

152203

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**GAMA TRANSMİSYON TEKNİĞİ İLE
Cs-137 GAMA KAYNAĞI KULLANILARAK
FARKLI METALLER İÇİN KALINLIK TAYİNİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Bülent BÜYÜK
(304.01.1.058)**

152203

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Nisan 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 20 Mayıs 2004**

Tez Danışmanı : Prof.Dr. A. Beril TUĞRUL
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. H. Hüseyin GÜVEN (İ.T.Ü.)
Yrd.Doç.Dr. Sevilay HACIYAKUPOĞLU (İ.T.Ü.)

[Handwritten signatures: Beril Tuğrul, H. Hüseyin Güven, Sevilay Hacıyakupoğlu]

MAYIS 2004

ÖNSÖZ

Bu Yüksek Lisans Tez Çalışmasında Gama transmisyon tekniği ile Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak farklı metaller için kalınlık tayini yapılmasına ilişkin deneysel bir inceleme amaçlanmıştır. Bu çalışmanın, zamanın öneminin giderek arttığı bu teknoloji çağında, sağlıklı kontrollerin en kısa sürede yapılıp sistemin hızlı ve sürekli bir şekilde çalışmasına faydalı olacağı umulur.

Yüksek Lisans Eğitim çalışmam sırasında gerek ders ve tez aşamalarında gerekse tezin planlama ve deneysel çalışmalar sırasında bilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve karşılaştığım sorunlarda tecrübelerinden faydalandığım değerli Hocam Sayın Prof. Dr. A. Beril TUĞRUL'a en içten duygularıyla teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Hayatın her kademesinde beni destekleyen ve güvenen, bugünlere ulaşmamda en büyük paya sahip olan annem Hüsniye BÜYÜK'e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Nisan 2004

Bülent BÜYÜK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
2. GAMA IŞINLARI	4
2.1. Gama ışınlarının Özellikleri	4
2.2. Gama Işınlarının Madde ile Etkileşimi	7
2.2.1. Fotoelektrik Olay	7
2.2.2. Compton Saçılması	8
2.2.3. Çift Oluşumu	8
2.3. Gama Kaynakları	9
3. GAMA TRANSMİSYON TEKNİĞİ	11
3.1. Gama Transmisyon Tekniğinin Genel Prensipleri	11
3.1.1. Gama Transmisyon Tekniğinin Sistem Tasarımı	12
3.1.1.1. Ölçüm Sisteminin Seçimi	12
3.1.1.2. Radyasyon Kaynağı Seçimi	14
3.2. İlgili Düzenekler	17
3.3. Gama Transmisyon Tekniğinin Uygulama Alanları	19
3.3.1. Kalınlık Ölçümleri	19
3.3.1.1. Kaplar ve Borular İçindeki Tortuların Ölçümleri	21
3.3.1.2. Korozyon Ölçümü ve Dedeksiyonu	23
3.3.1.3. Boşlukların Ölçümü	23
3.3.2. Seviye Ölçümleri	24
3.3.3. Yoğunluk Ölçümleri	24
3.3.4. Ağırlık Ölçümleri	24
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	26
4.1. Deneyde Kullanılan Gama Kaynağının Tanıtımı	26
4.2. Deneyde Kullanılan Malzemelerin Tanıtımı	27
4.2.1. Kurşun	27
4.2.2. Çelik	28

4.2.3. Piring	30
4.2.4. Alüminyum	31
4.3. Deneyde Kullanılan Cihaz ve Elemanlar	32
4.3.1. Sintilasyon Dedektörü	33
4.3.2. Çok Kanallı Analizör	33
4.3.3. Kolimatör	34
4.4.4. Zırh Elemanı Tuğlalar	35
4.4. Deney Düzenegi	35
4.5. Deney Geometrisi	36
4.6. Deneylerin Yapılışı	38
4.7. Mikrometre İle Kalınlık Tayini	39
5. DENEY SONUÇLARI	41
5.1. Cs-137 Radyoizotop Gama Kaynağı Kullanılarak Kurşun İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	41
5.2. Cs-137 Radyoizotop Gama Kaynağı Kullanılarak Çelik İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	43
5.3. Cs-137 Radyoizotop Gama Kaynağı Kullanılarak Piring İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	45
5.4. Cs-137 Radyoizotop Gama Kaynağı Kullanılarak Alüminyum İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	47
5.5. Kalınlığı Tayin Edilmek İstenen Numunelerle Elde Edilen Deney Sonuçları	50
5.6. Gama Transmisyon Tekniğı İle Tayin Edilen Numune Kalınlıklarının Sınanması	50
6. SONUÇ VE TARTIŞMA	55
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ	60

KISALTMALAR

NaI(Tl)	: Talyumla Aktive Edilmiş Sodyum İyodür
G.M.	: Geiger-Müller Dedektörü
UNS	: Unified Numbering System
SAE	: Society of Automotive Engineer's
AISI	: American Iron and Steel Institute



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Bazı Yüksek Enerjili Gama Radyoizotopları.....	9
Tablo 3.1. Radyasyon Dedektörlerinin Özellikleri.....	13
Tablo 3.2. Gama Aktif Bazı Radyoizotoplar ve Özellikleri.....	16
Tablo 3.3. Uygulamalarda Tercih Edilen Gama Işını Yayan Bazı Radyoizotopların Özellikleri.....	17
Tablo 4.1. Deneylerde Kullanılan Cs-137 Radyoizotop Kaynağının Özellikleri.....	26
Tablo 4.2. Kurşunun Genel Özellikleri.....	28
Tablo 4.3. Deneylerde Kullanılan Kurşun Referans Malzemeye İlişkin Özellikler.....	28
Tablo 4.4. 1030 Çeliğinin Genel Özellikleri.....	29
Tablo 4.5. Pirincin Genel Özellikleri.....	31
Tablo 4.6. Alüminyumun Genel Özellikleri.....	32
Tablo 4.7. Çalışılan Alüminyum Numunelerin Özellikleri.....	32
Tablo 4.8. Kullanılan Kurşun Kalınlıkları ve Markalaması.....	38
Tablo 5.1. Kurşun İçin Cs-137 Radyoizotop Kaynağı İle Yapılan Deneylerin Sonuçları.....	42
Tablo 5.2. Çelik İçin Cs-137 Radyoizotop Kaynağı İle Yapılan Deneylerin Sonuçları.....	44
Tablo 5.3. Pirinç İçin Cs-137 Radyoizotop Kaynağı İle Yapılan Deneylerin Sonuçları.....	46
Tablo 5.4. Alüminyum İçin Cs-137 Radyoizotop Kaynağı İle Yapılan Deneylerin Sonuçları.....	48
Tablo 5.5. Cs-137 Radyoizotop Kaynağı İle Kalınlığı Tayin Edilmek İstenen Numuneler İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları.....	49
Tablo 5.6. Gama Transmisyon Tekniği İle Tayin Edilen Numune Kalınlıkları.....	50
Tablo 5.7. Gama Transmisyon Tekniği ve Mikrometre İle Tayin Edilen Numune Kalınlıkları.....	51

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1	: Radyoaktif Bozunmada Gama Işınlının Yayınlanması.....	4
Şekil 2.2	: Radyoaktif Bozunmada İki Gama Işını Yayınlanması.....	5
Şekil 2.3	: Gama Işınlının Spektrumları.....	6
Şekil 2.4	: Fotoelektrik Olay.....	7
Şekil 2.5	: Compton Saçılması.....	8
Şekil 2.6	: Çift Oluşumu.....	9
Şekil 2.7	: d) Co-60 Kaynağı. e) Cs-137 Kaynağı.....	10
Şekil 3.1	: Gama Transmisyon Tekniğinin Genel Şeması.....	12
Şekil 3.2	: Borularda Gama Transmisyon Tekniği İle Yoğunluk Ölçümü.....	17
Şekil 3.3	: Gama Transmisyon Tekniği İle Yoğunluk Ölçüm Sistemi.....	18
Şekil 3.4	: Yoğunluk Ölçümlerinde Kullanılan Kontrol Devreleri.....	18
Şekil 3.5	: Gama Transmisyon Tekniği İle Kalınlık Ölçüm Sistemi.....	18
Şekil 3.6	: Yük Vagonlarının Yüklenmesinde Gama Transmisyon Tekniğinin Uygulanması.....	19
Şekil 3.7	: Boru Ölçümlerinde Kullanılan Sistem.....	22
Şekil 4.1	: Çalışılan Cs-137 Radyoizotop Kaynağı.....	27
Şekil 4.2	: Bakır-Çinko Denge Diyagramı.....	30
Şekil 4.3	: Deneylerde Kullanılan Sintilasyon Dedektörü.....	33
Şekil 4.4	: Çok Kanallı Analizör.....	34
Şekil 4.5	: Kolimatör.....	34
Şekil 4.6	: Kurşun Tuğlalarla Oluşturulmuş Bariyer.....	35
Şekil 4.7	: Deney Düzenekinin Genel Görüntüsü.....	36
Şekil 4.8	: Deney Düzenekine İlişkin Deney Geometrisi.....	37
Şekil 4.9	: Kaynak-Dedektör Geometrisi.....	37
Şekil 4.10	: Deneylerde Kullanılan Mikrometre.....	40
Şekil 5.1	: Cs-137 Kaynağı Kullanılarak Kurşun İçin Çizilen Kalibrasyon Eğrisi.....	41
Şekil 5.2	: Cs-137 Kaynağı Kullanılarak Çelik İçin Çizilen Kalibrasyon Eğrisi.....	43
Şekil 5.3	: Cs-137 Kaynağı Kullanılarak Pirinç İçin Çizilen Kalibrasyon Eğrisi.....	45
Şekil 5.4	: Cs-137 Kaynağı Kullanılarak Alüminyum İçin Çizilen Kalibrasyon Eğrisi.....	47
Şekil 5.5	: Gama Transmisyon Tekniği ve Mikrometre İle Kurşun İçin Tayin Edilen Kalınlıklar.....	51
Şekil 5.6	: Gama Transmisyon Tekniği ve Mikrometre İle Çelik İçin Tayin Edilen Kalınlıklar.....	52
Şekil 5.7	: Gama Transmisyon Tekniği ve Mikrometre İle Pirinç İçin Tayin Edilen Kalınlıklar.....	52
Şekil 5.8	: Gama Transmisyon Tekniği ve Mikrometre İle Alüminyum İçin Tayin Edilen Kalınlıklar.....	53
Şekil 5.9	: Mutlak Fark Grafiği.....	53

SEMBOL LİSTESİ

BE	: Bağ Enerjisi
C	: Karbon Atomu
E_e	: Elektronun Kinetik Enerjisi
E_γ	: Gama Işınlarnının Enerjisi
E_1	: Uyarılmış Enerji Seviyesi
E_t	: Temel Enerji Seviyesi
E_2	: Çok Uyarılmış Seviyedeki Atomun Enerjisi
$E_{\gamma 1}$	: Birincil Uyarılmış Seviyede Yayınlanan Gama Işınının Enerjisi
$E_{\gamma 2}$	: İkincil Uyarılmış Seviyede Yayınlanan Gama Işınının Enerjisi
E_γ	: Saçılan Foton Enerjisi
θ	: Fotonun Saçılma Açısı
I	: Kaynak ve Dedektör Arasındaki Malzemeden Elde Edilen Sayım
I_0	: Malzeme Olmadan Elde Edilen Sayım
λ	: Foton Dalgaboyu
Mn	: Mangan Atomu
μ_{eff}	: Etkin Kütle Soğurma Katsayısı
μ_m	: Kütle Soğurma Katsayısı
P_{max}	: Maksimum Fosfor miktarı
ρ	: Soğurucu Malzemenin Yoğunluğu
S_{max}	: Maksimum Kükürt miktarı
σ	: Standart Sapma
x	: Yoğunluk Kalınlığı
d	: Malzeme Kalınlığı

GAMA TRANSMİSYON TEKNİĞİ İLE Cs-137 GAMA KAYNAĞI KULLANILARAK FARKLI METALLER İÇİN KALINLIK TAYİNİ

ÖZET

Gama transmisyon tekniği ile Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak farklı metaller için kalınlık tayini yapılmasına ilişkin deneysel bir inceleme amaçlanmıştır. Çalışılacak metaller olarak; endüstride sıkça kullanılan kurşun, çelik, pirinç ve alüminyum seçilmiştir.

Çalışılan radyoizotop kaynak olarak Cs-137 radyoizotop kaynağı, uzun yarı ömürlü olması, tek enerji pikli ve çalışılan metallere nüfuz edebilecek, uygun bir radyasyon kaynağı olması nedeniyle tercih edilmiştir.

Radyoizotop kaynak ve numuneler hazırlandıktan sonra, tüm numunelerle, çalışmaya uygun bir deney düzeneği kurularak, sabit deney geometrisinde deneyler titizlikle gerçekleştirilmiştir. Alınan sonuçlar ile çalışılan dört metal için kalibrasyon eğrileri çizilmiştir.

Çizilen kalibrasyon eğrilerinin sınanması için ise, aynı malzemeden numuneler için kalınlık tayini amaçlı sayımlar alınmış ve elde edilen bağıl sayım değerlerinden hareketle, her malzemenin kendi malzemesi çizilmiş kalibrasyon eğrileri kullanılarak kalınlıkları tayin edilmiştir. Bu numunelerin mikrometre ile kalınlık tayinleri de yapılmış ve gama transmisyon tekniği ile elde edilen kalınlık sonuçları ile mukayeseli olarak irdelenmiştir.

Yapılan irdeleme sonucunda, gama transmisyon tekniği ile tayin edilen kalınlık ile mikrometre ile tayin edilen kalınlık değerlerinin birbirine hayli yakınsadığı ve aradaki farkın kabul edilebilir mertebede olduğu görülmüştür. Böylelikle, gama transmisyon tekniği ile kalınlık tayininin hassasiyeti ve çıkarılan kalibrasyon eğrilerinin güvenilirliğini gösterilmiştir.

**THICKNESS MEASUREMENT FOR THE DIFFERENT METALS
BY USING Cs-137 GAMMA SOURCE WITH
GAMMA TRANSMISSION TECHNIQUE**

SUMMARY

The purpose of this study is an experimental analysis of thickness measurement for various metals with the gamma transmission technique using Cs-137 as the radioisotope source. Lead, steel, brass, and aluminum, which are frequently used metals in industry, were chosen for the analyses.

As the radioisotope source Cs-137 was preferred for the study since it has long half-life, it is mono energetic, and it penetrates the metals that were studied.

After the radioisotope source and metal samples were prepared, an experimental setting that is suitable to all the samples was carried out with scrutiny in a constant experimental geometry. Calibration curves for the four metal samples were plotted using the obtained results.

To test the plotted calibration curves, counts for determining thickness measurement were collected for each sample and the obtained relative count values were used in conjunction with the plotted calibration curves for each sample to determine its thickness. The thicknesses of the samples have been measured with a micrometer and the results were comparatively analyzed with the measurement results obtained by the gamma transmission technique.

The results of the analyses revealed that the thickness measurement values obtained with the gamma transmission technique and the thickness measurement values obtained with micrometer significantly converge to each other and the difference between the two values is at an acceptable level. Therefore the reliability of thickness measurements with the gamma transmission technique and the resulting calibration curves have been demonstrated.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Teknolojinin hızlı bir şekilde ilerlemesi kontrol mekanizmalarının da aynı hızla ilerlemesini gerekli kılmıştır. Teknolojinin gelişimiyle birlikte insanoğlunun hayata geçirilebilir gereksinimlerinde de önemli artışlar olmuştur. Bu ise, farklı teknolojilerin gelişimini gerektirmiştir. Böylelikle, döngüsel ve hızlı bir gelişim yaşanmaya başlanmıştır.

Teknolojinin gelişimi beraberinde riskler de getirmektedir. Riski azaltmak için öncelikle oluşturulan sistemin veya bu sistemin önemli bölümlerinin kontrolü gerekmektedir. Fazla olarak, sistem veya sistem bölgelerinin, çalışma sırasında da belirli periyotlarla kontrolünün yapılması yine bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır. Aksi takdirde ortaya çıkabilecek hatalar ve kazalar maddi kayıplara ve daha da önemlisi insan hayatı için tehlikeli boyutlara ulaşabilmektedir.

İşte böylesi durumlarda, ileri teknoloji ürünleri için kontrollerin düzenli bir şekilde yapılmasında tahribatsız muayene metodları ve bu bağlamda kullanılabilir nükleer teknikler ön plana çıkmaktadır (Halmshaw, 1991, Mix, 1987). Nükleer tekniklerin çalışan bir sisteme de uygulanabiliyor olması zaman kaybını en aza indirmektedir. Bu da, endüstri açısından önemli bir kazanç olup, nükleer tekniklerin öneminin giderek artmasını sağlayan bir unsur oluşturmaktadır (Halmshaw, 1995).

İnsanlığın radyoaktif maddeler ve yayımladıkları radyasyon türleri konusunda araştırmalara başlamasından sonra, teknolojinin ilerlemesiyle hemen hemen bütün kimyasal elementlerin yapay radyoizotoplarının elde edilmesiyle, gerek doğal radyoizotoplar ve gerekse yapay radyoizotoplar birçok farklı alanda kullanılmaya başlamıştır. Bu alanların başlıcaları tıp, endüstri, tarım ve arkeometridir (Földiák 1986, Tuğrul, 1986). Böylece kontrollü ve bilinçli bir şekilde kullanılan radyasyon zararsız şekilde insanlığın yararına, günümüz modern teknolojisinin hizmetine sunulmuş bulunmaktadır.

Nükleer teknikler içinde önemli bir yeri, radyasyonla ölçüm teknikleri tutmaktadır (**Gardner, ve Ely, 1967**). Bu teknikler, diğer ölçüm tekniklerine göre birçok noktada önemli avantajlara sahiptir. Hatta, bazı durumlarda tek uygulama metodu olabilmektedirler. Bu nedenle, radyasyonla ölçüm teknikleri, endüstriyel uygulamaların ve üretimin her aşamasında tercih edilmektedirler.

Radyoizotop kaynağı kullanılan ölçüm teknikleri birçok sektörde başarı ile uygulanabilmektedir. Bu uygulamalar arasında; tarım endüstrisi, enerji sektörü, uçak ve gemi sanayii, kimya endüstrisi ve ilaç sanayii, temizlik ürünleri sektörü, demir-çelik endüstrisi, maden endüstrisi, patlayıcı madde, besin, kağıt, basım ve fotoğrafçılık sektörleri sayılabilir.

Bu endüstriyel üretim alanlarında özellikle metal, kağıt, plastik gibi maddelerin kalınlıklarının ölçülmesi, kalın cidarlı kapalı kaplar ve borular içinde yüksek basınç altında zehirli, patlayıcı, koroziv 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 ölçülmesi işlemleri radyoizotopların kullanıldığı, radyasyonla ölçme sistemleri ile gerçekleştirilebilmektedir (**Földiák, 1986**).

Teknolojinin hızla ilerleyişi, zamanın öneminin gün geçtikçe artması ve bunlarla birlikte bir kalite yarışının da önem kazanması kalite temini ve kalite kontrolünü öne çıkarmıştır. Günümüzde, üreticiler; daha kısa sürede, daha kaliteli üretim hedefi içerisindeyler. Bu yüzden hatanın ve dolayısıyla firenin azaltılması, kazancı sağlayan önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır.

Hatalı üretilen bir ürünün olumsuz sonuçları çok boyutluluk ifade etmektedir. Böyle bir durumda, hatalı üretim sırasında kaybedilen vakit, kaybedilen malzeme, enerji ve işgücü başlıca kayıplardır. Bunlara ek olarak, yapılan hatalı üretim fabrikanın ürünlerine karşı olan güvenin azalmasına, bunun sonucunda da, şirketin piyasadaki prestijinin kaybolmasına ve güvenilirliğinin yitirilmesine neden olmaktadır. Dolayısı ile çok yönlü kayıp sözkonusudur. Günümüz rekabet ortamında, bunlar değerlendirilen önemli unsurlar olmaktadır. Böylesi durumlarda, nükleer teknikler başvuru önemli yöntemler arasında yer almaktadır (**Bilge, 1991**).

Sistemlerin güvenliği de diğer önemli bir hususu oluşturmaktadır. Sistemin içindeki önemli elemanların çalışmasında ortaya çıkabilecek problemler insan hayatı ve çevrenin korunması için önceden tespit edilebilmeli ve gerekli tedbirler alınabilmelidir. Önemli olan kaza olmadan önce, olabilecek durumlar tespit edilmesi ve kazanın önlenmesidir. Bu durumlarda da, yani sistemin güvenliğinin sağlanmasında da, çoğu kez kullanılan yöntemler nükleer teknikler olmaktadır (Özden, 1972)..

Bu Yüksek Lisans Tezinde, endüstriyel amaçlı olarak nükleer teknikler içinde önemli bir grubu oluşturan radyasyonla ölçüm tekniklerinden transmisyon tekniğinin bir uygulaması düşünülmüştür. Bu bağlamda, gama transmisyon tekniği ile kalınlık ölçümü yapılması amaçlanmıştır. Böylelikle, hayata geçirilir bir uygulamaya yönelik deneysel bir çalışma yapılması hedeflenmiştir.



BÖLÜM 2

GAMA IŞINLARI

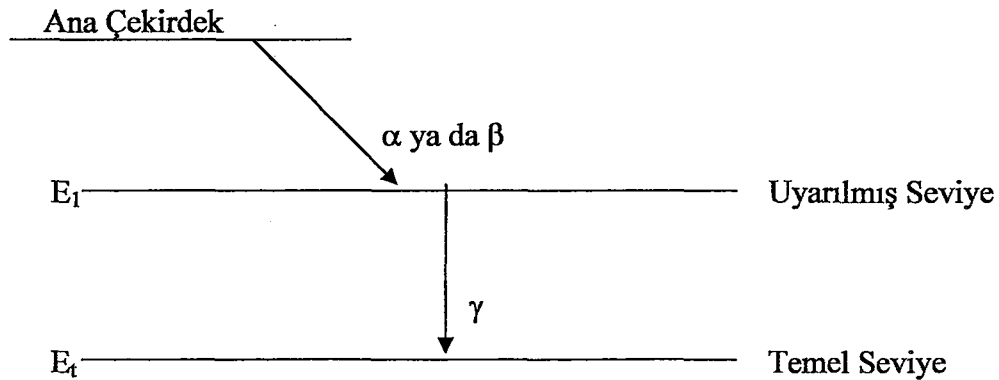
2.1. Gama Işınlarnının Özellikleri

Kararsız çekirdeklerin kararlı hale geçmeleri sırasında enerji paketçığı veya parçacık atmaları söz konusu olmaktadır. Bu olaya “Radyoaktif Bozunma” denmektedir (Földiák, 1986). Radyoaktif bozunmaların çoğu tek basamaklı basit bir bozunma şeklinde olmamakta ve radyoaktif bozunmalar sırasında birçok karmaşık olay meydana gelebilmektedir. Bunlardan en çok görüleni, herhangi bir bozunmadan sonra oluşan ürün çekirdeğinin yapısında artık bir enerji kalmasıdır. Bu durumda uyarılmış halde kalan çekirdek, temel seviyesine dönebilmek amacıyla belirli değerde enerji paketlerine sahip fotonlar halinde kendine özgü gama ışınları yayınlar.

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

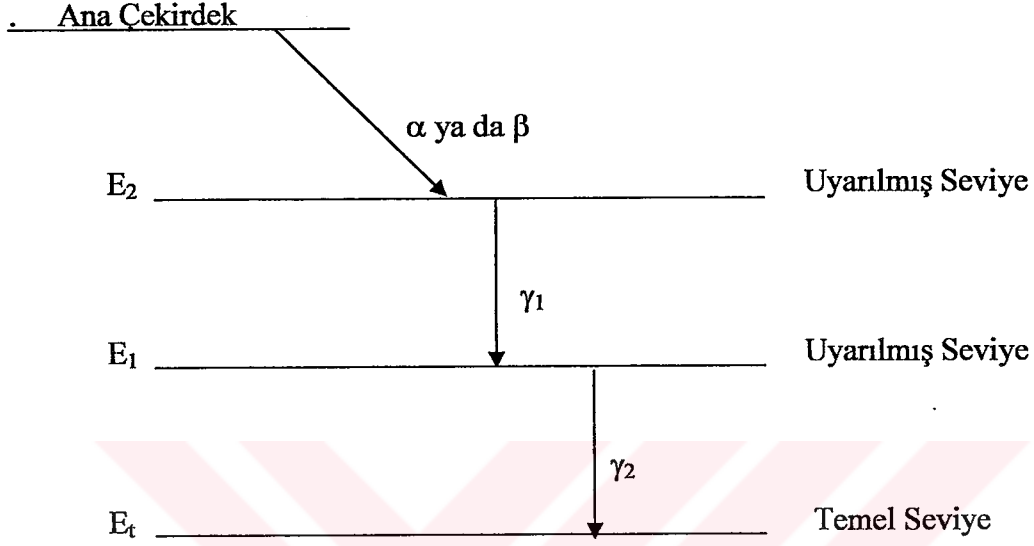
$$E_\gamma = E_1 - E_t \quad (2.1)$$

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



Şekil 2.1 Radyoaktif Bozunmada Gama Işınlarnının Yayınlanması(**Gardner, ve Ely, 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 da Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Radyoaktif Bozunmada İki Gama Işını Yayınlanması (Gardner ve Ely, 1967)

Bu şartlarda da;

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

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

Olmaktadır. Burada

$E_{\gamma 1}$: Birincil uyarılmış seviyeden yayınlanan gama ışınının enerjisini

E_2 : İkinci uyarılmış seviyedeki çekirdeğin enerjisini

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

ifade etmektedir.

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

2.2.1. Fotoelektrik Olay

Fotoelektrik olay; düşük enerjili fotonun, soğurucu ortamda bağlı durumdaki elektron ile etkileşerek tüm enerjisini kaybetmesi ve “fotoelektron” adı verilen bir elektronun serbest olarak fırlatılması olayıdır. Bu etkileşim sonucu elektronun kazanacağı kinetik enerji;

$$E_e = E_\gamma - BE \quad (2.4)$$

olarak ifade edilebilmektedir (Bilge ve Tuğrul, 1990)

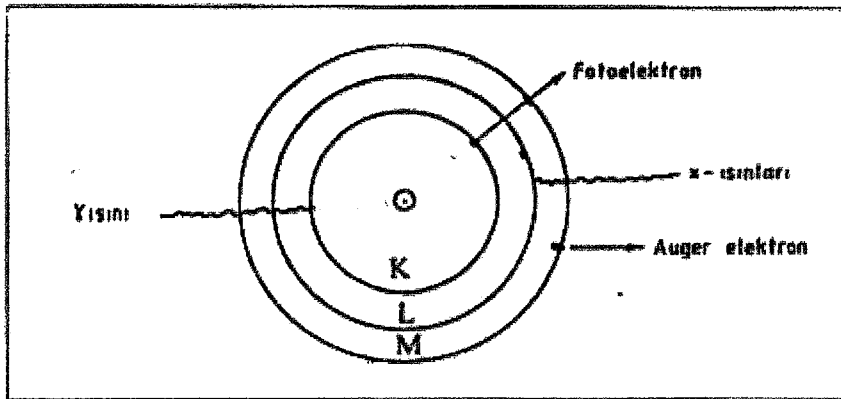
Burada;

E_e : Elektronun kinetik enerjisi,

E_γ : Gama ışınlarının enerjisi,

BE : Elektronu, bulunduğu yörüngeden koparabilmek için gerekli olan bağ enerjisidir.

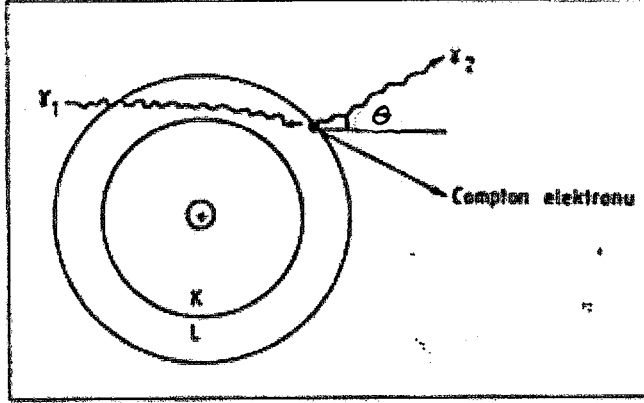
Fotoelektrik olaydan sonra atomda bazı farklı olaylar da meydana gelebilmektedir. Bunlardan biri karakteristik X-ışınlarının yayınlanmasıdır. Bu ışınlar, ilk gama radyasyonu ile karşılaştırıldıklarında daha düşük enerjilidirler. Bir diğer olay ise, dış yörünge elektronunun, (Auger elektronunun) atılması olayıdır. Şekil 2.4’de fotoelektrik olay şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Fotoelektrik Olay (Bilge ve Tuğrul, 1990).

2.2.2. Compton Saçılması

Fotonun, soğurucu ortamındaki atomun dış yörünge elektronu ile çarpışması sonucu Compton saçılması meydana gelir. Foton enerjisinin bir kısmı elektronu yörüngeden fırlatmak için kullanılır. Enerjisinin bir kısmını kaybetmiş olan foton, fotonun geliş doğrultusuna belli bir açı yaparak saçılır. Şekil 2.5 ile Compton saçılması şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Compton Saçılması (Bilge ve Tuğrul, 1990).

Saçılan fotonun enerjisi, saçılma açısına bağlı olarak hesaplanabilir. Aralarındaki bağlantı

$$E'_\gamma = 0.51 / [1 - \cos \theta + (0.51 / E_\gamma)] \quad (2.5)$$

olarak ifade edilebilmektedir (Bilge ve Tuğrul, 1990).

Bu ifade de;

E'_γ : Saçılan foton enerjisi

E_γ : Gelen elektromanyetik radyasyon enerjisi

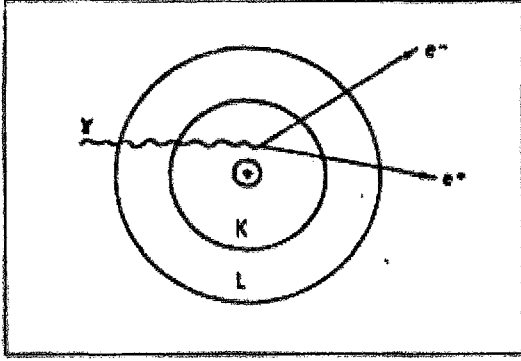
θ : Saçılma açısını göstermektedir.

2.2.3. Çift Oluşumu

Foton çekirdeğe yaklaştığında, elektron-pozitron çifti oluşumu söz konusu olabilmektedir. Bu olaya “Çift Oluşumu” adı verilmektedir. Elektron-pozitron çiftinin toplam enerjisi kütle eşdeğeri 1.02 MeV’dir. Bu enerji seviyesi çift oluşumu

için gerekli enerji olduğundan, gelen gama fotonunun enerjisi 1.02 MeV'den düşük ise bu olay meydana gelmemektedir.

Çift oluşumunun sonunda foton, fotoelektrik olayda olduğu gibi tamamen soğurulur. Oluşan elektron-pozitron çiftlerinin kendilerini nötralize etmeleri sonucu anihilasyon radyasyonu meydana gelmektedir. Şekil 2.6'da çift oluşumu şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Çift Oluşumu (Bilge ve Tuğrul, 1990).

2.3. Gama Kaynakları

Gama kaynakları, endüstriyel uygulamalarda sıkça kullanılan kaynaklardır. Yapay radyoizotopların üretiminin yaygınlaşmasıyla farklı gama kaynakları ile çalışmak mümkün olabilmektedir. Bununla beraber, enerji, yarı-ömür ve ekonomiklik açısından tercih edilen kaynaklar belirlidir.

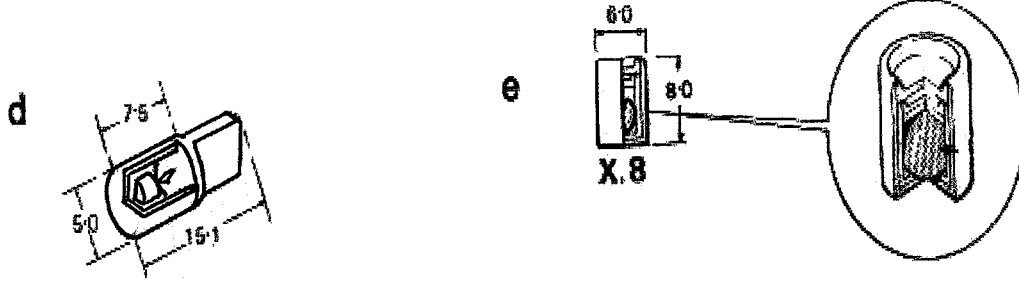
Gama kaynakları enerjilerine göre; düşük enerjili ($E_\gamma < 200$ keV) ve yüksek enerjili ($E_\gamma > 0.5$ MeV) gama ışınları olarak sınıflandırılabilir (Földi, 1986). Tablo 2.1.'de bazı yüksek enerjili ve endüstriyel amaçlı olarak kullanılabilen gama kaynakları verilmektedir.

Tablo 2.1

Bazı Yüksek Enerjili Gama Radyoizotopları ve Özellikleri

İzotop	Yarıömür	Enerji(MeV)
Kobalt-60	5.26 yıl	1.7, 1.33
Sezyum-137	30 yıl	0.662
İridyum-192	74 gün	0.3, 0.6
Antimon-124	60 gün	0.6, 2.1

Gama kaynakları, endüstride kullanım amaçlarına göre değişik şekillerde dizayn edilmektedirler. Endüstride bu kaynakların çoğu genellikle nokta kaynak olarak kullanılmaktadır. Bunlar da paslanmaz çelik kapsül içerisinde dir. Bu durum Şekil 2.7’de görölmektedir.



Şekil 2.7. d) Co-60 kaynağı. e) Cs-137 kaynağı(Charlton, 1986).

BÖLÜM 3

GAMA TRANSMİSYON TEKNİĞİ

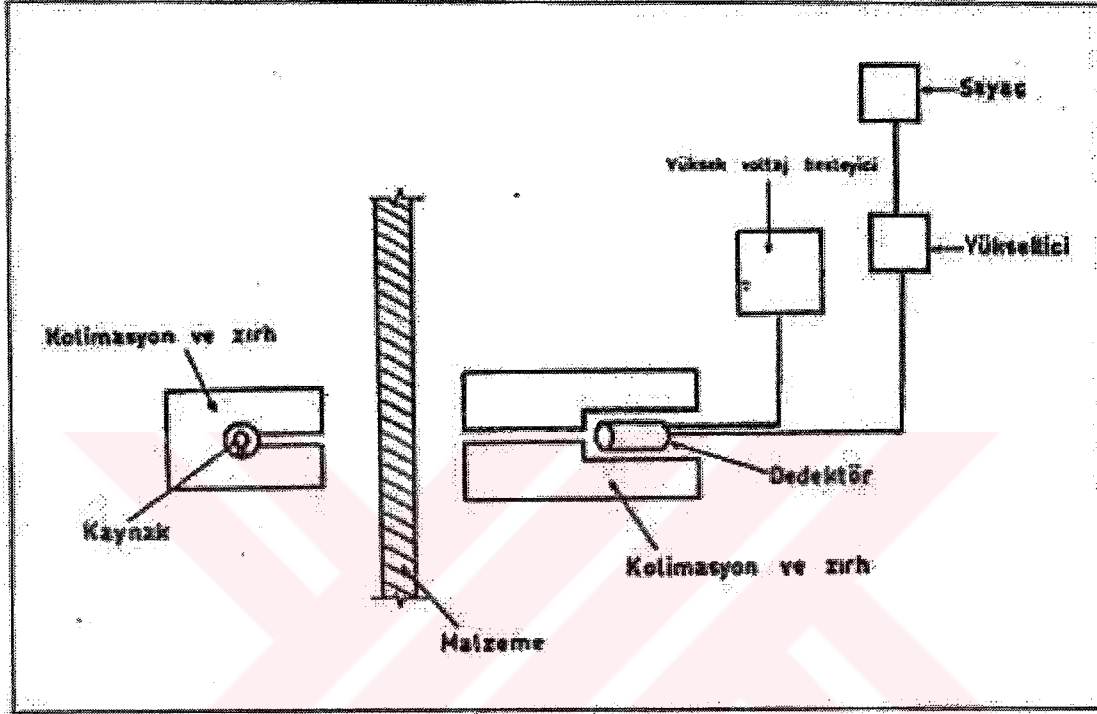
3.1. Gama Transmisyon Tekniğinin Genel Prensipleri

Radyasyona duyarlı ölçüm cihazları, radyasyon yardımıyla ilgili ölçümler yapıp bunları yorumlayarak çalışan, kalınlık, yoğunluk, seviye, nem gibi ölçümleri yapan duyarlı sistemlerdir. Bu tür parametrelerin, ölçümü yapılan cisme ya da sisteme zarar vermeden ve hassas bir şekilde ölçülmesi, bilinen alışılmış metodlarla her zaman mümkün olmayabilmektedir. Bu gibi durumlarda, radyasyon ile ölçme sistemlerinden yararlanılması yoluna gidilmektedir. Bu sistemlerin, diğer alışılmış yöntemlerden birçok noktada üstünlüğü bulunmaktadır. Diğer yöntemlere göre daha ucuz, portatif, duyarlı ve güvenilir olması radyasyonla ölçme sistemlerinin uygulama alanlarını arttırmıştır (Gardner ve Ely, 1967).

Gama transmisyon tekniği, gama ışınlarının maddeye nüfuz edebilme ve malzemeyi katedebilme özelliğine dayanmaktadır. Bu tekniğin temel prensibi; dedektör ve radyoizotopun, herhangi bir parametresi tayin edilmek istenen malzemenin iki farklı tarafına, aynı eksende 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 dikkat edilmesi gereken nokta, saçılan radyasyonun ölçülmemesi ve sonuçların sağlıklı olması için kaynak ve dedektörün iyi bir şekilde kolime edilmeleri ve zırhlı olmasıdır.

Numuneli hale ilişkin olarak, dedektörden alınan sayım, numunesiz haline ilişkin olarak alınmış sayımla karşılaştırılarak ve amaca göre yorumlanıp değerlendirilerek istenen parametre tayini yapılabilmektedir.(Gardner ve Ely, 1967). Bu prensibe göre çalışan bir sistemin genel görüntüsü Şekil 3.1’de verilmektedir.

Gama transmisyon tekniğine göre çalışan yüksek enerjili radyasyon ile metal levhaların kalınlık, kazan ve reaksiyon kaplarındaki sıvıların seviye, akışkanların yoğunluk ölçümleri ve yürüyen bant üzerinde kömür, demir cevheri gibi malzemelerin ağırlık ölçümleri yapılabilmektedir. Bu sayede sistem çalışır durumda iken kontroller yapılmış olmaktadır.



Şekil 3.1 Gama Transmisyon Tekniğinin Genel Şeması.

3.1.1. Gama Transmisyon Tekniğinin Sistem Tasarımı

Radyasyonla ölçüm sistemlerinin tasarımında iki ana özelliğin tanımlanması gerekmektedir. Bunlar:

- Sistemin fonksiyonu,
- Radyasyon kaynak türü

olmaktadır (Gardner ve Ely, 1967)

3.1.1.1 Ölçüm Sisteminin Seçimi

Çoğu zaman herhangi bir özelliğin ölçümü için çeşitli sistemlerin seçimi söz konusu olmaktadır. Bu durumda ideal seçim, ölçme sisteminin duyarlılığı ve güvenilirliği ile birlikte kullanılacak radyoizotopun ne olacağı, sistemin maliyeti, ölçüm kolaylığı ve

radyasyon güvenliği konularının gözönüne alınarak yapıldığı seçim olmaktadır. Ayrıca, radyasyon ile ölçüm sistemlerinin kullanıldığı uygulamalarda; cihazın kararlılığı, güvenilirliği ve sağlamlığı da önemli özellikler arasındadır.

Genellikle ticari olarak kullanılan radyasyon dedektörleri, iyon odaları prensibiyle çalışan dedektörler olmaktadır. Bu prensiple çalışan dedektörler arasında en yaygın olarak kullanılanı ise, Geiger-Müller (GM) dedektörleridir. Bu tip dedektörlerin araştırma amaçlı kullanımı azdır. Zira, verimleri düşük ve spektrometrik çalışmalara elverişli değildirler.

Radyasyonun ölçülmesi, radyasyonun maddeyle etkileşmesine bağlı olmaktadır. Gama ışınlarının ölçülmesinde, fotonun enerjisini tümüyle kaybettiği etkileşmeler önemli olduğundan, ölçümlerin esası fotoelektrik olay ve çift oluşumu etkileşmelerine dayanmaktadır. Fotonların spektroskopik amaçlı sayımı için kullanılan dedektörlerin başlıcaları sintilasyon ve katı hal dedektörleridir.

Radyasyon ölçüm detektörlerinin özellikleri ve uygulanan radyasyon türüne göre verimlilikleri Tablo 3.1’de verilmektedir (Bilge, 1985)

Tablo 3.1
Radyasyon Dedektörlerinin Özellikleri

Dedektör Türü	G.M.	İyon odası	NaI(TI)	Orantılı Sayaç	Yarı İletken
Kararlılık	Çok iyi	İyi	Zayıf	Zayıf	İyi
Dayanıklılık	Çok iyi	Çok iyi	Orta	İyi	Orta
Enerji Bağımlılığı	Yok	Yok	Var	Var	Var
Verim (%)	α	100	100	100	100
	β	100	100	100	100
	γ	1-2	0.1-2	10-30	-

3.1.1.2 Radyasyon Kaynağı Seçimi

Radyasyon kaynağının amaca uygun seçimi, radyasyonla ölçüm sistemleri için önem arz etmektedir. Uygun radyoizotop seçiminde gözönünde bulundurulması gereken faktörler bulunmaktadır.

Bunlar;

1. Kolay elde edilebilirlik ve kullanım kolaylığı
2. Kullanılacak ölçüm sistemine uygun bir yarıömür
3. Yayınladığı radyasyon enerjisinin sisteme uygunluğu
4. Aktivitesi
5. Maliyeti
6. Kullanıcılar açısından güvenli olması

olarak sayılabilir.

Maddeden geçen radyasyon şiddeti eksponansiyel olarak azalmaktadır. Bu söylemin matematisel ifadesi;

$$I = I_0 e^{-\mu_m x} \quad (3.1)$$

olmaktadır (Földiák, 1986)

Burada;

I : Kaynak ve dedektör arasındaki x yoğunluk kalınlığında malzeme olduğunda elde edilen sayım.

I_0 : Malzeme olmadan elde edilen sayım.

μ_m : Kütle soğurma katsayısı

x : Yoğunluk kalınlığı

temsil etmektedir.

Burada yoğunluk kalınlığı anlamında kullanılan x , soğurucu malzemenin yoğunluğu ρ , d malzeme kalınlığı olmak üzere şu şekilde tanımlanmaktadır.

$$x = \rho d \quad (3.2)$$

Elde edilen sayımların standart sapması ise:

$$\sigma(I) = \frac{\partial I}{\partial x} \sigma(x) \quad (3.3)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Gama ışınları kullanılan ölçüm sistemlerinde, seçilen bir radyoizotopun sistem için ideal uygunlukta dalga boylarında ışıyım yapmasını sağlamak, genellikle olanaksızdır. Bu nedenle, ölçüm için gerekli ve yeterli dalga boyunda ışıyım yapan radyoizotopu seçmek gerekmektedir (**Gardner ve Ely, 1967**).

Yayınlanan ışınlar, her radyoizotop için kendine özgüdür. Bu bağlamda, gama radyasyonu kullanılarak yapılacak ölçümlerde, sisteme ve sistemin amacına uygun radyoizotop seçimi önem arz etmektedir.

Seçim yapılırken iki faktör önemlidir. Bunlar;

- Gama aktif radyoizotopun yayınladığı enerji ve
- Radyoizotopun aktivitesi

olmaktadır.

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

$$E(keV) = \frac{12.4}{\lambda(\text{\AA})} \quad (3.4)$$

ifadesinde kendini kolayca göstermektedir (**Bilge ve Tuğrul, 1990**).

Radyoizotopun yayınladığı radyasyon miktarı ise aktivitesi ile belirlenmektedir. Birim zamanda bozunan radyoizotop 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 3.2’de gama aktif bazı radyoizotopların özellikleri verilmektedir. Tablo 3.3’te ise, özellikle gama radyasyonu kullanılan ölçüm sistemlerinde tercih edilen radyoizotoplar ve özellikleri görülmektedir (**Cameron ve Clayton, 1971**)

Tablo 3.2
Gama Aktif Bazı Radyoizotoplar ve Özellikleri.

Radyoizotop	Yarıömür	Enerji (keV)			Bolluk (%)			Doz hızı sabiti (Rm ² /Cis)
Na-22	2.6 yıl	511.00	1274.53		79.8	99.9		1.20
Na-24	14.96 saat	1368.60	2754.00		100	99.9		1.89
Ca-47	4.54 gün	489.23	1297.09		6.5	74.0		0.51
Sc-46	83.81 gün	9.28	1120.55		99.9	99.9		1.11
Cr-51	27.7 gün	320.08			10.0			0.02
Mn-54	312.1 gün	834.84			99.9			0.48
Mn-56	2.58 saat	846.76	1810.72		98.8	27.2		0.83
Fe-59	44.5 gün	1291.60	1099.25		43.2	56.5		0.68
Co-57	271.8 gün	14.41	122.06		9.6	85.9		0.06
Co-58	70.82 gün	810.77			99.4			0.55
Co-60	5.27 yıl	1173.24	1332.50		99.9	99.9		1.30
Ni-65	2.52 saat	366.27	1115.55		4.6	14.9		0.22
Cu-64	12.70 saat	511.00	1345.77		35.8	0.5		0.11
Cs-134	2.05 yıl	800	610	570	90	95	14	0.89
Ir-192	74.2 gün	300	320	470	59	81	49	0.50
Ra-226	1602 yıl	242	295	352	10	19	38	0.94
Am-241	458 yıl	67	70	304	0.53	0.53		0.06

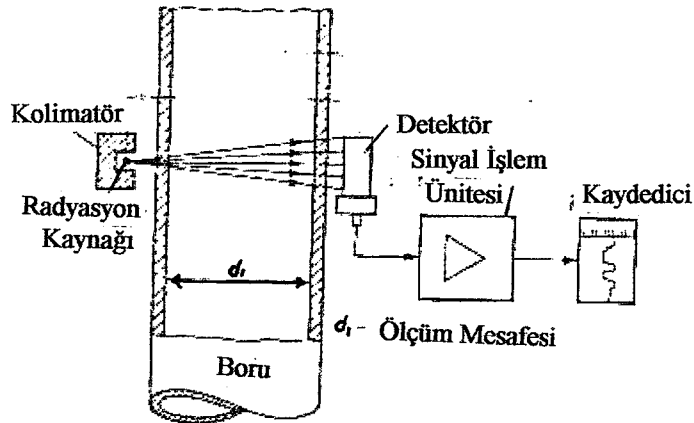
Tablo 3.3

Uygulamada Tercih Edilen Gama Işını Yayan Bazı Radyoizotopların Özellikleri.

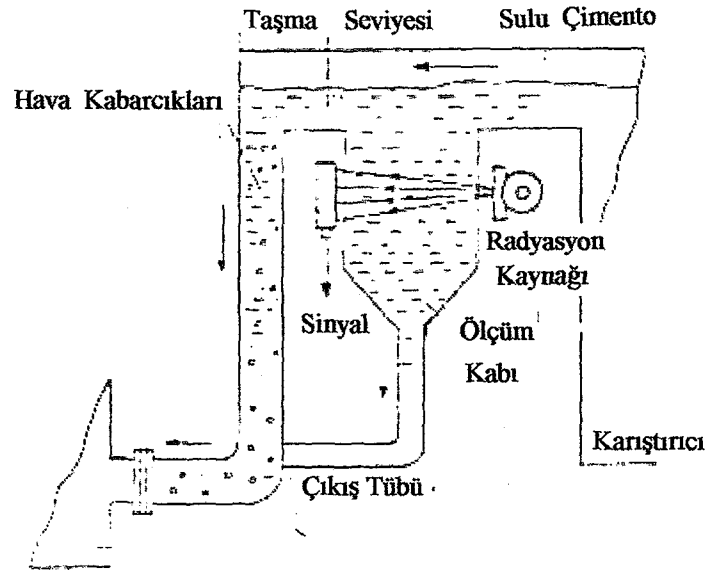
İzotop	Yarı ömür (yıl)	Yayımladığı gama radyasyonu	Soğurma katsayısı (μ) $\text{cm}^2/\text{gr. Al}$	Yarıtabaka kalınlığı (Al) gr/cm^2
Co-60	5.3	1.33 MeV (% 100) 1.17 MeV (% 100)	0.053 0.056	13.1 12.4
Cs-137	30	0.662 MeV (%95)	0.074	9.4
Ra-226	1620	0.187 MeV (% 57)	0.126 0.039	5.5 17.7
Tm-170	0.35	0.084 MeV (% 100)	0.290	2.9

3.2. İlgili Düzenekler

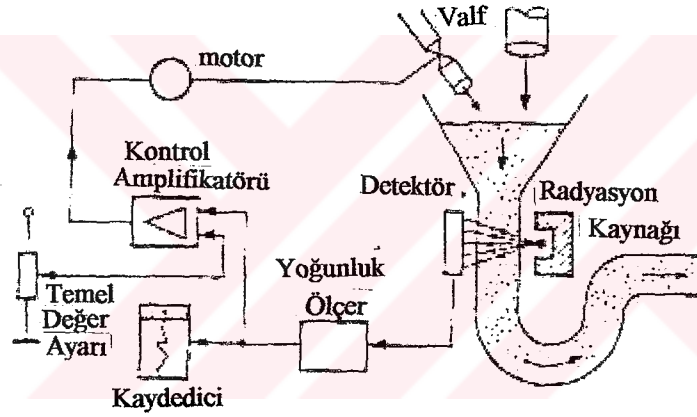
Gama transmisyon tekniği kullanılan ölçüm sistemlerinde temel prensip aynı olmakla beraber, amaca uygun farklılıklar olabilmektedirler. Bunların bazıları, Şekil 3.2 – Şekil 3.6’da görülmektedir.



Şekil 3.2. Borularda Gama Transmisyon Tekniği İle Yoğunluk Ölçümü.



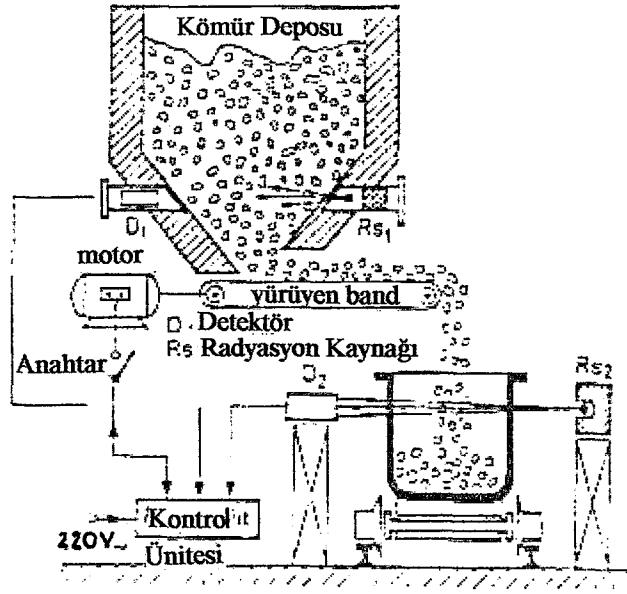
Şekil 3.3. Gama Transmisyon Tekniği İle Yoğunluk Ölçüm Sistemi.



Şekil 3.4. Yoğunluk Ölçümlerinde Kullanılan Kontrol Devreleri.



Şekil 3.5. Gama Transmisyon Tekniği İle Kalınlık Ölçüm Sistemi.



Şekil 3.6. Yük Vagonlarının Yüklenmesinde Gama Transmisyon Tekniğinin Uygulanması

3.3. Gama Transmisyon Tekniğinin Uygulama Alanları

Gama transmisyon tekniğini ölçülecek parametrelere göre kalınlık ölçümleri, yoğunluk ölçümleri, ağırlık ölçümleri, seviye ölçümleri gibi ayırtılma yapılabilir. Bu uygulamalarda, gama transmisyon tekniği bağlamında gama ışınları ölçümlenmekte ve sonuç istenilen amaca uygun olarak yorumlanmaktadır.

3.3.1. Kalınlık Ölçümleri

Yoğunluğu veya yüzey yoğunluğu sabit olan malzemelerin kalınlıklarıyla ilgili çeşitli özellikleri geçirgenlik prensibiyle belli hata payları içinde kolaylıkla ölçülebilmektedir. Gama transmisyon tekniği ile yarı tabaka yoğunluk kalınlığı 10^4 gr/m² ile 10^5 gr/m² arasında olan malzemelerin kalınlığı Co-60, Cs-137, Ir-192, Am-241 gibi gama radyoizotop kaynaklarla ölçülebilmektedir.

Kalınlık ölçümleri farklı amaçlar için uygulanabilmektedir. Örneğin; atıkların derinliğinin ölçüm işlemelerinde, boruların iç duvarlarının ölçümünde ve gemilerde metallerin kalınlık kontrollerinde, beton veya benzeri malzemelerin içindeki boşlukların kontrollerinde ve metallerin korozyon ve erozyona uğramaları

metal incelmelerinin ölçümünde kullanılırlar. Çoğu kez, bu ölçümlerin belli periyotlarla tekrar edilmesi gerekmektedir.

Burada, gama ölçümlerinde .

$$I = I_0 e^{-\mu_{eff} x} \quad (3.5)$$

ifadesinden yararlanılmaktadır. Burada μ_{eff} etkin soğurma katsayısını temsil etmektedir.

Denklem 3.5'in x 'e göre türevini alırsak,

$$\frac{dI}{I} = -\mu_{eff} \rho dx \quad (3.6)$$

elde edilmektedir .(Gardner ve Ely, 1967).

Denklem 3.6, geçen radyasyon yoğunluğundaki değişimlerin doğrudan malzemenin kalınlığıyla ilişkili olduğunu göstermektedir. Yine bu ifade, daha büyük yutulma katsayısı ile daha yüksek yoğunluktaki gama ışınlarının daha net ve hassas ölçümler sağlayacağını göstermektedir.

Ortamın yoğunluğu kontrolümüzün dışında olduğundan radyoaktif kaynağın seçimi buradaki limitleri belirlemektedir. Pratikte, kaynak seçimi genellikle istenen hassasiyetle, gereğinden fazla uzun sürecek periyotlarla ölçüm yapmaktan kaçınma arasındaki değerlendirme sonucunda gerçekleşmektedir. Bu ise;

$$\mu_{eff} = \frac{2}{\rho x} \quad (3.7)$$

ile temsil edilmektedir.

3.3.1.1. Kaplar ve Borular İçindeki Tortuların Ölçümleri

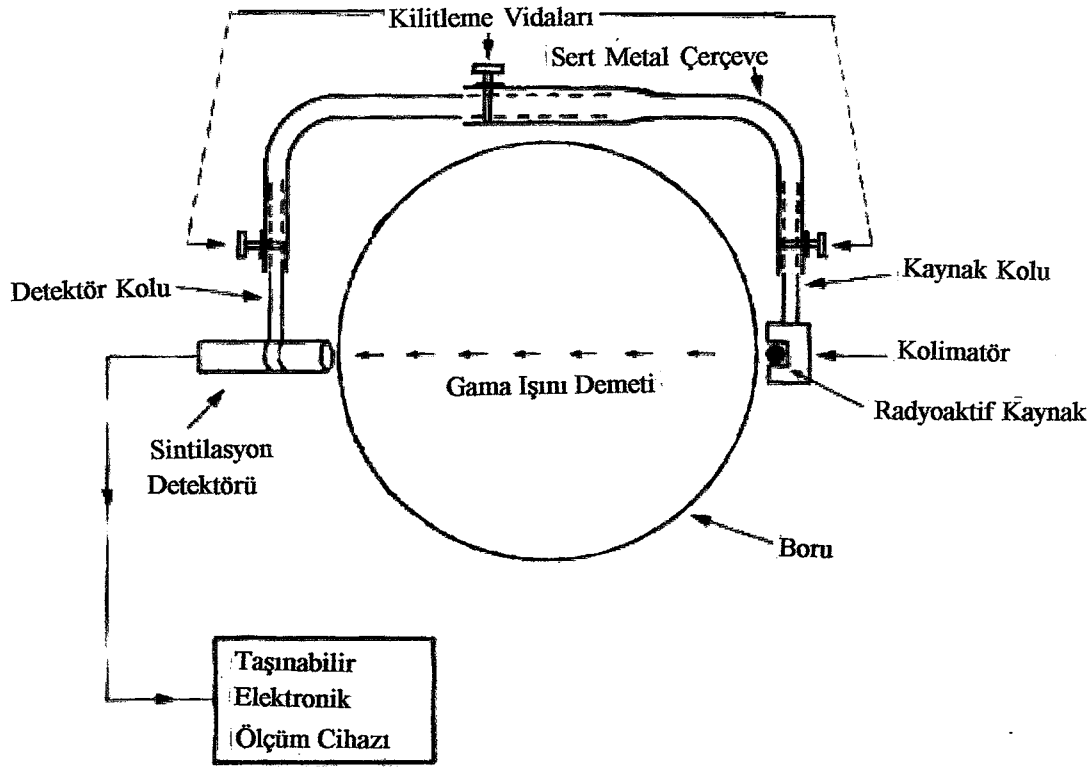
Kaplar ve borular içindeki malzemelerin bırakmış olduğu tortular fabrikalar için değişik problemlere sebep olmaktadır.

Tortuların sebep olduğu problemlerin başlıcaları;

- 1- Boru hatları içindeki tortular tıkanmaya sebep olabilirler.
- 2- Tortuların gelişmesi ve büyümesi borulardaki basıncın düşmesine neden olabilir.
- 3- Çok küçük bir tortu tabakası bile çok ciddi bir ısı transferine neden olabilir. Bu durum ise, malzemenin yumuşaması gibi bazı sorunlara sebep olabilir.
- 4- Gaz geçişli borularda sıvının yoğunlaşması ile oluşan birikintinin gaz basıncının sonucunda hızlı bir şekilde hareket etmesi ile çarpacağı yere bir yumruk etkisi yapması ile zarar verebilir.
- 5- Borulu reaktörlerde tortuların birikmesi ile reaktörün serbest hacminin azalmasına ve reaktörün kararlılık süresinin düşmesine neden olur.
- 6- Boru hatlarındaki deliklerin küçülmesi akışölçerlerin hatalı ölçüm yapmasına neden olur.

Gama transmisyon teknikleri özellikle bu bahsedilen tipteki problemlerin çözümünde kullanışlı bir yöntemdir. Aslında bu teknikler, fabrika çalışırken bize bütün istenilen ölçümleri sağlayabilmektedirler. Bu ölçüm sonuçları, oluşan problemin ne ciddiyette olduğunu ve buna karşı nasıl bir tedbir alınacağını, eğer durdurma gerekiyorsa gerekli işlemlerin uygulanmasını sağlamaktadır.

Boru ölçümlerinde özel olarak yapılmış olan bir sistem geliştirilmiştir. Böyle bir sistemin yapısı Şekil 3.7.'de verilmiştir. Burada kol uzunluğu ayarlanabilir olduğundan, çok geniş boru çaplarında ölçüm yapmak mümkündür. Dedektörle kaynak tam karşılıklı gelecek şekilde ayarlanıp dedektör çapı mesafesine getirilerek istenilen çapın veya kirişin ölçümü yapılabilir (Charlton, 1986)



Şekil 3.7. Boru Ölçümlerinde Kullanılan Sistem (Charlton, 1986).

Boru içinde tortunun olması durumunda, dedektöre gelen gama ışınlarında bir azalma söz konusu olmaktadır. Bununla birlikte, tek ölçüm bize tortunun boru içinde nasıl bir şekilde bulunduğunu bildiremez. Bun husus ancak, değişik yönlerden yapılan ölçümler sonucunda belirlenebilir. Burada, malzemenin yoğunluğunun bilinmesi gerekmektedir.

Birçok amaç için birçok detay gerekli olmamakla birlikte, kalınlığı santimetre cinsinden ifade etmek basit ve yeterlidir. Yüksek enerjili gama ışınlarında μ_{eff} sabit olarak kabul edilebilir. Bu durumda x/ρ değeri önemli olmaktadır (Charlton, 1986).

Kaplar için, borulardakinden farklı olarak özel kullanılan bir sistem bulunmamaktadır. Yine, kaynak ve dedektör uygun şekilde zırhlanmış ve kollime edilmiş olarak kabın iki tarafına yerleştirilip ve bu şekilde ölçüm alınmaktadır.

3.3.1.2. Korozyon Ölçümü ve Dedeksiyonu

Endüstriyel uygulamalarda, korozyon en sık karşılaşılan problemlerden biridir. Gelişmiş ülkelerin yıllık korozyon kaybı tutarları milli gelirlerinin % 3'ü kadardır. Fakat bu durum, üretimi durdurma ve program dışı çalışmaları durdurma durumundaki kayıplarla kıyaslanırsa hayli küçük kalmaktadır.

Burada önemli olan iki nokta, korozyonun sürekli olarak ölçümünün ve gerektiğinde nokta kontrolünün yapılabilmesidir. Bunun için ultrasonik muayene, Eddy Current Tekniği ve görsel ölçme teknikleri kullanılabilmektedir. Bahsedilen bu tekniklerin hiçbirisi diğerine tam olarak üstünlük sağlayıp genel kullanıma dönüşmüş teknikler değildir (Charlton, 1986).

Gama transmisyon tekniği zor ve düzensiz bölgelerde kullanışlı olan bir tekniktir. Özellikle, kaynak etrafındaki boru kalınlıklarının ölçümünde kullanılmaktadır. Ayrıca, ısı değiştiricilerin duvar incelmelerinin ölçümünde de gama transmisyon tekniği (özellikle Am-241 ve Cs-137) ile kullanılmaktadır.

Geiger sayacına gelen sayımlar alınıp test parçaları ile karşılaştırılarak, tüpteki yerel incelme hesaplanmaktadır. Bu teknik, metal tüplerin alaşımları için de kullanılabilir bir tekniktir. Bu teknikle 0.1 mm'ye kadar olan incelmeleri ölçmek mümkün olabilmektedir. Birçok fabrikada üretimin durdurulması, korozyona bağlı olarak yürütülmekte ve korozyon ölçümleri sürekli olarak gerçekleştirilerek gerekli tedbirler alınmaktadır.

3.3.1.3. Boşlukların Ölçümü

Boşlukların ölçülmesi, esas olarak kalınlık ölçümünün bir çeşidir. Yoğun yapılarda, gama transmisyon tekniği boşluk ölçümleri için kullanılan bir metod olmaktadır. Yine bu teknik, yüksek sıcaklıktaki boruların astarlarının ölçümünde de kullanılmaktadır.

Bu uygulamada, radyoizotop kaynağı çubuğun ucuna yerleştirilmekte, dedektör ise, borunun dış yüzeyinde hareket ettirilerek değişik eksenlerden ölçümler alınmaktadır. Geçen ışının arttığı bölgelerde boşluk olduğu böylece belirlenmektedir.

3.3.2. Seviye Ölçümleri

Bir çok kimya, metalurji, tekstil vb. endüstri dallarında elektromanyetik radyasyonla seviye ölçüm metodları yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. Özellikle iki fiziksel fazın birbirine karıştığı ve oranlarının önemli rol oynadığı büyük reaksiyon kazanlarında radyasyonla seviye ölçümü kullanılmaktadır.

3.3.3. Yoğunluk Ölçümleri

Gama ışınlarının soğurulması malzemenin yoğunluk kalınlığının bir fonksiyonu olduğundan, bu teknikle malzemenin yoğunluğunu ölçmek için malzemenin kalınlığının sabit tutulması gerekmektedir. Kapalı boru içinde akan sıvının yoğunluğunun bulunması, bu tür bir uygulamaya örnek olarak verilebilir.

Temel metallerin üretiminde örneğin maden cevheri işlenmesinde, ağır bileşenlerin ayırılmasında işleminde, gama transmisyon tekniği ile gama ışını yoğunluk ölçüm sistemleri kullanılmaktadır.

3.3.4. Ağırlık Ölçümleri

Endüstride karşılaşılan problemlerden biri de, katı haldeki malzemelerin işletmelerde, yürüyen bant üzerinde iletimi devam ederken ağırlıklarının ölçülmesidir. Bu ölçüm, malzemenin yoğunluk kalınlığına bağlı olarak, radyasyonu soğurma miktarının değerlendirilmesiyle yapılmaktadır. Yürüyen bandın üstünde veya altında Co-60 veya Cs-137 radyoizotop kaynağı ve bu radyoizotop kaynağın yerine göre, ters tarafta olacak şekilde yine altta ve üstte dedektör yer almaktadır. Malzeme dolu bant hareket ederken ölçümleme yapılabilir.

Radyasyonla ölçüm sisteminin, ölçümü yapılacak eleman ve herhangi bir mekanik bölüm ile teması yoktur. Bu husus, radyasyonla ölçüm tekniği için avantaj olarak nitelenmektedir.

Özellikle demir çelik sektöründe, yürüyen bant üzerinde fabrikaya giren malzemenin ağırlık ölçümleri gama transmisyon tekniği ile yapılabilir. Bu metodla yapılan ağırlık ölçümleri diğer metodlara göre şu avantajları içermektedir:

1. Sistemin kolay bir şekilde kurulabilmesi
2. Üretim gecikmelerine neden olmaksızın, basit şekilde ve sık sık kalibrasyon yapabilme olanağı
3. Mekanik bakıma daha az ihtiyaç duyması
4. Yürüyen bantın durumundan, eğiminden ve hareketinden bağımsız olması.



BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu yüksek lisans tezinde farklı malzemelere ilişkin numune kalınlıklarının radyasyonla ölçülmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla bir dizi deneysel çalışma yapılmıştır.

4.1. Deneyde Kullanılan Gama Kaynağının Tanıtımı

Deneysel çalışmalarda uygulamada sıkça kullanılan Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılmıştır. Cs-137 radyoizotop kaynağı da, nükleer uygulamalarda gama kaynağı olarak sıkça kullanılan bir radyasyon kaynağıdır.

Cs-137, yarı ömrü 30 yıl olup, radyoizotoplar içinde uzun yarı ömürlü olan bir kaynaktır. Bu radyoizotop kaynağın 0,662 MeV enerjide tek bir piki bulunmaktadır. Bu Yüksek Lisans Tezinde Cs-137 gama radyoizotop kaynağının kullanımı ile, deneylerde mono enerjetik (tek enerjili) bir kaynak ile çalışılmış olmaktadır.

Çalışılan Cs-137 radyoizotop kaynağına ilişkin bilgiler Tablo 4.1’de verilmektedir. Bu radyoizotop kaynağın fotoğrafı ise Şekil 4.1’de görülmektedir.

Tablo 4.1.
Deneylerde Kullanılan Cs-137 Radyoizotop Kaynağının Özellikleri

Gama Radyoizotop Kaynağı	Yarı Ömrü	Enerjisi (MeV) ve Bolluk Yüzdesi	Çalışılan Aktivite
Cs-137	30 yıl	0,662 (85)	11,100 μ Ci



Şekil 4.1. Çalışılan Cs-137 Radyoizotop Kaynağı

4.2. Deneyde Kullanılan Malzemelerin Tanıtımı

Deneyde kullanılan malzemeler özellikle endüstride kullanım alanı geniş olan malzemelerden seçilmiş olup, dört farklı malzeme ile deneyler gerçekleştirilmiştir.

Kullanılan malzemeler;

- Kurşun
- Çelik
- Pirinç
- Alüminyum

Bu malzemelerin genel özellikleri ve kullanım alanları aşağıdaki alt bölümlerde belirtilmiştir.

4.2.1. Kurşun

Deneyde kullanılan malzemelerden kurşun, nükleer teknolojiye çoğu kez zırh malzemesi olarak kullanılan bir elemandır. Bir başka deyişle, nükleer güvenlik açısından önemli bir malzemedir.

Kurşuna ait genel özellikler ise Tablo 4.2.'de, deneylerde kullanılan kurşun referans malzemeye ilişkin özellikler ise, Tablo 4.3'te, verilmektedir.

Tablo 4.2.
Kurşunun Genel Özellikleri

Sembol	Pb
Atom Numarası	82
Atom Ağırlığı	207,2 g/mole
Erime Noktası	600,65 °K
Kaynama Noktası	2013 °K
Yoğunluğu	11,3437 g/cm ³

Tablo 4.3.
Deneylerde Kullanılan Kurşun Referans Malzemeye İlişkin Özellikler

Referans Malzeme	Kalınlık (mm)
Q	1,08
R	1,67
S	3,20
T	6,55

4.2.2. Çelik

Çelik malzemeler numerik bir indekisleme sistemine göre sıralanmıştır. Bu sistem işlenmiş karbon çelikleri, alaşımlı ve paslanmaz çeliklerin gösterimi için, yarı bitirilmiş dövme, sıcak tavlama, soğuk bitirilmiş çubuk, telgraf teli çubuğu, dikişsiz boru biçiminde parçalar, yapısal olarak levhalar, şeritler ve birbirine kaynak yapılmış borular için kullanılabilir.

Deneyde kullanılan çelik, 1030 çeliğidir. Kullanılan çelikler, 1'er mm kalınlık farkı ile temin edilmiş numunelerdir. 1030 Çeliği, ortalama % 0,30 oranında karbon içeren çeliktir. Bu çelikler ısıtıl işlemlerle veya soğuk çalışmayla sertleştirilip gerilebilmektedir. Otomotiv sanayiinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Ayrıca, yapılarında düşük karbon ve manganez bulunduran bu çelikler imalat sektöründe geniş bir uygulama alanı bulmaktadırlar. Yapı çelikleri arasında yer alan 1030 Çeliğine ilişkin genel özellikler Tablo 4.4'da verilmektedir (**Durmaz, 2002**).

Tablo 4.4.
1030 Çeliğinin Genel Özellikleri

Numaralandırma Sistemi		Kimyasal Madde Aralığı ve Limitleri (%)			
UNS	SAE-AISI	C	Mn	Pmax	Smax
G10300	1030	0,28 – 0,34	0,60 – 0,90	0,040	0,050

Bu çelikler kullanılmadan önce sertleştirme, normalizasyon, ısıtma ve gerilme işlemlerinden geçirilmektedirler. Demir dövme için kullanılabilirler. Bu çeliklere ilişkin boyut ve mekaniksel özellikler ısıtıl işlemlerden sonra kesinlik kazanmaktadır.

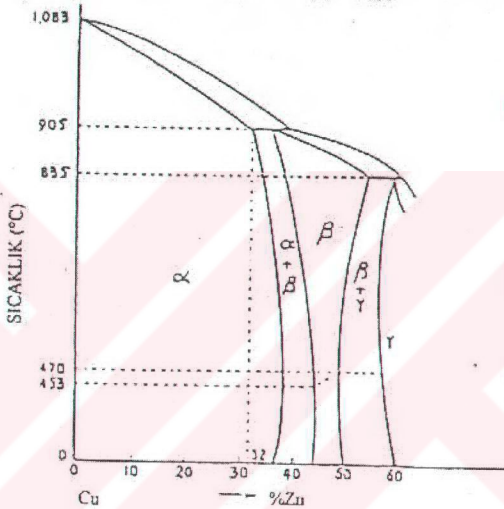
İşlenme kolaylığı nedeniyle küçük demirhanelerde kullanımda tercih edilmektedir. Genellikle küçük demir yüzeyli eleman malzemesi olarak kullanılmaktadır. Yine makine parçaları yapımında geniş bir uygulama alanı bulmaktadırlar.

Sanayide yaygın uygulama alanı bulan bu çeliklerin kırılgan olabilmeleri söz konusudur. Kırılmalarını önlemek için hızlı ısıtma ve soğutma işlemlerinden kaçınılması gerekmektedir(**Durmaz, 2002**).

4.2.3. Pirinç

Pirinçler genel olarak bakır-çinko alaşımı olarak tanımlanmaktadır. Bu alaşımlar mekanik mukavemetleri, renkleri işlenebilme kolaylıkları ve belli korozyon türlerindeki dirençlerinden dolayı endüstride tercih edilen malzemelerdendir (Akgün, 2000).

Bakır- çinko ikili sisteme ait faz diyagramı Şekil 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.2. Bakır-Çinko Denge Diyagramı.

Bakır-çinko ikili faz diyagramında temelde üç ayrı tip faz bulunmaktadır. Bunlar alfa, beta ve gama fazlarıdır. Bakır- çinko alaşımları yaklaşık % 37 çinko içeriğine kadar sadece alfa karışık kristal yapılı tek fazlı homojen alaşımlardır. Kristal yapıları yüzey merkezli kübik kafes yapısına sahip olduğundan dolayı kolay deform edilerek talaşsız şekillendirilebilmektedirler.

Alaşımin çinko içeriği arttıkça mukavemeti de artar. En yüksek deformasyon % 28 çinkolu pirinçte görülür. Alfa fazı bakır içerisinde çinko çözünürlüğünün düşük olduğu fazdır. İyi mukavemet ve bunun yanı sıra iyi süneklik özelliklerinin bir arada olduğu faz tipidir. Ayrıca korozyona karşı direnci oldukça iyidir.

Gama fazı ise, % 45 çinkodan sonra görülmeye başlar ve ne sıcakta ne de soğukta işlenebilme özelliğine sahiptir (Akgün, 2000). Pirincin genel özellikleri Tablo 4.5’de verilmektedir (Soluk, 2003). Kullanılan pirinçler, 1’er cm kalınlık farkı ile temin edilmiş numunelerdir.

Tablo 4.5.
Pirincin Genel Özellikleri

Fiziksel Özellikler				Kimyasal Özellikleri (%)
Isıl İletkenlik Katsayısı			Yoğunluk (kg/m³)	
0-20 °C	100 °C	200 °C		
102,34	117,47	133,74	8600	90 Cu 10 Zn

4.2.4. Alüminyum

Alüminyum atom numarası 13 ve kütlesi 26,98 olan bir elementtir. Doğal olarak ²⁷Al tek izotop olmasına karşın yapay olarak çeşitli radyoaktif izotoplarını elde etmek mümkün olmaktadır.

Alüminyumun nükleer özellikleri, nükleer uygulamalarda yaygın kullanım alanı oluşturmaktadır. Doğal alüminyumun termal nötronlar için 0.21 barn gibi düşük bir tesir kesitine sahip olması ve bunun yanında nötronla etkileşmelerinde radyoaktif ürünlerin kısa yarıömre sahip olması alüminyumu nükleer reaktörlerde uygulamaya elverişli malzemelerden biri haline getirmiştir. Özellikle uranyum yakıt elemanlarının içine konulduğu tüpler alüminyum malzemeden elde edilmektedir (Van Horn, 1967). Alüminyuma ilişkin genel özellikler Tablo 4.6’da verilmektedir. Tablo 4.7’de ise çalışılan Alüminyum numunelerin özellikleri görülmektedir.

Tablo 4.6.
Alüminyumun Genel Özellikleri

Sembol	Al
Atom Numarası	13
Atom Ağırlığı	26,98 akb
Erime Noktası	933 K
Kaynama Noktası	2792 K
Yoğunluğu	2,70 g/cm ³

Tablo 4.7.
Çalışılan Alüminyum Numunelerin Özellikleri

Numune No	Alüminyum	Kalınlık (mm)
1	G	0,48
2	H	0,60
3	I	0,76
4	J	0,95
5	K	1,21
6	L	1,55
7	M	1,91
8	N	2,19
9	O	2,39
10	P	3,14

4.3. Deneyde Kullanılan Cihazlar ve Elemanlar

Deneyisel çalışmalar sırasında bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Söz konusu deney düzeneğinde; radyoizotop kaynaklar ve sayım için gerekli cihaz ve elemanlar ile çalışılan numune malzemeler kullanılmıştır. Ayrıca koruyucu elemanlar da deney

düzeneği içinde yer almıştır. Malzemeler ve radyoizotop kaynaklar dışında deneyde kullanılan elemanlar;

- Sintilasyon Dedektörü
- Çok Kanallı Analizör
- Kolimatör
- Zırh Elemanı Tuğlalar

olarak sayılabilir.

4.3.1. Sintilasyon Dedektörü

Deneylerde, Nucleus marka Talyumla aktive edilmiş NaI (TI) kristalli bir sintilasyon dedektörü kullanılmıştır. Sayım verimi yüksek ve kolay kullanımı olan bu dedektör deneylerimizde tercih edilmiştir. Kullanılan sintilasyon dedektörü şekil 4.3'de görölmektedir.



şekil 4.3. Deneylerde Kullanılan Sintilasyon Detektörü

4.3.2. Çok Kanallı Analizör

Deneysel çalışmalarda, Nucleus marka 256 kanallı, 800A model çok kanallı analizör kullanılmıştır. Çok kanallı analizör, ön yükseltici, yükseltici, güç kaynağı ve sayıcı

gibi ünitelerini tek bir ünite halinde içinde bulundurmaktadır. Üzerindeki monitörü ile birlikte kullanılan çok kanallı analizör Şekil 4.4’da görülmektedir.



Şekil 4.4. Çok Kanallı Analizör

4.3.3. Kolimatör

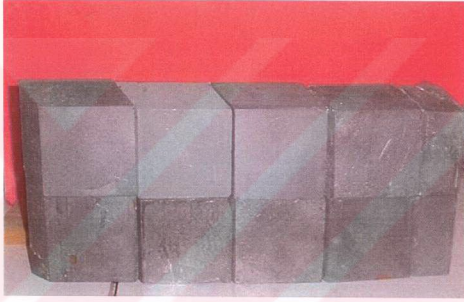
Gama Radyoizotop kaynaklar deneylerde bir kolimatör ile beraber kullanılmıştır. Kolimatör kurşundan imal edilmiş olup, biçimi de gama radyoizotop kaynakların yerleştirilmesi için uygundur. Şekil 4.5’de kolimatörün fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 4.5 Kolimatör

4.4.4. Zırh Elemanı Tuğlalar

Zırh elemanı tuğlalar, nükleer güvenlik şartlarını sağlama üzere kullanılmışlardır. Böylelikle, deneysel çalışma şartları için radyolojik güvenlik açısından uygun şartlar tesis edilmeye çalışılmıştır. Özel imal edilmiş birbirine geçmeli olarak yerleştirilebilen kurşun tuğlaların birbiri üzerine yerleştirilmesi ile radyasyona karşı bariyer tesis edilmiştir. Şekil 4.6'da kurşun zırh elemanı tuğlalar ile tesisi edilmiş bariyer görülmektedir.



Şekil 4.6. Kurşun Tuğlalarla Oluşturulmuş Bariyer

4.4. Deney Düzenegi

Deney düzenegi; bir önceki Bölüm 4.3'de tanıtilan elemanlar ile numune elemanların birbirine göre uygun şekilde yerleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Böylelikle, deneysel çalışmaların gerçekleştirilebilmesi için sayım sistemini oluşturan çok kanallı analizöre bağlı zırhlı dedektör ile aynı eksende olacak şekilde yerleştirilen içine radyoizotop kaynak konmuş kolimatör ve bunların arasına yerleştirilen numuneler deney düzenegi olarak kullanılmıştır. Ayrıca, nükleer güvenliği sağlamak için kullanılan koruyucu zırh elemanı tuğlalar da deney düzenegi içinde yer almıştır. Şekil 4.9'da deney düzenegi genel bir görüntü olarak verilmektedir.

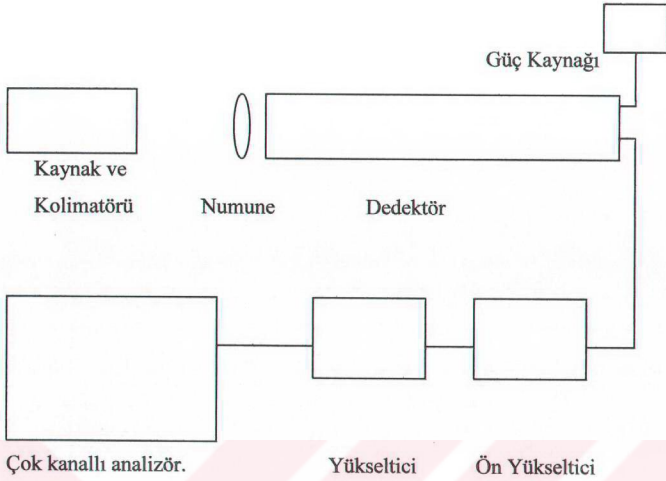


Şekil 4.7. Deney Düzenəğinin Genel Görüntüsü

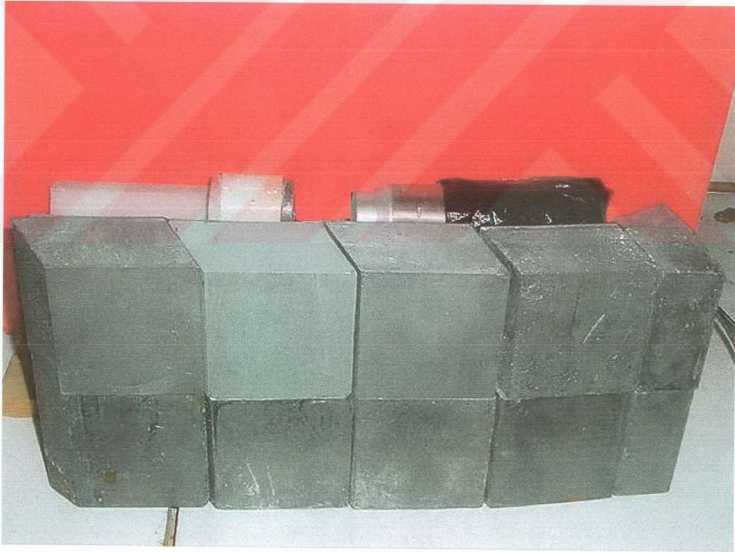
4.5. Deney Geometrisi

Malzemelerin kalınlık tayinlerine ilişkin yapılan deneylerde ölçümlerin sağlıklı yapılabilmesi için deney geometrisi hassas bir şekilde oluşturulmuştur.

Malzemelerin ölçümlerinde her malzemenin pozisyonu aynı olacak şekilde ayarlanmış olup malzemeler sayıcının hemen önüne konularak sayımlar gerçekleştirilmiştir. Her bir malzeme ve her bir kalınlık için kaynak ve dedektörün yeri sabit tutulmuştur. Deney düzenəğine ilişkin deney geometrisi şematik olarak Şekil 4.8’de görölmektedir. Şekil 4.9’da ise fotoğraf olarak kaynak-dedektör geometrisi görölmektedir.



Şekil 4.8. Deney Düzeneğine İlişkin Deney Geometrisi



Şekil 4.9 Kaynak – Dedektör Geometrisi

4.6. Deneylerin Yapılışı

Deneyler her bir kaynak için ve her bir malzeme için ayrı ayrı yapılmıştır. Böylelikle, malzeme ve kaynak bağlamında kombinasyonel olarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

Malzeme kalınlıkları, kurşun dışında eldeki numune kalınlıkları oluşturulmuştur. Kurşun için ise kendi kalınlıkları ile beraber, üst üste konarak kombinasyonel kalınlıklar olarak elde edilmiştir. Kurşun için markalama ve kalınlıkları Tablo 4.8'de verilmektedir.

Tablo 4.8
Kullanılan Kurşun Kalınlıkları ve Markalaması

Markalama No	Kalınlık(mm)
P1	1,08
P2	1,67
P3	2,75
P4	3,20
P5	4,28
P6	5,95
P7	6,55
P8	7,63
P9	8,22
P10	9,30
P11	9,75
P12	10,83
P13	12,50

Deneylere başlanmadan doğal ortam radyasyonu (background) ölçülmüştür. Doğal ortam sayımları en az üçer kez alınmıştır. Alınan doğal sayımların ortalaması alınarak doğal sayım tayini yapılmıştır.

Daha sonra çalışılacak radyoizotop kaynak yerleştirilmiştir. Radyoizotop kaynak yerine sabitlendikten sonra, numune malzemeler yerleştirilmeden sayımlar alınmıştır. Bu sayımlar, deney geometrisine ilişkin olarak o radyoizotop kaynağa için başlangıç sayımı (I_0) olarak nitelenmiştir. Bu sayımlar da en az üç kez olmak üzere alınmış ve ortalama başlangıç sayımları belirlenmiştir.

Alınan sayımlardan ortam radyasyonu çıkarılarak net sayımlar elde edilmiştir. Net sayımların ortalamaları hesaplanarak ortalama sayım elde edilmiştir.

Rasyonel değerlendirmelerin yapılabilmesi için başlangıç sayımlarına göre bağıl sayım (I/I_0) tayini yoluna gidilmiştir. Daha sonra ise, standart sapmalar Microsoft Excel programı yardımı ile hesaplanmıştır.

Farklı kalınlık ve farklı kaynaklarla yapılan deneyler ile elde edilen deneysel sonuçlar kullanılarak, her radyoizotop kaynak ile çalışılan her metal cinsi için kalibrasyon eğrileri çizilmiştir. Bundan sonra, kalibrasyon eğrileri çıkarmak için kullanılmayan, farklı kalınlıktaki metal numuneler için deneyler yapılmış ve sayım sonuçlarından hareketle, kalibrasyon eğrileri kullanılarak kalınlık tayini yapılmıştır.

4.7. Mikrometre İle Kalınlık Tayini

Referans olmayan malzemelerin kalınlıkları mikrometre yardımı ile tayin edilmiştir. Bu amaçla MİTUTOYO Digimatic Micrometer marka 0-25 ($\pm 0,0005$) mm arasında ölçüm yapabilen bir mikrometre ile çalışılmıştır. Deneylerde kullanılan mikrometrenin fotoğrafı Şekil 4.10'da görülmektedir.

Mikrometre ile elde edilen sonuçlarla gama transmisyon tekniği uygulanarak tayin edilen kalınlıklar karşılaştırılarak irdelenmiştir.



Şekil 4.10 Deneylerde Kullanılan Mikrometre

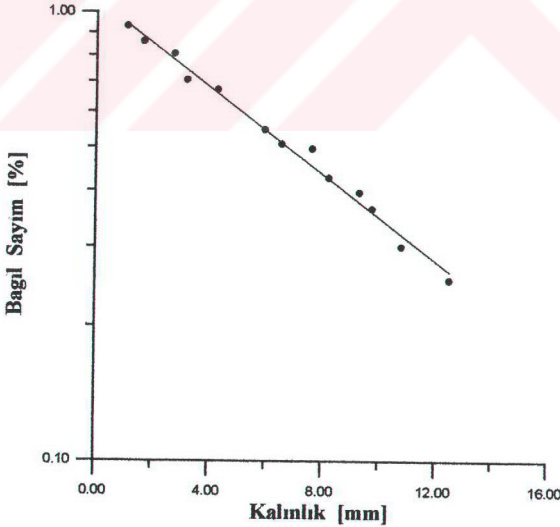
BÖLÜM 5

DENEY SONUÇLARI

Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında amaçlanan kalınlık tayini için, Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile dört farklı metal için yapılan deneysel çalışmalara ilişkin alınan sonuçlar aşağıda verilmektedir.

5.1. Cs-137 Radyoizotop Gama Kaynağı Kullanılarak Kurşun İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak, kurşun için gerçekleştirilen deneylerin sonuçları, Tablo 5.1’de verilmektedir. Kullanılan kalınlıklarla kurşun için kalınlık için çıkarılan kalibrasyon eğrisi ise Şekil 5.1’de görülmektedir.



Şekil 5.1 Cs-137 Kaynağı Kullanılarak Kurşun İçin Çizilen Kalibrasyon Eğrisi

Tablo 5.1

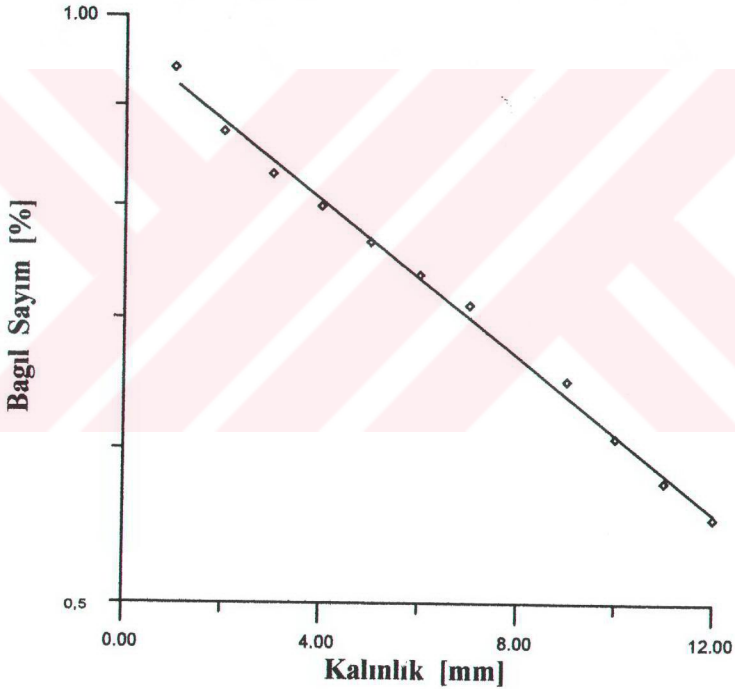
Kurşun İçin Cs-137 Radyoizotop Kaynağı ile Yapılan Deneylerin Sonuçları

Numunesiz Net Sayım (I_0): 3497 ± 14 Doğal Sayım: 6 ± 1

Malzeme Kalınlığı (mm)	Sayım (± % 10)							Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağıl Sayım (I/I ₀) (± % 10)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım					
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Net Sayım			
1,08	3253	3247	3260	3254	3253	3247	3249	4	0,929	
1,67	3010	3004	3003	2997	3017	3011	3004	7	0,859	
2,75	2836	2830	2815	2809	2821	2815	2818	11	0,806	
3,20	2494	2488	2474	2468	2445	2439	2465	25	0,705	
4,28	2353	2347	2354	2348	2346	2340	2345	4	0,671	
5,95	1912	1906	1920	1914	1924	1918	1912	6	0,547	
6,55	1776	1770	1781	1775	1793	1787	1777	9	0,508	
7,63	1738	1732	1737	1731	1745	1739	1734	4	0,496	
8,22	1492	1486	1505	1499	1503	1497	1494	7	0,427	
9,30	1385	1379	1396	1390	1391	1385	184	5,5	0,396	
9,75	1288	1282	1278	1272	1272	1266	1273	8	0,364	
10,83	1057	1051	1052	1046	1056	1050	1049	3	0,300	
12,50	886	880	897	891	891	885	885	6	0,253	

5.2. Cs-137 Radyoizotop Gama Kaynağı Kullanılarak Çelik İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak, çelik için gerçekleştirilen deneylerin sonuçları, Tablo 5.2’de verilmektedir. Kullanılan kalınlıklarla çelik için kalınlık için çıkarılan kalibrasyon eğrisi ise Şekil 5.2’de görülmektedir.



Şekil 5.2. Cs-137 Radyoizotop Kaynağı Kullanılarak Çelik İçin Çizilen Kalibrasyon Eğrisi

Tablo 5.2.

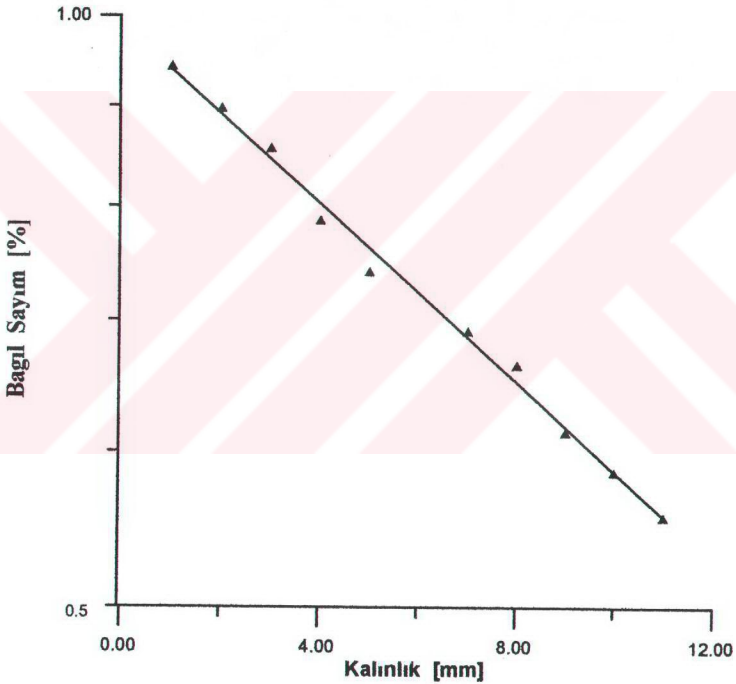
Çelik İçin Cs-137 Radyoizotop Kaynağı ile Yapılan Deneylerin Sonuçları

Numunesiz Net Sayım (I_0): 3497 $\pm$ 14Doğal Sayım: 6 $\pm$ 1

Malzeme Kalınlığı (cm)	Sayım (± % 10)						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağıl Sayım (I/I ₀) (± %10)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım			
1	3320	3314	3342	3336	3335	3229	3293	11	0,941
2	3047	3041	3074	3068	3058	3052	3053	14	0,873
3	2930	2924	2902	2896	2896	2890	2903	18	0,830
4	2789	2783	2808	2802	2806	2800	2795	10	0,799
5	2680	2674	2684	2678	2692	2686	2679	6	0,766
6	2575	2569	2584	2578	2593	2587	2578	9	0,737
7	2494	2488	2495	2489	2478	2472	2485	12	0,711
9	2277	2271	2279	2273	2283	2277	2274	3	0,650
10	2137	2131	2144	2138	2120	2114	2128	12	0,608
11	2037	2031	2020	2014	2018	2012	2019	10	0,577
12	1935	1929	1939	1933	1942	1936	1933	4	0,553

5.3. Cs-137 Radyoizotop Gama Kaynağı Kullanılarak Pirinç İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak, pirinç için gerçekleştirilen deneylerin sonuçları, Tablo 5.3'de verilmektedir. Kullanılan kalınlıklarla pirinç için kalınlık için çıkarılan kalibrasyon eğrisi ise Şekil 5.3'de görülmektedir.



Şekil 5.3. Cs-137 Radyoizotop Kaynağı Kullanılarak Pirinç İçin Çizilen Kalibrasyon Eğrisi

Tablo 5.3.

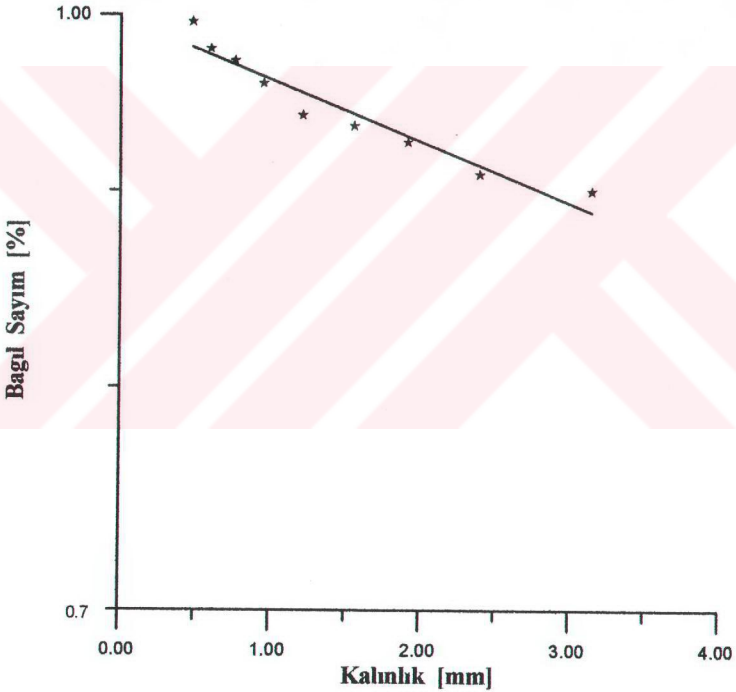
Pirinç için Cs-137 Radyoizotop Kaynağı ile Yapılan Deneylerin Sonuçları

Numunesiz Net Sayım (I_0): 3497 $\pm$ 14Doğal Sayım: 6 $\pm$ 1

Malzeme Kalınlığı (mm)	Sayım (± % 10)							Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağlı Sayım (I/I ₀) (± %10)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım					
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım				
1	3303	3287	3312	3306	3304	3298	3300	5	0,943	
2	3147	3141	3143	3137	3152	3146	3141	5	0,898	
3	2998	2992	2995	2989	3015	3009	2997	11	0,857	
4	2774	2768	2762	2756	2740	2734	2753	17	0,787	
5	2593	2587	2598	2592	2596	2590	2589	3	0,741	
7	2410	2404	2429	2423	2431	2425	2417	12	0,691	
8	2312	2306	2346	2340	2330	2324	2323	17	0,664	
9	2162	2156	2147	2141	2149	2143	2146	8	0,614	
10	2042	2036	2061	2055	2061	2055	2049	11	0,586	
11	1963	1957	1947	1941	1937	1931	1943	13	0,556	

5.4. Cs-137 Radyoizotop Gama Kaynağı Kullanılarak Alüminyum İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak, alüminyum için gerçekleştirilen deneylerin sonuçları, Tablo 5.4’de verilmektedir. Kullanılan kalınlıklarla kurşun için kalınlık için çıkarılan kalibrasyon eğrisi ise Şekil 5.4’de görülmektedir.



Şekil 5.4. Cs-137 Radyoizotop Kaynağı Kullanılarak Alüminyum İçin Çizilen Kalibrasyon Eğrisi

Tablo 5.4.

Alüminyum İçin Cs-137 Radyoizotop Kaynağı İle Yapılan Deneylerin Sonuçları

Numunesiz Net Sayım (I_0): 3497 ± 14 Doğal Sayım: 6 ± 1

Malzeme Kalınlığı (mm)	Sayım (± % 10)							Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağıl Sayım (I/I ₀) (± %10)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım					
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Net Sayım			
0,48	3490	3484	3488	3482	3491	3485	3485	3484	2	0,996
0,60	3432	3426	3438	3432	3433	3427	3427	3428	3	0,980
0,76	3406	3400	3411	3405	3408	3402	3402	3402	3	0,973
0,95	3357	3351	3361	3355	3375	3369	3369	3358	10	0,960
1,21	3302	3296	3295	3289	3299	3293	3293	3293	4	0,942
1,55	3271	3265	3286	3280	3280	3274	3274	3273	8	0,936
1,91	3249	3243	3256	3250	3242	3236	3236	3243	7	0,927
2,39	3189	3183	3178	3172	311	3185	3185	3180	7	0,909
3,14	3161	3155	3155	3149	3147	3141	3141	3148	7	0,900

Tablo 5.5.
Cs-137 Radyoizotop Kaynağı ile Kalınlığı Tayin Edilmek İstenen
Numuneler İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları

Numunesiz Net Sayım (I_0): 3497 $\pm$ 14

Doğal Sayım: 6 $\pm$ 1

Malzeme	Sayım (± % 10)						Standart Sapma	Net Ortalama Sayım	Bağlı Sayım (I/I ₀) (± %10)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım			
Kurşun	2089	2083	2096	2090	2108	2102	10	2092	0,598
Çelik	2382	2376	2385	2379	2386	2380	2	2378	0,680
Pirinç	2525	2519	2520	2514	2507	2501	9	2511	0,718
Alüminyum	3207	3201	3219	3213	3211	3205	6	3206	0,917

5.5. Kalınlığı Tayin Edilmek İstenen Numunelerle Elde Edilen Deney Sonuçları

Cs-137 gama radyoizotop kaynağı ile dört farklı metal (kurşun, çelik, pirinç ve alüminyum) için çıkarılan kalibrasyon eğrileri ile kalınlık tayini yapılması amacıyla kalınlığı tayin edilmek istenen aynı malzemeden numunelerle gama transmisyon tekniği ile deneyler yapılmıştır. Söz konusu numuneler için elde edilen deney sonuçları Tablo 5.5’de verilmektedir.

Elde edilen deney sonuçları ile Şekil 5.1 –Şekil 5.4 kalibrasyon eğrilerinden numune kalınlıkları tayin edilmiştir. Gama transmisyon tekniği ile tayin edilen kalınlıklar Tablo 5.6’da görülmektedir.

Tablo 5.6.
Gama Transmisyon Tekniği ile Tayin Edilen Numune Kalınlıkları

Malzeme	Kalınlık (mm) ($\pm$ %10)
Kurşun	5,00
Çelik	7,90
Pirinç	6,10
Alüminyum	2,25

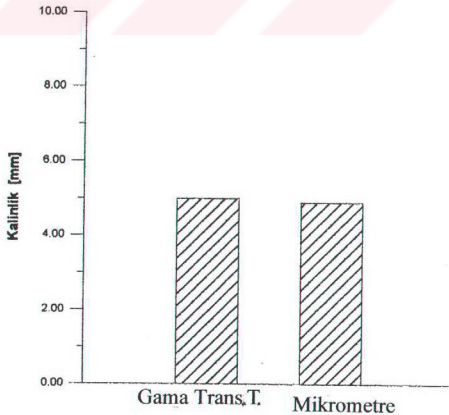
5.6. Gama Transmisyon Tekniği İle Tayin Edilen Numune Kalınlıklarının Sınanması

Gama transmisyon tekniği ile kalınlığı tayin edilen numunelerin, mikrometre ile de kalınlıkları tayin edilmiştir. Mikrometreyle tayin edilen kalınlıklar ile, gama transmisyon tekniği ile tayin edilen kalınlıkların karşılaştırması ve fark değerlendirmesi Tablo 5.7’de verilmektedir.

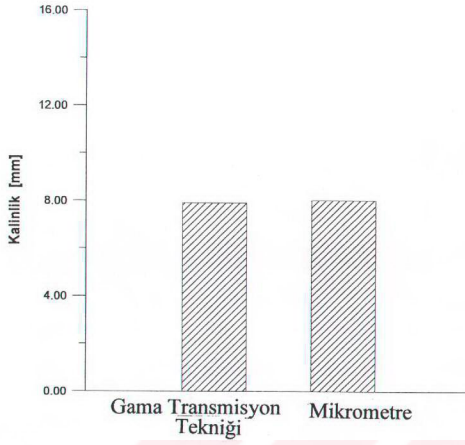
Tablo 5.7.
Gama Transmisyon Tekniği ve Mikrometre ile Tayin Edilen
Numune Kalınlıkları

Malzeme	Gama Transmisyon Tekniği İle Tayin Edilen Kalınlık (mm) ($\pm$ % 10)	Mikrometre İle Tayin Edilen Kalınlık (mm) ($\pm$ 0,0005 mm)	Fark (%)
Kurşun	5,00	4,891	+ 2,2
Çelik	7,90	8,012	- 1,4
Pirinç	6,10	6,020	+ 1,3
Aluminyum	2,25	2,191	+ 2,7
Ortalama Fark (%)			+ 1,2
Ortalama Mutlak Fark (%)			1,9

Tablo 5.7'den hareketle gama transmisyon tekniği ve mikrometre ile tayin edilen kalınlıkların grafikleri sırasıyla kurşun ve çelik için çizilen grafikler Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da görölmektedir.

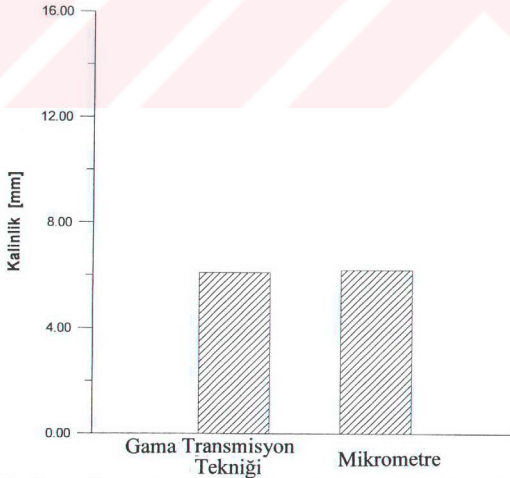


Şekil 5.8 Gama Transmisyon Tekniği ve Mikrometre İle Kurşun İçin Tayin Edilen Kalınlıklar

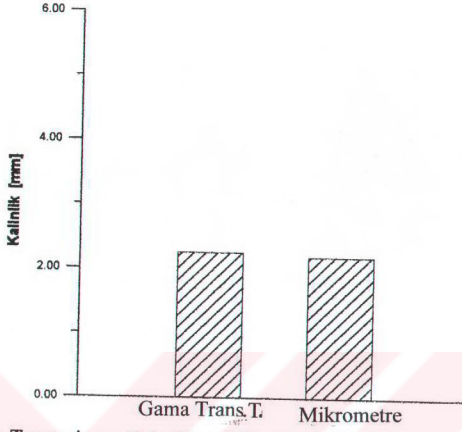


Şekil 5.6 Gama Transmisyon Tekniği ve Mikrometre İle Çelik İçin Tayin Edilen Kalınlıklar

Tablo 5.7’de gama transmisyon tekniği ve mikrometre ile tayin edilen kalınlıkların grafikleri sırasıyla pirinç ve alüminyum için çizilen grafikler Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de görülmektedir.

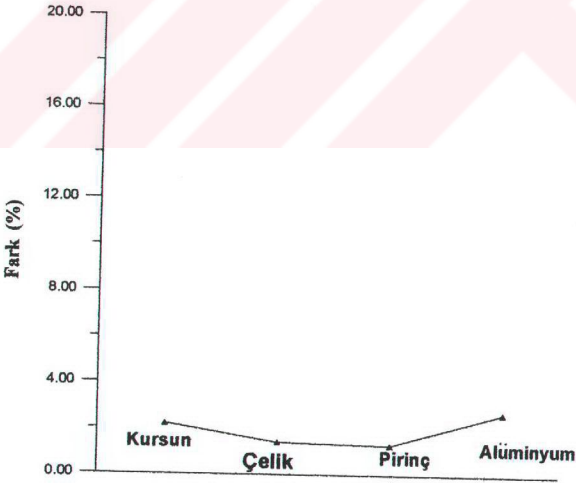


Şekil 5.7. Gama Transmisyon Tekniği ve Mikrometre İle Pirinç İçin Tayin Edilen Kalınlıklar



Şekil 5.8 Gama Transmisyon Tekniği ve Mikrometre ile Alüminyum İçin Tayin Edilen Kalınlıklar

Mutlak farka ilişkin olarak çizilen grafik ise Şekil 5.9’da görülmektedir.



Şekil 5.9. Mutlak Fark Grafiği

Şekil 5.5 – Şekil 5.8’den görüldüğü üzere, (gama transmisyon tekniği ve mikrometre ile) iki farklı yöntemle gerçekleştirilen kalınlık tayinlerinin birbirine hayli yakındır. Aradaki fark daima % 3’ün altında olmuş, ortalama fark ve ortalama mutlak fark ise % 2’nin altında kalmıştır. Bu durum, gama transmisyon tekniği ile elde edilen sonuçların güvenilirliğinin bir kanıtı olmaktadır.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu Yüksek Lisans Tezinde, gama transmisyon tekniği ile Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak farklı metaller için kalınlık tayini yapılmasına ilişkin deneysel bir inceleme amaçlanmıştır. Bu amaçla, öncelikle, metal numuneler oluşturulması yoluna gidilmiştir.

Çalışılacak metaller olarak; kurşun, çelik, pirinç ve alüminyum seçilmiştir. Çalışılan dört metal de (kurşun, çelik, pirinç ve alüminyum) endüstride sıkça kullanılan malzemelerdir. Gama transmisyon tekniği ile kalınlık ölçümü, çoğu kez üretim bandında, bir başka deyişle sürekli üretim şartlarında kullanımı tercih edildiği için, sanayide üretimin ana malzemeleri olan söz konusu dört metal ile çalışılması tercih edilmiştir.

Kurşun ve alüminyum numuneler, referans malzeme olan kurşun ve alüminyum setten kullanılmıştır. Buna karşılık, çelik ve pirinç numuneler, piyasanın tercih ettiği malzemeler arasından seçilmişlerdir. Böylelikle, uygulamaya yönelik bir çalışma yapılması mümkün olabileceği düşünülmüştür.

Çalışılan radyoizotop kaynak Cs-137 radyoizotop kaynağıdır. Bu kaynağın seçilmesinin nedeni, öncelikle, gama radyoizotop kaynağı olmasıdır. Zira, metaller ile çalışılması hedeflenmiş olduğundan, metallere nüfuz edebilecek, uygun bir radyasyon kaynağı ile çalışılması gerekmektedir.

Ayrıca, Cs-137 gama radyoizotop kaynağı, nükleer uygulamalarda kullanımı tercih edilen bir kaynaktır. Bu tercih sebeplerinden biri de uzun yarı ömürlü olmasıdır. Dolayısıyla, ölçüm sırasındaki ömür kısalmasından dolayı olabilecek aktivite düşümü, ihmal edilebilecek değerlerdedir.

Tercih sebeplerinden bir diğeri enerji seviyesi ile ilgilidir. Cs-137 radyoizotop kaynağının 667 keV olan enerji seviyesi çalışılan metallerin, çalışılan kalınlıkları için uygunluk göstermektedir.

Bir farklı tercih sebebi ise, Cs-137 gama radyoizotop kaynağının gama enerjisi madde ile etkileşim olaylarından çift olayının olmayacağıdır. Bu da daha yeknesak ve bir madde ile etkileşim olayı beklentisi içinde olunacağı anlamına gelmektedir ki; bu husus nükleer uygulamalarda tercih edilmektedir.

Radyoizotop kaynak ve numuneler hazırlandıktan sonra, tüm numunelerle (Bölüm 4 içinde detayı verildiği üzere) çalışmaya uygun bir deney düzeneği kurularak, sabit deney geometrisinde deneyler titizlikle gerçekleştirilmiştir. Alınan sonuçlar ise Bölüm 5 içinde verilmiştir.

Deneylerden elde edilen sonuçlar, Tablo 5.1 – Tablo 5.4’de her malzeme için birarada verilmiştir. Bu sonuçlardan hareketle, her metal için kalınlığa ve bağıl sayıma bağlı olarak kalibrasyon eğrileri çizilebilmiştir (Şekil 5.1 – Şekil 5.4).

Kalibrasyon eğrilerinin genel karakteristiği, birbirine benzerdir. Söz konusu kalibrasyon eğrileri, kalınlıkla azalan biçimde olup, bu karakter, gama ışınlarının madde ile etkileşimin doğasına uygundur.

Çizilen kalibrasyon eğrilerinin sınanması bakımından, (kalibrasyon eğrisinin çıkarılması için kullanılmamış) aynı malzemeden numuneler için kalınlık tayini amaçlı sayımlar alınmıştır. Çalışılan dört metal olan kurşun, çelik, pirinç ve alüminyum için çalışmalar gerçekleştirilmiş ve Tablo 5.5’de alınan sayım sonuçları bir arada verilmiştir.

Kalınlık tayini yapılacak bu numuneler için elde edilen bağıl sayım değerlerinden her malzeme için çizilmiş kalibrasyon eğrileri (Şekil 5.1 – Şekil 5.4) kullanılarak, kalınlık tayin edilmiştir. Her çalışılan numune için tayin edilen numune kalınlıkları Tablo 5.6’da verilmiştir.

Söz konusu, numunelerin (gama transmisyon tekniğinden ayrı olarak) mikrometre ile kalınlık tayinleri de yapılmış ve gama transmisyon tekniği ile elde edilen kalınlık sonuçları ile mukayeseli olarak irdelenmiştir (Tablo 5.7)

Yapılan irdeleme sonucunda, gama transmisyon tekniği ile tayin edilen kalınlık ile mikrometre ile tayin edilen kalınlık değerlerinin birbirine hayli yakınsadığı görölmüştür. Aradaki fark kabul edilebilir mertebede olduğu görölmüştür. Bu husus, gama tarnsmisyon tekniği ile kalınlık tayininin hassasiyetini ve çıkarılan kalibrasyon eğrilerinin güvenilirliğini göstermektedir.

Öz olarak, ifade etmek gerekirse; bu Yüksek Lisans Tezi ile, gama transmisyon tekniği ile Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak kalınlık tayini yapılmış ve kalibrasyon eğrileri çıkarılarak, uygulamaya yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- Akgün, O.**, 2000. Pirinç Alaşımlarının Hazırlanmasında Flaksların Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Baltacıoğlu, N.**, 1995. Gama Geçirgenlik Tekniği ile Yoğunluk Tayini, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Bilge, A.N.**, 1985. Nükleer Tekniklerin Endüstriye Uygulanması, TAEK, Bilimsel Yayın, No:1, İstanbul.
- Bilge, A.N., Tuğrul, A.B.**, 1990. Endüstriyel Radyografinin Esasları, İ.T.Ü. Rektörlük Ofset Atölyesi, İstanbul.
- Bilge, A.N.**, 1991. Endüstride Nükleer Teknikler, İ.T.Ü. Rektörlüğü 1445, İTÜ Rektörlüğü Ofset Baskı Atölyesi.
- Cameron, J.F., Clayton, C.G.**, 1971. Radioisotope Instruments, Vol. 1 Pergamon Press, Oxford.
- Charlton, J.S.**, 1986. Radioisotope Techniques For Problem Solving in Industrial Process Plants.
- Durmaz, H.**, 2002. Radyasyon Zırhlaması Amacıyla Karbonlu Yapı Çeliklerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Földiák, G.**, 1986. Industrial Application of Radioisotopes, Elsevier, Amsterdam.
- Gardner, R.P., Ely, R.L.**, 1967. Radioisotopes Measurement Applications in Engineering, Reinhold Publishing Company, New York
- Halmshaw, R.**, 1991. Non-Destructive Testing. E. Arnold, London
- Halmshaw** 1995. Industrial Radiology: Theory and Practice, London: Chapman & Hall.
- Horn, Van.K.R.**, 1967. Aluminum (Vol. I. Properties, Physical Metallurgy and Phase Diagrams) American Society for Metals, Ohio.
- Mix, P.E.**, 1987. Introduction to Non-Destructive Testing, John Wiley, New York.
- Özden, N.**, 1972. Radyoizotopların Endüstriyel Uygulamaları. TÜBİTAK, İstanbul.

- Soluk, E.,** 2003. Infrared Ölçümleme İle Isı Transferi İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul
- Tugrul, A.B.,** 1986. Arkeometride Nükleer Tekniklerin Kullanımı, TÜBİTAK Arkeometri Ünitesi, VI. Ulusal Arkeometri Kolokyum, TÜBİTAK Yayınları 622, 12-29

ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Artvin’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Bursa’da tamamladıktan sonra liseyi Bursa Ali Osman Sönmez Fen Lisesinde bitirdi. 1993’te Marmara Üniversitesi Atatürk Eğitim Fakültesi Fizik Öğretmenliği(İngilizce) bölümünü kazandı. 1998 yılında üniversiteden mezun oldu.

Milli Eğitim Bakanlığı’na bağlı bir öğretim kurumunda öğretmen olarak çalışmaktadır. Evlidir.