İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

GAMA TRANSMİSYON TEKNİĞİ İLE Al KATKILI ZnO İNCE FİLMLERİN YAPISINDAKİ DEĞİŞİMLERİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burak Emre KARAGÖZ

Anabilim Dalı : Enerji Bilim ve Teknoloji

Programı : Enerji Bilim ve Teknoloji

OCAK 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

GAMA TRANSMİSYON TEKNİĞİ İLE Al KATKILI ZnO İNCE FİLMLERİN YAPISINDAKİ DEĞİŞİMLERİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Burak Emre KARAGÖZ
304001016

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Aralık 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Ocak 2010

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Nilgün DOĞAN BAYDOĞAN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Beril TUĞRUL (İTÜ)
Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENOĞLU (İTÜ)

OCAK 2010

Eşime,

ÖNSÖZ

Beni yönlendiren, gerekli ilgi ve yardımı esirgemeyen, değerli hocam Doç. Dr. Nilgün DOĞAN BAYDOĞAN'a, her türlü sorunuma kendi sorunları gibi yaklaşan ve arkadaşlıklarını esirgemeyen sevgili dostlarım Yük. Müh. M. Sahip KIZILTAŞ ve Dr. Muhittin OKKA'ya, bana İstanbul'da geçirdiğim dönemde muhteşem arkadaşlığını sunan eski dostum sevgili Türker ŞAHİN'e ve özellikle sevgili eşim Meltem KARAGÖZ'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Aralık 2009

Burak Emre KARAGÖZ

Fizik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **ix**
TABLO LİSTESİ ..... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xiii**
SEMBOL LİSTESİ ..... **xvii**
ÖZET ..... **xix**
SUMMARY ..... **xxi**
1. GİRİŞ **1**
2. GAMA IŞINLARININ TANITIMI **3**
2.1 Gama Işınları 3
2.2 Gama Işınlarının Özellikleri 3
2.3 Gama Işınlarının Madde ile Etkileşmesi 9
2.3.1 Fotoelektrik olay 9
2.3.2 Compton saçılması 10
2.3.3 Çift oluşumu 12
2.3.4 Gama ışınlarının soğrulması 12
2.4 Gama Kaynakları 14
3. GAMA TRANSMİSYON TEKNİĞİ **17**
3.1 Gama Transmisyon Tekniğinin Genel Prensipleri 17
3.1.1 Gama transmisyon tekniğinin sistem tasarımı 19
3.1.1.1 Ölçüm sisteminin seçimi 20
3.1.1.2 Radyasyon kaynağının seçimi 21
3.2 İlgili Düzenekler 23
3.3 Gama Transmisyon Tekniğinin Uygulama Alanları 24
3.3.1 Kalınlık ölçümleri 24
3.3.2 Seviye ölçümleri 25
3.3.3 Kaplar ve borular içindeki tortuların ölçümleri 26
3.3.4 Korozyon ölçümü ve dedeksiyonu 27
3.3.5 Boşlukların ölçümü 27
3.3.6 Ağırlık ölçümleri 27
3.3.7 Yoğunluk ölçümleri 28
4. SOL-GEL YÖNTEMİ **31**
4.1 Film Oluşumu 31
4.1.1 Al katkılı ZnO ince filmlerin özellikleri 32
4.1.1.1 Elektriksel özellikleri 32
4.1.1.2 Optik özellikleri 33
4.1.1.3 Mekanik özellikleri 33
4.1.1.4 Radyasyon karşısında davranışları 34
4.2 Sol-Gel Kaplama Yöntemleri 35

4.2.1 Daldırarak kaplama yöntemi 36
4.2.2 Döndürerek kaplama yöntemi 37
4.3 Sol-Gel Tekniği ile Üretilen Geçirgen İletken ZnO:Al İnce Filmler ve Uygulama Alanları 39
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR 41
5.1 Deneyde Kullanılan ZnO:Al İnce Filmler 41
5.1.1 Işınlanmamış örnekler 42
5.1.2 Co-60 gama kaynağı ile ışınlanmış örnekler 43
5.2 Deneyde Kullanılan Gama Radyoizotop Kaynağı 45
5.3 Gama Transmisyon Tekniğinde Kullanılan Işınlama Düzeneğinin Tanıtımı 46
5.3.1 Dedektör 46
5.3.2 Çok kanallı analizör (MCA) 47
5.3.3 Zırh kolimatör 49
5.3.4 Zırh ünitesi bariyer 49
5.3.5 Gama kaynağı sabitleyici 50
5.4 Deney Düzeneği 50
5.5 Deney Geometrisi 51
5.6 Deneyin Yapılışı 52
6. DENEY SONUÇLARI 53
6.1 Cs-137 Kaynağı ile ZnO:Al İnce Filmlerden Elde Edilen Gama Zayıflama Sonuçları 53
6.2 Film Üretim Parametrelerine Göre Gama Zayıflama Sonuçlarının İncelenmesi 56
6.2.1 Al katkılama oranına göre gama zayıflama sonuçlarının incelenmesi 56
6.2.2 Tavlama sıcaklığına göre gama zayıflama sonuçlarının incelenmesi 61
6.2.3 Tavlama atmosferine göre gama zayıflama sonuçlarının incelenmesi 63
6.2.4 Işınlanma durumuna göre gama zayıflama sonuçlarının incelenmesi 65
6.3 Gama Zayıflama Sonuçlarından Elde Edilen Çizgisel Soğurma Katsayıları 66
6.4 Film Üretim Parametrelerine Göre Çizgisel Soğurma Katsayılarının İncelenmesi 68
6.4.1 Al katkılama oranına göre çizgisel soğurma katsayılarının incelenmesi 68
6.4.2 Tavlama sıcaklığına göre çizgisel soğurma katsayılarının incelenmesi 70
6.4.3 Tavlama atmosferine göre çizgisel soğurma katsayılarının incelenmesi 72
6.4.4 Işınlanma durumuna göre çizgisel soğurma katsayılarının incelenmesi 74
7. SONUÇ VE TARTIŞMA 77
KAYNAKLAR 80
ÖZGEÇMİŞ 82

KISALTMALAR

OLED : Organic light emitting diode
SAW : Surface acoustic wave
MEMS : Microelectromechanical systems
AZO : Al katkılı ZnO
FWHM : Full width at half maximum
FWTM : Full width at total maximum
Al : Alüminyum sembolü
ZnO : Çinko oksit sembolü
TCO : Transparent conducting oxide
SEM : Scanning Electron Microscope
RF : Magnetron sputtering
LED : Light emitting diode
MCA : Multichannel Analyzer

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 : Uygulamada en çok tercih edilen gama kaynakları ve özellikleri 15
Tablo 3.1 : Radyasyon ile ölçüm sistemlerinin bazı uygulama alanları. 18
Tablo 3.2 : Radyasyon dedektörlerinin özellikleri.....20
Tablo 3.3 : Gama aktif bazı radyoizotoplar ve özellikleri.....22
Tablo 3.4 : Uygulamada tercih edilen gama ışını yayan bazı radyoizotopların özellikleri. 23
Tablo 5.1 : Işınlanmamış örneklere ait özellikler. 42
Tablo 5.2 : Işınlanmış Al katkılı ZnO ince filmlere ait özellikler. 44
Tablo 5.3 : Deneylerde kullanılan radyoizotopların özellikleri.....45
Tablo 5.4 : Canberra GR4021 Ge dedektörünün Co-60 (1.33 MeV) için verimi.....47
Tablo 6.1 : Işınlanmamış Al katkılı ZnO ince filmlerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile elde edilen deney sonuçları 54
Tablo 6.2 : Işınlanmış Al katkılı ZnO ince filmlerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile elde edilen deney sonuçları. 55
Tablo 6.3 : Işınlanmamış Al katkılı ZnO ince filmlerin çizgisel soğurma katsayıları 67
Tablo 6.4 : Işınlanmış Al katkılı ZnO ince filmlerin çizgisel soğurma katsayıları. 67

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Radyoaktif bozunmada gama ışınlarının yayınlanması. 3
Şekil 2.2 : Radyoaktif bozunmada gama ışınlarının yayınlanması. 4
Şekil 2.3 : Elektromanyetik radyasyon ailesi. 5
Şekil 2.4 : Ters kare kanunu. 7
Şekil 2.5 : Radyasyon tiplerine ve enerjilerine bağlı olarak giricilik değişimi. 8
Şekil 2.6 : X ve γ ışınlarının spektrumlarının aynı grafikte karşılaştırmalı gösterimi. 8
Şekil 2.7 : Gama ışını - madde etkileşimi çeşitlerinden en çok olasılıklı olan üçünün karşılaştırmalı önemi …..... 9
Şekil 2.8 : Fotoelektrik olay. 10
Şekil 2.9 : Compton saçılması. 11
Şekil 2.10 : Çift oluşumu. 12
Şekil 2.11 : Kurşun içinde gama ışınlarının soğurulması. 14
Şekil 3.1 : Gama transmisyon tekniğinin genel şeması. 19
Şekil 3.2 : Gama transmisyon tekniği ile kalınlık ölçüm sistemi. 25
Şekil 3.3 : Seviye ölçmelerinde kullanılan sistemlerin şematik görünümü. 26
Şekil 3.4 : Boru ölçümlerinde kullanılan sistem. 27
Şekil 3.5 : Gama transmisyon tekniği ile yoğunluk ölçüm sistemi. 28
Şekil 3.6 : Yoğunluk ölçümlerinde kullanılan kontrol devreleri. 29
Şekil 4.1 : Al katkılı ZnO ince filmlerde tavlama sıcaklıklarının elektriksel direnç üzerine etkisi. 32
Şekil 4.2 : Al katkılı ZnO ince filmlerin farklı tavlama sıcaklıklarında optik geçirgenlikleri. 33
Şekil 4.3 : Al katkılı ZnO ince filmlere ait farklı tavlama sıcaklıklarındaki scanning electron microscope mikro grafikleri. 34
Şekil 4.4 : Sol-Gel teknikleri ve ürünleri. 35
Şekil 4.5 : Daldırarak kaplama tekniğinin şematik anlatımı. 36
Şekil 4.6 : Daldırarak kaplama yöntemi için ekipman. 36
Şekil 4.7 : Kaplanacak yüzeyler için ön temizleme prosedürleri. 37
Şekil 4.8 : Döndürerek kaplama yöntemine ait şema. 38
Şekil 4.9 : Döndürerek kaplama yöntemine ait çözelti hazırlama ve kaplama işlemine ait şematik diyagram. 38
Şekil 4.10 : Silikon solar hücre yapısı. 39
Şekil 4.11 : *n*-ZnO:Al/ *p*-SiCs4Hd heterojunksiyon LED yapısı. 40
Şekil 4.12 : ZnO/SiO2/Si SAW Rezonatör Yapısı. 40
Şekil 5.1 : a) Co-60 gama kaynağı a) ince filmlerin ışınlama düzeneği c) ışınlama sistemine ait şema. 43

Şekil 5.2 : Al katkılı ZnO kaplanmış soda kireç silika filmler. 45
Şekil 5.3 : Cs-137 gama radyoizotop kaynağı a) önden b) arkadan görünümleri. 45
Şekil 5.4 : Canberra GR4021 Ge dedektörü. 47
Şekil 5.5 : Canberra marka Eagle Plus model çok kanallı analizör. 48
Şekil 5.6 : Cs-137 gama radyoizotopuna ait spektral analiz. 48
Şekil 5.7 : Zırh kolimatör.....49
Şekil 5.8 : Zırh ünitesi bariyer. 49
Şekil 5.9 : Gama kaynağı sabitleyici. 50
Şekil 5.10 : Deney düzeneğinin şematik yerleşimi. 51
Şekil 6.1 : Grup 1'e ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre gama geçirgenliği. 56
Şekil 6.2 : Grup 2'e ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre gama geçirgenliği. 57
Şekil 6.3 : Grup 3'e ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre gama geçirgenliği. 57
Şekil 6.4 : Grup 4'e ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre gama geçirgenliği. 58
Şekil 6.5 : Grup 5'e ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre gama geçirgenliği. 59
Şekil 6.6 : Grup 6'ya ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre gama geçirgenliği. 59
Şekil 6.7 : Grup 7'ye ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre gama geçirgenliği. 60
Şekil 6.8 : Grup 8'e ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre gama geçirgenliği. 61
Şekil 6.9 : Grup 3 ve Grup 4'e ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre gama geçirgenliği. 62
Şekil 6.10 : Grup 5 ve Grup 6'ya ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre gama geçirgenliği. 62
Şekil 6.11 : Grup 5, Grup 6 ve Grup 7'ye ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre gama geçirgenliği. 63
Şekil 6.12 : Grup 1 ve Grup 4'e ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre gama geçirgenliği. 64
Şekil 6.13 : Grup 2 ve Grup 3'e ait ince filmlerin gama geçirgenliği - Al % katkı oranı grafiği. 64
Şekil 6.14 : Grup 3 ve Grup 5'e ait ince filmlerin gama geçirgenliği - Al % katkı oranı grafiği. 65
Şekil 6.15 : Grup 4 ve Grup 6'ya ait ince filmlerin gama geçirgenliği - Al % katkı oranı grafiği. 66
Şekil 6.16 : Grup 3'e ait ince filmlerin gama geçirgenliği - Al % katkı oranı grafiği. 68
Şekil 6.17 : Grup 4'e ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre çizgisel soğurma katsayıları. 69
Şekil 6.18 : Grup 8'ye ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre çizgisel soğurma katsayıları. 69

Şekil 6.19 : Grup 6'ya ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre çizgisel soğurma katsayıları. 70
Şekil 6.20 : Grup 3 ve Grup 4'ye ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre çizgisel soğurma katsayıları. 71
Şekil 6.21 : Grup 5 ve Grup 6'ya ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre çizgisel soğurma katsayıları. 71
Şekil 6.22 : Grup 5, Grup 6 ve Grup 7'ye ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre çizgisel soğurma katsayıları. 72
Şekil 6.23 : Grup 1 ve Grup 4'e ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre çizgisel soğurma katsayıları. 73
Şekil 6.24 : Grup 2 ve Grup 3'e ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre çizgisel soğurma katsayıları. 73
Şekil 6.25 : Grup 3 ve Grup 5'e ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre çizgisel soğurma katsayıları. 74
Şekil 6.26 : Grup 4 ve Grup 6'ya ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre çizgisel soğurma katsayıları. 75

SEMBOL LİSTESİ

A_1 : Birinci yüzey alanı
A_2 : İkinci yüzey alanı
α : Alfa ışınları
BE : Elektronu, bulunduğu yörüngeden kurtarabilmek için gerekli olan bağ enerjisi
β : Beta ışınları
c : Elektromanyetik dalga hızı
d_1 : A_1 yüzeyinin radyasyon kaynağına olan mesafesi
d_2 : A_2 yüzeyinin radyasyon kaynağına olan mesafesi
E_1 : Uyarılmış enerji seviyesi
E_2 : Çok uyarılmış seviyedeki atomun enerjisi
e_d : Dedektör verimi
E_e : Elektronun kinetik enerjisi
E_t : Temel enerji seviyesi
E_γ : Gama ışınlarının enerjisi
$E_{\gamma 1}$: Birincil uyarılmış seviyede yayınlanan gama ışınının enerjisi
$E_{\gamma 2}$: İkincil uyarılmış seviyede yayınlanan gama ışınının enerjisi
E_γ^* : Saçılan foton enerjisi
f : Elektromanyetik dalga frekansı
f_s : Kaynağın self-absorbsiyon katsayısı
γ : Gama ışınları
h : Planck sabiti
I : Malzemeyi kat edip diğer tarafa geçebilen radyasyon şiddeti
I_0 : Radyasyonun malzeme ile etkileşmeye başlamadan önceki şiddeti
I_1 : A_1 yüzeyine düşen radyasyon şiddeti
I_2 : A_2 yüzeyine düşen radyasyon şiddeti
λ : Elektronik dalgaya ait dalga boyu
n : Nötron akısı
$n_{ısıl}$: Termal nötron akısı
μ : Malzemeye ilişkin lineer soğurma katsayısı
μ_C : Compton saçılması soğurma katsayısı
μ_F : Fotoelektrik olay soğurma katsayısı
μ_m : Kütlesel soğurma katsayısı
μ_P : Çift oluşumu soğurma katsayısı
μ_T : Toplam lineer soğurma katsayısı
ρ : Malzeme yoğunluğu
θ : Saçılma açısı
x : Malzeme kalınlığı

GAMA TRANSMİSYON TEKNİĞİ İLE Al KATKILI ZnO İNCE FİLMLERİN YAPISINDAKİ DEĞİŞİMLERİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu Yüksek Lisans Tezinde, Gama Transmisyon Tekniği ile Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanarak, Al katkılı ZnO ince filmlerin yapısındaki değişimlerin incelenmesi amaçlanmıştır.

Günümüzde ince film teknolojisi endüstride; solar enerji panelleri başta olmak üzere çok geniş uygulama alanı bulmaktadır. İnce filmlerde optik geçirgenlik ve iletkenlik özellikleri kullanım alanlarını belirlemektedir. Bu amaçla, Sol-Gel tekniklerinden daldırarak kaplama yöntemi kullanılarak üretilmiş 29 farklı Al katkılı ZnO ince filmin, gama geçirgenliğini incelemek için deneyler yapılmıştır.

Tek gama radyoizotop kaynağı ile çalışılmasındaki amaç, 0,662 MeV enerjili fotonlar yayınlayan Cs-137 kaynağı ile ZnO:Al ince filmlerin gama geçirgenliğini monokromatik olarak incelemektir.

Gama transmisyon tekniğine uygun deney seti hazırlanmış, 29 farklı Al katkılı ZnO ince film için deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda bütün ince filmlerin gama geçirgenlik ve gama ışınları için soğurma katsayısı μ(1/mm), Al (at.%) konsantrasyonuna göre incelenmiştir.

Deneylerden elde edilen sonuçlara göre, Al katkı oranlarının ve tavlama sıcaklığının artması veya tavlama atmosferinin değişmesi, ışınlanmamış ve 0.2 Gy'de Co-60 radyoizotopu ile ışınlanmış ince filmlerin gama geçirgenliklerde etkili olmuştur. Ayrıca ince filmlerin üretim aşamasında mekanik ve elektriksel özelliklerinin geliştirilmesi amaçlı bir radyasyon kaynağı ile ışınlanmaları durumunda gama geçirgenliği azalmaktadır.

INVESTIGATION ON THE STRUCTURAL CHANGES OF Al DOPED ZnO THIN FILMS WITH GAMMA TRANSMISSION TECHNIQUE

SUMMARY

The aim of this study is to investigate the structural changes of Al doped ZnO thin films with gamma transmission technique, using Cs-137 gamma radioisotope.

Thin film technology find today wide application areas in industry, mainly in solar energy panels. The optical transmittance and conductivity properties of thin films define areas of use. To investigate the gamma transmittance of 29 different Al doped ZnO thin films that produced by Sol-Gel dip method, experiments have been made.

The purpose of working with Cs-137 gamma radioisotope source at 0,662 MeV is to observe the optical transmittance of Al doped ZnO thin films in monochromatic conditions.

Experiment set was prepared according to gamma-transmission technique, and for 29 different Al doped ZnO thin films, experiments have been made. As the result of the experiments, gamma transmittance and gamma absorption coefficient, μ (1/mm) were investigated via Al (at.%) concentration.

The results obtained from experiments showed that increase of annealing temperature and Al doped rate or annealing atmosphere affected the gamma transmittance of unirradiated thin films and irradiated thin films at 0.2Gy by Co-60 radioisotope. In addition, the irradiation process to develop the mechanical and electrical properties of thin films also decreases the gamma transmittance as well.

1. GİRİŞ

Günümüzde baş döndürücü bir hızla gelişen üretim teknolojileri, beraberinde endüstriyel kontrol mekanizmalarının da aynı hızla gelişmesine sebebiyet vermiştir. Amaç üretimin her aşamasında, kalite faktörü göz önüne alınarak, hatasız üretim yapmaktır. Özellikle endüstriyel proses ve kalite kontrolde ekonomik, pratik ve duyarlı kontrol ve üretim sistemleri araştırılmakta ve en uygun olanları tercih edilmektedir **(Bilge, 1991)**. İşte bu noktada nükleer teknikler endüstrinin birçok dalında kullanım alanı bulmaktadır.

Radyoaktivitenin bulunması yaklaşık bir asır öncesine dayanır. W.C. Röntgen 1895 yılında X-ışınlarını buldu **(Özden, 1983).** 1896 yılında Becquerel, girici radyasyonları inceledi ve bunları alfa, beta ve gama olarak sınıflandırdı. Böylece insanoğlunun radyasyon ile macerası başlamış oldu **(Bilge ve Tuğrul, 1991).** Ancak nötron biraz geç olmakla beraber 1932 yılında Chadwick tarafından bulundu **(Harms, Wyman, 1986).** Atomaltı parçacıklarla ilgili çalışmalar, başta hızlandırıcılar olmak üzere günümüzde de sürmektedir **(Rahman, Shieh, 1981).**

Gelişen teknoloji ile hemen hemen bütün elementlerin yapay radyoizotoplarının oluşturulabileceği anlaşılmıştır **(Özden, 1983).** Yapay izotoplar; kararlı bir elementin nükleer reaktörlerde yüksek enerjili ışınlarla ışınlanması veya nükleer yakıt içinde oluşan ürünlerinin ayrıştırılması ile elde edilebilmektedir. Özellikle İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra nükleer güç reaktörlerin kurulması ile daha fazla ve türde radyoizotop üretilebilmiş ve bunun sonucunda bu radyoizotoplar tıp, endüstri ve tarım alanlarında kullanılmışlardır **(Földiak 1986, Bilge ve Tuğrul 1986).** Böylece kontrollü ve bilinçli bir şekilde kullanılan radyasyon, zararsız şekilde insanlığın yararına, günümüz modern teknolojisinin hizmetine sunulmaya başlanmıştır.

Nükleer teknikler, radyasyonla çalışılıyor olmasından dolayı belirli bir tehlike arz ettiğinden uygulamada konuya vakıf yetişmiş elemana ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak nükleer güvenlik şartlarının sağlanması, genellikle pahalı yöntemler arasında yer alması gibi olumsuz özelliklere rağmen, sağladığı güvenilir ve hassas sonuçlar

nedeniyle yaygınlık kazanmaktadır **(Halmshaw, 1995 Early ve Sodee, 1995; Bernier ve Langan, 1997).**

Günümüzde nükleer tekniklerin en yaygın kullanımı olanı ve en eskisi röntgen çekimidir. Yirmici yüzyılın başlarından beri kullanılmaya başlanan bu teknik, yirminci yüzyılın son çeyreğinden itibaren bilgisayarlı tomografi, çeşitli sintigrafi ve pozitron emisyon tomografisinin gelişmesine önderlik etmiştir.

Nükleer tekniklerin endüstride kullanım alanları arasında metal, kağıt, plastik gibi malzemelerin kalınlıklarının ölçülmesi, kalın cidarlı kapalı kaplar ve borular içinde yüksek basınç altında zehirli, patlayıcı, korozif akışkanların sıcaklık, yoğunluk, seviye ve debi ölçümlerinin yapılması, motor, dişli gibi kapalı sistemlerin çalışma durumunda aşınmalarının takibi, besin maddelerinin kapalı kaplar içinde ve üretim bandında hızlı ve tek tek seviye, yoğunluk gibi özelliklerinin ölçümlenmesi sayılabilir. Bu uygulamalar arasında sektörel bazda; tarım endüstrisi, enerji sektörü, uçak ve gemi sanayi, kimya endüstrisi ve ilaç sanayi, temizlik ürünleri sektörü, demir-çelik endüstrisi, maden endüstrisi, patlayıcı madde, besin, kağıt, basım ve fotoğrafçılık sektörü vardır **(Földiak, 1986).**

Günümüzde üreticiler, daha kısa sürede, daha kaliteli üretim hedefi içerisindedirler. Bu yüzden hatanın ve dolayısı ile firenin azaltılması, kazancı artıran önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Hatalı üretim sırasında vakit, malzeme, enerji ve iş gücü karşılaşılan başlıca kayıplar arasında sayılabilir. Bunlara ek olarak yapılan hatalı üretim, fabrikanın ürünlerine karşı olan güvenin azalmasına, bunun sonucunda da şirketin piyasadaki prestijinin kaybolmasına ve güvenilirliğinin yitirilmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla çok yönlü kayıp söz konusudur. Günümüz rekabet ortamında, bunlar göz önünde bulundurulan önemli unsurlardandır. Bu gibi durumlarda, yoğunluk tayininin söz konusu olduğu nükleer teknikler, başvurulan önemli yöntemler arasında yer almaktadır **(Bilge, 1991).**

Bu Yüksek Lisans Tezinde, endüstriyel bir uygulama olan gama transmisyon tekniği ile geçirgenlik tayinine ilişkin bir çalışma yapılarak ve çizgisel soğurma katsayısı belirlenmiştir. Farklı Al konsantarsyonlarında ZnO ince filmler hazırlanarak, farklı tavlama şartlarında tavlandıktan sonra, elde edilen filmlerin gama geçirgenliğinde ve soğuma katsayısında oluşan değişimlerin belirlenmesi hedeflenmiştir.

2. GAMA IŞINLARININ TANITIMI

2.1 Gama Işınları

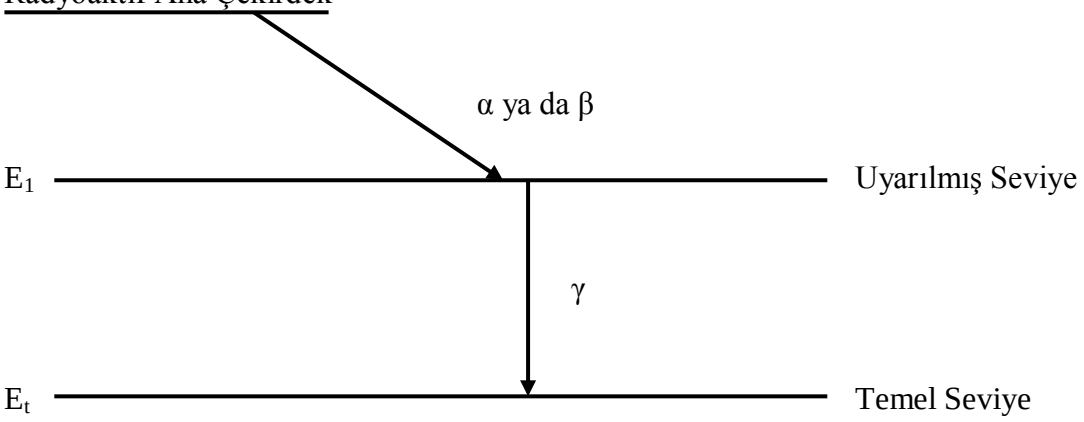
Kararsız çekirdekler kararlı hale geçmeleri sırasında ilk önce bir parçacık atarak (α yada β) yeni bir çekirdeğe dönüşmektedir. Yeni çekirdekteki fazla enerji de foton olarak yayınlanmaktadır. Bu her iki enerji atımına da (parçacık veya foton) "Radyoaktif Bozunma" adı verilir **(Földiak, 1986).** Bu fotonlar gama ışınları olarak adlandırılır.

2.2 Gama Işınlarının Özellikleri

Gama ışınlarının enerjisi (E_γ); uyarılmış enerji seviyesi (E_1) ile temel enerji seviyesi (E_t) arasındaki farka eşittir. Buna göre;

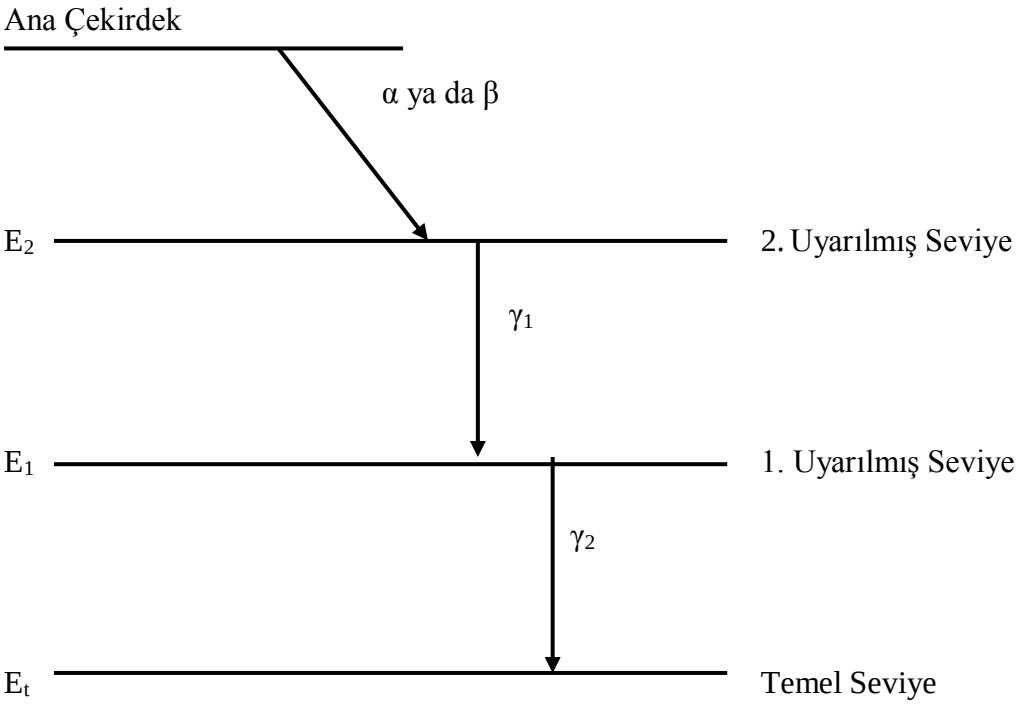
$$E_\gamma = E_1 - E_t \qquad \textbf{(2.1)}$$

olarak yazılabilir. Bu durum Şekil 2.1'de şematik olarak verilmektedir.



Şekil 2.1 : Radyoaktif bozunmada gama ışınlarının yayınlanması **(Gardner, R.P., Ely, R.L., 1967).**

Bazı durumlarda, çekirdek iki veya daha fazla uyarılmış seviyede bulunabilir. Bu durumda kaynaktan iki veya daha fazla değişik enerji seviyesinde gama ışınları (fotonlar) yayınlanır. Bu oluşumlar Şekil 2.2'de gösterilmektedir.



Şekil 2.2 : Radyoaktif bozunmada iki gama ışını yayınlanması **(Gardner, R.P., Ely, R.L., 1967).**

Bu şartlarda da;

$$E_{\gamma 1} = E_2 - E_1 \qquad \textbf{(2.2)}$$

$$E_{\gamma 2} = E_1 - E_t \qquad \textbf{(2.3)}$$

olmaktadır. Burada

$E_{\gamma 1}$: Birincil uyarılmış seviyede yayınlanan gama ışınının enerjisi

E_2 : Çok uyarılmış seviyedeki atomun enerjisi

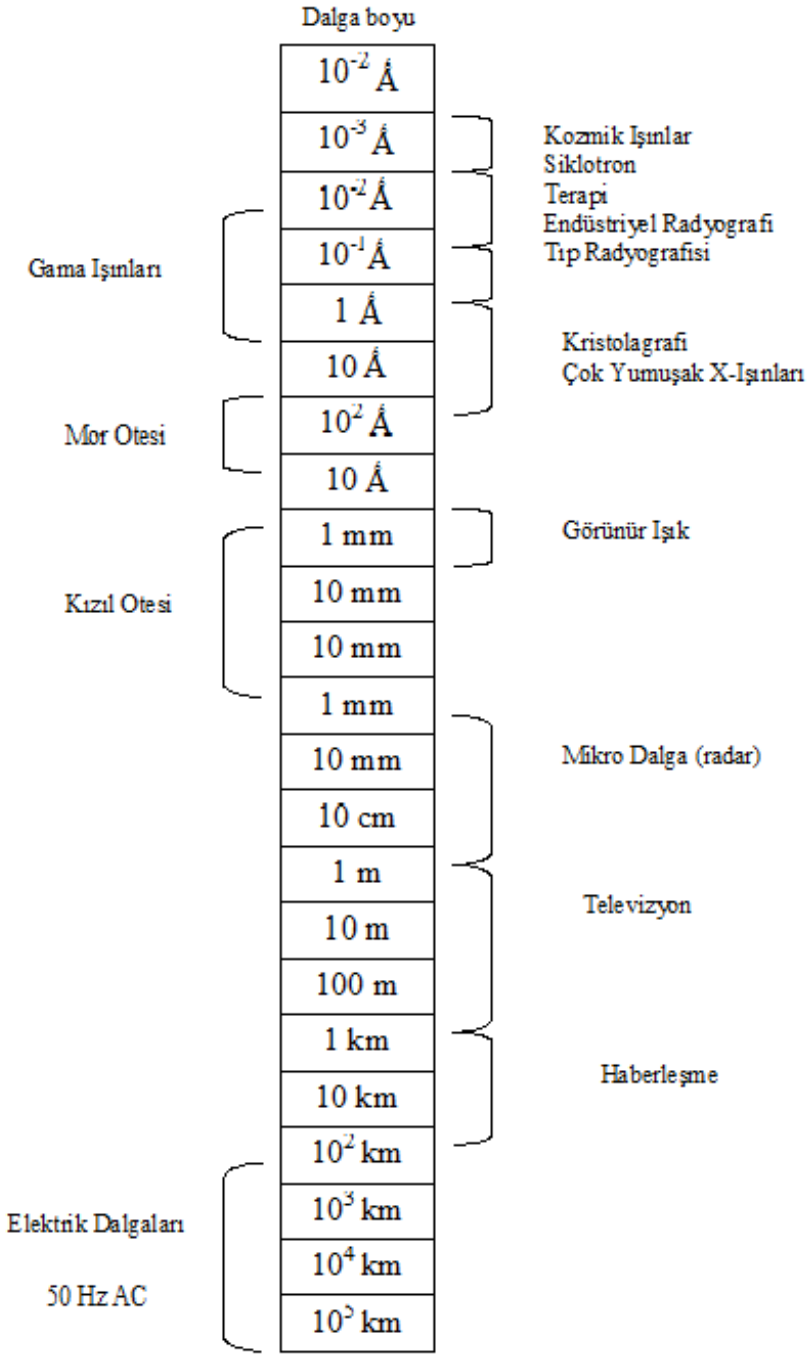
$E_{\gamma 2}$: İkincil uyarılmış seviyede yayınlanan gama ışınının enerjisini

ifade etmektedir.

Uyarılmış seviyede (temel durumun üstündeki bir seviyede) bulunan (kız) çekirdek, beta parçacıkları (pozitif veya negatif), elektron yakalama veya alfa parçacıkları yayınlanmasından itibaren 10^{-13} saniye içinde gama yayınlanması yaparak taban seviyesine dönmektedir. Ancak bazen bu uyarılmış halin kendine özgü yarılanma

süresi önemli derecede uzun olabilir, 10^{-6} veya 10^{-7} saniye mertebeleri arasında veya daha uzun olabilir. Ürün atomun uyarılmış haline "İzomer" denir. Bu izomer atomun temel haline geri dönmek üzere yayınladığı gama ışınlarına da "İzomerik Geçiş" (isomeric transition) denir **(Gardner, R.P., Ely, R.L., 1967).**

Her kararsız atoma ait gama radyasyonu karakteristiktir. Gama ışınları, elektromanyetik radyasyon ailesine ait olduğundan, onlarla aynı özellikleri paylaşır. Şekil 2.3'de elektromanyetik radyasyon ailesi gösterilmiştir.



Şekil 2.3 : Elektromanyetik radyasyon ailesi **(Bilge ve Tuğrul, 1990).**

Foton olarak tanımlanan boyutsuz ve kütlesiz enerji paketlerinden oluşan gama ışınları ışık hızı ile hareket etmektedirler.

$$c = f \cdot \lambda \quad \textbf{(2.4)}$$

Burada;

c : Elektromanyetik dalga hızı [m/sn],

f : Elektromanyetik dalga frekansı [1/sn],

λ : Elektronik dalgaya ait dalga boyu [m],

ifade etmektedir.

Foton Enerjileri (E) için;

$$E = h \cdot f \quad \textbf{(2.5)}$$

olarak yazılabilir. Burada;

E : Elektromanyetik dalganın enerjisi [keV]

olarak alınırsa,

h : Planck sabiti,

f : Elektromanyetik dalganın frekansı [1/sn],

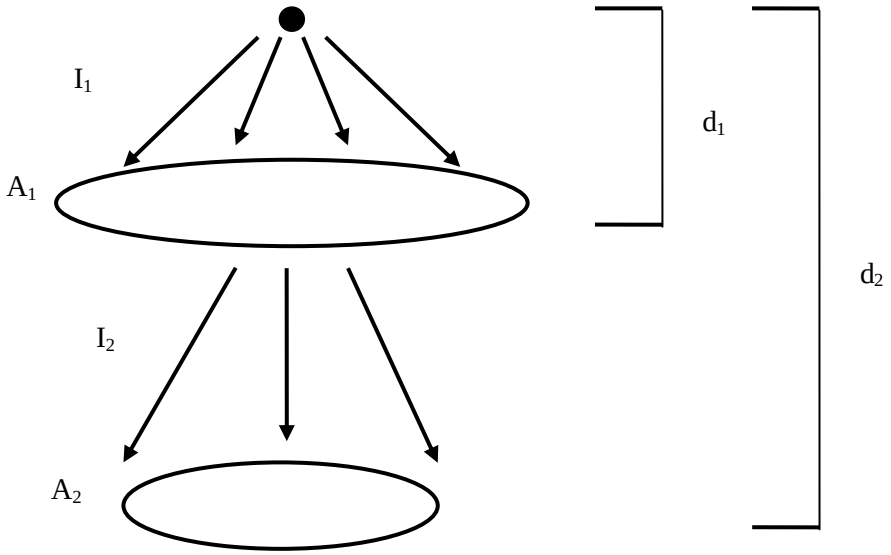
ifade etmektedir.

Denklem 2.4 ve 2.5'den hareketle;

$$E\,[keV] = 12{,}4 / \lambda\,[Å] \quad \textbf{(2.6)}$$

yazılabilir **(Bilge ve Tuğrul, 1990).** Denklem 2.6'da görüleceği üzere fotonun enerjisi ile dalga boyu arasında ters orantılı bir değişim izlenmektedir.

Kaynaktan izotropik olarak yayınlanan gama ışınlarının şiddeti uzaklığının karesi ile ters orantılı azalır. Yani "ters kare" kanunu geçerlidir. Şekil 2.4'de ters kare kanunun şematik görünümü verilmektedir.



Şekil 2.4 : Ters kare kanunu **(Turgay, 2005).**

Ters kare kanunu;

$$I_1 . d_1^2 = I_2 . d_2^2 \qquad \textbf{(2.7)}$$

olarak ifade edilebilir.

I_1 : A_1 yüzeyine düşen radyasyon şiddeti,

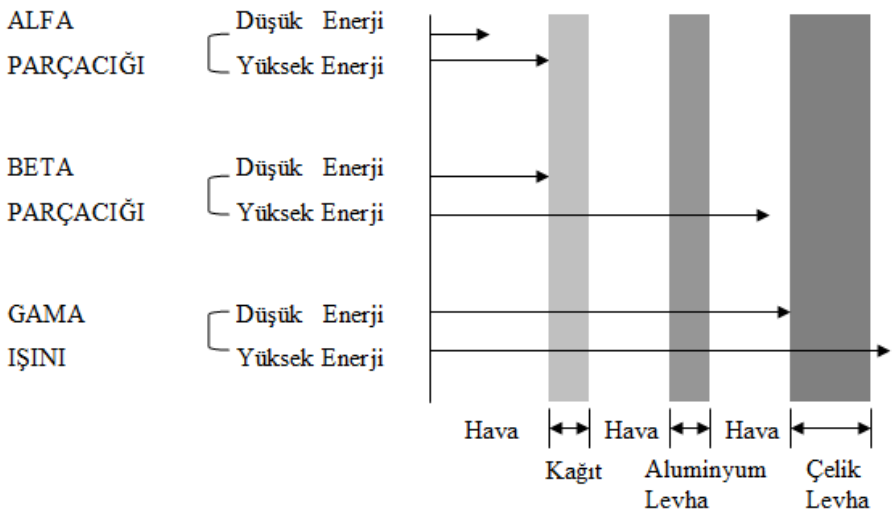
I_2 : A_2 yüzeyine düşen radyasyon şiddeti,

d_1 : A_1 yüzeyinin radyasyon kaynağına olan mesafesi,

d_2 : A_2 yüzeyinin radyasyon kaynağına olan mesafesi.

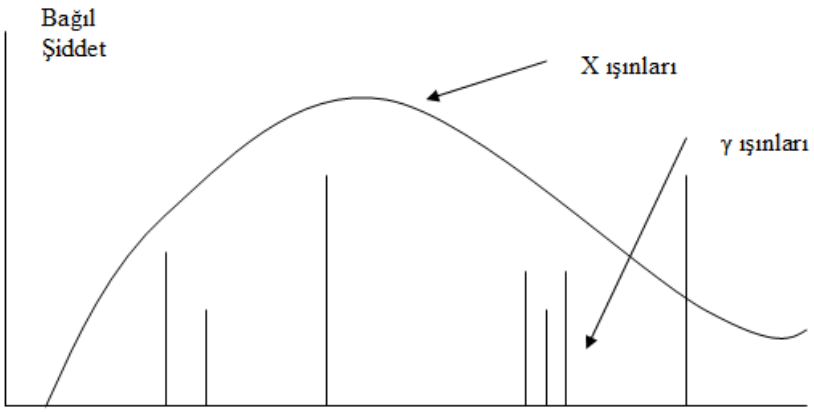
Endüstride kalite kontrol ile ilgili sorunların çözümlenmesinde radyoizotopların kullanılması konusu, radyoizotopların nükleer reaktörlerde üretilmeye başlanmasından sonra gelişmiştir **(Kohl, 1961).** Çünkü reaktörde ışınlamaların mümkün olması daha geniş seçenekli radyoizotopların üretilmesini sağlamıştır. Böylece hem istenen radyasyon tipine, hem de istenilen yarı ömür süresine uygun radyasyon kaynakları olarak radyoizotoplar üretilebilmektedir.

Endüstriyel kullanım için radyoizotop seçiminde belirlenmesi gereken en önemli konu, istenilen giricilik derecesidir. Genellikle kolay elde edilebilir radyasyon türleri; gama ışınları, alfa parçacıkları ve beta parçacıklarıdır. Bu radyasyon türlerinin karşılaştırmalı olarak hava, kağıt, alüminyum ve çelik levhalardaki giricilikleri Şekil 2.5'de gösterilmiştir **(Baytaş, 1984).**



Şekil 2.5 : Radyasyon tiplerine ve enerjilerine bağlı olarak giricilik değişimi **(Baytaş, 1984).**

Gama ışınları, radyo dalgaları, mikrodalga, kızıl ötesi radyasyon, görünür ışık, mor ötesi radyasyon ve X-ışınları ile aynı spektrum içinde yer almaktadır. Gama ışınları, X-ışınlarına benzer özelliklere sahiptir; kısa dalga boyu ve girici ışınlardır. Ancak orijinleri farklıdır. Gama ışınları atom çekirdeğinden, X-ışınları ise atom uzayından yayınlanmaktadırlar. Aynı zamanda gama ışınları, özellikle endüstriyel olarak kullanılan frenleme tipi X-ışınlarından daha yüksek enerjili olduklarından giricilikleri daha fazladır. X-ışınları ile gama ışınları arasında spektrum farkı vardır. Gama ışınlarının spektrumu çizgiseldir. Radyoizotoplar yayınladıkları bu kendine özgü radyasyonların dalga boylarından ayırt edilebilirler. X-ışınlarının spektrumu ise sonsuz sayıda dalga boyundan oluştuğu için, sürekli bir eğridir. Bu karşılaştırma Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6 : X ve γ ışınlarının spektrumlarının aynı grafikte karşılaştırmalı gösterimi **(Baltacıoğlu, 1995).**

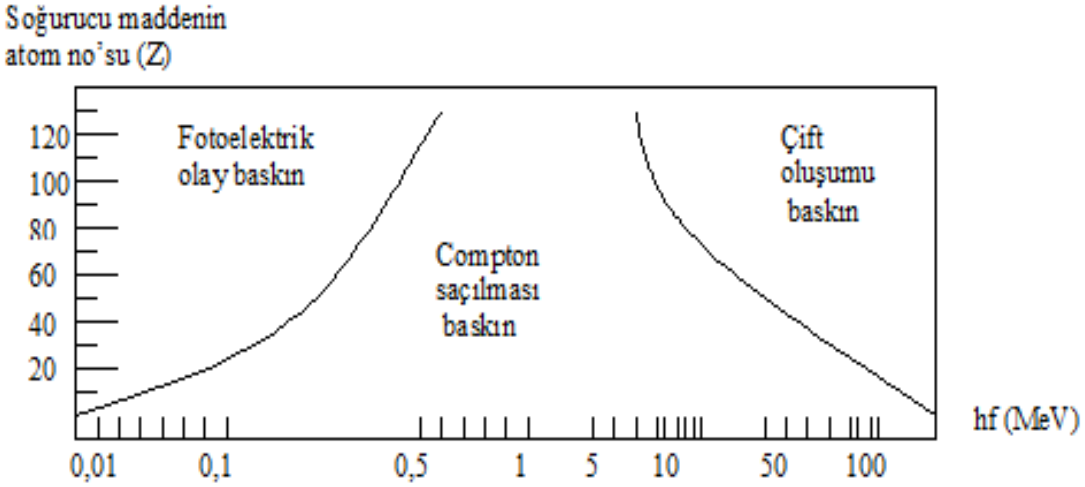
2.3 Gama Işınlarının Madde ile Etkileşmesi

Gama ışınlarını oluşturan fotonların, elektrik yükü ve kütlesi bulunmamaktadır. Ancak gama fotonlarının yönü ve enerjisi değiştikçe madde ile etkileşim tarzında farklılıklar oluşmaktadır. Girici radyasyon olan gama ışınları, aynı enerjili alfa-beta parçacık radyasyonlarına göre madde içinde daha fazla yol alabilmektedirler. Gama ışınlarının madde ile etkileşiminde başlıca üç farklı olay söz konusudur **(Glastone ve Sesonske, 1981).**

Bunlar;

- Fotoelektrik Olay,
- Compton Saçılması ve
- Çift Oluşumu

olaylarıdır. Bu üç etkileşme Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 : Gama ışını - madde etkileşimi çeşitlerinden en çok olasılıklı olan üçünün karşılaştırmalı önemi **(Baltacıoğlu, 1995).**

2.3.1 Fotoelektrik olay

Düşük enerjili fotonun (yaklaşık 100 keV), soğurucu ortamda (atom) bağlı durumdaki elektron ile etkileşerek, tüm enerjisini elektrona vermesi ve "fotoelektron" adı verilen elektronun serbest olarak atomdan kopması olayına "Fotoelektrik Olay" denir. Bu etkileşim sonucunda elektronun kazanacağı kinetik enerji;

$$E_e = E_\gamma - BE \quad \textbf{(2.8)}$$

olarak ifade edilebilmektedir **(Földiak, 1986).**

Burada;

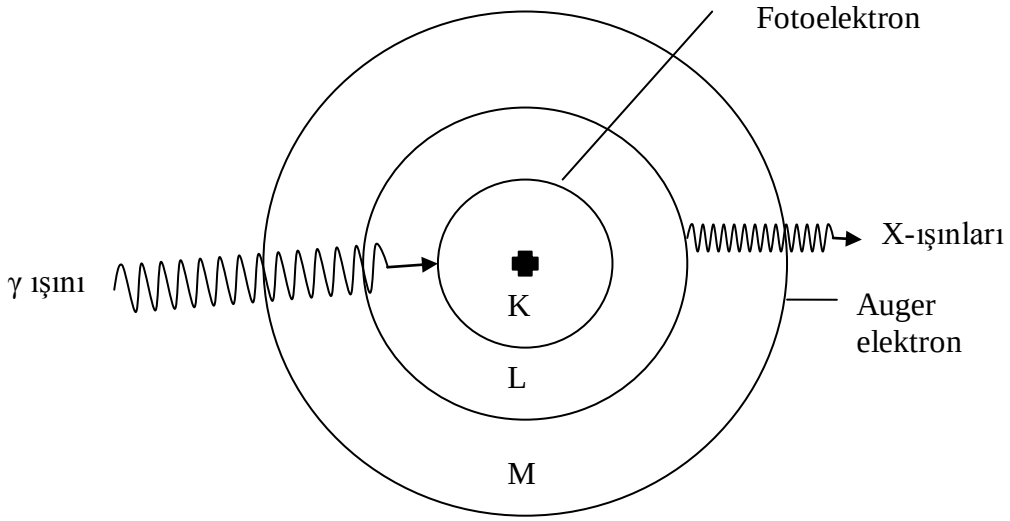
E_e : Elektronun kinetik enerjisi,

E_γ : Gama ışınlarının enerjisi,

BE : Elektronu, bulunduğu yörüngeden kurtarabilmek için gerekli olan bağ enerjisi,

ifade edilmektedir.

Fotoelektrik olay sonrasında atomda dış yörüngede bulunan diğer bir elektron boşluk bulunan yörüngeye geçer ve bunun sonucunda karakteristik bir X-ışını yayınlanabilir. Ayrıca X-ışını fotonunun atılması, sık sık dış yörüngeden bir elektronun (Auger elektronun) atılmasına neden olur. Fotoelektrik olaya ait şematik açıklama Şekil 2.8'de verilmiştir.

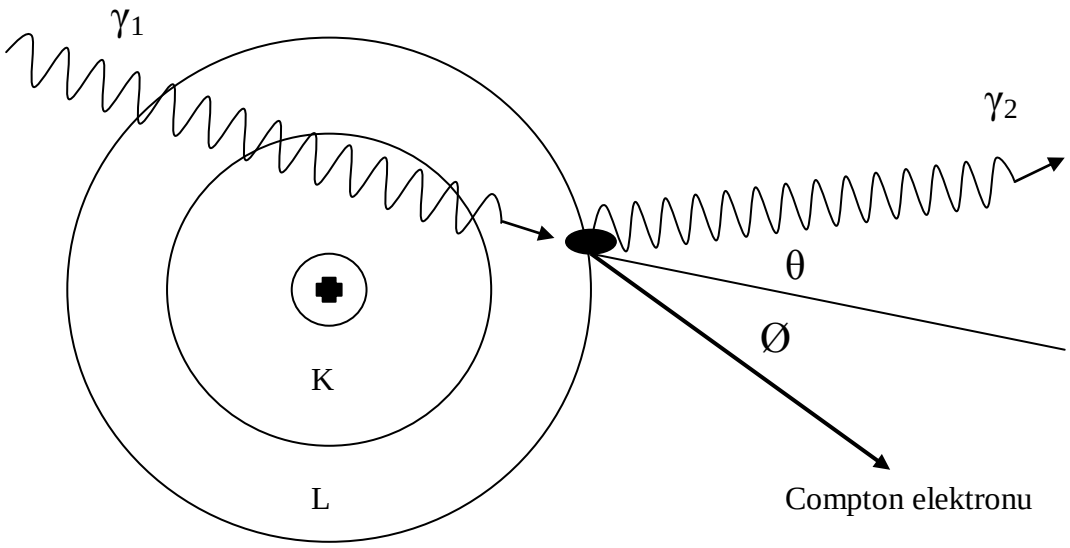


Şekil 2.8 : Fotoelektrik olay **(Bilge ve Tuğrul, 1990).**

2.3.2 Compton saçılması

Fotonun, soğurucu ortamdaki atomun dış yörünge elektronu ile çarpışması sonucu Compton saçılması meydana gelir. Foton enerjisinin bir kısmını elektrona verir ve bu elektronun yörüngeden kurtulmasına yardımcı olur. Enerjisinin bir kısmını kaybetmiş

olan foton, orijinal fotonun doğrultusu ile belli bir açı yaparak saçılır. Şekil 2.9'da Compton saçılmasının şematik betimlemesi verilmiştir.



Şekil 2.9 : Compton saçılması **(Glastone ve Sesonske, 1981).**

Saçılan fotonun enerjisi, saçılma açısına bağlı olarak hesaplanabilir. Aradaki bağlantı;

$$E_\gamma^* = 0.51 / [\ 1 - \cos\theta + (\ 0.51 / E_\gamma\ )] \qquad \textbf{(2.9)}$$

olarak ifade edilebilmektedir **(Földiak, 1986).**

Bu ifade de;

E_γ^* : Saçılan foton enerjisi

E_γ : Gelen fotonun enerjisi

θ : Saçılma açısını,

göstermektedir.

Eğer saçılma açısı θ çok küçük olursa $\cos\theta = 1$ olur. Bu durumda E_γ yaklaşık olarak E_γ^* 'a eşit olur. Buradan çıkacak sonuç; çok yüksek enerji ile gelen gama ışınının enerji kaybı ihmal edilebilir. Eğer $\theta = 90^\circ$ olursa 2.9 denklemimiz;

$$E_\gamma^* = 0.51\ .\ E_\gamma\ /\ (E_\gamma + 0.51\ ) < 0.51\ \text{MeV} \qquad \textbf{(2.10)}$$

şeklinde ifade edilebilir.

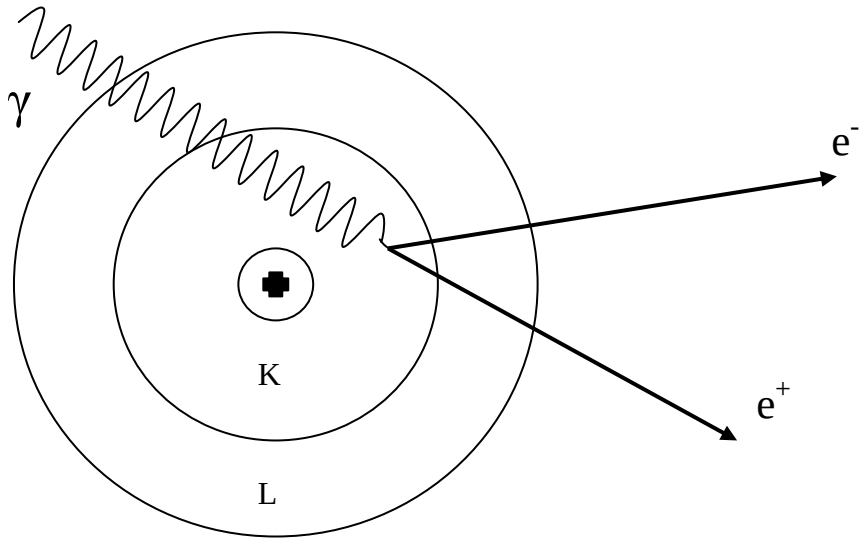
Denklem 2.10'dan görülebileceği gibi saçılan fotonun enerjisi 0.51 MeV'den büyük olamaz.

Compton saçılması foton ve elektron arasında olduğundan, saçılma miktarı soğurucu atomun elektron sayısına, yani atom numarasına bağlıdır. Saçılan foton ortamdan kaçmaz ve saha düşük enerjili olduğundan ortamda fotoelektrik etkileşme yapmaya başlar.

2.3.3 Çift oluşumu

Gama fotonlarının enerjisi 1.02 MeV'in üzerinde ise meydana gelen bir etkileşimdir. Gama ışını çekirdeğin Coulomb alanı ile etkileşirse, elektron (negatron) ve pozitron parçaları üretilir. Her ikisi de 0.51 MeV'lik enerji ile hareket ederler. Bu olay " Çift Oluşumu " olarak bilinmektedir **(Glastone ve Sesonske, 1981).**

Çift oluşumunun sonunda foton, fotoelektrik olayda olduğu gibi tamamen soğurulur. Oluşan elektron-pozitron çiftlerinin kendilerini nötralize etmeleri sonucu "Anhilasyon Radyasyonu" meydana gelir. Şekil 2.10'da çift oluşumu gösterilmiştir.



Şekil 2.10 : Çift oluşumu **(Bilge, 1991).**

2.3.4 Gama ışınlarının soğurulması

Her gama ışınının etkinleştiği maddenin (ortamın) içinden baştan sona geçebilme olasılığı sınırlıdır. Gama ışınlarının bir maddeye yada ortama sızma ve bu ortamda ilerlemeleri birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörlerden bazıları;

I. Gama ışınlarının enerjisi

II. Maddenin yapısı ve oluşumu

III. Maddenin kalınlığı

Eğer madde yeterince yoğun ve kalınsa radyasyonun ortama girme ve sızma olasılığı pratik olarak sıfırdır. Ortamda oluşan hasar yada etkilenme, gama fotonlarının enerjilerini elektronlara transfer etmesi ve elektronların iyonlaşması sonucu olur. Birbirini izleyen transferler sonucu, gama fotonlarının enerjisi azalır yani sönüme uğrar **(Bilge, 1985).**

Gama ışınlarının madde içinde yol alırken soğurulmaları;

$$I = I_0 [\exp (-\mu x)] \quad \textbf{(2.11)}$$

şeklinde ifade edilebilir.

Buradaki büyüklükler;

I : Malzemeyi kat edip diğer tarafa geçebilen radyasyon şiddeti,

I_0 : Radyasyonun malzeme ile etkileşmeye başlamadan önceki şiddeti,

μ : Malzemeye ilişkin lineer soğurma katsayısı,

x : Malzeme kalınlığı,

temsil etmektedir.

Gama ışınlarının madde ile etkileşiminde, malzemeye ilişkin lineer soğurma katsayısı hesabında, her üç olay da etkendir.

$$\mu_T = \mu_F + \mu_C + \mu_P \quad \textbf{(2.12)}$$

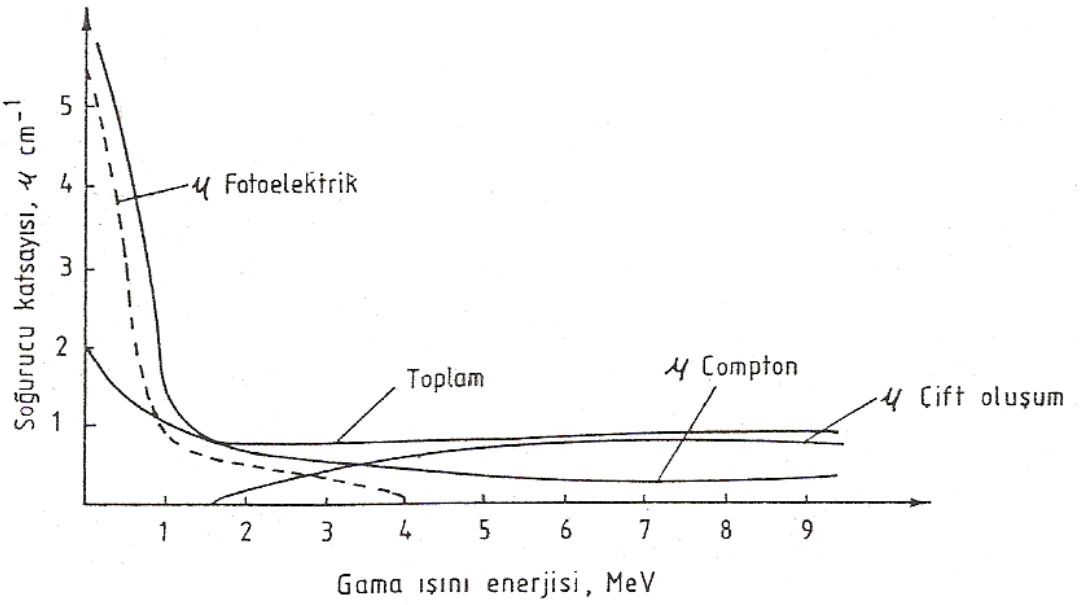
μ_T : Toplam lineer soğurma katsayısı,

μ_F : Fotoelektrik olay soğurma katsayısı,

μ_C : Compton saçılması soğurma katsayısı,

μ_P : Çift oluşumu soğurma katsayısı,

Şekil 2.11'de gama ışınlarının kurşun içerisindeki lineer soğurma katsayıları verilmektedir.



Şekil 2.11 : Kurşun içinde gama ışınlarının soğurulması **(Bilge ve Tuğrul, 1990).**

2.4 Gama Kaynakları

Endüstride kullanılan doğal gama kaynaklarının yanında, nükleer güç reaktörleri de gama kaynağı olarak kullanılabilmektedir. Ayrıca uygun element seçimi ile nükleer güç reaktörlerinde, endüstrinin farklı alanlarında kullanılabilecek, uygun enerji spektrumuna sahip radyoizotoplar üretilmektedir.

Gama kaynakları enerjilerine göre; düşük enerjili (<200 keV) ve yüksek enerjili (>0,5 MeV) gama ışınları olarak sınıflandırılabilmektedir **(Földiak, 1986).**

Gama kaynakları endüstride kullanım amaçlarına göre değişik; genellikle nokta, doğrusal, düzlem veya kapsül şeklinde üretilebilmektedir. En çok tercih edilen nokta kaynaklar paslanmaz çelik kapsül içinde olacak şekilde üretilirler. Aşağıda Tablo 2.1'de uygulamalarda en çok tercih edilen gama kaynakları verilmektedir.

Tablo 2.1 : Uygulamada en çok tercih edilen gama kaynakları ve özellikleri.

İzotop İsmi	**Yarıömür**	**Enerji Seviyeleri (MeV)**
Kobalt-60	5,26 yıl	1,173-1,332
Kobalt-57	271 gün	0,014-0,122-0,136 0,511-0,662-1,115
Kadmiyum-109	453 gün	0,088
Baryum-133	10,5 yıl	0,081-0,276-0,384 0,303-0,356
Sezyum-137	30,2 yıl	0,662
Magnezyum-54	303 gün	0,835
Sodyum -22	2,62 yıl	1,275
İridyum-192	74 gün	0,3-0,6
Antimon -124	60 gün	0,6-2,1

3. GAMA TRANSMİSYON TEKNİĞİ

3.1 Gama Transmisyon Tekniğinin Genel Prensipleri

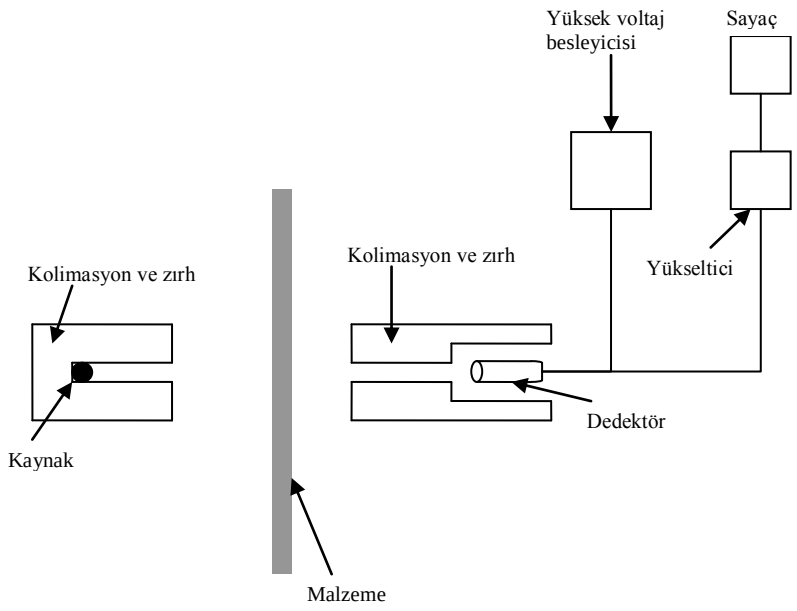
Radyasyon yardımı ile çalışan ölçüm cihazları, kalınlık, yoğunluk, seviye, nem, v.b. ölçümleri gerçekleştirebilmektedir. Alışılmış metotlarla bu tip büyüklükleri hassas bir şekilde ölçümlemek, her zaman cisme yada sisteme zarar vermeden mümkün olmamaktadır. Alışılagelmiş ölçümleme metotlarına göre birçok noktada üstünlüğü olan radyasyon ile ölçümleme sistemleri, daha ucuz, portatif, duyarlı ve güvenilir olmaları nedeni ile uygulama alanları artmıştır **(Berger, 1966).**

Bu sistemlerde uygulama alanına göre kullanılan radyasyon türü ve kullanılan metotlar, uygulama alanları ve ölçülen özellikler Tablo 3.1'de verilmiştir **(Bilge, 1991).**

Gama transmisyon tekniği, gama ışınlarının maddeye nüfuz edebilme ve malzemeyi kat edebilme özelliğine dayanmaktadır. Bu tekniğin genel prensibi; dedektör ve radyoizotop, herhangi bir parametresi tayin edilmek istenilen malzemenin iki farklı tarafına aynı düzlemde olmak üzere yerleştirilmesi esasına dayanmaktadır. Dedektör, diğer tarafta bulunan radyasyon kaynağından yayınlanan ve malzemeyi geçip dedektör tarafına ulaşan radyasyon şiddetini ölçmektedir. Dedektörde ölçülen radyasyon şiddeti, kaynaktan çıkan radyasyonun malzemeyi kat ederek geçen miktarı olmaktadır. Burada, saçılan radyasyonun ölçülmemesi ve sonuçların sağlıklı olması için kaynak ve dedektörün iyi bir şekilde kolime edilmesi ve zırhlanmasına dikkat edilmesi gerekir **(Büyük, 2004).**

Tablo 3.1 : Radyasyon ile ölçüm sistemlerinin bazı uygulama alanları **(Bilge, 1991).**

Ölçülen Özellik	Kullanılan Teknik	Uygulama Alanı
Kalınlık	• α – geçirgenlik • β – geçirgenlik • X – ışını geçirgenlik • γ – ışını geçirgenlik • β – geri saçılma • γ – geri saçılma	• Sigara kağıdı • Kağıt, plastik, hafif metaller • İnce metal varaklar • Ağır metal, Çelik döküm • Kağıt • Boru, tank, işlem kaplarının cidarı
Kaplama Kalınlığı	• β – geçirgenlik • β – geri saçılma • γ – geri saçılma • X – ışını floresans	• Tekstil ve kağıt kaplama • Çelik üzerine Zn, fotoğraf kağıdı kaplanması, v.b. • Kömür sondaj aletlerinin kontrolü için madendeki kömür kalınlığı • Demir ve bakır üstüne Sn ve Zn kalınlığı
Yoğunluk	• α – geçirgenlik • β – geçirgenlik • γ – ışını geçirgenlik • γ – geri saçılma	• Gazlar • Sigaralar, tank ve borularda gaz ve sıvı akışkanlar, buhar su oranı, v.b. • Büyük tank ve borularda katı ve sıvı akışkanlar • Toprak, maden sondaj deliğinde veya üstünde cevher ölçümü
Seviye	• β – geçirgenlik • γ – ışını geçirgenlik • γ – geri saçılma	• Sıvı (yaygın olarak kullanılmaz) • Sıvı, toz ve kaplardaki katı malzeme • Tanklarda bulunan sıvı
Nem	• (n , $n_{ısıl}$) • (n , γ)	Toprak, kömür, sinter karışımı, deterjanlar v.b.



Şekil 3.1 : Gama transmisyon tekniğinin genel şeması **(Büyük, 2004).**

Şekil 3.1'de gama transmisyon tekniğinin genel şeması verilmektedir. Gama ışınları malzeme içinden geçerken soğurulmaktadır. Bu soğurulma eksponansiyel bir azalım göstermektedir. Bu işlem ile ilgili ayrıntılı bilgi Bölüm 2.3.4'de anlatılmıştır.

Radyoizotop kaynakları kullanılarak yapılan gama transmisyon uygulamaları ile metal levhaların kalınlığı, kazan ve reaksiyon kaplarındaki sıvıların seviyesi ve akışkanların yoğunluğu belirlenebilir.

3.1.1 Gama transmisyon tekniğinin sistem tasarımı

Radyasyon ölçüm sistemlerinin tasarımında iki ana özelliğin tanımlanması gerekmektedir. Bunlar;

- Sistemin fonksiyonu,
- Radyasyon kaynak türü

olmaktadır **(Gardner, R.P., Ely, R.L., 1967).**

3.1.1.1 Ölçüm sisteminin seçimi

Radyasyon ile ölçüm sistemlerinde seçim yapılırken özellikle dikkat edilmesi gereken önemli noktalar kısaca şöyle maddelendirilebilir;

- Ölçme sisteminin duyarlılığı ve güvenirliği
- Sistemin maliyeti
- Ölçüm kolaylığı
- Radyasyon güvenliği

Ayrıca radyasyon ile ölçüm sistemlerinin kullanıldığı uygulamalarda; cihazın kararlılığı, güvenirliği ve sağlamlığı da önemli özellikler arasındadır.

Radyasyon ölçümü, radyasyonun maddeyle ilgili etkileşmesine bağlı olmaktadır. Gama ışınları ölçümleri, fotonun enerjisini tümüyle kaybettiği, fotoelektrik olay ve çift oluşumu etkileşmelerine dayanmaktadır. Fotonların spektroskopik amaçlı sayımı için kullanılan dedektörlerin başlıcaları sintilasyon ve katıhal dedektörleridir **(Baltacıoğlu, 1985).**

Radyasyon ölçüm dedektörlerinin özellikleri ve uygulanan radyasyon türüne göre verimlilikleri Tablo 3.2'de verilmiştir **(Bilge, 1985).**

Tablo 3.2 : Radyasyon dedektörlerinin özellikleri **(Bilge, 1985).**

Dedektör Türü		G.M.	İyon Odası	NaI (Tl)	Orantılı Sayaç	Yarıiletken
Kararlılık		Çok iyi	İyi	Zayıf	Zayıf	İyi
Dayanıklık		Çok iyi	Çok iyi	Orta	İyi	Orta
Enerji Bağımlılığı		Yok	Yok	Var	Var	Var
Verim(%)	α	100	100	100	100	100
	β	100	100	100	100	100
	γ	1 – 2	0.1 – 2	10 – 30	–	–

3.1.1.2 Radyasyon kaynağının seçimi

Radyasyon kaynağının amaca uygun seçimi, radyasyonla ölçüm sistemleri için önem arz etmektedir. Uygun radyoizotop seçiminde göz önünde bulundurulması gereken faktörler aşağıdaki gibidir;

- Kolay elde edilebilirlik ve kulanım kolaylığı
- Kullanılacak ölçüm sistemine uygun bir yarı ömür
- Yayınladığı radyasyon sistemine uygunluk
- Aktivitesi
- Maliyeti
- Kullananlar açısından güvenli olmasıdır **(Büyük, 2004)**

Gama ışınlarını kullanan ölçüm sistemlerinde, genellikle sistem için ideal dalga boylarında ışınım yapan radyoizotopu belirlemek güçtür. Bu yüzden gerekli ve yeterli dalga boyunda ışınım yapan uygun radyoizotopu seçerken özenli davranılmalıdır **(Gardner, R.P., Ely, R.L., 1967).**

Yayınlanan ışınlar, her radyoizotop için kendine özgüdür. Seçim yapılırken iki faktör önemlidir. Bunlar;

- Gama radyoizotopunun yayınladığı enerji ve
- Radyoizotopun aktivitesi

olmaktadır.

Radyoizotopun yayınladığı ışınların dalga boyu küçüldükçe radyasyonun enerjisi artmaktadır. Bu da giriciliğin artması anlamına gelmektedir. Bu durum;

$$E(keV) = \frac{12.4}{\lambda(\acute{A})} \qquad \textbf{(3.1)}$$

ifadesinde kendini kolayca göstermektedir **(Gardner, R.P., Ely, R.L., 1967).**

Radyoizotopun yayınladığı radyasyon miktarı ise aktivitesi ile belirlenmektedir. Birim zamanda bozulan radyasyon miktarı olan aktivite, radyasyonla ölçüm sistemleri için, bu bağlamda önemlidir. Sistemin düzeneğine ve amacına uygun

aktivitedeki radyoizotop seçilmesi, amaca uygun güvenilir sonuçlara ulaşılması anlamına gelmektedir.

Tablo 3.3'de gama aktif bazı radyoizotopların özellikleri verilmektedir. Tablo 3.4'de ise, özellikle gama ışınları kullanılan ölçüm sistemlerinde tercih edilen radyoizotoplar ve özellikleri görülmektedir **(Cameron,J.F., Clayton, C.S., 1971).**

Tablo 3.3 : Gama aktif bazı radyoizotoplar ve özellikleri.

Radyoizotop	Yarı ömür	Enerji (keV)	Bolluk	Doz hızı sabiti (Rm²/Cis)
Na-22	2.6 yıl	511.00 1274.53	179.80 99.90	1.20
Na-24	14.96 saat	1368.60 2754.00	100.00 99.90	1.89
Ca-47	4.54 gün	489.23 1297.09	6.50 74.00	0.51
Sc-46	83.81 gün	9.28 1120.55	99.90 99.90	1.11
Cr-51	27.7 gün	320.08	10.00	0.02
Mn-54	312.1 gün	834.84	99.90	0.48
Mn-56	2.58 saat	846.76 1810.72	98.80 27.20	0.83
Fe-59	44.5 gün	1291.60 1099.25	43.20 56.50	0.68
Co-57	271.8 gün	14.41 122.06	9.60 85.90	0.06
Co-58	70.82 gün	810.77	99.40	0.55
Co-60	5.27 yıl	1173.24 1332.50	99.90 99.90	1.30
Ni-65	2.52 saat	366.27 1115.55	4.60 14.90	0.22
Cu-64	12.70 saat	511.00 1345.77	35.80 0.50	0.11
Cs-134	2.05 yıl	800.00 610.00 570.00	90.00 95.00 14.00	0.89
Ir-192	74.2 gün	300.00 320.00 470.00	59.00 81.00 49.00	0.50
Ra-226	1602 yıl	242.00 295.00 352.00	10.00 19.00 38.00	0.94
Am-241	458 yıl	67.00 70.00 304.00	0.53 0.53	0.06

Tablo 3.4 : Uygulamada tercih edilen gama ışını yayan bazı radyoizotopların özellikleri.

İzotop	Yarı Ömür (yıl)	Yayımladığı Gama Radyasyonu	Soğurma Katsayısı (μ) $cm^2/gr.Al$	Yarıtabaka Kalınlığı (Al) gr/cm^2
Co-60	5.30	1.33 MeV %100 1.17 MeV %100	0.053 0.056	13.1 12.4
Cs-137	30.00	0.662 MeV %95	0.074	9.4
Ra-226	1620.00	0.187 MeV %57 2.43 MeV'e kadar olan diğerleri	0.126 0.039	5.5 17.7
Tm-170	0.35	0.084 MeV %100	0.290	2.9

3.2 İlgili Düzenekler

Gama transmisyon tekniği elemanları;

- Radyasyon Kaynağı
- Numune
- Dedektör
- Sayım Sistemi
- Kolimatör
- Zırhlama Elemanları

Gama transmisyon tekniğinde ölçümünün verimini etkileyen başlıca üç faktör bulunmaktadır. Bunlar;

- Kaynağın self-absorbsiyon katsayısı [f_s]
- Geometri (kaynak-malzeme-dedektör)
- Dedektör verimi [e_d]

olarak ifade edilebilir.

Kaynağın self-absorbsiyon katsayısı nokta kaynaklar için ihmal edilebilmektedir. Dedektör verimi dedektörün; gelen radyasyonun ne kadarını ölçebildiğini ifade etmektedir. Geometri faktörü ise ölçüm şartlarına bağlı olarak değişebilmektedir.

Sonuçların alınabilmesi için dedektörün bağlanacağı bir sayım sistemine ihtiyaç vardır. Sayım sisteminin ana elemanları olarak;

- Ön yükseltici
- Yükseltici
- Güç kaynağı
- Zaman ayarlayıcı
- Data çıkış üniteleri

sayılabilir **(Turgay, 2005).**

3.3 Gama Transmisyon Tekniğinin Uygulama Alanları

Gama transmisyon tekniği kullanılarak farklı amaçlı bir çok ölçüm yapılabilmektedir. Bunlar;

- Kalınlık ölçümleri
- Seviye ölçümleri
- Kaplar ve borular içindeki tortuların ölçümleri
- Korozyon ölçümü ve dedeksiyonu
- Boşlukların ölçümü
- Ağırlık ölçümleri
- Yoğunluk ölçümleri

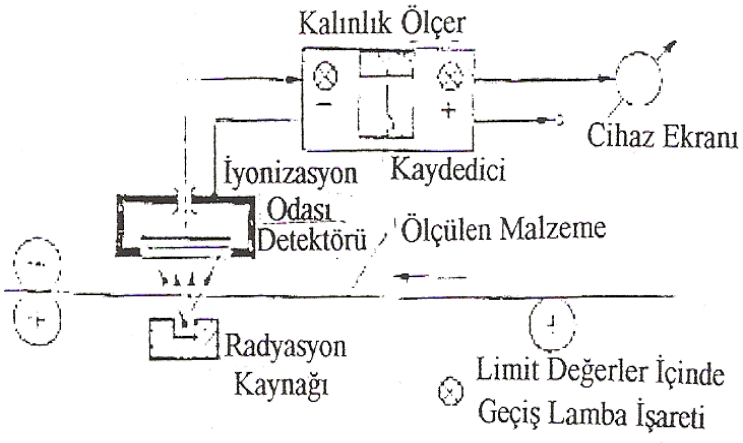
Bu uygulamalarda gama transmisyon tekniği bağlamında gama ışınları ölçümlenmekte ve sonuç istenilen amaca uygun olarak yorumlanmaktadır **(Büyük, 2004).**

3.3.1 Kalınlık ölçümleri

Gama transmisyon tekniği kullanılarak, sabit yoğunluktaki malzemelerin kalınlığını ölçmek yüksek doğrulukta mümkün olabilmektedir. Kalınlık yoğunluğu 10^4 g/m² ile 10^5 g/m² arasındaki malzemelerin kalınlık ölçümleri;

- Co-60
- Cs-137
- Ir-192
- Am-241

gibi gama kaynaklarıyla yapılabilmektedir **(Földiak, 1986).** Şekil 3.2'de gama transmisyon tekniği ile kalınlık ölçümüne dair bir örnek görülmektedir.



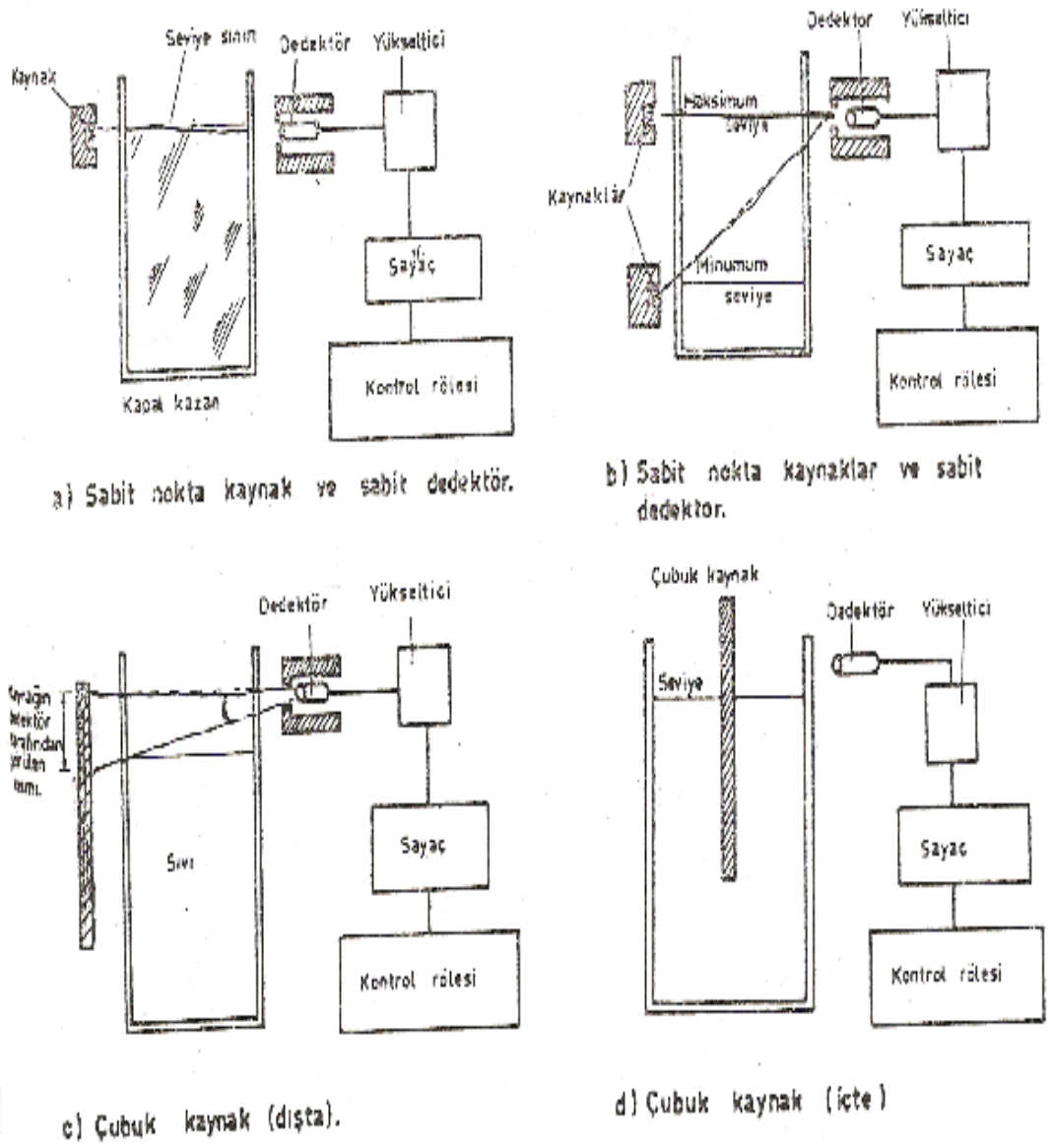
Şekil 3.2 : Gama transmisyon tekniği ile kalınlık ölçüm sistemi **(Büyük, 2004).**

3.3.2 Seviye ölçümleri

Kimya, metalurji, tekstil gibi birçok endüstri dalında elektromanyetik radyasyonla seviye ölçüm metotları yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle iki fiziksel fazın birbirine karıştığı ve oranlarının önemli rol oynadığı büyük reaksiyon kazanlarında radyasyonla seviye ölçmenin kullanımı artmıştır **(Bilge, 1991).**

Seviye tayinine ilişkin farklı versiyonel uygulamalar söz konusudur. Tek dedektör ve tek radyoizotop kaynakla uygulama yapılabildiği gibi tek dedektör ve çok kaynak, yada çok dedektör ve tek kaynak kullanılarak özel uygulamalar yapılabilmektedir **(Turgay, 2005).**

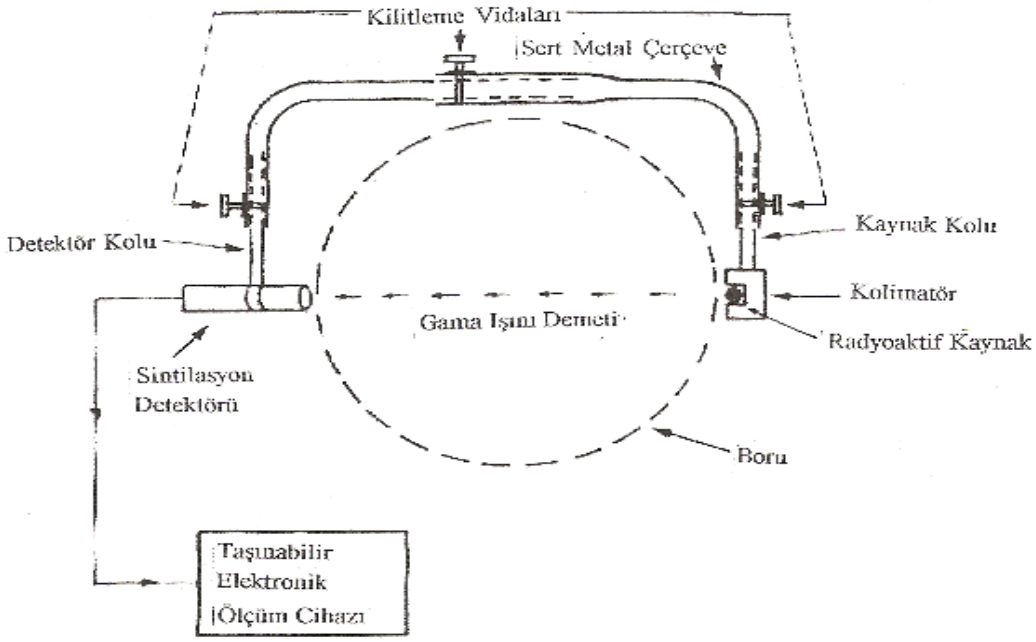
Farklı tasarımlara ait seviye ölçme sistemleri şematik olarak Şekil 3.3'de gösterilmiştir **(Bilge, 1991).**



Şekil 3.3 : Seviye ölçmelerinde kullanılan sistemlerin şematik görünümü.

3.3.3 Kaplar ve borular içindeki tortuların ölçümleri

Kaplar ve borular içindeki malzemelerin bırakmış olduğu tortular; boru hatlarının tıkanması, borulardaki basıncın düşmesi, ısı transferi nedeniyle boru içindeki malzemenin yumuşaması gibi başlıca sorunlara neden olur. Boru ve kap ölçümlerinde özel olarak yapılmış bir sistem geliştirilmiştir. Böyle bir sistemin yapısı Şekil 3.4 ‘de verilmiştir.



Şekil 3.4 : Boru ölçümlerinde kullanılan sistem **(Büyük, 2004).**

3.3.4 Korozyon ölçümü ve dedeksiyonu

Endüstriyel uygulamalarda, korozyon ölçümü en sık karşılaşılan problemlerden biridir. Bu problemin çözümü için ultrasonik muayene, eddy current tekniği, korozyon kuponları ve görsel ölçme teknikleri kullanılabilmektedir. Ama hiçbiri zor ve düzensiz bölgelerde uygulamalar için kullanışlı olan, gama transmisyon tekniği kadar uygun değildir. Gama transmisyon tekniği ile metal tüplerinde 0,1 mm kadar olan incelmeleri bile tespit etmek mümkündür **(Charlton, 1986).**

3.3.5 Boşlukların ölçümü

Boşlukların ölçülmesi, esas olarak kalınlık ölçümünün bir çeşididir. Bu uygulamada, radyoizotop kaynak bir çubuğun ucuna yerleştirilirken, dedektör borunun dış yüzeyinde hareket ettirilerek değişik eksenlerden ölçümler alınmaktadır. Geçen ışığın arttığı bölgelerde, boruların astarlarındaki boşluk belirlenmektedir **(Büyük, 2004).**

3.3.6 Ağırlık ölçümleri

Endüstride karşılaşılan problemlerden bir diğeri de katı haldeki malzemelerin işletmelerde, yürüyen bant üzerinde iletimi devam ederken ağırlıklarının ölçülmesidir. Bu ölçüm, genelde Co-60 ve Cs-137 gama radyoizotopları kullanılarak,

malzemenin yoğunluk kalınlığına bağlı olarak radyasyonun soğurma miktarının değerlendirilmesi ile yapılmaktadır **(Büyük, 2004).**

3.3.7 Yoğunluk ölçümleri

Gama transmisyon tekniği kullanılarak yapılan yoğunluk tayini çalışmalarında, çalışılacak malzemenin kalınlığının bilinmesi gerekir. Denklem 2.11'den hareketle, kalınlığı aynı ve homojen olan numunenin yoğunluğunun tayini gama transmisyon tekniği ile mümkün olmaktadır. Denklem 2.11'de;

$$I = I_0 [\exp (-\mu_m \rho x)] \quad \textbf{(3.2)}$$

şeklinde yazılabilir. Burada ρ malzeme yoğunluğu, μ_m ise kütlesel soğurma katsayısı olarak ifade edilmektedir. Kütlesel soğurma katsayısı ise;

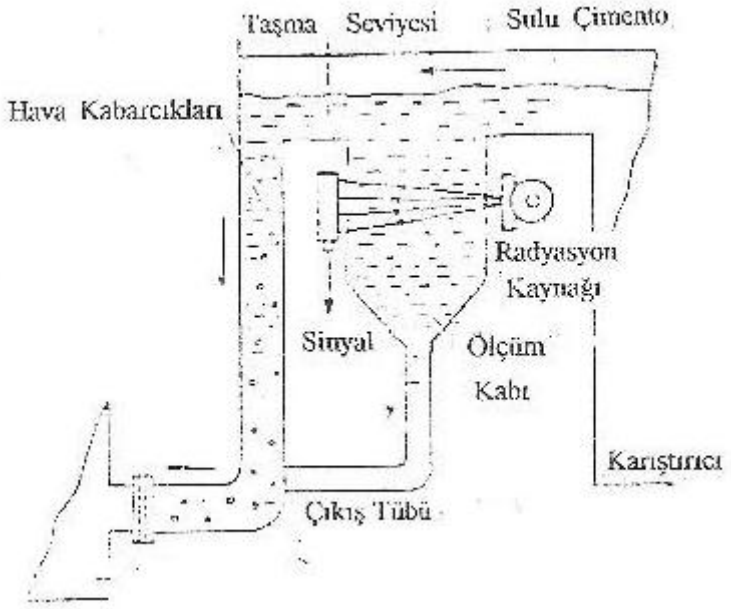
$$\mu_m = \mu / \rho \quad \textbf{(3.3)}$$

malzemeye ilişkin lineer soğurma katsayısı μ'nin, malzemenin yoğunluğuna oranı olarak ifade edilir. Denklem 3.2'den yoğunluğun çekilmesi durumunda;

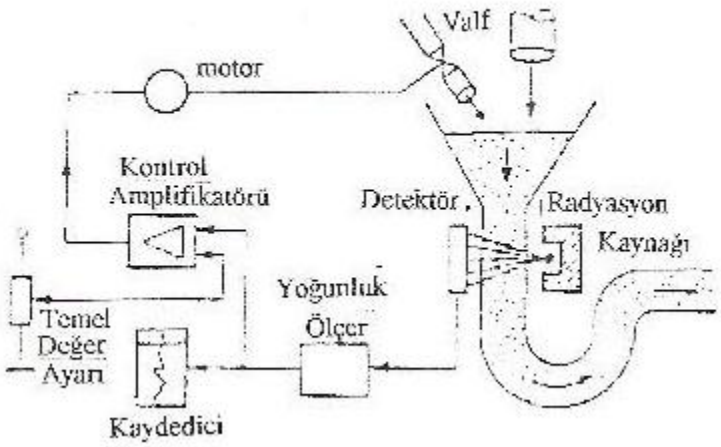
$$\rho = - [(1 / (x \mu_m)] \ln [I / I_0] \quad \textbf{(3.4)}$$

elde edilir **(Turgay, 2005).**

Gama transmisyon tekniği ile yoğunluk ölçümlerine ait şemalar Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da verilmektedir.



Şekil 3.5 : Gama transmisyon tekniği ile yoğunluk ölçüm sistemi **(Büyük, 2004).**



Şekil 3.6 : Yoğunluk ölçümlerinde kullanılan kontrol devreleri **(Büyük, 2004).**

4. SOL-GEL YÖNTEMİ

4.1 Film Oluşumu

Kaplama Yöntemi genel olarak, optikte, paketlemede, mikroelektronikte, biyomedikal alanlarda ayrıca dekoratif amaçlarla oldukça yaygın kullanılmaktadır. Kaplama teknikleri çeşitli yüzeylerin; mekanik (düşük sürtünme, aşınma miktarının azaltılması, v.b.), kimyasal (gazlar için izolasyon), manyetik, elektrik ve optik özelliklerin geliştirilmesinde uygulama alanı bulmaktadır.

Kaplamaların fonksiyonel özellikleri, kaplanacak yüzeyin geliştirilmesi istenen özelliklerine bağlı olarak seçilmektedir. Kaplamanın fonksiyonel ve dayanıklılık özellikleri, kaplama malzemesiyle kaplanan malzeme arasındaki yapışma özelliklerine bağlıdır.

Kaplama malzemesi olarak genellikle geçirgen iletkenler tercih edilmektedir. Güneş enerjisi ve enerji verimliliği için kullanılan geçirgen iletkenler, kalınlığı 10 nm ile 1 μm arasında değişen, geçirgen veya geçirgen olmayan malzemelerle kaplanmış ince filmlerdir **(Özdemir, 2009).**

Bu manada ZnO geçirgen iletken oksit olarak kullanılan birkaç metal oksitlerden birisidir (TCO). ZnO, In_2O_3 ve SnO_2 gibi diğer geçirgen iletken oksitlere göre bazı avantajlara sahiptirler. Bu avantajlar;

- İyi iletken özelliği
- Optik ve Piezoelektrik özelliği
- Hidrojen-Plazma atmosferinde kararlılık
- Düşük maliyeti
- Toksik olmayışı

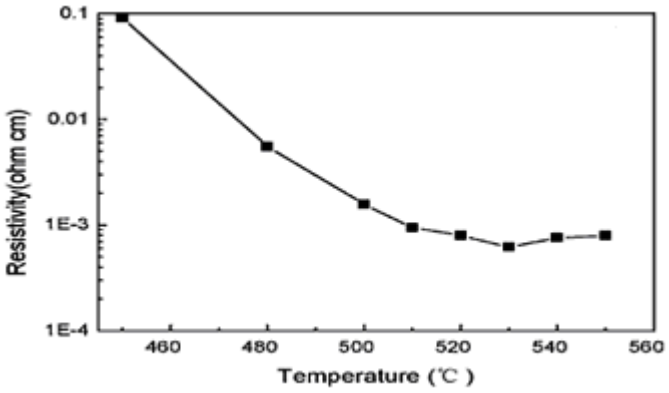
şeklinde sıralanabilir. ZnO ince filmler, yüksek geçirgenlik ve düşük direnç gösterme özelikleri ile gaz sensörleri, ekranlardaki geçirgen elektrotlarda ve fotovoltaik cihazlarda kullanılmaktadır. Kimyasal katkılama ZnO geçirgen iletken oksitlerin optik ve elektronik özellikleri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. ZnO ince filmlerin farklı elementlerle katkılanması durumunda, kullanım alanları değişmektedir. ZnO ince filmler, periyodik tablodaki III A elementleri ile katkılanması durumunda geçirgen iletken elektrotlar alanında, Li elementi ile katkılanması durumunda yalıtkan veya dielektrik tabakalar alanında ve Mn elementi ile katkılanması durumunda ise spintronik (dönüş-tabanlı elektronik) cihazlar alanında kullanılmaktadırlar.

ZnO bileşiklerin katkılama prosesleri arasında yer alan Al katkılama sonucunda, ince filmler geçirgen elektrotlar (optik elektronik cihazlarda) veya termal yalıtkanlar (düşük emisyon penceresi) olarak kullanılır. ZnO:Al ince filmler geçirgen iletken oksitlerdir **(Tekin, 2009)**.

4.1.1 Al katkılı ZnO ince filmlerin özellikleri

4.1.1.1 Elektriksel özellikleri

ZnO:Al n tipi yarıiletkenlerdendir. Daha önce yapılmış çalışmalardan ortaya çıkan sonuçlara göre, katkılama yoğunluğu, ZnO:Al ince filmlerin direncini 7×10^{-4} - 10 Ω cm arasında değiştirmektedir **(Tekin,2009).** Ayrıca tavlama sıcaklığında oluşan değişim de ince filmlerin elektriksel direncini etkilemektedir. Bu etki Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

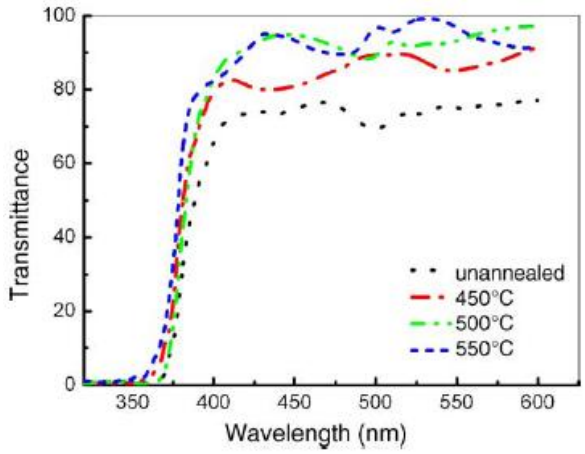


Şekil 4.1 : Al katkılı ZnO ince filmlerde tavlama sıcaklıklarının elektriksel direnç üzerine etkisi **(Kim, Tai**, **2006).**

ZnO bileşiklerin Al ile düşük atmosfer basıncında katkılanması sırasında elektriksel özelliklerinin arttığı gözlenmiştir **(Lee, Park, 2003, Li, Yi, Yu, Xiao, Zhou, 2007).**

4.1.1.2 Optik özellikleri

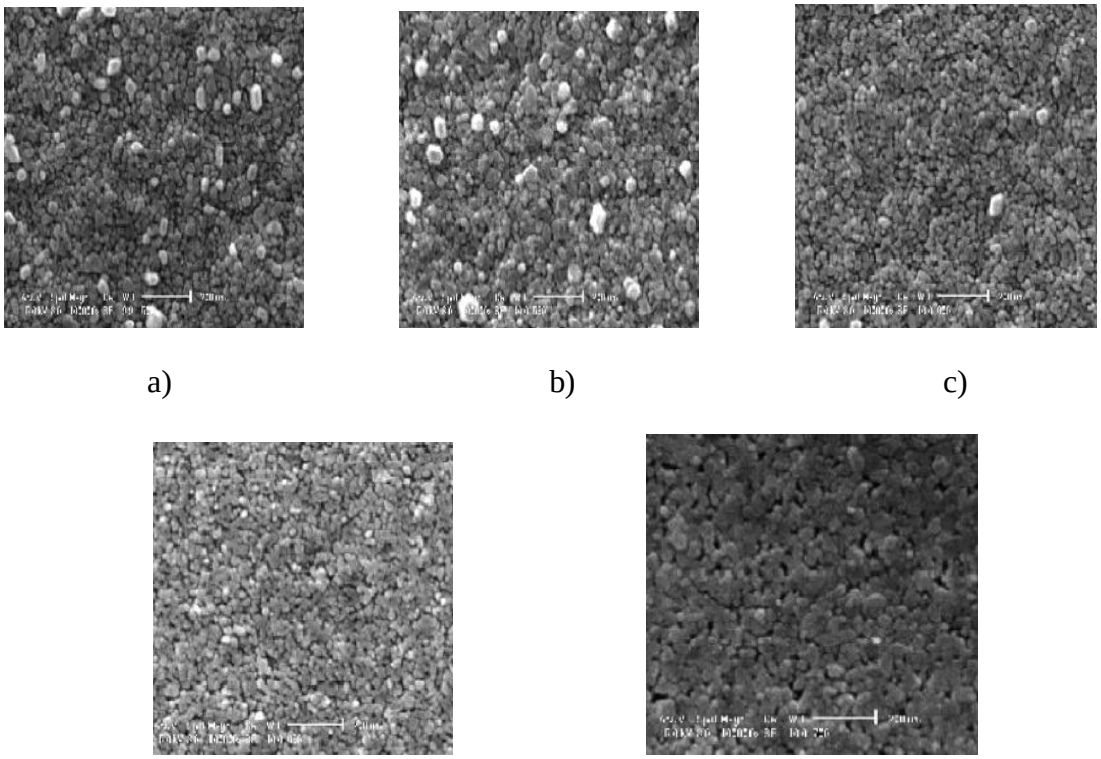
ZnO ince filmler, optik özellikleri yüzünden teknolojide çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. ZnO ve Al katkılı ZnO ince filmlerin optik geçirgenlikleri morötesi bölge, görünür bölge ve yakın kızılötesi bölgede yer alır. Al katkılı ZnO ince filmler morötesi, görünür ve kızılötesi bölge yakınlarında oldukça geçirgendir (~90%). Sol-gel 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. Şekil 4.2'de tavlama sıcaklıklarının Al katkılı ZnO ince filmlerin üzerindeki etkisi görülmektedir **(Deng, Guo, Y.R. Li, Y. Li, Xu, 2006).**



Şekil 4.2 : Al katkılı ZnO ince filmlerin farklı tavlama sıcaklıklarında optik geçirgenlikleri.

4.1.1.3 Mekanik özellikleri

Al katkılı ZnO ince filmler oluşturulurken, tavlama prosesi, ince filmin optik ve elektriksel özelliklerini etkilediği gibi mekanik özelliklerine de büyük etkisi vardır. Şekil 4.3'de farklı tavlama sıcaklıkları ile üretilen Al katkılı ZnO ince filmlere ait Scanning Electron Microscope (SEM) mikro grafikler görülmektedir.



a) b) c)

d) e)

Şekil 4.3: Al katkılı ZnO ince filmlere ait farklı tavlama sıcaklıklarındaki scanning electron microscope mikro grafikleri;
a) 500 ^{o}C, b) 550 ^{o}C, c) 600 ^{o}C, d) 650 ^{o}C, e) 700 ^{o}C **(Kim, Tai, 2006).**

Geleneksel test metotları ince filmlerin mekanik özelliklerinin değerlendirilmesinde yeterli olamazlar. Nano çentikleme ve nano kazıma metotları; sertlik, elastisite modülü, çatlama sertliği, yüzeye yapışma v.b. mekanik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan test metotlarındandır **(Chang, Hsiao, Huang**, **2008).**

4.1.1.4 Radyasyon karşısında davranışları

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).**

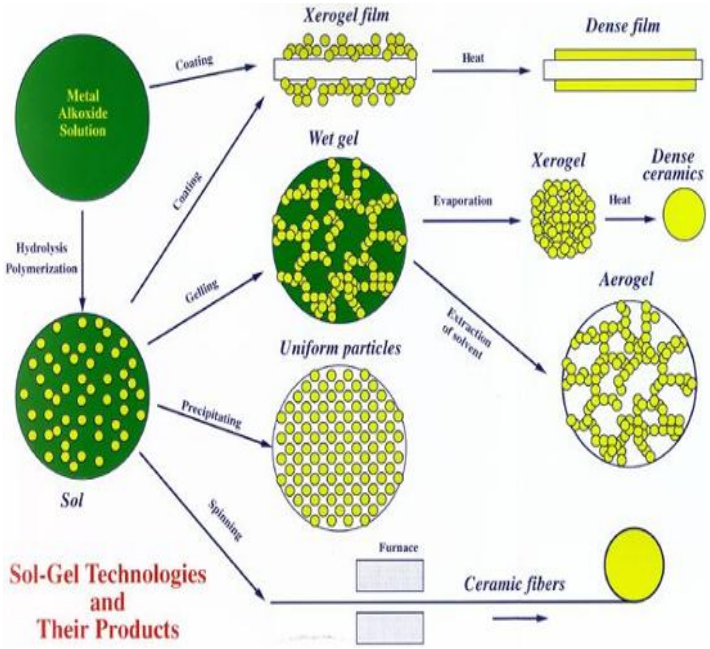
Al katkılı ZnO ince filmler; pulsed lazer kaplama, RF magnetron püskürtme, kimyasal buhar kaplama, ısıl sprey kaplama, elektrot ile kaplama, sol-gel yöntemi ile oluşturulabilmektedir. Ama bu teknikler arasında sol-gel yöntemi, düşük kristalleşme sıcaklığı ile diğer metotlara göre daha ekonomiktir. Ayrıca küçük yüzeyler kadar büyük yüzeylere de uygulama imkanı mevcuttur **(Özdemir, 2009).**

4.2 Sol-Gel Kaplama Yöntemleri

Malzemelerin sol-gel sentezini oluşturmak, hidrolize dayanmaktadır ve malzeme öncülerinin konsantrasyonu inorganik malzemelerin hazırlanmasında kullanılır. Bu prosedür sonucunda sol oluşur. Kolloidal parçacıklar bir sıvı içinde askıda kalır ve bu katılaşma işlemi sonucunda birbiri içine işleyen iki ağ oluşur; katı faz ve çözücü faz. Sol-gel yöntemi genellikle aşağıdaki malzemelerin oluşturmakta kullanılır;

- Silika bazlı sol-gel malzemeler
- Non-Silika bazlı malzemeler
- Sol-gel biyolojik malzemeler
- Gözenekli sol-gel malzemeler
- Optik sol-gel malzemeler

Şekil 4.4'de Sol-Gel teknikleri ve bu teknikler sonucu oluşan ürünler görülmektedir.

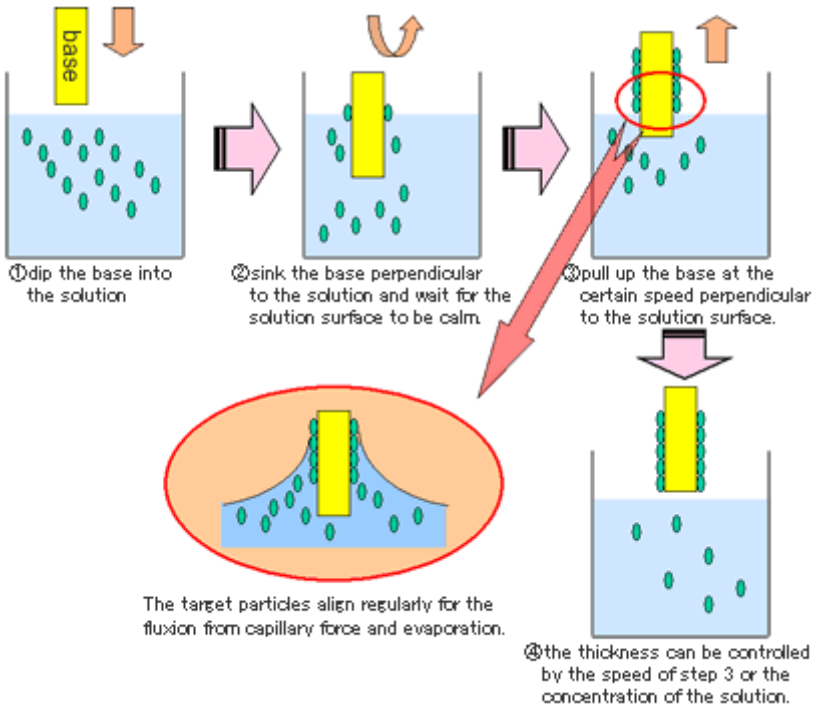


Şekil 4.4 : Sol-Gel teknikleri ve ürünleri **(Özdemir, 2009).**

4.2.1 Daldırarak kaplama yöntemi

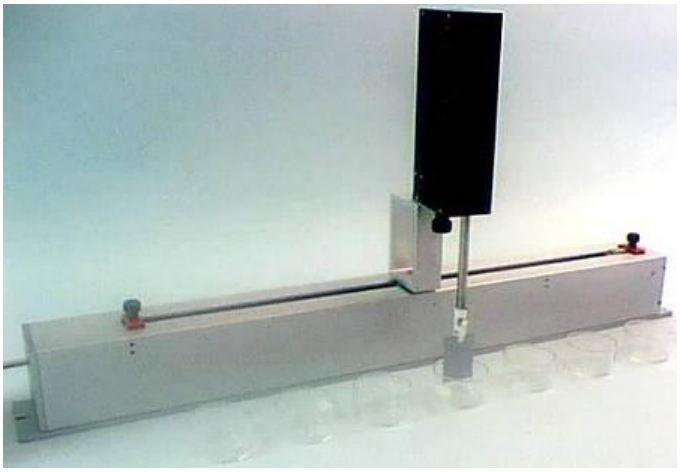
Daldırarak kaplama yöntemi (Dip-Coating) kalifiye eleman istemeyen, günümüzde oldukça otomatikleşmiş bir işlemdir. Kaplama malzemesi ile dolu kabın içene kaplanacak malzemenin daldırılması ve belli bir hızda geri çekilmesi ile işlem gerçekleşmektedir.

Şekil 4.5'de daldırarak kaplama yöntemi şematik olarak anlatılmaktadır.



Şekil 4.5 : Daldırarak kaplama tekniğinin şematik anlatımı **(Özdemir, 2009).**

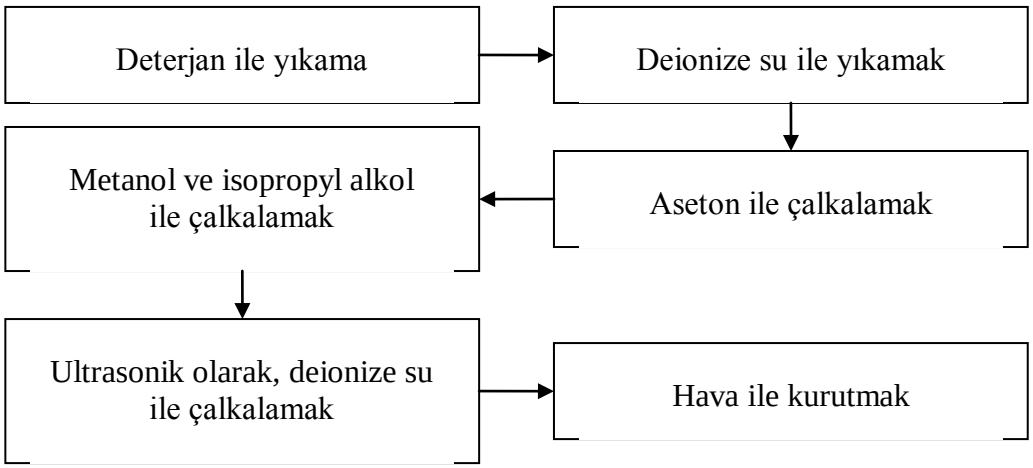
İnsan ve ekipman ihtiyacı az olduğu için oldukça basit bir yöntemdir. Şekil 4.6'de daldırma yönteminde kullanılan ekipmanlara ait bir örnek görülmektedir.



Şekil 4.6 : Daldırarak kaplama yöntemi için ekipman **(Özdemir, 2009).**

Kullanılan ekipmanlar, özel kimyasal temizleyiciler ile temizlenerek tekrar kullanılabildiklerinden, daldırarak kaplama yöntemi maliyetsizdir. 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).**

Kaplanacak yüzey Şekil 4.7'de gösterilen şekilde bir ön temizleme işleminden geçirilir.



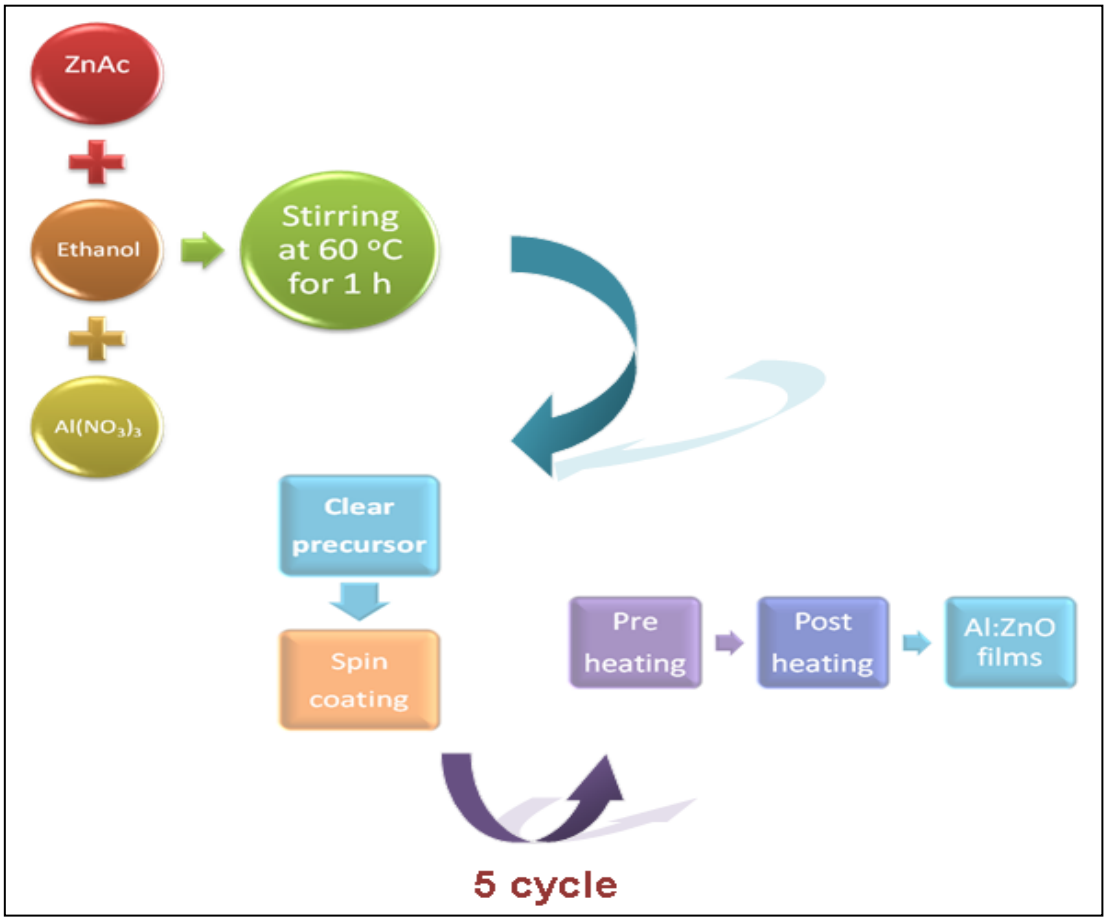
Şekil 4.7 : Kaplanacak yüzeyler için ön temizleme prosedürleri **(Özdemir, 2009).**

4.2.2 Döndürerek kaplama yöntemi

Döndürerek kaplama yönteminde, kaplanacak yüzeylerin düz olması gerekmektedir. Döndürerek kaplama yönteminde, kaplama malzemesi kaplanacak yüzeyin tam ortasına elle veya bir robot kolu aracılığı ile yerleştirilir. Kaplama kalınlığını belirlemek amacı ile kaplanacak malzeme, 500-9000 rpm arasında döndürülür. Döndürerek kaplama yöntemindeki fizik; döndürme hızı kontrollü santrifüj kuvveti ile çözeltiye ait viskozitenin aralarındaki net kuvvettir. Bu yöntemde kaplama kalınlığı, dönme hızı ve döndürme süresi ile kontrol edilebilmektedir. Döndürerek kaplama yöntemine ait şematik açıklama Şekil 4.8'de gösterilmektedir.

Şekil 4.8 : Döndürerek kaplama yöntemine ait şema.

Döndürerek kaplama yöntemi ile metalleri kaplama işlemi, metallerin düşük sıcaklıklarda, çözelti haline getirilememesinden dolayı yapılamamaktadır. Döndürerek kaplama tekniğine ait çözelti hazırlama ve kaplama işlemine ait şematik diyagram Şekil 4.9'da gösterilmektedir **(Tekin, 2009).**

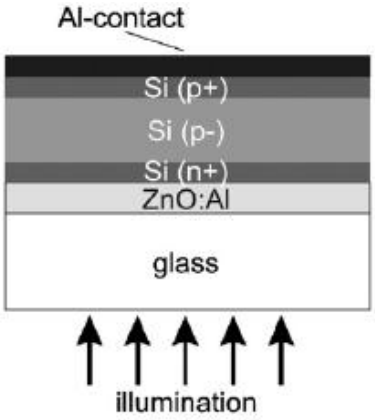


Şekil 4.9 : Döndürerek kaplama yöntemine ait çözelti hazırlama ve kaplama işlemine ait şematik diyagram.

4.3 Sol-Gel Tekniği ile Üretilen Geçirgen İletken ZnO:Al İnce Filmler ve Uygulama Alanları

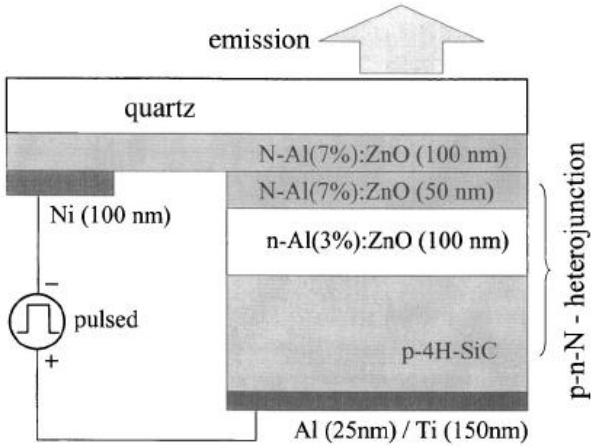
Katkılanmış veya saf ZnO filmleri, fiziksel özelliklerinden dolayı oldukça fazla uygulama alanına sahiptirler. Özellikle, optik ve manyetik hafıza cihazlarında, mavi ışık yayınlayan diyotlarda, solar enerji hücrelerinde ve sensörlerde yoğun şekilde kullanılır.

Kimyasal dengesi çok iyi olduğundan ZnO filmler, özelliklede Al katkılı olanlar, Sn katkılı In_2O_3 göre, solar hücrelerinin üretiminde daha çok tercih edilmektedir. Al katkılı ZnO filmler, solar enerji panellerinin ihtiyacı olan, düşük elektriksel direnç ve yüksek optik geçirgenliğe sahiptirler (geçirgenlik %85, elektriksel dirençleri $1.9x10^{-4}$ Ω cm). Yapılan araştırmalara göre Al katkılı ZnO ince filmler silikon solar hücrelerin fabrikasyonunda da kullanılmaktadır. Şekil 4.10'da silikon solar hücrelerin yapısı görülmektedir **(Becker, Berginski, Conrad, Dogan, Fenske, Gall, Gorka, Hanel, Hupkes, Lee, Rau, Rech, Ruske, Weber, 2008).**



Şekil 4.10 : Silikon solar hücre yapısı.

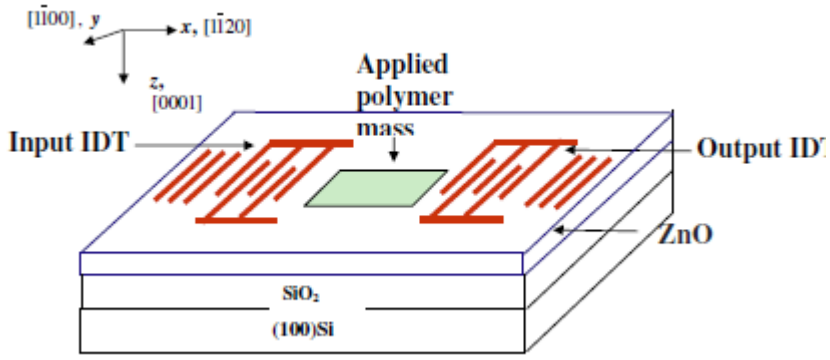
Organik ışın yayan LED'lerin (OLED) yüksek parlaklık ve verimlilikte çalışması beklenir. Al katkılı ZnO ince filmler OLED'lerde anot olarak sıkça kullanılırlar. OLED'lerde kullanılan Al katkılı ZnO ince filmlerin film kalınlıkları 180 nm, elektriksel dirençleri $4.085x10^{-2}$ Ω-cm ve optik geçirgenlikleri %80.2 şeklindedir. Şekil 4.11'de bu tip bir yapıya ait şema görülebilmektedir **(Chen, Lau, Rusli, Yu, Yuen, 2005).**



Şekil 4.11 : *n*-ZnO:Al/ *p*-SiCs4Hd heterojunksiyon LED yapısı.

ZnO:Al ince filmler yüzeysel akustik dalga cihazlarda (SAW) yaygın olarak filtre, osilatör ve dönüştürücü olarak kullanılır. Elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmek, piezo elektrik malzemelerin kullanılması ile mümkündür. Frekansın faz hızı, elektromekanik eşleşme sabiti ve sıcaklık sabiti, SAW'in tipik özelliklerindendir.

SAW sensörleri akustik-optik, kimyasal ve biyolojik uygulamalarda kullanılırlar. Bu tip bir yapıya ait şema Şekil 4.12'de görülebilmektedir **(Iliadis, Krishnamoorthy, 2008).**



Şekil 4.12 : ZnO/SiO2/Si SAW Rezonatör Yapısı

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu yüksek lisans tezinde farklı sıcaklıklarda ve atmosferlerde tavlanan, daldırma yöntemi ile kaplanmış, farklı Al katkılı ZnO ince filmlerin, hem ışınlamaya maruz kalmış, hem de ışınlanmamış örneklerin karşılaştırılması ve örneklere ait gama ışını geçirgenliğinin gama transmisyon tekniği ile tespiti amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda deneysel çalışmalar yapılmıştır.

5.1 Deneyde Kullanılan ZnO:Al İnce Filmler

Deneylerde 29 farklı Al katkılı ZnO ince filmle çalışılmıştır. İnce filmler sol-gel metotlarından daldırma yöntemi ile 1 mm kalınlığında Soda-Kireç-Silika camların üstüne kaplanmıştır. İnce filmler, aşağıda sıralanan çeşitli ortak özelliklere sahiptirler;

- Sol-gel yöntemlerinde daldırma yöntemi ile üretilmişlerdir
- Kaplama sırasında ortamdaki sıcaklık 22-25°C, nem oranı % 35-40'dır.
- Kaplanacak cam örnekleri, Al katkılı ZnO çözeltilere 200 mm/dak. hız ile daldırılmış, çekerken ise 50 mm/dak. hız uygulanmıştır. Soda kireç silika camlara beş kat kaplama yapılmıştır.
- Tavlama atmosferleri ve sıcaklıkları farklı olmasına karşın, tavlama süresi tüm örneklerde bir saattir.
- Film kalınlıkları tüm ince filmlerde 40 nm'dir.
- Işınlanma neticesinde bütün filmlerin maruz kaldığı doz miktarı 0.2 Gy'dir.
- Ara tavlama sıcaklıkları bütün örneklerde 400 °C'dir.

Deneyde kullanılan ince filmlerin bir kısmı üretim aşamasından sonra belli bir süre Co-60 gama radyoizotop kaynağına ile ışınlanmışlardır. Bu nedenle örnekler, "ışınlanmamış" ve "ışınlanmış" olarak 2 ana gruba ayrılarak incelenmiştir.

5.1.1 Işınlanmamış örnekler

Deneyde ışınlanmış ve ışınlanmamış ince filmlerin kullanılmasının nedeni, deney sonrasında her iki grubun radyasyon geçirgenlikleri üzerine bir kıyaslama yapabilmektir. Işınlanmamış Al katkılı ZnO kaplı soda kireç silika ince filmlere ait özellikler Tablo 5.1'de verilmektedir.

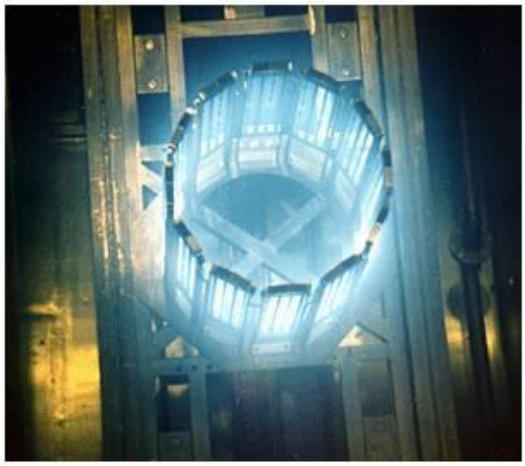
Tablo 5.1 : Işınlanmamış örneklere ait özellikler.

Grup No	Film No	Al % Katkı Oranı	Atmosfer Tipi	Tavlama Sıcaklığı
Grup 1 Işınlanmamış	1	0.80 %	Argon	550 °C
	2	1.00 %		
	3	1.20 %		
	4	1.60 %		
Grup 2 Işınlanmamış	1	0.80 %	Azot	500 °C
	2	1.00 %		
	3	1.20 %		
	4	1.60 %		
Grup 3 Işınlanmamış	1	0.80 %	Vakum	500 °C
	2	1.00 %		
	3	1.20 %		
	4	1.60 %		
Grup 4 Işınlanmamış	1	0.80 %	Vakum	550 °C
	2	1.00 %		
	3	1.20 %		
	4	1.60 %		

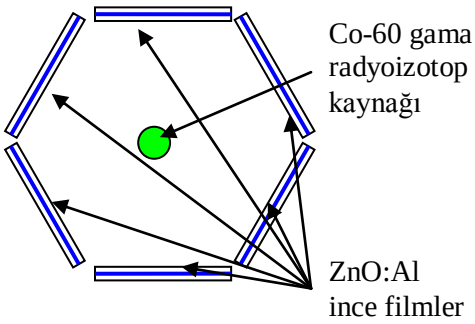
5.1.2 Co-60 gama kaynağı ile ışınlanmış örnekler

İki farklı enerjili gama fotonları yayınlayan Co-60 gama radyoizotopu endüstride çok yaygın kullanılmaktadır. Deneyde kullanılan ince film örneklerinin bir kısmı Co - 60 gama radyoizotopu ile ışınlamaya maruz kalmıştır. Kullanılan Co-60 gama kaynağı 1.17 MeV ve 1.33 MeV enerji seviyeli iki farklı enerjide gama fotonu yayınlamaktadır. Co-60 radyoizotopunun aktivitesi 0.018021 Ci'dir. Kullanılan Co-60 gama kaynağı Şekil 5.1a'da, ışınlama düzeneğine ait şekil Şekil 5.1b'de ve ışınlama düzeneğine ait şema Şekil 5.1c'de gösterilmiştir. Bütün ışınlamalar oda sıcaklığında yapılmıştır **(Özdemir, 2009).**

a)



b)



c)

Şekil 5.1 : a) Co-60 gama kaynağı b) ince filmlerin ışınlama düzeneği c) ışınlama sistemine ait şema **(Özdemir, 2009).**

Işınlanmış Al katkılı ZnO ince filmlere ait Al katkı miktarları ve tavlama şartları Tablo 5.2 de arz edilmektedir.

Tablo 5.2 : Işınlanmış Al katkılı ZnO ince filmlere ait özellikler.

Grup No	Film No	Al % Katkı Oranı	Atmosfer Tipi	Tavlama Sıcaklığı
Grup 5 Işınlanmış	1	0.80 %	Vakum	500 °C
	2	1.00 %		
	3	1.20 %		
	4	1.60 %		
Grup 6 Işınlanmış	1	0.80 %	Vakum	550 °C
	2	1.00 %		
	3	1.20 %		
	4	1.60 %		
	5	5.00 %		
Grup 7 Işınlanmış	1	0.80 %	Vakum	600 °C
	2	1.60 %		
Grup 8 Işınlanmış	1	10.00 %	Vakum	200 °C
	2	15.00 %		

Al katkılı ZnO kaplı ince filmlerin Co - 60 gama kaynağı ile ışınlanmasındaki amaç, ince filmlerin optik ve elektriksel özelliklerinin geliştirilmesidir. Tek doz ışınlamanın ZnO:Al ince filmlerin elektriksel iletkenlik özelliklerini büyük ölçüde arttırdığı görülmüştür.

Al katkılı ZnO kaplanmış soda kireç silika ince filmler Şekil 5.2 de gösterilmiştir.

Şekil 5.2 : Al katkılı ZnO kaplanmış soda kireç silika filmler.

5.2 Deneyde Kullanılan Gama Radyoizotop Kaynağı

Al katkılı ZnO kaplı ince filmlerle yapılan deneylerde Cs-137 gama radyoizotopu kullanılmıştır.

Deneyde kullanılan Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ait özellikler Tablo 5.3 de verilmiştir.

Tablo 5.3 : Deneylerde kullanılan radyoizotopların özellikleri **(Földiak, 1986).**

Gama Radyoizotop Kaynağı	Yarı Ömür	Enerjisi (MeV) Ve Bolluk Yüzdesi	Üretim Tarihi Ve Aktivitesi A_0	Çalışılan Aktivite A
Cs-137	30.07 yıl	γ 0.662 (85.2)	15.Kasım.2006 0,892 μCi	23.Kasım.2009 0.832 μCi

Deneyde kullanılan Cs-137 gama radyoizotop kaynağına ait önden ve arkadan görünümleri Şekil 5.3'de verilmektedir.

a) **b)**

Şekil 5.3 : Cs-137 gama radyoizotop kaynağı a) önden b) arkadan görünümleri.

5.3 Gama Transmisyon Tekniğinde Kullanılan Işınlama Düzeneğinin Tanıtımı

Deneysel çalışmalar sırasında ölçümlere uygun ve radyasyonun olumsuz etkilerinden koruyacak bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Bu deney düzeneğinde Bölüm 5.1 ve Bölüm 5.2 de tanıtılan örnekler ve Cs-137 gama radyoizotop kaynağı dışında aşağıdaki üniteler yer almaktadır;

- Dedektör
- Çok Kanallı Analizör (MCA)
- Zırh Kolimatör
- Zırh Ünitesi Bariyer
- Gama Kaynağı Sabitleyici

Yukarıda sıralanan deney düzeneğinin başlıca elemanları ile ilgili bilgi aşağıdaki bölümlerde anlatılmıştır.

5.3.1 Dedektör

Deney setimizde, Canberra firmasına ait GR4021 model numaralı bir Ge yarıiletken dedektör kullanılmıştır. Yarıiletken dedektör malzemesi p-i-n yapısında bir diyoda dönüştürülmüş Germanyum kristalidir. Ge periyodik sistemde 4. grupta bulunmaktadır. Bu kristallerin yapısı band modeliyle anlaşılabilir. İletkenlik ve valans bandında normal olarak termik yolla yaratılan belli sayıda e- delik çiftleri vardır. Valans bandıyla iletkenlik bandı arasındaki yasak bölge genişliği, oda sıcaklığında bile valans elektronları için aşılabilecek kadar küçüktür. Bu yaklaşık olarak 2,9-3,6 eV kadardır (gazlı dedektörler için 30 eV, sintilasyon dedektörleri için 300 eV). Bu yüzden yarıiletken dedektörlerden elde edilen yük sinyali büyümüş ve istatistik sapma küçülmüştür. Gamma ışınlarının dedeksiyonunda özellikle yüksek atom numarası nedeniyle Ge yarıiletken dedektörleri kullanılır. Dedektöre yüksek voltaj uygulanınca elektron ve delik çiftlerinin hareket etmesiyle bir bölge oluşur. γ ışınları bu bölgede etkileşince akım taşıyıcıları serbest kalır ve kendilerine uygun düşen elektroda doğru elektrik alan ile itilirler. Bunun için 1000 V/cm'lik bir elektrik alan gereklidir.

İletkenlik bandına foton etkileşmesiyle uyartılan elektronlara ek olarak burada termal olarak uyartılan elektronlar istatistiksel bir gürültü meydana getirirler. Bu gürültüyü

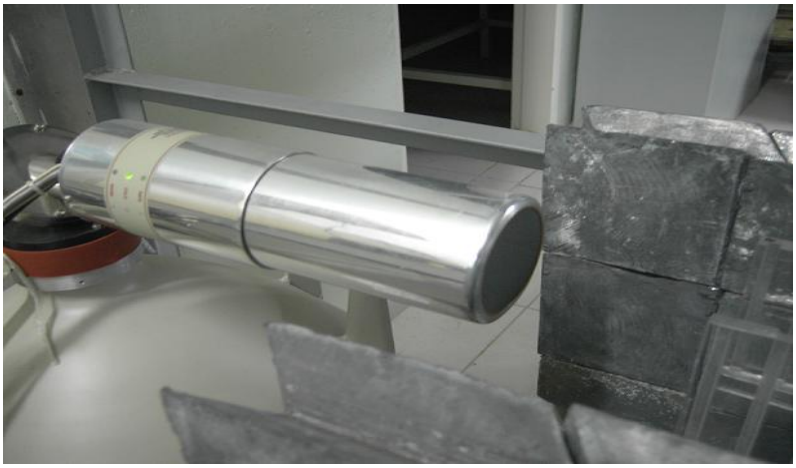
en aza indirmek için yarıiletken dedektörler düşük sıcaklıklarda çalıştırılmalıdır. Burada kabul edilen sıcaklık 77K'dir (sıvı azot sıcaklığı -196°C). Kullanılan sıvı azot kabı yine Canberra firmasına ait 22 kg kapasiteli 7600SL modeldir.

Deneyde kullanılan dedektör, Co-60 gama radyoizotopunun 1.33 MeV'deki enerji seviyesine ait verimi Tablo 5.4'de verilmiştir.

Tablo 5.4 : Canberra GR4021 Ge dedektörünün Co-60 (1.33 MeV) için verimi.

Kaynak	FWHM	FWTM	Peak/Comp.	Rel. Eff.
Co-60(1.33MeV)	1,79 keV	3,28	68,3:1	48,7 %

Deneyde kullanılan Canberra GR4021 Ge dedektörü Şekil 5.4'de görülmektedir.



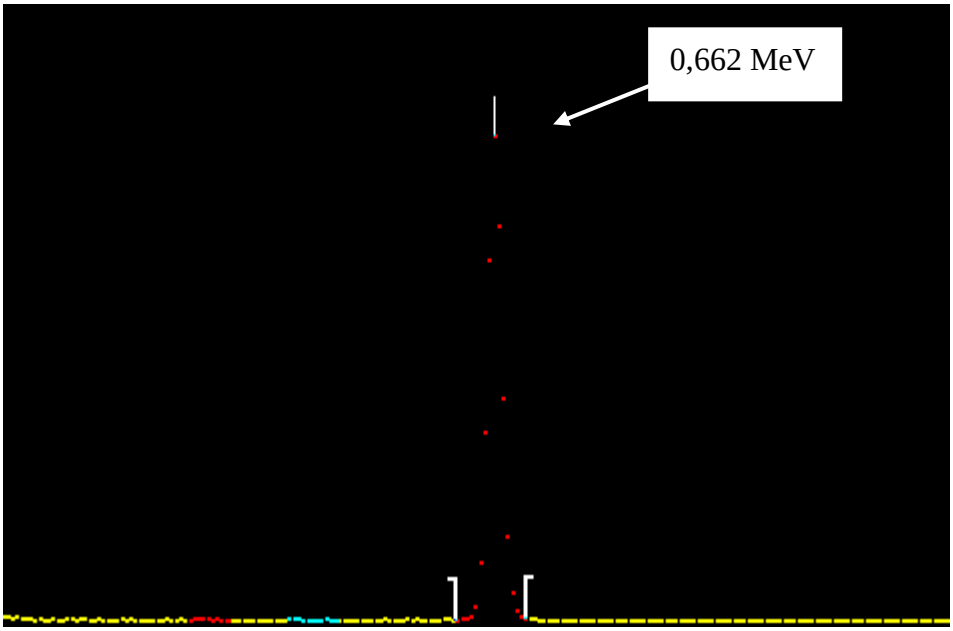
Şekil 5.4 : Canberra GR4021 Ge dedektörü.

5.3.2 Çok kanallı analizör (MCA)

Deney düzeneğinin en önemli ünitelerinden olan çok kanallı analizör, kullanılan dedektör gibi Canberra firmasına ait Eagle Plus model, 4096 kanallı analizördür. 0 ile 2 MeV enerji aralığında ölçüm yapmaktadır. Bu çok kanallı analizörü, ön yükseltici, yükseltici, güç kaynağı ve sayıcı gibi üniteleri tek bir ünite halinde bulunmaktadır. Şekil 5.5'de bu tez çalışması kapsamında kullanılan çok kanallı analizör görülmektedir.

Şekil 5.5 : Canberra marka Eagle Plus model çok kanallı analizör.

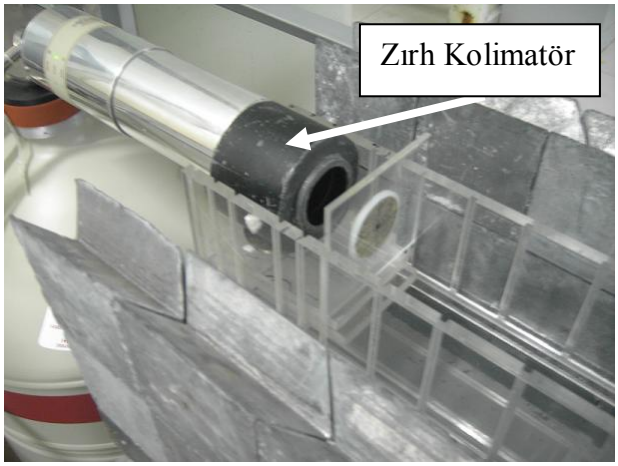
Görüntüleme işlemi analizöre USB bağlantısı ile bağlı standart bir bilgisayar aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. Görüntüleme işlemini gerçekleştiren standart bilgisayar aynı zamanda bir yazıcı aracılığı ile deney sonuçlarını yazılı olarak elde etmeye yardımcı olmaktadır. Çok kanallı analizör, sayım sonuçlarını analiz etme özelliği de bulunan Genie2000 adlı bir analiz programı ile çalışmaktadır. Program deney sırasında bir önceki deney sonuçlarını analiz etme özelliği ile oldukça pratik bir kullanıma sahiptir. Şekil 5.6 'da Cs-137 gama radyoizotopuna ait spektral analiz görülebilmektedir.



Şekil 5.6 : Cs-137 gama radyoizotopuna ait spektral analiz.

5.3.3 Zırh kolimatör

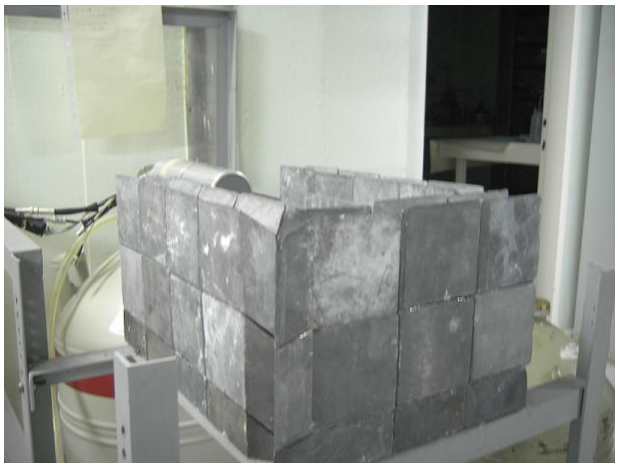
Deneyde kullanılan zırh kolimatör, kurşundan imal edilmiş olup, geri saçılan gama ışınlarının sonucu etkileyecek şekilde, dedektöre ulaşmasını engellemektedir. Zırh kolimatör Şekil 5.7 de görülmektedir.



Şekil 5.7 : Zırh kolimatör.

5.3.4 Zırh ünitesi bariyer

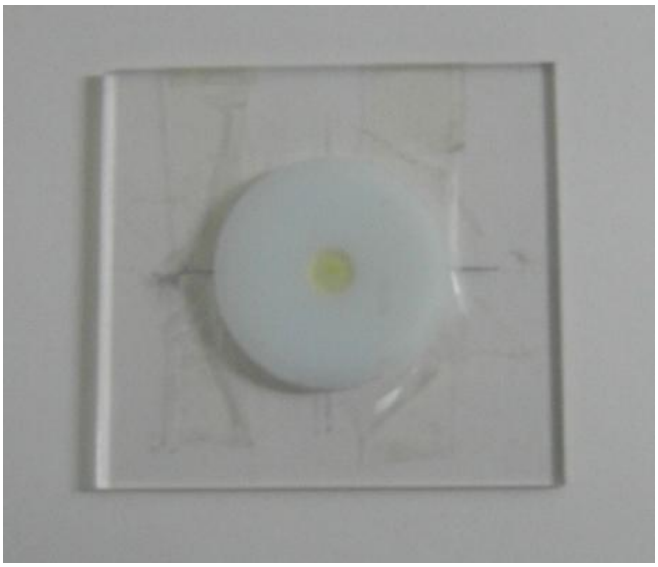
Zırhlama ünitesi olarak kullanılan kurşun bariyerlerin kalınlığı 5 cm'dir. Bunun amacı insan sağlığı açısından tehlike arz eden gama ışınlarını engellemektir. Geometri olarak birbiri içine geçen kemer tuğlalar kullanılmıştır. Böylece radyoaktif sızıntının önüne geçilebilmiştir. Şekil 5.8'de deneyde kullanılan zırh ünitesi bariyer görülebilmektedir.



Şekil 5.8 : Zırh ünitesi bariyer.

5.3.5 Gama kaynağı sabitleyici

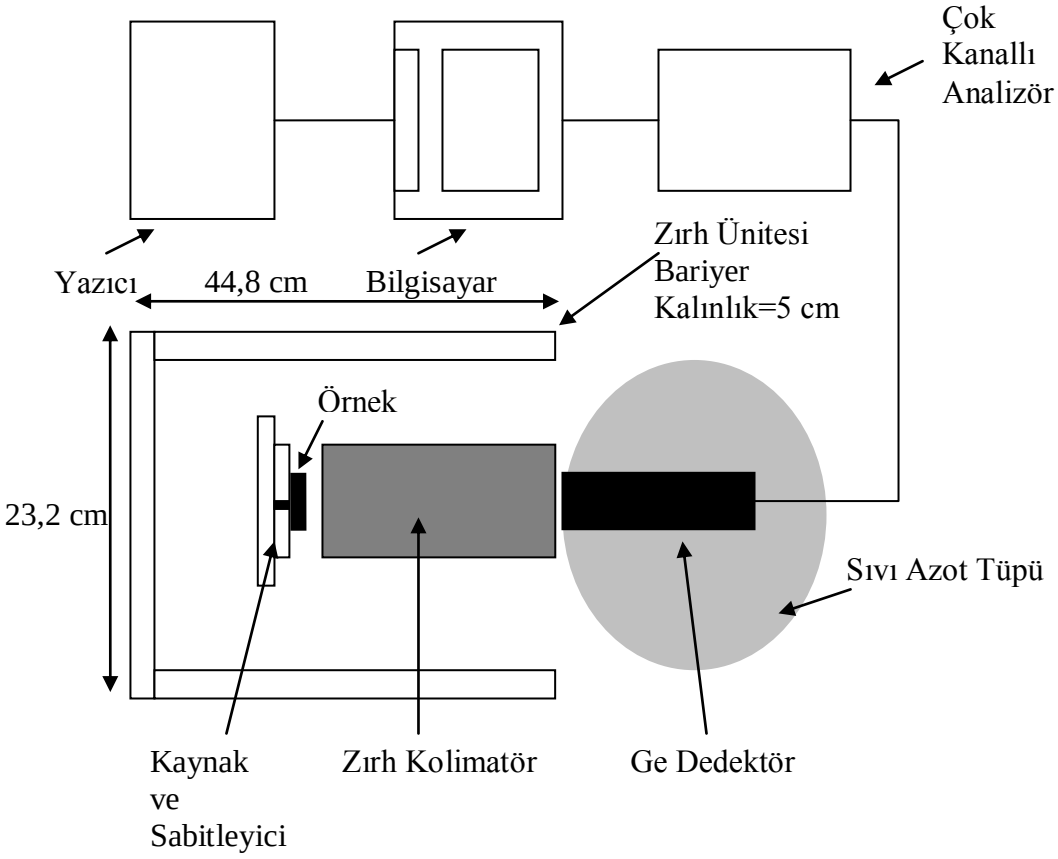
Deney düzeneğimizde gama kaynağını yerleştirmek amacı ile fiberglas malzemeden üretilmiş, radyoaktif ışınlar karşısında etkilenmeyen kare şeklinde tutucu kullanılmıştır. Bu tutucular deney sırasında kaynak-örnek-dedektör doğrusal geometrisinde, belli aralıklarla açılan kızaklara yerleştirilmiştir. Böylece kaynak-örnek ve örnek-dedektör arasındaki en uygun mesafe tespit edilmiştir. Şekil 5.9'da gama kaynağı sabitleyici görülebilmektedir.



Şekil 5.9 : Gama kaynağı sabitleyici.

5.4 Deney Düzeneği

Bölüm 5.3 de tanıtılan elemanların uygun şekilde yerleştirilmesi ile deney düzeneği oluşturulmuştur. Dedektör sıvı azot kabına bağlanmış, böylece -196 °C olan çalışma sıcaklığı sağlanmıştır. Dedektör, daha sonra bünyesinde ön yükseltici, yükseltici, güç kaynağı ve sayıcıyı muhafaza eden çok kanallı analizöre bağlanmıştır. Görüntüleme işlemi için çok kanallı analizör standart bir bilgisayar bağlanmıştır. Yazılı sayım çıktıları için bilgisayar bir yazıcıya bağlanmıştır. Dedektör-örnek-kaynak doğrusal geometrisi oluşturulmuş, zırh kolimatör ile sayım sonuçlarını etkileyebilecek saçılmalardan kaçınılmıştır. Dedektör-örnek-kaynak ve zırh kolimatör, radyasyonun insan sağlığı açısından zararlı etkilerinden korunmak için zırh bariyer ile çevrelenmiştir. Deney sırasında ortamda bulunan doz miktarını devamlı ölçen bir güvenlik monitörü ile deney düzeneği tamamlanmıştır. Şekil 5.10'da deney düzeneğinin kuş bakışı şekli görülebilmektedir.



Şekil 5.10 : Deney düzeneğinin şematik yerleşimi

5.5 Deney Geometrisi

Deneylerde Al katkılı ZnO ince filmler kullanılmıştır. Bu filmler 1 mm kalınlıktaki soda kireç camın tek bir tarafına kaplanmıştır. Deneylerde örnek ince filmlerin kapsız tarafı kaynağa tam olarak yapıştırılmış olup, böylece kaynak, nokta kaynak olarak değerlendirilerek, hesaplamalarda kolaylık esas alınmıştır. Gama kaynağından çıkan fotonlar önce camı, oradan ince film tabakasını, sonra zırh kolimatörü geçip dedektöre ulaşmıştır. Dedektör-kaynak mesafesi, Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan deneme sayımlarında, ölü zaman göz önünde bulundurularak 11.2 cm olarak alınmıştır. Gama transmisyon deneylerinde kabul edilen %10'nun altındaki ölü zaman Cs-137 gama radyoizotop kaynağı için % 0,89 olarak ölçülmüştür.

5.6 Deneyin Yapılışı

Her bir örnek üzerinde deneylere başlamadan önce, doğal ortam radyasyonu 100 sn'lik zaman aralığında üç defa ölçülmüştür (background). Alınan doğal ortam radyasyonu sonuçlarının ortalamaları alınarak, hesaplamalar yapılmıştır. Denklem 2.11'deki I_0 değerini hesaplara katmak için, Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile kaplanmamış cam örneklerle üçer defa 100 sn'lik sayım yapılmıştır. Deneylerde 29 farklı örnek kullanılmış, her bir örnek için üçer defa sayım alınmıştır. Tüm örnekler deney setine yerleştirilmeden önce kaplanmamış yüzeyi alkolle iyice temizlenmiş, sayım sonuçlarında oluşabilecek negatif etki ortadan kaldırılmıştır.

Bütün sonuçlardan doğal ortam radyasyon miktarı çıkarılarak, ortalama değerleri alınmıştır. Denklem 2.11 yardımı ile, her bir örnek için elde edilen sayım sonuçlarından (I/ I_0) oranı bir bilgisayar programı aracılığı ile hesaplanmıştır. Çıkan sonuçlardan standart sapmalar bulunmuştur. Kalınlığı bilinen ince film örneklerinin her biri için Denklem 3.3 kullanılarak çizgisel soğurma katsayısı hesabı yapılmıştır. Sonuçlar örnek odaklı, farklı konu başlıkları altında mukayese edilmiştir.

6. DENEY SONUÇLARI

6.1 Cs-137 Kaynağı ile ZnO:Al İnce Filmlerden Elde Edilen Gama Zayıflama Sonuçları

Bu Yüksek Lisans Tezinde, Cs-137 radyoizotopu kullanılarak gama transmisyon tekniği ile Al katkılı ZnO ince filmlerin gama ışını geçirgenliği incelenmiştir. ZnO:Al ince film tabakası, daldırma tekniği ile soda kireç silika camların üzerine kaplanmıştır.

ZnO:Al ince filmler, 0.80, 1.00, 1.20, 1.60, 5.00, 10.00 ve 15.00 (at.%) olmak üzere yedi farklı Al konsantrasyonunda katkılanmış, Vakum, Argon ve Azot atmosferi olmak üzere üç farklı tavlama ortamında tavlanmışlardır. Tavlanması sırasında, nanokristalit ZnO:Al yapının oluştuğu 200, 500, 550 ve 600°C olmak üzere dört farklı tavlama sıcaklığında tavlanan ince filmlerin gama ışın geçirgenliği değerlendirilmiştir.

Tablo 6.1'de ışınlanmamış Al katkılı ZnO ince filmlerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile elde edilen deney sonuçları verilmektedir. Işınlanmış ZnO:Al ince filmlerin gama geçirgenliğine ait deney sonuçları Tablo 6.2'de gösterilmiştir.

Bölüm 5'de Tablo 5.2'de gösterilen ZnO:Al nanokristalit yapıdan oluşan ince filmlerin Co-60 gama kaynağı ile ışınlanması sonucu soğurduğu radyasyon dozu 0.2 Gy'dir.

Işınlanmış ve ışınlanmamış ZnO:Al ince filmlerin, Cs-137 radyoizotop kaynağından yayınlanan 0,662 MeV enerjili fotonların geçirgenliği değerlendirilmiştir. Gama spektroskopisine ilişkin, çok kanallı analizör ile yapılan gama sayımlarında, 0.662 MeV enerjiyi kapsayan pikteki sayımlar değerlendirilmiştir.

Tablo 6.1 : Işınlanmamış Al katkılı ZnO ince filmlerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile elde edilen deney sonuçları. I_0 =10332±43

Grup No	Film No	Al (at.%)	Atmosfer Tipi	Tavlama Sıcaklığı	Sayım 1		Sayım 2		Sayım 3		Ortamdaki Doğal Sayım	Ortalama Net Sayım	Standart Sapma (+/-)	Ln(I/I_0)
					Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım				
Grup 1 Işınlanmamış	1	0.80%	Argon	550 °C	10254	10252	10216	10214	10239	10237	2	10234	19	-0,009
	2	1.00%			10163	10161	10191	10189	10156	10154	2	10168	19	-0,016
	3	1.20%			10082	10080	10162	10160	10159	10157	2	10132	45	-0,019
	4	1.60%			10167	10165	10053	10051	10018	10016	2	10077	78	-0,025
Grup 2 Işınlanmamış	1	0.80%	Azot	500 °C	10262	10262	10182	10182	10235	10235	0	10226	41	-0,010
	2	1.00%			10165	10165	10195	10195	10121	10121	0	10160	37	-0,017
	3	1.20%			10178	10178	10028	10028	10143	10143	0	10116	78	-0,021
	4	1.60%			10091	10091	10050	10050	10120	10120	0	10087	35	-0,024
Grup 3 Işınlanmamış	1	0.80%	Vakum	500 °C	10303	10303	10302	10302	10229	10229	0	10278	42	-0,005
	2	1.00%			10187	10187	10174	10174	10244	10244	0	10202	37	-0,013
	3	1.20%			10110	10110	10233	10233	10100	10100	0	10148	74	-0,018
	4	1.60%			10070	10070	10119	10119	10141	10141	0	10110	36	-0,022
Grup 4 Işınlanmamış	1	0.80%	Vakum	550 °C	10271	10271	10242	10242	10264	10264	0	10259	15	-0,007
	2	1.00%			10171	10171	10209	10209	10163	10163	0	10181	25	-0,015
	3	1.20%			10035	10035	10166	10166	10225	10225	0	10142	97	-0,019
	4	1.60%			10175	10175	10039	10039	10080	10080	0	10098	70	-0,023

Tablo 6.2 : Işınlanmış Al katkılı ZnO ince filmlerin Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile elde edilen deney sonuçları. I_0 =10332±43

Grup No	Film No	Al (at.%)	Atmosfer Tipi	Tavlama Sıcaklığı	Sayım 1		Sayım 2		Sayım 3		Ortamdaki Doğal Sayım	Ortalama Net Sayım	Standart Sapma (+/-)	$Ln(I/I_0)$
					Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım				
Grup 5 Işınlanmış	1	0.80%	Vakum	500 °C	10240	10240	10112	10112	10249	10249	0	10200	77	-0,013
	2	1.00%			10176	10176	10159	10159	10120	10120	0	10152	29	-0,018
	3	1.20%			10092	10092	10136	10136	10089	10089	0	10106	26	-0,022
	4	1.60%			10107	10107	10053	10053	10070	10070	0	10077	28	-0,025
Grup 6 Işınlanmış	1	0.80%	Vakum	550 °C	10165	10165	10195	10195	10153	10153	0	10171	22	-0,016
	2	1.00%			10072	10072	10162	10162	10147	10147	0	10127	48	-0,020
	3	1.20%			10040	10040	10069	10069	10187	10187	0	10099	78	-0,023
	4	1.60%			10018	10018	10024	10024	10167	10167	0	10070	84	-0,026
	5	0.80%			9966	9943	9937	9914	9946	9923	23	9927	15	-0,040
Grup 7 Işınlanmış	1	1.00%	Vakum	600 °C	10168	10168	10100	10100	10173	10173	0	10147	41	-0,018
	2	1.20%			10036	10036	10062	10062	10048	10048	0	10049	13	-0,028
Grup 8 Işınlanmış	1	1.60%	Vakum	200 °C	10307	10284	10262	10239	10253	10230	23	10251	29	-0,008
	2	0.80%			10271	10248	10255	10232	10228	10205	23	10228	22	-0,010

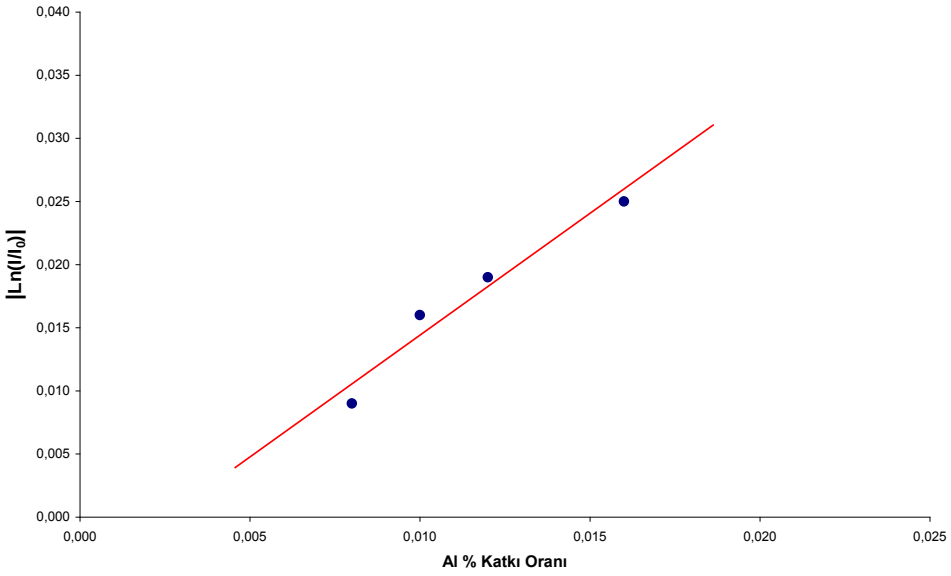
Tablo 6.1 ve Tablo 6.2'de verilen I_0 değeri, 0,662 MeV enerjili pik aralığında, kaplanmamış soda kireç silika cam taşıyıcının gama ışını geçirgenlidir.

6.2 Film Üretim Parametrelerine Göre Gama Zayıflama Sonuçlarının İncelenmesi

Her bir örnek için yapılan deneylerde elde edilen $Ln(I/I_0)$ değerleri tablolar halinde Bölüm 6.1'de verilmiştir. Tablolarda verilen $Ln(I/I_0)$ sonuçlarının mutlak değerleri, farklı ince film üretim kriterlerine bağlı olarak grafiksel olarak mukayese edilmiştir.

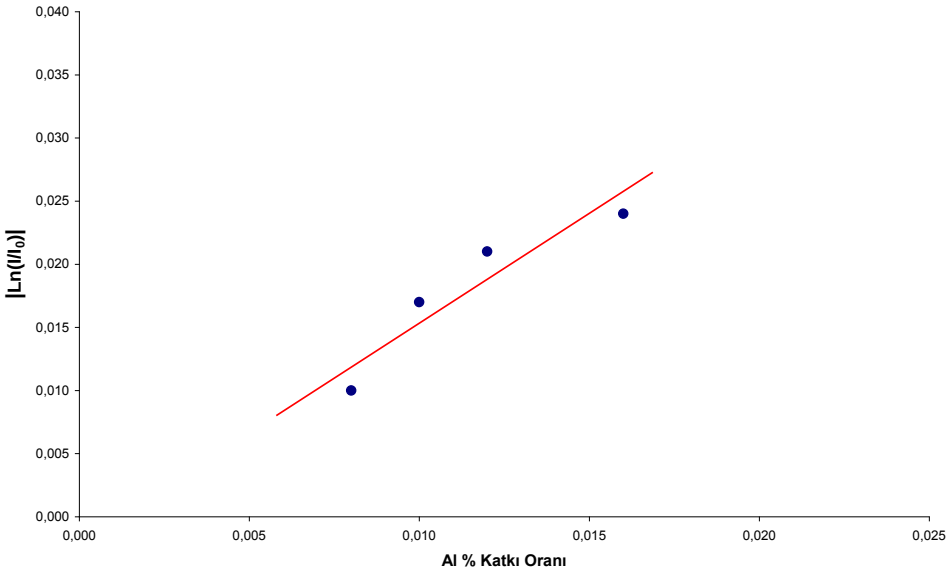
6.2.1 Al katkılama oranına göre gama zayıflama sonuçlarının incelenmesi

Argon atmosferinde 550°C'de tavlanmış ve ışınlanmamış ZnO:Al ince filmler Grup 1 olarak isimlendirilmiştir. Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile elde edilen geçirgenlik sonuçları Şekil 6.1'de Al (at.%) konsantrasyonuna bağlı olarak incelenmiştir. Grup 1'e ait, Al katkı oranları %0.80-%1.60 arasında değişen ince film örneklerinin, Cs-137 gama radyoizotopu ile yapılan deneylerden elde edilen, gama geçirgenliği - Al % katkı oranı grafiği Şekil 6.1'de görülmektedir.



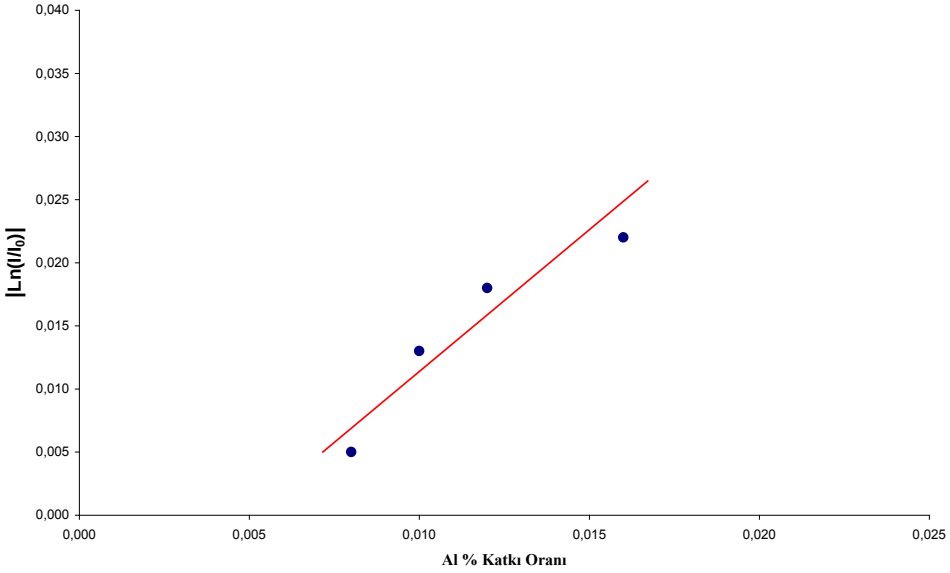
Şekil 6.1 : Grup 1'e ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre gama geçirgenliği.

Azot atmosferinde 500°C'de tavlanmış ve ışınlanmamış ZnO:Al ince filmler Grup 2 olarak isimlendirilmiştir. Gama geçirgenlik sonuçları Şekil 6.2'de gösterilmektedir. Şekil 6.2'de Grup 2'ya ait, Al katkı oranları %0.80-%1.60 arasında değişen ince film örneklerinin, Cs-137 gama radyoizotopu ile yapılan deneylerden elde edilen, gama geçirgenliği - Al % katkı oranı grafiği görülmektedir.



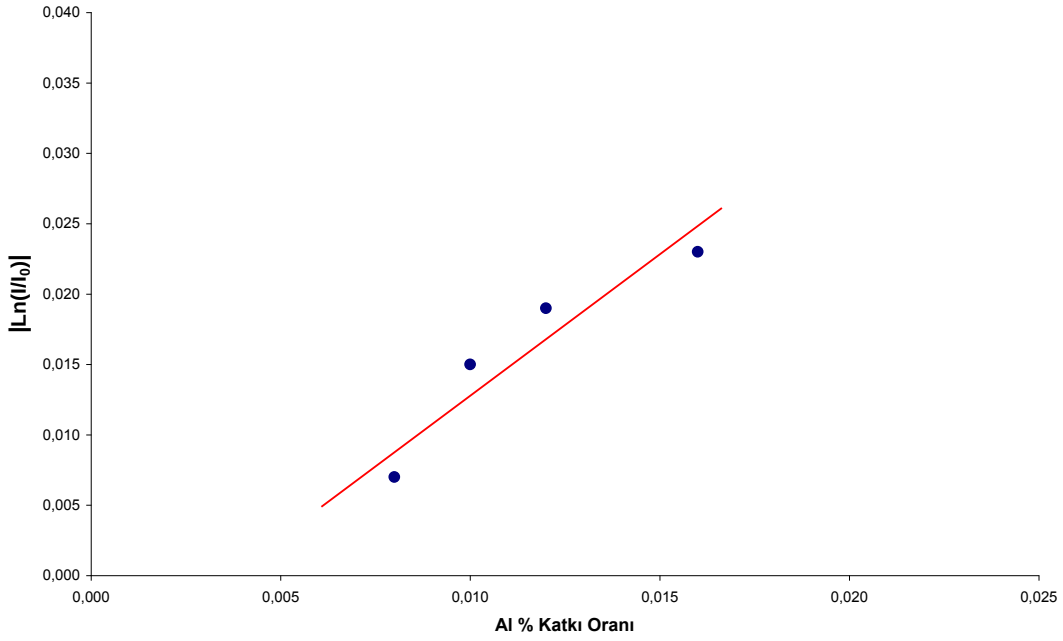
Şekil 6.2 : Grup 2'ya ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre gama geçirgenliği.

Vakum atmosferinde 500°C 'de tavlanmış ve ışınlanmamış ZnO:Al ince filmler Grup 3 olarak isimlendirilmiştir. Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile elde edilen geçirgenlik sonuçları Şekil 6.3'de Al (at.%) konsantrasyonuna bağlı olarak incelenmiştir. Şekil 6.3'de Grup 3'ye ait, Al katkı oranları %0.80-%1.60 arasında değişen ince film örneklerinin, Cs-137 gama radyoizotopu ile yapılan deneylerden elde edilen, gama geçirgenliği - Al % katkı oranı grafiği görülmektedir.



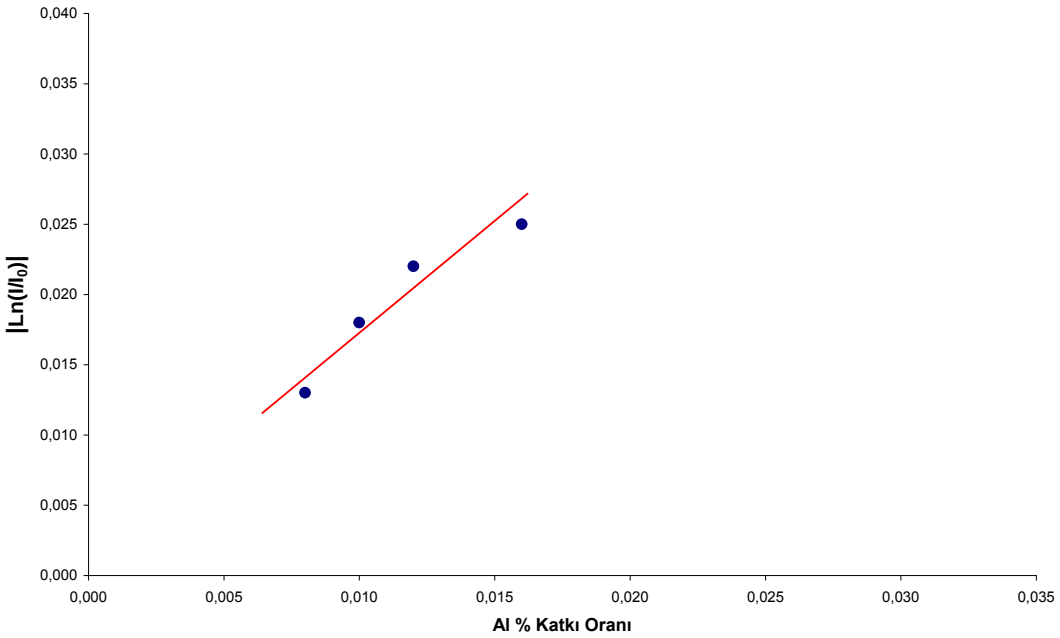
Şekil 6.3 : Grup 3'ye ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre gama geçirgenliği.

Vakum atmosferinde 550°C 'de tavlanmış ve ışınlanmamış ZnO:Al ince filmler Grup 4 olarak isimlendirilmiştir. Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile elde edilen geçirgenlik sonuçları Şekil 6.4'de Al (at.%) konsantrasyonuna bağlı olarak incelenmiştir. Şekil 6.4'de Grup 4'e ait, Al katkı oranları %0.80-%1.60 arasında değişen ince film örneklerinin, Cs-137 gama radyoizotopu ile yapılan deneylerden elde edilen, gama geçirgenliği - Al % katkı oranı grafiği görülmektedir.



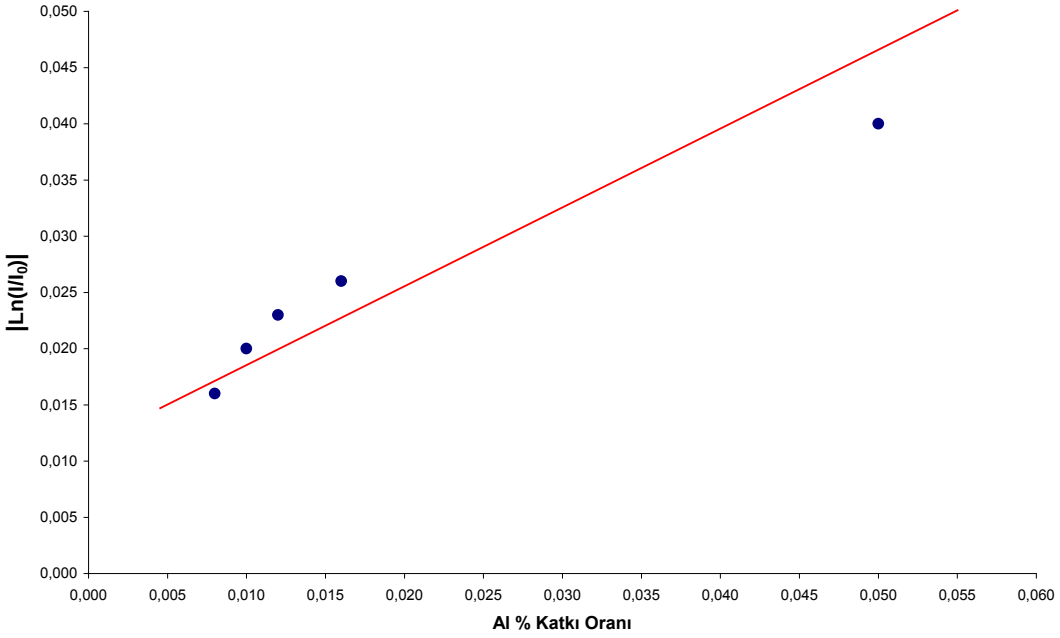
Şekil 6.4 : Grup 4'e ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre gama geçirgenliği.

Vakum atmosferinde 500 °C'de tavlanmış ve Co-60 radyoizotopu ile ışınlanarak 0.2 Gy'lik radyasyon dozu soğuran ZnO:Al ince filmler Grup 5 olarak isimlendirilmiştir. Şekil 6.5'de Grup 5'e ait ışınlanmış, Vakum ortamında 500°C'de tavlanmış, Al katkı oranları 0.80%-1.60% arasında değişen ince film örneklerinin, Cs-137 gama radyoizotopu ile yapılan deneylerden elde edilen, gama geçirgenliği-Al (at.%) katkı oranı grafiği görülmektedir.



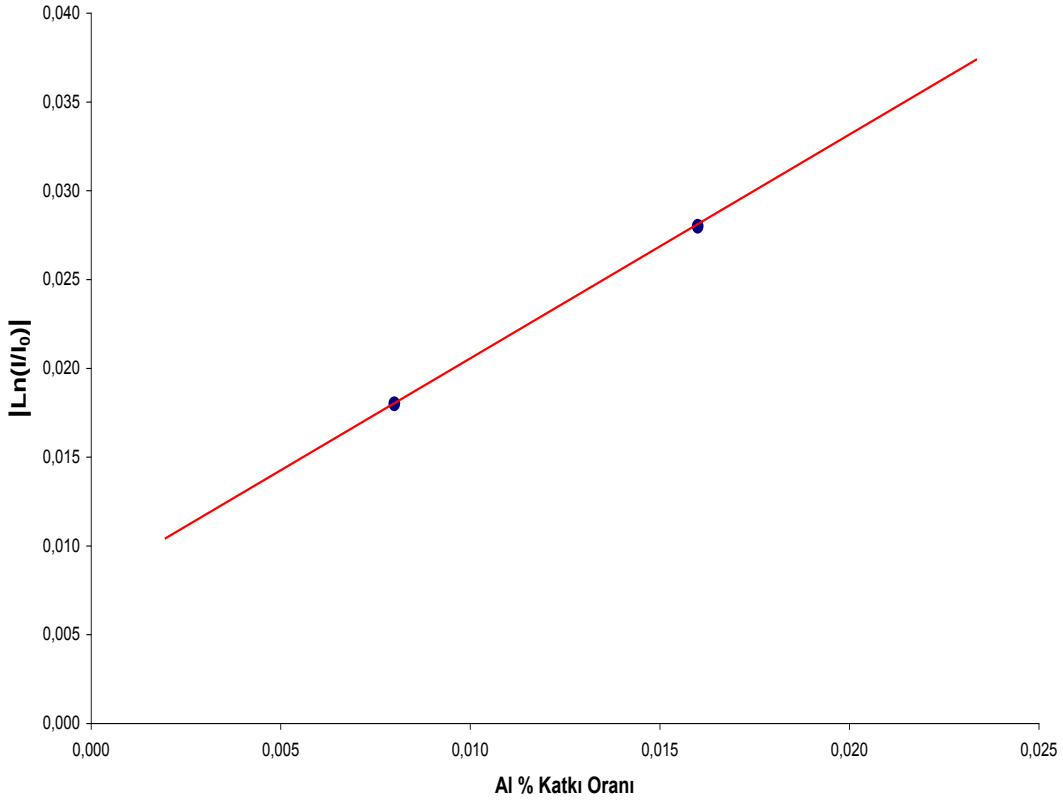
Şekil 6.5 : Grup 5'e ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre gama geçirgenliği.

Vakum atmosferinde 550°C 'de tavlanmış ve Co-60 radyoizotopu ile ışınlanmış ZnO:Al ince filmler Grup 6 olarak isimlendirilmiştir. Şekil 6.6'da Grup 6'ya ait, Al katkı oranları %0.80-%5.00 arasında değişen ince film örneklerinin, Cs-137 gama radyoizotopu ile yapılan deneylerden elde edilen, gama geçirgenliği - Al (at.%) konsantrasyon oranı grafiği görülmektedir.



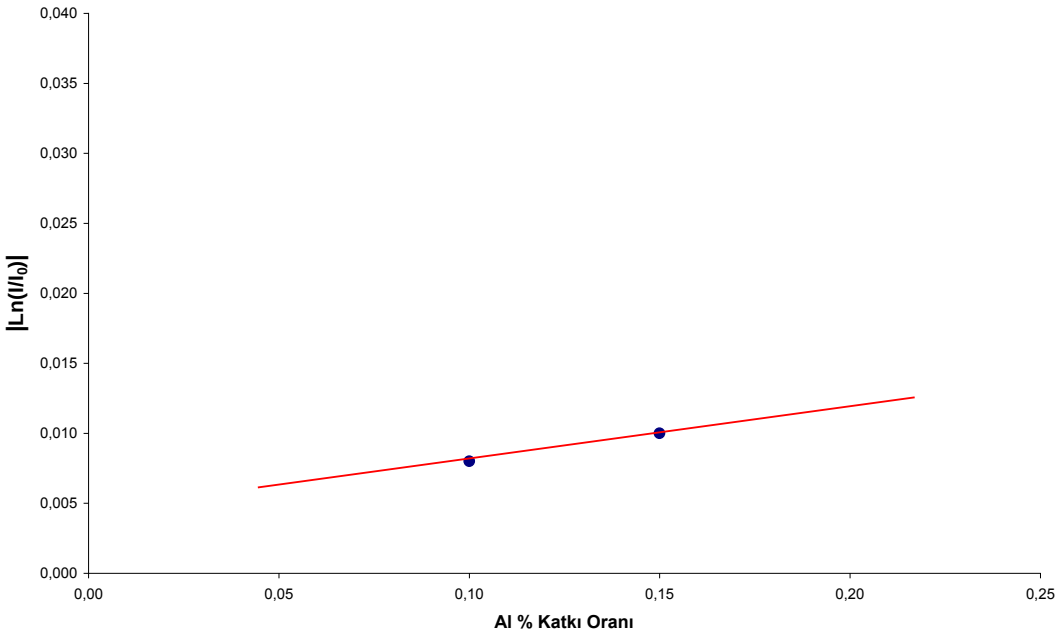
Şekil 6.6 : Grup 6'ya ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre gama geçirgenliği.

Şekil 6.7'de Grup 7 olarak isimlendirilen, vakum atmosferinde 600°C'de tavlanmış ve Co-60 radyoizotopu ile ışınlanmış ince filmlerin, Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile elde edilen gama geçirgenlik sonuçlarının ve Al (at.%) konsantrasyonuna bağlı değişimlerin mukayesesi verilmektedir. Şekil 6.7'de Grup 7'ye ait, Al katkı oranları %0.80 ve %1.60 olan ince film örneklerinin, Cs-137 gama radyoizotopu ile yapılan deneylerden elde edilen, gama geçirgenliği - Al % katkı oranı grafiği görülmektedir.



Şekil 6.7 : Grup 7'ye ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre gama geçirgenliği.

Şekil 6.8'de Grup 8'e ait ışınlanmış, Vakum ortamında 200°C'de tavlanmış, Al katkı oranları %10.00 ve %15.00 olan ince film örneklerinin, Cs-137 gama radyoizotopu ile yapılan deneylerden elde edilen, gama geçirgenliği - Al % katkı oranı grafiği görülmektedir.

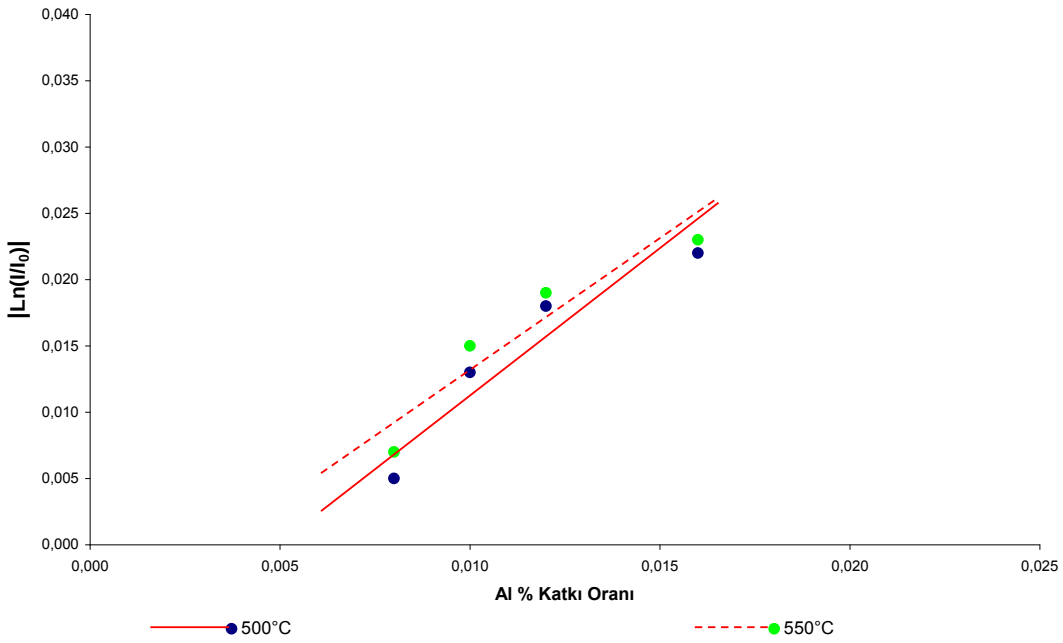


Şekil 6.8 : Grup 8'e ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre gama geçirgenliği.

6.2.2 Tavlama sıcaklığına göre gama zayıflama sonuçlarının incelenmesi

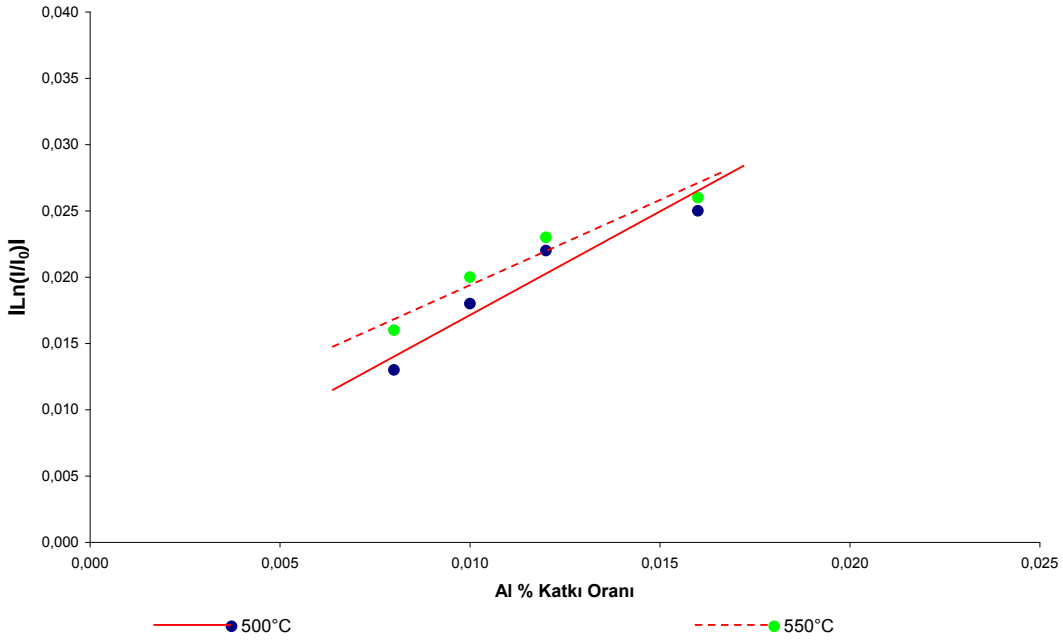
İnce filmlerde nanokristalit ZnO:Al yapının oluşmasını sağlayan tavlama işlemi, farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilebilmektedir. Bu bölümde farklı tavlama sıcaklıklarının, sabit tavlama atmosferleri altında ZnO:Al ince filmlerin gama geçirgenliği üzerinde etkisi, grafiklerle incelenmiştir.

Şekil 6.9'da, vakum atmosferinde 500°C ve 550°C'de tavlanmış ve radyasyona maruz kalmamış ZnO:Al ince filmlerin gama geçirgenliği arz edilmektedir. Grup 3 ve Grup 4'e ait ince filmlerin, Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile elde edilen sonuçlarının gama geçirgenlik değişimleri mukayesesi verilmektedir. Tavlama sıcaklığının, vakum ortamda, 500°C'den 550°C'ye çıkması ile gama ışın geçirgenliğinin azaldığı görülmektedir.



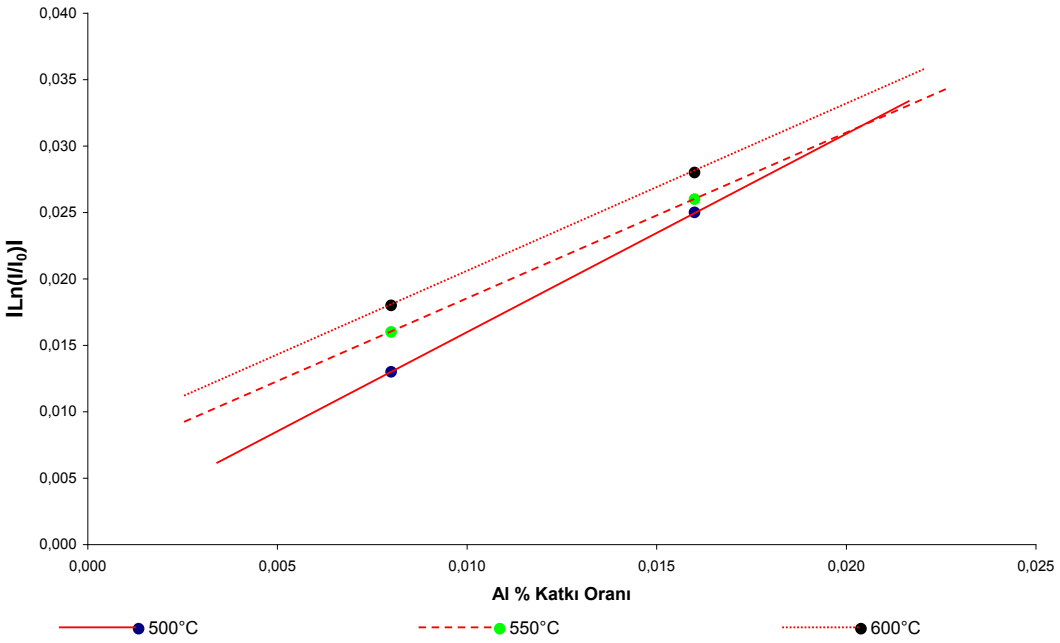
Şekil 6.9 : Grup 3 ve Grup 4'e ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre gama geçirgenliği.

Tavlama sıcaklığının gama geçirgenliği üzerinde etkisini görmek amacı ile Şekil 6.10'da Grup 5 ve Grup 6'ya ait ışınlanmış, Vakum ortamında sırası ile 500°C-550°C'de tavlanmış, Al katkı oranları %0.80-%1.60 arasında değişen ince film örneklerinin, Cs-137 gama radyoizotopu ile yapılan deneylerden elde edilen, gama geçirgenliği - Al % katkı oranı grafiği gösterilmiştir.



Şekil 6.10 : Grup 5 ve Grup 6'ya ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre gama geçirgenliği.

Şekil 6.11'da vakum atmosferinde 500, 550 ve 600°C'de tavlanmış ve daha sonra ışınlanmış ZnO:Al ince filmlerin gama geçirgenliği arz edilmektedir. Tavlama sıcaklığına göre sırası ile Grup 5, Grup 6 ve Grup 7'e ait ince filmlerin, Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile elde edilen sonuçlarının gama geçirgenlikleri ve Al (at.%) konsantrasyonuna bağlı değişimlerin mukayesesi verilmektedir. Tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı olarak, ZnO:Al ince filmin gama geçirgenliğinde azalma olduğu görülmektedir.

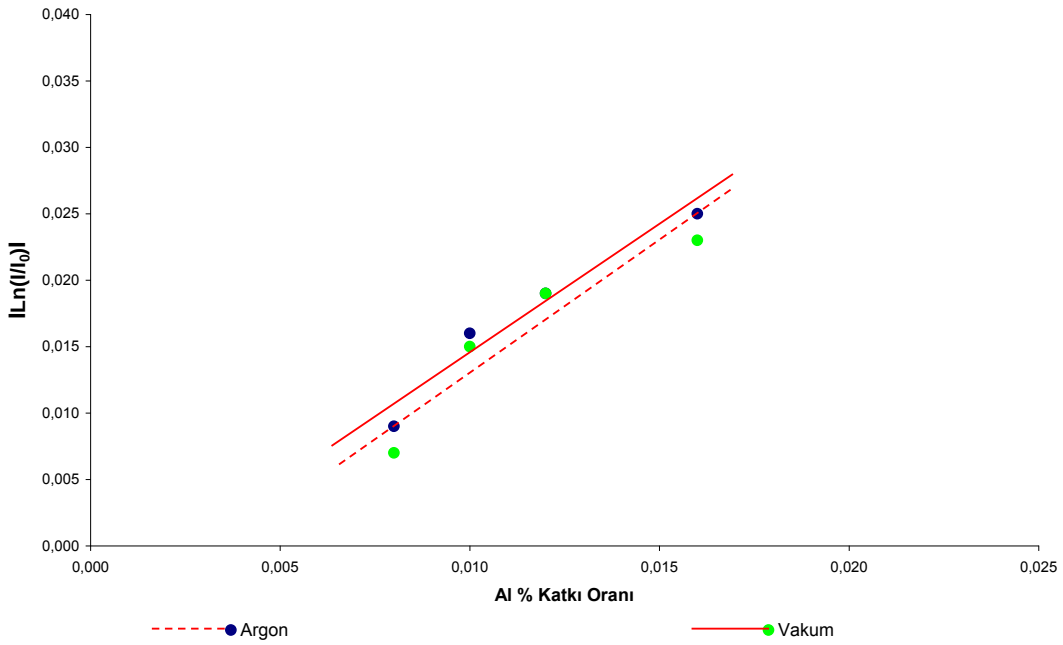


Şekil 6.11 : Grup 5, Grup 6 ve Grup 7'e ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre gama geçirgenliği.

6.2.3 Tavlama atmosferine göre gama zayıflama sonuçlarının incelenmesi

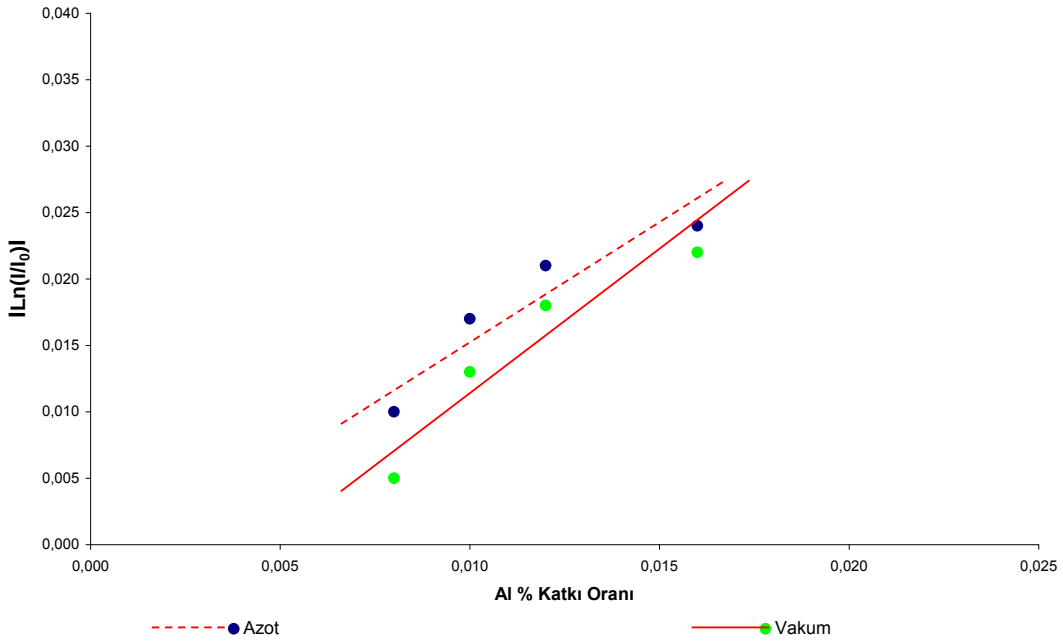
Deneylerde kullanılan ZnO:Al ince filmler, Azot, Argon ve Vakum atmosferlerinde tavlanmışlardır. Bu bölümde, sabit tavlama sıcaklıkları altında, tavlama atmosfer değişikliğinin gama geçirgenliğini ne yönde değiştirdiği incelenmiştir.

Tavlama atmosferinin gama geçirgenliği üzerinde etkisini görmek amacı ile Şekil 6.12'de Grup 1 ve Grup 4'e ait ışınlanmamış, sırası ile Argon ve Vakum ortamında 550°C'de tavlanmış, Al katkı oranları %0.80-%1.60 arasında değişen ince film örneklerinin, Cs-137 gama radyoizotopu ile yapılan deneylerden elde edilen, gama geçirgenliği - Al (%.at) konsantrasyonu grafiği gösterilmiştir.



Şekil 6.12 : Grup 1 ve Grup 4'e ait ince filmlerin gama geçirgenliği - Al % katkı oranı grafiği.

Tavlama atmosferinin gama geçirgenliği üzerinde etkisini görmek amacı ile Şekil 6.13'de Grup 2 ve Grup 3'e ait ışınlanmamış, sırası ile Azot ve Vakum ortamında 500°C'de tavlanmış, Al katkı oranları %0.80-%1.60 arasında değişen ince film örneklerinin, Cs-137 gama radyoizotopu ile yapılan deneylerden elde edilen, gama geçirgenliği- Al (%.at) konsantrasyonu grafiği gösterilmiştir.

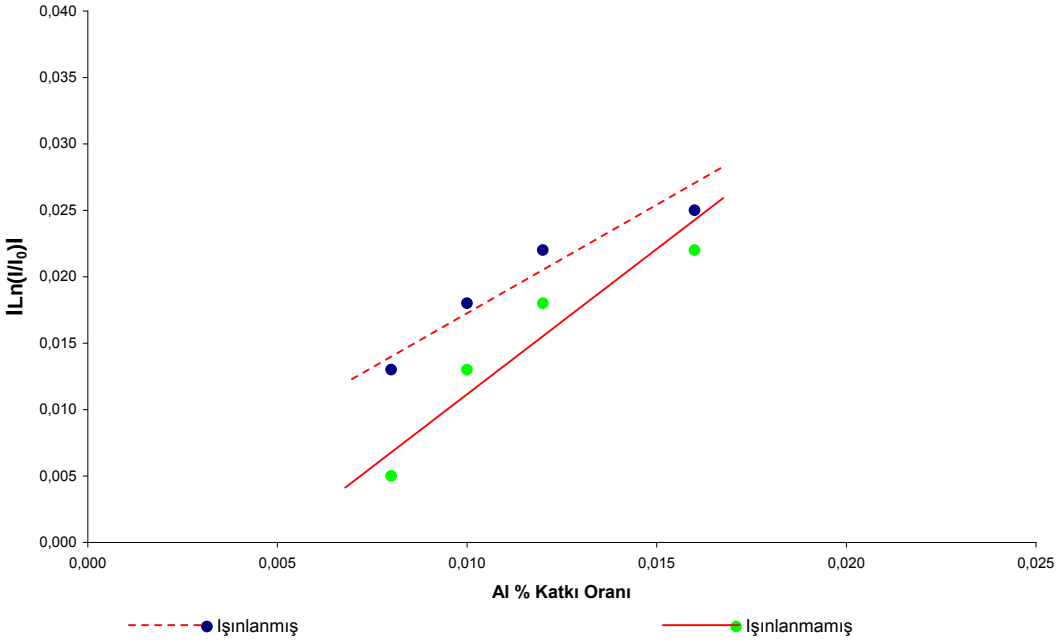


Şekil 6.13 : Grup 2 ve Grup 3'e ait ince filmlerin gama geçirgenliği - Al % katkı oranı grafiği.

6.2.4 Işınlanma durumuna göre gama zayıflama sonuçlarının incelenmesi

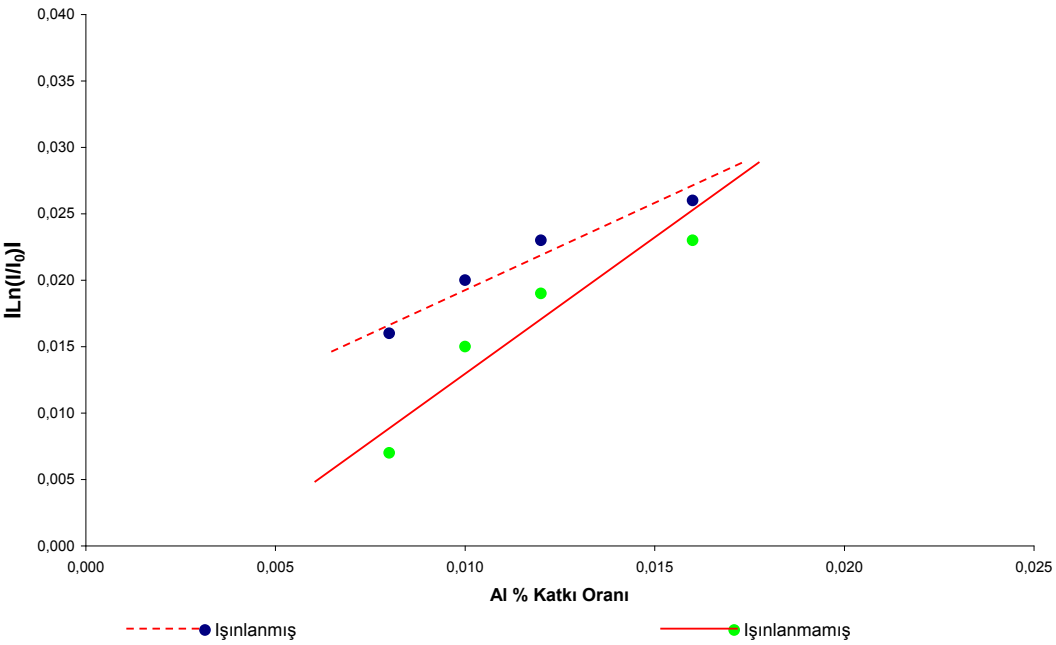
Bu bölümde Co-60 gama radyoizotop kaynağı ile ışınlanmış ve bunun neticesinde 0,2 Gy doz radyasyona maruz kalan ZnO:Al ince filmlerin, sabit tavlama sıcaklığı ve atmosferi altında, ışınlamanın gama geçirgenliğine etkisi incelenmiştir.

İnce filmleri radyasyonla belli bir süre ışınlamanın gama geçirgenliği üzerinde etkisini görmek amacı ile Şekil 6.14'de Grup 3 ve Grup 5'e ait, Vakumda 500°C'de tavlanmış, sırası ile ışınlanmamış ve ışınlanmış, Al katkı oranları %0.80-%1.60 arasında değişen ince film örneklerinin, Cs-137 gama radyoizotopu ile yapılan deneylerden elde edilen, gama geçirgenliği - Al (%.at) konsantrasyonu grafiği gösterilmiştir.



Şekil 6.14 : Grup 3 ve Grup 5'e ait ince filmlerin gama geçirgenliği - Al % katkı oranı grafiği.

Sabit tavlama sıcaklığı ve atmosferi altında, ince filmleri radyasyonla belli bir süre ışınlamanın gama geçirgenliği üzerinde etkisini görmek amacı ile Şekil 6.15'de Grup 4 ve Grup 6'ya ait, Vakumda 550°C'de tavlanmış, sırası ile ışınlanmamış ve ışınlanmış, Al (%.at) konsantrasyonu %0.80-%1.60 arasında değişen ince film örneklerinin, Cs-137 gama radyoizotopu ile yapılan deneylerden elde edilen, gama geçirgenliği - Al (%.at) konsantrasyonu grafiği gösterilmiştir.



Şekil 6.15 : Grup 4 ve Grup 6'ya ait ince filmlerin gama geçirgenliği – Al (%.at) konsantrasyonu grafiği.

6.3 Gama Zayıflama Sonuçlarından Elde Edilen Çizgisel Soğurma Katsayıları

Denklem 2.11'den elde edilen çizgisel soğurma katsayısı değerlerine ilişkin sonuçlar Tablo 6.3'de ve Tablo 6.4'de arz edilmektedir. Grup 1'den Grup 4'e kadar çeşitli üretim şartlarında hazırlanan ZnO:Al ince filmlerin, çizgisel soğurma katsayılarında meydana gelen değişimler Tablo 6.3'de arz edilmektedir. Çeşitli üretim parametrelerine göre hazırlanan filmlerin, Co-60 radyoizotopu ile 0.2 Gy doz ışınlandıktan sonra çizgisel soğurma katsayılarında meydana gelen değişimler Tablo 6.4'da gösterilmektedir.

Tablo 6.3'de ışınlanmamış Al katkılı ZnO ince film örneklerine ait, Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile elde edilen deney sonuçlarına göre Denklem 2.11 yardımıyla hesaplanmış çizgisel soğurma katsayıları görülmektedir.

Tablo 6.3 : Işınlanmamış Al katkılı ZnO ince filmlerin çizgisel soğurma katsayıları.

Grup No	Film No	Al Katkı Oranı	Atmosfer Tipi	Tavlama Sıcaklığı	μ (1/mm)
Grup 1 Işınlanmamış	1	0,80%	Argon	550 °C	236
	2	1,00%			399
	3	1,20%			487
	4	1,60%			623
Grup 2 Işınlanmamış	1	0,80%	Azot	500 °C	256
	2	1,00%			418
	3	1,20%			526
	4	1,60%			599
Grup 3 Işınlanmamış	1	0,80%	Vakum	500 °C	130
	2	1,00%			316
	3	1,20%			449
	4	1,60%			542
Grup 4 Işınlanmamış	1	0,80%	Vakum	550 °C	176
	2	1,00%			367
	3	1,20%			463
	4	1,60%			572

Tablo 6.4'de ışınlanmış Al katkılı ZnO ince film örneklerine ait, Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile elde edilen deney sonuçlarına göre Denklem 2.11 yardımıyla hesap edilmiş çizgisel soğurma katsayıları görülmektedir.

Tablo 6.4 : Işınlanmış Al katkılı ZnO ince filmlerin çizgisel soğurma katsayıları.

Grup No	Film No	Al Katkı Oranı	Atmosfer Tipi	Tavlama Sıcaklığı	μ (1/mm)
Grup 5 Işınlanmış	1	0,80%	Vakum	500 °C	319
	2	1,00%			439
	3	1,20%			553
	4	1,60%			624
Grup 6 Işınlanmış	1	0,80%	Vakum	550 °C	391
	2	1,00%			500
	3	1,20%			570
	4	1,60%			642
	5	5,00%			999
Grup 7 Işınlanmış	1	0,80%	Vakum	600 °C	450
	2	1,60%			694
Grup 8 Işınlanmış	1	10,00%	Vakum	200 °C	196
	2	15,00%			251

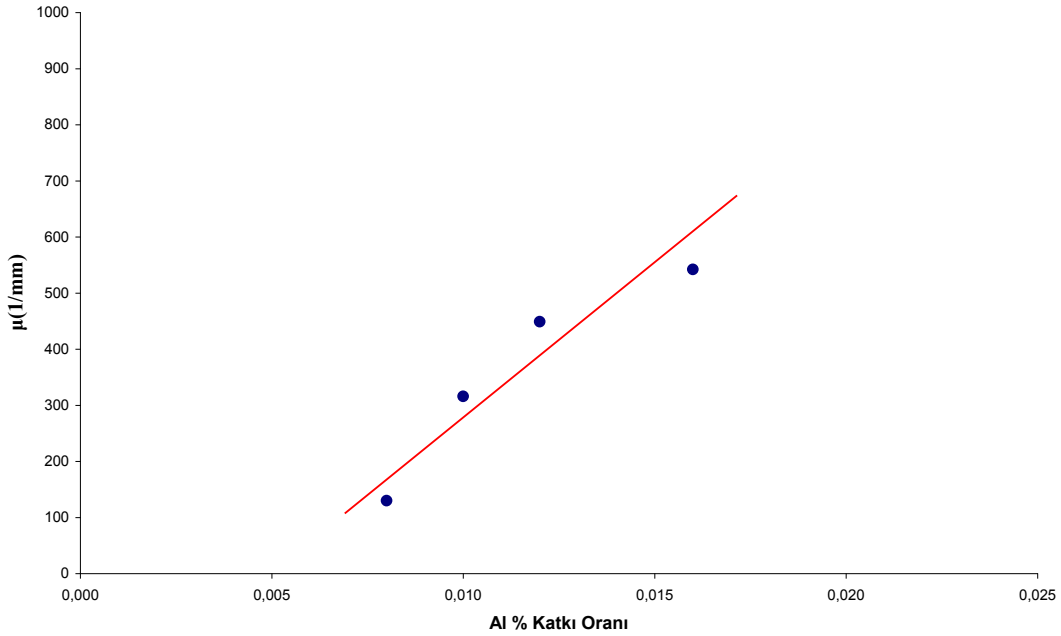
6.4 Film Üretim Parametrelerine Göre Çizgisel Soğurma Katsayılarının İncelenmesi

Bölüm 6.3'de verilen Tablo 6.3 ve Tablo 6.4 kullanılarak, bu bölümde farklı üretim parametreleri altında üretilmiş ZnO:Al ince filmlerin, çizgisel soğurma katsayıları farklı ince film üretim kriterlerine bağlı olarak grafiksel olarak mukayese edilmiştir.

6.4.1 Al katkılama oranına göre çizgisel soğurma katsayılarının incelenmesi

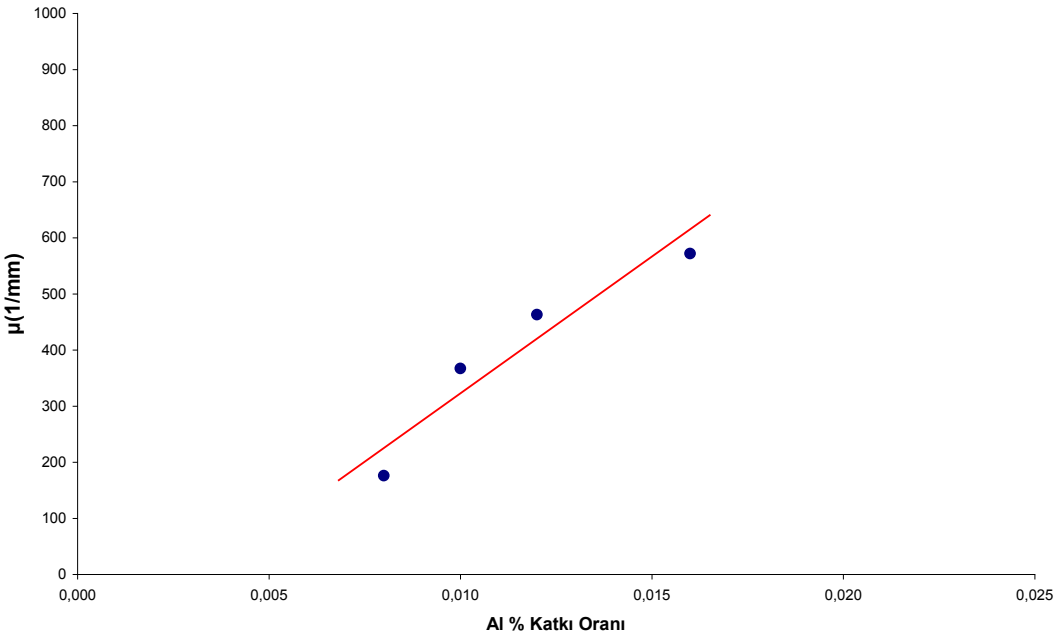
Bu bölümde ZnO:Al ince filmlerde, Al katkı oranındaki artışın, çizgisel soğurma katsayıları üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Şekil 6.16'da Grup 3'e ait ışınlanmamış, Vakum ortamında 500°C'de tavlanmış, Al katkı oranları %0.80-%1.60 arasında değişen ince film örneklerinin, Cs-137 gama radyoizotopu ile yapılan deneylerden elde edilen, çizgisel soğurma katsayıları - Al (%.at) konsantrasyonu grafiği gösterilmiştir.



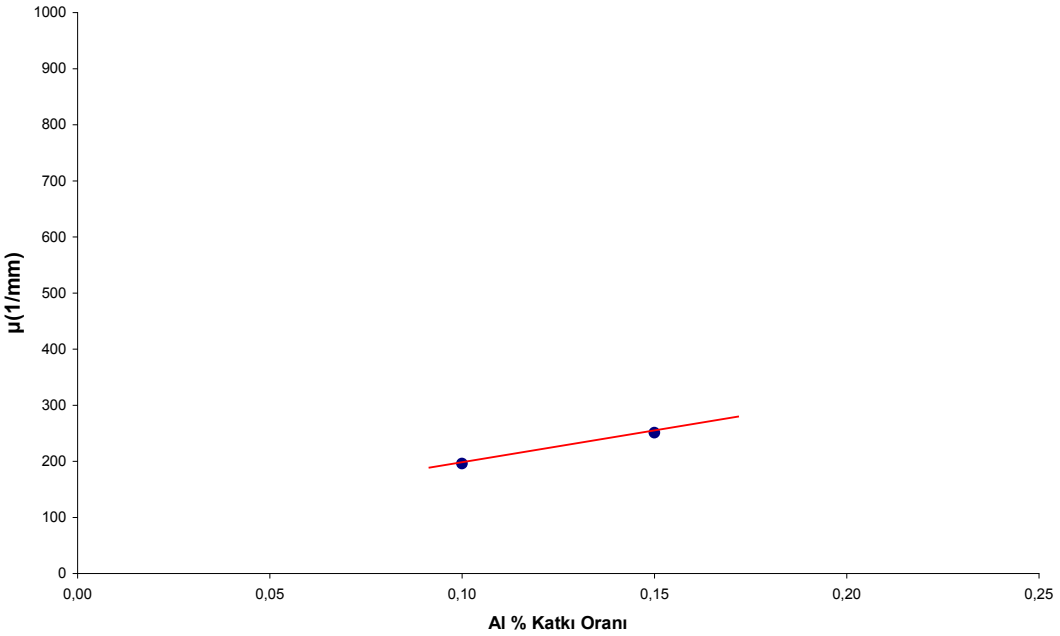
Şekil 6.16 : Grup 3'e ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre çizgisel soğurma katsayıları.

Al katkılama oranlarının çizgisel soğurma katsayıları üzerinde etkisini görmek amacı ile Şekil 6.17'de Grup 4'e ait ışınlanmamış, Vakum ortamında 550°C'de tavlanmış, Al katkı oranları %0.80-%1.60 arasında değişen ince film örneklerinin, Cs-137 gama radyoizotopu ile yapılan deneylerden elde edilen, çizgisel soğurma katsayıları - Al (%.at) konsantrasyonu grafiği gösterilmiştir.



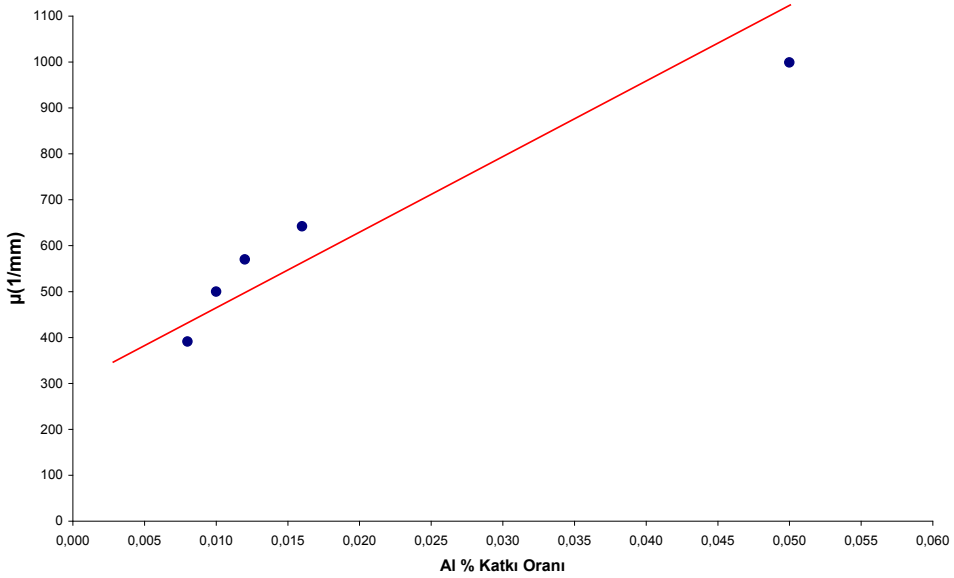
Şekil 6.17 : Grup 4'e ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre çizgisel soğurma katsayıları.

Şekil 6.18'de Vakum atmosferinde 200°C'de tavlanmış ve ışınlanmış, %10.00 ve %15.00 oranında Al ile katkılanmış, Grup 8'e ait ince filmlerin, Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile elde edilen soğurma katsayılarının, Al (%.at) konsantrasyonu grafiği verilmiştir.



Şekil 6.18 : Grup 8'e ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre çizgisel soğurma katsayıları.

Işınlanma durumu, tavlama sıcaklığı ve atmosferi sabit kalacak şekilde, Şekil 6.19'da Vakum atmosferinde 550°C'de tavlanmış ve ışınlanmış, Al katkı oranları sırası ile %0.80, %1.00, %1.20, %1.60 ve %5.00 olan, Grup 6'ya ait ince filmlerin, Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile elde edilen soğurma katsayılarının, Al % katkı oranı ile grafiği verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi Al katkı oranının artışı (özellikle katkılama oranı %1.60'dan %5.00'e değişimi çok ani olmaktadır.) ince filmlere ait çizgisel soğurma katsayılarının da artmasına neden olmuştur.

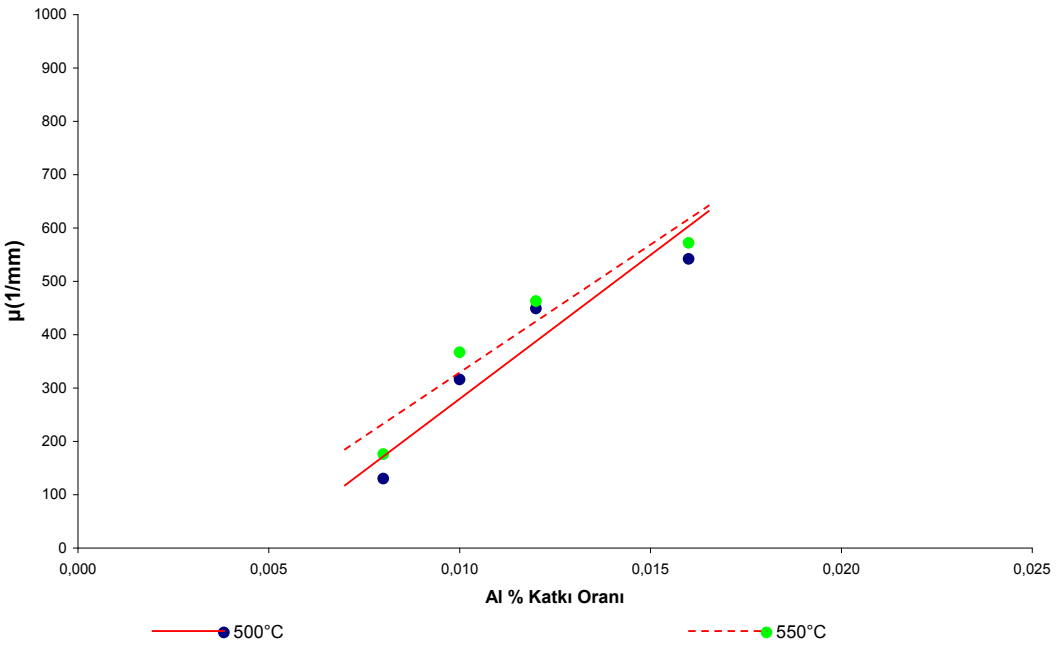


Şekil 6.19 : Grup 6'ya ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre çizgisel soğurma katsayıları.

6.4.2 Tavlama sıcaklığına göre çizgisel soğurma katsayılarının incelenmesi

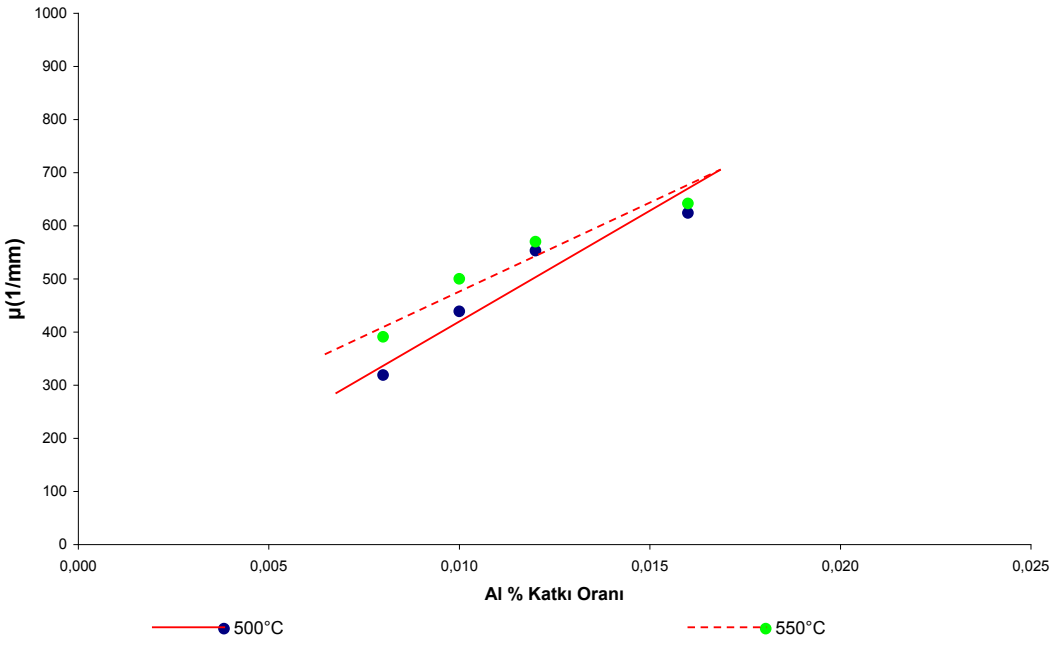
İnce filmlerde nanokristalit ZnO:Al yapının oluşmasını sağlayan tavlama işlemi, farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilebilmektedir. Bu bölümde farklı tavlama sıcaklıklarının, sabit tavlama atmosferleri altında ZnO:Al ince filmlerin çizgisel soğurma katsayıları üzerinde etkisi, grafiklerle incelenmiştir.

Şekil 6.20'de, vakum atmosferinde 500°C ve 550°C'de tavlanmış ve radyasyona maruz kalmamış ZnO:Al ince filmlerin çizgisel soğurma katsayıları arz edilmektedir. Tavlama sıcaklıklarına göre sırası ile Grup 3 ve Grup 4'e ait ince filmlerin, Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile elde edilen sonuçlarının çizgisel soğurma katsayı değişimleri mukayesesi verilmektedir. Tavlama sıcaklığının, Vakum ortamında, 500°C'den 550°C'ye artması ile çizgisel soğurma katsayılarını arttırdığı görülmektedir.



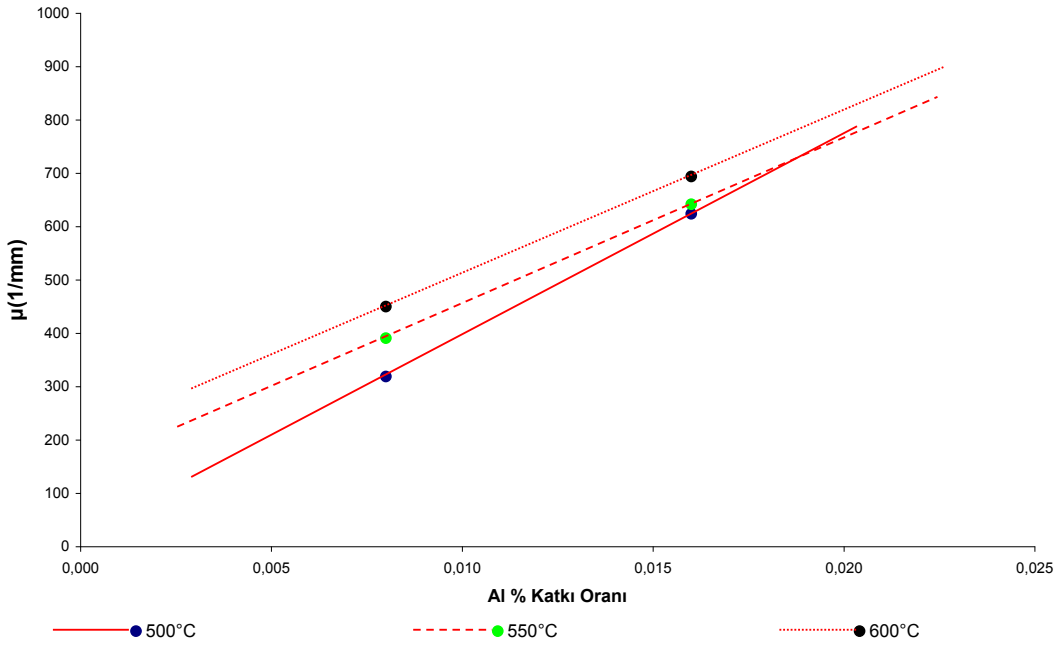
Şekil 6.20 : Grup 3 ve Grup 4'e ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre çizgisel soğurma katsayıları.

Tavlama sıcaklığının gama geçirgenliği üzerinde etkisini görmek amacı ile Şekil 6.21'de Grup 5 ve Grup 6'ya ait ışınlanmış, Vakum ortamında sırası ile 500°C ve 550°C'de tavlanmış, Al katkı oranları %0.80-%1.60 arasında değişen ince film örneklerinin, Cs-137 gama radyoizotopu ile yapılan deneylerden elde edilen, çizgisel soğurma katsayıları - Al (%.at) konsantrasyonu grafiği gösterilmiştir.



Şekil 6.21 : Grup 5 ve Grup 6'ya ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre çizgisel soğurma katsayıları.

Şekil 6.22'de vakum atmosferinde sırası ile 500, 550 ve 600°C'de tavlanmış ve daha sonra ışınlanmış, ZnO:Al ince filmlerin çizgisel soğurma katsayıları arz edilmektedir. Tavlama sıcaklıklarına göre sırası ile Grup 5, Grup 6 ve Grup 7'ye ait ince filmlerin, Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile elde edilen sonuçlarının çizgisel soğurma katsayıları ve Al (at.%) konsantrasyonuna bağlı değişimlerin mukayesesi verilmektedir. Tavlama sıcaklığındaki artışa bağlı olarak, ZnO:Al ince filmlerin çizgisel soğurma katsayılarında artma olduğu görülmektedir.

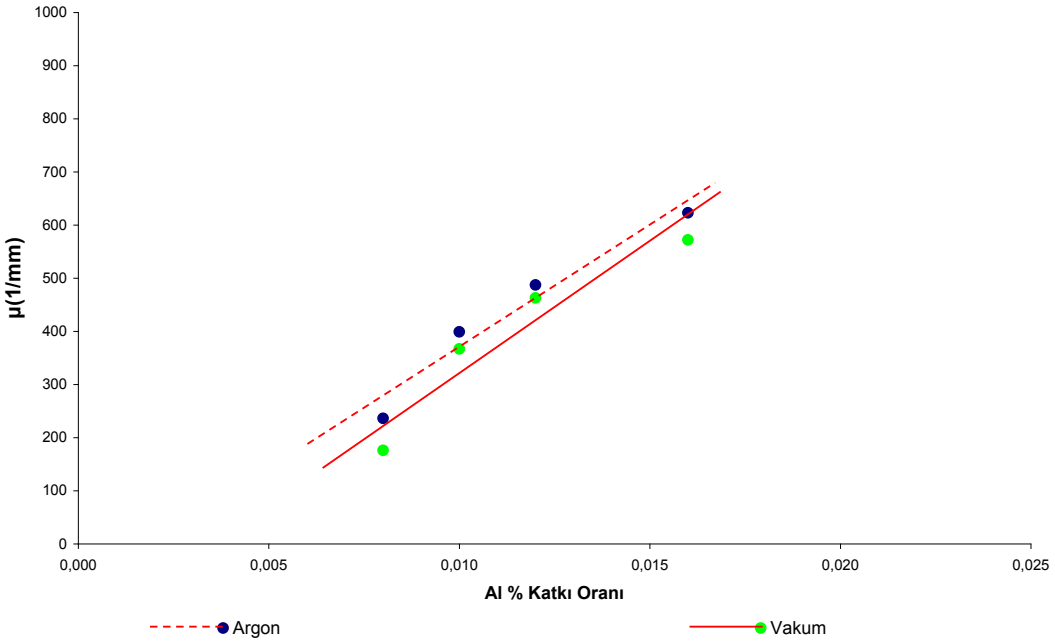


Şekil 6.22 : Grup 5, Grup 6 ve Grup 7'ye ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre çizgisel soğurma katsayıları.

6.4.3 Tavlama atmosferine göre çizgisel soğurma katsayılarının incelenmesi

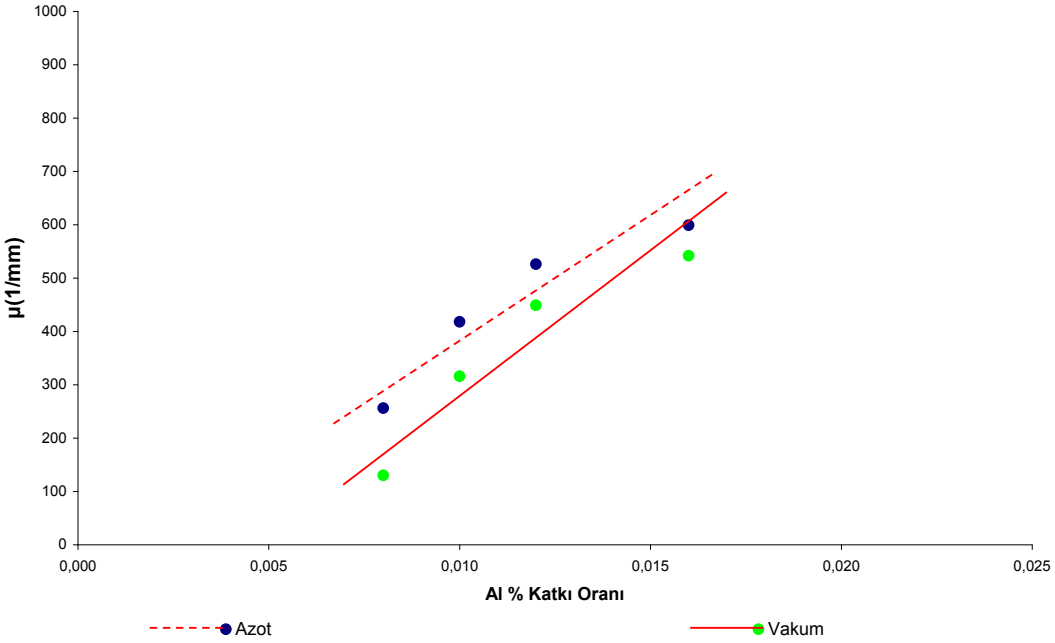
Bu bölümde sabit tavlama sıcaklığı altında, tavlama atmosfer değişiminin çizgisel soğurma katsayıları üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Tavlama atmosferinin çizgisel soğurma katsayıları üzerinde etkisini görmek amacı ile Şekil 6.23'de Grup 1 ve Grup 4'e ait ışınlanmamış, sırası ile Argon ve Vakum ortamında 550°C'de tavlanmış, Al katkı oranları %0.80-%1.60 arasında değişen ince film örneklerinin, Cs-137 gama radyoizotopu ile yapılan deneylerden elde edilen, çizgisel soğurma katsayıları - Al (%.at) konsantrasyonu grafiği gösterilmiştir.



Şekil 6.23 : Grup 1 ve Grup 4'e ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre çizgisel soğurma katsayıları.

Tavlama atmosferinin çizgisel soğurma katsayıları üzerinde etkisini görmek amacı ile Şekil 6.24'de Grup 2 ve Grup 3'e ait ışınlanmamış, sırası ile Azot ve Vakum ortamında 500°C'de tavlanmış, Al katkı oranları %0.80-%1.60 arasında değişen ince film örneklerinin, Cs-137 gama radyoizotopu ile yapılan deneylerden elde edilen, çizgisel soğurma katsayıları - Al (%.at) konsantrasyonu grafiği gösterilmiştir.

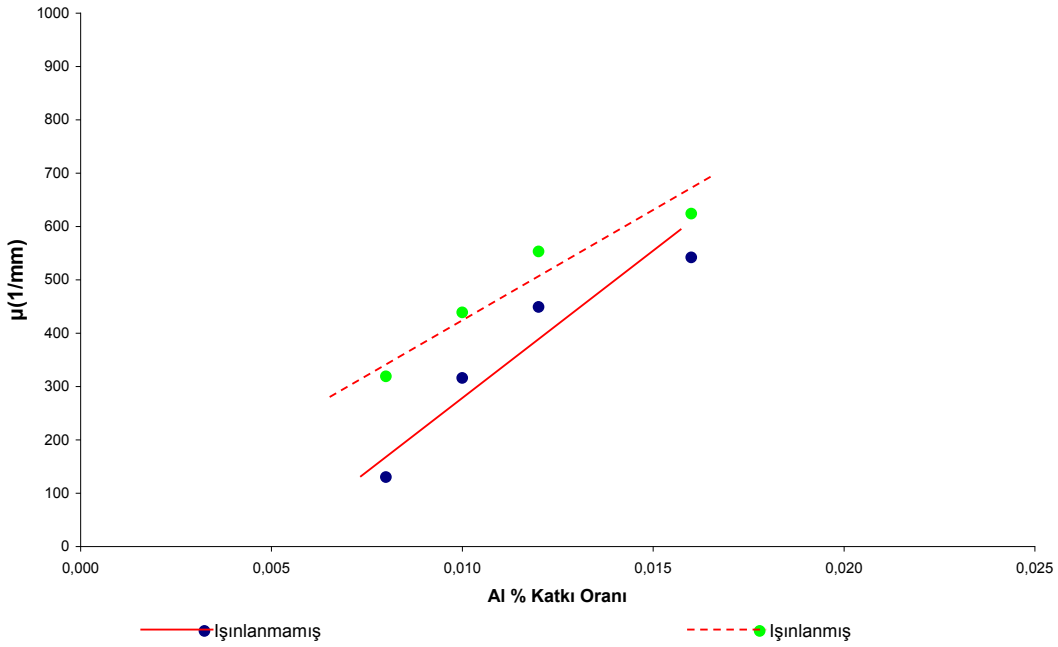


Şekil 6.24 : Grup 2 ve Grup 3'e ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre çizgisel soğurma katsayıları.

6.4.4 Işınlanma durumuna göre çizgisel soğurma katsayılarının incelenmesi

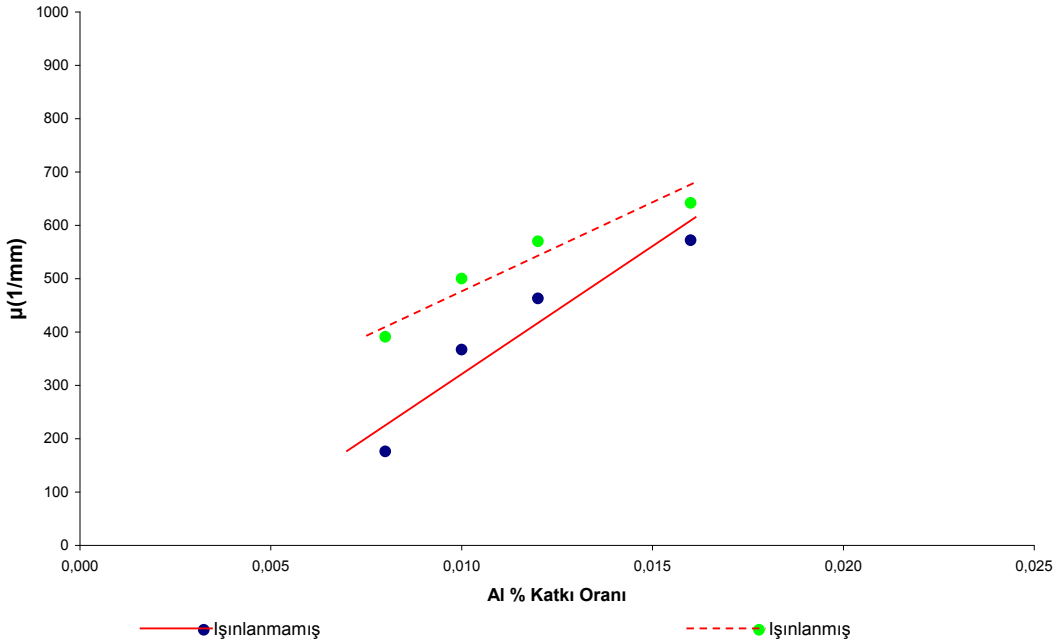
Bu bölümde Co-60 gama radyoizotop kaynağı ile ışınlanmış ve bunun neticesinde 0,2 Gy doz radyasyona maruz kalan ZnO:Al ince filmlerin, sabit tavlama sıcaklığı ve atmosferi altında, çizgisel soğurma katsayılarına etkisi incelenmiştir.

İnce filmleri radyasyonla belli bir süre ışınlamanın gama geçirgenliği üzerinde etkisini görmek amacı ile Şekil 6.25'de Grup 3 ve Grup 5'e ait, Vakumda 500°C'de tavlanmış, sırası ile ışınlanmamış ve ışınlanmış, Al katkı oranları %0.80-%1.60 arasında değişen ince film örneklerinin, Cs-137 gama radyoizotopu ile yapılan deneylerden elde edilen, çizgisel soğurma katsayıları - Al (%.at) konsantrasyonu grafiği gösterilmiştir.



Şekil 6.25 : Grup 3 ve Grup 5'e ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre çizgisel soğurma katsayıları.

İnce filmleri radyasyonla belli bir süre ışınlamanın gama geçirgenliği üzerinde etkisini görmek amacı ile Şekil 6.26'da Grup 4 ve Grup 6'ya ait, Vakumda 550°C'de tavlanmış, sırası ile ışınlanmamış ve ışınlanmış, Al katkı oranları %0.80-%1.60 arasında değişen ince film örneklerinin, Cs-137 gama radyoizotopu ile yapılan deneylerden elde edilen, çizgisel soğurma katsayıları - Al (%.at) konsantrasyonu grafiği gösterilmiştir.



Şekil 6.26 : Grup 4 ve Grup 6'ya ait ZnO:Al ince filmlerin Al (at. %)'ye göre çizgisel soğurma katsayıları.

7. SONUÇ VE TARTIŞMA

Elektronik düzeneklerde ve telekomünikasyon teknolojisinde, yüzey özelliklerinin hassas bir şekilde kontrol edilebildiği, geçirgen iletken ince filmlerin kullanıldığı sistemlerin ve elektronik düzeneklerin, elektromanyetik radyasyondan korunumu, önem taşıyan konulardan biridir. Çeşitli elektromanyetik radyasyon kaynakları tarafından yayınlanan şiddetli elektromanyetik radyasyondan, çeşitli elektronik görüntüleme sistemlerinin korunması askeri ve ticari sahalardaki uygulamalarda ilgi çeken bir konudur. Elektromanyetik radyasyon alanları, çeşitli pencere düzeneklerinde iletken geçirgen malzemelerin kullanıldığı zırhlamaları gerektirebilmektedir.

Bu Yüksek Lisans Tezi kapsamında, elektromanyetik radyasyonu zırhlayabilen ve iletken geçirgen bir ince film olarak, ZnO:Al'nin fonksiyonel bir malzeme olarak önem taşıyabileceği tespit edilmiştir. Bu amaçlarla ZnO:Al ince filmlerin daha yüksek kalitede üretilip, hayata geçirilmesine bu Yüksek Lisans Tezinin katkı sağlaması mümkündür.

Al katkılı ZnO ince filmlerin mekanik ve elektriksel özelliklerini arttırmak amacı ile yapıya uygulanan radyasyon dozu, ZnO:Al ince filmin gama ışını soğurma katsayısı μ(1/mm)'yi etkileyerek, gama ışını geçirgenliğini azaltmaktadır. Co-60 radyoizotopu ile ışınlanan ZnO:Al yapının soğurduğu, 0.2 Gy'lik radyasyon dozu, nanokristalitlerden oluşan ince film yapısında nanokristalit boşlukların küçülmesine neden olmuş, Cs-137 radyoizotopu tarafından yayınlanan 0.662 MeV enerjili gama ışınlarının geçirgenliğini azaltmıştır.

Bu yüksek lisans tezi kapsamındaki, deneyler sırasında Sol-Gel daldırarak kaplama yöntemi ile soda kireç silika camların üzerine kaplanan Al katkılı ZnO ince filmler kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan örnekler, ince film üretim parametreleri olan Al katkı oranları, üretim sonrası ışınlama durumu, tavlama atmosferi ve sıcaklığı gibi büyüklerin değişimlerinin gama geçirgenliği üzerindeki etkisini incelemek amacı ile

belli bir örnek grubundan seçilmiştir. Bu seçim sırasında tümevarım yöntemi kullanılmıştır. Nano malzeme üretim yöntemlerinden olan sol-gel tekniği ile üretilen, Al katkılı iletken geçirgen ZnO nanokristalitlerden oluşan ince filmlerin gama geçirgenliğinin belirlenmesi, Cs-137 radyoizotopu kullanılarak tespit edilmiştir.

Al katkılı ZnO ince filmlerin üretimi aşamasında, Al katkı oranı, tavlama atmosferi ve tavlama sıcaklığı gibi üretim parametreleri, ve radyasyona maruz kalma durumuna bağlı olarak, ZnO:Al ince filmlerin gama ışını geçirgenliği ve filmin gama ışını soğurma katsayısı, μ (1/mm) etkilenebilmektedir. Bu ince filmlerin farklılıkları, başta Al katkı oranları olmak üzere, bir kısmının Co-60 radyoizotop kaynağı ile 0.2 Gy'lik radyasyon dozuna maruz kalmaları, üç farklı tavlama atmosferinde (Vakum, Azot ve Argon) üretilmeleri ve farklı tavlama sıcaklıklarına maruz kalmaları şeklinde özetlenebilir. Ayrıca, deneylerde Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile elde edilen sonuçlar tavlama sıcaklığı, tavlama atmosfer tipi, radyasyona maruz kalıp kalmama durumu ve Al katkı oranları gibi kategorilere göre gruplara ayrılmış bütün ince film örnekleri için, gama geçirgenliği ve gama ışınlarına ilişkin soğurma katsayısı, μ (1/mm), Al (%.at) konsantrasyonundaki değişime göre belirlenmiştir.

ZnO:Al ince film yapısındaki, Al (at.%) konsantrasyonundaki artış, gama ışını soğurma katsayısının artışına bağlı olarak, μ(1/mm), yapının gama ışını geçirgenliğini azaltmaktadır. En yüksek gama geçirgenliğini ışınlanmamış vakum atmosferinde tavlanmış ince filmler oluşturmaktadır. Azot atmosferinde tavlanmış filmlerin gama geçirgenliği vakum ortamda tavlanan ZnO:Al ince filmlere göre daha azdır. Ayrıca Argon ortamında tavlanan ince film örneklerinin vakum ortamda tavlananlara göre daha az gama geçirgenliğine sahip olduğu görülmektedir.

Al katkılı ZnO ince filmlerde, tavlama sıcaklığının artması gama geçirgenliğini azaltmaktadır. Co-60 radyoizotopu ile ışınlanan Al katkılı ZnO ince filmlerin tavlama sıcaklığının artması, ZnO:Al ince filmin gama ışını soğurma katsayısı μ(1/mm)'yi etkileyerek, ince filmlere ait gama ışını geçirgenliklerini düşürmüştür.

Gama transmisyon tekniği ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre, Sol-Gel metodu olan daldırarak kaplama yöntemi ile üretilmiş Al katkılı ZnO nanokristalit yapıdaki ince filmlerin gama geçirgenliklerinin, üretim parametreleri olan tavlama sıcaklığı ve Al katkı oranlarının artması ile azalma eğiliminde olduğu

görülmüştür. Ayrıca Vakum atmosferinde tavlanan ince filmler, Argon ve Azot ile tavlanan aynı özelliklerdeki ince filmlere göre daha fazla gama geçirgenliğine sahiptirler. İnce filmlerin mekanik ve elektriksel özelliklerini geliştirmek amacı ile yapılan radyasyon ile ışınlama prosesi, ZnO:Al ince filmin ZnO:Al yapının gama ışını soğurma katsayısı μ(1/mm)'yi artırarak, gama geçirgenliğini azaltmaktadır.

KAYNAKLAR

Baltacıoğlu, N., 1995: Gama Geçirgenliği ile Yoğunluk Tayini, Yükseklisans Tezi, İ.T.Ü., Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.

Baytaş, A.C., 1984: Development of A Thickness Gauge For Measuring Thin Materials, Boğaziçi University, Yüksek Lisans Tezi.

Becker, Berginski, Conrad, Dogan, Fenske, Gall, Gorka, Hanel, Hupkes, Lee, Rau, Rech, Ruske, Weber, 2008: Solid-phase crystallization of amorphous silicon on ZnO:Al thin film solar cells, *Solar Energy Materials and Solar Cells*.

Berger, H., 1966: Nuclear Techniques for Nondestructive Testing, Plenum Pres, New York.

Bernier, Christian ve Langan, 1997: Nuclear medicine: Technology and Techniques, Times Mirror Company, New York.

Bilge A.N., Tuğrul B., 1990: Endüstriyel Radyografinin Esasları, İ.T.Ü. Rektörlük Ofset Atölyesi, İstanbul.

Bilge A.N., Tuğrul B., 1991: Tahribatsız Muayene Metodları, Ders Notları.

Bilge A.N., 1985: Nükleer Tekniklerin Endüstriye Uygulanması, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, İstanbul.

Bilge A.N., 1991: Endüstride Nükleer Teknikler, İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü, Nükleer Uygulamalar Ana Bilim Dalı.

Büyük, B., 2004: Gama Transmisyon Tekniği ile Cs-137 Gama Kaynağı Kullanılarak Farklı Metaller İçin Kalınlık Tayini, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Enerji Enstitüsü, İstanbul.

Cameron, J.F., Clayton, C.S., 1971: Radioisotopes Instruments, Vol. 1, Pergamon Press, Oxford.

Chang, Hsiao, Huang, 2008: Preparation and mechanical properties of aluminum-doped zinc oxide transparent conducting films, *Surface & Coatings Technology*, **202**, 5416-5420.

Charlton, J.S., 1986: Radioisotope Techniques For Problem Solving in Industrial Process Plants.

Chen, Lau, Rusli, Yu, Yuen, 2005. Fabrication of n-ZnO:Al/p-SiC.4H. heterojunction light-emitting diyotes by filtered cathodic vacuum arc technique, *Applied Physics Letters*, **86**, 241111.

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.

Early ve Sodee, 1995: Principles and Practice of Nuclear Medicine, Mosby-Year Book Inc., USA.

Földiak, 1986: Industrial Application of Radioisotopes, Institute of Isotopes of Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungary.

Gardner, R. P., Ely, R. L., 1967: Radioisotopes Measurement Applications in Engineering, Reinhold Publishing Co, Inc., New York.

Glastone ve Sesonske, 1981: Nuclear Reactor Engineering, V.N. Reinhold Company, USA.

Halmshaw, 1995: Insdustrial Radiology, Champman & Hall, London.

Harms ve Wyman, 1986: Mathematics and Physics of Neutron Radiography, D. Reidel Publishing Company, USA.

Iliadis, Krishnamoorthy, 2008. Properties of high sensitivity ZnO surface Acoustic wave Sensors on SiO_2/(100) Si substrates, *Solid-State Electronics*, **52**, 1710-1716.

Kim, Tai, 2006. Electrical and optical properties of Al-doped ZnO thin films by sol-gel process, *Applied Surface Science*.

Kohl, J., 1961: Radioisotopes Applications Engineering, D. Von Nostrant Company, New York.

Lee, Park, 2003. Transparent conducting ZnO:Al, In and Sn thin films deposited by the sol-gel method, *Thin Solid Films*, **426**, 94-99.

Li, Yi, Yu, Xiao, Zhou, 2007. Preparation of aluminum doped zinc oxide films and the study of their microstructure, electrical and optical properties, *Thin Solid Films*, **515**, 6909-6914.

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.

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.

Özden, N., 1983: Nükleer Çağın İlk 40 Yılı, İ.T.Ü., Nükleer Enerji Enstitüsü.

Rahman ve Shieh, 1981: Introduction to Nuclear Engineering, R.E. Krieger Publishing Company Inc., USA.

Tekin, M., 2009: Investigation on structural, optical 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.

Turgay, M. E., 2005: Gama Transmisyon Tekniği ile Cs-137 ve Co-60 Gama Kaynağı Kullanılarak Farklı Metaller İçin Yoğunluk Tayini, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Enerji Enstitüsü, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad:	Burak Emre Karagöz
Doğum Yeri ve Tarihi:	Ankara, 21.04.1976
Adres:	Reuterstr. 19, 53115 Bonn/Almanya
Lisans Üniversite:	İ.T.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi
	Fizik Mühendisliği