alkollerini içerir. Alkol içeren nanosoller yüksek depolama stabilitesine (uzun jelleşme süresi), herhangi bir tekstil materyaline iyi yapışma (adherence) özelliğine, düşük sıcaklıklarda hızlı kuruma süreleri sahip olma avantajı taşımaktadır. Şekil 3.2' de sol-jel prosesinde hidroliz ve yoğunlaşma reaksiyonları arzedilmiştir (Özdemir ve diğ., 2010).

#### Hidroliz Reaksiyonu



#### Kondenzasyon Reaksiyonu



**Şekil 3. 2:** Sol-jel prosesinde hidroliz ve kondenzasyon reaksiyonları.

Daha sonra metal alkoksitler ile oluşan metal hidroksitler arasında kondenzasyon reaksiyonları gerçekleşir. Yoğunlaşma reaksiyonları sonucunda polimerizasyon derecesi kritik bir değere ulaştığında jelleşme meydana gelir. Metal partikülleri ısı işlem (annealing ve sinterleme) sonrasında oksit nanopartiküllerin oluşumu sağlanır.

Sol-Jel Yönteminin kullanıldığı bazı uygulamalar:

- Mikro devre üretiminde fotoresistleri kaplamada
- Manyetik disk kaplamalarında
- Düz ekran display kaplamalarında- Antireflection kaplamalarında
- Kompakt Disklerde-DVD, CD ROM, v.b.
- Televizyon tüpü fosforu kaplamada
- Kimyasal veya termal koruyucu katmanlarda
- Optik amaçlı filtre kaplamalarında
- Sol-jel cam elde etmede
- İnce seramik tozları elde etmede

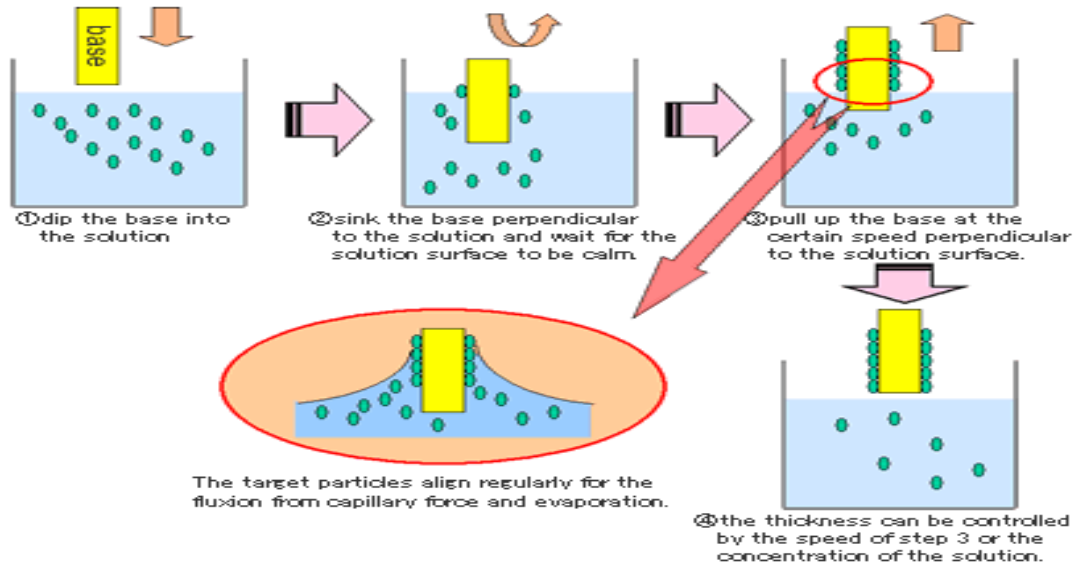
kullanılır. Sol-Jel yönteminin üstünlükleri ve sınırlılıkları Çizelge 3.1’ de verilmiştir **(Karacasu, 2010, Bilgen, 2008)**.

**Çizelge 3. 1:** Sol-Jel yönteminin üstünlükleri ve sınırlılıkları.

<b>Üstünlükleri</b>	<b>Sınırlılıkları</b>
Maliyeti düşüktür.	Film kalınlığını kontrol altında tutmak daha zordur.
Kimyasal kompozisyonu kontrol etmek daha kolaydır.	Yüksek kalitede ince film kristali elde etmede diğer yöntemlere göre daha az idealdir.
Vakum pompası, vakum çemberi v.b. araçlara gerek duymaz.	Solüsyonun yüzeye yapışabilir olması gerekir.
Uygulanması diğer yöntemlere göre daha kolaydır.	

### **3.1 Daldırarak Kaplama Yöntemi**

Daldırarak kaplama yöntemi (dip coating) kalifiye eleman istemeyen bir işlemdir. Kaplama malzemesi ile dolu kabın içine kaplanacak malzemenin daldırılması ve belli bir hızda geri çekilmesi ile işlem gerçekleşmektedir. Şekil 3.3’ te daldırarak kaplama yöntemi şematik olarak gösterilmiştir **(Özdemir, 2009)**.



**Şekil 3. 3:** Daldırarak kaplama tekniğinin şematik anlatımı.

Kullanılan ekipmanlar, özel kimyasal temizleyiciler ile temizlenerek tekrar kullanılabilirler. Daldırarak kaplama yönteminin maliyeti oldukça düşüktür. Daldırarak kaplama yöntemine ait ekipmanların kullanımında, çok fazla uzmanlaşmış eleman ihtiyacı yoktur. Kaplama malzemesinde hava kabarcığı olmaması durumunda, çözeltiye değen bütün yüzeyler istenilen kalitede kaplanır. Kaplama sonrası, bütün ince filmler aynı görünüme ve kaplama kalınlığına sahip olurlar (Özdemir, 2009).

### 3.1.1 Daldırarak Kaplama Yöntemi ile İlgili 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 (Bach, 1997).

Daldırma yönteminde kaplanan malzemenin film kalınlığı oldukça basit şekilde kontrol edilmesine imkan tanımaktadır. İnce filmin kalınlığının kontrolü daldırma ve çekme süreleri ile sabittir. Diğer bir konuda, daldırma işlemi sırasında cam taşıyıcıya tutunan kimyasal sayısı artmaktadır. Daldırma cihazının ayarlanmasıyla solüsyon içinde taşıyıcıyı bekletme süresini kontrol etmek kolay olmaktadır (Bach, 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 ile 500°C sıcaklıkları arasında fırınlanırlar. Oksitlenmenin fırınlanma süreci ile başlaması ince filmlerin kimyasal yapısının oluştuğu süreçtir. Fırınlama süresi bitiminde, cam taşıyıcıların sıcaklığı ortam sıcaklığına ulaşınca kadar fırından çıkarılmamıştır. Söz konusu bu süre, 4 mm ile 12 mm arasında kalınlığa sahip cam taşıyıcıların kalınlığına bağlı olup, soğuma hızı ile sınırlıdır (**Klein, 1988**).

Daldırma kaplama metodunun bazı avantajları şunlardır:

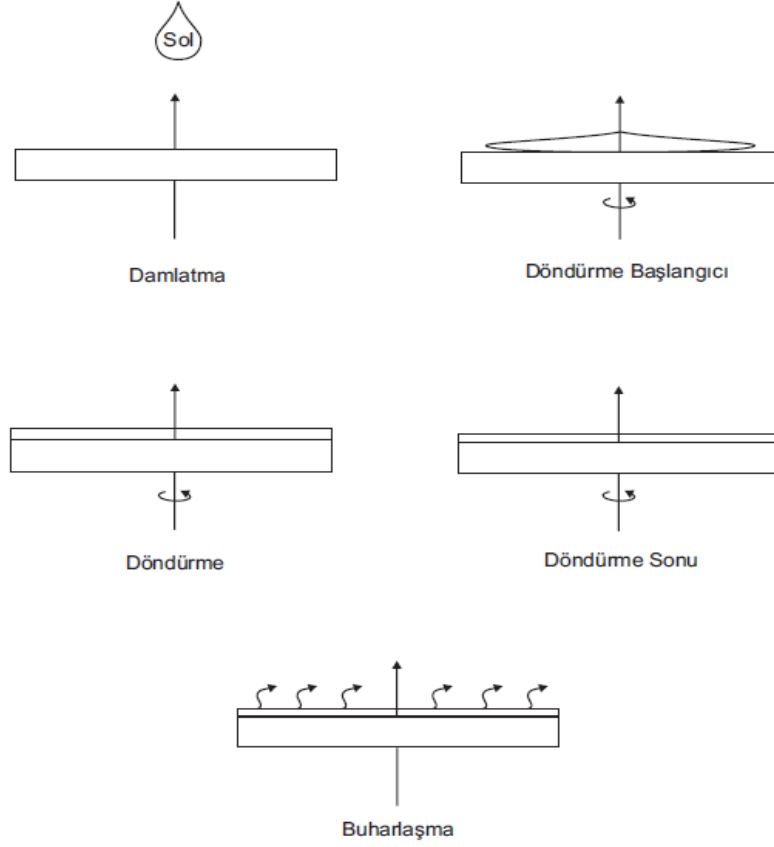
- Düzgün yüzey ve kalınlık kontrolü sağlanabilir.
- Her şekilde ve boyuttaki numune bu metod ile kaplanabilir.
- Kolay bir metod olduğundan maliyeti daha ucuzdur.
- Kontaminasyonu minimumda tutmak kolaydır.
- Gerekli ise, kontrollü atmosferde kolayca çalışılabilir.
- Çok katmanlı kaplamalar yapılabilir.

Bu metodun dezavantajları ise;

- Özellikle büyük taşıyıcılar için çok fazla çözelti gerekir.
- Köşelerin kontaminasyonundan dolayı, çok katmanlı sistemler için çok iyi bir metod değildir.
- Taşıyıcının her iki tarafı kaplandıysından sadece bir tarafının kaplanması istenirse maskelemek gerekir (**Brinker and George, 1990; Tekin , 2010; Tuğral 2010; Karacasu, 2011; Sorar, 2008**).

### **3.1.2 Döndürerek Kaplama Yöntemi**

Döndürerek kaplama metodu, mikroelektronik endüstrisi için geliştirilmiştir. Bu metod, bazı sınırlamalar ile birlikte, sol-jel kaplamaların hazırlanmasında hızlı ve kullanışlı bir yöntemdir. Bu kaplama metodu ile nanometre mertebelerinden mikron mertebelerine kadar değişen geniş bir aralıkta film kalınlıkları elde etmek mümkündür. Bu yöntem taşıyıcılar döndürülürken üzerine damlatılan solün merkezci kuvvetin etkisi ile taşıyıcı üzerine yayılması esasına dayanır. Şekil 3.4' te döndürerek kaplamanın aşamaları gösterilmiştir.



**Şekil 3. 4:** Döndürerek kaplama (spin coating) metodunun aşamaları.

Damlatma asamasında, dönecek yüzeye sabitlenmiş olan taşıyıcı üzerine sol damlatılır. Başlangıçta durmakta olan taşıyıcı döndürülür. Dönme sırasında taşıyıcı üzerine damlatılmış sol, merkezkaç kuvvetin etkisi ile taşıyıcının tüm yüzeyine yayılır. Döndürme sonunda filmin kalınlığı taşıyıcı yüzeyinde her yerde aynı olur (**Brinker and George, 1990; Tekin , 2010; Tuğral 2010; Karacasu, 2010; Özdemir, 2009; Sorar, 2008**).

Döndürme kaplama metodunun diğer kaplama metodlarına göre bazı avantajları şunlardır:

- Büyük taşıyıcılar için bile sadece az bir miktar kaplama sıvısı gerekir. Sıvı fazlası normal olarak tekrar kullanılamaz.
- Çok hızlı bir metoddur.
- Çok katmanlı uygulamalar için iyi bir yöntemdir.
- Ticari ekipmanların bütün türleri mevcuttur.

Bu metodun dezavantajları ise;

- Sadece dairesel ve dairesele yakın taşıyıcılar için iyi bir methodur.
- Düzensiz şekillerin köşe ve kenarlarında hava ve sıvının akması çok iyi bir şekilde sağlanmalıdır.
- Temiz tutulması zordur.
- Büyük taşıyıcıların (> 8 inç) homojen kaplanması zordur.
- Çözücünün hızlı buharlaşması durumunda homojen kaplamaların elde edilememesi; bu problemi çözmek için yüksek kaynama noktalı çözücülerin kullanılması durumunda ise istenilen film kalınlığının elde edilmesinin zorlaşmasıdır (**Brinker and George, 1990; Tekin , 2010; Tuğral, 2010; Karacasu, 2010; Özdemir, 2009; Sorar, 2008**).





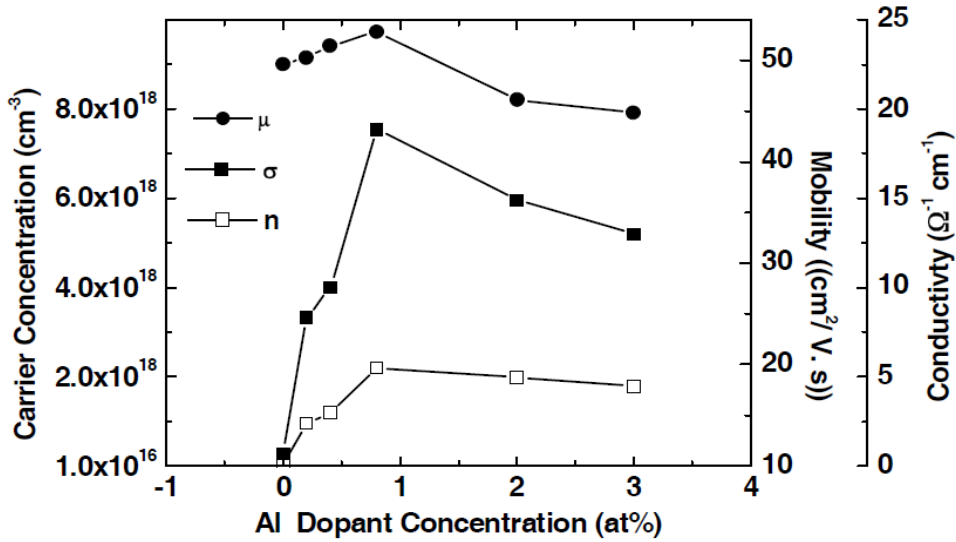
## 4. ZnO:Al İNCE FİMLERİNİN ÖZELLİKLERİ

### 4.1 Elektriksel Özellikleri

ZnO:Al n tipi yarı iletkenlerdendir. Daha önce yapılmış çalışmalardan ortaya çıkan sonuçlara göre, katkılama yoğunluğu, ZnO:Al ince filmlerin öz direncini  $7 \times 10^{-4} - 10 \Omega \text{cm}$  arasında değiştirmektedir (Tekin,2009).

Özdirenç,  $\rho$ ,  $\rho = \frac{RL}{A}$  eşitliği ile belirlenmektedir. L iki elektrot arasındaki uzaklık,

A yüzey alanıdır. Yüzey alanı elektrotların uzunluğu ile film kalınlığının çarpımına eşittir. Filmin iletkenliği ise  $\sigma = 1/\rho$  ile bulunur (Mondal ve diğ., 2008). Şekil 4.1’ de Al katkı oranına bağlı olarak iletkenlik, mobilite ve taşıyıcı yoğunluğundaki değişimler verilmiştir (Sagar ve diğ., 2005).



Şekil 4. 1: Al katkı oranına göre taşıyıcı konsantrasyonu n, mobilite  $\mu$  ve iletkenlikteki  $\sigma$  değişim.

Geçirgen ZnO ince filmleri Al, Ga, vb. elementleri ile katkılandıklarında iyi elektrik iletkenliği gösterirler (Dinghua, 1998).

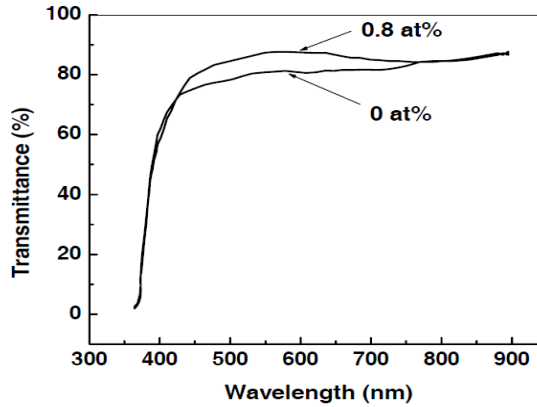
$\text{Al}^{+3}$  iyonlarının  $\text{Zn}^{+2}$  iyonlarının üzerine dağılmasından dolayı, ZnO:Al filmlerinde elektrik iletkenliği katkısız ZnO filmlerinden daha büyüktür (Bhat ve diğ., 2010).

## 4.2 Optik Özellikleri

ZnO ince filmler, optik özelliklerinden dolayı teknolojide çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. ZnO ve Al katkılı ZnO ince filmlerin optik geçirgenlikleri morötesi bölge, görünür bölge ve yakın kızılötesi bölgede yer alır. Al katkılı ZnO ince filmler morötesi, görünür ve kızılötesi bölge yakınlarında oldukça geçirendir (~% 90). Sol jel yöntemi ile hazırlanan Al katkılı ZnO ince filmler morötesi, görünür ve kızılötesi bölge yakınlarında % 85-90 oranında optik geçirgenliğe sahiptir. Tavlama sıcaklıkları da optik geçirgenlik üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. (Deng, Guo, Y.R. Li, Y. Li, Xu, 2006).

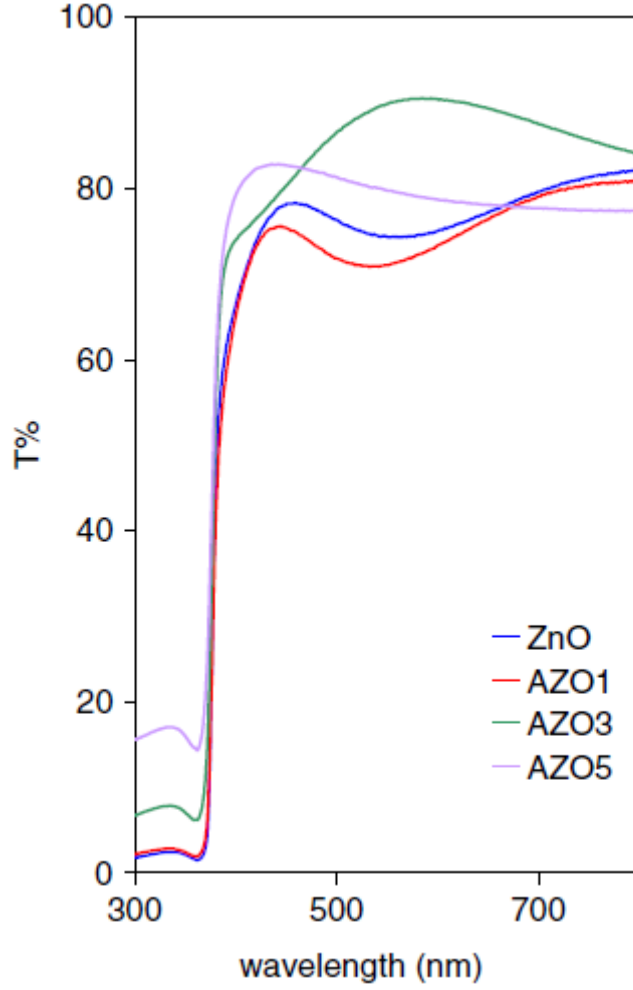
Al katkı oranı dikkate alınmadan Al katkılı ZnO (ZnO:Al) ince filmleri 450°C sıcaklıkta tavlendiğinde görünür bölgede geçirgenlik oranı % 80 ölçülmüştür. Al katkılı çinko oksit ince filmlerde geçirgenliğin başladığı dalgaboyları (cut – off) yaklaşık 375 nm’ dir. Geçirgenliğin başladığı dalgaboyu 375 nm, ZnO ince filmlerindeki bant aralığına (3.3 eV) çok yakındır (Li ve diğ., 2006).

Şekil 4.2’ de 575<sup>0</sup>C’ de tavllanmış olan ZnO:Al filmlerinin katkı oranına göre optik geçirgenlik grafiği verilmiştir (Sagar ve diğ., 2005).



Şekil 4. 2: 200-800 nm dalga boyu aralığında 575°C’ ta Al katkı oranına göre geçirgenliğin değişimi.

Şekil 4.3’ te ZnO:Al filmlerinin katkı miktarına göre olan geçirgenlik grafiğinde 400-800 nm dalga boyu aralığında ortalama geçirgenlikleri sırasıyla % 74,44, % 75,54, % 86,37 ve % 79,57 bulunmuştur (Çağlar ve diğ., 2008). Buna göre bu filmlerin oldukça dikkate değer yüksek geçirgenliklere sahip olduğu görülmektedir (Çağlar ve diğ., 2008).



**Şekil 4. 3:** 450°C’ de tavlanmış olan ZnO:Al filmlerin katkı oranına göre geçirgenlik grafiği.

Malzemelerin optik sabitleri, optoelektronikte kullanılacak malzemelerin tasarım ve analizinde sıklıkla büyük ilgi çekmektedir. Ayrıca optik ölçümler, malzeme bileşiminin karakterizasyonu ve malzeme kalitesinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kırılma indisi, soğurma katsayısı ve dielektrik sabitleri gibi optik sabitlerin belirlenmesi geçirgenlik spektrumunun analiziyle mümkün olmaktadır. Malzeme içindeki yerel alan ve iyonların elektronik kutuplanabilirliği ile ilgili olduğu için kırılma indisi, optik bir malzemenin temel özelliklerinden biridir. Optik malzemelerin kırılma indislerinin belirlenmesi çok önemli olup, entegre optik cihaz, anahtarlar, filtreler ve modülatörler gibi uygulama alanlarında kırılma indisleri cihaz tasarımı için kilit sabitlerdir (**Çağlar ve diğ., 2008**).

Kompleks kırılma indisi ve dielektrik fonksiyonu katı maddelerin optik özelliklerini karakterize eder. Dispersiyon optik malzeme araştırmalarında önemli bir rol oynar.

Çünkü optik iletişimde ve cihaz tasarımı spektral dağılım için çok önemli bir faktördür (Çağlar ve diğ., 2008).

Optik yansıtıcılık, kırılma indisi  $n$  ve sönüm katsayısı  $k$ ' ya bağlı olarak,

$$R = \frac{(n-1)^2 + k^2}{(n+1)^2 + k^2} \quad (1)$$

İfadesi ile verilir. Buradan

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

bağıntısı bulunur. Kırılma indisinin Al katkı miktarının artması ile azalır. Al katkı miktarının artmasıyla kırılma indisinin azalması ZnO:Al filmlerinde taşıyıcı yoğunluğunun artmasından kaynaklanabilir (Çağlar ve diğ., 2008).

Filmlerin temel uyarılma spektrumu kompleks elektronik dielektrik sabitinin frekans bağıllığını ifader ederek tanımlanabilir. Dielektrik sabitinin reel ve sanal kısmı  $n$  ve  $k$  değerlerine bağlıdır. Dielektrik sabitinin reel ve sanal kısmı şu eşitliklerle belirlenir:

$$\varepsilon_1 = n^2 - k^2 \quad (3)$$

$$\varepsilon_2 = 2nk \quad (4)$$

Burada  $\varepsilon_1$  reel kısmı,  $\varepsilon_2$  ise sanal kısmı ifade etmektedir (Çağlar ve diğ., 2008).

Sönüm katsayısı  $k$ , soğurma katsayısı  $\alpha$ ' ya bağlı olarak (Bhat ve diğ., 2010)

$$k = \frac{\alpha\lambda}{4\pi} \quad (5)$$

bağıntısı ile belirlenir.

$\alpha = (1/d) \ln(1/T)$  olarak tanımlanmaktadır. Soğurma katsayısı tanımında yer alan  $d$  film kalınlığı ve  $T$  optik geçirgenliği göstermektedir.  $(\alpha h\nu)^2 h\nu^4$  nun fonksiyonu olmak üzere, geçirgenlik tayfindan türetilen optik bant aralığı bulunur (Vafae, 2006).

Soğurma katsayısı  $\alpha$  geçirgenlik ölçümlerinden hesaplanabildiği gibi şu formülle de hesaplanabilir:

$$I = I_0 e^{-\alpha t} \quad (6)$$

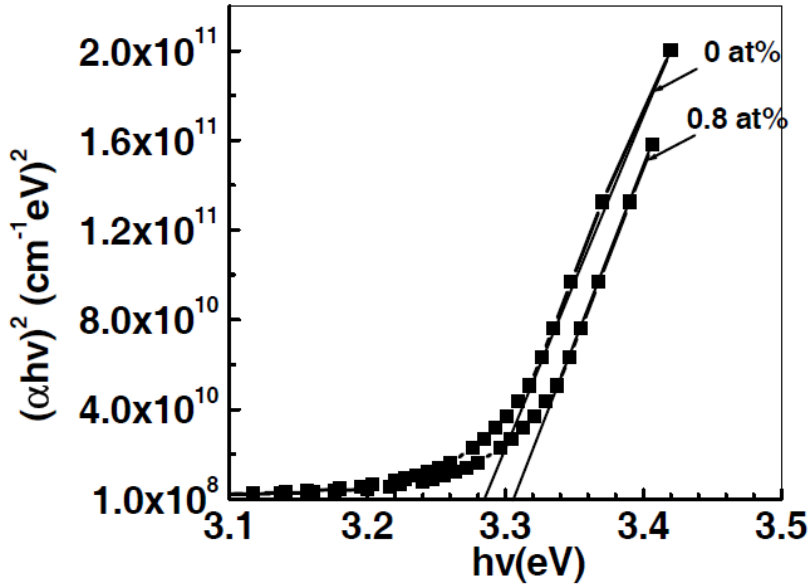
Burada  $I$  geçen ışığın şiddeti,  $I_0$  ise gelen ışın şiddeti,  $t$  ise film kalınlığıdır. Direk bant aralığındaki bant kenarı yakınında bulunan yarı iletkenin optik soğurma katsayısı

$$\alpha = C(h\nu - E_g)^{1/2} \quad (7)$$

ile verilir. Foton enerjisi için,  $h\nu$  değeri yarı iletkenin enerji bant aralığı  $E_g$  ' den oldukça büyüktür. Burada  $C$  bir orantı sabitidir (Bhat ve diğ., 2010).

Katkısız ZnO filmi için optik enerji bant aralığı  $E_g$  2,36 eV' dir. % 1,0 Al katkılı filmin optik enerji bant aralığı yaklaşık olarak 3,29 eV' dir. Enerji artışıdaki bu artış, ağır katkılanmış yarı iletkenlerdeki Burstein-Moss Etkisine dayandırılabilir. Katkı miktarının artması ile ZnO:Al filmlerinde soğurma kenarı daha yüksek frekanslara kayar. Bu özellik taşıyıcı yoğunlu kritik Moss yoğunlundan,  $10^{25} m^{-3}$ , oldukça yüksek olan, ilekenliği yüksek filmlerde yaygın olarak görülür (Bhat ve diğ., 2010).

Şekil 4.4' te Tauc grafiği kullanılarak katkı oranına göre optik bant arağının hesaplanması verilmiştir (Sagar ve diğ., 2005).



Şekil 4. 4: Tauc grafiği kullanılarak katkı oranına göre bant aralığı hesaplanması

### 4.3 Radyasyon Karşısındaki Davranışları

Al katkılı ZnO ince filmler ışınlandıklarında elektriksel ve optik özelliklerinde gözlenmeye değer değişimler oluşmaktadır. Bütün filmlerin elektrik dirençleri radyasyon dozuyla artmaktadır (**Valle ve diğ., 2004**).

Al katkılı ZnO ince filmlerin mekanik özellikleri, ışınlamayla iyileşme eğilimindedir. Gama ışınlarının ince filmlerin optik özelliklerine etkisi önemlidir. Al katkılı ZnO ince filmler, güneş enerjisi panelleri ve ekran uygulamalarında yoğunlukla kullanıldığından, bu tip ince filmlerden, görünür bölgede yüksek elektriksel iletkenlik ve yüksek geçirgenlik özellikleri beklenir. Düşük ve yüksek enerjili iyonlarla ışınlanması sırasında, Al katkılı ZnO ince filmlerin iletkenliklerinde büyük oranda artışlar gözlenmiştir. Ayrıca morötesi ışınlara maruz kalan Al katkılı ZnO ince filmlerde, kristal yapısında gelişme ve elektriksel direncinde düşüş görülmüştür (**Moriga, Nakabayashi, Tominaga, Umezu, 1998**).

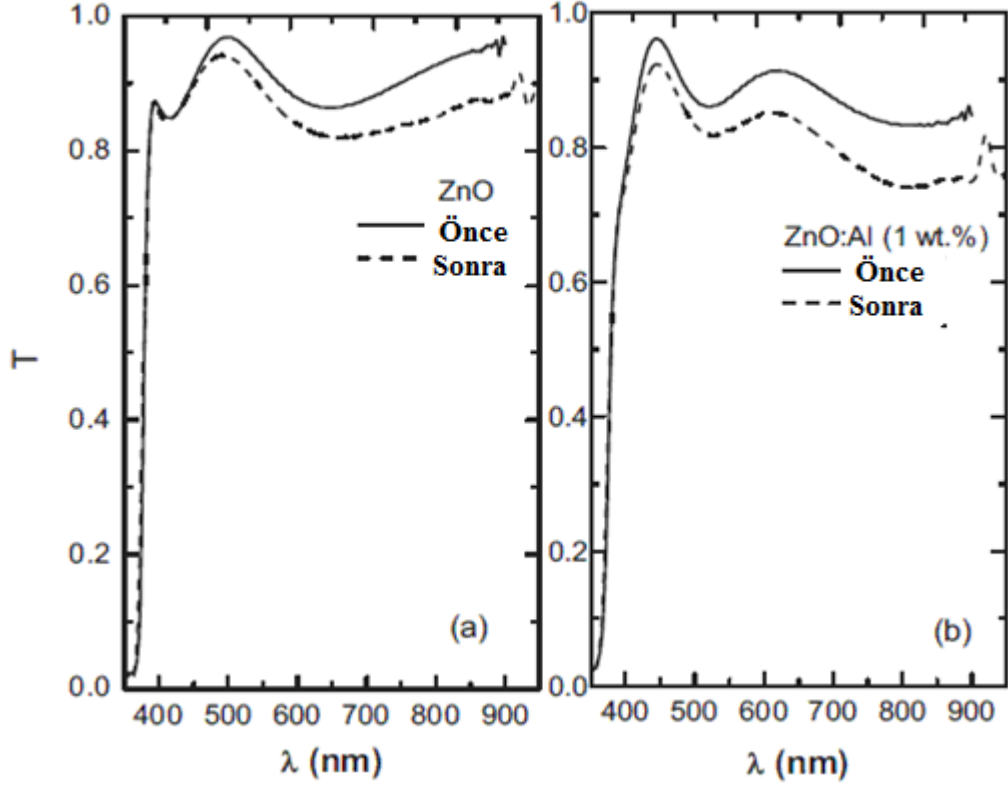
Katkılı ve katkısız filmlerin elektron ışınlarına maruz bırakılmadan önceki ve bırakıldıktan sonrasındaki katman direncindeki ve öz dirençlerindeki değişim Çizelge 4.1' de verilmiştir (**Bhat ve diğ., 2010**).

**Çizelge 4. 1:** Katkılı ve katkısız filmlerin elektron ışınlarına maruz bırakıldıktan önceki sonrasındaki katman direnci ve öz dirençlerindeki değişim.

Al Katkı Oranı (at. %)	Kaplama Sayısı	Film Kalınlığı (nm)	Katman Direnci ( $k\Omega/\square$ )		Özdirenç ( $\rho$ ) ( $\Omega\text{ cm}$ )	
			Işınlama Öncesi	Işınlama Sonrası	Işınlama Öncesi	Işınlama Sonrası
0	1	87	1117.7	3487.6	972.0	3034.2
	3	130	700.5	1710.8	910.0	2224.0
	6	263	231	780.7	607.0	2053.2
	9	438	42.4	190.1	185.0	832.6
0.5	1	85	54.1	273.1	45.9	232.1
	3	125	13.65	131.6	17.0	164.5
	6	241	1.9	8.81	4.66	21.2
	9	422	0.62	1.4	2.61	5.9
1	1	80	19.06	43.7	15.2	34.9
	3	119	5.45	13.2	6.4	15.7
	6	235	0.51	3.9	1.2	9.1
	9	396	0.04	0.2	0.16	0.79
2	1	76	94.13	332.4	71.5	252.6
	3	114	32.29	76.4	36.8	87.0
	6	271	3.43	6.7	9.3	18.1
	9	432	1.0	2.5	4.3	10.8
3	1	72	206.0	681.8	148	490.8
	3	110	63.7	233.7	70.1	257.0
	6	263	6.6	16.6	17.4	43.6
	9	430	3.1	5.6	13.5	24.0

Şekil 4.5' te  $500^{\circ}\text{C}$ ' de tavllanmış olan filmlerin UV-VIS spektrumu verilmiş olup ilk grafik ZnO filmine diğeri ise ZnO:Al filmine aittir (Bhat ve diğ., 2010).

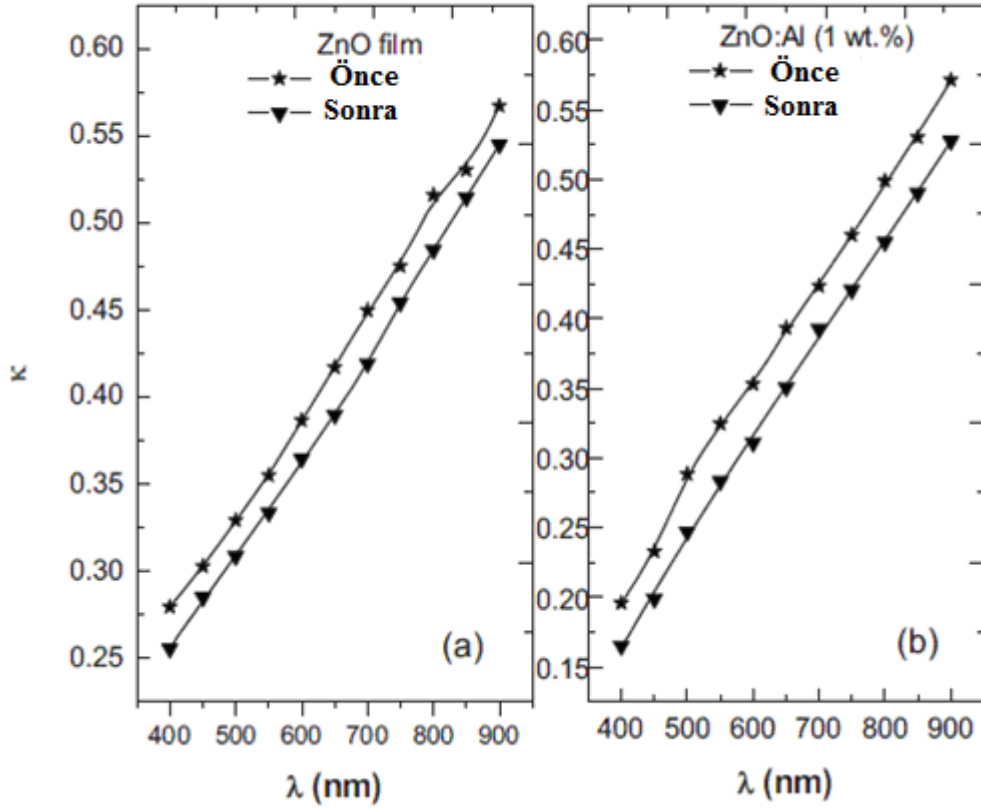




**Şekil 4. 5:** 500°C’ de tavlanmış 9 kat kaplanmış filmlerin UV-VIS spektrumu a) ZnO b) ZnO:Al filmlerinin elektron ışınlarına maruz kalmadan önceki ve sonrasındaki dalga boyunun fonksiyonu olarak geçirgenlik grafiği.

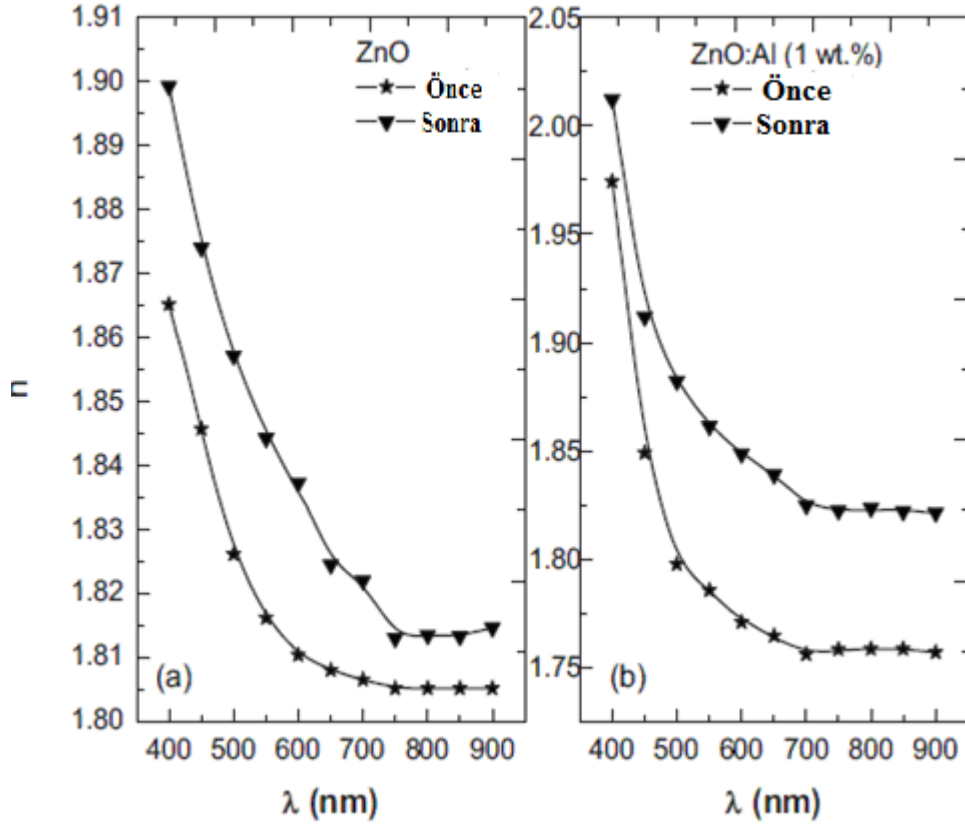
Burada da görüldüğü üzere ZnO ve ZnO:Al filmlerinin görünür bölgedeki geçirgenlikleri yaklaşık olarak % 90 civarındadır. Ancak elektron ışınlarına maruz kaldıktan sonra hem ZnO hem de ZnO:Al filmlerinin geçirgenliklerinde azalma görülmektedir (**Bhat ve diğ., 2010**).

Şekil 4.6’ da da görüldüğü gibi, 9 kat kaplanmış katkısız ZnO ve % 1,0 katkılı ZnO:Al filmlerin sönmü katsayısında ışınlama sonrasında azalma gözlenmektedir (**Bhat ve diğ., 2010**).



**Şekil 4. 6:** 500°C’ de tavllanmış 9 kat kaplanmış filmlerde sönüm katsayısını dalga boyunun fonksiyonu olarak gösteren grafik a) ZnO b) ZnO:Al filmlerinin elektron ışınlarına maruz bırakılmadan önceki ve sonraki sönüm katsayılarındaki değişim.

Bu tez çalışması için hazırlanan %1,0 ve %1,2 katkılı ZnO:Al filmlerinin nötronlara maruz bırakıldıktan sonra kırılma indislerindeki değişim Şekil 4.7’ deki oluşan değişimlere benzerlik göstermekte olup Şekil 4.7’ de 500°C’ de tavllanmış ve 9 kat kaplanmış olan ZnO ve ZnO:Al filmlerinin ışınlama öncesi ve sonrasındaki kırılma indislerinde oluşan değişimler verilmiştir (Bhat ve diğ., 2010).



**Şekil 4. 7:** 500°C’ de tavlanmış 9 kat kaplanmış filmlerde kırılma indisinin dalga boyunun fonksiyonu olarak gösteren grafik a) ZnO b) ZnO:Al filmlerinin elektron ışınlarına maruz bırakılmadan önceki ve sonraki kırılma indisindeki değişim.



## 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, daldırarak kaplama yöntemi ile hazırlanmış olan farklı oranlarda Al katkıli çinko oksit filmlerinin nötronlara maruz bırakıldıktan sonra optik ve elektriksel özellikleri araştırılmış, ışınlama öncesi ve sonrasındaki değişimler karşılatırılmıştır. Katkıli ve katkısız çinko oksit filmler 450<sup>0</sup>C, 500<sup>0</sup>C ve 550<sup>0</sup>C' de vakum atmosferinde tavlannmıştır.

### 5.1 Altıkların Hazırlanması

Deneyde kullanılan ZnO:Al filmler 1 mm kalınlığındaki soda kireç silika camların üstüne kaplanmıştır. Camlar öncelikle deterjanla yıkanıp sonra çok az miktarda damlatılmış olan sülfirik asit, potasyum dikromat ve 500 ml' lik su karışımının içinde 10 dakika bekletildi. Sonra bol saf su ile durulandı. Ardından, ultrasonik banyoda camlar sırasıyla aseton, % 96 saflıkta etil alkol ve saf su ile 10' ar dakika çalkalandı. Son olarak da camlar 100<sup>0</sup>C' de kurutuldu ve camlar kaplama işlemi için hazır hale gelmiş oldu. Aseton çok iyi çözücüdür ve cam yüzeyindeki yabancı maddeleri çözdükten sonra, asetonla çözülen bu yabancı maddeler etil alkol sayesinde cam yüzeyinden buharlaşırlar.



Şekil 5. 1: Ultrasonik banyo (Sonorex Ultrasonic Bath RK-100 H)

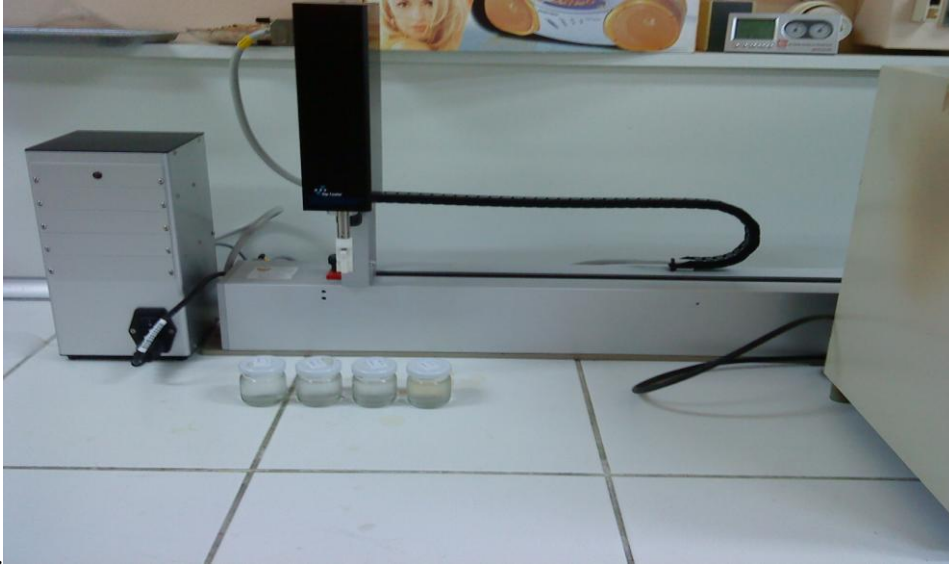
### 5.2 Solüsyonun Hazırlanması

Solüsyonun hazırlanmasına ekstra saflıktaki çinko asetat dihidrat ( $Zn(CH_3COO)_2 \cdot H_2O$ ) ile başlandı. Stabilizör ve çözücü olarak dietanolamin (DEA –  $C_4H_{11}NO_2$ ) ve % 96 saflıktaki etanol ( $C_2H_5OH$ ) kullanıldı. Katkı maddesi kaynağı olarak alüminyumnitrat-nanohidrat ( $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ ) kullanıldı. Çinko asetat dihidratı etanol içinde 60<sup>0</sup>C' de 50 ml dietanolamin eklenerek çözdürüldü. Daha sonra alüminyumnitrat-nanohidrat eklenerek manyetik karıştırıcıda 1 saat boyunca

60°C’ de berrak ve homojen bir görünüm alıncaya kadar karıştırıldı. Ardından çözeltiler oda sıcaklığında (22°C) soğumaya bırakıldı. Soğuduktan sonra çözeltiler, 1 gün boyunca buz dolabında bekletildi. Böylece çözeltilerde çökeltme olup olmadığını ertesi gün görülebiliyor, çökeltme yoksa kaplama işlemi aşamasına geçiliyordu. Hazırlanan solüsyonlar ortalama 2 gün boyunca çökmeden muhafaza edilebiliyordu. % 0,8, % 1,0, % 1,2 ve % 1,6 oranlarında Al katkılayarak 4 farklı çözelti hazırlandı.

### 5.3 Yapılan Kaplama İşlemleri

Al katkılı çinko oksit (ZnO:Al) filmler, soda kireç silika cam taşıyıcıların üstüne KSVLMX2 Dip Coater cihazı kullanılarak daldırarak kaplama yöntemi ile kaplandı.



Şekil 5. 2: KSVLMX2 dip coater cihazı

Kaplama işlemleri 22-25°C sıcaklık ve % 35-40 nem oranına sahip laboratuvar ortamında gerçekleştirildi. Soda kireç silika camları çözeltilere 100 mm/dak hız ile daldırılıp 50 mm/dak hız ile çekilmiştir.

Herbir tabakanın kaplanmasından sonra filmlerin ara tav işlemini 400°C’ de oksijen ortamında gerçekleştirildi. Ara tavlama işleminin süresi bütün örneklerde 10 dakikadır. Ana tav işlemleri ise vakum atmosferi ortamında , bütün örnekler için 1 saat süre ile 450°C, 500°C ve 550°C sıcaklıklarda yapılmıştır.

#### 5.4 Filmlerin Kalınlık Ölçümleri

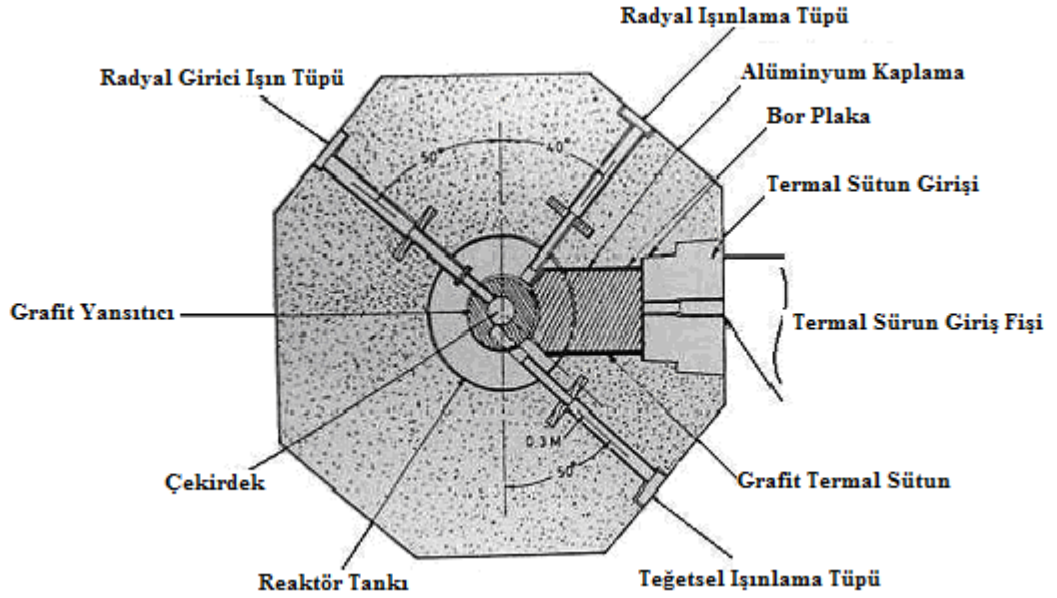
Soda kireç silika camları üzerine kaplanan ZnO:Al filmlerinin kalınlık ölçümleri Veeco Dektak 6M Stylus yüzey profilometresi ile yapıldı. Camların yüzeyi bir çok noktada, kaplanmış kısımdan kaplanmamış kısma kadar taranarak kalınlıkları ölçülmüştür.

#### 5.5 Çalışılan Filmlerin Optik Özellikleri

Hazırlanan filmlerin optik geçirgenlik ve optik yansıtıcılıkları T80 UV/VIS spektrofotometresi ile 190 nm- 900 nm dalgaboyu aralığında ölçülmüştür.

#### 5.6 Çalışılan Nötron Işınlama Düzeneginin Tanıtımı

Işınlama işlemleri ITU TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörünü teğetsel ışınlama tüpünde gerçekleştirilmiştir ve ışınlama düzeneği Şekil 5.3' te görülmektedir (Baydoğan Çilingiryan, diğ. 2013). Bu çalışma için reaktör 250 kW çalıştırılmıştır.

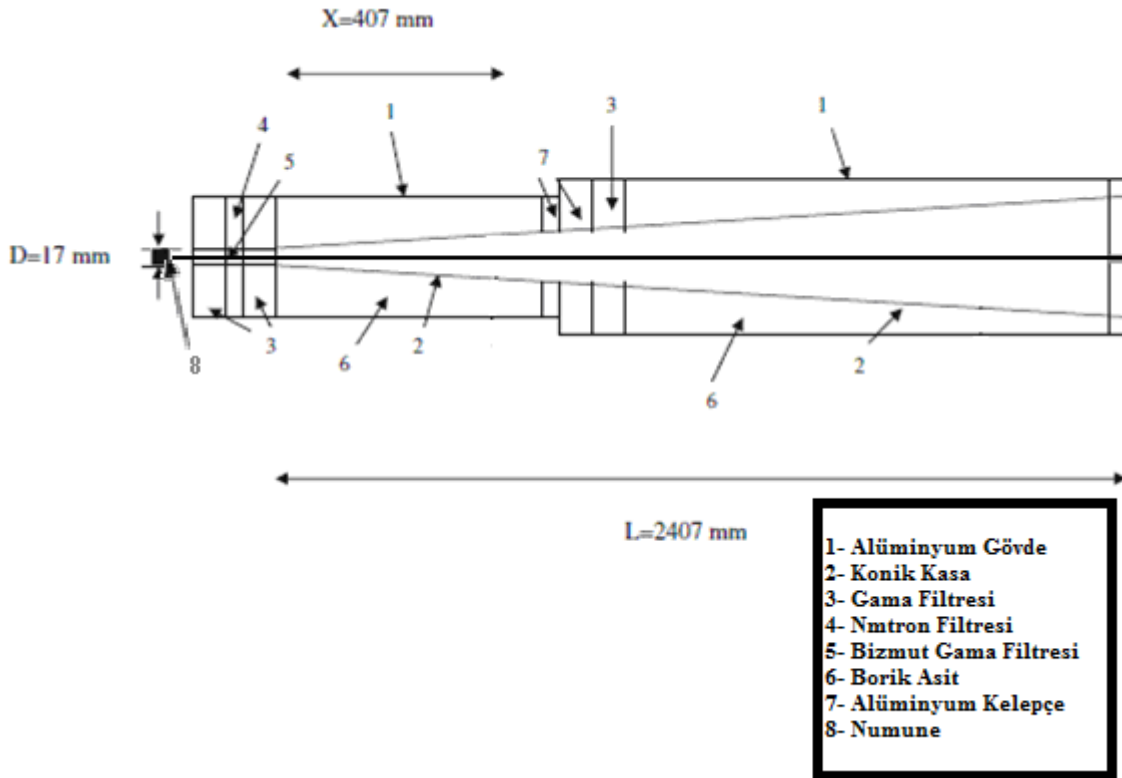


Şekil 5. 3: ITU TRIGA Mark-II Reaktör'ündeki teğetsel ışınlama düzeneğinin konumu

## 5.7 Işınlama İşlemleri

Termal nötron ışınlaması için kullanılan ITU TRIGA Mark-II Eğiti ve Araştırma Reaktörünün teğetsel ışınlama tüpü yatay pozisyonda Şekil 5.4'te verilmektedir. Işınlama sırasında örnekler, teğetsel ışınlama tüpündeki kolimatör çıkışına yerleştirilmiştir. Işınlama işlemleri çeşitli aralıklarla ~ 3 saat 30 dakika gerçekleştirilmiştir. Işınlama noktasına yerleştirilen altın foiller kullanılarak daha önceki yapılan ışınlamalarda, söz konusu bu noktadaki termal nötron akısı,  $1.98 \times 10^5$  n/cm<sup>2</sup>s ve toplam nötron akısı  $2.54 \times 10^5$  n/cm<sup>2</sup>s olarak tespit edilmiştir (Yavuz, H., ve diğ., 1993). Bütün ışınlama işlemlerinde reaktör 250 kW güçte çalıştırılmıştır (Baydoğan ve Tugrul, 2013).

Teğetsel ışınlama tüpündeki kolimatörün içindeki boşluğa yerleştirilen bizmut filtre ile gama ışınlarının soğurulması sağlanmaktadır. Kolimatör çıkışındaki gama ışın şiddeti 49.368 R/h olarak verilmektedir (Yavuz, H., ve diğ., 1993).



Şekil 5. 4: ITU TRIGA Mark-II reaktörünün teğetsel ışınlama tüpünde ışınlanan örneklerin ışınlama pozisyonu





## 6. DENEY SONUÇLARI

Bu yüksek lisans tez çalışmasında hazırlanan farklı oranlarda Al ile katkılanmış ZnO filmlere 450<sup>0</sup>C, 500<sup>0</sup>C ve 550<sup>0</sup>C sıcaklıklarda vakum ortamında tavlama işlemi yapılmış daha sonra bu filmler, İTÜ Enerji Enstitüsü' nde bulunan Triga Mark II Eğitim ve Araştırma reaktöründe nötronlarla ışınlanmıştır. Sonuç olarak, ışınlama öncesi ve sonrasındaki optik özelliklerindeki değişimler araştırılmıştır.

### 6.1 ZnO:Al İnce Filmlerin Kalınlıkları

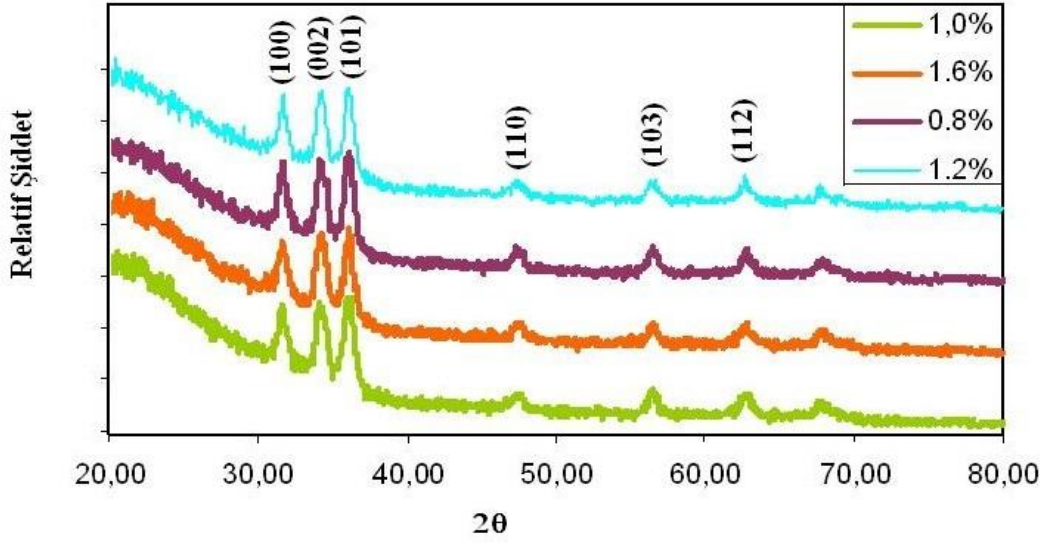
Vakum ortamında tavlansarak hazırlanan filmlerin kalınlıkları Çizelge 6.1' de verilmiştir.

**Çizelge 6. 1:** Vakum ortamında tavllanmış filmlerin kalınlıkları.

Tavlama Sıcaklığı (°C)	Al Konsantrasyonu (%)	Kalınlık (nm)
450	0,8	291,00
	1,0	226,50
	1,2	108,75
	1,6	297,50
500	0,8	227,25
	1,0	554,00
	1,2	240,60
	1,6	201,00
550	0,8	215,00
	1,0	421,50
	1,2	180,30
	1,6	259,00

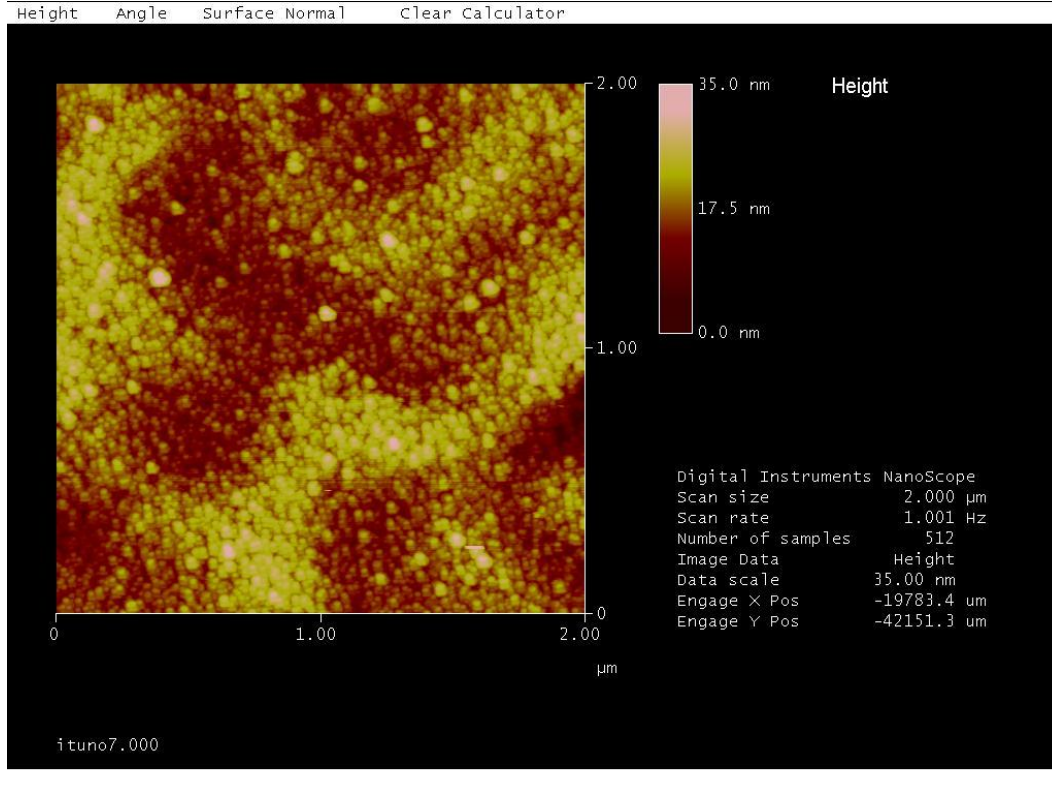
## 6.2 ZnO:Al filmlerin Yapısal Karakterizasyonu

0.8, 1.0, 1.2 ve 1.6 at. %Al konsantrasyonundaki ZnO:Al ince filmlerin XRD analizi yapılmış olup, yapısal özellikleri Şekil 6.1’de incelenmiştir. Üretilen bütün filmlerde (100), (002), (101), (110), (103) ve (112) difraksiyon düzlemleri tespit edilmiş olup, tüm filmlerde kristal bir yapı olduğu görülmüştür. Böylece, ZnO:Al ince filmlerin hegzagonal yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir.



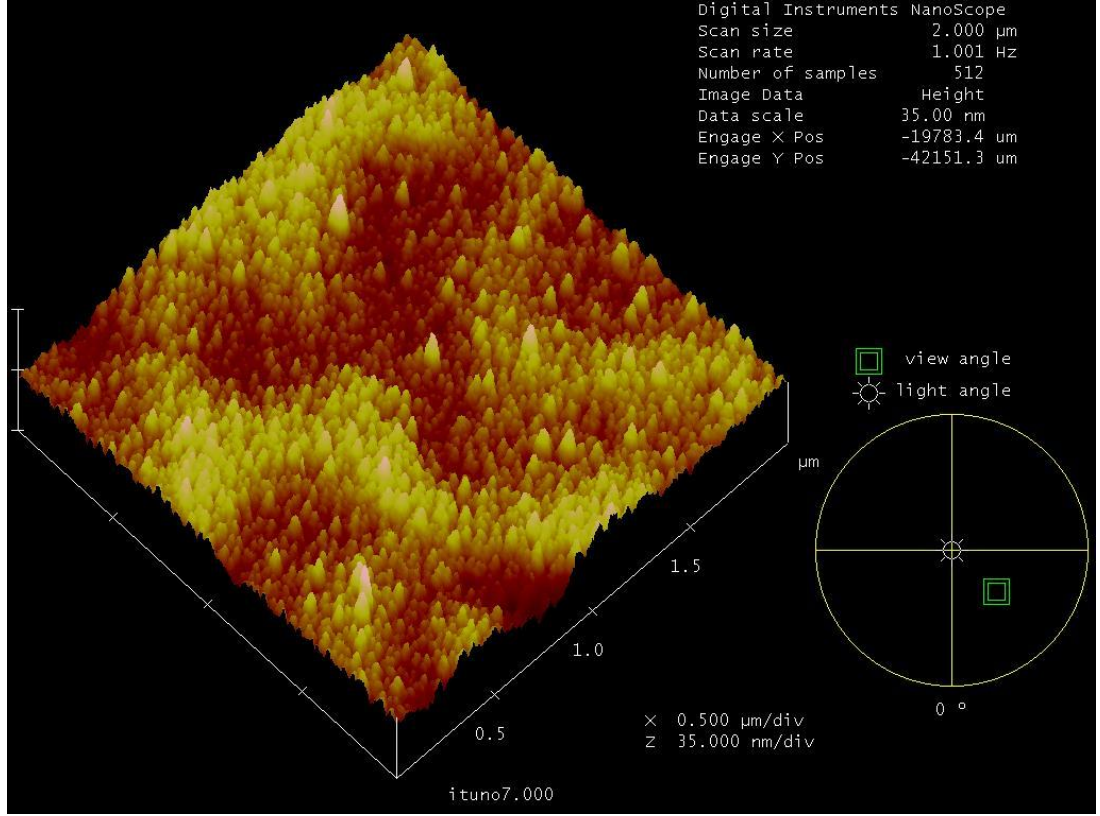
Şekil 6. 1: Üretilen filmlerin XRD analizi

1.2 at.% Al konsantrasyonundaki ZnO:Al filmlerin, ZnO:Al filmlerin AFM cihazı kullanılarak elde edilen iki boyutlu (2D) yüzey görüntüsü Şekil 6.2’de verilmektedir. Üretilen filmlerdeki partikül boyutu ~ 20 nm civarındadır.



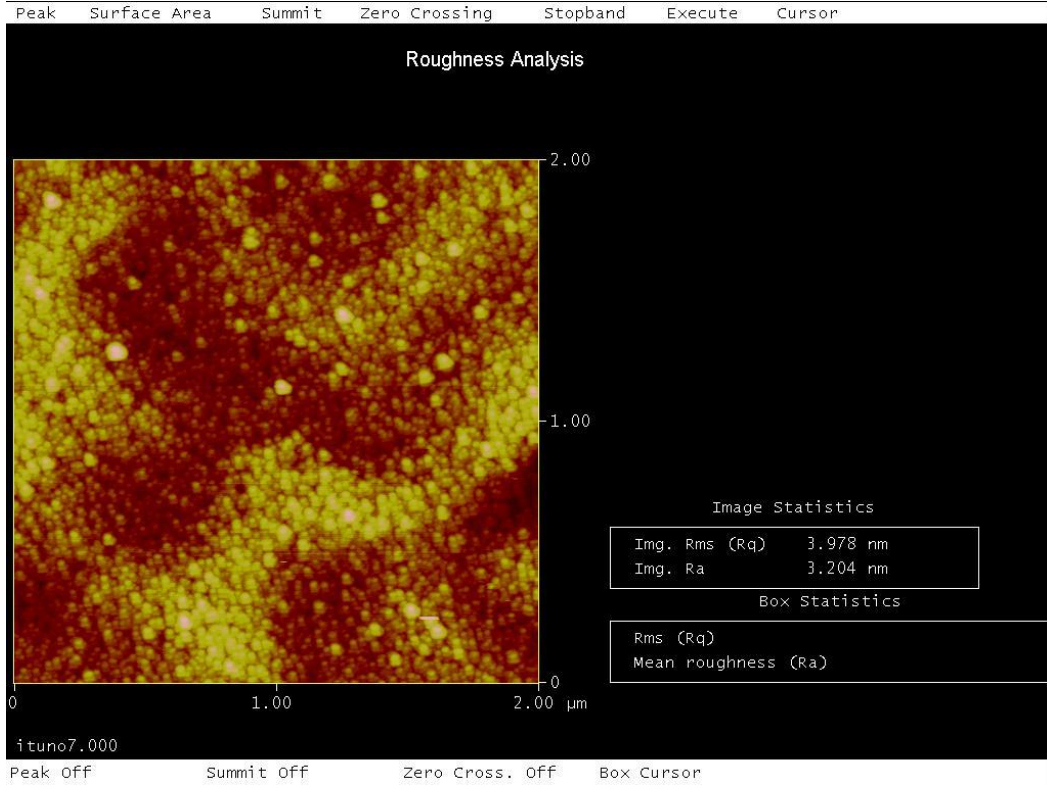
**Şekil 6. 2:** ZnO:Al ince filmlerin (2D) AFM görüntüsü

1.2 at.% Al konsantrasyonundaki ZnO:Al filmlerin, AFM cihazı kullanılarak elde edilen üç boyutlu (3D) yüzey görüntüsü Şekil 6.3'te verilmektedir. Yüzeydeki partiküllerin boylarının görüntüsü incelemek amacıyla elde edilen 3D morfolojik görüntüsü böylece tespit edilmiştir.



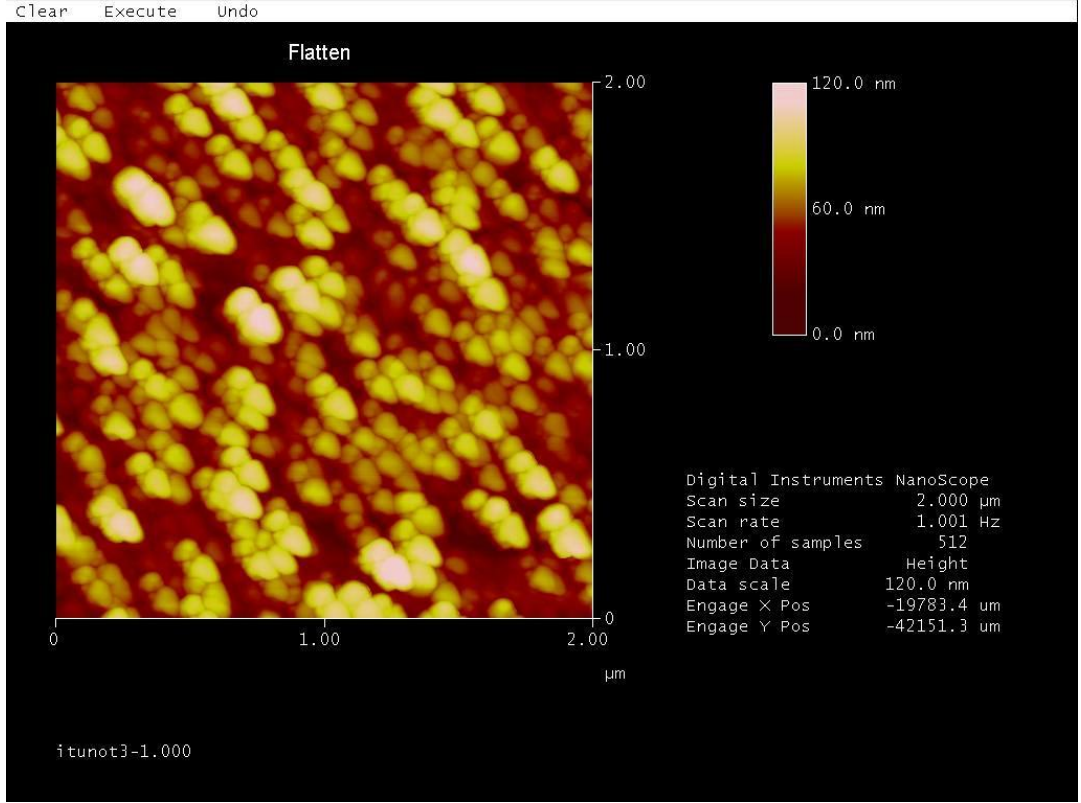
**Şekil 6. 3:** ZnO:Al ince filmlerin (3D) AFM görüntüsü

Yüzey pürüzlülüğü nanoteknolojideki önemli kalite kontrol parametrelerinden birisidir. Üretilen filmlerin yüzey kalitesini belirtmek açısından, söz konusu filmlerin yüzey pürüzlülüğü Şekil 6.4'de verilmektedir. 1.2 at.% Al konsantrasyonundaki ZnO:Al ince filmlerin Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü değeri (Roughness Average) Ra birimi ile ifade edilmektedir. Yüzey pürüzlülüğünün karekök ortalaması değeri ise Root Mean Square ya da Rms Roughness (Rq/Rms/Rs) olarak ifade edilebilmektedir. Bu nedenle üretilen filmlerin yüzey pürüzlülüğü Şekil 6.4'de Ra ve Rms değerleri ile görülmektedir.



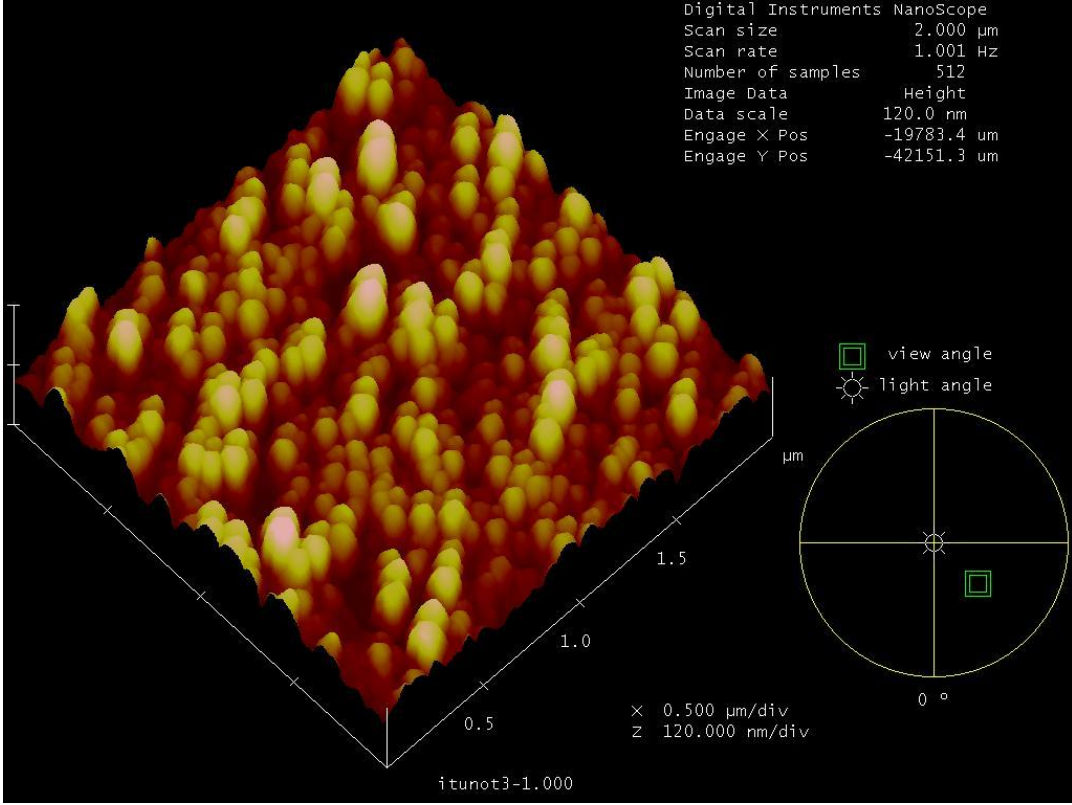
**Şekil 6. 4:** ZnO:Al filmlerin AFM cihazı kullanılarak belirlene yüzey pürüzlülüğü

Nötronlara maruz kalan 1.2 at.% Al konsantrasyonundaki ZnO:Al filmlerin AFM cihazı kullanılarak elde edilen iki boyutlu yüzey görüntüsü Şekil 6.5' te verilmektedir. Üretilen filmlerdeki partikül boyutu  $\sim 70$  nm civarındadır.



**Şekil 6. 5:** Nötronlara maruz kalan ZnO:Al ince filmlerin (2D) AFM görüntüsü

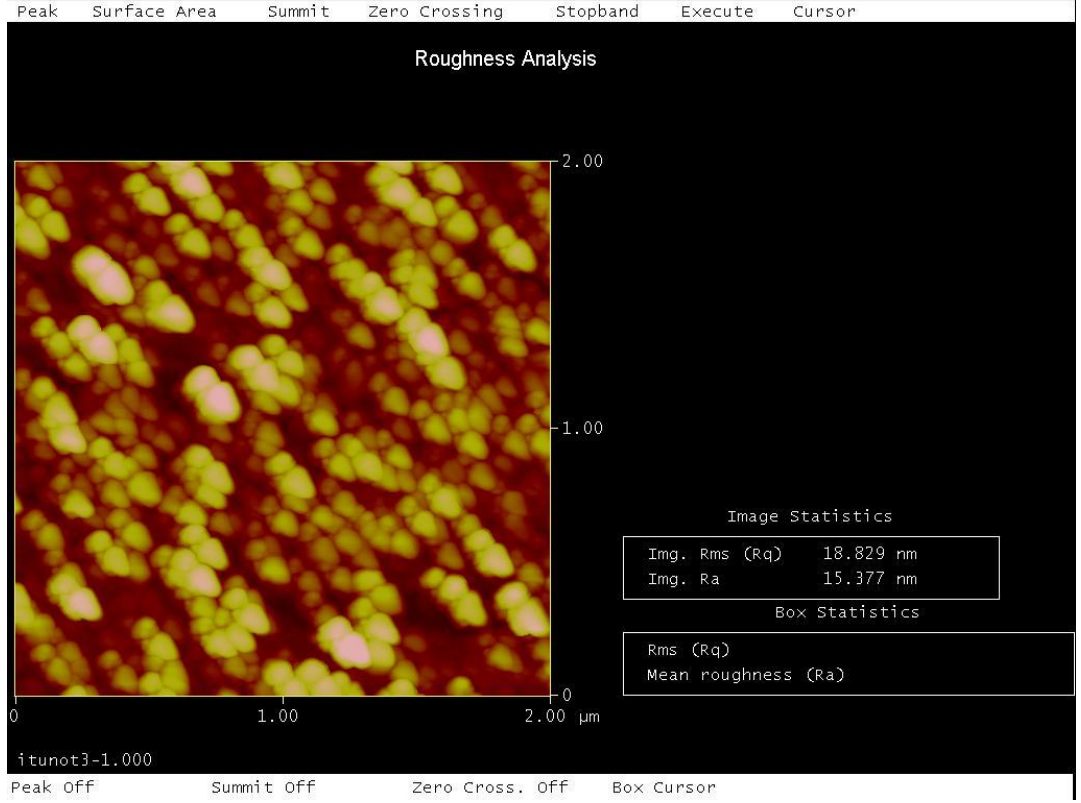
Nötronlara maruz kalan ve 1.2 at. % Al konsantrasyonundaki ZnO:Al filmlerin, AFM cihazı kullanılarak elde edilen üç boyutlu (3D) yüzey görüntüsü Şekil 6.6'de verilmektedir. Yüzeydeki partiküllerin boylarının görüntüsü incelemek amacıyla elde edilen 3D morfolojik görüntüsü böylece tespit edilmiştir.



**Şekil 6. 6:** ZnO:Al ince filmlerin (3D) AFM görüntüsü

Nötronlara maruz kalan, 1.2 at. % Al konsantrasyonundaki ZnO:Al filmlerin, yüzey pürüzlülüğü Şekil 6.7'de Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü değerleri - Ra ve Root Mean Square Yüzey Pürüzlülüğünün Karekök Ortalaması - Rms değerleri verilmektedir.





**Şekil 6. 7:** ZnO:Al filmlerin AFM cihazı kullanılarak belirlene yüzey pürüzlülüğü Nötronlara maruz kalan filmlerin parçacık büyüklüğünde ve yüzey pürüzlülüğünde (Ra ve Rms değerleri olarak) oluşan değişimler Çizelge 6.1’de verilmiştir.

**Çizelge 6. 2:** Nötronlara maruz kalan filmlerin parçacık büyüklüğünde ve yüzey pürüzlülüğünde (Ra ve Rms değerleri olarak) oluşan değişimler

Filmler	Partikül Büyüklüğü (nm)	Pürüzlülük (nm)	
		Ra	Rms
Işınlanmamış	~ 20	3.20	3.98
Işınlanmış	~ 70	15.38	18.83

### 6.3 Optik Özelliklerin İncelenmesi

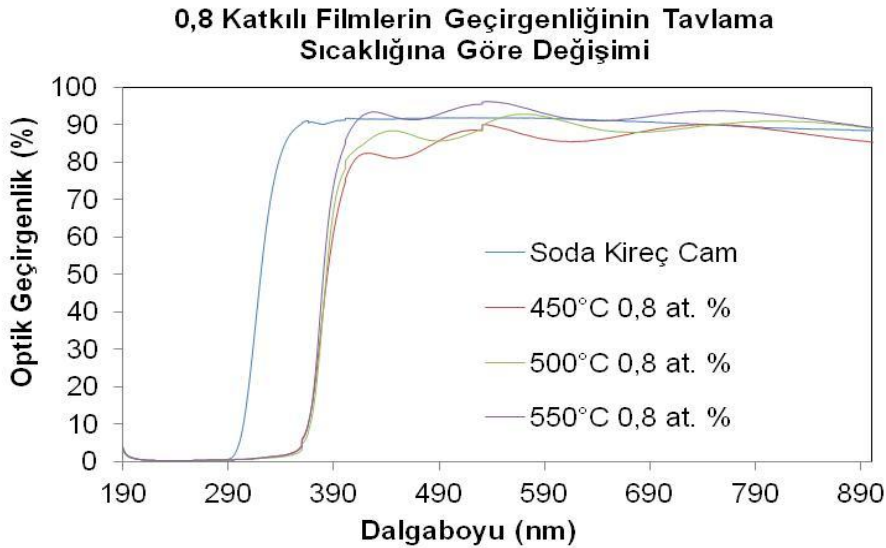
ZnO:Al filmler, farklı sıcaklıklarda vakum ortamında tavlansak optik özelliklerindeki değişimlerin incelenmesi amaçlanmıştır. ZnO:Al ince film yapısına bağlı olarak filmlerin optik özelliklerinin geliştirilerek üretilmesi mümkün olmaktadır.

### 6.3.1 Optik geçirgenliğin incelenmesi

Farklı Al konsantrasyonlarında ve farklı tavlama sıcaklıklarında, soda-kireç-silika taşıyıcılar üzerinde üretilen ince filmlerin optik soğurma eşiğinin ~ 300 nm olduğu tespit edilmiştir.

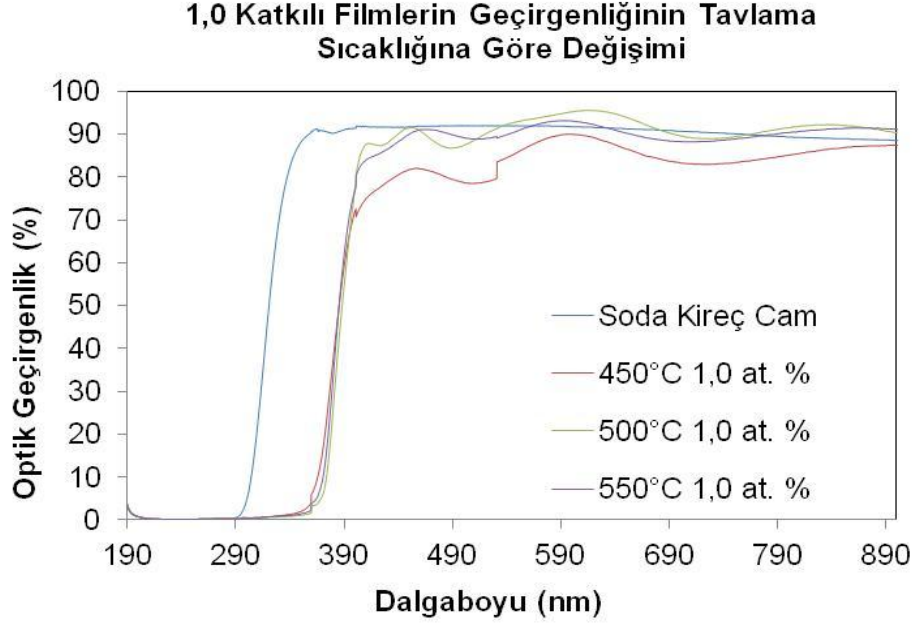
#### 6.3.1.1 Işınlama işleminden önce ZnO:Al filmlerinin optik geçirgenliğinin tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı olarak değişimi

450<sup>0</sup>C, 500<sup>0</sup>C ve 550<sup>0</sup>C tavlama sıcaklıklarında üretilen ve ışınlanmamış ZnO:Al filmlerin optik geçirgenliklerinin davranışları 190 nm ile 900 nm arasında incelenmiş olup, Şekil 6.8’de 0,8 at.% Al konsantrasyonunda üretilen ZnO:Al filmlerin tavlama sıcaklığı artışı ile optik geçirgenliklerinde oluşan değişimler verilmektedir.

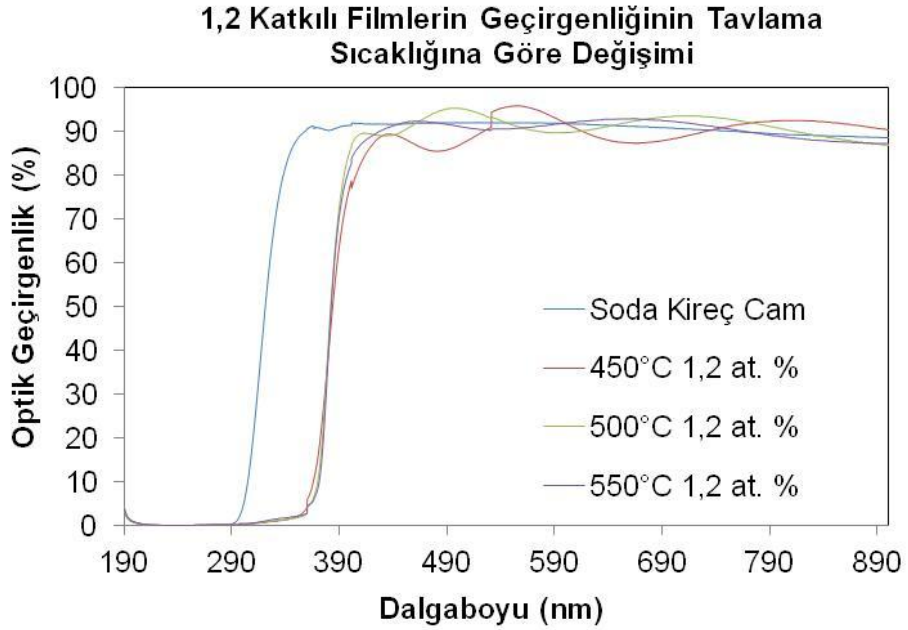


**Şekil 6. 8:** Işınlanmamış, % 0,8 katkıli filmlerin geçirgenliklerinin tavlama sıcaklığına göre değişimi

% 1,0 Al konsantrasyonunda üretilen ve ışınlanmamış ZnO:Al filmlerin optik geçirgenliğinde oluşan değişimler, Şekil 6.9’ da tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı olarak görülmektedir. % 1,2 Al konsantrasyonunda üretilen ZnO:Al filmlerin ışınlamadan önceki optik geçirgenliğinde, tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.10’ da görülmektedir.

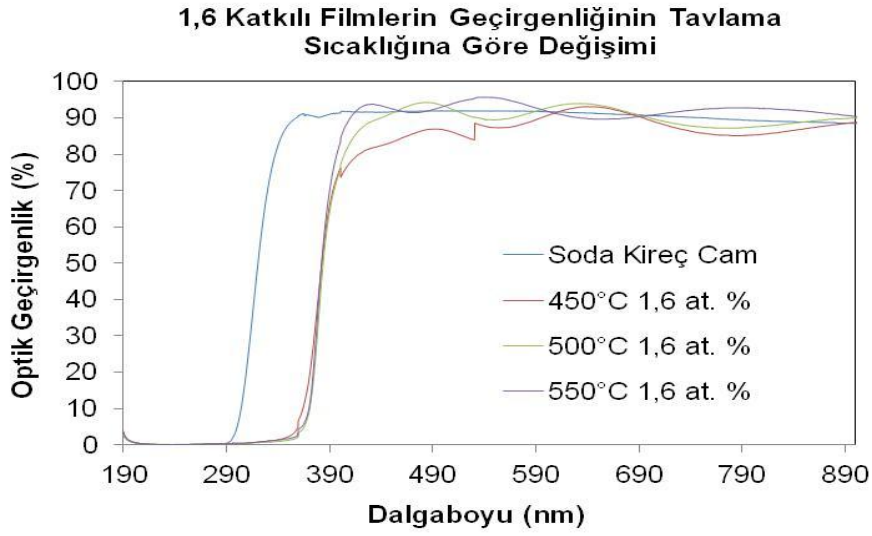


**Şekil 6. 9:** Işınlanmamış, % 1,0 katkılı filmlerin geçirgenliklerinin tavlama sıcaklığına göre değişimi



**Şekil 6. 10:** Işınlanmamış, % 1,2 katkılı filmlerin geçirgenliklerinin tavlama sıcaklığına göre değişimi

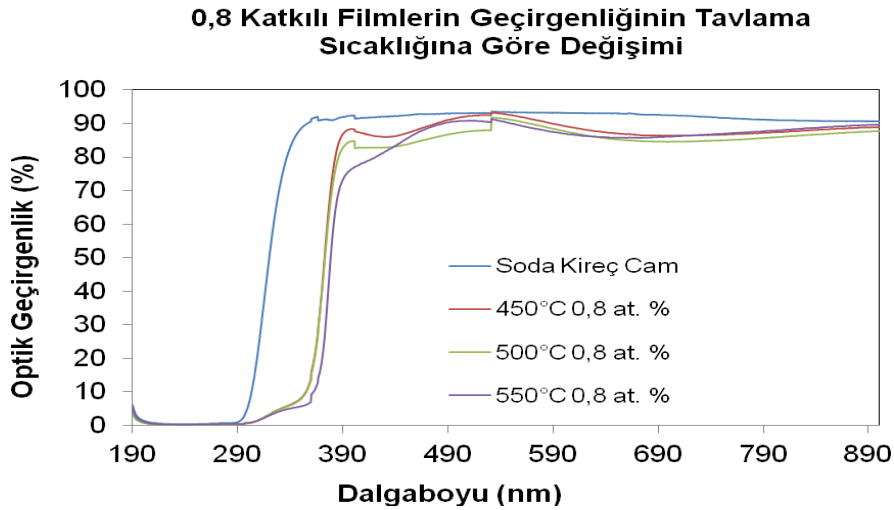
% 1,6 Al konsantrasyonunda üretilen ZnO:Al filmlerin ışınlamadan önceki optik geçirgenliğinde, tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.11' de verilmektedir.



**Şekil 6. 11:** Işınlanmamış, % 1,6 katkılı filmlerin geçirgenliklerinin tavlama sıcaklığına göre değişimi

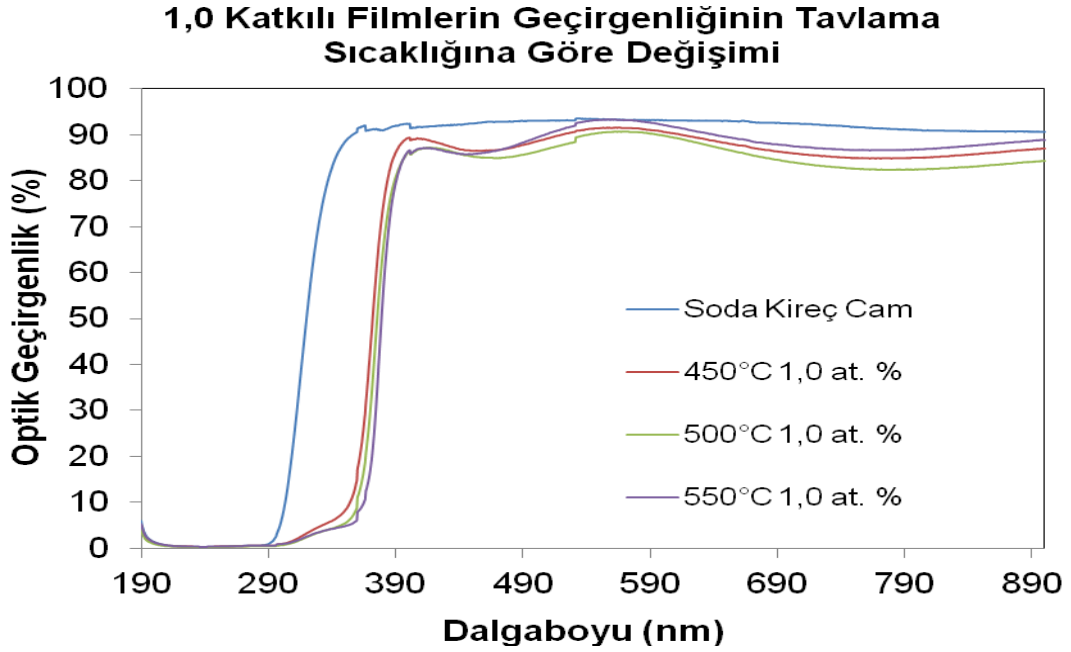
### 6.3.1.2 Işınlama işleminden sonra ZnO:Al filmlerinin optik geçirgenliğinin tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı olarak değişimi

Işınlama işleminden sonra, % 0,8 Al konsantrasyonunda üretilen ZnO:Al filmlerin optik geçirgenliğinde oluşan değişimler, Şekil 6.12' de, tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı olarak verilmektedir.



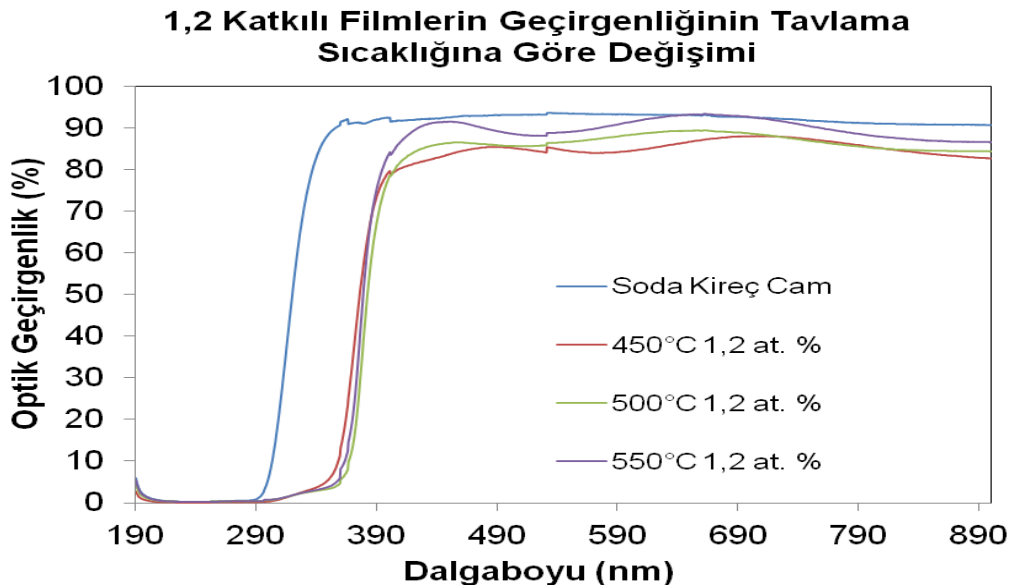
**Şekil 6. 12:** Işınlanmış, % 0,8 katkılı filmlerin geçirgenliklerinin tavlama sıcaklığına göre değişimi

Işınlama işleminden sonra, % 1,0 Al konsantrasyonunda üretilen ZnO:Al filmlerin optik geçirgenliğinde oluşan değişimler, Şekil 6.13' te, tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı olarak görülmektedir.



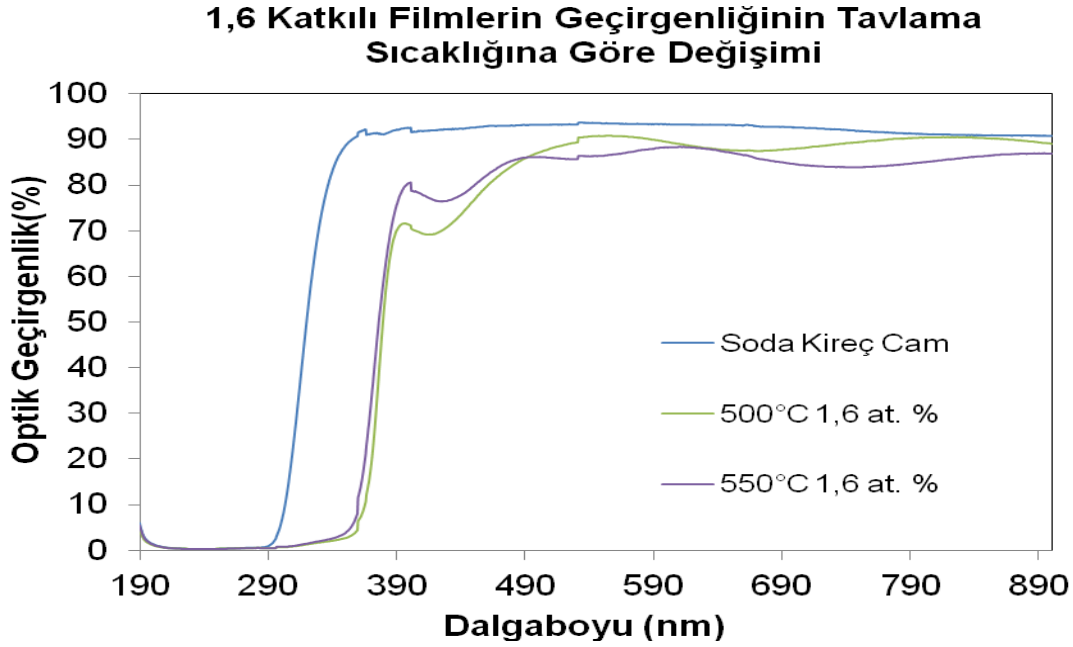
Şekil 6. 13: Işınlanmış, % 1,0 katkıli filmlerin geçirgenliklerinin tavlama sıcaklığına göre değişimi

Işınlama işleminden sonra, % 1,2 Al konsantrasyonunda üretilen ZnO:Al filmlerin optik geçirgenliğinde oluşan değişimler, Şekil 6.14' de, tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı olarak verilmiştir.



Şekil 6. 14: Işınlanmış, % 1,2 katkıli filmlerin geçirgenliklerinin tavlama sıcaklığına göre değişimi

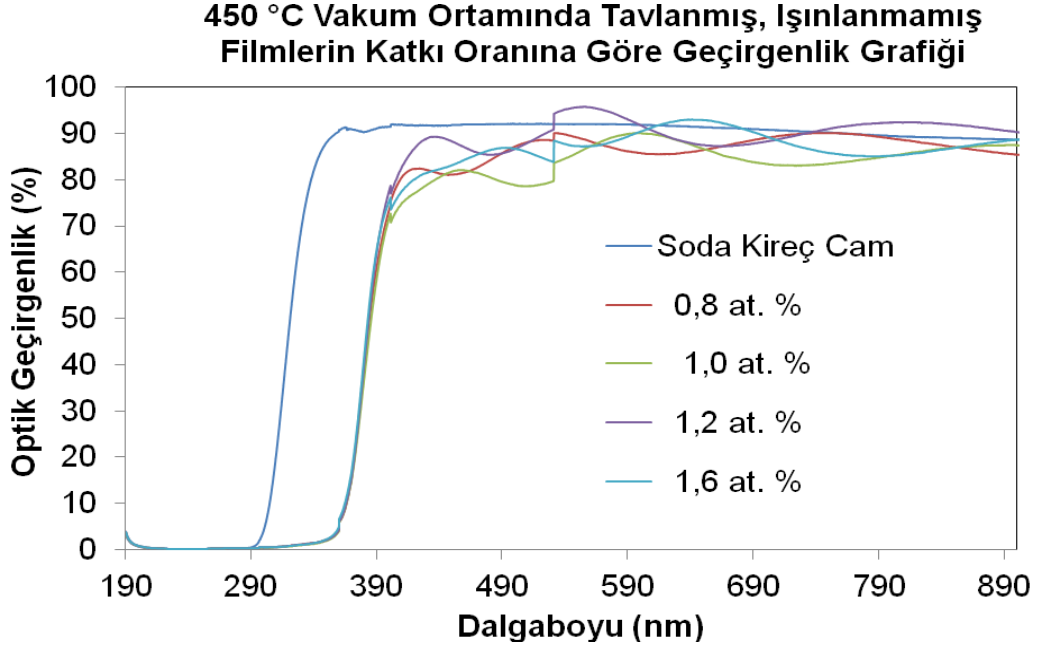
Işınlama işleminden sonra, % 1,6 Al konsantrasyonunda üretilen ZnO:Al filmlerin optik geçirgenliğinde oluşan değişimler, Şekil 6.15’ de, tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı olarak görülmektedir.



**Şekil 6. 15:** Işınlanmış, % 1,6 katkıli filmlerin geçirgenliklerinin tavlama sıcaklığına göre değişimi

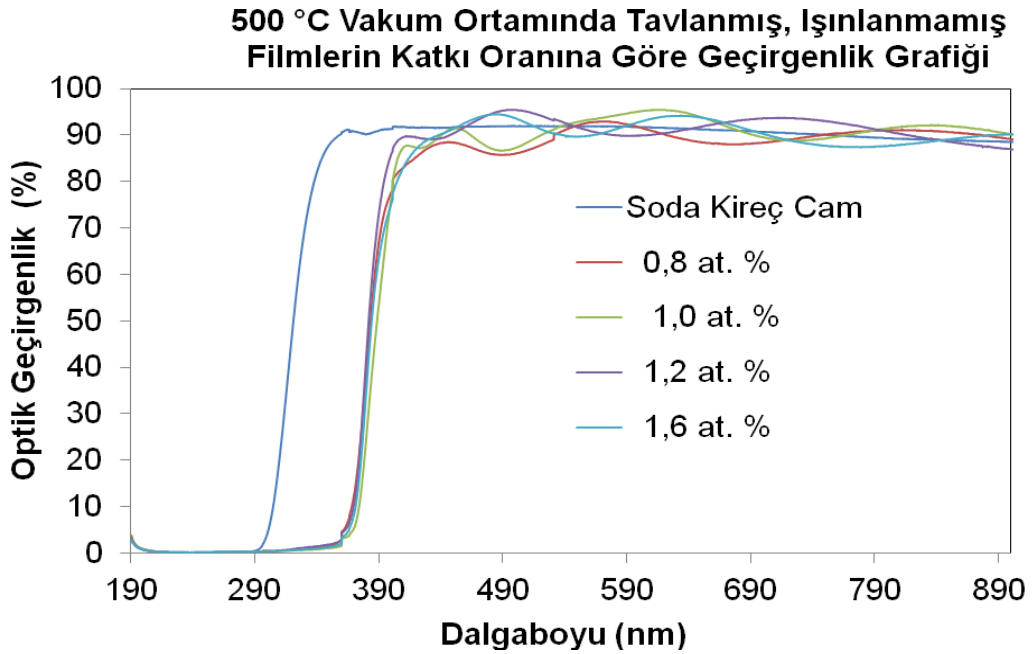
### 6.3.1.3 Işınlama işleminden önce ZnO:Al filmlerin Al konsantrasyonuna bağlı olarak optik geçirgenliğinde oluşan değişimler

450<sup>0</sup>C, 500<sup>0</sup>C ve 550<sup>0</sup>C tavlama sıcaklıklarında, farklı katkı oranlarında üretilen ZnO:Al filmlerin optik geçirgenliklerinde değişimler görülmüştür. Vakum atmosferinde 450<sup>0</sup>C tavlama sıcaklığında tavlanan farklı konsantrasyonlarda üretilmiş ZnO:Al filmlerin ışınlamadan önceki optik geçirgenliğinde, Al katkı oranındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.16’ da görülmektedir.



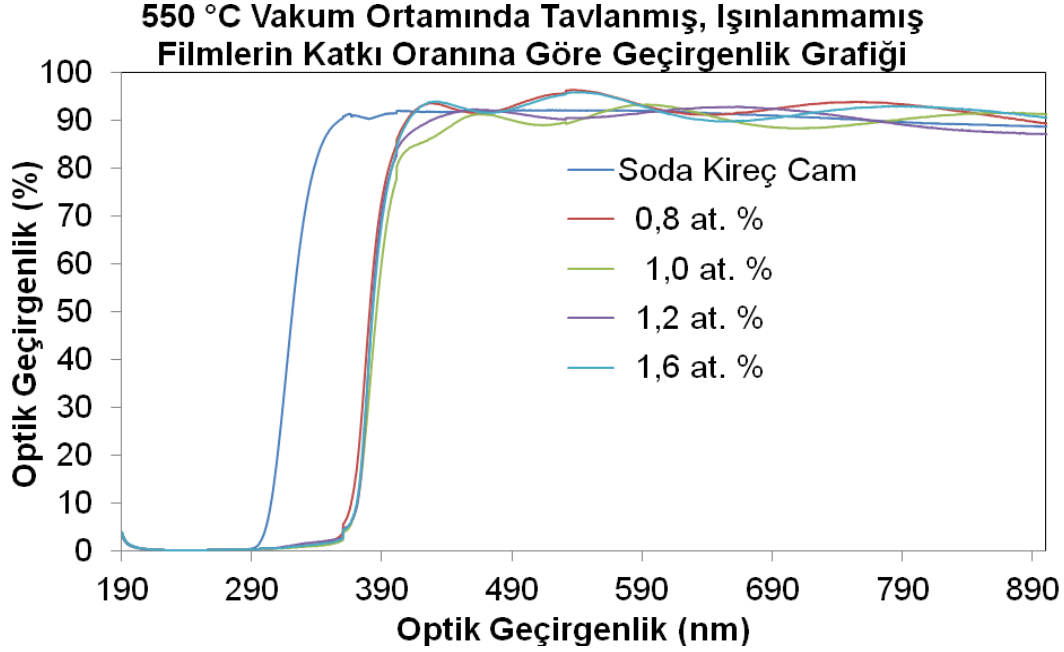
**Şekil 6. 16:** 450°C’ de tavllanmış, ışınlanmamış filmlerin katkı oranına göre geçirgenlik grafiği

500°C tavlama sıcaklığında tavlanan farklı konsantrasyonlarda üretilmiş ZnO:Al filmlerin ışınlamadan önceki optik geçirgenliğinde, Al katkı oranındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.17’ de verilmektedir.



**Şekil 6. 17:** 500°C’ de tavllanmış, ışınlanmamış filmlerin katkı oranına göre geçirgenlik grafiği

Vakum atmosferinde 550<sup>0</sup>C tavlama sıcaklığında tavlanan farklı konsantrasyonlarda üretilmiş ZnO:Al filmlerin ışınlamadan önceki optik geçirgenliğinde, Al katkı oranındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.18' de verilmiştir.



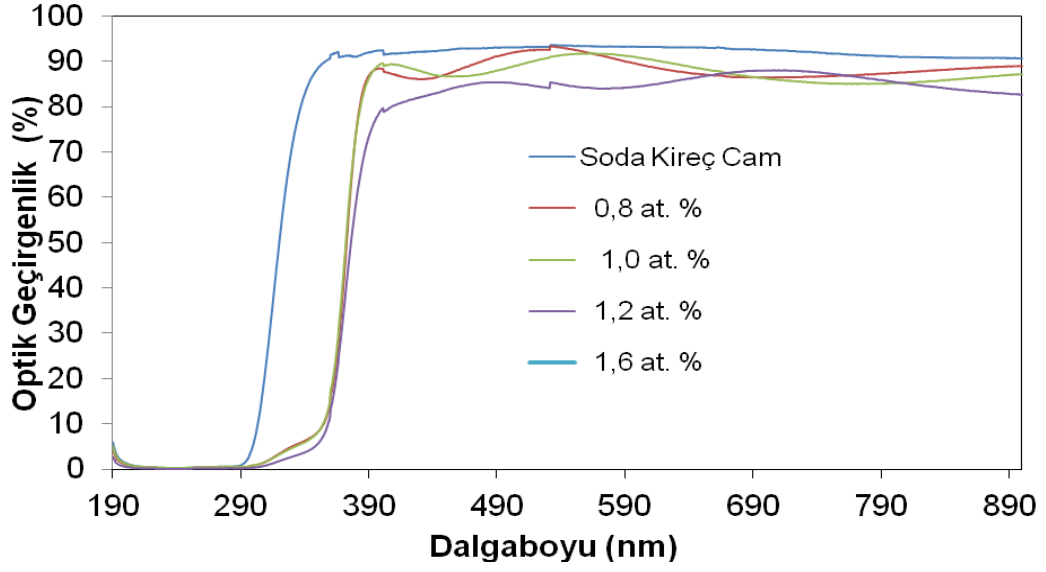
Şekil 6. 18: 550<sup>0</sup>C' de tavllanmış, ışınlanmamış filmlerin katkı oranına göre geçirgenlik grafiği

#### 6.3.1.4 Işınlama işleminden sonra ZnO:Al filmlerin Al konsantrasyonuna bağlı olarak optik geçirgenliğinde oluşan değişimler

Işınlama işleminden sonra vakum atmosferinde 450<sup>0</sup>C tavlama sıcaklığında tavllanmış olan farklı konsantrasyonlarda üretilmiş ZnO:Al filmlerin optik geçirgenliğinde, Al katkı oranındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.19' da verilmektedir. 500<sup>0</sup>C tavlama sıcaklığında tavllanmış olan farklı konsantrasyonlarda üretilmiş ZnO:Al filmlerin optik geçirgenliğinde, Al katkı oranındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.20' de görülmektedir.

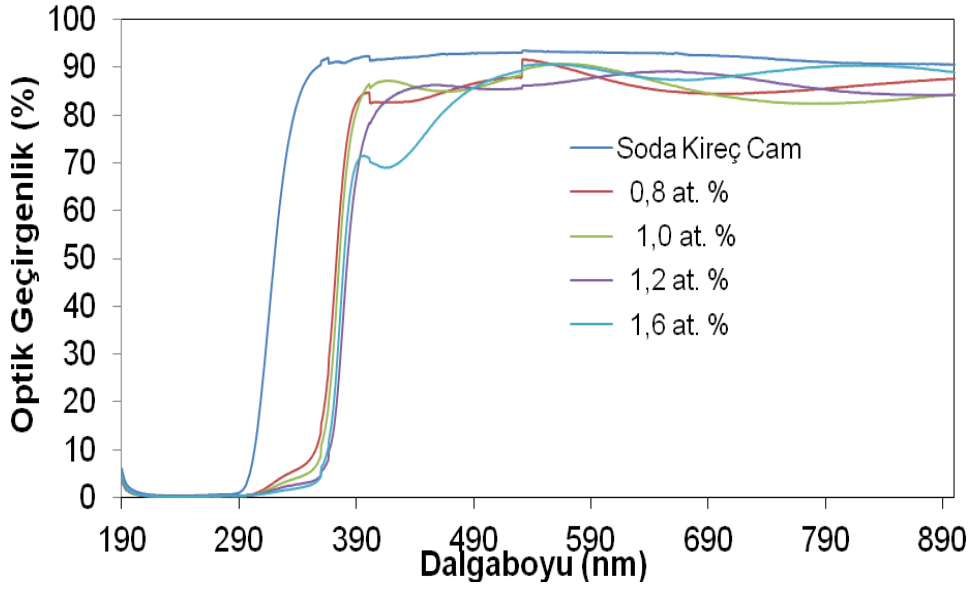


**Işınlanmış, 450 °C Vakum Ortamında Tavlanmış  
Filmlerin Katkı Oranına Göre Geçirgenlik Grafiği**



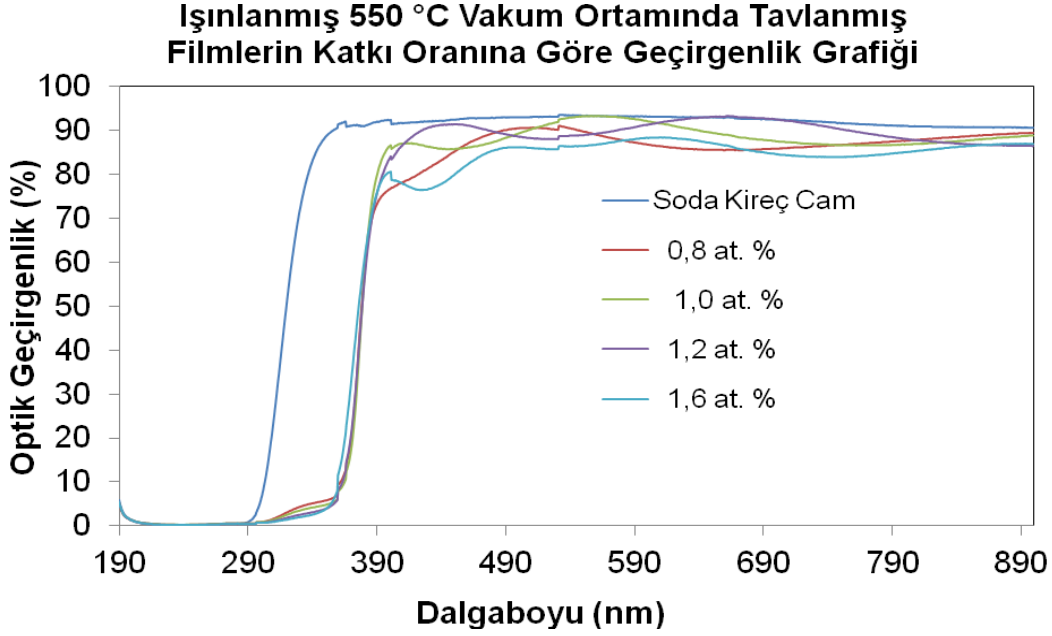
**Şekil 6. 19:** Işınlanmış, 450°C’de tavlanmış filmlerin katkı oranına göre geçirgenlik grafiği

**Işınlanmış 500 °C Vakum Ortamında Tavlanmış  
Filmlerin Katkı Oranına Göre Geçirgenlik Grafiği**



**Şekil 6. 20:** Işınlanmış, 500°C’ de tavlanmış filmlerin katkı oranına göre geçirgenlik grafiği

İşılama işleminden sonra vakum atmosferinde 550<sup>0</sup>C tavlama sıcaklığında tavllanmış olan farklı konsantrasyonlarda üretilmiş ZnO:Al filmlerin optik geçirgenliğinde, Al katkı oranındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.21’ de verilmektedir.



Şekil 6. 21: İşıllanmış, 550<sup>0</sup>C’ de tavllanmış filmlerin katkı oranına göre geçirgenlik grafiği

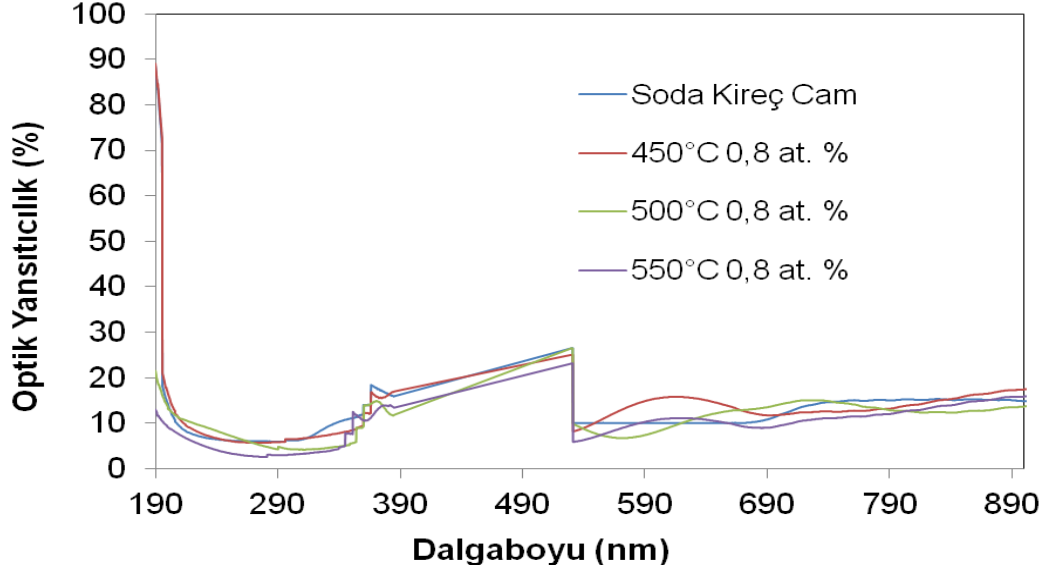
### 6.3.2 Optik yansıtıcılığın incelenmesi

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

#### 6.3.2.1 İşılama işleminden önce ZnO:Al filmlerinin optik yansıtıcılığının tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı olarak değişimi

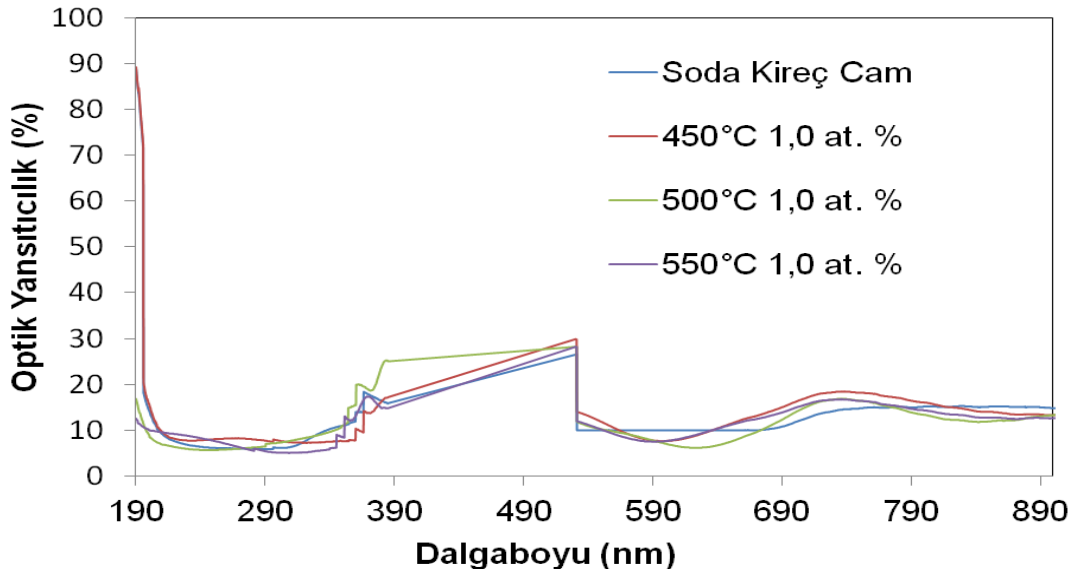
Bu yüksek lisans tezi çalışmasında tavlama sıcaklığına bağlı olarak 190 nm ile 900 nm dalga boyu aralığında optik yansıtıcılık özelliğindeki değişimler incelenmiş olup, Şekil 6.22 – Şekil 6.29 arasındaki grafiklerde verilmektedir % 0,8 Al konsantrasyonunda üretilen ZnO:Al filmlerin işılamadan önceki optik yansıtıcılığında, tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.22’ de görülmektedir. % 1,0 Al konsantrasyonunda üretilen ZnO:Al filmlerin işılamadan önceki optik yansıtıcılığında, tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.23’ te görülmektedir.,

### 0,8 Katkılı Filmlerin Yansıtıcılığının Tavlama Sıcaklığına Göre Değişimi



Şekil 6. 22: Işınlanmamış, % 0,8 katkılı filmlerin yansıtıcılığının tavlama sıcaklığına göre değişimi

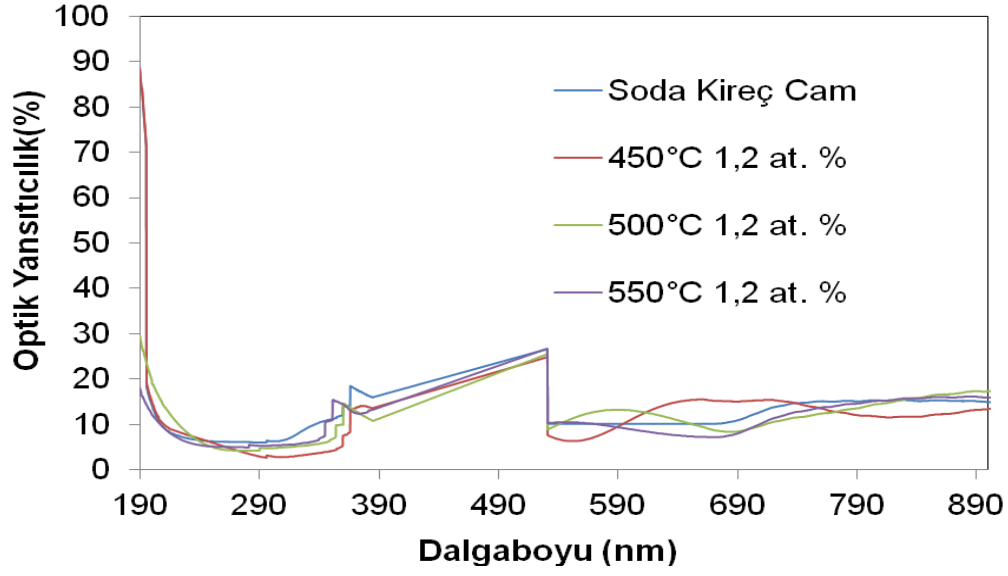
### 1,0 Katkılı Filmlerin Yansıtıcılığının Tavlama Sıcaklığına Göre Değişimi



Şekil 6. 23: Işınlanmamış, % 1,0 katkılı filmlerin yansıtıcılığının tavlama sıcaklığına göre değişimi

% 1,2 Al konsantrasyonunda üretilen ZnO:Al filmlerin ışınlamadan önceki optik yansıtıcılığında, tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.24' te görülmektedir.

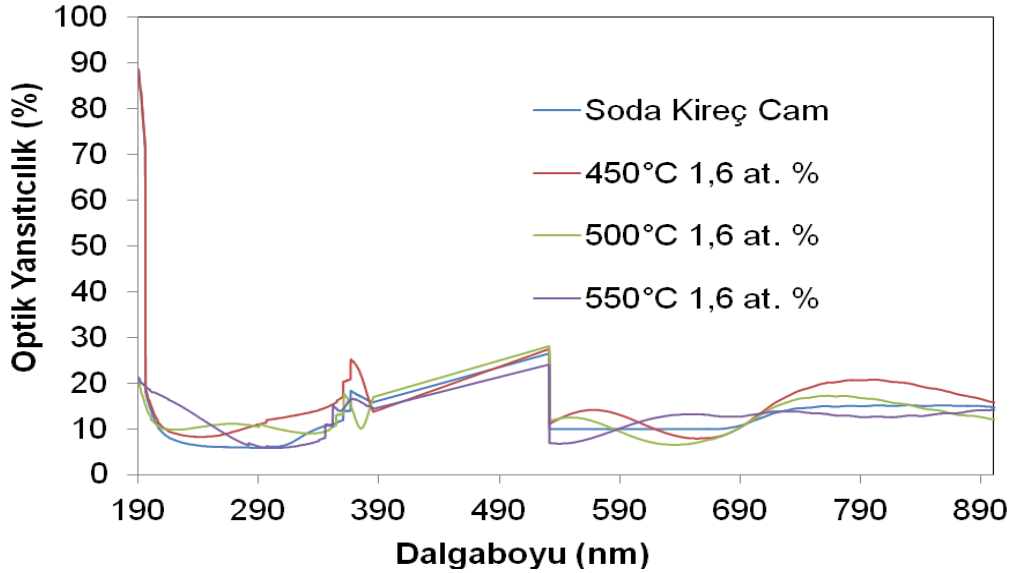
### 1,2 Katkılı Filmlerin Yansıtıcılığının Tavlama Sıcaklığına Göre Değişimi



Şekil 6. 24: Işınlanmamış, % 1,2 katkılı filmlerin yansıtıcılığının tavlama sıcaklığına göre değişimi

% 1,6 Al konsantrasyonunda üretilen ZnO:Al filmlerin ışınlamadan önceki optik yansıtıcılığında, tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.25' te görülmektedir.

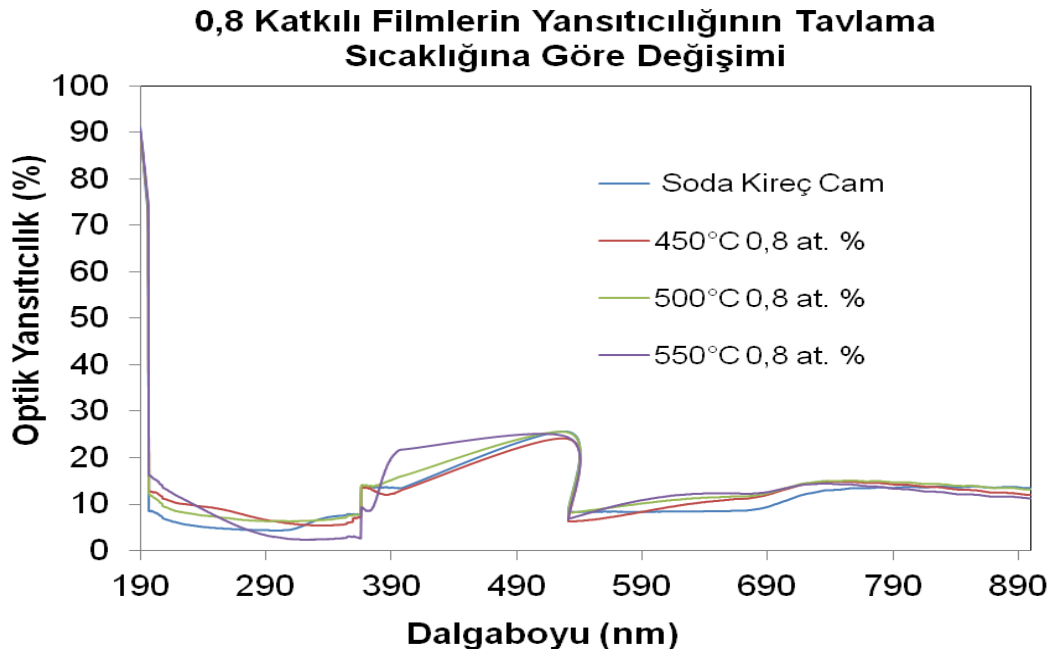
### 1,6 Katkılı Filmlerin Yansıtıcılığının Tavlama Sıcaklığına Göre Değişimi



Şekil 6. 25: Işınlanmamış, % 1,6 katkılı filmlerin yansıtıcılığının tavlama sıcaklığına göre değişimi

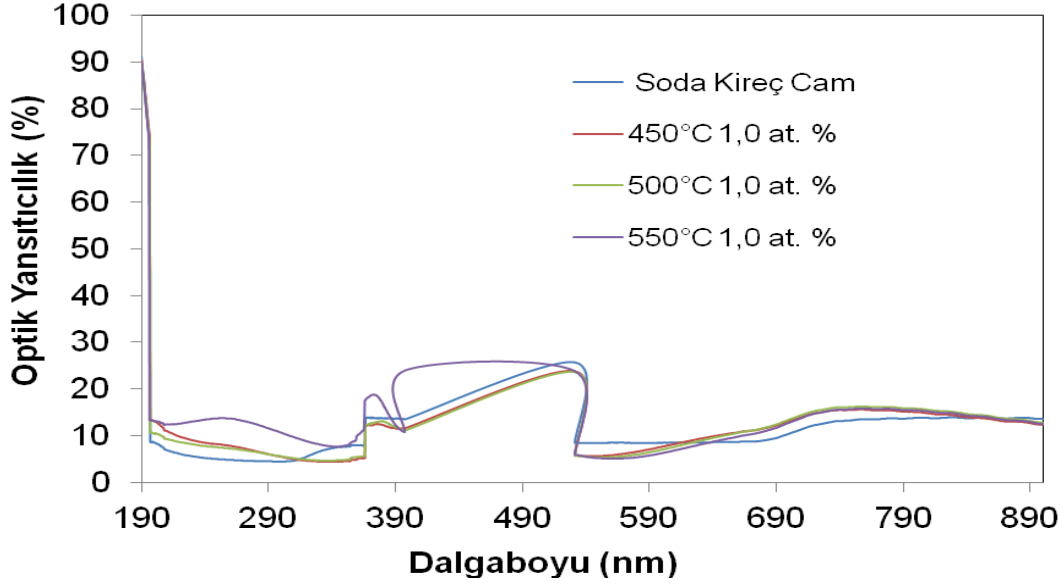
### 6.2.2.2 Işınlama işleminden sonra ZnO:Al filmlerin optik yansıtıcılığının tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı olarak değişimi

Işınlama işleminden sonra % 0,8 Al konsantrasyonunda üretilmiş olan ZnO:Al filmlerin optik yansıtıcılığında, tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.26' da görülmektedir. Işınlama işleminden sonra % 1,0 Al konsantrasyonunda üretilmiş olan ZnO:Al filmlerin optik yansıtıcılığında, tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.27' de görülmektedir.



Şekil 6. 26: Işınlanmış, % 0,8 katkıli filmlerin yansıtıcılığının tavlama sıcaklığına göre değişimi

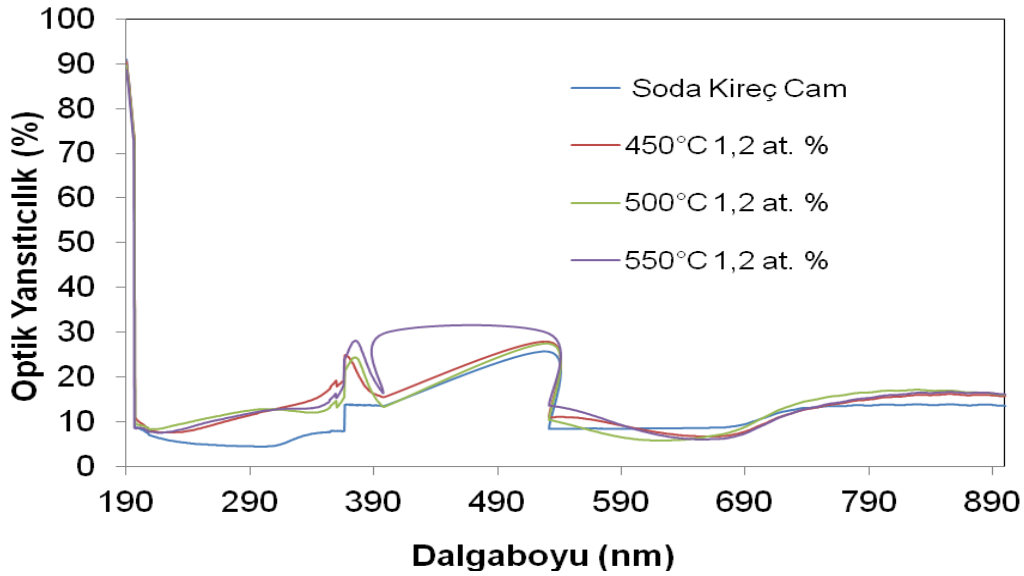
### 1,0 Katkılı Filmlerin Yansıtıcılığının Tavlama Sıcaklığına Göre Değişimi



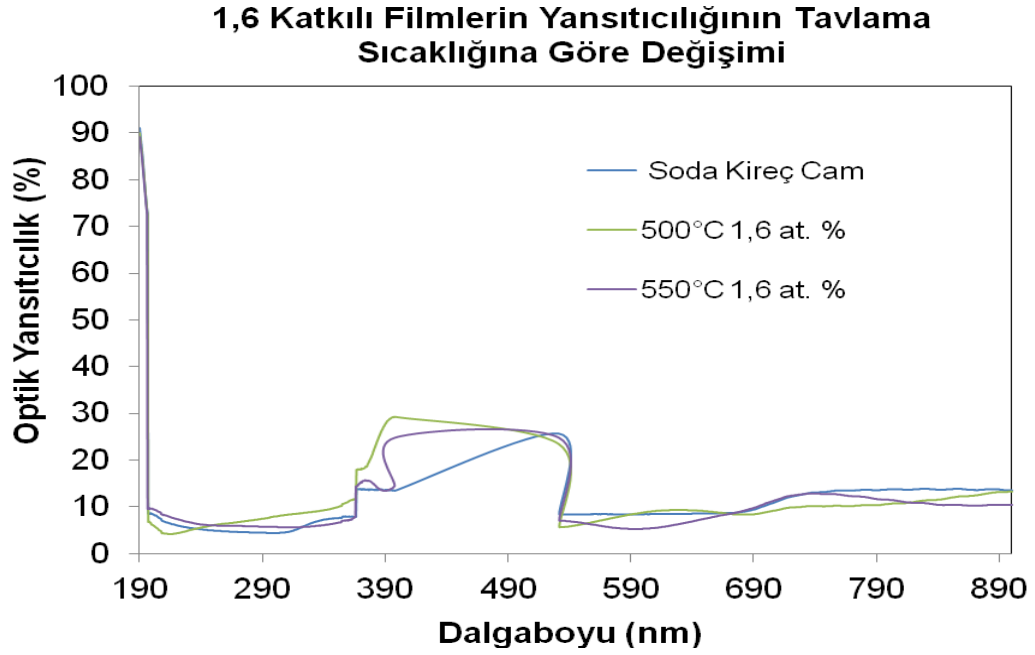
Şekil 6. 27: Işınlanmış, % 1,0 katkılı filmlerin yansıtıcılığının tavlama sıcaklığına göre değişimi

Işınlama işleminden sonra % 1,2 Al konsantrasyonunda üretilmiş olan ZnO:Al filmlerin optik yansıtıcılığında, tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.28’ de görülmektedir. % 1,6 Al konsantrasyonunda üretilmiş olan ZnO:Al filmlerin optik yansıtıcılığında, tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.29’ da görülmektedir.

### 1,2 Katkılı Filmlerin Yansıtıcılığının Tavlama Sıcaklığına Göre Değişimi



Şekil 6. 28: Işınlanmış, % 1,2 katkılı filmlerin yansıtıcılığının tavlama sıcaklığına göre değişimi

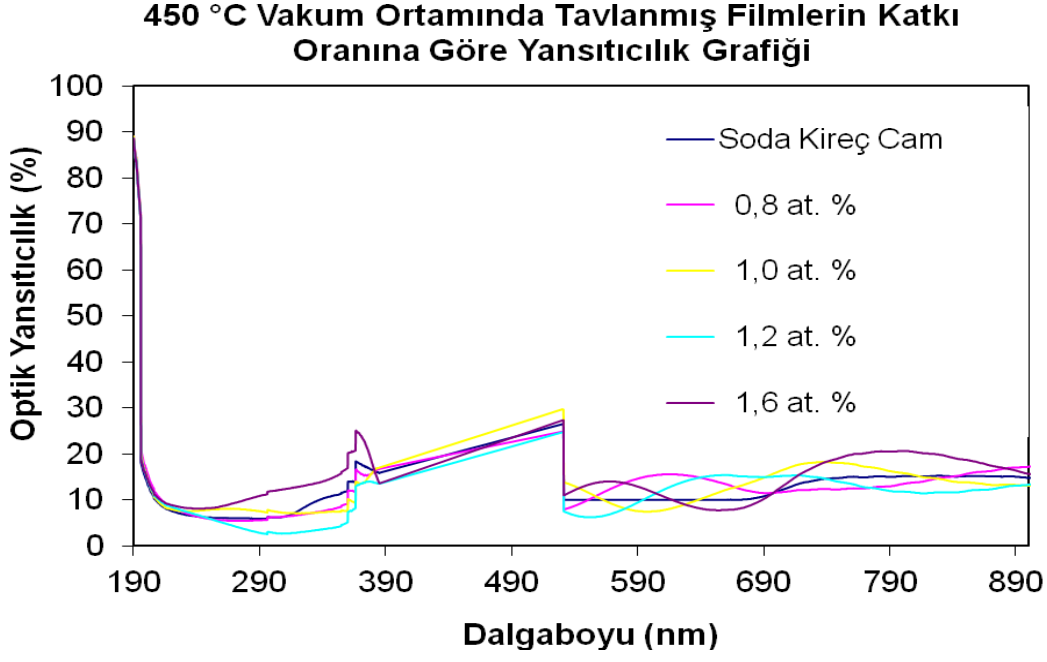


**Şekil 6. 29:** Işınlanmış, % 1,6 katkılı filmlerin yansıtıcılığının tavlama sıcaklığına göre değişimi

### 6.3.2.2 Işınlama işleminden önce ZnO:Al filmlerinin optik yansıtıcılığında Al konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak oluşan değişimler

Bu yüksek lisans tezi kapsamında, Al katkılı ZnO ince filmin optik yansıtma özelliğinde tavlama sıcaklığının etkili olduğu tespit edilmiştir. ZnO:Al yapının optik yansıtıcılığı, 190 nm ile 900 nm dalgaboyu arasında, 450°C - 550°C aralığındaki tavlama sıcaklıklarında incelenmiştir. Sonuçlar Şekil 6.30 ile Şekil 6.35 arasındaki grafiklerde verilmiştir.

Vakum atmosferinde 450°C tavlama sıcaklığında tavlanan farklı konsantrasyonlarda üretilmiş ZnO:Al filmlerin ışınlamadan önceki optik yansıtıcılığında, Al katkı oranındaki artışa bağlı olarak oluşan değişimleri, Şekil 6.30' da görülmektedir.

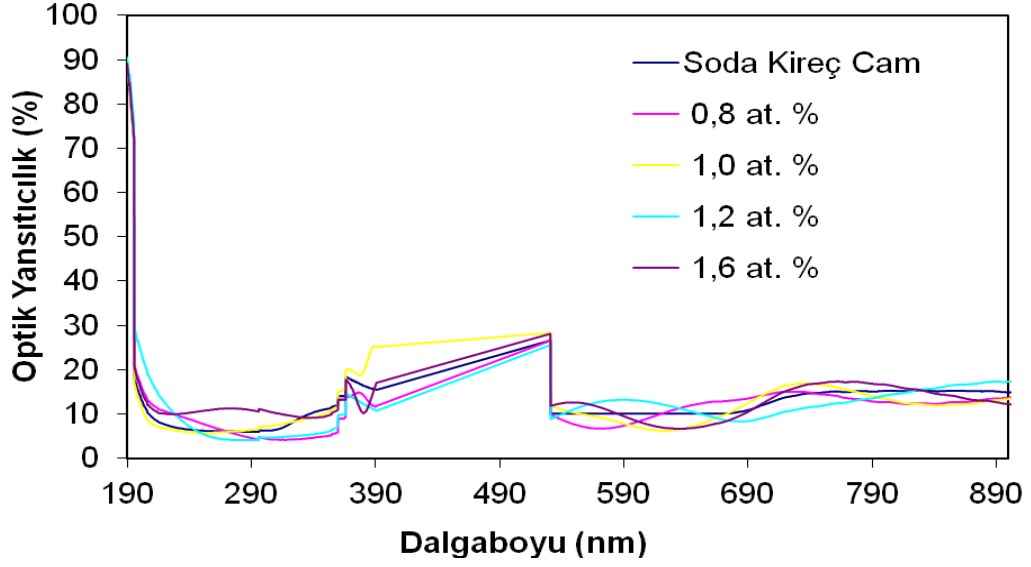


**Şekil 6. 30:** Işınlanmamış, 450<sup>0</sup>C’ de tavlanmış filmlerin katkı oranına göre yansıtıcılık grafiği

Vakum atmosferinde 500<sup>0</sup>C tavlama sıcaklığında tavlanan farklı konsantrasyonlarda üretilmiş ZnO:Al filmlerin ışınlamadan önceki optik yansıtıcılığında, Al katkı oranındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.31’ de görülmektedir. 550<sup>0</sup>C tavlama sıcaklığında tavlanan farklı konsantrasyonlarda üretilmiş ZnO:Al filmlerin ışınlamadan önceki optik yansıtıcılığında, Al katkı oranındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.32’ de görülmektedir

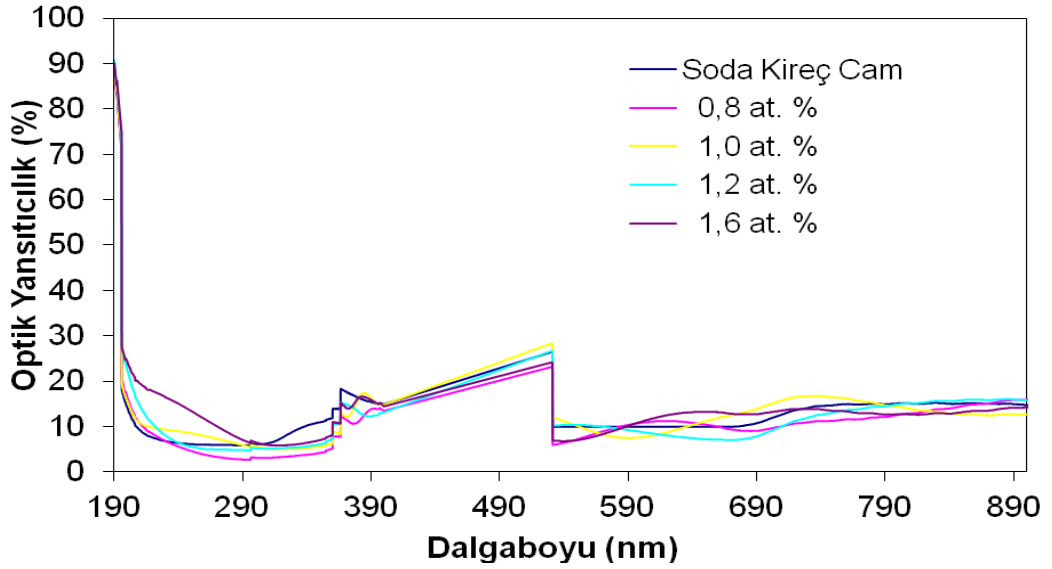


### 500 °C Vakum Ortamında Tavlanmış Filmlerin Katkı Oranına Göre Yansıtıcılık Grafiği



Şekil 6. 31: Işınlanmamış, 500<sup>0</sup>C’ de tavlanmış filmlerin katkı oranına göre yansıtıcılık grafiği

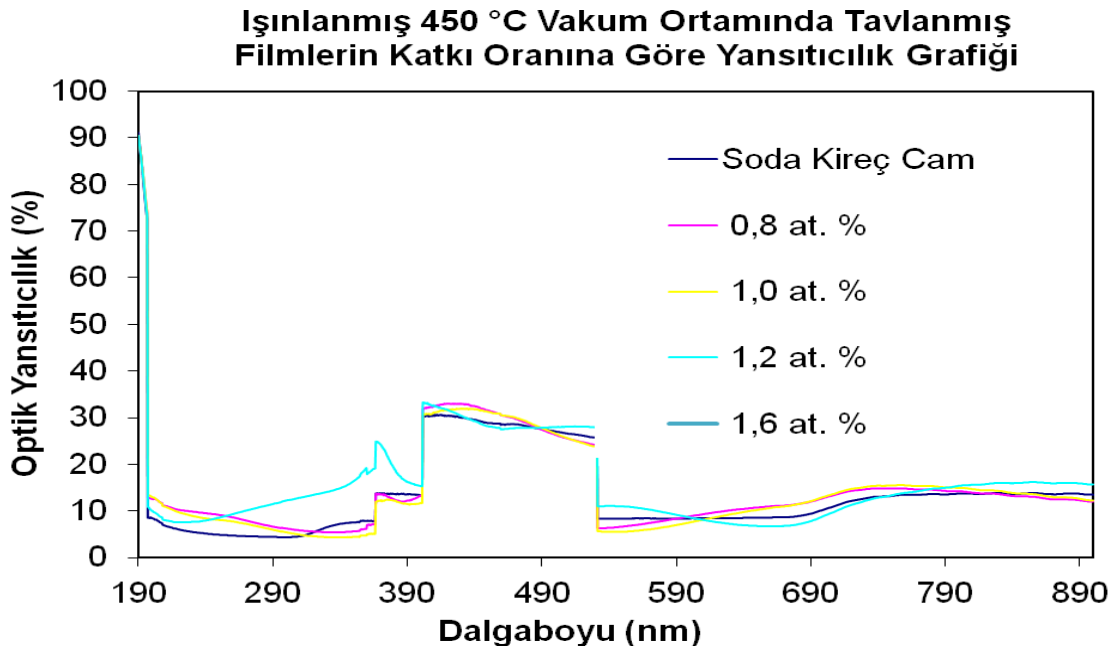
### 550 °C Vakum Ortamında Tavlanmış Filmlerin Katkı Oranına Göre Yansıtıcılık Grafiği



Şekil 6. 32: Işınlanmamış, 550<sup>0</sup>C’ de tavlanmış filmlerin katkı oranına göre yansıtıcılık grafiği

### 6.2.3.1 Işınlama işleminden sonra ZnO:Al filmlerin optik yansıtıcılığında Al konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak oluşan değişimler

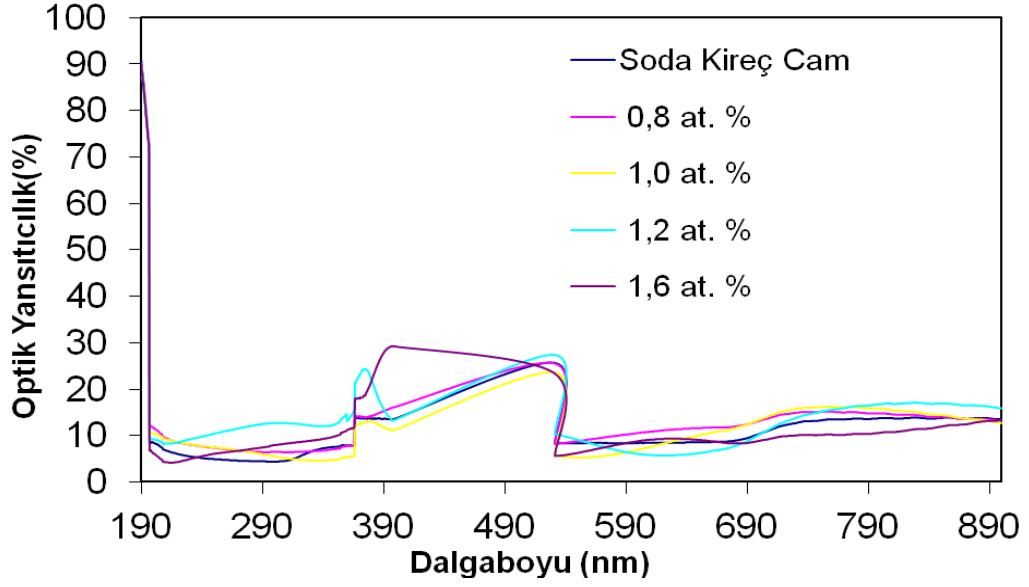
Işınlama işleminden sonra vakum atmosferinde 450<sup>0</sup>C tavlama sıcaklığında tavllanmış olan farklı konsantrasyonlarda üretilmiş ZnO:Al filmlerin optik yansıtıcılığında, Al katkı oranındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.33' te görülmektedir.



Şekil 6. 33: Işınlanmış, 450<sup>0</sup>C' de tavllanmış filmlerin katkı oranına göre yansıtıcılık grafiği

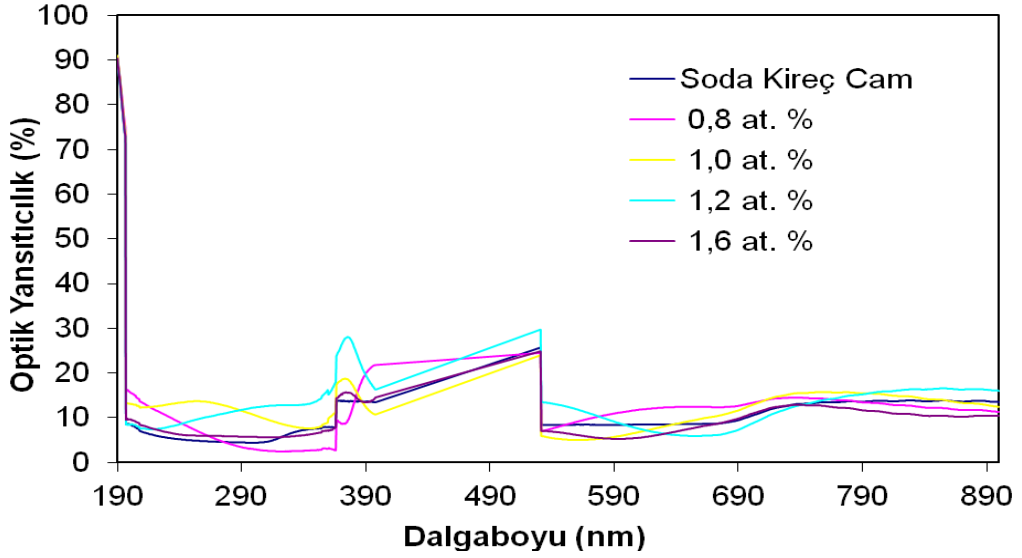
Işınlama işleminden sonra vakum atmosferinde 500<sup>0</sup>C tavlama sıcaklığında tavllanmış olan farklı konsantrasyonlarda üretilmiş ZnO:Al filmlerin optik yansıtıcılığında, Al katkı oranındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.34' te görülmektedir. 550<sup>0</sup>C tavlama sıcaklığında tavllanmış olan farklı konsantrasyonlarda üretilmiş ZnO:Al filmlerin optik yansıtıcılığında, Al katkı oranındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.35' te görülmektedir.

**Işınlanmış 500 °C Vakum Ortamında Tavlanmış Filmlerin Katkı Oranına Göre Yansıtıcılık Grafiği**



**Şekil 6. 34:** Işınlanmış, 500<sup>0</sup>C’ de tavlanmış filmlerin katkı oranına göre yansıtıcılık grafiği

**Işınlanmış 550 °C Vakum Ortamında Tavlanmış Filmlerin Katkı Oranına Göre Yansıtıcılık Grafiği**



**Şekil 6. 35:** Işınlanmış, 550<sup>0</sup>C’ de tavlanmış filmlerin katkı oranına göre yansıtıcılık grafiği

### 6.3.3 Dielektrik sabitlerinin incelenmesi

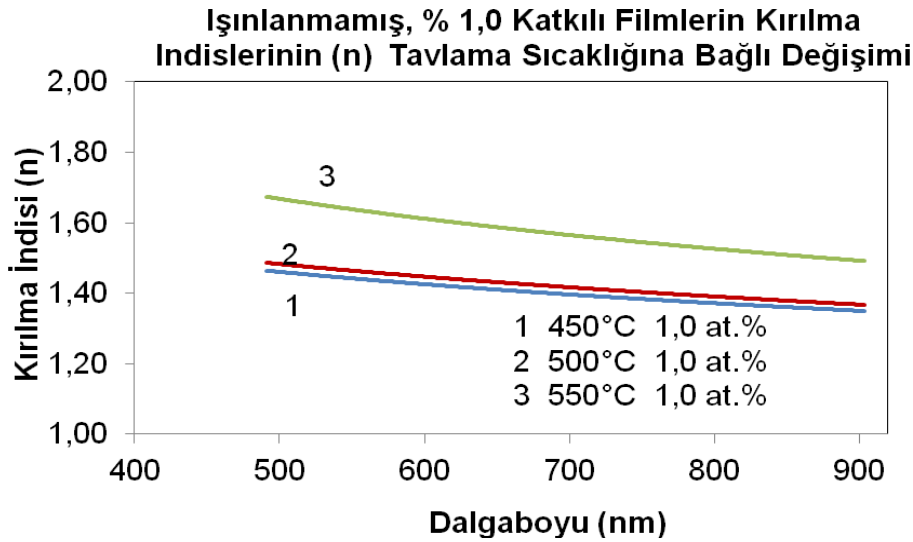
#### 6.3.3.1 Kırılma indislerinin incelenmesi

Bu yüksek lisans tezi kapsamında, Al katkılı ZnO ince filmlerinin kırılma indislerinde tavlama sıcaklığının, katkı oranının ve nötronlarla ışınlanmanın etkili olduğu tespit edilmiştir.

#### **Işınlama işleminden önce ZnO:Al filmlerin kırılma indislerinin tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı olarak değişimi**

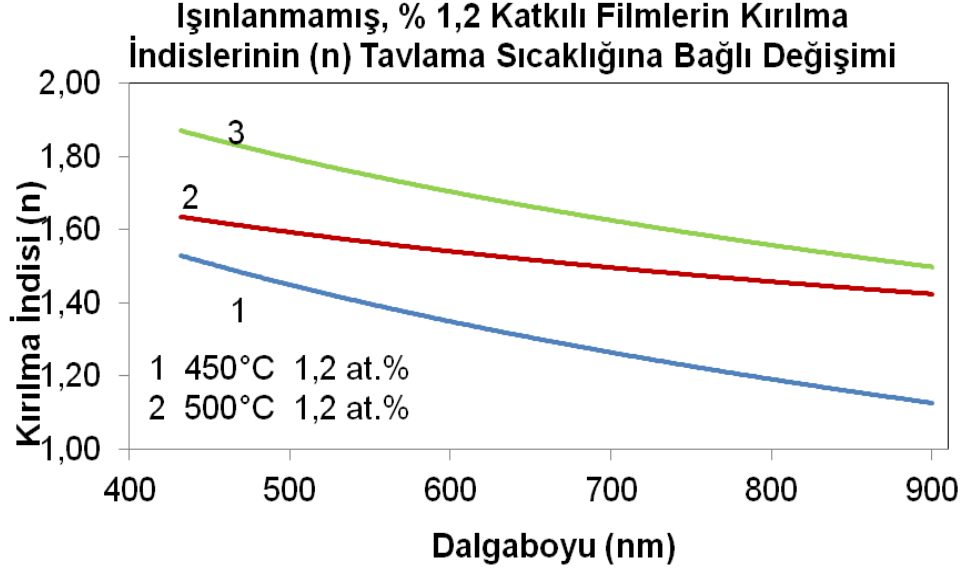
ZnO:Al yapının kırılma indisi ve sönüm katsayısı, 190 nm ile 900 nm dalgaboyu arasında, 450°C – 550°C aralığındaki tavlama sıcaklıklarında değişimler olduğu tespit edilmiştir (Baydoğan, Özdemir ve diğ., 2013). Tavlama sıcaklığına bağlı olarak kırılma indisi değişimleri Şekil 6.36 ile Şekil 6.39 arasındaki grafiklerde verilmiştir.

% 1,0 Al konsantrasyonunda üretilen ZnO:Al filmlerin ışınlamadan önceki kırılma indisinde, tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.36’ da görülmektedir.



**Şekil 6. 36:** Işınlanmamış, % 1,0 katkılı filmlerin kırılma indislerinin tavlama sıcaklığına bağlı değişimi

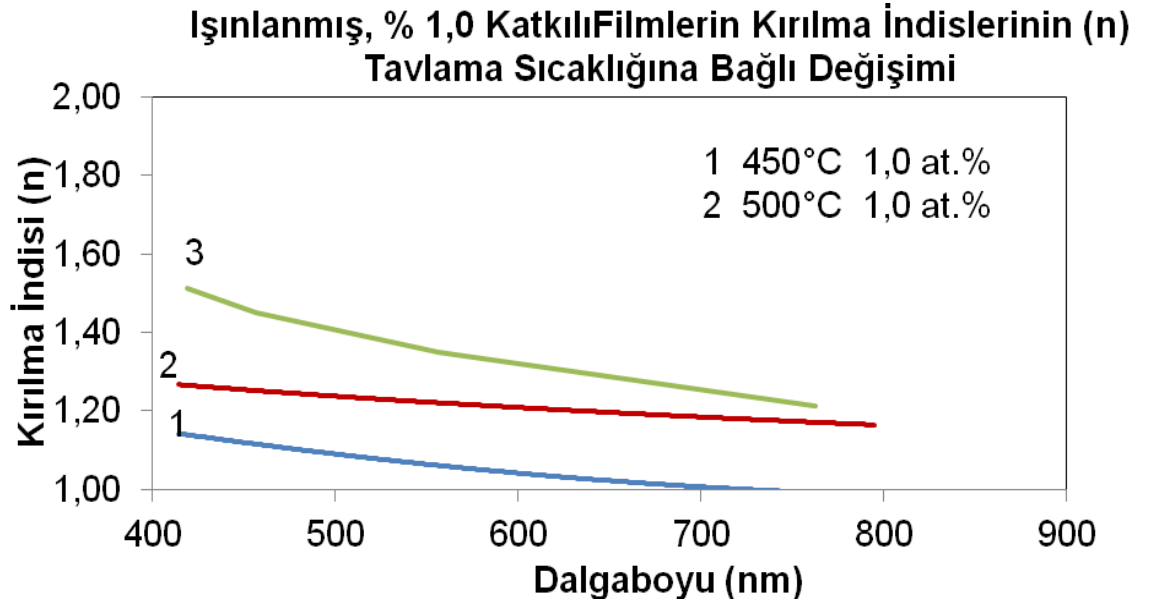
% 1,2 Al konsantrasyonunda üretilen ZnO:Al filmlerin ışınlamadan önceki kırılma indisinde, tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.37’ de görülmektedir.



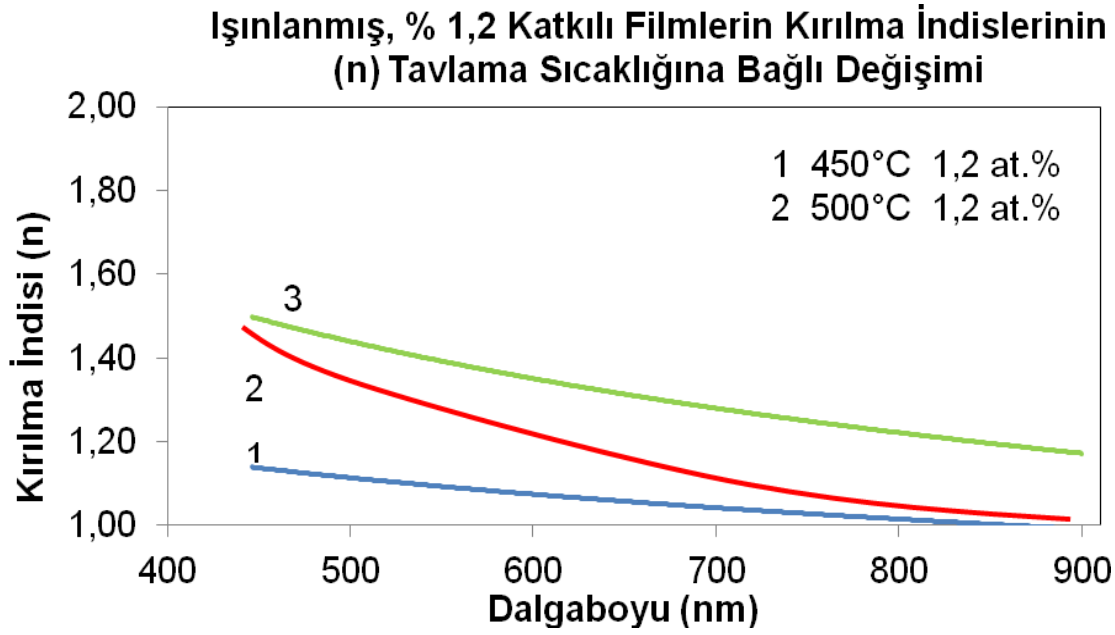
Şekil 6. 37: İşinlanmamış, % 1,2 katkıli filmlerin kırılma indislerinin tavlama sıcaklığına bağlı değişimi

**İşinlama işleminden sonra ZnO:Al filmlerin kırılma indislerinin tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı değişimi**

İşinlama işleminden sonra % 1,0 Al konsantrasyonunda üretilmiş olan ZnO:Al filmlerin kırılma indisinde, tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.38’ de görülmektedir. % 1,2 Al konsantrasyonunda üretilmiş olan ZnO:Al filmlerin kırılma indisinde, tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.39’ da görülmektedir.



Şekil 6. 38: İşinlanmış, % 1,0 katkıli filmlerin kırılma indislerinin tavlama sıcaklığına bağlı değişimi

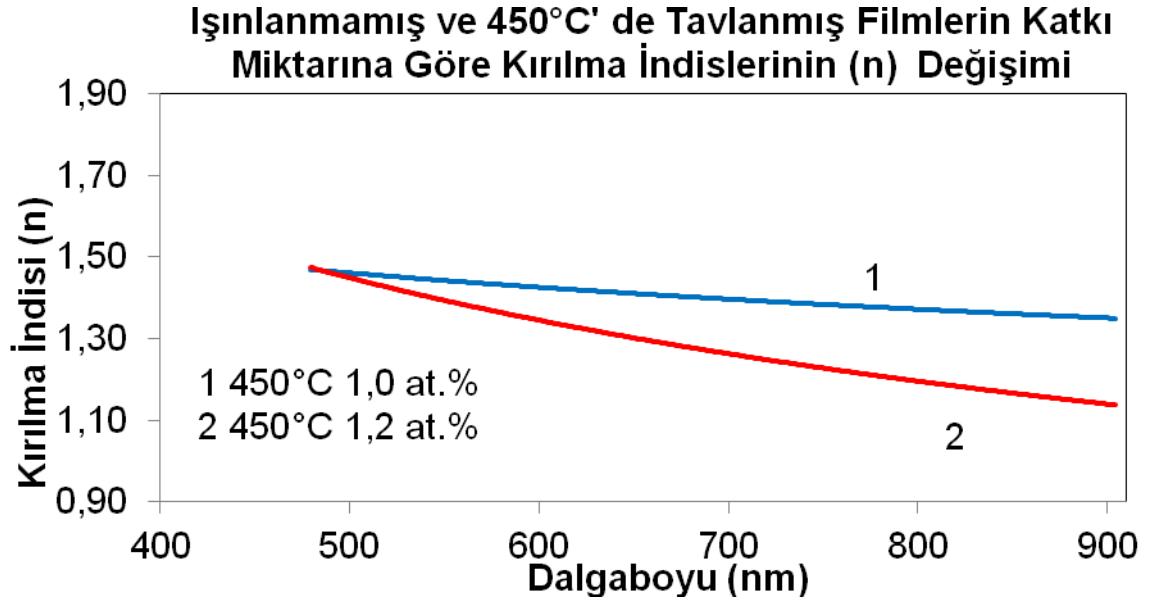


**Şekil 6. 39:** Işınlanmış, % 1,2 katkıli filmlerin kırılma indislerinin tavlama sıcaklığına bağlı değişimi

#### **Işınlama işleminden önce ZnO:Al filmlerin Al konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak kırılma indisinde oluşan değişimler**

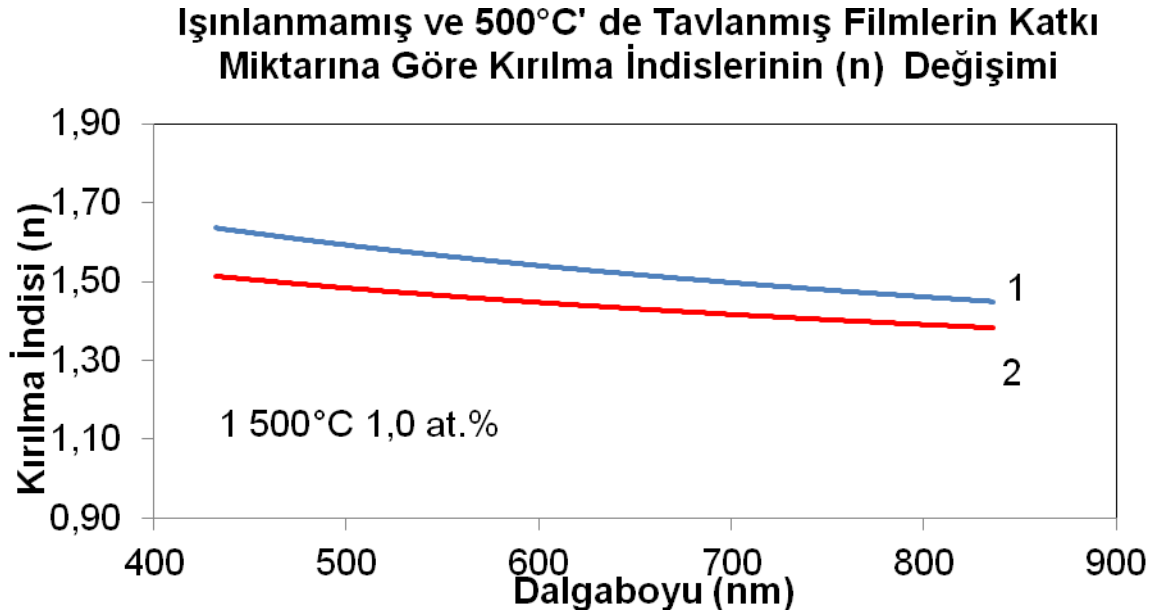
Bu yüksek lisans tez çalışmasında ZnO:Al yapının kırılma indisi, 190 nm ile 900 nm dalgaboyu arasında, 450°C - 550°C aralığındaki tavlama sıcaklıklarında incelenmiştir ve kırılma indislerinin katkı oranına göre değiştiği görülmüştür. Sonuçlar Şekil 6.40 ile Şekil 6.47 arasındaki grafiklerde gösterilmiş olup ilk üç grafikte ışınlanmamış filmlere ait sonuçlar sonraki üç grafikte ise ışınlanmış filmlere ait sonuçlar verilmiştir.

Vakum atmosferinde 450<sup>0</sup>C tavlama sıcaklığında tavlanan farklı konsantrasyonlarda üretilmiş ZnO:Al filmlerin ışınlamadan önceki kırılma indisinde, Al katkı oranındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.40' ta görülmektedir.

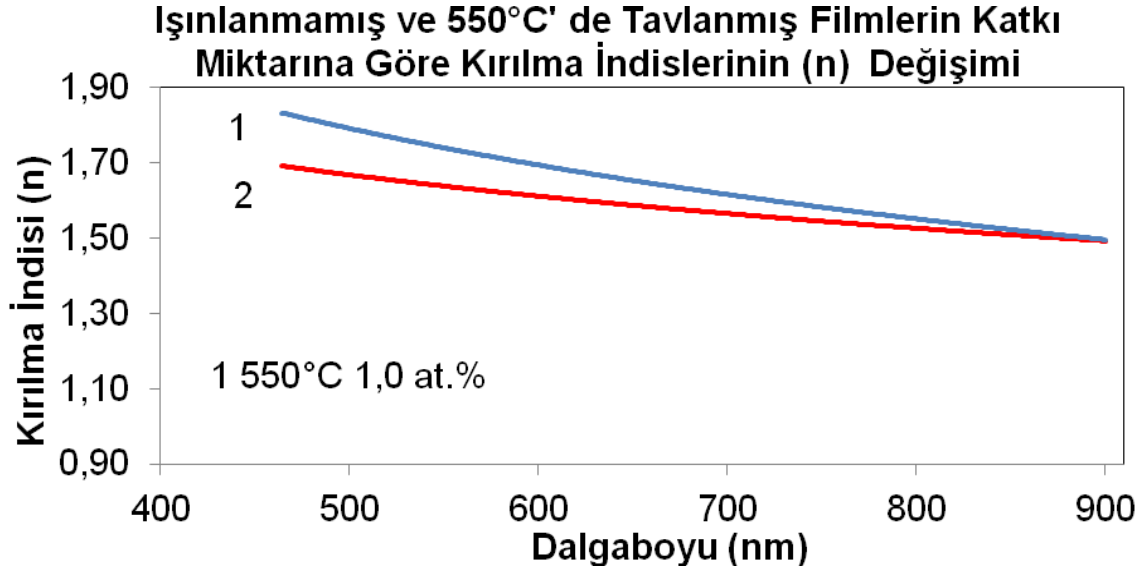


**Şekil 6. 40:** Işınlanmamış ve 450°C' de tavlanmış filmlerin kırılma indislerinin katkı oranına göre değişimi

500°C tavlama sıcaklığında tavlanan farklı konsantrasyonlarda üretilmiş ZnO:Al filmlerin ışınlamadan önceki kırılma indisinde, Al katkı oranındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.41' de görülmektedir. 550°C tavlama sıcaklığında tavlanan farklı konsantrasyonlarda üretilmiş ZnO:Al filmlerin ışınlamadan önceki kırılma indisinde, Al katkı oranındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.42' de görülmektedir.



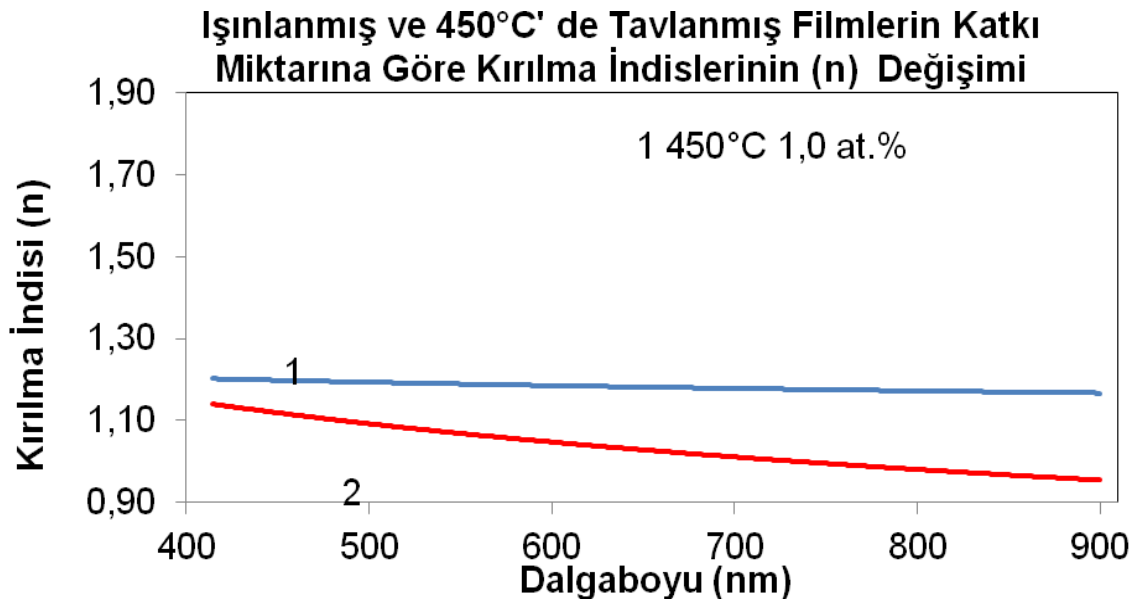
**Şekil 6. 41:** Işınlanmamış ve 500°C' de tavlanmış filmlerin kırılma indislerinin katkı oranına göre değişimi



Şekil 6. 42: Işınlanmamış ve 550°C' de tavlanmış filmlerin kırılma indislerinin katkı oranına göre değişimi

**Işınlama işleminden sonra ZnO:Al filmlerin Al konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak kırılma indisinde oluşan değişimler**

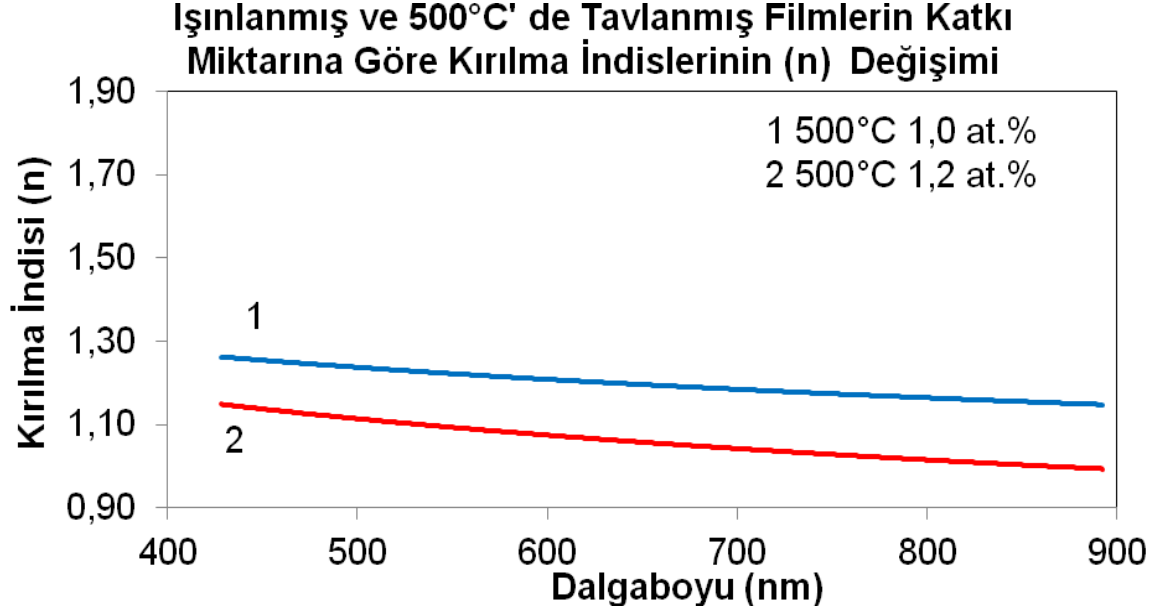
Işınlama işleminden sonra vakum atmosferinde 450°C tavlama sıcaklığında tavlanmış olan farklı konsantrasyonlarda üretilmiş ZnO:Al filmlerin kırılma indisinde, Al katkı oranındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.43' de görülmektedir.



Şekil 6. 43: Işınlanmış ve 450°C' de tavlanmış filmlerin kırılma indislerinin katkı oranına göre değişimi

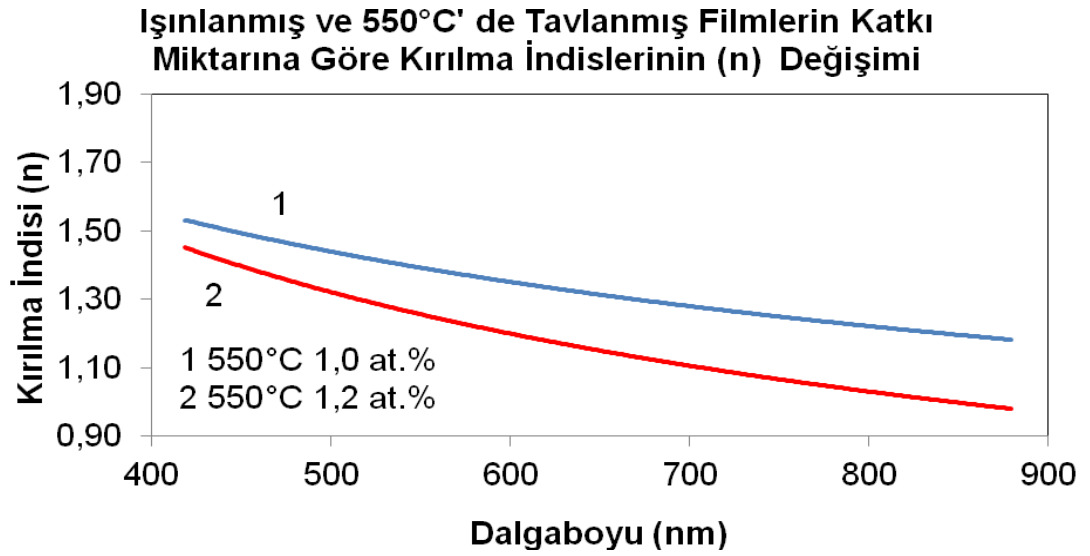


500°C tavlama sıcaklığında tavllanmış olan farklı konsantrasyonlarda üretilmiş ZnO:Al filmlerin kırılma indisinde, Al katkı oranındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.44' de görülmektedir.



**Şekil 6. 44:** Işınlanmış ve 500°C' de tavllanmış filmlerin kırılma indislerinin katkı oranına göre değişimi

Işınlama işleminden sonra vakum atmosferinde 550°C tavlama sıcaklığında tavllanmış olan farklı konsantrasyonlarda üretilmiş ZnO:Al filmlerin kırılma indisinde, Al katkı oranındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.45' te görülmektedir.



**Şekil 6. 45:** Işınlanmış ve 550°C' de tavllanmış filmlerin kırılma indislerinin katkı oranına göre değişimi

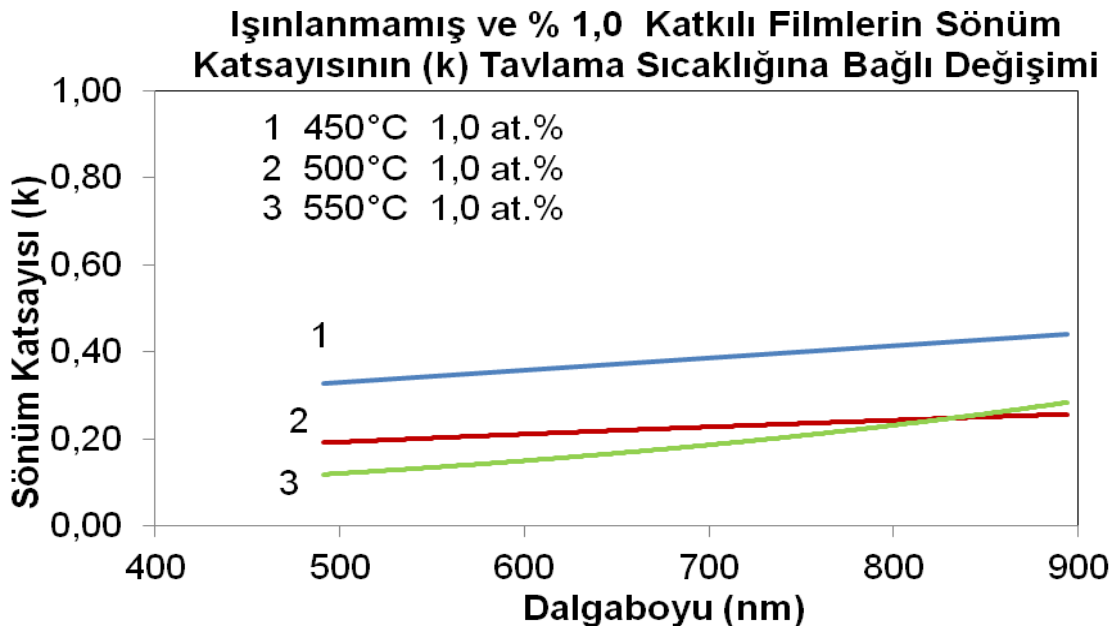
### 6.3.3.2 Sönüm katsayısının incelenmesi

Bu yüksek lisans tez çalışmasında ZnO:Al yapının sönüm katsayısı, 190 nm ile 900 nm dalgaboyu arasında, vakum ortamında 450°C - 550°C aralığındaki tavlama sıcaklıklarında incelenmiştir. Önce tavlama sıcaklığına bağlı olarak sönüm katsayısının değişimi, sonra katkı oranına göre sönüm katsayısının değişimi ve son olarak da ışınlama durumuna göre sönüm katsayısındaki değişimler incelenmiştir.

#### **Işınlama işleminden önce ZnO:Al filmlerin sönüm katsayısının tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı olarak değişimi**

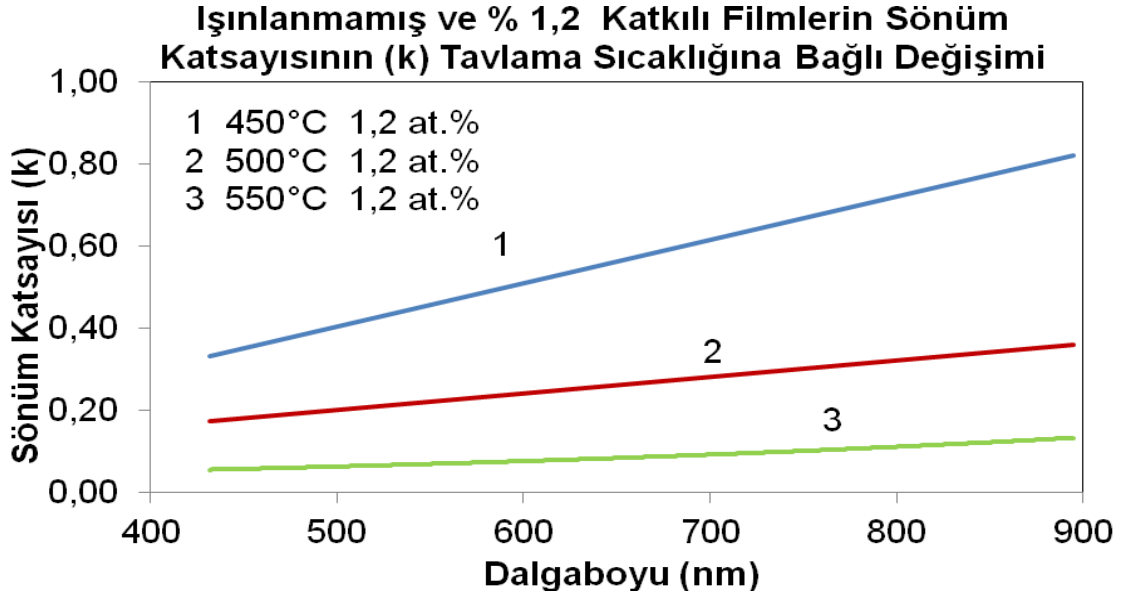
Bu yüksek lisans tez çalışmasında ZnO:Al yapının sönüm katsayısı, 190 nm ile 900 nm dalgaboyu arasında, 450°C - 550°C aralığındaki tavlama sıcaklıklarında incelenmiştir ve sönüm katsayısının tavlama sıcaklığına bağlı olarak değiştiği görülmüş olup sonuçlar Şekil 6.46 ile Şekil 6.49 arasında verilmiştir

% 1,0 Al konsantrasyonunda üretilen ZnO:Al filmlerin ışınlamadan önceki sönüm katsayısında, tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.46' da görülmektedir..



**Şekil 6. 46:** Işınlanmamış, % 1,0 katkıli filmlerin sönüm katsayılarının tavlama sıcaklığına göre değişimi

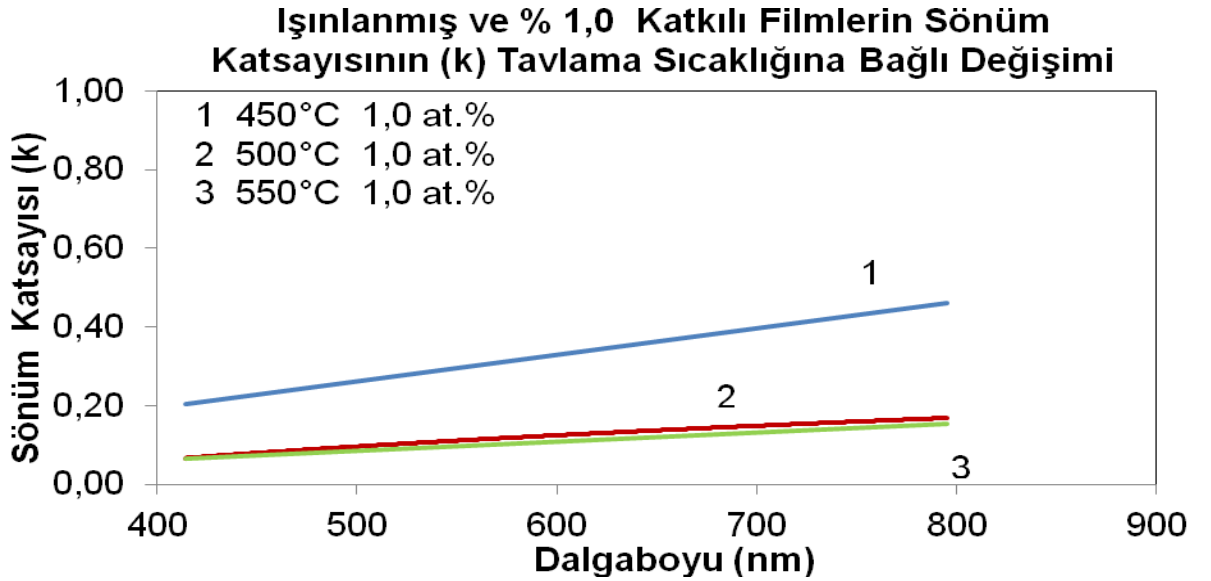
% 1,2 Al konsantrasyonunda üretilen ZnO:Al filmlerin ışınlamadan önceki sönüm katsayısında, tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.47' de görülmektedir



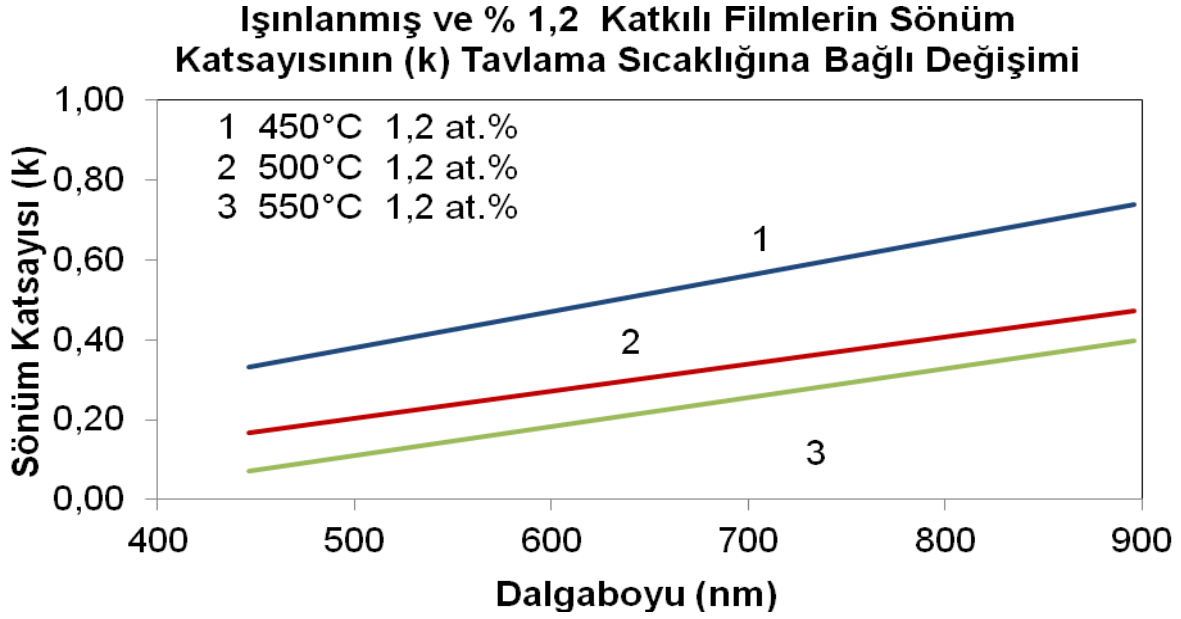
Şekil 6. 47: İşinlanmamış, % 1,2 katkıli filmlerin sönüm katsayılarının tavlama sıcaklığına göre değişimi

**İşinlama işleminden sonra ZnO:Al filmlerin sönüm katsayısının tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı olarak değişimi**

İşinlama işleminden sonra % 1,0 Al konsantrasyonunda üretilmiş olan ZnO:Al filmlerin sönüm katsayısında, tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.48’ de görülmektedir. % 1,2 Al konsantrasyonunda üretilmiş olan ZnO:Al filmlerin sönüm katsayısında, tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.49’ da görülmektedir.



Şekil 6. 48: İşinlanmış, % 1,0 katkıli filmlerin sönüm katsayılarının tavlama sıcaklığına göre değişimi



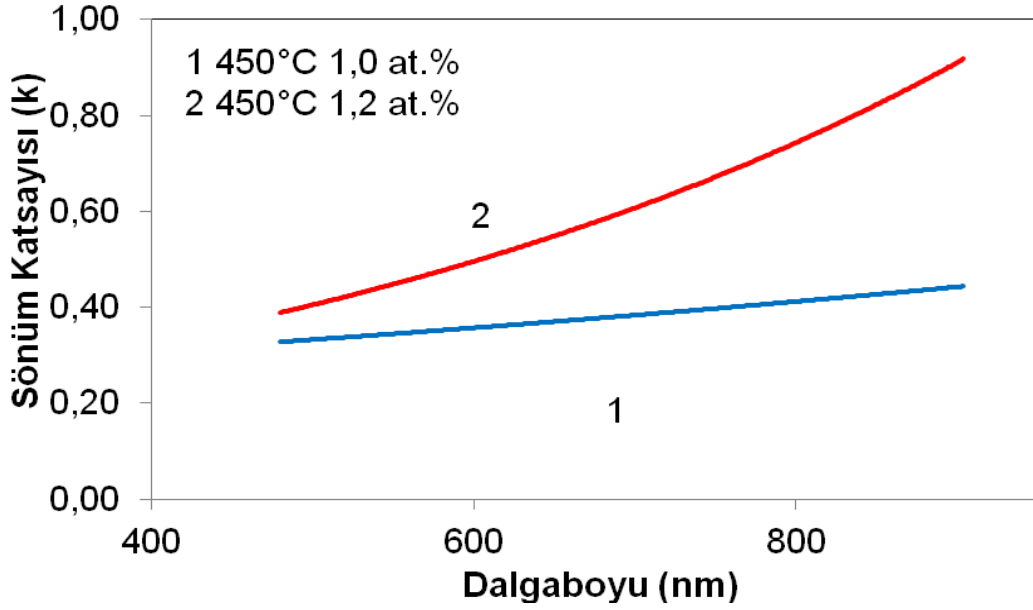
**Şekil 6. 49:** Işınlanmış, % 1,2 katkıli filmlerin sönüm katsayılarının tavlama sıcaklığına göre değişimi

#### **Işınlama işleminden önce ZnO:Al filmlerin Al konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak sönüm katsayısında oluşan değişimler**

Bu yüksek lisans tez çalışmasında ZnO:Al yapının sönüm katsayısı, 190 nm ile 900 nm dalgaboyu arasında, 450°C - 550°C aralığındaki tavlama sıcaklıklarında incelenmiştir ve sönüm katsayısının katkı oranına bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Sonuçlar Şekil 6.50 ile Şekil 6.55 arasında gösterilmiştir. Özetlemek gerekirse farklı katkı oranlarında Al kullanılarak farklı sönüm katsayılarına sahip ZnO:Al filmlerinin üretilmesi mümkün olmaktadır.

Vakum atmosferinde 450°C tavlama sıcaklığında tavlama yapılan farklı konsantrasyonlarda üretilmiş ZnO:Al filmlerin ışınlamadan önceki sönüm katsayısında, Al katkı oranındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.50' de görülmektedir.

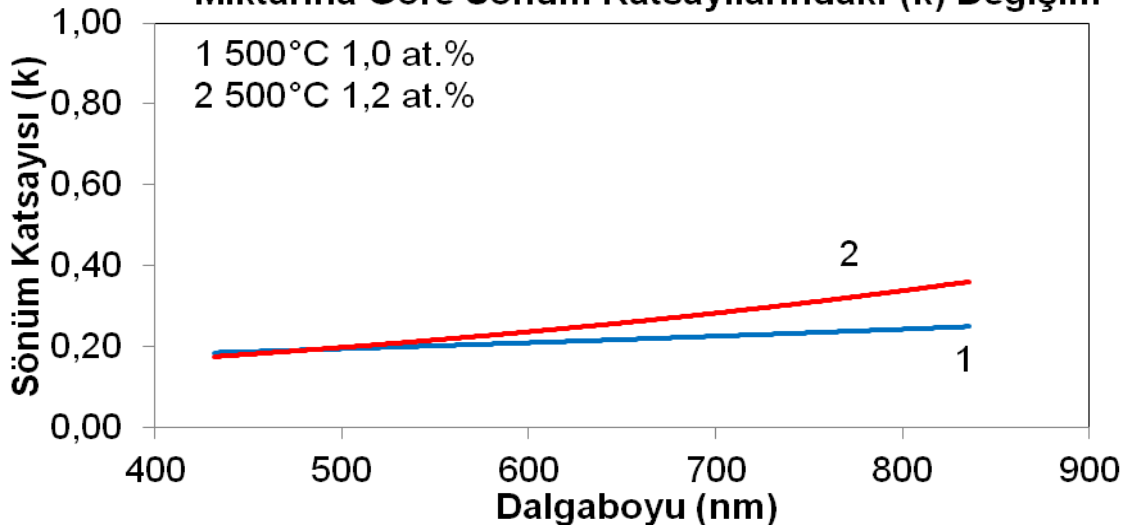
### Işınlanmamış ve 450°C' de Tavlanmış Filmlerin Katkı Miktarına Göre Sönüm Katsayılarındaki (k) Değişim



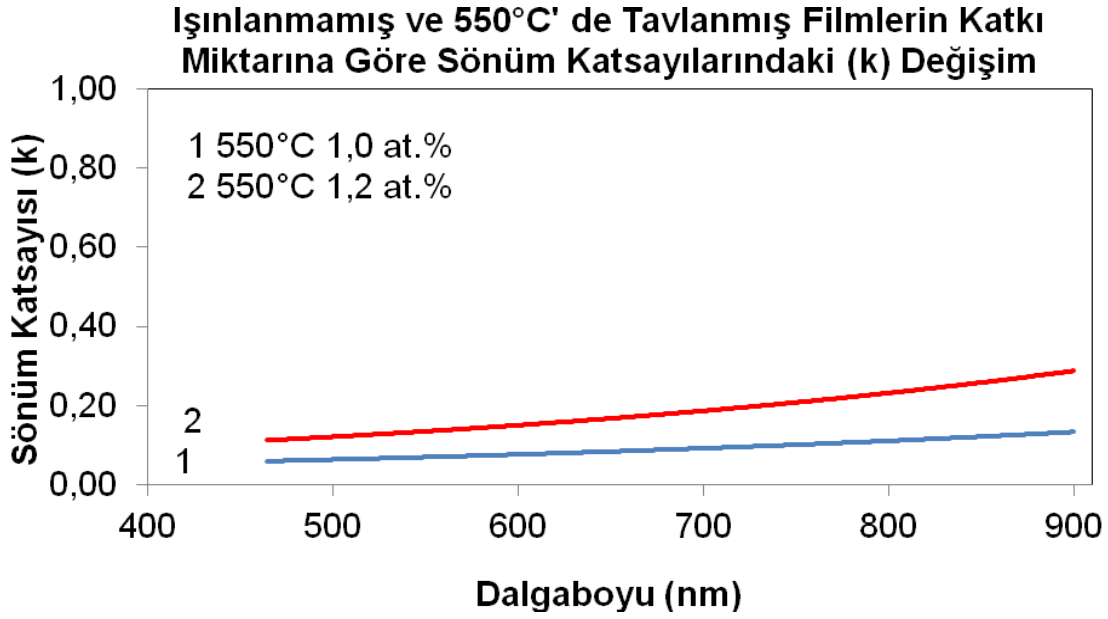
Şekil 6. 50: Işınlanmamış, 450°C' de tavlanmış filmlerin katkı oranına göre sönüm katsayılarının değişimi

Vakum atmosferinde 500°C tavlama sıcaklığında tavlanan farklı konsantrasyonlarda üretilmiş ZnO:Al filmlerin ışınlamadan önceki sönüm katsayısında, Al katkı oranındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.51' te görülmektedir. 550°C tavlama sıcaklığında tavlanan farklı konsantrasyonlarda üretilmiş ZnO:Al filmlerin ışınlamadan önceki sönüm katsayısında, Al katkı oranındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.52' de görülmektedir.

### Işınlanmamış ve 500°C de Tavlanmış Filmlerin Katkı Miktarına Göre Sönüm Katsayılarındaki (k) Değişim



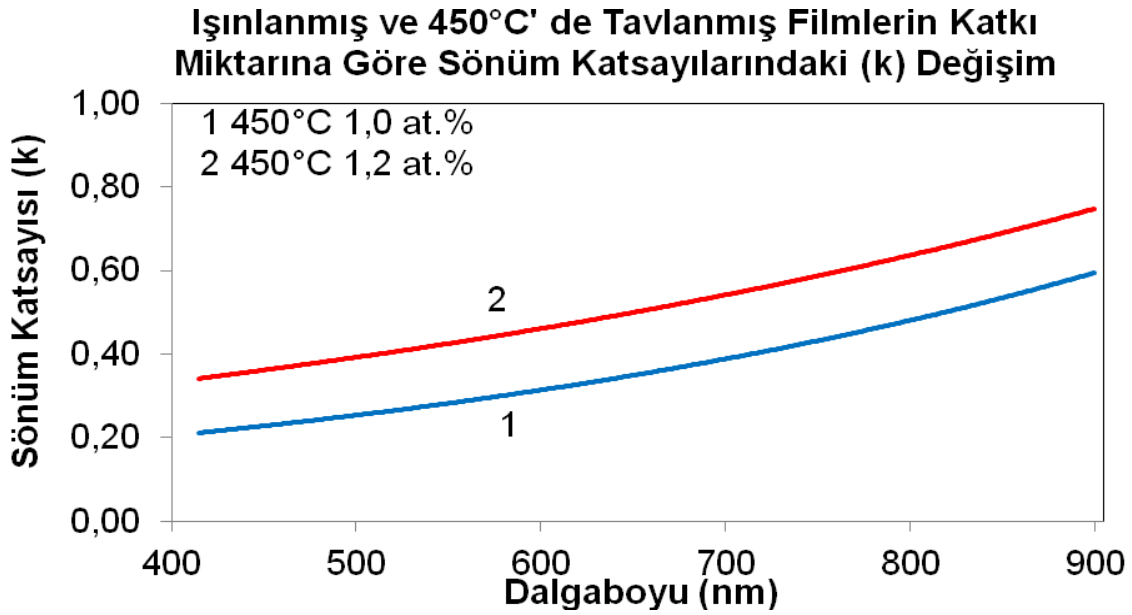
Şekil 6. 51: Işınlanmamış, 500°C' de tavlanmış filmlerin katkı oranına göre sönüm katsayılarının değişimi



Şekil 6. 52: Işınlanmamış, 550°C' de tavlanmış filmlerin katkı miktarına göre sönüm katsayılarının değişimi

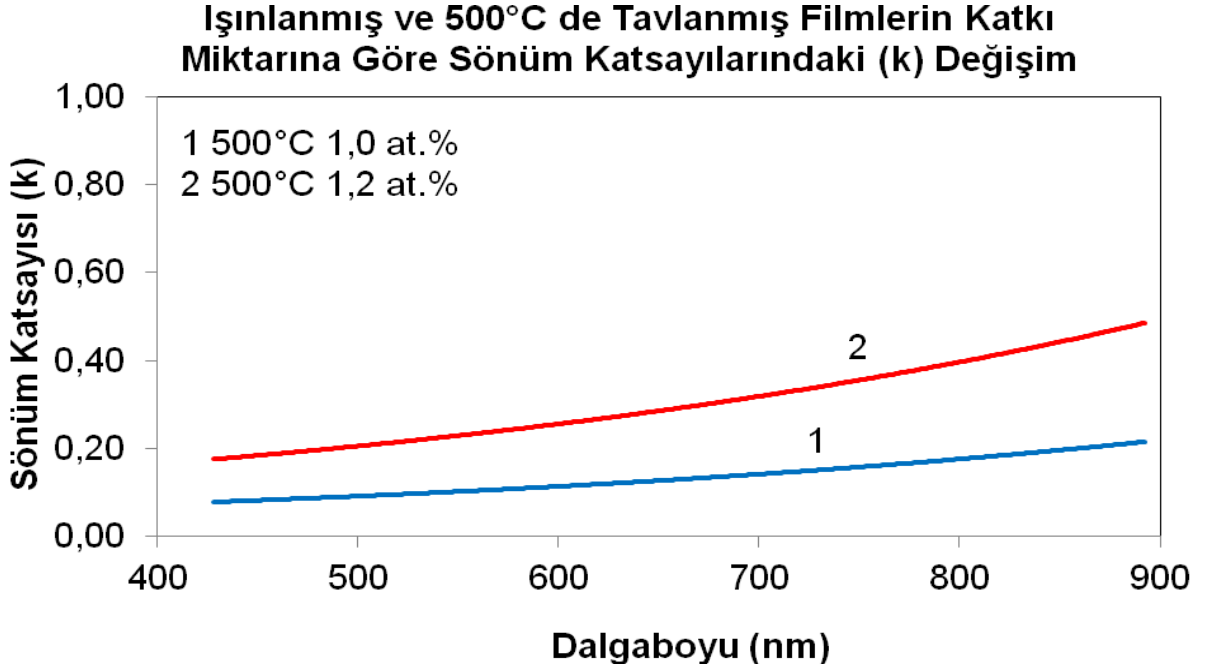
**Işınlama işleminden sonra ZnO:Al filmlerin Al konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak sönüm katsayısında oluşan değişimler**

Işınlama işleminden sonra vakum atmosferinde 450°C tavlama sıcaklığında tavlanmış olan farklı konsantrasyonlarda üretilmiş ZnO:Al filmlerin sönüm katsayısında, Al katkı oranındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.53' te görülmektedir.

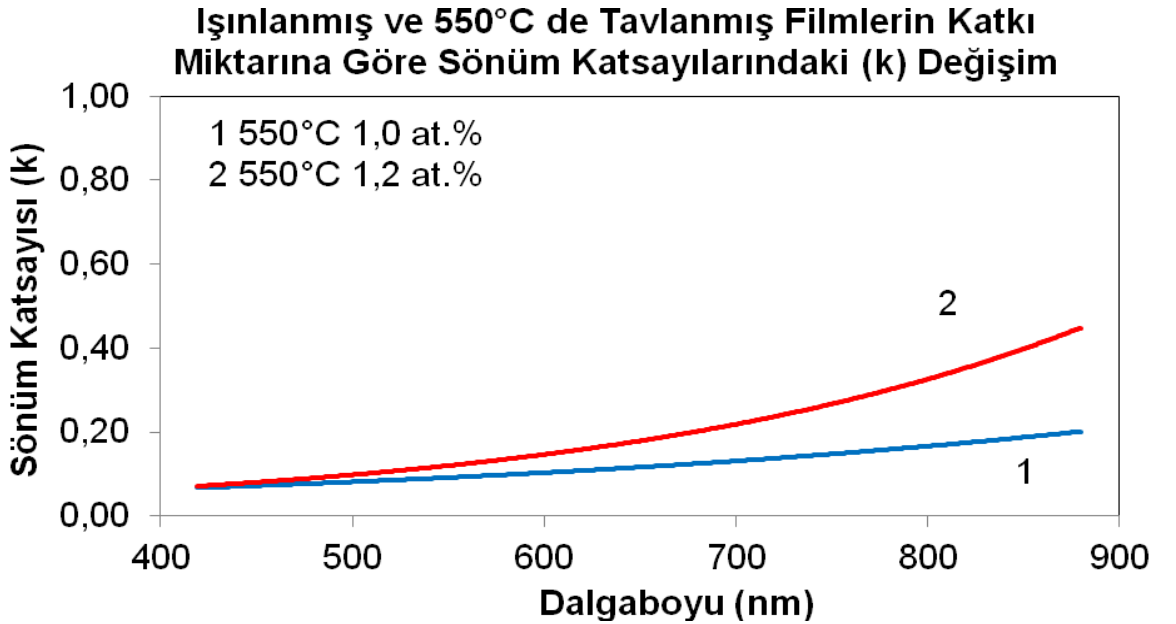


Şekil 6. 53: Işınlanmış, 450°C' de tavlanmış filmlerin katkı miktarına göre sönüm katsayılarının değişimi

Işınlama işleminden sonra vakum atmosferinde 500<sup>0</sup>C tavlama sıcaklığında tavllanmış olan farklı konsantrasyonlarda üretilmiş ZnO:Al filmlerin sönüm katsayısında, Al katkı oranındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.54' de görülmektedir. 550<sup>0</sup>C tavlama sıcaklığında tavllanmış olan farklı konsantrasyonlarda üretilmiş ZnO:Al filmlerin sönüm katsayısında, Al katkı oranındaki artışa bağlı oluşan değişimleri, Şekil 6.55' te görülmektedir.



Şekil 6. 54: Işınlanmış, 500<sup>0</sup>C' de tavlannmış filmlerin katkı miktarına göre sönüm katsayılarının değişimi



Şekil 6. 55: Işınlanmış, 550<sup>0</sup>C' de tavlannmış filmlerin katkı miktarına göre sönüm katsayılarının değişimi

### 6.3.4 Optik bant aralığının incelenmesi

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 yarı iletkenler için doğrudan bant aralığı  $\alpha hv = C ( hv - E_g )^{1/2}$  ile verilmektedir.  $hv$  gelen fotonun enerjisi,  $C$  doğrudan geçiş için sabit sayı ve  $\alpha$  optik soğurma katsayısı olmaktadır. Burada  $\alpha$ ,

$$\alpha = \left(\frac{1}{d}\right) \ln\left(\frac{1}{T}\right) \quad (11)$$

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

$$E_A = (\alpha hv)^2 \quad (12)$$

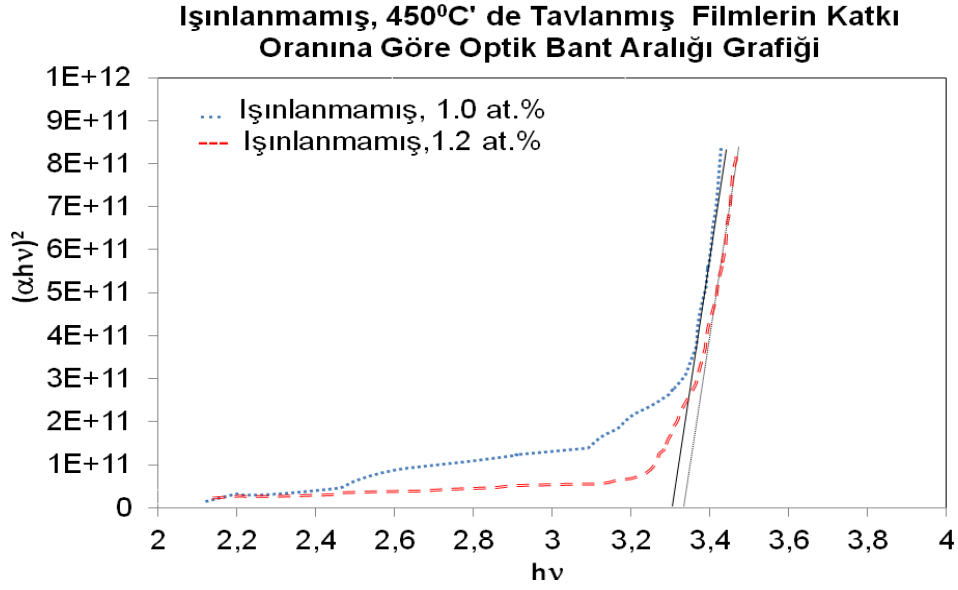
ile bulunur. Enerji bant aralığı,  $hv$  olarak gelen fotonun enerjisinin fonksiyonu olan  $(\alpha hv)^2$  şeklinde, grafik ile gösterilmiş olup grafik üzerinde soğurma kenarının doğrusal artış gösteren ucunun enerji ekseninde kesiştiği nokta, ekstrapolasyon yapılarak elde edilmiştir (Lou, 2007).

#### 6.2.4.1 Işınlama işleminden önce ZnO:Al filmlerin Al konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak optik bant aralığında oluşan değişimler

Bu tez çalışması kapsamında hazırlanan Al katkılı ZnO filmlerinin optik bant aralıklarının katkı oranına bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir.  $450^{\circ}\text{C}$ ,  $500^{\circ}\text{C}$  ve  $550^{\circ}\text{C}$ ' de tavlanan filmlerin katkı oranına bağlı olarak optik bant aralıklarının değişimi Şekil 6.56 ile Şekil 6.61 arasındaki grafiklerde verilmiştir.

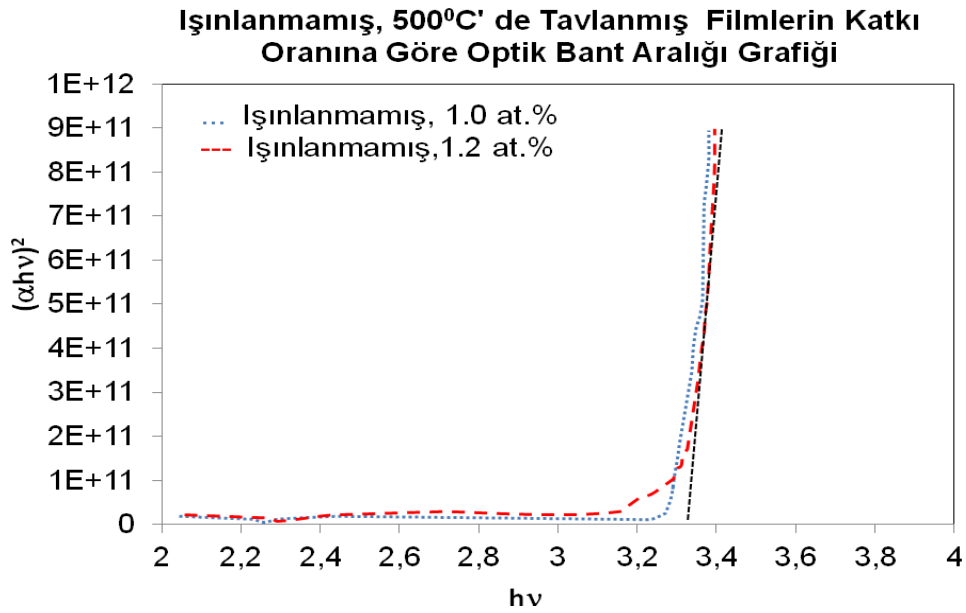
Vakum atmosferinde  $450^{\circ}\text{C}$ ' de tavllanmış ışınlamadan önceki filmlerin optik bant aralıkları Al katkı oranındaki artışa bağlı olarak değişmektedir. Bu değişim Şekil 6.56' da arz edilmiş olup % 1,0 katkılı için 3,29 eV, % 1,2 katkılı film için de 3,32 eV olarak bulunmuştur.



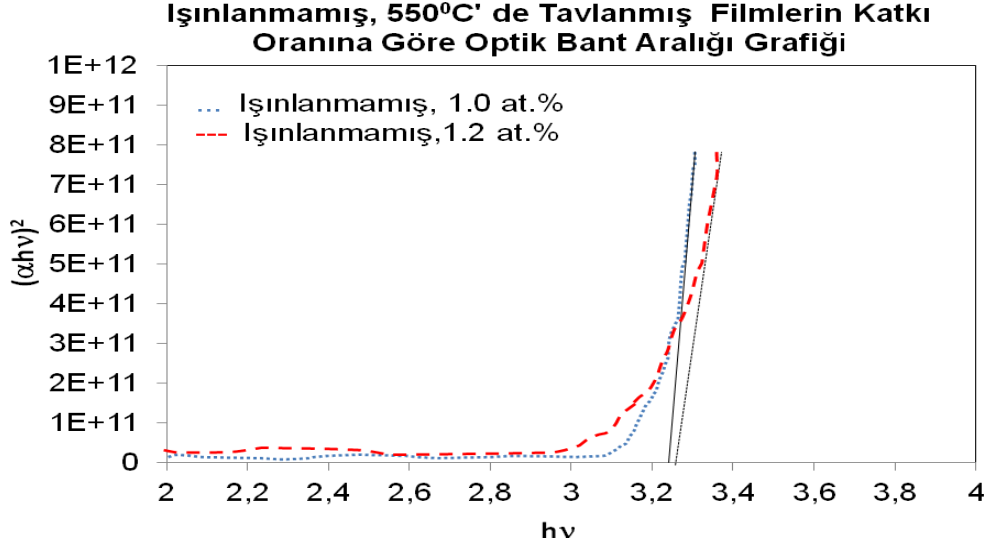


**Şekil 6. 56:** Işınlanmamış ve 450<sup>0</sup>C' de tavlanmış filmlerin katkı oranına göre optik bant aralığı

Vakum atmosferinde 500<sup>0</sup>C' de tavlanmış ışınlanmadan önceki filmlerin optik bant aralıkları Al katkı oranındaki artışa bağlı olarak değişmektedir. Bu değişim Şekil 6.57' de arz edilmiş olup % 1,0 katkılı için 3,27 eV, % 1,2 katkılı film için de 3,29 eV olarak bulunmuştur. 550<sup>0</sup>C' de tavlanmış ışınlanmadan önceki filmlerin optik bant aralıkları, % 1,0 katkılı filmlerde, 3,25 eV, % 1,2 katkılı film için de 3,27 eV olarak bulunmuştur ve Şekil 6.58' de ilgili grafik verilmiştir.



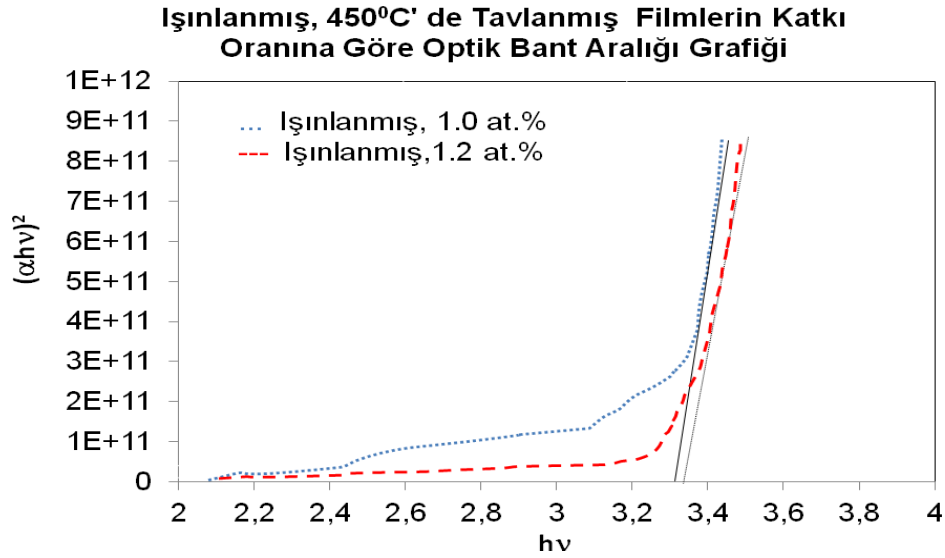
**Şekil 6. 57:** Işınlanmamış ve 500<sup>0</sup>C' de tavlanmış filmlerin katkı oranına göre optik bant aralığı



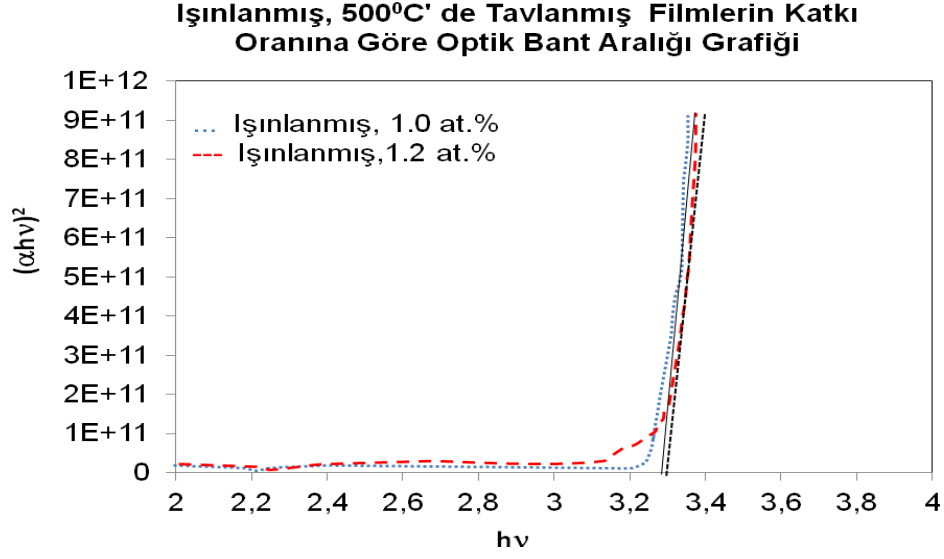
**Şekil 6. 58:** İşinlanmamış ve 550<sup>0</sup>C' de tavlanmış filmlerin katkı oranına göre optik bant aralığı

#### 6.2.4.2 İşinlama işleminden sonra ZnO:Al filmlerin Al konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak optik bant aralığında oluşan değişimler

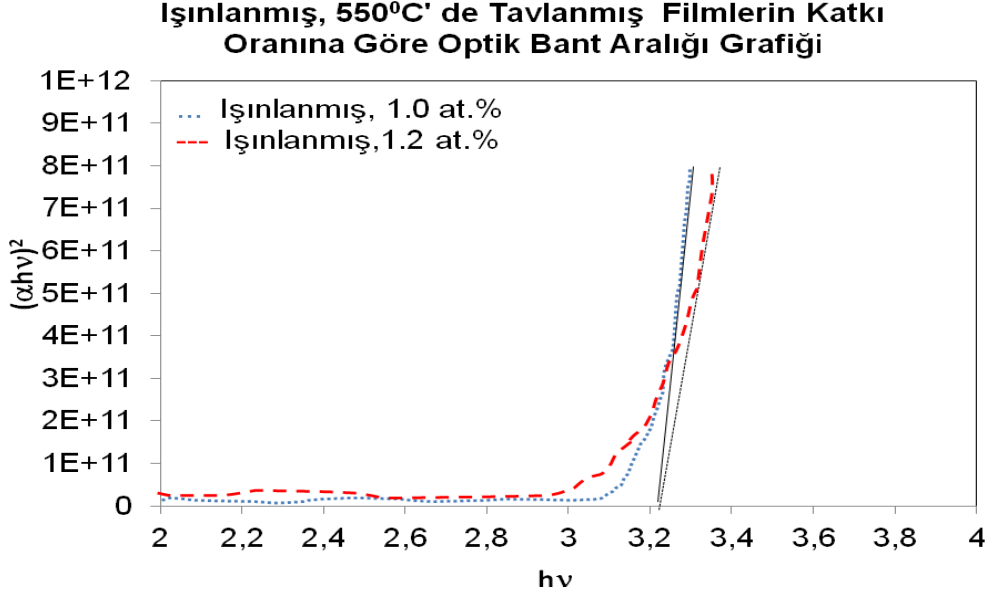
İşinlanan ve vakum atmosferinde 450<sup>0</sup>C' de tavlanmış filmlerin optik bant aralıkları Şekil 6.59' da arz edilmiş olup % 1,0 katkılı için 3,28 eV, % 1,2 katkılılar için 3,3 eV olarak bulunmuştur. 500<sup>0</sup>C' de tavlanmış filmlerin optik bant aralıkları % 1,0 katkılı için 3,26 eV, % 1,2 katkılı film için de 3,28 eV olarak bulunmuştur (Şekil 6.60).



**Şekil 6. 59:** İşinlanmış ve 450<sup>0</sup>C' de tavlanmış filmlerin katkı oranına göre optik bant aralığı



550°C' de tavlanmış filmlerin optik bant aralıkları Al katkı oranındaki artışa bağlı olarak değişmektedir. Bu değişim Şekil 6.61' de arz edilmiş olup % 1,0 katkılı için 3,23 eV, % 1,2 katkılı film için de 3,25 eV olarak bulunmuştur.



#### 6.2.4.2 Optik bant aralığının tavlama sıcaklığı ile değişiminin incelenmesi

Bu yüksek lisans tez çalışmasında ZnO:Al yapının optik bant aralığı, 190 nm ile 900 nm dalgaboyu arasında, 450°C - 550°C aralığındaki tavlama sıcaklıklarında incelenmiştir ve optik bant aralığının tavlama sıcaklığına bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Çizelge 6.3' de optik bant aralığı değerlerinin tavlama sıcaklığı ile değişimi verilmiştir.

**Çizelge 6. 3:** Tavlama sıcaklıklarına göre optik bant aralıklarının değerleri.

Işınlanma Durumu	Al Katkı Oranı (%)	450°C	500°C	550°C
		Tavlanmış Filmlerin Optik Bant Aralığı (eV)	Tavlanmış Filmlerin Optik Bant Aralığı (eV)	Tavlanmış Filmlerin Optik Bant Aralığı (eV)
Işınlanmamış	1,0	3,29	3,27	3,25
	1,2	3,32	3,29	3,27
Işınlanmış	1,0	3,28	3,26	3,23
	1,2	3,30	3,28	3,25

Çizelge 6.3' ten de anlaşılacağı üzere farklı tavlama sıcaklıklarında farklı optik bant aralığı değerlerine sahip ince filmler üretmek mümkün olmaktadır.

#### 6.4 Işınlanmış ve ışınlanmamış ZnO:Al ince filmelerinin optik özelliklerinin mukayeseli olarak incelenmesi

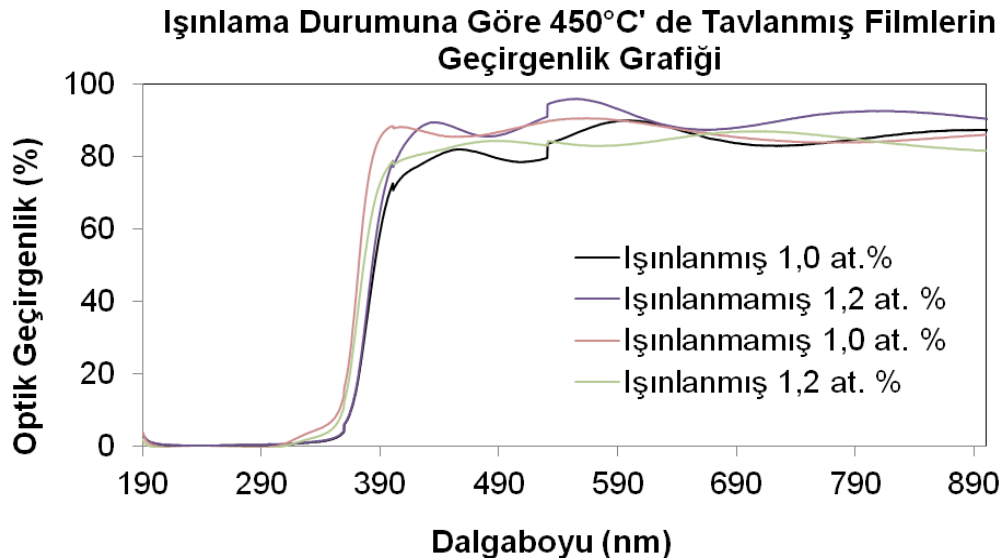
Bu yüksek lisans tez çalışmasında üretilen ZnO:Al filmler, İTÜ Enerji Enstitüsü' nde bulunan Triga Mark II reaktörü teğetsel ışınlama tüpünde nötronlarla ışılandıktan sonra, optik özelliklerinde oluşan değişimler, ışınlanmamış olan ince filmler ile karşılaştırılarak, mukayeseli olarak incelenmiştir.

Bu tez çalışmasında ZnO:Al ince filmlerin ışınlama işleminden sonra optik özelliklerinde oluşan değişimler 1,0 ve 1,2 at.% Al olmak üzere iki farklı Al konsantrasyonunda, (daha önceki ön çalışmalarda ışınlanmamış ZnO:Al ince filmlerde elektrik iletkenlik değerleri en yüksek 1,0 ve 1,2 at.% Al konsantrasyonunda elde edildiğinden, **Baydoğan Özdemir ve diğ. 2013; Baydoğan, 2012a; Baydoğan, 2012b; Özdemir, 2009; Tekin, 2009; Tuğral, 2010, Karacasu, 2010**) belirlenerek, nötron ışınlamasının optik özelliklere etkisi mukayeseli olarak belirlenmiştir.

#### 6.4.1 Işınlanmamış ve ışınlanmış ZnO:Al ince filmlerin optik geçirgenliğinin değişiminin mukayeseli olarak incelenmesi

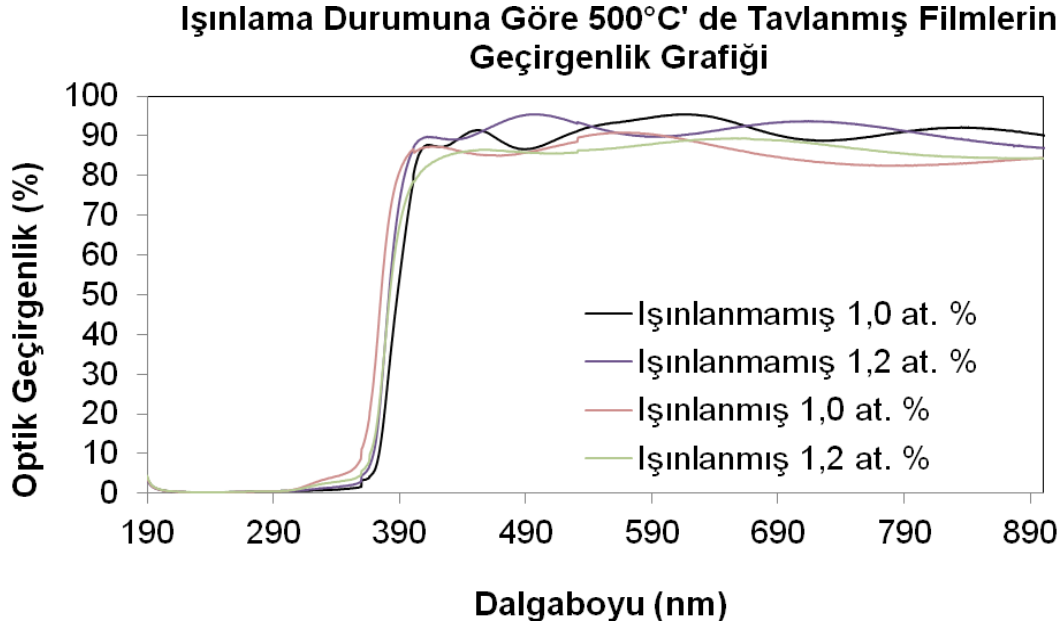
Işınlanmış ve ışınlanmamış ince filmlerin, spektrofotometre yardımıyla 190 nm ile 900 nm dalga boyu aralığında ölçülen optik geçirgenlik değerlerinde oluşan değişimler, Şekil 6.62 - Şekil 6.64' deki bulunan grafiklerde verilmiştir.

Vakum atmosferinde 450<sup>0</sup>C tavlama sıcaklığında tavllanmış olan ZnO:Al ince filmlerinin optik geçirgenliklerindeki değişimler ışınlanma öncesi ve sonrası olmak üzere mukayeseli olarak Şekil 6.62' de verilmiştir. Işınlama ile optik geçirgenliğin bir miktar azaldığı tespit edilmiştir.

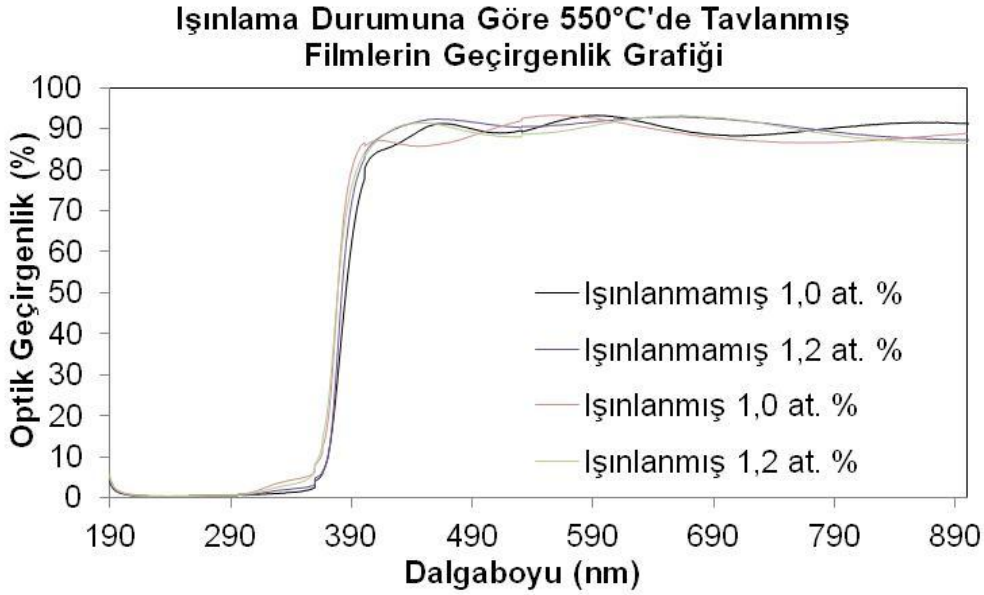


**Şekil 6. 62:** Işınlama durumuna göre 450<sup>0</sup>C' de tavllanmış filmlerin geçirgenlik grafiği

Vakum atmosferinde 500<sup>0</sup>C tavlama sıcaklığında tavllanmış olan ZnO:Al ince filmlerinin optik geçirgenliklerindeki değişimler ışınlanma öncesi ve sonrası olmak üzere mukayeseli olarak Şekil 6.63' te verilmiştir. Işınlama ile optik geçirgenliğin bir miktar azaldığı tespit edilmiştir.



**Şekil 6. 63:** Işınlama durumuna göre 500°C' de tavlanmış filmlerin geçirgenlik grafiği  
 Vakum atmosferinde 550°C tavlama sıcaklığında tavlanmış olan ZnO:Al ince filmlerinin optik geçirgenliklerindeki değişimler ışınlanma öncesi ve sonrası olmak üzere mukayeseli olarak Şekil 6.64' te verilmiştir. . Işınlama ile optik geçirgenliğin bir miktar azaldığı tespit edilmiştir.



**Şekil 6. 64:** Işınlama durumuna göre 550°C' de tavlanmış filmlerin geçirgenlik grafiği

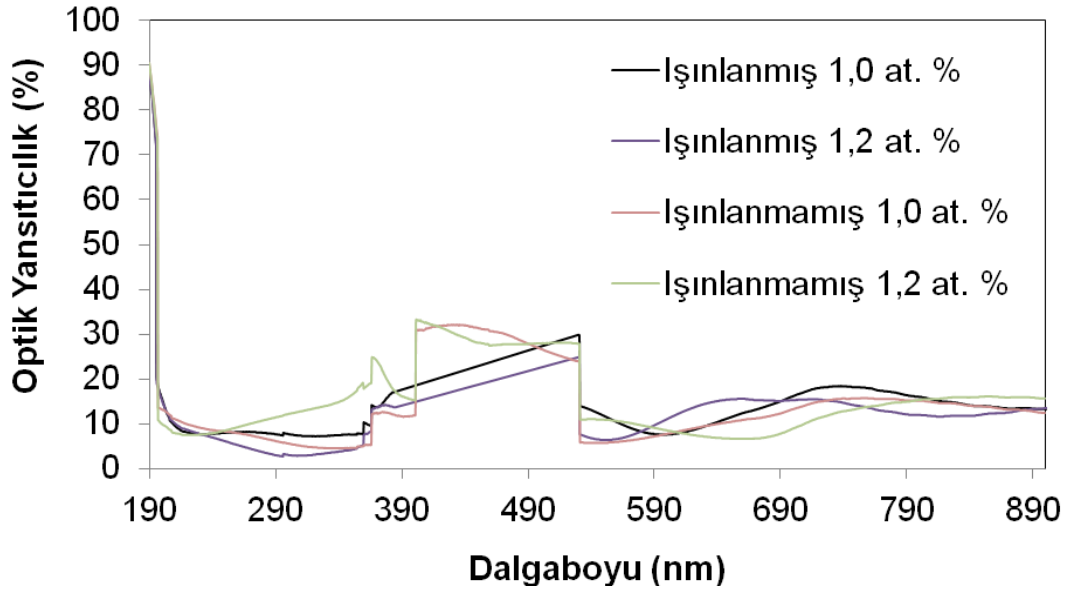
#### **6.4.2 Işınlanmamış ve ışınlanmış ZnO:Al ince filmlerde optik yansıtıcılığın değişiminin mukayeseli olarak incelenmesi**

Hazırlanan Al katkılı ZnO ince filmleri, İTÜ Enerji Enstitüsü' nde bulunan Triga Mark II reaktörü teğetsel ışınlama tüpü kolimatöründe, nötronlarla ışındandıktan

sonra, spektrofotometre kullanılarak 190 nm ile 900 nm dalga boyu aralığında optik yansıtıcılığında oluşan değişimler belirlenmiştir. Işınlanmış ve ışınlanmamış ince filmlerin optik yansıtıcılığında oluşan değişimler karşılaştırılarak, mukayeseli olarak Şekil 6.58 - Şekil 6.60' ta bulunan grafiklerde verilmiştir. Söz konusu ince filmlerin ışınlama işleminden sonra yansıtıcılığında oluşan değişimler, (daha önceki ön çalışmalarda ışınlanmamış ZnO:Al ince filmlerde elektrik iletkenliğin en yüksek olarak elde edildiği 1,0 ve 1,2 at.% Al konsantrasyonunda **Baydoğan Özdemir' ve diğ. 2013; Baydoğan, 2012a; Baydoğan, 2012b; Özdemir, 2009; Tekin, 2009; Tuğral, 2010, Karacasu, 2010)** nötron ışınlamasının optik özelliklere etkisine ilişkin yapılan bu tez çalışmasında mukayeseli olarak incelenmiştir.

Vakum atmosferinde 450°C tavlama sıcaklığında tavllanmış olan ZnO:Al ince filmlerinin optik yansıtıcılığındaki değişimler ışınlanma öncesi ve sonrası olmak üzere mukayeseli olarak Şekil 6.65' te verilmiştir.

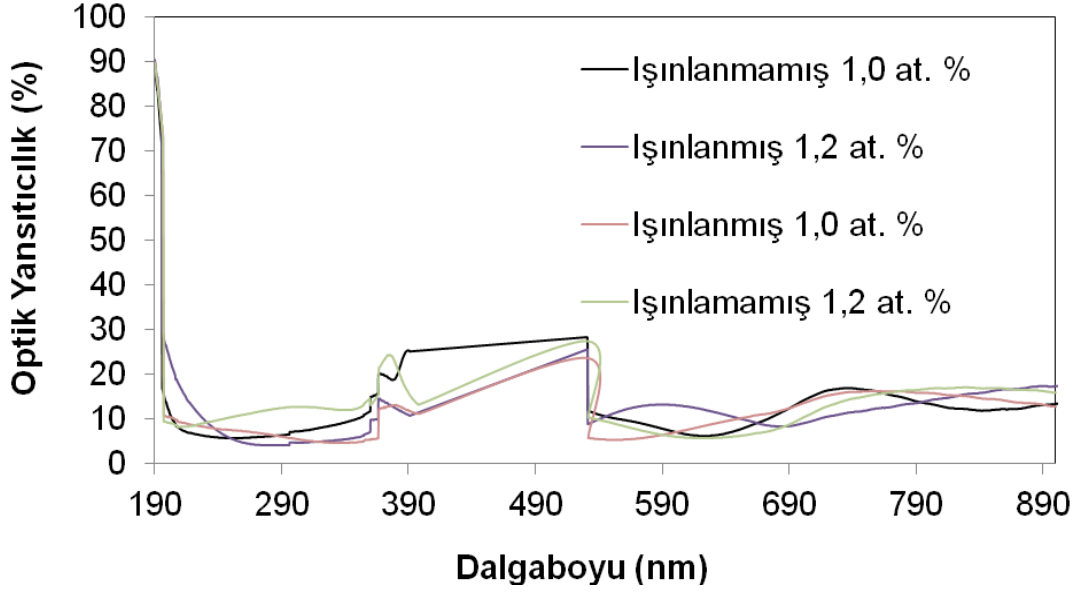
**Işınlama Durumuna Göre 450°C' de Tavllanmış Filmlerin Yansıtıcılık Grafiği**



**Şekil 6. 65:** Işınlama durumuna göre 450°C' de tavllanmış filmlerin yansıtıcılık grafiği

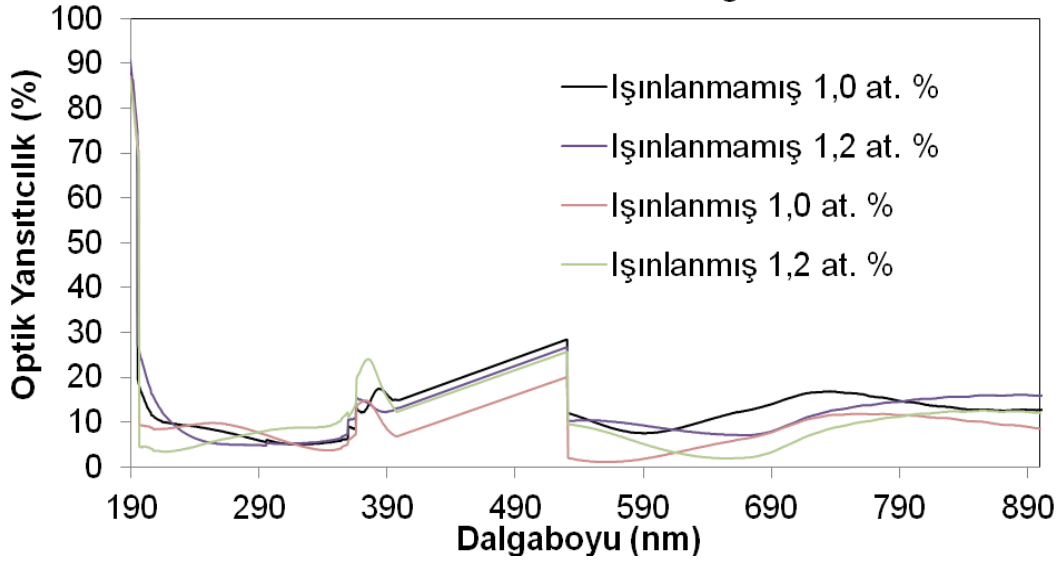
Vakum atmosferinde 500°C tavlama sıcaklığında tavllanmış olan ZnO:Al ince filmlerinin optik yansıtıcılığındaki değişimler ışınlanma öncesi ve sonrası olmak üzere mukayeseli olarak Şekil 6.66' da verilmiştir. 550°C tavlama sıcaklığında tavllanmış olan ZnO:Al ince filmlerinin optik yansıtıcılığındaki değişimler mukayeseli olarak Şekil 6.67' de verilmiştir.

**İşınlama Durumuna Göre 500°C' de Tavlanmış Filmlerin Yansıtıcılık Grafiği**



**Şekil 6. 66:** İşınlama durumuna göre 500°C' de tavlanmış filmlerin yansıtıcılık grafiği

**İşınlama Durumuna Göre 550°C' de Tavlanmış Filmlerin Yansıtıcılık Grafiği**



**Şekil 6. 67:** İşınlama durumuna göre 550°C' de tavlanmış filmlerin yansıtıcılık grafiği

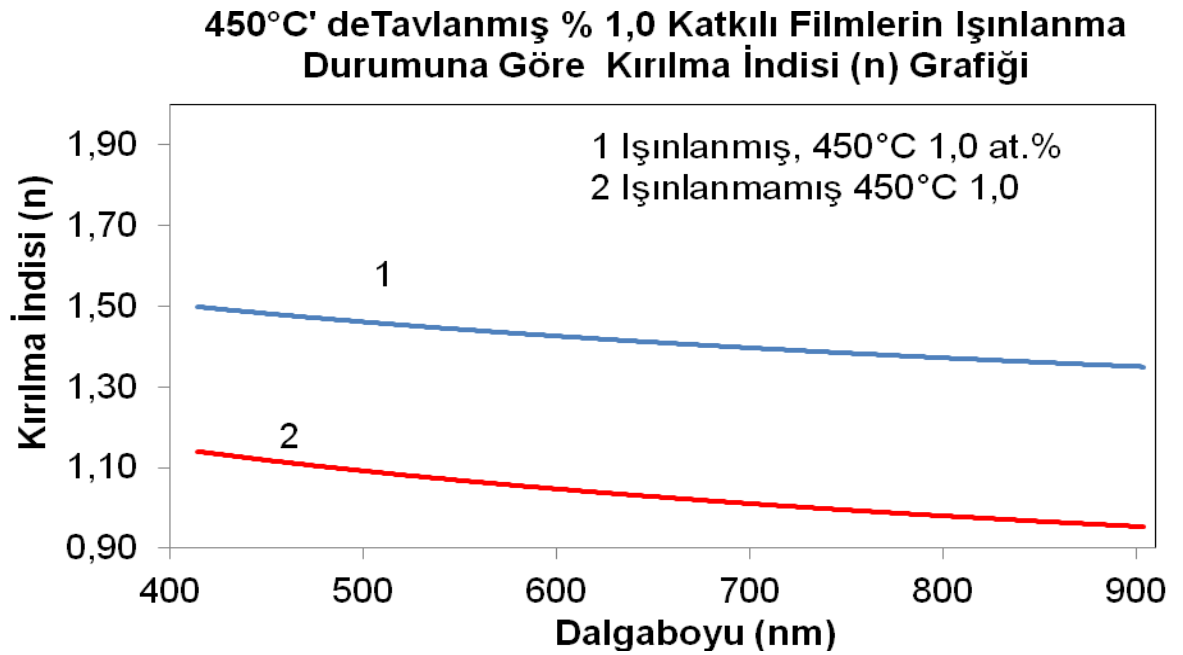
Şekil 6.65 ile Şekil 6.67 arasındaki grafiklerde de görüldüğü üzere işınlama ile hazırlanan ince filmlerin optik yansıtıcılık özelliğinde, nötronlara maruz kaldıktan sonra bir miktar azalma meydana geldiği görülmektedir.



### 6.4.3 Işınlanmamış ve ışınlanmış ZnO:Al ince filmlerde kırılma indisinin mukayeseli olarak incelenmesi

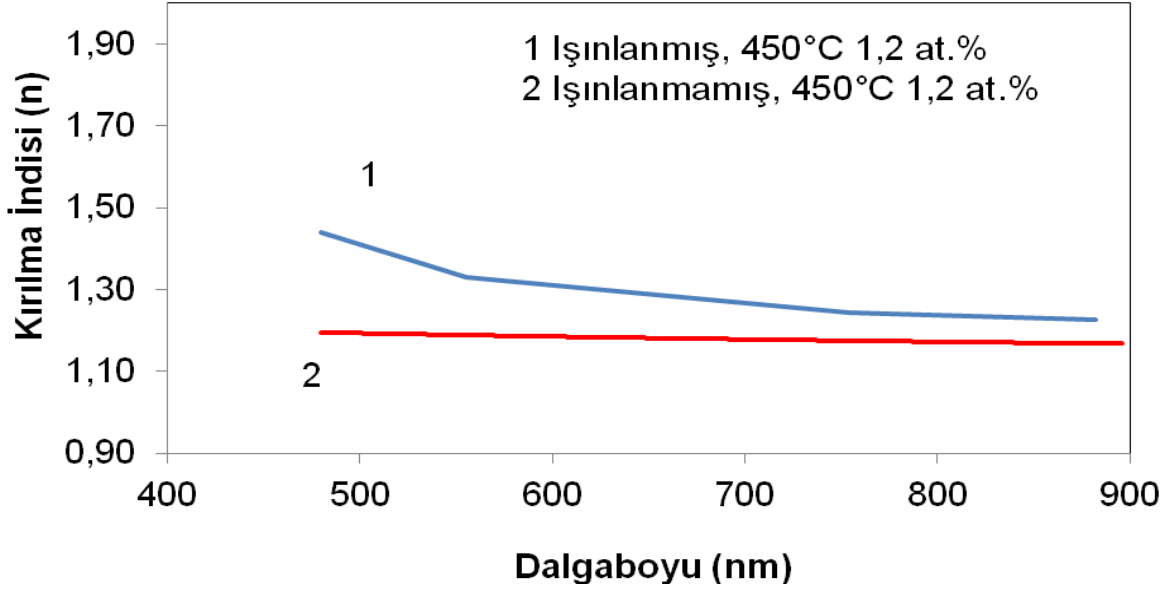
Bu çalışma kapsamında vakum ortamında 450<sup>0</sup>C, 500<sup>0</sup>C ve 550<sup>0</sup>C sıcaklıklarında tavlansarak hazırlanan Al katkılı ZnO filmlerin kırılma indislerinde ışınlanma sonrasında meydana gelen değişimler, daha önceki ışınlanmamış ince filmlerdeki ön çalışmalarda, iletkenliğin en yüksek olarak belirlendiği 1,0 ve 1,2 at.% Al konsantrasyonunda incelenmiştir. Hazırlanan ince filmler nötronlara maruz kaldıktan sonra, bütün örneklerin kırılma indisleri bir miktar artmış olup, bu değişimler, Şekil 6.68 - Şekil 6.73 arasındaki grafiklerde verilmiştir.

Vakum atmosferinde 450<sup>0</sup>C tavlama sıcaklığında tavllanmış olan % 1,0 Al katkılı ZnO:Al ince filmlerinin kırılma indisindeki değişimler ışınlanma öncesi ve sonrası olmak üzere mukayeseli olarak Şekil 6.68’ de verilmiştir. 450<sup>0</sup>C tavlama sıcaklığında tavllanmış olan % 1,2 Al katkılı ZnO:Al ince filmlerinin kırılma indisindeki değişimler ışınlanma öncesi ve sonrası olmak üzere mukayeseli olarak Şekil 6.69’ da verilmiştir.



Şekil 6. 68: 450<sup>0</sup>C de tavllanmış, % 1,0 katkılı filmin nötronlara maruz kaldıktan sonraki kırılma indisindeki değişim

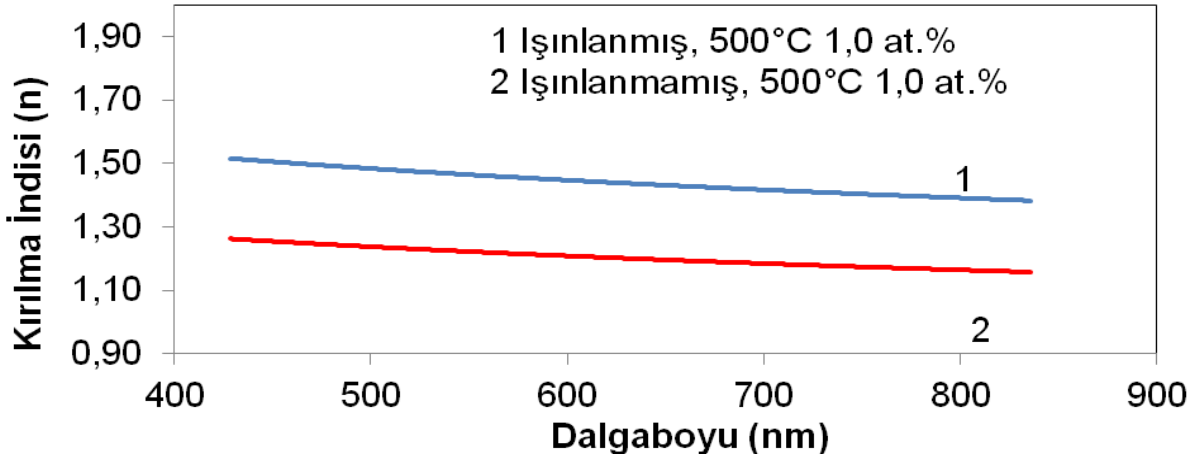
### 450°C' deTavlanmış % 1,2 Katkılı Filmlerin Işınlanma Durumuna Göre Kırılma İndisi (n) Grafiği



Şekil 6. 69: 450°C de tavllanmış, % 1,2 katkılı filmin nötronlara maruz kaldıktan sonraki kırılma indisindeki değişim

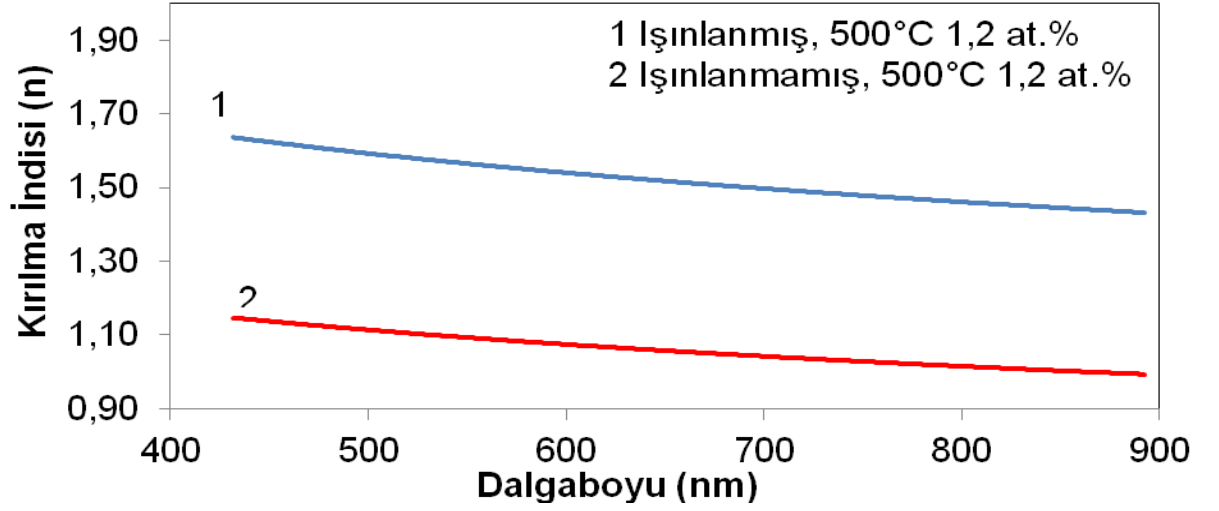
Vakum atmosferinde 500°C tavlama sıcaklığında tavllanmış olan % 1,0 Al katkılı ZnO:Al ince filmlerinin kırılma indisindeki değişimler ışınlanma öncesi ve sonrası olmak üzere mukayeseli olarak Şekil 6.70' te verilmiştir. % 1,2 Al katkılı ZnO:Al ince filmlerinin kırılma indisindeki değişimler ışınlanma öncesi ve sonrası olmak üzere mukayeseli olarak Şekil 6.71' de verilmiştir.

### 500°C' deTavlanmış % 1,0 Katkılı Filmlerin Işınlanma Durumuna Göre Kırılma İndisi (n) Grafiği



Şekil 6. 70: 500°C de tavllanmış, % 1,0 katkılı filmin nötronlara maruz kaldıktan sonraki kırılma indisindeki değişim

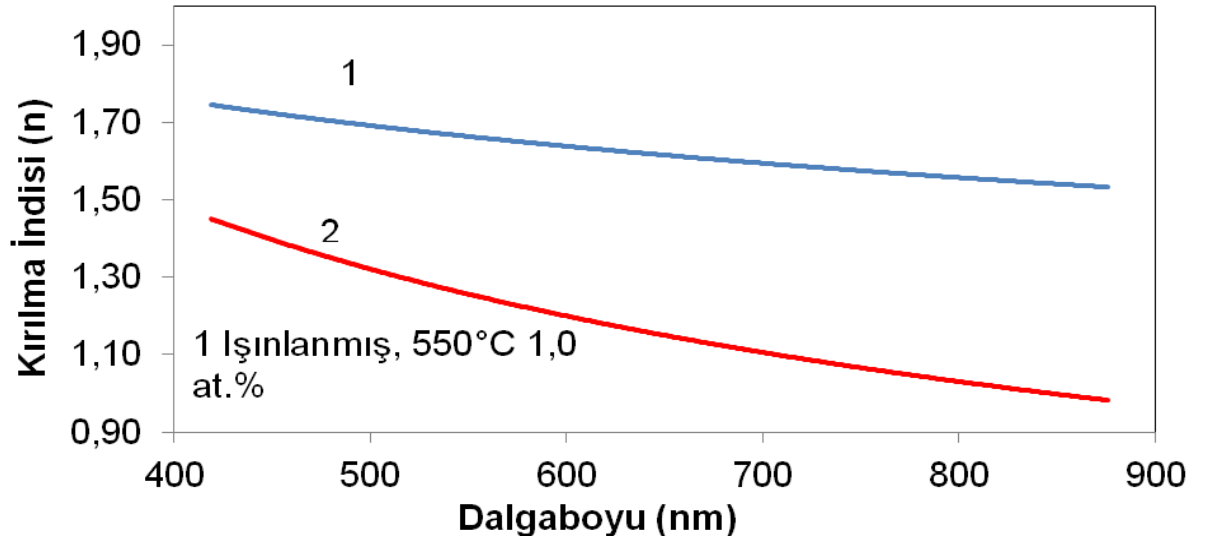
### 500°C' de Tavllanmış % 1,2 Katkılı Filmlerin Işınlanma Durumuna Göre Kırılma İndisi (n) Grafiği



Şekil 6. 71: 500°C de tavllanmış, % 1,2 katkıli filmin nötronlara maruz kaldıktan sonraki kırılma indisindeki değişim

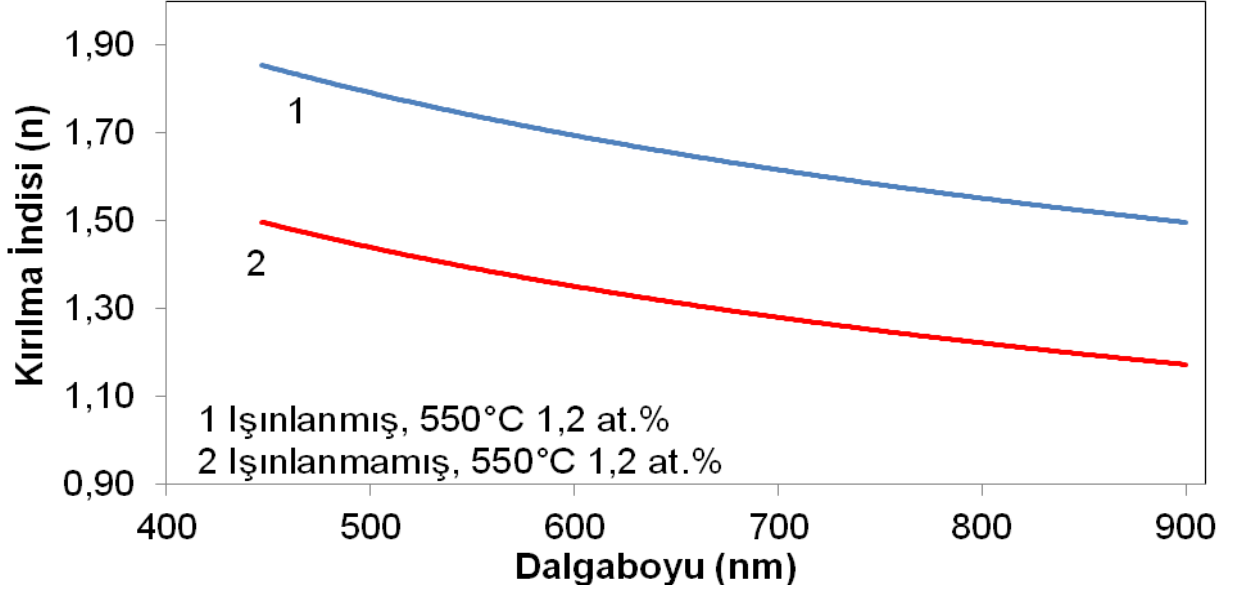
Vakum atmosferinde 550°C tavlama sıcaklığında tavllanmış olan % 1,0 Al katkıli ZnO:Al ince filmlerinin kırılma indisindeki değişimler ışınlanma öncesi ve sonrası olmak üzere mukayeseli olarak Şekil 6.72' de verilmiştir. % 1,2 Al katkıli ZnO:Al ince filmlerinin kırılma indisindeki değişimler ışınlanma öncesi ve sonrası olmak üzere mukayeseli olarak Şekil 6.73' de verilmiştir.

### 550°C' de Tavllanmış % 1,0 Katkılı Filmlerin Işınlanma Durumuna Göre Kırılma İndisi (n) Grafiği



Şekil 6. 72: 550°C de tavllanmış, % 1,0 katkıli filmin nötronlara maruz kaldıktan sonraki kırılma indisindeki değişim

### 550°C' de Tavllanmış % 1,2 Katkılı Filmlerin Işınlanma Durumuna Göre Kırılma İndisi (n) Grafiği



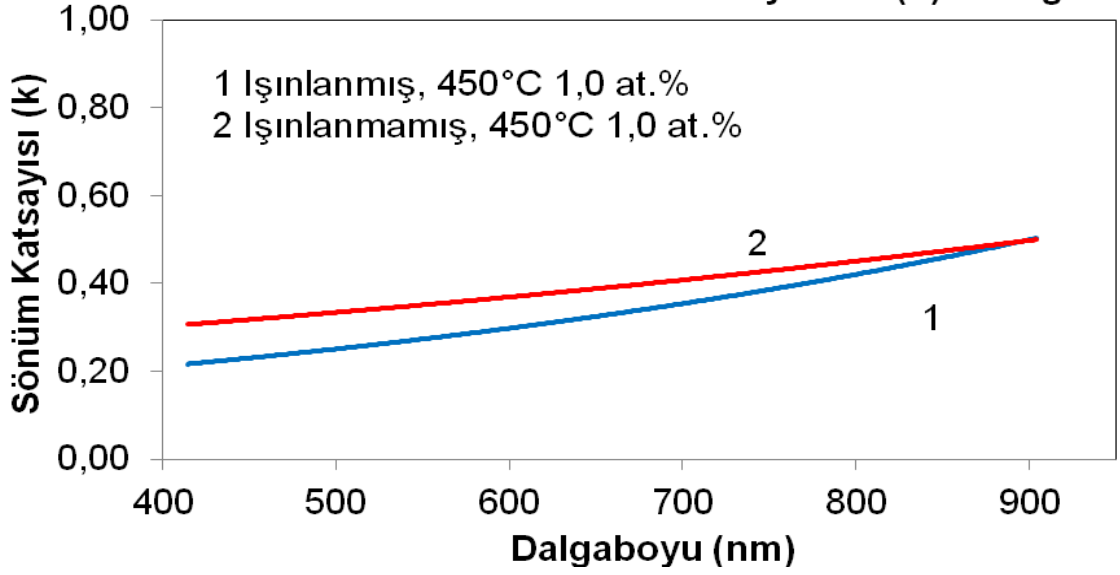
Şekil 6. 73: 550°C de tavllanmış, % 1,2 katkılı filmin nötronlara maruz kaldıktan sonraki kırılma indisindeki değişim

#### 6.4.4 . Işınlanmamış ve ışınlanmış ZnO:Al ince filmlerde sönüm katsayısının değişiminin mukayeseli olarak incelenmesi

Bu yüksek lisans tezi çalışmasında hazırlanan ve sonra vakum ortamında 450°C, 500°C ve 550°C sıcaklıklarında tavlanan ZnO:Al filmlerin sönüm katsayıları, nötronlara maruz kaldıktan sonra değişim göstermiştir. Işınlanmamış ve ışınlanmış ZnO:Al ince filmlerin sönüm katsayılarındaki oluşan değişimler, Şekil 6.74 ile Şekil 6.79 arasındaki grafiklerde verilmiştir. Nötronlara maruz kaldıktan sonra filmlerin söndürme katsayılarında oluşan değişimlerin genel olarak bir miktar azaldığı tespit edilmiştir.

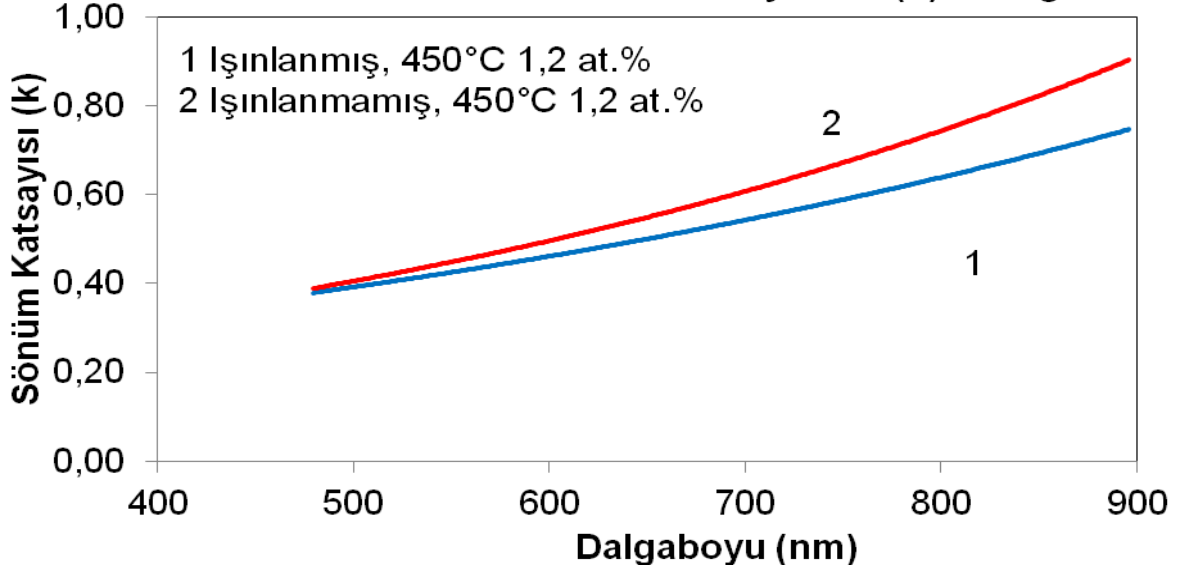
Vakum atmosferinde 450°C tavlama sıcaklığında tavllanmış olan % 1,0 Al katkılı ZnO:Al ince filmlerinin sönüm katsayısındaki değişimler ışınlanma öncesi ve sonrası olmak üzere mukayeseli olarak Şekil 6.74' te verilmiştir. % 1,2 Al katkılı ZnO:Al ince filmlerinin sönüm katsayısındaki değişimler ışınlanma öncesi ve sonrası olmak üzere mukayeseli olarak Şekil 6.75' te verilmiştir.

### 450°C' de Tavllanmış % 1,0 Katkılı Filmlerin Işınlanma Durumuna Göre Sönüm Katsayısının (k) Grafiği



Şekil 6. 74: 450°C' de tavllanmış % 1,0 katkılı filmin nötronlara maruz kaldıktan sonraki sönüm katsayısındaki değişim

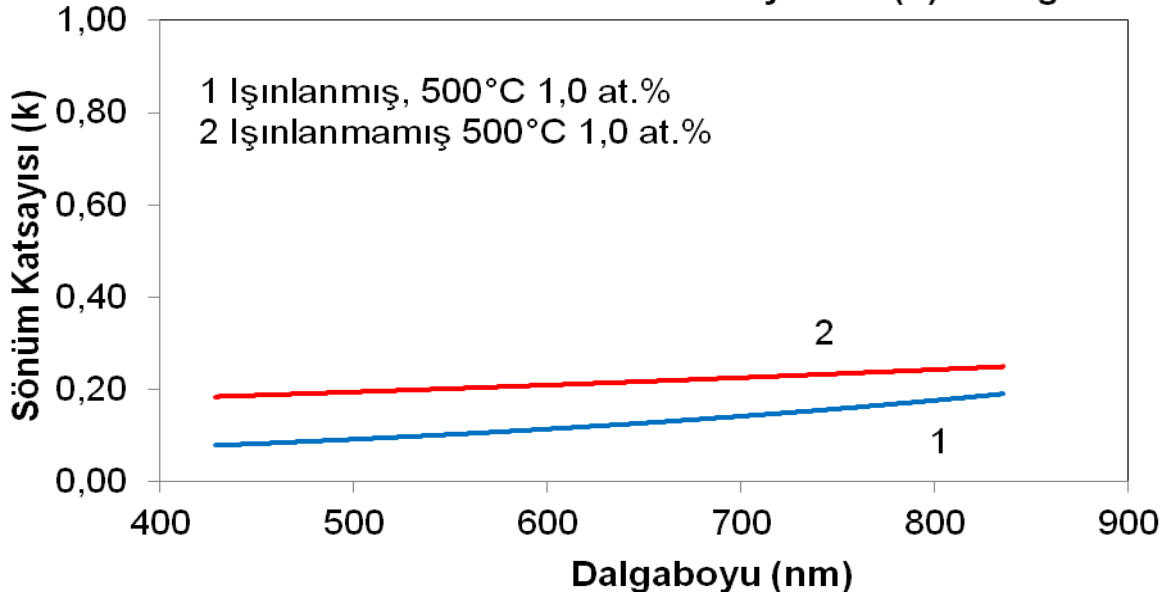
### 450°C' de Tavllanmış % 1,2 Katkılı Filmlerin Işınlanma Durumuna Göre Sönüm Katsayısının (k) Grafiği



Şekil 6. 75: 450°C' de tavllanmış % 1,2 katkılı filmin nötronlara maruz kaldıktan sonraki sönüm katsayısındaki değişim

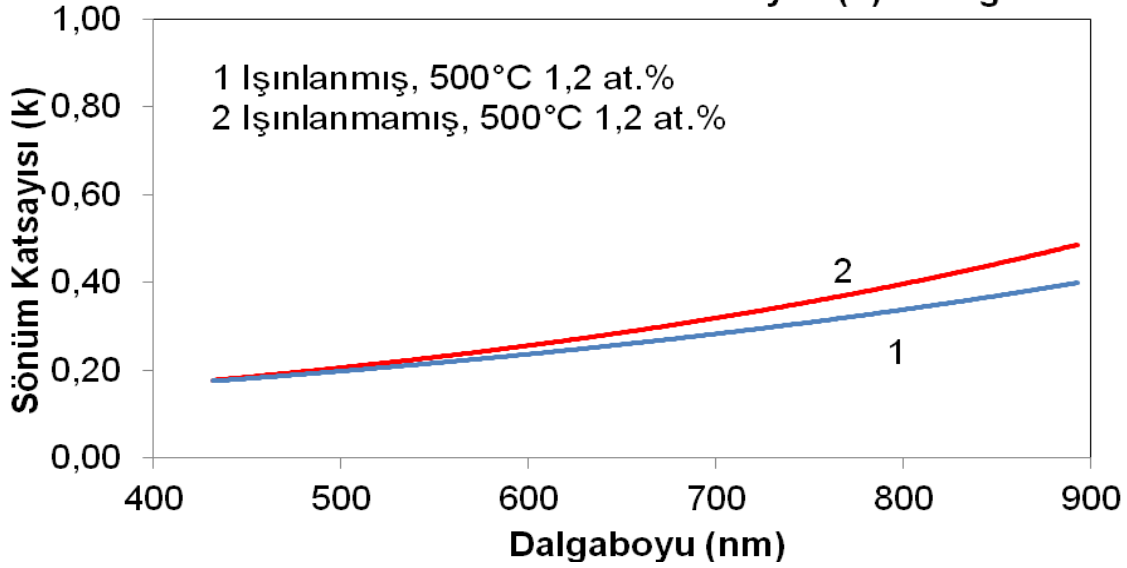
Vakum atmosferinde 500°C tavlama sıcaklığında tavllanmış olan % 1,0 Al katkılı ZnO:Al ince filmlerinin sönüm katsayısındaki değişimler ışınlanma öncesi ve sonrası olmak üzere mukayeseli olarak Şekil 6.76' da verilmiştir. % 1,2 Al katkılı ZnO:Al ince filmlerinin sönüm katsayısındaki değişimler ışınlanma öncesi ve sonrası olmak üzere mukayeseli olarak Şekil 6.77' de verilmiştir.

### 500°C' deTavlanmış % 1,0 Katkılı Filmlerin Işınlanma Durumuna Göre Sönüm Katsayısının (k) Grafiği



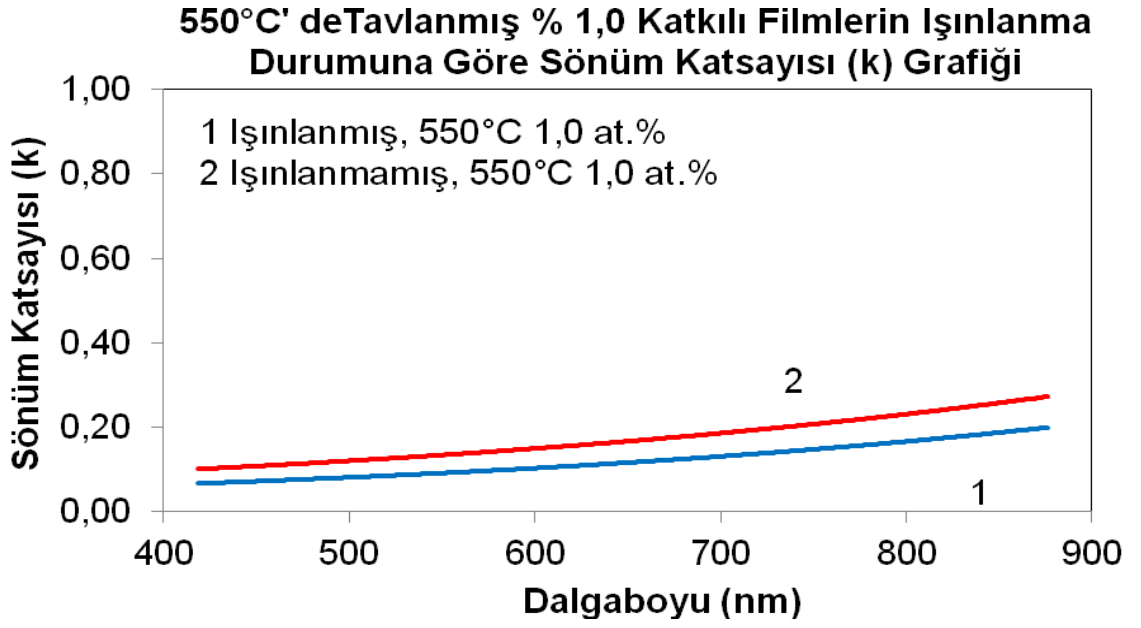
Şekil 6. 76: 500°C' de tavlanmış % 1,0 katkıli filmin nötronlara maruz kaldıktan sonraki sönüm katsayısındaki değişim

### 500°C' deTavlanmış % 1,2 Katkılı Filmlerin Işınlanma Durumuna Göre Sönüm Katsayısı (k) Grafiği

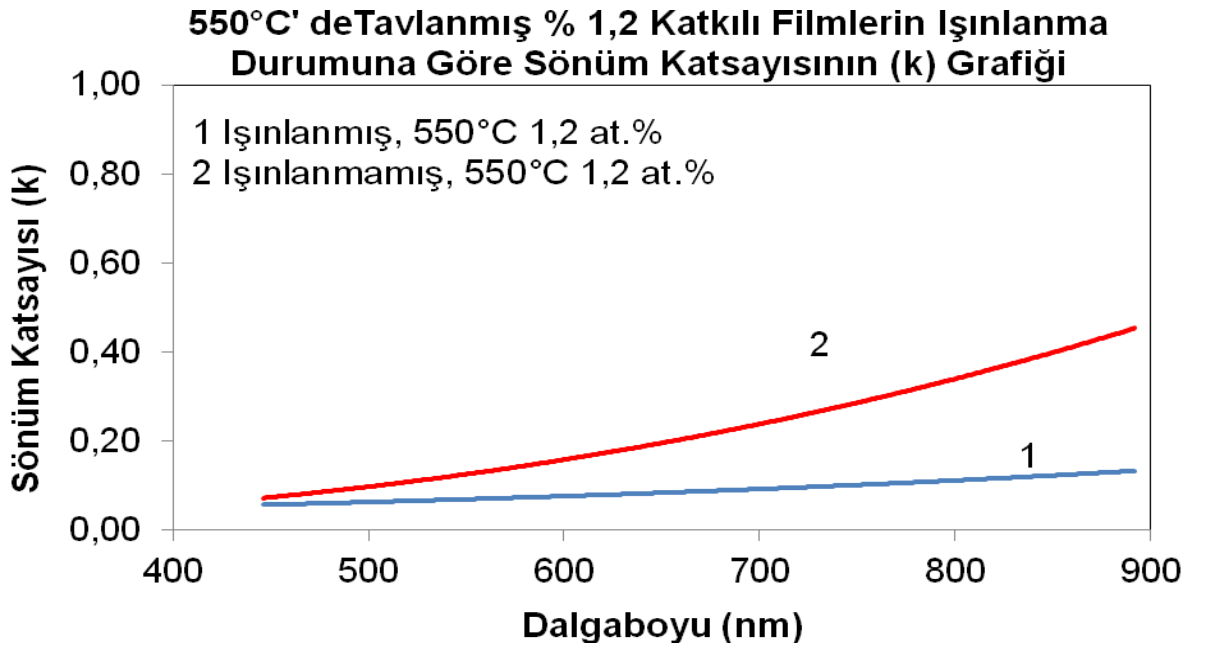


Şekil 6. 77: 500°C' de tavlanmış % 1,2 katkıli filmin nötronlara maruz kaldıktan sonraki sönüm katsayısındaki değişim

Vakum atmosferinde 550°C tavlama sıcaklığında tavlanmış olan % 1,0 Al katkıli ZnO:Al ince filmlerinin sönüm katsayısındaki değişimler ışınlanma öncesi ve sonrası olmak üzere mukayeseli olarak Şekil 6.78' de verilmiştir. % 1,2 Al katkıli ZnO:Al ince filmlerin sönüm katsayısındaki değişimler ışınlanma öncesi ve sonrası olmak üzere mukayeseli olarak Şekil 6.79' da verilmiştir.



Şekil 6. 78: 550°C' de tavlanmış % 1,0 katkılı filmin nötronlara maruz kaldıktan sonraki sönüm katsayısındaki değişim



Şekil 6. 79: 550°C' de tavlanmış % 1,2 katkılı filmin nötronlara maruz kaldıktan sonraki sönüm katsayısındaki değişim

#### 6.4.5 Işınlanmamış ve ışınlanmış ZnO:Al ince filmlerde optik bant aralığının değişiminin mukayeseli olarak incelenmesi

Bu tez çalışması kapsamında vakum ortamında 450<sup>0</sup>C, 500<sup>0</sup>C ve 550<sup>0</sup>C sıcaklıklarında tavlansarak hazırlanan Al katkılı ZnO filmlerin başka bir özelliği olan optik bant aralıklarında ışınlanma sonrasındaki değerleri Çizelge 6.4' te verilmiştir. Optik bant aralığı için spektrofotometrik ölçümlerdeki hata ~ ± 0.03 civarındadır.

**Çizelge 6. 4:** Filmlerin ışınlanma duruma göre optik bant aralığı değerleri

Tavlama Sıcaklığı ( <sup>0</sup> C)	Al Katkı Oranı (%)	Işınlanmamış Filmlerin Optik Bant Aralığı (eV)	Işınlanmış Filmlerin Optik Bant Aralığı (eV)
450	1,0	3,29	3,28
	1,2	3,32	3,30
500	1,0	3,27	3,26
	1,2	3,29	3,28
550	1,0	3,25	3,23
	1,2	3,27	3,25





## 7. SONUÇ VE TARTIŞMA

Nötronlara maruz kalan ince filmlerin, optik geçirgenliğinin azaldığı tespit edilmiştir. Nötronlarla ışılandıktan sonra, optik geçirgenlikteki oluşan azalma, üretilen filmin optik performansını, kırılma indisi ve sönüm katsayısı bağlamında etkilemiştir.

ZnO:Al thin filmlerin yüzey morfolojisi göz önüne alındığında, nötronlara maruz kalan filmlerin AFM görüntülerinde, parçacık büyüklüğü artarken, yüzey pürüzlülüğünde arttığı tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğün artması, nötronlara maruz kalan ZnO:Al ince film yüzeyindeki yansıtıcılığın azalmasına neden olmuştur. Nötronlara maruz kalan malzemelerde rastlanan Frenkel ve Schottky radyasyon kusurları neticesinde, malzeme yapısında şişmeler meydana gelebilmektedir. Benzer şekilde söz konusu bu çalışmada da, ZnO:Al ince filmlerin yapısında parçacık büyüklüğünün artışı tespit edilmiştir. Parçacık büyüklüğünün artışı sonucu yüzey pürüzlülüğünün artması ve dolayısı ile yansıtıcılığın azalması, filmlerde kırılma indisini önemli bir şekilde artırmıştır.

Genel olarak nötronlara maruz kalan ince filmlerin yansıtıcılığında bir azalma oluşurken, kırılma indisinde de artış oluşmaktadır. Nötronlara maruz kalan ZnO:Al ince filmde ışığın renklerine ayrılmasındaki değişimin bir ölçüsü olan, kırılma indisindeki artış, dispersiyonda (ışığın renklerine ayrılmasında) oluşan artışa işaret etmektedir. Nötronlara maruz kaldıktan sonra, söz konusu kırılma indisindeki artışın 1,5 ve üzeri değere ulaşması, ışığı kırma gücü yüksek film elde edildiğini işaret etmektedir.

Sönüm katsayısı, kompleks bir sayı olan kırılma indisinin sanal kısmını ifade etmektedir. Üretilen ZnO:Al ince filmlerde ışığın soğurulmasının ve saçılmasının bir ölçüsü olarak incelenmiştir. Nötronlara maruz kalan film yapısındaki atomların çekirdeklerinin nötronlar ile etkileşmesi neticesinde, azalan optik geçirgenlik yeteneği, sönüm katsayısını olumsuz etkilemiştir.

Soda-kireç-silika cam taşıyıcılar üzerinde üretilen ince filmlerin ışınlama işlemi öncesi ve ışınlama işlemi sonrasında, optik soğurma eşliğinin ~ 300 nm olduğu tespit edilmiştir. Üretilen ZnO:Al ince filmlerde izinli doğrudan geçiş olup, ışınlama işlemi sonrasında bu özellik değişmemiştir.



## KAYNAKLAR

- Bach, H. and Dieter, K., 1997 :** Thin films on glass : Springer – Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- Baydoğan, N.D., Tuğrul, A.B. , 2006.** Evaluation of the optikal changes for a Soda–lime–silicate glass exposed to radiation, *Glass Physics and Chemistry* 32 (3), 309-314.
- Baydoğan, N., Tuğrul, A. B., 2013,** The effect of neutron and mixed gamma and neutron irradiation on the solar properties of borosilicate glass, *Res Chem Intermed*, DOI 10.1007/s11164-012-0964-4
- Baydoğan, N., Tuğrul, A.B., 2012,** Borosilicate glass for gamma irradiation fields, *Solid State Sciences*, 14 1692-1697
- Baydoğan N., Çilingiryan, K., Tuğrul, A.B. Çimenoğlu, H. Yeşilkaya, S.S., 2013,** Surface Characterization of Irradiated ZnO:Al Thin Film by Reactor Neutrons, *Defect and Diffusion Forum Vols. 334-335*, pp 294-296
- Baydoğan, N., Özdemir, T., Çimenoğlu H., Tuğrul, A.B., 2013,** Refractive Index and Extinction Coefficient of ZnO:Al Thin Films Derived by Sol-Gel Dip Coating Technique, *Defect and Diffusion Forum Vols. 334-335*, pp 290-293,
- Baydoğan, N., Özdemir, Ö., Çimenoğlu, H., 2013,** The improvement in the electrical properties of nanospherical ZnO:Al thin film exposed to irradiation using a Co-60 radioisotope, *Radiation Physics and Chemistry*, Available online, (article in press)
- Baydoğan, N., Karacasu, Ö. , Çimenoğlu H., 2012a,** Effect of annealing temperature on ZnO:Al/p-Si heterojunctions, *Thin Solid Films* 520, 5790–5796
- Baydoğan, N., Karacasu, Ö. , Çimenoğlu H., 2012b,** ZnO:Al thin films used in ZnO: Al/p-Si heterojunctions, *J Sol-Gel Sci Technol* 61:620–627
- Bhat, J.S., Maddani, K.I., Karguppikar A.M., Ganesh, S., 2007,** Electron beam radiation effects on electrical and optikal properties of pure and aluminum doped tin oxide films. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 258.
- Bhat, J.S., Patil, A.S., Swami, N., Mulimani, B.G., Gayathri, B.R., Deshpande, N.G., Kim, G.H., Seo, M.S., Lee, Y.P., 2010,** Electron irradiation effects on electrical and optikal properties of sol-gel prepared ZnO films. *Journal of Applied Physics*, 108, 043513
- Bilgen, Y., 2008:** Sol-gel yöntemiyle üretilen nanokristal ZnO:Ga ince filmlerinin optik ve mikroyapısal özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, İzmit.
- Bilge, Ali Nezihi, Tuğrul, Beril, 1990,** Endüstriyel Radyografinin Esasları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Rektörlük Ofset Atelyesi, İstanbul.

- Bulun, Gökmen**, 2010: 3d-Geçiş Metali Ni Katkılı  $Zn_{1-x}Ni_xO$  VE 4f-Lantanit Gd katkılı  $Zn_{1-x}Gd_xO$  bileşiklerinin yapısal ve manyetik Özellikleri, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Adana.
- Cooper, W. J. Randy D. Curry and Kevin E. O'Shea**, 1998: Ionizing Radiation, Wiley-Interscience.
- Çağlar, M., Ilcan, S., Çağlar, Y., Yakuphanoglu, F.**, 2008, The effects of Al doping on the optikal constants of ZnO thin films prepared by spray pyrolysis method, *J Mater Sci: Mater Electron*, 704-708
- Çakır, A., Çelik, E., Toparlı, M., Ak, F., Havitçioğlu, H.**, 2006, Sol-jel yöntemi ile 316L paslanmaz çelik implant malzemelerin üzerine hidroxyapatite (HAP) kaplamaların üretilmesi, kimyasal-elektrokimyasal-mekanik karakterizasyonu, TÜBİTAK Proje No: MİSAG-259, İzmir
- 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.
- Deng, Guo, Y.R. Li, Y. Li, Xu**, 2006, Characteristics of Al-doped c-axis orientation ZnO thin films prepared by the sol-gel method, *Materials Research Bulletin*, **41**, 354-358.
- Denguan, 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.
- Erdoğan, Mehmet Selçuk**, 2005: Borun Özellikler ve Bor ile Nötron Yakala Terapisi, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Kütahya
- Glaser, H.J.**, 2000, Large Area Glass Coating, Von Ardenne Anlagentechnik GmbH, Dresden.
- Glocker, D., ve Shah, S.I**, 1997, Handbook of Thin Film Process Technology, TF-Taylor.
- Gümüş, C., Ozkendir, O. M., Kavak, H., Ufuktepe, Y.**, 2006: Structural and optikal properties of zinc oxide thin films prepared by spray pyrolysis method. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, Vol. 8, No. 1, February 2006.
- Hala, Jiri and Navratil, James D.**, 2003: Radioactivity, Ionizing Radiation, and Nuclear Energy, International Union of Pure and Applied Chemistry.
- 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.

- Jimeéz-Gonzaalez A.E. , Soto Urueta Jose A., Suaarez-Parra, R.,** 1998, Optikal and electrical characteristics of aluminum-doped ZnO thin flms prepared by solgel technique, *Journal of Crystal Growth* *Journal of Crystal Growth* 192, 430- 438
- Karacasu, Ö,** 2010, Nano-Crystalline ZnO: Al Thin Films prepared by sol-gel dip coating technique and ZnO:Al/p-Si Heterojunctions, Yüksek Lisans tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Klein, Lisa C.,** 1988 : Sol gel technology for thin films, fibers, preforms, electronics, and specialty shapes. Noyes Publications.
- K-O, H., Tai, W-P., Kim, K-C., Kim, S-H., Suh, S-J., Kim, Y-S.,** *Journal of Crystal Growth* 277 (2005) 352-358
- Li, Z.Q., Zhang, D. X., Lin, J. J.,** 2006, Optikal and electrical transport properties of facing-target sputtered Al doped ZnO transparent film. *Journal of Applied Physics* 99.
- Look, D.C.,** 2001, *Materials Science and Engineering B80* (383–387), Recent advances in ZnO materials and devices.
- Lou, X., Shen, H., Zhang, H., Li, B.,** 2007, Optikal properties of ZnO films prepared by sol-gel process. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 17. Science Press.
- Mohammad, MT., Hashim, A., Al-Maamory, H.,** 2006, *Materials Chemistry and Physics* 99 , 382-387
- Mondal, S., Kanta, K.P., Mitra, P.,** 2008, Preparation of Al-doped ZnO (ZnO:Al) thin film by SILAR, *Journal of Physical Sciences*, Vol. 12, 221-229
- Moriga, Nakabayashi, Tominaga, Umezu,** 1998. Effects of UV light irradiation and excess Zn addition on ZnO:Al film properties in sputtering process, *Thin Solid Films*, 316, 85-88.
- Musat, V., Teixeira, B., Fortunato, E., Monteiro, RC., Vilarinho, P.,** 2004, *Surface and Coatings Technology* 180-181, 659-662.
- Oldham Timothy R., McLean F.B.,** 1998: *Ionizing Radiation Effects in MOS Oxides (International Series on Advances in Solid State Electronics & Technology)*, World Scientific Publishing
- Ohring, M.,** 2001: *Materials Science of Thin Films*, 2nd Edition, Academic Press
- Özdemir, İ., Akşit, A., Çelik, E., Avgin, İ., Mutlu, M., Onar, N., Ebeoğlugil, M., Birlik, I., Gürbüz, A.,** 2010, Sol-jel yöntemi kullanılarak tekstil materyallerinin elektriksel, manyetik ve mikrodalga özelliklerinin modifikasyonu ve görünmezlik özelliğinin kazandırılması, TÜBİTAK Proje No: 106M391, İzmir.
- Özdemir, Ö.,** 2009: Investigation of structural and electrical properties of gamma rays exposed Al doped ZnO films manufactured via sol-gel technique, İ.T.Ü., Doktora Tezi, İstanbul.
- Radhouane, Bel Hadj Tahar,** 2005, *Journal of the European Ceramic Society* 25, 3301–3306, Structural and electrical properties of aluminum-doped zinc oxide films prepared by sol–gel process.

- 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, Materials Science-Poland, Vol. 23, No. 3
- 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.
- Singla, M.L., Shafeeq, M.M., Kumar, M.**, 2009, Optikal characterization of ZnO nanoparticles capped with various surfactants. *Journal of Luminescence*, 129. Elsevier.
- Sorar, İ.**, 2008, Katkılı ve katkısız ZnO ince filmlerinin hazırlanması ve karakterizasyonu, Doktora Tezi, İ.T.Ü., İstanbul
- Şener, Deniz**, 2006: Sol-gel yöntemiyle hazırlanan metal oksit ince filmlerin elektriksel, yapısal ve optik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- TAEK**, 2009a: Radyasyon, İnsan ve Çevre
- TAEK**, 2009b: İyonlaştırıcı Radyasyon Kaynakları için Temel Bilgiler Kılavuzu
- Tekin, Meliha**, 2009: Investigation on structural, optikal and electrical properties and behaviour against gamma irradiation of ZnO:Al thin films prepared by sol-gel spin coating method, İ.T.Ü. , Doktora Tezi, İstanbul.
- Tuğral, H.**, 2010, Characterization of Nanostructured ZnO:Al Films and The Effect of Beta Radiaiton on Their Colour Parameters, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tuğral, H., Cimenoglu, H., Kayali, S., Tuğrul, B., Baydogan, M., Altinsoy, N., Albayrak, G., Sengel, H., Akmaz, F., Parlar, A.**, 2009, Evaluation of Optikal and Colour Parameters on Induced Al Doped Nanostructured ZnO Thin Film By Beta Radiation For The Commercialization of ZnO:Al in Civilian and Military Industries, Nanoelectronic Devices for Defense & Security (NANO-DDS) Conference, 28 Eylül -2 Ekim, Fort Lauderdale, Florida USA, 2009.
- Tüzemen, Eda**, 2007: ZnO ince filmlerinin eldesi ve aygıt üretimi için parametrelerinin optimizasyonu, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Adana.
- Url-1** <<http://www.bilkent.edu.tr/~bilheal/aykonu/ay2011/radyasyonturk.htm>>, alındığı tarih 18.11.2012
- Url-2** <<http://www.trkd.org.tr/radyasyon.html>>, alındığı tarih 18.11.2012

- 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.
- Wang, Y. G., Lau, S. P., Lee, H. W., Yo, S. F., Tay, B. K., Zhang, X. H.,Tse, K. Y., Hng, H. H.,** 2003, Comprehensive Study of ZnO Films Prepared by FCVA at Room Temperature. *Journal of Applied Physics*, 94 (3): 1597-1604.
- 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.
- Xu, Z.Q., H. Deng, Y. Li, Q.H. Guo, Y.R. Li,** 2006, *Materials Research Bulletin* 41 354–358, Characteristics of Al-doped c-axis orientation ZnO thin films prepared by the sol–gel method.
- Yavuz, H., Bilge, AN, 1993, Ünseren E, Bayülken A., Tuğrul, B, Durmayaz, A, 1993,** İTÜ TRİGA Mark-II Reaktörünün Sanayii İhtiyaçlarına Yönelik Modernleştirilmesi
- Yoo, Jinsu, Lee, Jeonghul, Kim ,Seokki, Yoon, Kyunghoon, Park, I. Jun, Dhungel, S.K., Karunagaran, B., Mangalaraj, D., Yi, Junsin,** 2005, *Thin Solid Films* 480–481, 213– 217, High transmittance and low resistive ZnO:Al films for thin film solar cells.
- Zhang, D., Yang, T., MA, J., Wang, Q., Gao, RW., MA., L.,** 2000, *Applied Surface Science* 158, 43–48





## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad:** Teyfik ÖZDURMUŞOĞLU

**Doğum Yeri ve Tarihi:** ADANA, 07.02.1984

**Adres:** Mahmut Şevket Paşa Cd. Çınarcık Sk. No:12/2 P.K.: 34413,  
Çeliktepe/İSTANBUL

**Lisans Üniversitesi:** İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi  
Fizik Bölümü

### Yayın Listesi:

**T. Ozdurmusoglu, Refractive Index and Extinction Coefficient of ZnO:Al Thin Films Derived By Sol-Gel Dip Coating Technique,** 8th International Conference on Diffusion in Solids and Liquids - DSL-2012, pp.233, Istanbul-Turkey, 25-29 June, 2012.