

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI METALLERİN BETA GEÇİRGENLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Tayfun BEL

Anabilim Dalı : Enerji Bilim ve Teknoloji

Programı : Enerji Bilim ve Teknoloji

HAZİRAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI METALLERİN BETA GEÇİRGENLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tayfun BEL

(301071025)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Mayıs 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Haziran 2010

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Beril Tuğrul (İTÜ)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Nesrin ALTINSOY (İTÜ)

Yrd. Doç. Dr. Zuhale ER (İTÜ)

HAZİRAN 2010

Biricik Babama ve Anneme,

ÖNSÖZ

Bu Yüksek Lisans Tez Çalışmasında, bakır ile birlikte dört farklı metalin kullanılması halinde söz konusu bu malzemelerin beta geçirgenliklerinin tayinine ilişkin deneysel bir inceleme amaçlanmıştır. Bu çalışmanın, beta kaynakları ile farklı amaçlarla çalışacaklar için faydalı olacağı umulur.

Yüksek Lisans tezimin gerek tezin planlamasında ve gerekse deneysel sonuçların değerlendirilmesinde bilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve karşılaştığım sorunlarda deneyimlerinden faydalandığım değerli Hocam Sayın Prof. Dr. A. Beril TUĞRUL'a en içten duygularıyla şükranlarımı sunarım.

Deneysel çalışmaların yapılması sırasında ve İTÜ Enerji Enstitüsü Radyoizotop Labratuarı'nda gerçekleştirilen deneyler sırasında desteğini gördüğüm Doç.Dr. Nilgün BAYDOĞAN'a teşekkür etmek isterim. Ayrıca, bu tez çalışmasının ilk ön deneylerinin ÇNAEM'de yapılmasında yardımlarını aldığım Dr. Doğan YAŞAR'a da teşekkür ederim.

Mayıs 2010

Tayfun BEL
(Meteoroloji Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
SEMBOLLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. BETA RADYASYONU	5
2.1 Radyasyon Tanımı ve Radyasyon Tipleri	5
2.2 Beta Radyasyonu (Pozitron ve Negatronlar).....	8
2.3 Beta Radyoizotop Bozunumu.....	10
2.4 Beta Radyasyonu Spektrumu	11
2.5 Beta Radyoizotop Kaynakları ve Özellikleri.....	12
3. BETALARIN MADDE İLE ETKİLEŞİMİ	15
3.1 Betaların Davranışı.....	15
3.2 Betaların Madde ile Etkileşimi.....	20
3.3 Betaların Madde İçinde Soğurulması	22
3.4 Beta Zırh Malzemeleri	24
3.5 Beta Teknikleri	26
3.5.1 Beta ile ölçüm teknikleri	27
3.5.2 Beta geri saçılım tekniği	28
3.5.3 Beta Radyografisi.....	29
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	31
4.1 Deneyde Kullanılan Numuneler	31
4.1.1 1. Grup numunelerin tanıtımı.....	32
4.1.2 2. Grup numunelerin tanıtımı.....	33
4.1.3 3. Grup numunelerin tanıtımı.....	34
4.1.4 4. Grup numunelerin tanıtımı.....	35
4.1.5 Sınama numunelerin tanıtımı	36
4.2 Deneylerde Kullanılan Beta Radyoizotop Kaynak	36
4.3 Deneyde Kullanılan Elemanlar	38
4.3.1 Radyasyon Ölçümleme Cihazı.....	38
4.3.2 Kolimatör	40
4.3.3 Deneylerde Kullanılan Bilgisayar ve Yazılım	41
4.3.4 Deneylerde kullanılan zırh elemanlar	42
4.3.5 Radyasyon Monitörü.....	43
4.4 Deneyde Kullanılan Yardımcı Elemanlar	44
4.4.1 Numune tutucu eleman	44
4.4.2 Termometre.....	44

4.4.3 Nem Ölçer	45
4.5 Deney Düzenegi	45
4.6 Deney Geometrisi	46
4.7 Deneyin Yapılışı	47
5. DENEY SONUÇLARI	51
5.1 Cu-Al Numuneler Kullanılarak Yapılan Deneylerin Sonuçları	51
5.2 Cu-Ni Numuneler Kullanılarak Yapılan Deneylerin Sonuçları	53
5.3 Cu-Ag Numuneler Kullanılarak Yapılan Deneylerin Sonuçları	55
5.4 Cu-Pb Numuneler Kullanılarak Yapılan Deneylerin Sonuçları	57
5.5 Deneysel Sonuçların Mukayeseli İncelemeleri	60
5.6 Sonuçların Sınanması	60
5.6.1 Cu-Al Numuneler Kullanılarak Elde Edilen Eğrinin Sınanması	61
5.6.2 Cu-Ni Numuneler Kullanılarak Elde Edilen Eğrinin Sınanması	63
5.6.3 Cu-Ag Kalibrasyon Eğrisinin Sınanması İçin Yapılan Deney Sonuçları	64
5.6.4 Cu-Pb Numuneler Kullanılarak Elde Edilen Eğrinin Sınanması	67
5.6.5 Kalibrasyon Eğrilerinin Mukayeseli Değerlendirmesi	69
6. SONUÇ VE TARTIŞMA	71
KAYNAKLAR	75

SEMBOLLER

A	: Atom Ağırlığı
A_k	: Kaynağın aktivitesi
A_o	: Kaynağın üretildiği tarihteki aktivitesi
c	: Işık Hızı
e	: Elektronik şarjın değeri
E	: Beta parçacıklarının maksimum enerjisi
f	: Frekans
h	: Planck sabiti
I	: Malzemeyi kateden beta radyasyonun şiddet
I_o	: Başlangıçtaki beta radyasyonunun şiddeti
m_o	: Elektronun sükûnet kütlesi
N	: Radyoaktif atom sayısını
R	: Beta parçacıklarının erişme uzaklığı
T	: Kaynağın üretildiği tarihten bu yana geçen zaman süresi
T_{1/2}	: Kaynağın yarı ömrü
T_a	: Ortalama Ömür
x	: Malzeme kalınlığı
x_k	: Kalınlık yoğunluğu
Z	: Atom Numarası
λ	: Dalga Boyu
μ	: Lineer absorpsiyon katsayısı
ρ	: Malzeme yoğunluğunu

KISALTMALAR

TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
MIT	: Michigan Institute of Technology
XRF	: X-ışını Floresans
GM	: Geiger - Muller
PM	: Polimaster

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Sırf beta yayınlayıcısı bazı radyoizotopların maksimum beta enerjileri, ortalama beta enerjileri ve bozunum başına olasılıkları.....	13
Çizelge 3.1 : Beta Parçacıklarının Enerjisine Bağlı Olarak Hava İçindeki Erişim Uzaklıkları.....	22
Çizelge 3.2 : Farklı zırh malzemeleri için farklı radyasyon tiplerinin nüfuziyetleri .	26
Çizelge 4.1 : 1. Grup Numunelerin Özellikleri.....	32
Çizelge 4.2 : 2. Grup Numunelerin Özellikleri.....	33
Çizelge 4.3 : 3. Grup Numunelerin Özellikleri.....	34
Çizelge 4.4 : 4. Grup Numunelerin Özellikleri.....	35
Çizelge 4.5 : Sınama Numunelerinin Özellikleri.....	36
Çizelge 4.6 : Stronsiyum-90 Beta Radyoizotop Kaynağının Özellikleri.....	37
Çizelge 4.7 : Radyasyon Ölçüm Cihazının Teknik Özellikleri.	38
Çizelge 4.8 : Deneylerde Kullanılan Kolimatörün Özellikleri.	40
Çizelge 4.9 : Deneylerde Kullanılan Pleksiglas Zırh Elemanların Özellikleri.....	42
Çizelge 4.10 : Deneylerde Kullanılan Radyasyon Monitörünün Özellikleri.....	43
Çizelge 4.11 : Deney Çalışma Parametreleri.....	50
Çizelge 5.1 : Cu-Al numuneler kullanılarak gerçekleştirilen deneylerin sonuçları. Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
Çizelge 5.2 : Cu-Ni numuneler kullanılarak gerçekleştirilen deneylerin sonuçları. Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
Çizelge 5.3 : Cu-Ag numuneler kullanılarak gerçekleştirilen deneylerin sonuçları. Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
Çizelge 5.4 : Cu-Pb numuneler kullanılarak gerçekleştirilen deneylerin sonuçları.....	58
Çizelge 5.5 : Deneylerle elde edilen sonuçların mukayeseli incelemesi.....	59
Çizelge 5.6 : Cu-Al Kalibrasyon Eğrisinin Sınanması İçin Yapılan Deney Sonuçları.	61
Çizelge 5.7 : Cu-Al Kalibrasyon Eğrisi İçin Hata Değerlendirmesi.	62
Çizelge 5.8 : Cu-Ni Kalibrasyon Eğrisi İçin Hata Değerlendirmesi.	63
Çizelge 5.9 : Cu-Ni Kalibrasyon Eğrisi İçin Hata Değerlendirmesi.	64
Çizelge 5.10 : Cu-Ag Kalibrasyon Eğrisi İçin Hata Değerlendirmesi.....	65
Çizelge 5.11 : Cu-Ag Kalibrasyon Eğrisi İçin Hata Değerlendirmesi.....	66
Çizelge 5.12 : Cu-Pb Kalibrasyon Eğrisinin Sınanması İçin Yapılan Deney Sonuçları.	67
Çizelge 5.13 : Cu-Pb Kalibrasyon Eğrisi İçin Hata Değerlendirmesi.	68
Çizelge 5.14 : Hata Mukayesesi.	69

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Elektromanyetik Spektrum.....	6
Şekil 2.2 : Başlıca Radyasyon Tipleri.....	8
Şekil 2.3 : β^- Bozunumu.	9
Şekil 2.4 : β^+ Bozunumu.....	10
Şekil 2.5 : Tipik beta ışınları spektrumu.....	12
Şekil 3.1 : Beta Parçacıklarının Madde ile Etkileşimi.....	17
Şekil 3.2 : β bozunumları kararlılık dağılımları.	18
Şekil 3.3 : Beta parçacıklarının soğurulması (Bilge, 1991).....	23
Şekil 3.4 : Beta parçacıklarının farklı malzemelerde erişme uzaklıkları. (Ildız, 2004)	24
Şekil 3.5 : Farklı Radyasyon Tiplerinin Malzemeye Nüfuziyeti.....	25
Şekil 3.6 : Farklı radyasyon tiplerinin farklı malzemelerle zırhlanması (www.deq.idaho.gov/oversight/,2010).....	25
Şekil 3.7 : Beta transmision tekniğinin prensip şeması.....	27
Şekil 3.8 : Beta geri saçılım tekniğinin prensip şeması.....	28
Şekil 4.1 : Deneilerde Kullanılan Cu-Al Numuneler.....	32
Şekil 4.2 : Deneilerde Kullanılan Cu-Ni Numuneler.....	33
Şekil 4.3 : Deneilerde Kullanılan Cu-Ag Numuneler.....	34
Şekil 4.4 : Deneilerde Kullanılan Cu-Pb Numuneler.....	35
Şekil 4.5 : PM 1405 Radyasyon Ölçüm Cihazı.....	38
Şekil 4.6 : PM 1405 Detektörün Çizimi.....	39
Şekil 4.7 : Kollimatörün Çizimi.....	40
Şekil 4.8 : Deneilerde Kullanılan Kollimatörün Fotoğrafi.....	41
Şekil 4.9 : Deneilerde Kullanılan Bilgisayar.....	41
Şekil 4.10 : Deneilerde Kullanılan Zırhlama Elemanları.....	42
Şekil 4.11 : Deneilerde Kullanılan Radyasyon Monitörü.....	43
Şekil 4.12 : Numune Tutucu Eleman.....	44
Şekil 4.13 : Termometre.....	45
Şekil 4.14 : Nem Ölçer.....	45
Şekil 4.15 : Deney Düzeneginin Görünümü.....	46
Şekil 4.16 : Deney Geometrisi.....	47
Şekil 4.17 : Radyasyon Monitörü Akış Şeması.....	48
Şekil 4.18 : Deney Düzeneginin Blok Diyagramı.....	49
Şekil 5.1 : Kullanılan kalınlıklarla Cu-Al numuneler için çıkarılan kalibrasyon eğrisi.	51
Şekil 5.2 : Kullanılan kalınlıklarla Cu-Ni numuneler için çıkarılan kalibrasyon eğrisi.	53

Şekil 5.3 : Kullanılan kalınlıklarla Cu-Ag numuneler için çıkarılan kalibrasyon eğrisi.....	55
Şekil 5.4 : Kullanılan kalınlıklarla Cu-Pb numuneler için çıkarılan kalibrasyon eğrisi.....	57
Şekil 5.5 : Dört Grup Numune İle Yapılan Deneylerin Mukayeseli Grafiği.....	60
Şekil 5.6 : Cu-Al kalibrasyon eğrisinin Sınanması.....	62
Şekil 5.7 : Cu-Al Kalibrasyon Eğrisi İçin Hata Grafiği.....	62
Şekil 5.8 : Cu-Ni kalibrasyon eğrisinin Sınanması.....	63
Şekil 5.9 : Cu-Ni Kalibrasyon Eğrisi İçin Hata Grafiği.....	64
Şekil 5.10 : Cu-Ag kalibrasyon eğrisinin Sınanması.....	66
Şekil 5.11 : Cu-Ag Kalibrasyon Eğrisi İçin Hata Grafiği.....	66
Şekil 5.12 : Cu-Pb kalibrasyon eğrisinin Sınanması.....	68
Şekil 5.13 : Cu-Ag Kalibrasyon Eğrisi İçin Hata Grafiği.....	68
Şekil 5.14 : Hata Mukayese Grafiği.....	69
Şekil 5.15 : Mutlak Hata Mukayese Grafiği.....	70

FARKLI METALLERİN BETA GEÇİRGENLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Nükleer tekniklerde farklı radyasyon tipleri kullanılabilir. Bu radyasyon tiplerinden biri beta parçacıklarıdır. Beta parçacıklarıyla çalışma, radyasyon güvenliği açısından da önem arz etmektedir. Bir başka deyişle, malzeme ile etkileşimi önemli olmaktadır.

Bu Yüksek Lisans Tez çalışması ile, metallerin bir arada kullanılması halinde beta geçirgenliklerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda, endüstride farklı sektörlerde sıkça kullanılan bir metal olan bakır ile çalışılması benimsenmiş ve bakır ile birlikte dört farklı metalin (Al, Ni, Ag, Pb) kullanılması halinde söz konusu bu malzemelerin beta geçirgenliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır ve Sr-90 kaynağı kullanılarak transmisyon prensibine uygun olarak deney geometrisi oluşturularak deneyler gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalar sonucunda bakır ile birlikte dört farklı metal için uyum eğrileri çıkartılmıştır.. Çizilen uyum (fitting) eğrilerinin sınanması amacıyla, (çalışılan malzemeler için) uyum (fitting) eğrilerinin çıkarılmasında kullanılmayan malzeme kalınlıklarına ilişkin deneyler de yapılmıştır. Sınama amaçlı deneylerimizle, çizilen uyum (fitting) eğrileri ileri derecede uyumluluk gösterdiği tespit edilmiş ve söz konusu uyum eğrilerinin 'kalibrasyon eğrisi' olarak kullanılabileceklerinin mümkün olduğu gösterilmiştir.

Öz olarak, belirtmek gerekirse; bu Yüksek Lisans tez çalışması ile, bakır ile birlikte dört farklı metal (Al, Ni, Ag ve Pb) için yapılan deneysel çalışmalarımızla bu malzemelere ilişkin beta geçirgenlikleri belirlenmiş ve beta radyasyonunun bağlı şiddeti ile kalınlığa bağlı olarak kalibrasyon eğrileri çizilebilmiştir. Böylelikle, uygulamaya yönelik, hayata geçirilebilir ve kullanılabilir sonuçlara ulaşılmış bulunmaktadır.

INVESTIGATION OF BETA PERMEABILITY OF DIFFERENT METALS

SUMMARY

Nuclear techniques can be used in different types of radiation. One of these radiation types are beta particles. Working with beta particles is of great importance in terms of radiation safety. In the other words, beta particles interaction with the material is important.

With this Master's thesis, metal pairs used in a search aimed at determining the permeability of beta. In this context, in industry within different sectors are commonly used metal copper is chosen. In our study of combining copper with four different metals (Al, Ni, Ag, Pb) is used. Beta-permeability of those materials is investigated. Sr-90 source is used with the transmission principle, according to those principles experimental geometry is formed and experiments implemented.

In experimental studies with four different metal copper pairs were removed for the alignment curves. Plotted fitting curve is used to test the unused material thicknesses in generation of fitting curve, the experimental values were studied but not used in fitting curve. Test for our experiments, plotted adjustment (fitting) curve has been found to show highly compatible and also the curves fit to the "calibration curve" as shown.

Concise, to indicate, if necessary, the MSc thesis of copper with four different metals (Al, Ni, Ag and Pb) related to beta-permeability were determined and beta radiation relative intensity and thickness depending on the calibration curves produced. Thus implementation, can be applied and available results have been achieved.

1. GİRİŞ

Bilim ve teknoloji alanındaki gelişmeler, hemen her alanda büyük ilerlemeler kaydetmekte olup, çeşitli alanlarda yeni ufuklar açmaktadır. İnsanlığın gelişmesinde de önemli rol oynayan bu gelişim; özellikle nükleer teknoloji, iletişim ve bilgisayar teknolojisi konularında büyük aşamalar kaydetmiş bulunmaktadır. Bu bağlamda, tüm dünyada kullanılan radyoaktif maddelerin ve radyasyon kaynaklarının sayısında hızlı ve sürekli bir artış meydana gelmektedir. Bugün çeşitli radyoaktif maddeler tıp, endüstri ve tarım olmak üzere geniş, uygulama alanları bulmuş ve her çeşit bilimsel araştırmanın vazgeçilmez bir aracı haline gelmiş bulunmaktadır (Földiak, 1986).

Radyasyon yayan nesnelere, öz bir ifadeyle: radyoaktif olarak adlandırılmaktadırlar. Radyoaktiviteden yararlanma veya radyoaktif elemanların kullanımıyla nükleer tekniklerin kullanımı hemen hemen bütün bilimsel ve teknik alanlarda uygulama alanı bulmaktadır.

Tahribatsız muayene metodları kullanılacak nükleer teknikler, özellikle kalite kontrol ve kalite temin uygulamalarında ön plana çıkmaktadırlar (Halmshaw, 1991, Mix, 1987). Zira, birçok nükleer teknik tahribatsız muayene kapsamında nitelenebilmektedir. Bu da, nükleer tekniklerin kullanımını tercih edilmesini sağlamaktadır.

Nükleer tekniklerin, çalışma halinde dahi kullanılabilir olması, bir başka deyişle, üretim bandında uygulanabilir olması zaman kaybını en aza indirebilmektedir. Bu da, endüstri açısından önemli bir kazanç olup, nükleer tekniklerin önemini giderek artmasını sağlayan bir unsur oluşturmaktadır (Halmshaw, 1995).

Bir elementin radyoaktif olan ve olmayan izotopları, (radyoaktiflik dışında) çoğu kez benzer fiziksel veya kimyasal özellikler göstermesi, farklı uygulamaların gerçekleştirilmesine olanak vermektedir (Kurtoğlu, 2005). Böylelikle, endüstriyel tesislerden rafinerilere ve yer altı yapılarının incelenmesi ve izlenmesi yapılabilmektedir.

Dolayısıyla farklı uygulamalarıyla, nükleer teknikler ve nükleer teknoloji;

- Tıpta

- Endüstride
- Mühendislikte
- Kimyada
- Biyoloji
- Tarımda
- Hayvancılıkda
- Metalurjide
- Jeolojide
- Arkeometride

başarıyla uygulanabilmektedir.

Uygulama alanları içinde çeşitlilik bağlamında endüstriyel uygulamaların ayrı bir yeri bulunmaktadır. Dolayısıyla birçok endüstriyel sektörde nükleer teknikler kullanılabilir (Büyük,2004). Söz konusu bu sektörler arasında;

- Enerji sektörü,
- Uçak ve gemi sanayii,
- Kimya endüstrisi ve
- İlaç sanayii, temizlik ürünleri sektörü,
- Demir-çelik endüstrisi,
- Maden endüstrisi,
- Gıda endüstrisi
- Kağıt endüstrisi
- Basım ve fotoğrafçılık

sektörleri sayılabilir.

Nükleer tekniklerde farklı radyasyon tipleri kullanılabilir. Bu radyasyon tiplerinden biri beta parçacıklarıdır. Beta parçacıklarıyla çalışma, radyasyon güvenliği açısından da önem arz etmektedir. Bir başka deyişle, malzeme ile etkileşimi önemli olmaktadır.

Bu Yüksek Lisans Tezinde, farklı metallerin özellikle bir arada kullanılan iki metalin beta geçirgenliğinin incelenmesi benimsenmiştir. Ana metal olarak, uygulamada sıkça kullanılan bir metal olan bakır ile beraber dört farklı metalin (Al, Ni, Ag, Pb) kullanılması halindeki geçirgenlik özelliklerinin belirlenmesi bu çalışmayla amaçlanmıştır.

2. BETA RADYASYONU

2.1 Radyasyon Tanımı ve Radyasyon Tipleri

Radyasyon; parçacık akımı veya dalga tabiatına uygun olarak bir maddeye veya bir ortama enerji transferi olarak tanımlanmaktadır (Kılınçarslan ve diğ., 2007). Tanımdan da anlaşıldığı üzere, yayımlanan kaynağın özelliğine bağlı olarak söz konusu bu enerji, parçacıklar veya elektromanyetik dalgalar tarafından taşınabilmektedir (http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/ 2009).

Radyasyonun farklı şekillerde sınıflandırılabilmesi mümkündür. Radyasyonun tabiatına bağlı olarak, sıkça yapılan bir sınıflama çerçevesinde, radyasyon; başlıca 2 grupta toplanabilmektedir. Bunlar;

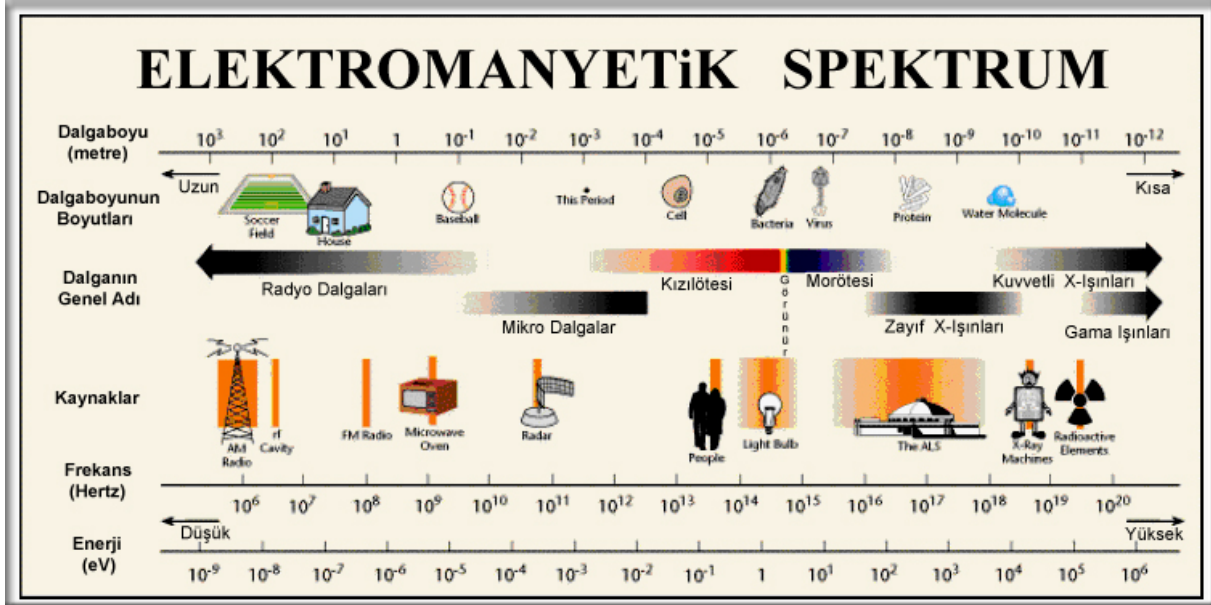
1. Elektromanyetik Radyasyon

Elektromanyetik radyasyon; ışık hızında foton adı verilen enerji paketlerince dalga tabiatına uygun olarak taşınan radyasyon tipidir. Farklı tipleri mevcuttur. Elektromanyetik Radyasyonlar:

- Radyo ve Radar Dalgaları
- Kızıl ötesi (Infrared) Işımlar
- Görünür Işık
- Mor ötesi (ultraviole) Işımlar
- X-Işımları
- Gama Işımları
- Kozmik Işımlar

olarak sayılabilir.

Elektromanyetik radyasyon, boşlukta ya da maddesel ortamda elektrik ve manyetik bileşenleri ile kendiliğinden yayılan dalgaların genel adıdır. Değişen frekanslara sahip dalgaların oluşturduğu elektromanyetik spektrum en yüksek enerjili kozmik ışıklardan ve takiben gama ve X-ışınlarından başlayarak mor ötesi, görünür ışık, kızılötesi ve mikrodalgalar ile TV ve radyo dalgalarını içermektedir (Dericioğlu, 2007). Şekil 2.1’de elektromanyetik spektrum görülmektedir.



Şekil 2.1 : Elektromanyetik Spektrum.

Elektromanyetik spektrumda birbirini takip eden sinüsoidal dalga pikleri arasındaki mesafe dalga boyunu (λ) ifade etmektedir. Dalga boyu uluslararası sistemde nanometre (10^{-9} m) ile ölçülmektedir. Saniyedeki dalga sayısına ise frekans (f) adı verilmektedir.

Frekans;

$$f = c / \lambda \quad (2.1)$$

olarak ifade edilebilmektedir. Burada;

c : ışık hızı

λ : dalga boyu

temsil etmektedir.

Dalga boyu ile enerji arasında ters bir ilişki bulunmaktadır. Uzun dalga boyunda az sayıda foton bulunduğundan enerji, kısa dalga boyuna göre daha düşük olmaktadır. Bir başka deyişle, yüksek frekanstaki ışığın fotonları da yüksek enerjiye sahip olmaktadır. Bu ilişki;

$$E=hf = hc/\lambda \quad (2.2)$$

olarak yazılabilmektedir. Burada h Planck sabiti olup $6.62 \times 10^{-34} \text{Js}^{-1}$ eşittir. (Çakatay ve diğ, 2010).

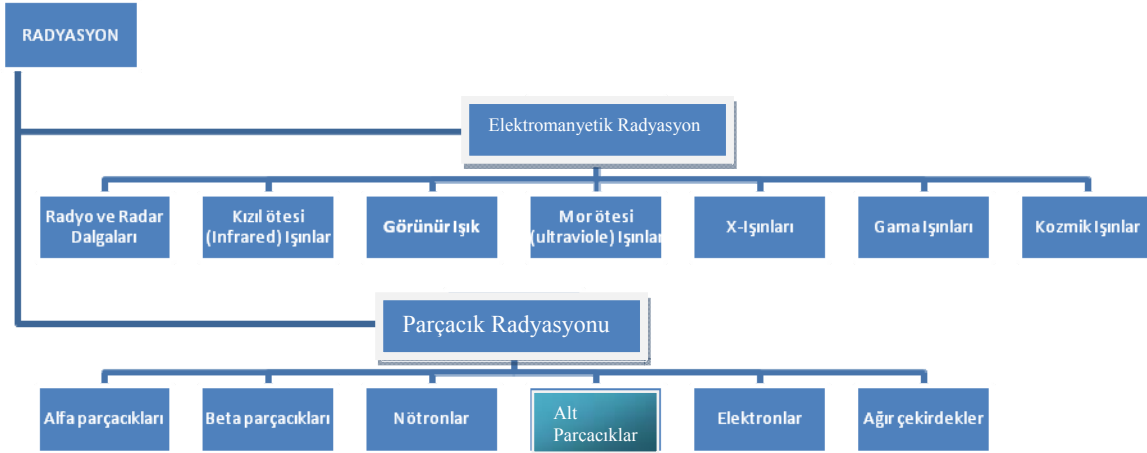
2.Parçacık Radyasyonu

Parçacık özelliği gösteren enerjilik elemanlar, parçacık radyasyonlarını oluşturmaktadırlar. Birçok parçacık radyasyonu radyoaktif bozunum sonucu yayınlanmaktadır. Bununla beraber, hızlandırıcılarda oluşan alt parçacıklar da parçacık radyasyonu içinde yer aldığı gibi, ağır çekirdekler de bu grup içinde göz önüne alınmaktadır. Buna göre; başlıca parçacık radyasyonları

- Alfa parçacıkları
- Beta parçacıkları (negatron ve pozitronlar)
- Nötronlar
- Elektronlar
- Alt parçacıklar
- Ağır çekirdekler

olarak sayılabilirler.

Elektromanyetik radyasyon ve parçacık radyasyonu hakkında genel tanıtım yapıldıktan sonra Şekil 2.2’de görüldüğü gibi bir sınıflama yapılabilmektedir.



Şekil 2.2 : Başlıca Radyasyon Tipleri.

2.2 Beta Radyasyonu (Pozitron ve Negatronlar)

Beta radyasyonu, bir çok radyoizotop tarafından yayınlanan parçacıklar olup bazen yalnız, ancak çoğu kez gamma ışınları ile birlikte yayınlanmaktadır. Negatif veya pozitif yüklü olabilirlerse de beta parçacıkları, daha çok negatif parçacıklar için kullanılmaktadır.

Negatif beta parçacıkları ışık hızına yakın hızlarda atom çekirdeğinden atılan elektron ile özdeş parçacıklar olup, “negatron” olarak da adlandırılmaktadırlar. Çekirdekten yayınlandıktan sonra madde ile etkileşerek, enerjilerini kaybetmekte ve serbest elektron haline geçmektedirler. Negatronlar β^- olarak gösterilmektedirler.

Pozitif beta parçacıkları, “pozitron” olarak nitelenmekte ve β^+ olarak gösterilmektedirler. Pozitronların serbest bir elektronla buluşmalarından önceki ömürleri çok kısa (mikro saniye mertebesinde) olup her ikisi 0.51 MeV’lik gamma fotonu çifti yayımlanmasıyla yok olmaktadır. Meydana gelen bu radyasyona “anihilasyon radyasyonu” adı verilmektedir (Glasstone, Sesonske, 1994).

Negatronlar, çekirdekte bir nötronun protona dönüşmesi sonucunda meydana gelmektedirler. Buna karşın; pozitronlar, çekirdekteki bir protonun nötrona dönüşmesi sonucunda meydana gelmektedir.

Buna göre; negatron oluşumu

$$n \rightarrow p + \beta^- + \bar{\nu} + \text{Enerji} \quad (2.3)$$

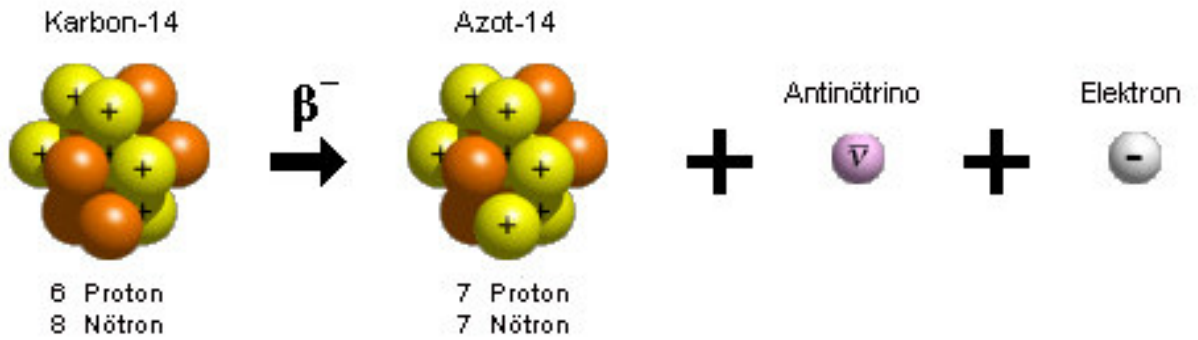
Pozitron oluşumu ise;

$$p \rightarrow n + \beta^+ + \nu + \text{Enerji} \quad (2.4)$$

Bu durumda, pozitron veya negatron bozunumu sonucunda element değişmektedir. Negatron bozunumu;

$${}^A_Z X \rightarrow {}^{A}_{Z+1} Y + e^- + \bar{\nu} \quad (2.5)$$

şeklinde olmaktadır. Şekil 2.3’de negatron bozunumu şematik olarak görülmektedir.



Şekil 2.3 : β^- Bozunumu.

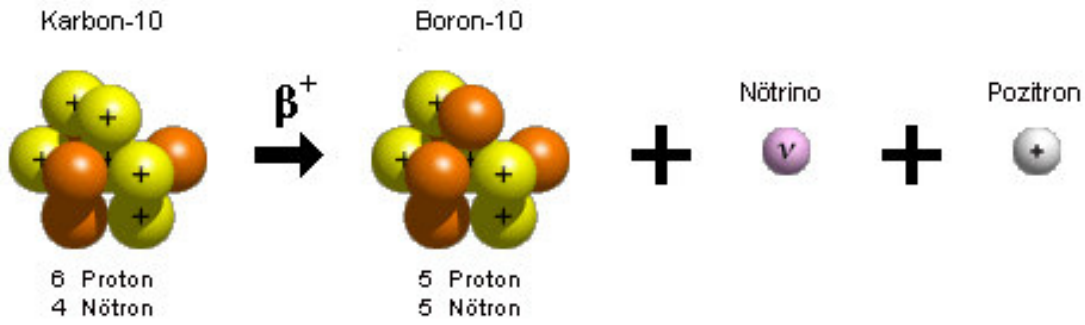
Bu bağlamda, örnek olarak; 55 protonlu sezyum atomundan beta- parçalanmasında 56 protonlu baryum oluşumu da verilebilir.

$${}^{137}_{55} Cs \rightarrow {}^{137}_{56} Ba + {}^{-0}_{-1} e \quad (2.6)$$

Pozitron bozunumu ise;

$${}^A_Z X \rightarrow {}^{A}_{Z-1} Y + e^+ + \nu \quad (2.7)$$

olarak ifade edilmektedir. Şekil 2.4’de pozitron bozunumu şematik olarak görülmektedir.



Şekil 2.4 : β^+ Bozunumu.

Bu Yüksek lisans tezinde, negatron bozunumu ile ilgilenilecektir. Dolayısı ile, bu bağlamda tez boyunca beta bozunumu ile negatron bozunumu kastedilmiş olacaktır.

2.3 Beta Radyoizotop Bozunumu

Beta aktif radyoizotoplar, genel bozunum kanununa uymaktadır. Birim zaman başına bozunuma uğrayan atomların kesrine bozunum sabiti adı verilmektedir. Birim zamanda bozunan ve “aktivite” olarak nitelenen atomların sayısı;

$$A_k = \lambda N \quad (2.8)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada;

A_k : Birim zamanda meydana gelen bozunum (Aktivite)

λ : Bozunum sabiti

N : Radyoaktif atom sayısını

ifade etmektedir. Denklem (2.8) düzenlenirse;

$$A_k / \lambda = N \quad (2.9)$$

şeklini alır. Bu denklemden ortalama ömrü T^a ’yı tanımlanabilmektedir.

$$T^a = 1 / \lambda \quad (2.10)$$

Böylece (2.8) denklemini

$$N = A_k \cdot T^a \quad (2.11)$$

şeklini alır.

T^a : Ortalama Ömür Denklem (2.7) ;

$$dN/dT = - \lambda N \quad (2.12)$$

şeklinde yazılabilir. Denklem 2.11 düzenlenirse;

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.13)$$

elde edilmektedir.

Radyoaktif çekirdeklerin yarıya inmesi için geçen süre “yarı ömür” olarak nitelenmektedir. Bir yarı ömür sonra, bir başka deyişle T süre sonra atom sayısı yarıya düşeceğinden;

$$N/N_0 = 0.5 = e^{-\lambda T} \quad (2.14)$$

denklemini yazılabilir ve Denklem 2.13 düzenlenirse;

$$T = -\ln 0.5 / \lambda = 0.693 / \lambda \quad (2.15)$$

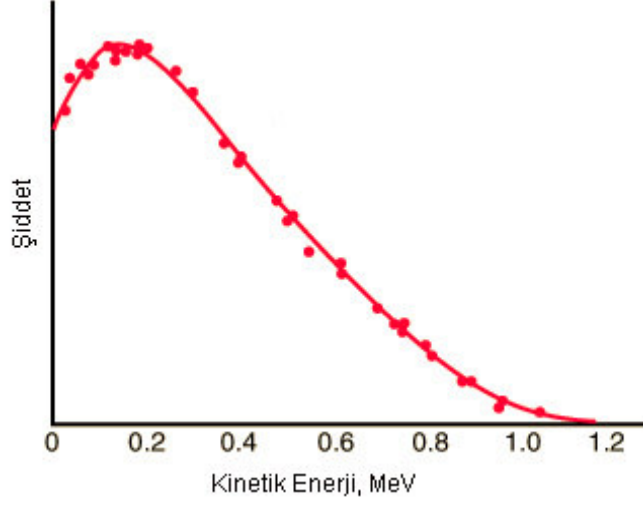
Elde edilmektedir. Denklem 2.15 ve Denklem 2.10 bir arada düşünüldüğünde;

$$T = 0.693. T^a \quad (2.16)$$

denklemini elde edilmiş olmaktadır. Burada; T radyoizotopun yarı-ömürü olmaktadır (Shapiro,1990).

2.4 Beta Radyasyonu Spektrumu

Radyoizotoplar tarafından yayınlanan alfa parçacıkları ve gamma ışınları çekirdekteki enerji seviyeleri arasındaki farklara tekabül eden tek bir enerjide yayımlandıkları halde, beta parçacıkları hemen hemen sıfırdan başlayıp izotopa göre değişen maksimum bir değere kadar uzanan sürekli bir enerji dağılımı gösterirler. Şekil 2.5’de bir beta bozunumuna ilişkin sürekli spektrum örneği görülmektedir.



Şekil 2.5 : Tipik beta ışınları spektrumu.

Beta parçacıklarının maksimum enerjisi kendisini yayınlayan radyoizotopa has olarak farklılık göstermektedir. Az sayıda beta parçacıkları bu maksimum enerji ile yayınlamaktadır. Beta aktif radyoizotopların çoğunluğundan yayınlanan beta parçacıklarının maksimum enerjileri 0.5 ile 5 Mev arasında bulunmaktadır. Ancak, az da olsa bu değerlerin altında ve üstünde de beta ışınları yayınlayan bazı radyoizotoplar da bulunmaktadır (Göksel, 1973). Beta spektrumunun ortalama enerjisi ise yaklaşık olarak, yayınlanan betaların maksimumun üçte biri çevresinde enerjiye sahip olmaktadır.

2.5 Beta Radyoizotop Kaynakları ve Özellikleri

Bir çok beta bozunumu yapan radyoizotop bulunmaktadır. Günümüzde farklı amaçlarla kullanılan başlıca beta aktif radyoizotoplar Çizelge 2.1’de, Sırf beta yayınlayıcısı bazı radyoizotopların maksimum beta enerjileri, ortalama beta enerjileri ve bozunum başına olasılıkları verilmektedir. (<http://www.iem-inc.com/toolen2.html>, 2010).

Çizelge 2.1 : Sırf beta yayınlayıcısı bazı radyoizotopların maksimum beta enerjileri, ortalama beta enerjileri ve bozunum başına olasılıkları.

Radyoizotop	Yarı Ömrü	Maksimum Beta Enerjileri (MeV)	Ortalama Beta Enerjileri (MeV)	Bozunum başına olasılık
Ac-227	21.773 yıl	0.043701	0.011100	0.540
Ac-228	6.13 saat	0.491060	0.143800	0.049
Am-242	16.02 saat	0.661200	0.199000	0.410
Am-242m	152 yıl	0.619000	0.184800	0.420
Sb-124	60.20 gün	0.203200	0.055900	0.005
Sb-125	2.77 yıl	0.095387	0.023900	0.136
Sb-126	12.4 gün	0.494700	0.152000	0.084
Sb-126m	19.0 dakika	0.727500	0.238000	0.005
Ar-41	1.827 saat	2.492000	1.076700	0.008
Ba-139	82.7 dakika	2.306000	0.912000	0.780
Ba-140	12.74 gün	0.453850	0.136000	0.260
Ba-141	18.27 dakika	0.289100	0.463000	0.025
Ba-142	10.6 dakika	2.122400	0.830000	0.180
C-14	5730 yıl	0.156480	0.049470	1.000
H-3	12.35 yıl	0.018601	0.005686	1.000
Sr-89	50.5 gün	1.491300	0.583000	0.999
Sr-90	29.12 yıl	0.546000	0.195800	1.000
Sr-91	9.5 saat	0.404660	0.122900	0.002
Sr-92	2.71 saat	0.546100	0.174000	0.960
Y-91	58.51 gün	1.543000	0.603800	0.997

3. BETALARIN MADDE İLE ETKİLEŞİMİ

3.1 Betaların Davranışı

Radyoizotoplar tarafından yayımlanan β - parçacıkları, ışık hızının 0,99 una kadar çıkabilmektedirler. Genel olarak, gerek pozitif gerekse negatif, β parçacıklarının enerjileri, radyoizotoplar tarafından yayımlanan α parçacıklarınıninkinden daha küçüktür. Beta parçacıklarının çoğu 4 MeV' den daha küçük enerjilere sahip bulunmaktadır. Oysa, bütün α parçacıkları 4 MeV'den daha büyük enerjilerde yayımlanmaktadır.

Bu bağlamda, aynı kinetik enerjiye sahip, β - parçacıkları daha küçük kütleli olmaları nedeniyle, ortamda α parçacıklarından daha hızlı yol alabilmektedirler. Relativite teorimi çerçevesinde, hız ve kinetik enerji;

$$v = Hr \frac{e}{m_0} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (3.1)$$

$$T = m_0 c^2 \left[\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right] \quad (3.2)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir (Irving KAPLAN, 1965) Burada;

m_0 : elektronun sükûnet kütlesi

e : elektronik şarjın değerini

c : ışık hızı

ifade etmektedir.

Rölativite açısından önemli bir büyüklük olan v/c oranı, Denklem 3.1'den hareketle;

$$\frac{v}{c} = H\tau \frac{e}{m_0 c^2} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (3.3)$$

olarak yazılabilmektedir. (Kaplan, 1965)

β^- parçacıkları, α parçacıklarına göre maddeye nüfuziyetleri daha yüksek olmasına karşın, yumuşak doku içinde yaklaşık 1 mm kadar yol alabilmektedirler. Ancak, yumuşak dokuda, önlem alınmaması halinde hasara neden olabilirler. Bu bakımdan, radyasyondan korunma bağlamında; dış ve iç radyasyon etkisi açısından önem arz etmektedirler.

Bununla beraber, beta parçacıkları, kütle ve yüklerinin küçük olması nedeniyle alfa parçacıklarına göre madde ile etkileşimleri sırasında daha az iyonlaşmaya neden olmaktadır. Bir başka deyişle, beta parçacıkları, alfa parçacıklarına göre daha az iyonizandır denebilir.

Öte yandan, çekirdek tarafından bir pozitron yayımlandığında atom dış kabuktan bir elektronunu da kaybetmektedir. B^+ bozunması için ikinci bir yöntem de verilen ana atomun yörüngelerindeki dış elektronlardan birinin çekirdek tarafından yakalanması olayıdır. Genellikle yakalanan elektron K-kabuğu elektronu olduğu için bu olaya "K-yakalanması olayı" da denmektedir. Ancak bu olayda açığa çıkan enerji sadece ana çekirdekle ürün çekirdek arasındaki kütle farkına denk olmaktadır. Bir başka deyişle;

$$Q_K = |M(Z, A) - M(Z - 1, A)| c^2 \quad (3.4)$$

olarak yazılabilir. Burada;

Q : K-yakalanma enerjisi

Z : Kütle numarası

A : Atom numarası

c : Işığın boşluktaki hızını

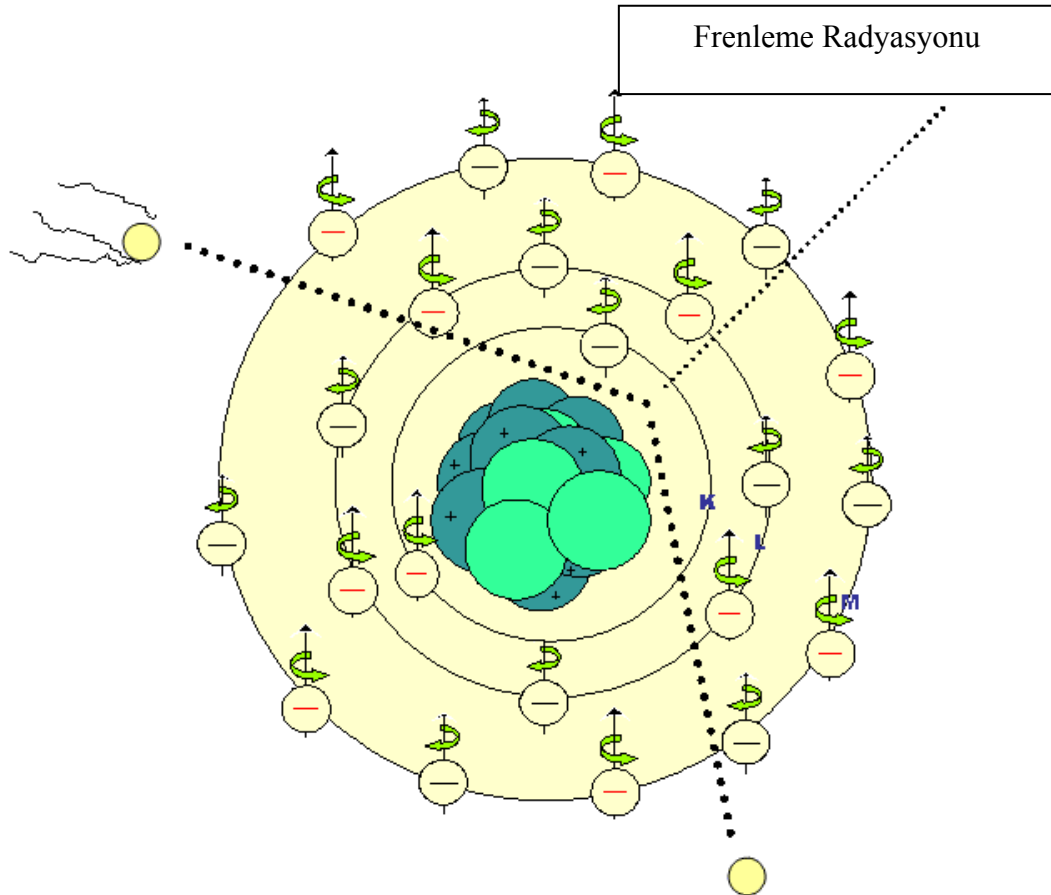
temsil etmektedir.

Elektron yakalanması olayında atomun elektron düzeni değişmektedir. Zira, K-kabuğundan bir elektron eksilmiş olan atom uyarılmış hale geçmiş olmaktadır. Uyarılmış durumdaki ürün atom, elementin karakteristiği olan X-ışınları yayımlayarak normal durumuna dönmektedir. Nitekim, bu tip bir çekirdek dönüşümü; yayımlanan söz konusu bu karakteristik X-parçacıkları aracılığı ile doğrulanmaktadır. Şekil 3.1’de bu olay şematik olarak görülmektedir.

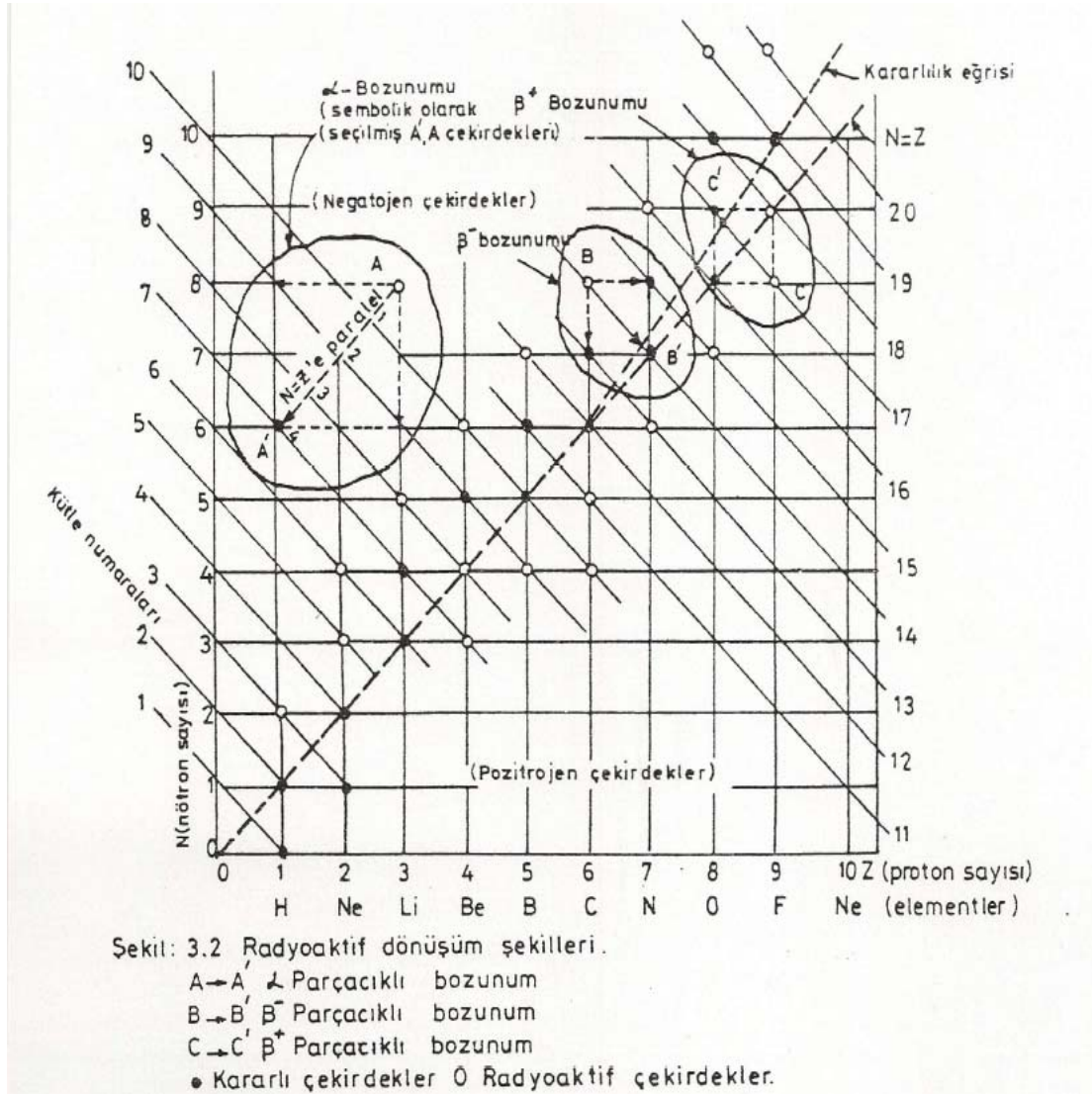
X ışınları madde ile etkileşimlerinde, başlıca üç mekanizma ile enerji kaybederek absorblanırlar. Bu üç mekanizma:

- Foto-elektrik olayı;
- Compton olayı;
- Çift oluşumdur.

Dolayısı ile, X- ışınlarının meydana gelmesi durumunda bu olaylar da önem kazanmaktadır.



Şekil 3.1 : Beta Parçacıklarının Madde ile Etkileşimi.



Şekil 3.2 : β bozunumları kararlılık dağılımları.

Bir beta parçacığının kütlesi, bir yörünge elektronunkine eşit olduğundan, absorblayıcı ortamı meydana getiren atomların çekirdek kütlelerinden çok daha küçük kütleye sahip olmuş olmaktadır. Beta parçacıkları (negatronlar) ve yörünge elektronları aynı cins elektrik yükü taşıdıklarından biri diğerine yaklaştığı zaman elektrostatik bir kuvvetle itmektedirler. Buna karşın bir beta parçacığı, atom çekirdeği ile zıt işaretli elektrik yükü taşıdığından, çekirdeğe yaklaşması halinde elektrostatik çekim kuvvetine maruz kalmaktadır.

Bir beta parçacığı ile absorblayıcı bir ortam atomu arasındaki etkileşimlerin anlaşılabilmesi için bütün bu faktörlerin göz önünde tutulması gerekmektedir. Örneğin; beta parçacıkları ve yörünge elektronları arasında sadece kütle bağıntısını göz önüne alırsak bu iki elektron arasındaki çarpışmanın iki bilardo topunun çarpışmasına benzeyeceği beklenebilir,

Gerçekten de, bir beta parçacığı bütün enerjisini tek bir çarpışmada kaybedebilir. Böyle bir çarpışmada yörünge elektronu bir iyonlaştırıcı parçacık haline geçmiş olmaktadır. Ancak, çoğu kez, bir beta parçacığı enerjisini alfa parçacığına benzer şekilde, çok sayıda iyonizasyon ve eksitasyon (uyarılma) olayları ile kaybetmektedir.

İyonizasyon ve eksitasyona (uyarılmaya) ilave olarak beta parçacıkları atomla X-ışınlarının yayınlanmasıyla sonuçlanan bir etkileşim de meydana getirebilmektedirler. Yüksek enerjili beta parçacıkları atom çekirdeğini saran elektron bulutuna nüfuz ederek, yörünge elektronlarının çeşitli enerji seviyeleri arasından geçerken kuvvetli elektrostatik kuvvetlere maruz kalarak hızları değişmekte ve sürekli bir spektrum teşkil eden X-ışınları yayımlanmasına sebep olabilmektedirler. Bu X-ışınlarına, Almancada «frenleme parçacıkları» anlamına gelen “bremsetrahlung” adı verilmektedir. Türkçede de, söz konusu bu X-ışınları “frenleme radyasyonu” olarak nitelenmektedir (Bilge, Tuğrul, 1990).

Beta parçacıklarının enerjilerinin artması ve absorblayıcı ortamın atom numarasının büyümesiyle bu olay, beta parçacıkları için önemi artıgiden bir enerji kaybı mekanizması olmaktadır.

Düşük enerjili beta parçacıkları için absorblayıcı ortam atomları üzerinde saçılmanın önemli olduğu, orta enerjili beta parçacıkları için ise iyonizasyon ve eksitasyon ile enerji kaybının en önemli olay olduğu söylenebilmektedir. Yüksek enerjiler için ise, bremestrahlung, gitgide önemli bir enerji kaybı mekanizması olmaktadır.

Bir radyoaktif çekirdeğin kararlılık eğrisi üzerindeki çekirdeklere nasıl dönüşecekleri Şekil:3.2'de sırası ile B ve C çekirdekleri için gösterilmiştir. Şekil 3.2'de de $N = Z$ doğrusunun üstünde kalan çekirdekler "negatojen çekirdekler" olarak adlandırılmaktadırlar. $N = Z$ doğrusunun altında kalan çekirdekler ise, "pozitrojen çekirdekler" olarak nitelenebilmektedirler. Pozitron yayınlanması, daha çok yapay radyoaktif çekirdeklere gözlenmektedir (Aybers, 1980).

Buna karşın bir beta parçacığı, atom çekirdeği ile zıt işaretli elektrik yükü taşıdığından, çekirdeğe yaklaşması halinde elektrostatik çekim kuvvetine maruz kalmaktadır.

Gerçekten de, bir beta parçacığı bütün enerjisini tek bir çarpışmada kaybedebilir. Böyle bir çarpışmada yörünge elektronu bir iyonlaştırıcı parçacık haline geçmiş olmaktadır. Ancak, çoğu kez, bir beta parçacığı enerjisini alfa parçacığına benzer şekilde, çok sayıda iyonizasyon ve eksitasyon (uyarılma) olayları ile kaybetmektedir.

İyonizasyon ve eksitasyona (uyarılmaya) ilave olarak beta parçacıkları atomla X-ışınlarının yayınlanmasıyla sonuçlanan bir etkileşim de meydana getirebilmektedirler. Yüksek enerjili beta parçacıkları atom çekirdeğini saran elektron bulutuna nüfuz ederek, yörünge elektronlarının çeşitli enerji seviyeleri arasından geçerken kuvvetli elektrostatik kuvvetlere maruz kalarak hızları değişmekte ve sürekli bir spektrum teşkil eden X-ışınları yayımlanmasına sebep olabilmektedirler. Bu X-ışınlarına, Almandaca «frenleme parçacıkları» anlamına gelen “bremsstrahlung” adı verilmektedir. Türkçede de, söz konusu bu X-ışınları “frenleme radyasyonu” olarak nitelenmektedir.

Beta parçacıklarının enerjilerinin artması ve absorblayıcı ortamın atom numarasının büyümesiyle bu olay, beta parçacıkları için önemi artırdığından bir enerji kaybı mekanizması olmaktadır. Gerçekten bremsstrahlung ile enerji kaybı atom numarası ve beta enerjisinin karesi ile orantılı olmaktadır.

3.2 Betaların Madde ile Etkileşimi

Beta parçacıkları ufak kütleleri ve bir tek elementer yükleri nedeniyle alfa parçacıkları gibi kolayca durdurulamazlar ise de, yüksek enerjilere çıkmadıkça katı maddeler içine yüksek nüfuz kabiliyeti gösterememektedirler. Beta parçacıklarının madde içindeki maksimum erişme uzaklığı, söz konusu beta parçacıkları içinde maksimum enerjiye sahip olan beta parçacıklarının erişebildiği uzaklıktır. Maksimum enerjiye sahip beta parçacıklarının sayısı az olduğundan mutlak erişme uzaklığı oldukça belirsizlik göstermektedir (Ildız, 2004).

Düşük atom numaralı elementler içindeki erişme uzaklığı maddenin cinsinden bağımsız olup sadece maddenin kalınlığı ve yoğunluğunun bir fonksiyonudur. Bu nedenle erişme uzaklığı genellikle mg/cm^2 cinsinden ifade edilmektedir. Beta parçacıklarına ait erişme uzaklıklarının büyük bir çoğunluğu 1 ila 2000 mg cm^2 arasında değişmektedir.

Beta parçacıklarının katılar içindeki erişme uzaklıkları fazla olmamakla birlikte hava içinde oldukça uzun mesafelere kadar ulaşabilirler. Bu nedenle, beta yayımlayan radyoizotoplar için erişme uzaklığı çerçevesinde dış radyasyon tehlikesi yaratabilecekleri, göz önüne alınması gereken bir hususu oluşturmaktadır.

Beta parçacıklarının erişme uzaklıkları için deneye dayalı korelasyonlar geliştirilmiş bulunmaktadır.

$0.01 \leq E \leq 2.5 \text{ MeV}$ arasındaki enerjiler için;

$$R = 412 E^{1.265-0.09 \ln E} \quad (3.5)$$

Olarak ifade edilebilmektedir.

$$R = 530 E - 106 \quad (3.6)$$

Denklem 3.5 ve Denklem 3.6'da

R: Beta parçacıklarının erişme uzaklığı (mg/cm^2),

E : Beta parçacıklarının maksimum enerjisi (MeV)

göstermektedir (Karasulu, 1985).

Bununla birlikte, elektronun kütlesi ve yükünün küçük olması nedenleriyle beta radyasyonunun etkileşim olasılığı nispeten az olduğundan erişme uzaklığı aynı enerjideki bir alfa parçacığına göre önemli derecede büyük olmaktadır. Bir başka deyişle, beta parçacıkları ortamda, alfa parçacıklarına göre daha uzak mesafelere ulaşabilmektedirler.

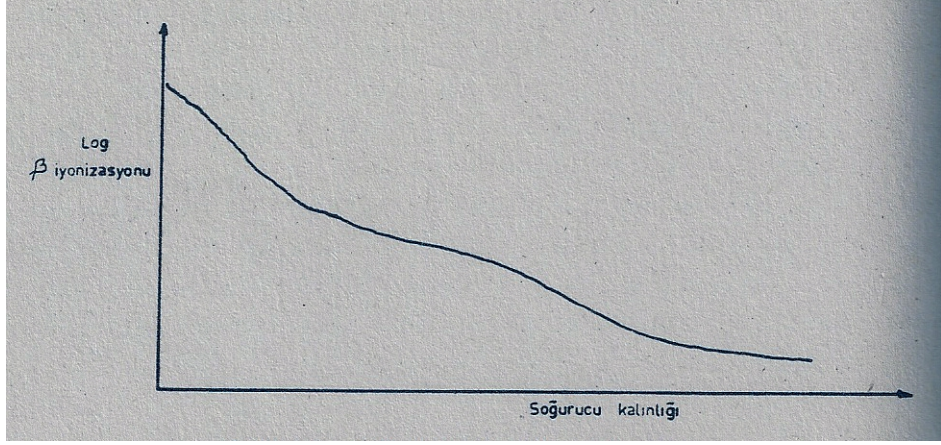
Öte yandan, elektronun kütlesi çekirdeğe göre küçük olduğundan çarpışmalarda, özellikle alçak enerjili elektronlar yüksek atom numaralı elementler tarafından saçıldığı zaman, büyük sapmalar meydana gelebilmektedir. Beta parçacıklarının enerjilerine bağlı olarak hava içindeki erişim uzaklıkları Çizelge 3.1’de verilmektedir.

Çizelge 3.1 : Beta Parçacıklarının Enerjisine Bağlı Olarak Hava İçindeki Erişim Uzaklıkları

Radyonüklid	Maksimum Beta Enerjisi (Mev)	Beta parçacıklarının havadaki erişim uzaklıkları (cm)
^3H	0,018	1,25
^{14}C	0,150	25,4
^{45}Ca	0,25	50
^{90}Sr	0,60	160
^{127}Te	0,70	190
^{69}Zn	0,90	280
^{123}Sn	1,40	500
^{32}P	1,70	680
^{21}Na	2,50	1000
^{134}La	2,70	1280

3.3 Betaların Madde İçinde Soğurulması

Elektronların ve beta parçacıklarının, havada bir iyon çifti meydana getirmek için ortalama enerji kaybı alfa parçacıklarınkine hayli yakındır. Beta parçacıklarının soğurulmasına ilişkin bir eğri Şekil 3.3’de görülmektedir (Bilge, 1985.)



Şekil 3.3 : Beta parçacıklarının soğurulması (Bilge, 1991)

Şekil 3.3'den hareketle beta parçacıklarının eksponansiyel değişime uyduğu söylenebilir. Bu takdirde;

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (3.7)$$

yazılabilir. Burada;

I : Malzemeyi kateden beta radyasyonunun şiddeti

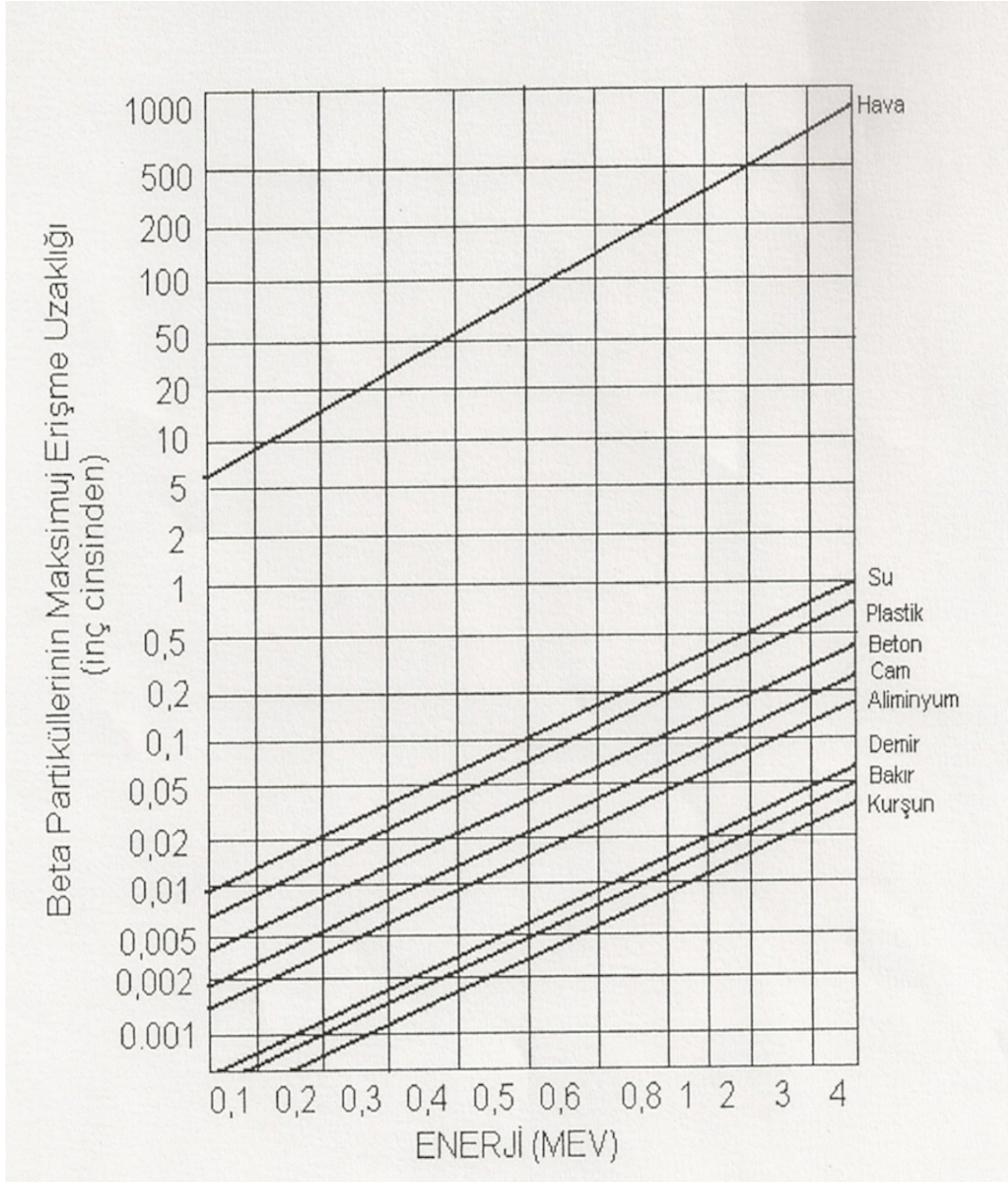
I_0 : Başlangıçtaki beta radyasyonunun şiddeti

μ : Lineer absorpsiyon katsayısı

x: Malzeme kalınlığı

temsil etmektedir.

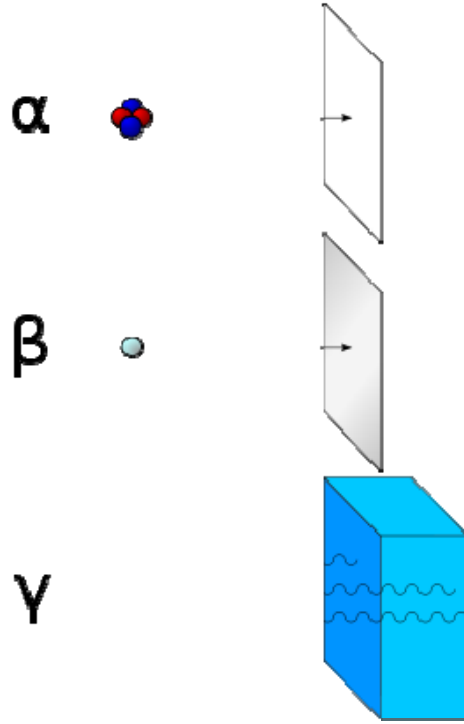
Beta parçacıklarının enerjilerine bağlı olarak farklı malzemelerdeki erişme uzaklıkları Şekil 3.4'de görülmektedir.



Şekil 3.4 : Beta parçacıklarının farklı malzemelerde erişme uzaklıkları. (İldız, 2004)

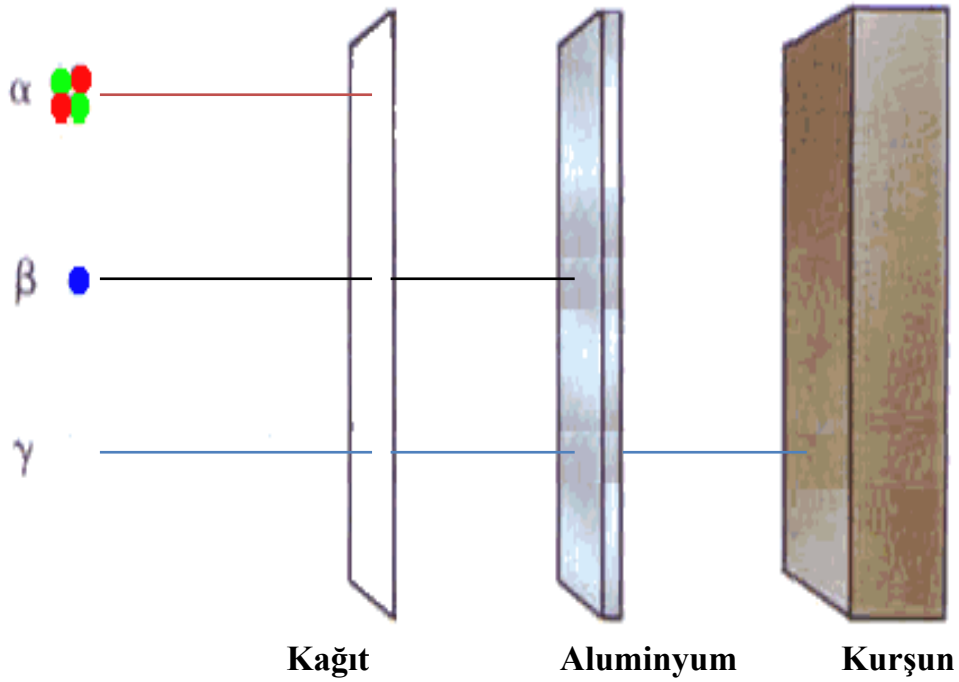
3.4 Beta Zırh Malzemeleri

Radyasyonun zırhlanmasında, radyasyonun madde ile etkileşimi ve maddeye nüfuz etme kabiliyeti önem arz etmektedir. Şekil 3.5'te de farklı radyasyon tiplerinin nüfuziyet kabiliyetleri şematik olarak görülmektedir.



Şekil 3.5 : Farklı Radyasyon Tiplerinin Malzemeye Nüfuziyeti.

Zırhlamada kullanılan malzeme önem arz etmektedir. Bu nedenle, radyasyon tiplerine uygun zırh malzemesi seçilmesi gerekmektedir. Şekil 3.6'da farklı radyasyon tiplerinin farklı malzemelerle zırhlanması şematik olarak görülmektedir.



Şekil 3.6 : Farklı radyasyon tiplerinin farklı malzemelerle zırhlanması (www.deq.idaho.gov/oversight/,2010) .

Beta parçacıklarının zırhlanmasında sadece beta parçacıkları değil, zırh malzemesi olarak kullanılacak malzemede oluşabilecek frenleme tipi X-ışınlarının da zırhlanmasının düşünülmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, beta parçacıkları ile atom numarası yüksek elementlerin kullanılması sakıncalı olmaktadır. Zira, yüksek atom numaralı elementler daha yüksek bir verimle X-ışınları meydana getirecek ve bu X-ışınlarının zırhlanması beta zırhlanmasından daha güç olmaktadır. Düşük atom numaralı elementlerin beta zırhı olarak kullanılmasında ise böyle bir sakınca ortaya çıkmamaktadır. Bu nedenle de, beta parçacıklarının zırhlanmasında düşük atom numaralı metaller, zırh elemanı olarak tercih edilmektedir.

Farklı zırh malzemeleri için farklı radyasyon tiplerinin nüfuziyetlerine ilişkin bir çizelge Çizelge 3.2’de verilmektedir.

Çizelge 3.2 : Farklı zırh malzemeleri için farklı radyasyon tiplerinin nüfuziyetleri

Radyasyon	İzafi Nüfuziyet	Zırh Malzemesi
Alfa	1	Kağıt, deri
Beta	100	3 mm Alüminyum
Gama	10000	Beton, Kurşun

3.5 Beta Teknikleri

Beta parçacıkları (negatron) kullanılarak, daha çok endüstride uygulanan teknikler geliştirilmiş bulunmaktadır. Bununla beraber, arkeometride ve tıpta da uygulamalar söz konusudur.

Beta parçacıkları kullanılarak gerçekleştirilen nükleer teknikleri başlıca 3 kategoride ele almak mümkündür. Bunlar;

- Beta parçacıkları ile ölçüm,
 - Beta geri saçılım teknikleri,
 - Beta radyografisi
- teknikleridir.

3.5.1 Beta ile ölçüm teknikleri

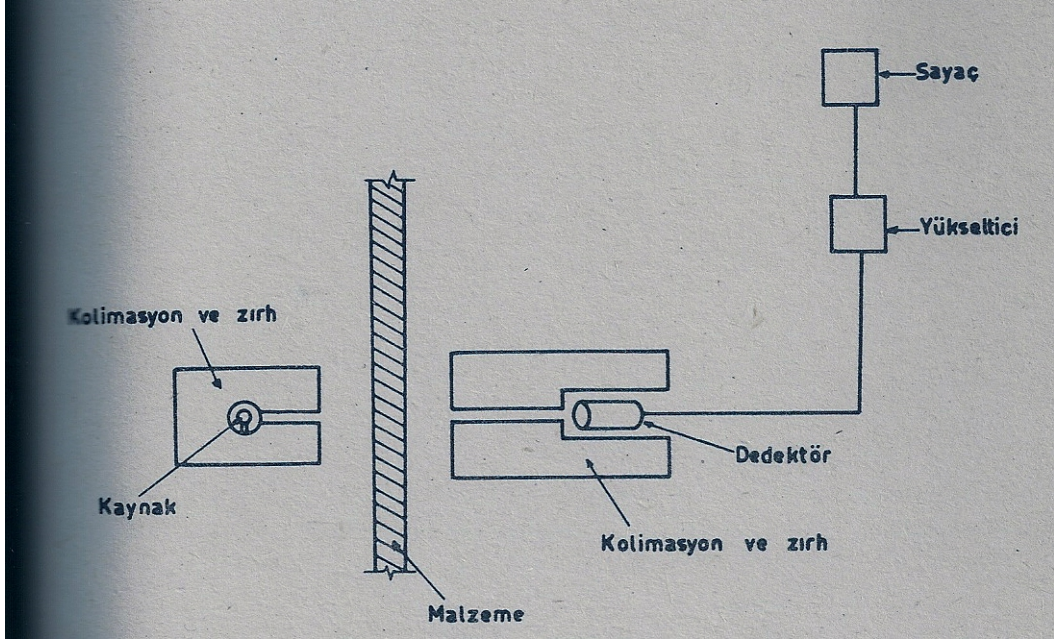
Beta ölçüm teknikleri esas itibariyle, beta transmisyonuna bir başka deyişle beta geçirgenlik özelliklerinden yararlanılarak geliştirilmiş tekniklerdir. Bu tekniğin uygulanışına ilişkin bir prensip şeması Şekil 3.7’de görülmektedir.

Beta transmisyon teknikleri; Denklem 3.7 kapsamında uygulanmaktadır. Bu bağlamda, malzemeye ilişkin farklı özellikler tayin edilebilmektedir. Bir başka deyişle, beta parçacıkları ile;

•Kalınlık

•Yoğunluk

tayini yapılabilmektedir.



Şekil 3.7 : Beta transmisyon tekniğinin prensip şeması.

Transmisyon tekniği ile kalınlık tayini; malzemenin homojen olması koşuluyla, Denklem 3.7’den hareketle

$$x = -1/\mu [\ln I/I_0] \quad (3.8)$$

kullanılarak belirlenebilmektedir.

Malzemenin kalınlığının sabit olması koşuluyla da malzeme yoğunluğunu tayin etmek mümkündür (Turgay, 2004). Burada; kalınlık yoğunluğu;

$$x_k = \rho \cdot k \quad (3.9)$$

ifadesinden yararlanılabilmektedir. Burada;

x_k : Kalınlık yoğunluğu

ρ : Malzeme yoğunluğunu

temsil etmektedir. Denklem 3.7'den hareketle;

$$I = I_0 \exp[-\mu_k x_k] \quad (3.10)$$

yazılabilir. Burada;

I : Malzemeyi kateden beta radyasyonun Şiddet

I_0 : Başlangıçtaki beta radyasyonunun Şiddeti

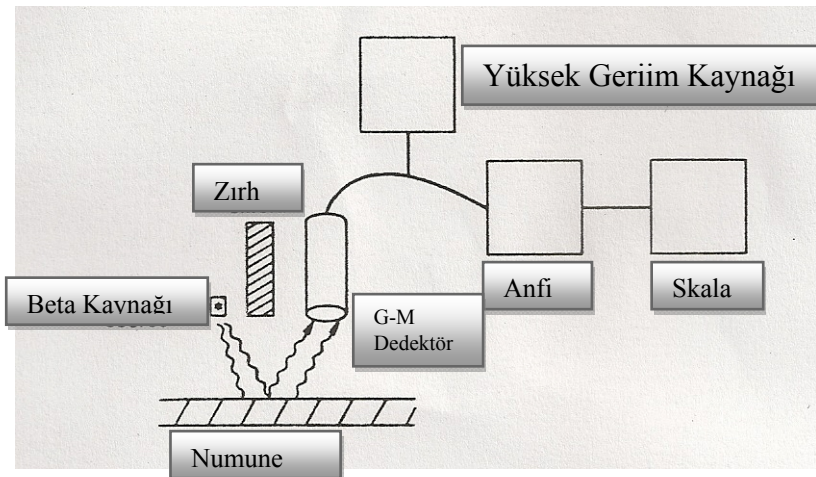
μ : Kütlesel absorpsiyon katsayısı

x : Kalınlık yoğunluğu

temsil etmektedir.

3.5.2 Beta geri saçılım tekniği

Beta parçacıklarının geri saçılımı özelliğinden yararlanılarak da ölçüm teknikleri geliştirilmiştir. Bu uygulamalar, daha çok kaplama kalınlığı tayininde kullanılmaktadır. Beta geri saçılım tekniği ile de kaplama kalınlıkları ve kaplama elemanının yoğunluğunu tayin etmek mümkün olabilmektedir. Beta geri saçılım tekniğinin prensip Şeması Şekil 3.8'de görölmektedir.



Şekil 3.8 : Beta geri saçılım tekniğinin prensip Şeması.

Beta geri saçılım tekniği ile de kalınlık ve yoğunluk tayini yapılabilmektedir. Ancak, beta transmisyon tekniğine göre beta geri saçılım tekniğinin hatası daha yüksek olabilmektedir.

3.5.3 Beta Radyografisi

Beta parçacıklarının nüfuz edebildiği elemanların genel radyografi çekim prensibi çerçevesinde radyografi çekilebilmektedir. Beta parçacıklarının malzemeye nüfuziyeti sınırlı olduğu için beta radyografisinin kullanım alanı da sınırlıdır. Ancak, kağıt, yaprak gibi elemanların, beta radyografisi ile radyografları alınabilmektedir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, bakır ile birlikte kullanılan metal elemanların “Beta Transmisyon Tekniği” ile beta geçirgenliği değerlendirmesi amaçlanmıştır. Bir başka deyişle, bakırın farklı dört metal ile birlikte kullanılması haline ilişkin, beta geçirgenliğinin; beta transmisyon tekniği ile incelenmesi, deneysel çalışmalarımızın temelini oluşturmaktadır.

Beta parçacıkları ile ölçüm sistemleri tasarlanırken, ne tür bir ölçüm için kullanılacağı (geçirgenlik, geri saçılma, absorpsiyon v.b.), beta kaynağının aktifliği ve ölçüm sisteminin duyarlılığı gözönünde bulundurulması gereken temel konular olmaktadır.

Bu çalışmada, öncelikle kaynak olarak kullanılacak beta radyoizotop seçimi yapılmış, deneyde kullanılmayan numuneler titizlikle hazırlanmış ve deney seti amacımıza uygun olarak düzenlenmiştir. Bahsedilen tüm hususlar, aşağıda ayrıntısıyla açıklanmaktadır.

4.1 Deneyde Kullanılan Numuneler

Deneysel çalışmalarda, bakırın farklı dört metal ile birlikte kullanılması haline ilişkin numuneler, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü Radyoizotop laboratuvarında mevcut elemanlar arasından seçilmişlerdir. Söz konusu numunelerdeki safsızlık oranları (X-ışını Floresans) XRF tekniği kullanılarak belirlenmiştir.

Bakır-Aluminyum Bakır-Nikel, Bakır-Gümüş, Bakır-Kurşun, olarak 4 grupta toplanan numunelerle deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bir başka deyişle, saf elementler ve saf elementlerden ayrı olarak 4 grupta toplanan farklı kalınlıktaki bakır-metal numuneleri ile çalışılmıştır.

Bütün numuneler uluslar arası kalibrasyon stadarlarına göre hazırlanmış numuneler deney sırasında itina ile kullanılmıştır. Tüm numunelerin geometrik yapıları ve kendi grubu içinde genel kompozisyonları aynı olup kalınlıkları fark etmektedir. Numuneler her tip alaşım için ayrı ayrı bir grup olarak bir arada ve özel polimer kutular içinde dış etkilerden korunmak üzere muhafaza edilmektedir. Böylelikle, dış etkilerden korunma sağlanmış olmaktadır.

4.1.1 1. Grup numunelerin tanıtımı

Deneyisel çalışmalarda kullanılan ve “1. Grup Numuneler” olarak nitelediğimiz, Bakır Alüminyum (Cu-Al) numunelerine ilişkin özellikler Çizelge 4.1’de verilmektedir. Söz konusu numunelerin fotoğrafı ise Şekil 4.1’de görülmektedir.

Çizelge 4.1 : 1. Grup Numunelerin Özellikleri.

Asal Malzemeler	Safsızlık Elemanları	Kalınlıkları μm
Cu-Al	Ti 2318 ppm \pm 505 S 24971 ppm \pm 5629	39,00
		34,90
		14,30
		4,10
		2,81
		2,47



Şekil 4.1 : Deneylerde Kullanılan Cu-Al Numuneler.

4.1.2.2. Grup numunelerin tanıtımı

Deneysel çalışmalarda kullanılan ve “2. Grup Numuneler” olarak nitelediğimiz, Bakır-Nikel (Cu-Ni) numunelerine ilişkin özellikler Çizelge 4.2’de verilmektedir. Söz konusu numunelerin fotoğrafı ise Şekil 4.2’de görülmektedir.

Çizelge 4.2 : 2. Grup Numunelerin Özellikleri.

Asal Malzemeler	Safsızlık Elemanları	Kalınlıkları μm
Cu-Ni	Ti 2207 ppm \pm 525 Co 2443 ppm \pm 123	39,20
		27,30
		21,20
		11,10
		5,00
		1,41



Şekil 4.2 : Deneyslerde Kullanılan Cu-Ni Numuneler.

4.1.3.3. Grup numunelerin tanıtımı

Deneysel çalışmalarda kullanılan ve “3. Grup Numuneler” olarak nitelediğimiz, Bakır-Gümüş (Cu-Ag) numunelerine ilişkin özellikler Çizelge 4.3’de verilmektedir. Söz konusu numunelerin fotoğrafı ise Şekil 4.3’de görülmektedir.

Çizelge 4.3 : 3. Grup Numunelerin Özellikleri.

Asal Malzemeler	Safsızlık Elemanları	Kalınlıkları μm
Cu-Ag	Sn 2098 ppm \pm 43	46,60
		45,80
		40,00
		5,80
		0,80



Şekil 4.3 : Deneylerde Kullanılan Cu-Ag Numuneler.

4.1.4 4. Grup numunelerin tanıtımı

Deneysel çalışmalarda kullanılan ve “4. Grup Numuneler” olarak nitelediğimiz, Bakır-Kurşun (Cu-Pb) numunelerine ilişkin özellikler Çizelge 4.4’de verilmektedir. Söz konusu numunelerin fotoğrafı ise Şekil 4.4’de görülmektedir.

Çizelge 4.4 : 4. Grup Numunelerin Özellikleri.

Asal Malzemeler	Safsızlık Elemanları	Kalınlıkları μm
Cu-Pb	S 98240 ppm \pm 12342	10,80
		10,10
		6,20
		3,09
		0,71



Şekil 4.4 : Deneyslerde Kullanılan Cu-Pb Numuneler.

4.1.5 Sınama numunelerin tanıtımı

Deneysel çalışmalarda kullanılan 4 grup halindeki numunelerle yapılan deneylerde elde edilen eğrilerin sınanması için kullanılan numunelerin özellikleri Çizelge 4.5’de verilmektedir.

Çizelge 4.5 : Sınama Numunelerinin Özellikleri.

Element	Safsızlık Elemanları	Kalınlıklığı
Cu - Al	Mn 446 ppm \pm 24 Fe 633 ppm \pm 25 Zn 247 ppm \pm 8	20.60 μ m
Cu - Ni	Mn 2469 ppm \pm 236 Co 870 ppm \pm 158 Zr >10% \pm 2	39.70 μ m
Cu - Ag	Ti 654 ppm \pm 205 Sn 3275 ppm \pm 65	10.80 μ m
Cu - Pb	Ti 10077 ppm \pm 2012 As 46794 \pm 2256	3.80 μ m

4.2 Deneylerde Kullanılan Beta Radyoizotop Kaynak

Radyasyonla ölçüm sistemlerinde (radiogauging) önemli bir eleman radyoizotop kaynak olmaktadır. Burada; gözönünde bulundurulması gereken bazı faktörler sözkonusudur. Bunlar;

- Radyoizotop kaynağın yayınladığı radyasyon enerjisinin kullanım amaçlarına uygunluğu
- Kullanılacak ölçüm sistemine uygun bir yarı ömür
- Radyoizotop kaynağın aktivitesi
- Radyasyon güvenliği
- Bulunabilirlik ve kullanım kolaylığı
- Maliyet

olarak sayılabilir (ILDIZ ÖĞRÜÇ, 2000)

Bu faktörler dikkate alındığında, değerlendirilen muhtelif metal numunelerin, beta parçacıklarının absorblama veya geçirgenlik oranları birbirinden farklı olmaktadır. Bu sebeple, enerjisi yüksek olan bir radyoizotop kaynakla çalışılması yoluna gidilmiş ve bu bağlamda, Stronsiyum-90 beta radyoizotop kaynağı deneylerimiz için seçilmiştir.

Stronsiyum-90, aktivite ve bulunabilirlik açısından da uygun kaynak olduğundan deneysel çalışmalar sırasında tercih edilen bir kaynaktır. Deneysel çalışmalarımızda kullanılan radyasyon kaynağı, İstanbul Teknik Üniversitesi - Enerji Enstitüsü Radyoizotop Laboratuvarı'nda bulunan bir Sr-90 beta radyoizotop kaynağıdır.

Deneyimizde kullanılan Sr-90 radyoaktif kaynağı 1969 tarihi itibari ile “ 7.7252”mCi olarak üretilmiştir. Deneylerin yapıldığı zaman Nisan 2010 tarihidir. Deneyler sırasında kaynağın aktivitesi Denklem 4.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$A_k = A_0 e^{-0.693t/T_{1/2}} \quad (4.1)$$

A_k = Kaynağın aktivitesi (mCi)

A_0 = Kaynağın üretildiği tarihteki aktivitesi (mCi)

t = Kaynağın üretildiği tarihten bu yana geçen zaman süresi (yıl)

$T_{1/2}$ = Kaynağın yarı ömrü (yıl)

Denklem 4.1 göz önüne alınarak yapılan hesaplamalarda kaynağın deneyler sırasındaki aktivitesinin 2.86 mCi olduğu hesaplanmıştır. Deneylerde kullanılan Sr-90 beta radyoizotop kaynağına ait özellikler Çizelge 4.6'da verilmektedir.

Çizelge 4.6 : Stronsiyum-90 Beta Radyoizotop Kaynağının Özellikleri.

İzotop	Yarı-Ömrü	Enerji (keV)	Aktivite	Üretim Tipi
Sr-90	28,6 yıl	546 (100%) 2,283 (99.9%)	2.86 mCi	Fisyon Ürünü

4.3 Deneyde Kullanılan Elemanlar

4.3.1 Radyasyon Ölçümleme Cihazı

Detektör, radyasyonla ölçüm sistemlerinin önemli bir elemanıdır. Bu çalışmada, kullanılan detektör, Survey Meter PM 1405 cihazı içinde kompakt şekilde imal edildiği şekilde kullanılmıştır. Bu cihaz içinde GM tipi bir detektör kullanılmış olup, tercih edilmiş sebebi sayım veriminin yüksek oluşudur. Kullanılan radyasyon ölçüm cihazının fotoğrafı Şekil 4.5’de ve teknik özellikleri de Çizelge 4.7’de verilmektedir.

Çizelge 4.7 : Radyasyon Ölçüm Cihazının Teknik Özellikleri.

Detektör Tipi	GM-counter
Doz Değeri	0.1 μ Sv/h - 100 mSv/h (10 μ R/h - 10 R/h),
Enerji Aralığı	0,05 – 3,00 MeV
Boyutlar	148 x 85 x 40 mm
Ağırlığı	290 g (10.2 oz)
Çalışma Sıcaklığı	-10°C to 50°C (14°F to 122°F)
Çalışma Nemi	up to 95 % at 35 °C (95 °F)
Uyumlu Çevre Sertifikaları	IP30

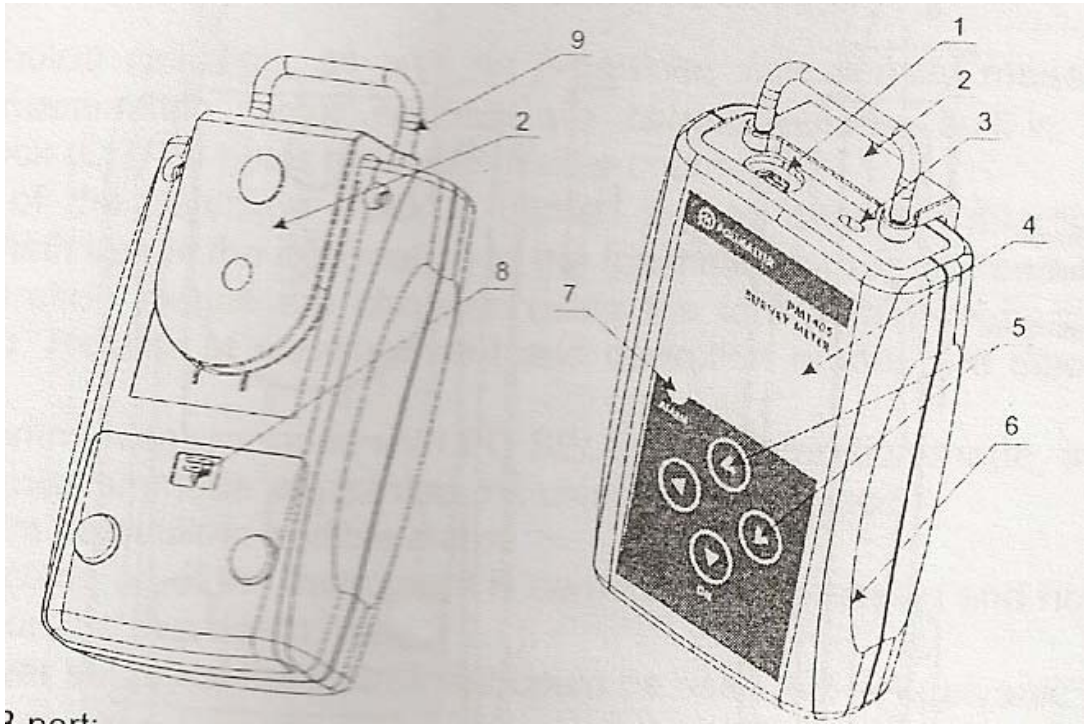


Şekil 4.5 : PM 1405 Radyasyon Ölçüm Cihazı.

Deneylerimizde kullanılan radyasyon ölçüm cihazını oluşturan elemanlar;

- 1.USB Kapısı
- 2.Ekran Filitresi
- 3.Düzenlenebilir alarm çıkışı
- 4.LCD
- 5.4'lü tuş takımı
- 6.Plastik kap
- 7.LED belirtici
- 8.Pil bölümü kapağı
- 9.Filtre sapı

olarak sayılabilir. Detektöre ilişkin bu elemanlar Şekil 4.6'daki çizimde, yukarıda belirtilen numaralama ile görülmektedir.



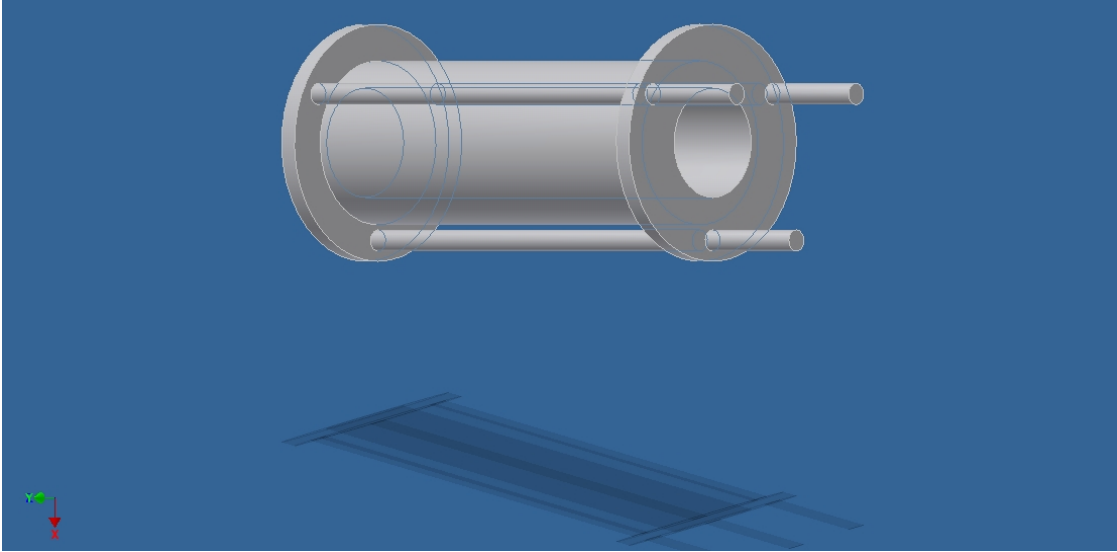
4.3.2 Kolimatör

Deneyleerde alınan sayımların sağlıklı olması bakımından çevre saçılmaların elimine edilmesi önem arz etmektedir. Bu amaçla, detektör zırhından ayrı olarak, kaynak ile detektör arasında ayrı bir özel kollimatör kullanılmıştır. Canberra marka 7419C model numaralı 0899037 seri numaralı kollimatörün, dışı kurşun olup, içi pleksiglastır ve kurşun ile pleksiglas arasında ara malzeme olarak alüminyum kullanılmıştır. Kollimatöre ilişkin özellikler Çizelge 4.8’de verilmektedir.

Çizelge 4.8 : Deneyleerde Kullanılan Kollimatörün Özellikleri.

Özellik	Açıklama
Yükseklik	280 mm
Dış Çapı	130 mm
İç Çapı	60 mm

Kollimatörün çizimi Şekil 4.7’de, fotoğrafı ise 4.8’de görülmektedir.



Şekil 4.7 : Kollimatörün Çizimi.



Şekil 4.8 : Deneylede Kullanılan Kollimatörün Fotoğrafi.

4.3.3 Deneylede Kullanılan Bilgisayar ve Yazılım

Deneylede kullanılan radyasyon ölçüm cihazı, aldığı sayımları, online olarak bilgisayara aktarabilmektedir. Bu amaçla, PM 1405 radyasyon ölçüm cihazı için geliştirilmiş bir yazılımdan yararlanılmıştır. Söz konusu yazılımın yüklendiği bilgisayar Pentium III tabanlı bir masa üstü bilgisayar olup, fotoğrafı Şekil 4.9'da görülmektedir.



Şekil 4.9 : Deneylede Kullanılan Bilgisayar.

4.3.4 Deneylerde kullanılan zırh elemanlar

Deneylerde beta radyoizotop kaynak kullanıldığı göz önüne alınarak, bu duruma uygun bir zırhlama elemanı kullanılmıştır. Bu amaçla öncelikle, pleksiglas bir levha kullanılmıştır. Pleksiglas elemandan ayrı olarak selüloz elemanlardan da faydalanılmıştır. Pleksiglas levhaya ilişkin özellikler Çizelge 4.9’da verilmektedir.

Çizelge 4.9 : Deneylerde Kullanılan Pleksiglas Zırh Elemanların Özellikleri.

Özellik	Açıklama
Eni	280 mm
Boy	130 mm
Kalınlığı	60 mm

Beta parçacıklarına karşı zırh elemanı olarak kullanılan pleksiglas levhadan sonra ise 50 mm kalınlığında kurşun tuğlalardan duvar örülmüştür. Söz konusu, kurşun duvar için 30 adet kurşun tuğla kullanılmıştır. Böylelikle, oluşturulan zırhlama elemanları Şekil 4.10’da görülmektedir.



Şekil 4.10 : Deneylerde Kullanılan Zırhlama Elemanları.

4.3.5 Radyasyon Monitörü

Deney sırasında, nükleer güvenlik şartlarının kontrolü için bir radyasyon monitörü kullanılmıştır. Söz konusu radyasyon monitörü Polimaster marka alarmlı bir radyasyon monitörü olup, özellikleri Çizelge 4.10’da verilmekte ve fotoğrafı da Şekil 4.11’de görülmektedir.

Çizelge 4.10 : Deneylerde Kullanılan Radyasyon Monitörünün Özellikleri.

Özellikler	Açıklama
Detektör	GM Tüp
Doz seviyesi Göstercisi	0.01 μ Sv/h (1 μ R/h – 20 R/h), Hp(10)
Doz seviyesi tutarlılığı (H – dose rate, μ Sv/h)	$\pm(15+0.015/H +0.01H)\%$ (menzil içerisinde 0.1 μ Sv/h - 0.1 Sv/h)
Doz ölçümü	0.01 μ Sv - 9.99 Sv (1 μ R - 999 R)
Doz tutarlılığı	$\pm 15\%$ (in range 1 μ Sv - 9.99 Sv (100 μ R - 999 R))
Enerji Aralığı	10.0 KeV - 20.0 MeV
Enerji cevap zamanı 0.662 MeV (Cs-137)	$\pm 30\%$
Standartları	IEC 61526, ANSI N42.20
Boyutları	87 x 72 x 35 mm

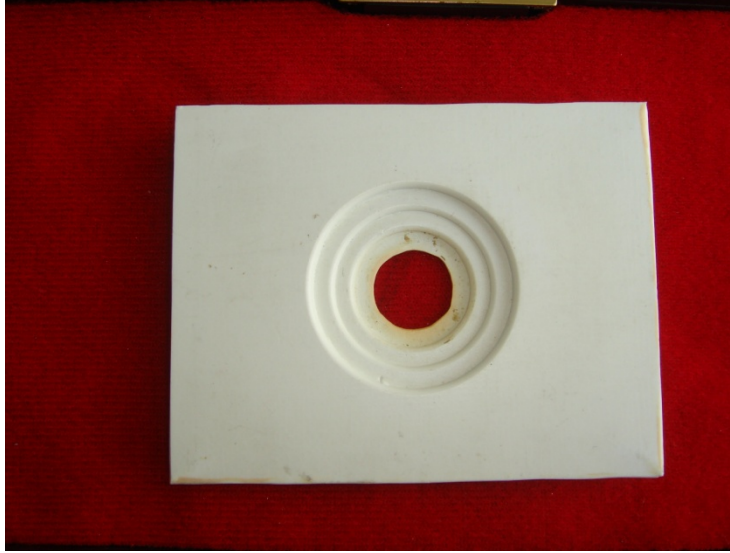


Şekil 4.11 : Deneylerde Kullanılan Radyasyon Monitörü.

4.4 Deneyde Kullanılan Yardımcı Elemanlar

4.4.1 Numune tutucu eleman

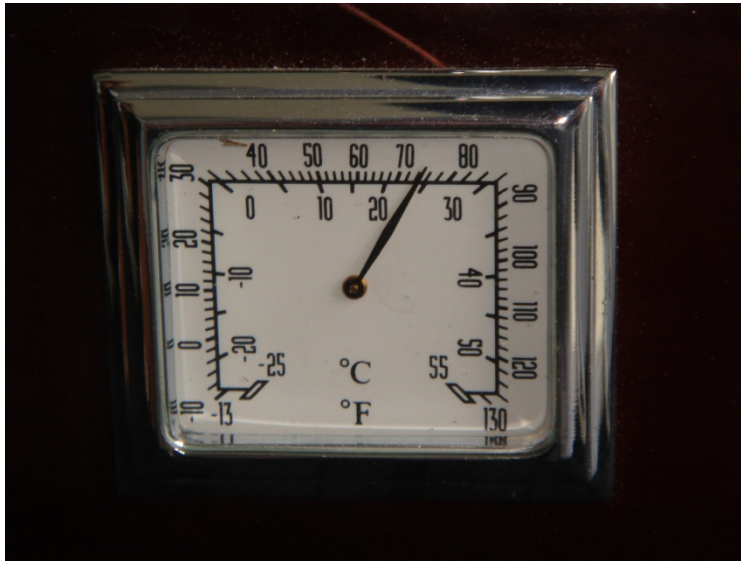
Numunelerin kolimatörün üzerinde sabit konumda kalabilmesi için numunenin yerleştirileceği bir numune tutucu elemandan yararlanılmıştır. Kullanılan bu eleman özel plastikten yapılmış olup Şekil 4.12’te görülmektedir.



Şekil 4.12 : Numune Tutucu Eleman.

4.4.2 Termometre

Deney şartlarının değerlendirilmesinde standart bir termometreden faydalanılmıştır. Bu termometre ile, sıcaklık °C ve °F olarak ölçümlenebilmektedir. Kullanılan termometre Şekil 4.13’te görülmektedir.



Şekil 4.13 : Termometre.

4.4.3 Nem Ölçer

Deney şartlarının değerlendirilmesinde ortamın nem değerleri, nem ölçer ile ölçülmüştür. Kullanılan nem ölçer Şekil 4.14'te görülmektedir.



Şekil 4.14 : Nem Ölçer.

4.5 Deney Düzeneği

Yukarıdaki alt bölümlerde tanıtılan ve deneylerimizde kullanılan cihaz ve elemanlar bir araya getirilerek deney düzeneği oluşturulmuştur. Söz konusu deney düzeneği, İTÜ Enerji Enstitüsü – Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı Radyoizotop Labratuarında kurulmuştur.

Deney düzeneğimiz;

- Beta Radyasyon Kaynağı (Sr-90)
- Survey meter PM 1405 detektör
- Selüloz zırh
- Pleksiglass zırh
- Kurşun zırh
- Canbera kolimatör
- Farklı kalınlık ve metal çifti numuneler

elemanlardan oluşmuştur. Deney düzeneği Şekil 4.15’da görülmektedir.

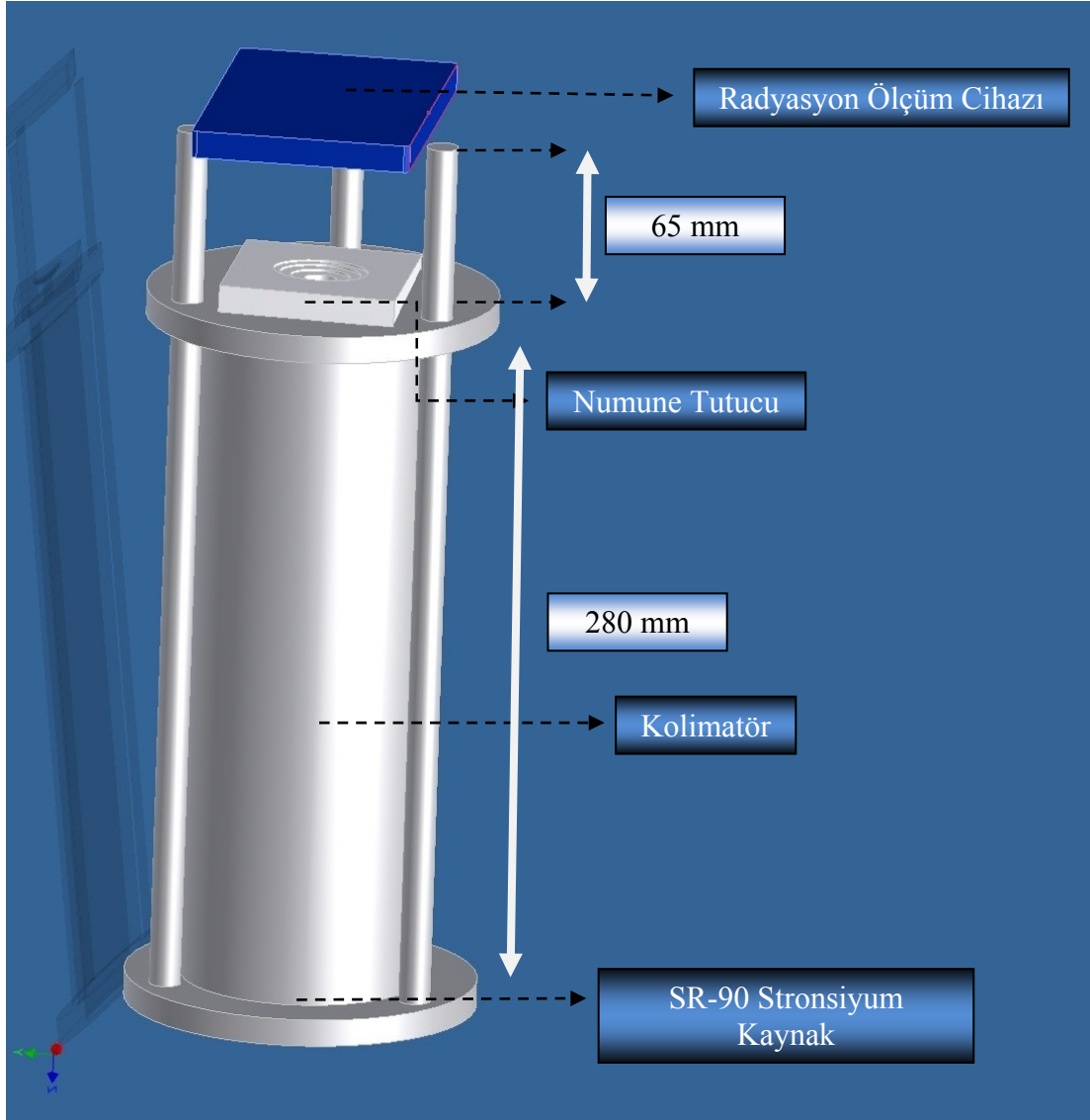


Şekil 4.15 : Deney Düzeneğinin Görünümü.

4.6 Deney Geometrisi

Deney geometrisi radyasyonla ölçüm sistemleri için önemli ve sonuca etken olan bir olgudur (Tuğrul, 1995). Sistem geometrisinden doğabilecek hataları önlemek için, sayım sistemindeki radyasyon ölçüm cihazı ve sayım alınacak malzemelerin konumlarının deneyler süresince aynı kalmasına dikkat edilmiştir. Bir başka deyişle, deney geometrisi tüm deneylerde sabit tutulmuştur.

DeneYler sırasında noktasal beta kaynağı kolimatör içine itina ile ve hareket etmeyecek şekilde yerleştirilmiştir. Kollimatör üzerine radyasyon ölçüm cihazı yerleştirilmiş ve sayımlar alınmıştır. Bu sayede detektörün sadece kolimatörün içinden malzemeyi geçtikten sonra ulaşan ışınları algılaması sağlanmıştır. DeneY geometrisinin izimi Şekil 4.16'de verilmektedir.



Şekil 4.16 : DeneY Geometrisi.

4.7 DeneYin Yapılışı

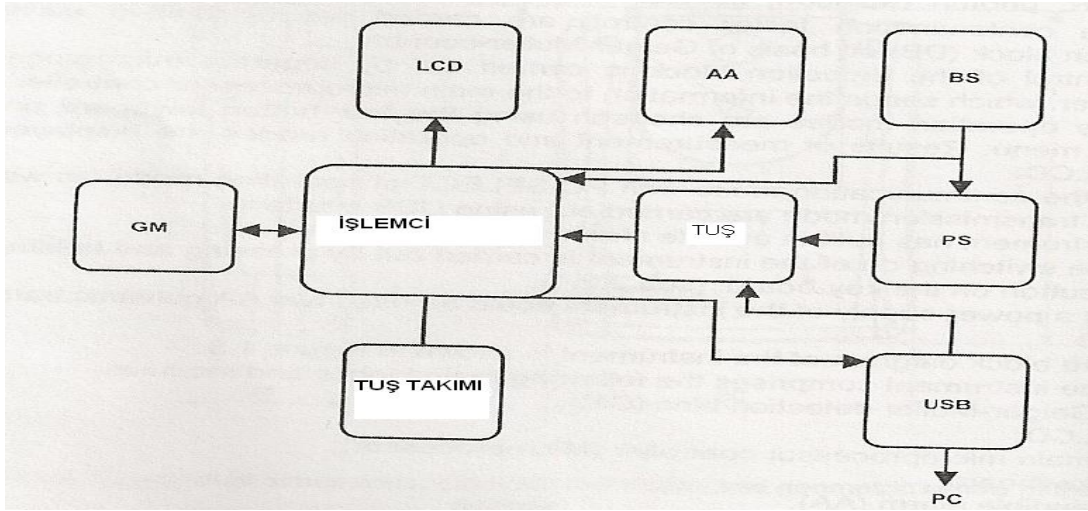
DeneY geometrisine uygun olarak deneY düzeneği oluşturulduktan sonra, her numune grubu için deneYler ard arda (bir oturumda olabilecek şekilde) yapılmıştır. DeneY parametreleri içinde ifade ettiğimiz sıcaklık ve nem değerleri deneYlere başlamadan kontrol edilmiştir.

Her grup deneye başlamadan önce doğal ortam sayımları (background) alınmıştır. Bu sayımlar en az üç sayım alınarak belirlenmiştir. Bundan sonra, kaynak ile radyasyon ölçüm cihazı arasına numune konmaksızın sayımlar alınmıştır. Böylelikle, elde edilen sayım değerleri “Başlangıç Sayımları (Io)” sayımları olmaktadır. Başlangıç sayımı için de en az üç sayım alınmıştır.

Başlangıç sayımlarının alınmasından sonra numune tutucu eleman ile birlikte Bölüm 4.5 ve Bölüm 4.6’da açıklanan ve Şekil 4.15’deki fotoğrafta Şekil 4.16’deki çizide görülen yerine konmuş ve sayımlar alınmıştır. Bu şekildeki sayımlar her alaşım elemanının her bir kalınlığı için yine en az üç sayım alınacak şekilde gerçekleştirilmiş ve online olarak bilgisayara kaydedilmiştir.

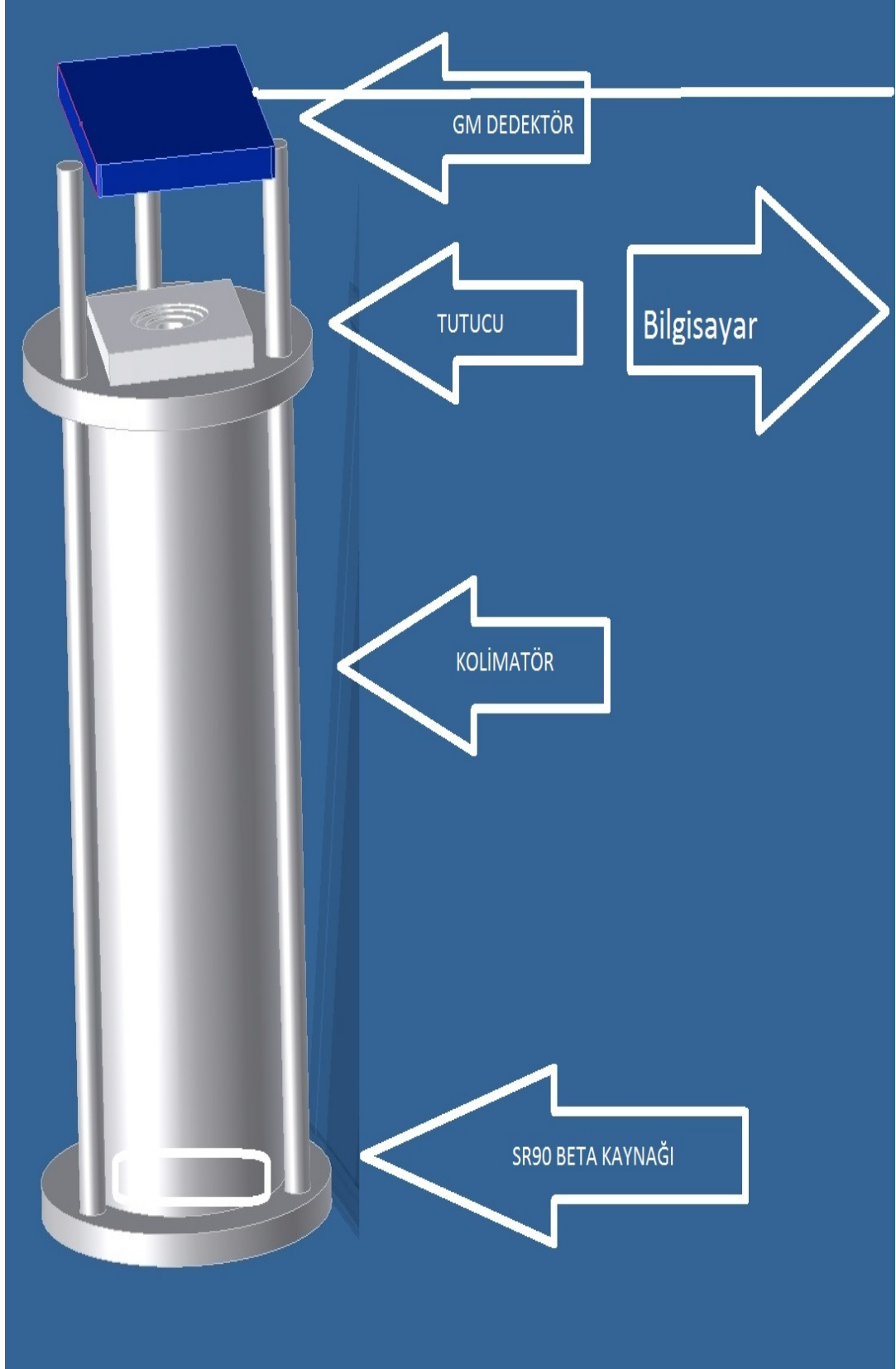
Alınan sayımlar, tablo halinde bir araya toplanmış ve alınan sayımlardan doğal sayım çıkarılarak “net sayımlar” hesaplanmıştır. Daha sonra, net sayımlar, başlangıç sayımlarına bölünerek “bağlı sayımlar” elde edilmiştir. Böylelikle, deney sonuçları rasyonel olarak değerlendirilebilecek ve birbirleri ile mukayese edilebilir hale getirilmiş olmaktadır.

Deneyde kullanılan radyasyon monitörü ve bilgisayar akış şeması Şekil 4.17 de görülmektedir.



Şekil 4.17 : Radyasyon Monitörü Akış Şeması.

Deneylere ilişkin çalışma parametreleri toplu halde Çizelge 4.11’de verilmektedir. Şekil 4.18’de ise deney düzeneği blok diyagramı olarak verilmiştir.



Şekil 4.18 : Deney Düzenekinin Blok Diyagramı.

Çizelge 4.11 : Deney Çalışma Parametreleri.

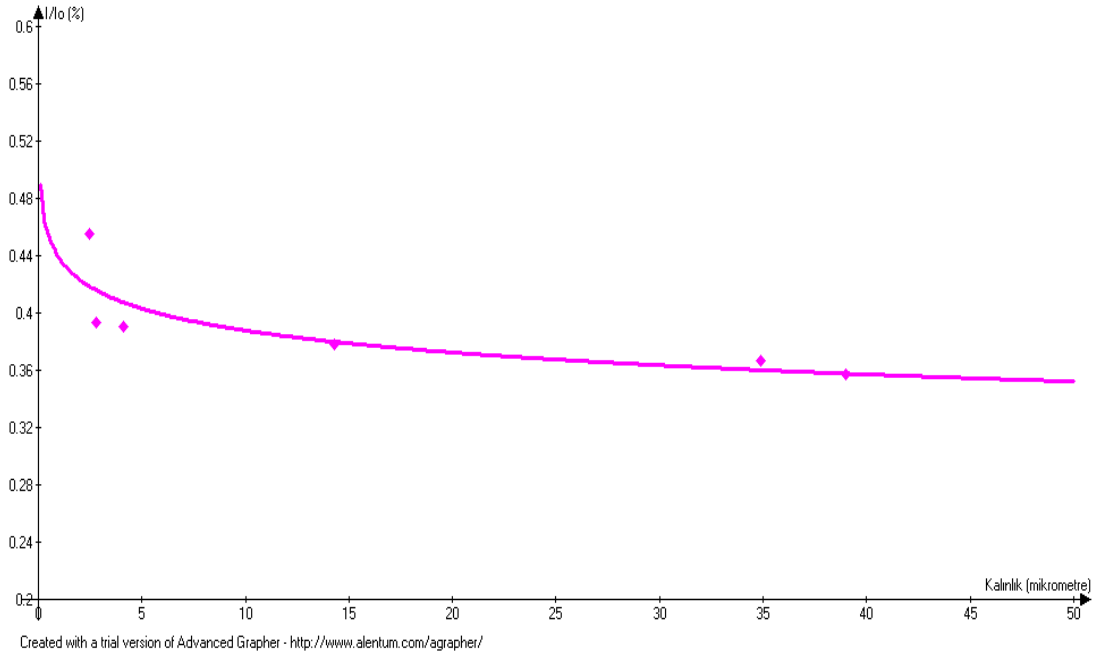
Özellikler	Açıklamalar
Radyoizotop Kaynak	Sr-90
Radyoizotop Kaynak Aktivitesi	2.86 mCi
Sayım Zamanı	60 s
Sayım Adeti	En az 3 kez
Kaynak Detektör Mesafesi	345 mm
Kaynak Numune Mesafesi	280 mm
Detektör Tipi	GM-counter
Kolimatör	Canberra Model 7419C
Zırh	Selüloz, Pleksiglass ve Kurşun
Sıcaklık	24°
Nem	% 50

5. DENEY SONUÇLARI

Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında amaçlanan bakır ile birlikte kullanılan metal elemanların “Beta Transmisyon Tekniği” ile beta geçirgenliği değerlendirmesi için yapılan deneysel çalışmalara ilişkin alınan sonuçlar aşağıda verilmektedir. Deney sonuçlarının grafik olarak verilebilmesi için Advanced Grapher programından yararlanılmıştır (<http://www.alentum.com/agrapher/>,2010). Ayrıca, bazı grafikler için Microsoft Excel Programı kullanılmıştır (<http://office.microsoft.com/tr-tr/excel/FX100487621055.aspx?ofcresset=1,2010>)

5.1 Cu-Al Numuneler Kullanılarak Yapılan Deneylerin Sonuçları

1. Grup numuneler olarak nitelenen Cu-Al numuneler kullanılarak gerçekleştirilen deneylerin sonuçları, Çizelge 5.1’de verilmektedir. Kullanılan kalınlıklarla Cu-Al numuneler için çıkarılan kalibrasyon eğrisi ise Şekil 5.1’de görülmektedir.



Şekil 5.1 : Kullanılan kalınlıklarla Cu-Al numuneler için çıkarılan kalibrasyon eğrisi

Çizelge 5.1 : Cu-Al numuneler kullanılarak gerçekleştirilen deneylerin sonuçları.

							Doğal Sayım :	347.00	
Malzeme Kalınlığı (µm)	Sayım (± %10)						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağlı Sayım (I/I0) (±%10)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım			
39.00	633,281.00	632,934.00	633,296.00	632,949.00	633,386.00	633,039.00	632,974.00	56.79	0.356809
34.90	652,901.00	652,554.00	650,621.00	650,274.00	650,021.00	649,674.00	650,834.00	1,519.47	0.366877
14.30	667,766.00	667,419.00	679,286.00	678,939.00	665,990.00	665,643.00	670,667.00	7,218.59	0.378057
4.10	691,376.00	691,029.00	692,156.00	691,809.00	693,521.00	693,174.00	692,004.00	1,085.71	0.390085
2.81	696,866.00	696,519.00	698,126.00	697,779.00	698,051.00	697,704.00	697,334.00	706.81	0.393089
2.47	801,941.00	801,594.00	812,501.00	812,154.00	808,541.00	808,194.00	807,314.00	5,334.72	0.455085
Io	1,769,066.00	1,768,719.00	1,779,596.00	1,779,249.00			1,773,984.00	7,445.83	

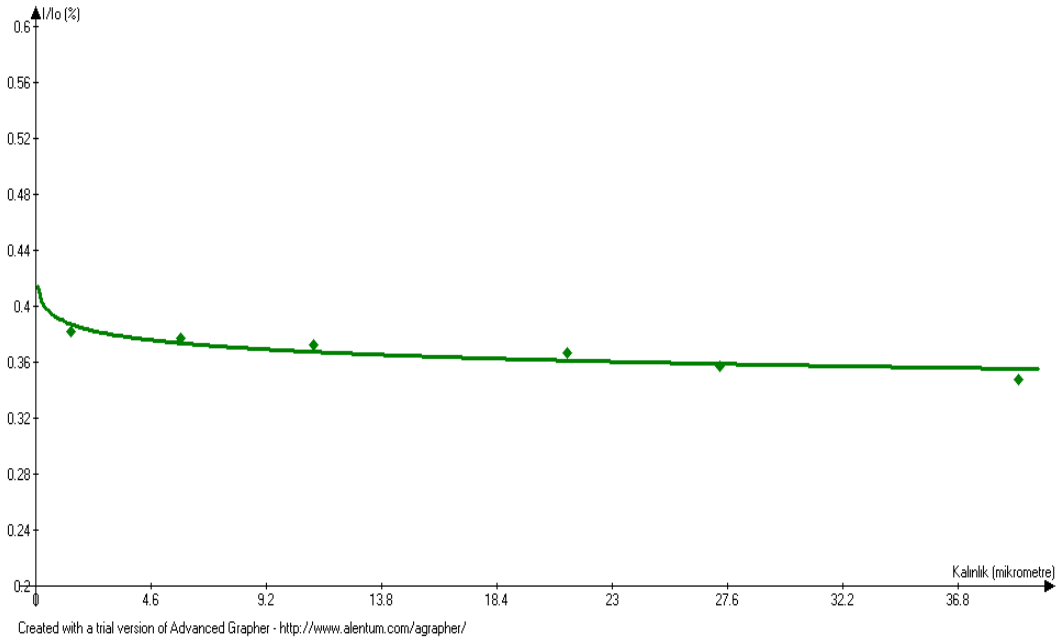
Advanced Grapher programı kullanılarak Cu-Al çizilen kalibrasyon eğrisinin denklemi;

$$Y(x) = -0.0220901 * \ln(x) + 0.4386132 \quad (5.1)$$

olarak çizim programı tarafından verilmekte olup, çizilen eğrinin veriye uyumluluğu bağlamında standart sapması da $SD = 0.0209452$ olarak verilmektedir.

5.2 Cu-Ni Numuneler Kullanılarak Yapılan Deneylerin Sonuçları

2. Grup numuneler olarak nitelenen Cu-Ni numuneler kullanılarak gerçekleştirilen deneylerin sonuçları, Çizelge 5.2’de verilmektedir. Kullanılan kalınlıklarla Cu-Ni numuneler için çıkarılan kalibrasyon eğrisi ise Şekil 5.2’de görülmektedir.



Şekil 5.2 : Kullanılan kalınlıklarla Cu-Ni numuneler için çıkarılan kalibrasyon eğrisi.

Advanced Grapher programı kullanılarak Cu-Ni için çizilen kalibrasyon eğrisinin denklemi;

$$Y(x) = -0.0095523 * \ln(x) + 0.3903826 \quad (5.2)$$

olarak çizim programı tarafından verilmekte olup, çizilen eğrinin veriye uyumluluğu bağlamında standart sapması da $SD = 0,0056612$ olarak verilmektedir.

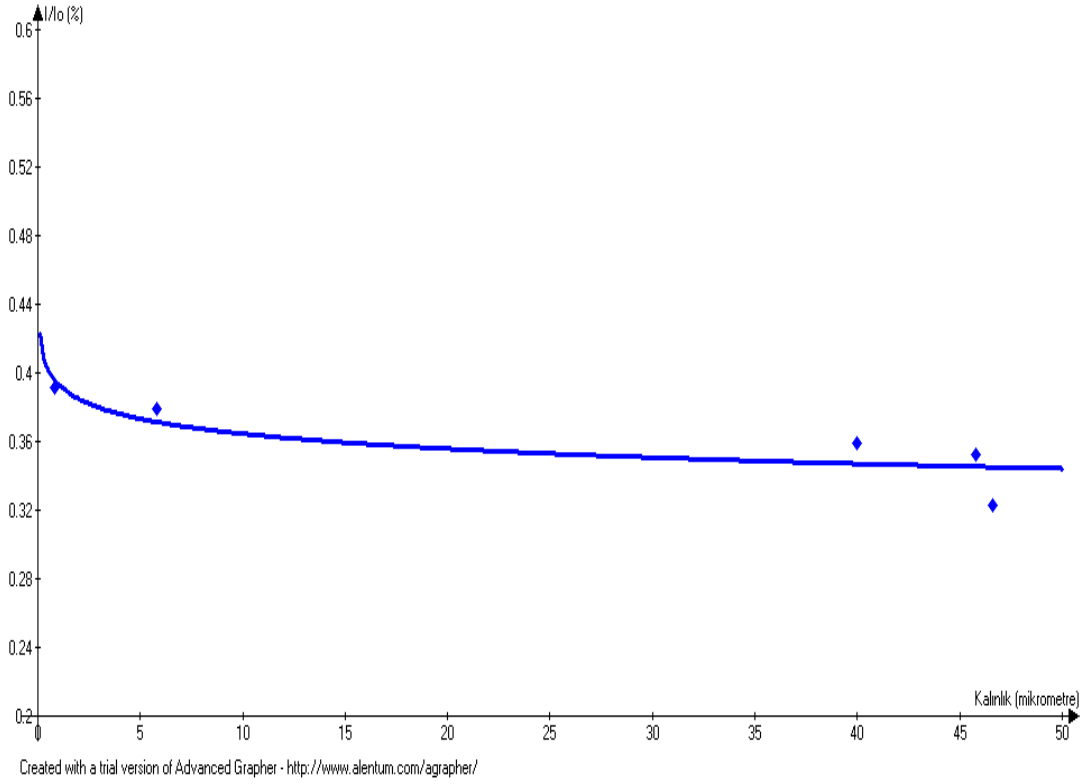
Çizelge 5.2’de ve Şekil 5.2’de görülmektedir.

Çizelge 5.2 : Cu-Ni numuneler kullanılarak gerçekleştirilen deneylerin sonuçları.

							Doğal Sayım :	347.00	
Malzeme Kalınlığı (μm)	Sayım (\pm %10)						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağlı Sayım (I/I0) (\pm %10)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım			
39.20	647,681.00	647,334.00	647,561.00	647,214.00	647,411.00	647,064.00	647,204.00	135.28	0.347382
27.30	666,116.00	665,769.00	666,266.00	665,919.00	666,611.00	666,264.00	665,984.00	253.82	0.357462
21.20	684,551.00	684,204.00	684,761.00	684,414.00	683,606.00	683,259.00	683,959.00	615.24	0.367110
11.10	691,811.00	691,464.00	694,586.00	694,239.00	694,631.00	694,284.00	693,329.00	1,615.29	0.372139
5.80	703,301.00	702,954.00	704,441.00	704,094.00	702,926.00	702,579.00	703,209.00	789.03	0.377443
1.41	718,301.00	717,954.00	709,901.00	709,554.00	709,601.00	709,254.00	712,254.00	4,938.62	0.382297
Io	1,863,416.00	1,863,069.00	1,863,986.00	1,863,639.00	1,862,906.00	1,862,559.00	1,863,089.00	540.28	

5.3 Cu-Ag Numuneler Kullanılarak Yapılan Deneylerin Sonuçları

3. Grup numuneler olarak nitelenen Cu-Ag numuneler kullanılarak gerçekleştirilen deneylerin sonuçları, Çizelge 5.3’de verilmektedir. Kullanılan kalınlıklarla Cu-Ag numuneler için çıkarılan kalibrasyon eğrisi ise Şekil 5.3’de görülmektedir.



Şekil 5.3 : Kullanılan kalınlıklarla Cu-Ag numuneler için çıkarılan kalibrasyon eğrisi.

Advanced Grapher programı kullanılarak Cu-Ag için çizilen kalibrasyon eğrisinin denklemini;

$$Y(x) = -0.0125997 \cdot \ln(x) + 0.3935562 \quad (5.3)$$

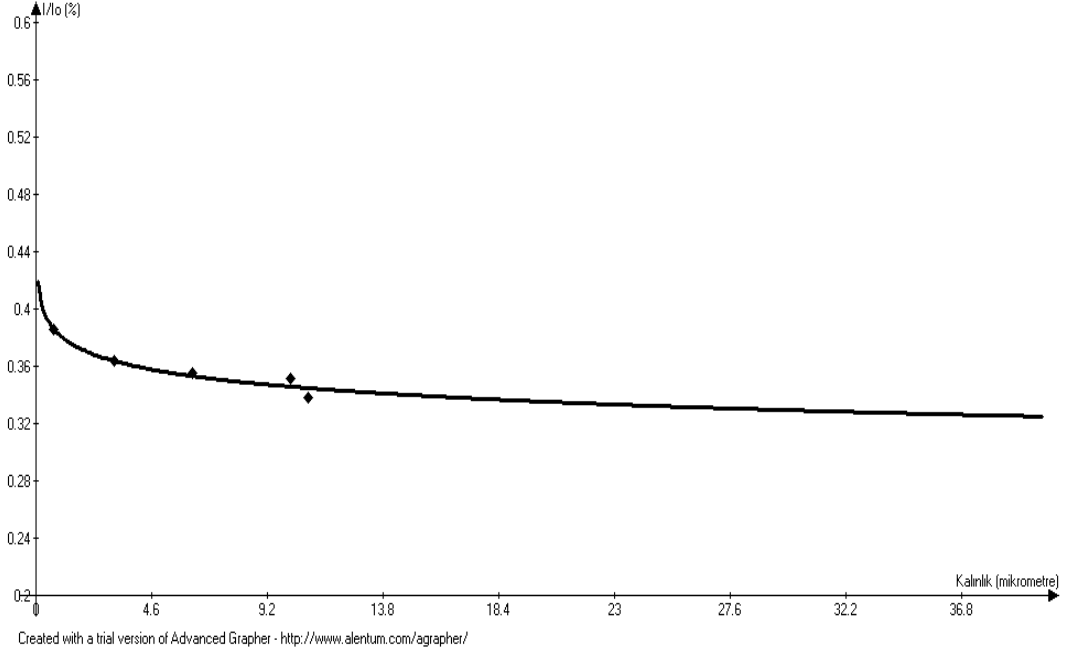
olarak çizim programı tarafından verilmekte olup, çizilen eğrinin veriye uyumluluğu bağlamında standart sapması da $SD = 0.013916$ olarak verilmektedir.

Çizelge 5.3 : Cu-Ag numuneler kullanılarak gerçekleştirilen deneylerin sonuçları.

							Doğal Sayım :	347.00	
Malzeme Kalınlığı (μm)	Sayım (\pm %10)						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağlı Sayım (I/I0) (\pm %10)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım			
46.60	619,706.00	619,359.00	624,431.00	624,084.00	629,531.00	629,184.00	624,209.00	4,913.69	0.323363
45.80	682,961.00	682,614.00	680,741.00	680,394.00	677,741.00	677,394.00	680,134.00	2,619.69	0.352334
40.00	691,091.00	690,744.00	692,756.00	692,409.00	694,436.00	694,089.00	692,414.00	1,672.51	0.358695
5.80	734,246.00	733,899.00	732,611.00	732,264.00	731,306.00	730,959.00	732,374.00	1,473.08	0.379396
0.80	764,396.00	764,049.00	754,751.00	754,404.00	751,511.00	751,164.00	756,539.00	6,702.57	0.391914
Io	1,949,426.00	1,949,079.00	1,923,896.00	1,923,549.00	1,918,826.00	1,918,479.00	1,930,369.00	16,400.44	

5.4 Cu-Pb Numuneler Kullanılarak Yapılan Deneylerin Sonuçları

4. Grup numuneler olarak nitelenen Cu-Pb numuneler kullanılarak gerçekleştirilen deneylerin sonuçları, Çizelge 5.4’de verilmektedir. Kullanılan kalınlıklarla Cu-Pb numuneler için çıkarılan kalibrasyon eğrisi ise Şekil 5.4’de görülmektedir.



Şekil 5.4 : Kullanılan kalınlıklarla Cu-Pb numuneler için çıkarılan kalibrasyon eğrisi.

Advanced Grapher programı kullanılarak Cu-Pb için çizilen kalibrasyon eğrisinin denklemi;

$$Y(x) = -0.0151514 * \ln(x) + 0.3808428 \quad (5.4)$$

olarak çizim programı tarafından verilmekte olup, çizilen eğrinin veriye uyumluluğu bağlamında standart sapması da $SD = 0.0045724$ olarak verilmektedir.

Çizelge 5.4 : Cu-Pb numuneler kullanılarak gerçekleştirilen deneylerin sonuçları.

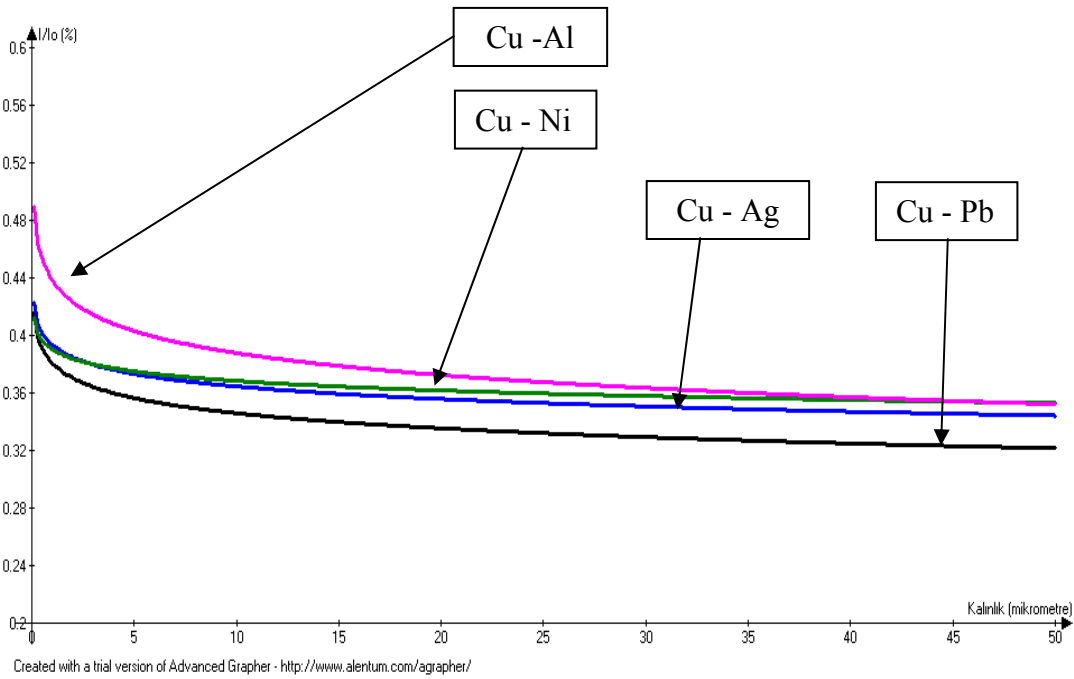
							Doğal Sayım :		347.00
Malzeme Kalınlığı (µm)	Sayım (± %10)						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağlı Sayım (I/I0) (±%10)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım			
10.80	651,371.00	651,024.00	654,971.00	654,624.00	651,371.00	651,024.00	652,224.00	2,078.46	0.337875
10.10	678,521.00	678,174.00	678,686.00	678,339.00	678,311.00	677,964.00	678,159.00	187.95	0.351311
6.20	682,631.00	682,284.00	688,616.00	688,269.00	688,616.00	688,269.00	686,274.00	3,455.44	0.355514
3.09	707,366.00	707,019.00	705,441.00	705,094.00	693,761.00	693,414.00	701,842.33	7,362.34	0.363579
0.71	721,102.00	720,755.00	798,010.00	797,663.00	715,076.00	714,729.00	744,382.33	46,240.68	0.385617
I ₀	1,949,426.00	1,949,079.00	1,923,896.00	1,923,549.00	1,918,826.00	1,918,479.00	1,930,369.00	16,400.44	

Çizelge 5.5 : Deneylerle elde edilen sonuçların mukayeseli incelemesi.

Malzeme	Cu - Al					
Kalınlık μm	39.00	34.90	14.30	4.10	2.81	2.47
I/Io	0.36	0.37	0.38	0.39	0.39	0.45
Malzeme	Cu - Ni					
Kalınlık μm	39.20	27.30	21.20	11.10	5.80	1.41
I/Io	0.35	0.36	0.37	0.37	0.38	0.38
Malzeme	Cu - Ag					
Kalınlık μm	46.60	45.80	40.00	5.80	0.80	
I/Io	0.32	0.35	0.36	0.38	0.39	
Malzeme	Cu - Pb					
Kalınlık μm	10.80	10.10	6.20	3.09	0.71	
I/Io	0.34	0.35	0.36	0.36	0.39	

5.5 Deneysel Sonuçların Mukayeseli İncelemeleri

Bakır ile birlikte kullanılan metal elemanların “Beta Transmisyon Tekniği” ile beta geçirgenliği değerlendirilmesi için Sr-90 beta radyoizotop kaynağı kullanılarak yapılan deneylerle elde edilen sonuçların mukayeseli incelemesi için 4 grup numuneye ilişkin deney sonuçları Çizelge 5.5’de bir araya toplanmıştır. Çizelge 5.5’den hareketle çizilen mukayeseli grafik Şekil 5.5’de görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde, eğrilerin bakır ile birlikte kullanılan elemente (element atom numarası sıralamasında) dizildiği gözlenmektedir.



Şekil 5.5 : Dört Grup Numune İle Yapılan Deneylerin Mukayeseli Grafiği.

5.6 Sonuçların Sınanması

Bakır ile birlikte kullanılan metal elemanların “Beta Transmisyon Tekniği” ile beta geçirgenliği değerlendirilmesi için Sr-90 beta radyoizotop kaynağı kullanılarak yapılan deneylerle elde edilen sonuçlardan hareketle çizilen eğrilerin güvenilirliğine ilişkin çalışmalar da yapılmıştır. Böylelikle, eğrilerimizin “kalibrasyon eğrisi” olarak kullanımı konusundaki güvenilirliği belirlenmiş olacaktır.

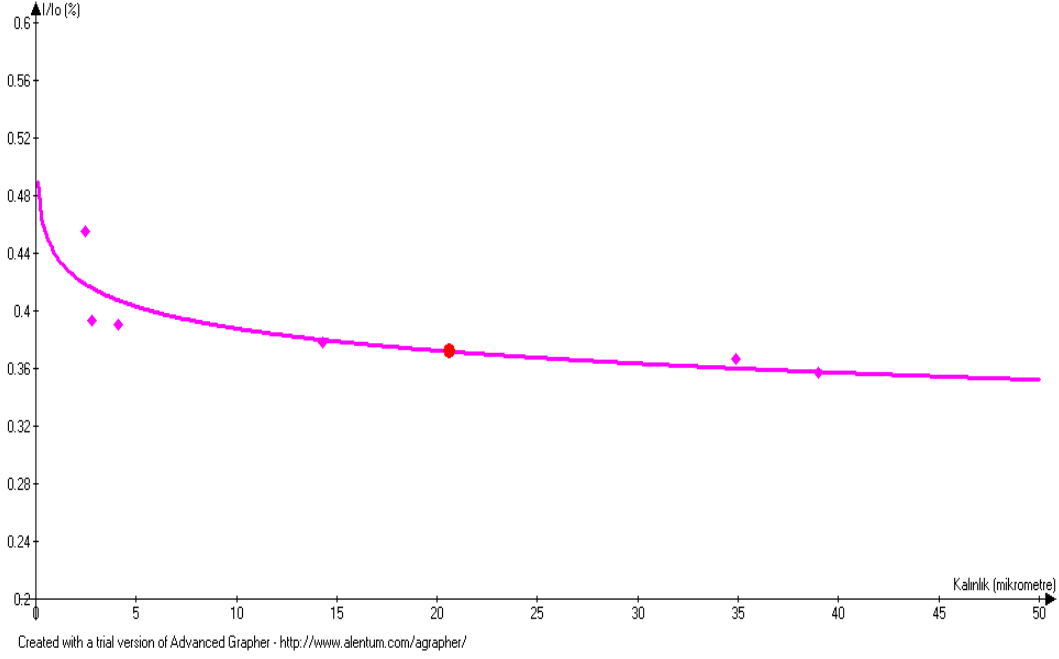
Söz konusu sına ma için eğrilerin çıkarılmasında kullanılmayan kalınlıktaki numunelerle deneyler gerç eklenmiştir. Bu amaçla, bakır ile birlikte kullanılan 4 farklı metal eleman numune için yapılan sına maya ilişkin çalışmalar aşağıdaki alt bölümlerde verilmektedir.

5.6.1 Cu-Al Numuneler Kullanılarak Elde Edilen Eğrinin Sınanması

Cu-Al numuneler kullanılarak gerç eklenen deneylerde kullanılmayan bir kalınlık olan 20,6 µm kalınlıktaki numune ile çalışılmıştır ve elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.6’da verilmektedir. Şekil 5.6’da ise Cu-Al kalibrasyon eğrisi ile elde edilen yeni noktanın durumu görülmektedir.

Çizelge 5.6 : Cu-Al Kalibrasyon Eğrisinin Sınanması İçin Yapılan Deney Sonuçları.

Sayımlar (± 10)		20,6 µm Kalınlıktaki Numune Sayımları	Başlangıç Sayımları (I ₀)
1.Sayım	Ölçülen Sayım	680.036,00	1.827.542,00
	Net Sayım	679.708,00	1.827.214,00
2.Sayım	Ölçülen Sayım	680.486,00	1.829.366,00
	Net Sayım	680.158,00	1.829.038,00
3.Sayım	Ölçülen Sayım	680.486,00	1.907.366,00
	Net Sayım	680.158,00	1.907.038,00
Net Ortalama Sayım		680.008,00	1.828.126,00
Standart Sapma		259,81	1.289,76
Bağıl Sayım I/I ₀		0,371970	

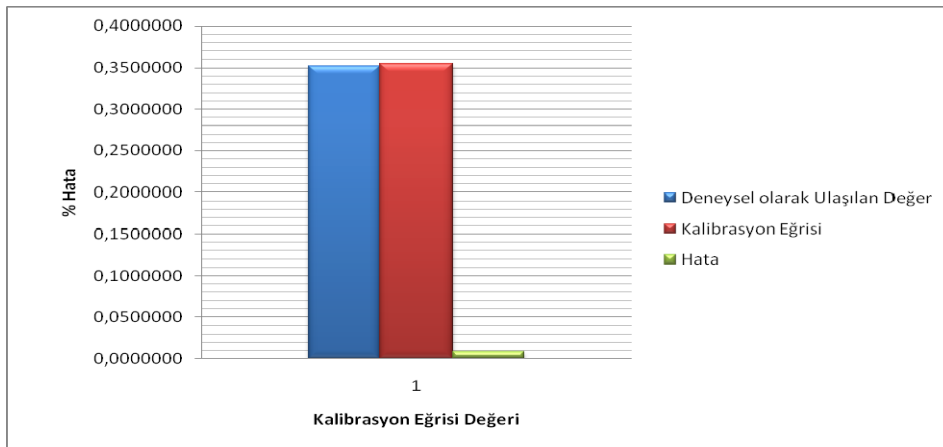


Şekil 5.6 : Cu-Al kalibrasyon eğrisinin Sınanması.

Analitik olarak sonuçların irdelenmesi için, sınama amaçlı yapılan deneylerle elde edilen ve Çizelge 5.6'da görülen ve deneysel olarak bulunmuş I/I_0 değerlerinin Denklem 5.1 yardımı ile hesaplanarak elde edilen I/I_0 değerleri ile mukayesesi Çizelge 5.7'de ve Şekil 5.7'de görülmektedir.

Çizelge 5.7 : Cu-Al Kalibrasyon Eğrisi İçin Hata Değerlendirmesi.

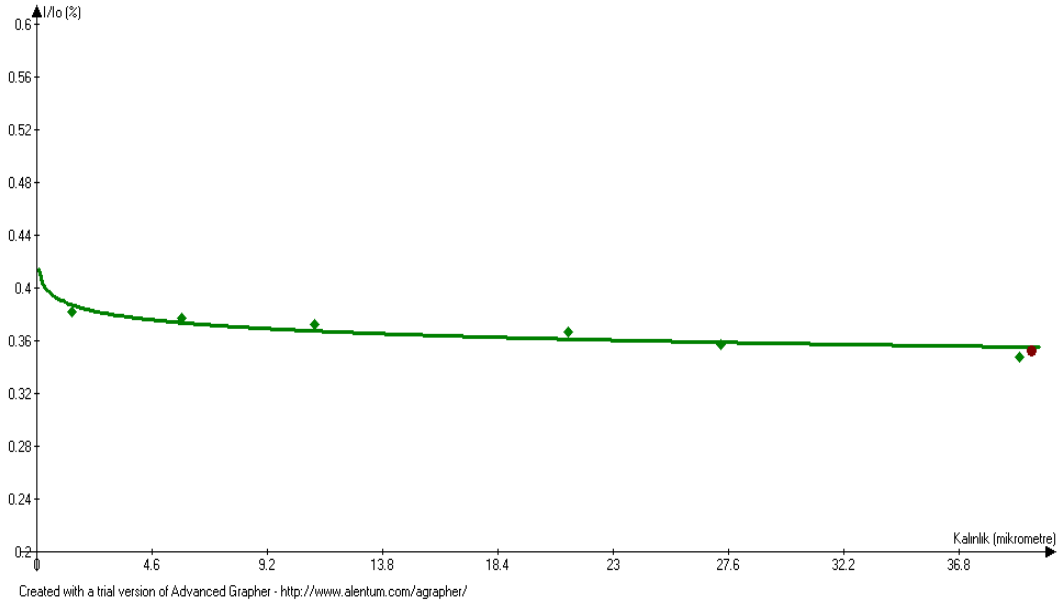
Yöntem	Deneysel olarak Ulaşılan Değer	Kalibrasyon Eğrisi Değeri	Hata
I/I_0	0,371970		-0,000499



Şekil 5.7 : Cu-Al Kalibrasyon Eğrisi İçin Hata Grafiği.

5.6.2 Cu-Ni Numuneler Kullanılarak Elde Edilen Eğrinin Sınanması

Cu-Ni numuneler kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde kullanılmayan bir kalınlık olan 39,70 μm kalınlıktaki numune ile çalışılmıştır ve elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.8’de verilmektedir. Şekil 5.8’de ise Cu-Ni kalibrasyon eğrisi ile elde edilen yeni noktanın durumu görülmektedir.



Şekil 5.8 : Cu-Ni kalibrasyon eğrisinin Sınanması.

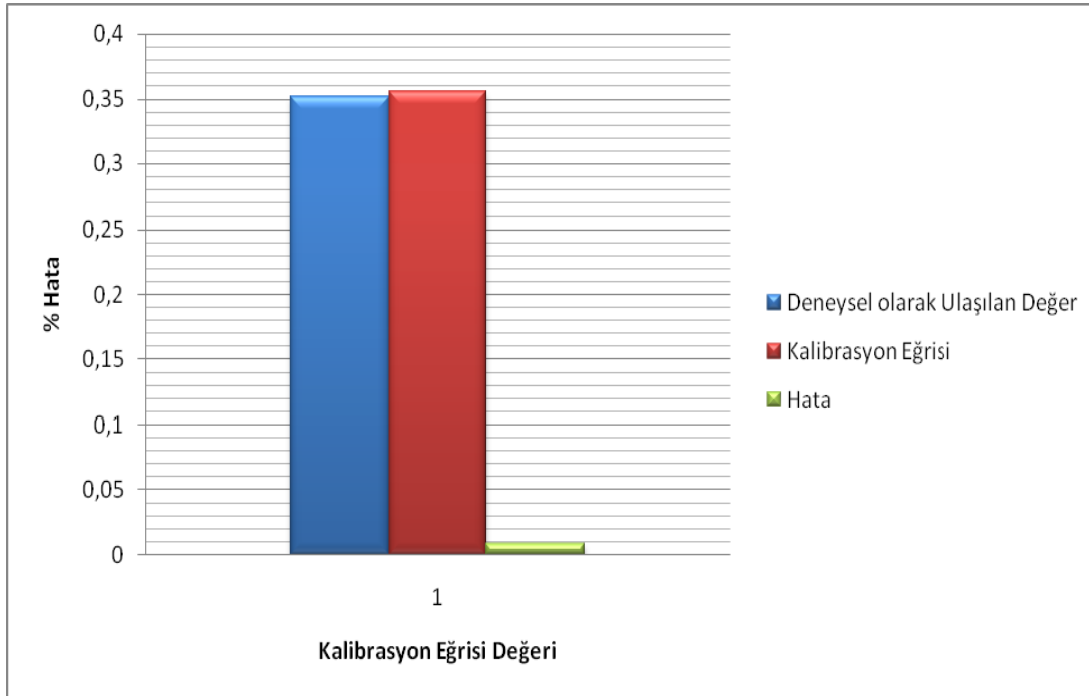
Çizelge 5.8 : Cu-Ni Kalibrasyon Eğrisi İçin Hata Değerlendirmesi.

Sayımlar (± 10)		39,70 μm Kalınlıktaki Numune Sayımları	Başlangıç Sayımları (I ₀)
1.Sayım	Ölçülen Sayım	648.0026	1.833.356
	Net Sayım	647.632	1.832.962
2.Sayım	Ölçülen Sayım	648.611	1.849.676
	Net Sayım	648.217	1.849.282
3.Sayım	Ölçülen Sayım	650.246	1.842.926
	Net Sayım	649.852	1.842.532
Net Ortalama Sayım		648.567	1.841.592
Standart Sapma		1.150,64	8.200,51
Bağıl Sayım I/I ₀		0,352177	1

Analitik olarak sonuçların irdelenmesi için, sınama amaçlı yapılan deneylerle elde edilen ve Çizelge 5.8’de görülen ve deneysel olarak bulunmuş I/Io değerlerinin Denklem 5.2 yardımı ile hesaplanarak elde edilen I/Io değerleri ile mukayesesi Çizelge 5.9’da ve Şekil 5.9 görülmektedir.

Çizelge 5.9 : Cu-Ni Kalibrasyon Eğrisi İçin Hata Değerlendirmesi.

Yöntem	Deneysel olarak Ulaşılan Değer	Kalibrasyon Eğrisi Değeri	Hata (%)
I/Io	0,352177	0,355217	0,008558



Şekil 5.9 : Cu-Ni Kalibrasyon Eğrisi İçin Hata Grafiği

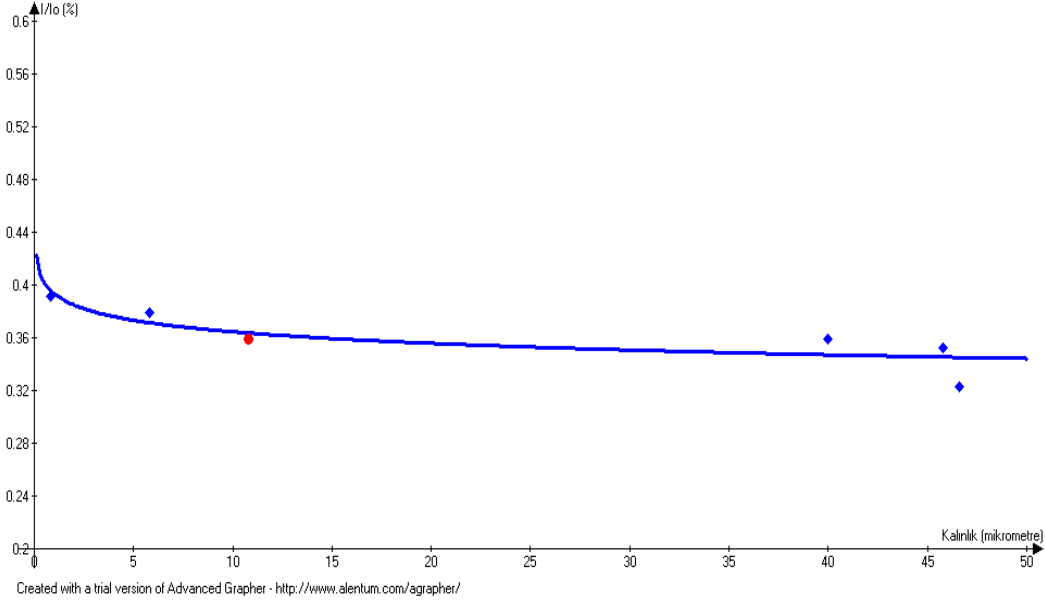
5.6.3 Cu-Ag Kalibrasyon Eğrisinin Sınanması İçin Yapılan Deney Sonuçları

Cu-Ag numuneler kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde kullanılmayan bir kalınlık olan 10,80 µm kalınlıktaki numune ile çalışılmıştır ve elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.10’de verilmektedir. Şekil 5.10’de ise Cu-Ag kalibrasyon eğrisi ile elde edilen yeni noktanın durumu görülmektedir.

Analitik olarak sonuçların irdelenmesi için, sınama amaçlı yapılan deneylerle elde edilen ve Çizelge 5.8’de görülen ve deneysel olarak bulunmuş I/Io değerlerinin Denklem 5.3 yardımı ile hesaplanarak elde edilen I/Io değerleri ile mukayesesi Çizelge 5.10’da ve Şekil 5.10 görülmektedir.

Çizelge 5.10 : Cu-Ag Kalibrasyon Eğrisi İçin Hata Değerlendirmesi.

Sayımlar (± 10)		10,80 µm Kalınlıktaki Numune Sayımları	Başlangıç Sayımları (Io)
1.Sayım	Ölçülen Sayım	655.541,00	1.819.166,00
	Net Sayım	655.177,00	1.818.802,00
2.Sayım	Ölçülen Sayım	654.971,00	1.816.556,00
	Net Sayım	654.607,00	1.816.192,00
3.Sayım	Ölçülen Sayım	651.371,00	1.827.542,00
	Net Sayım	651.007,00	1.827.178,00
Net Ortalama Sayım		653.597,00	1.820.724,00
Standart Sapma		2.261,04	5.739,65
Bağıl Sayım I/Io		0,358976	1

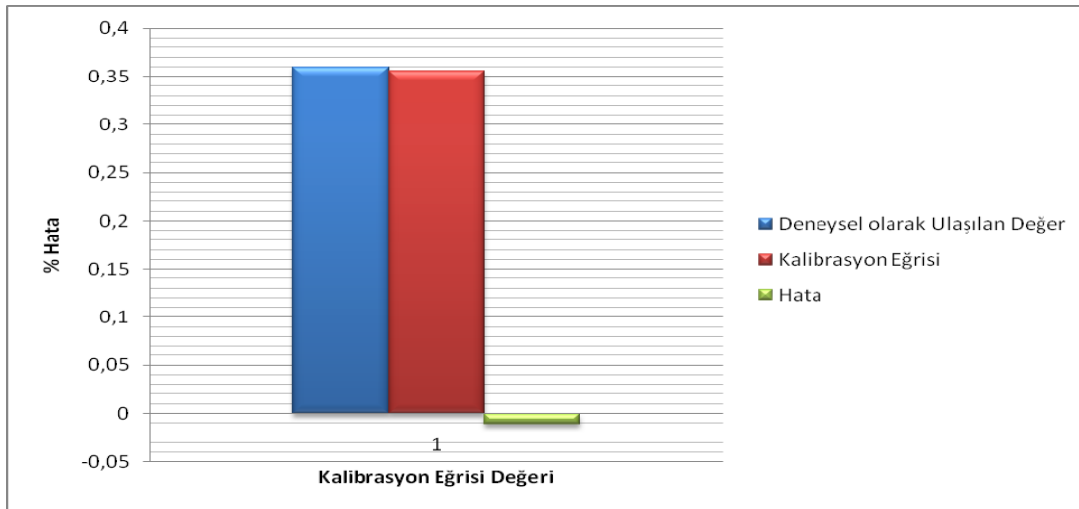


Şekil 5.10 : Cu-Ag kalibrasyon eğrisinin Sınanması.

Analitik olarak sonuçların irdelenmesi için, sınaama amaçlı yapılan deneylerle elde edilen ve Çizelge 5.10'da görülen ve deneysel olarak bulunmuş I/I_o değerlerinin Denklem 5.3 yardımı ile hesaplanarak elde edilen I/I_o değerleri Çizelge 5.11'de ve Şekil 5.11'de mukayesesi görülmektedir.

Çizelge 5.11 : Cu-Ag Kalibrasyon Eğrisi İçin Hata Değerlendirmesi.

Yöntem	Deneysel olarak Ulaşılan Değer	Kalibrasyon Eğrisi Değeri	Hata (%)
I/I_o	0,358976	0,355217	-0,010583



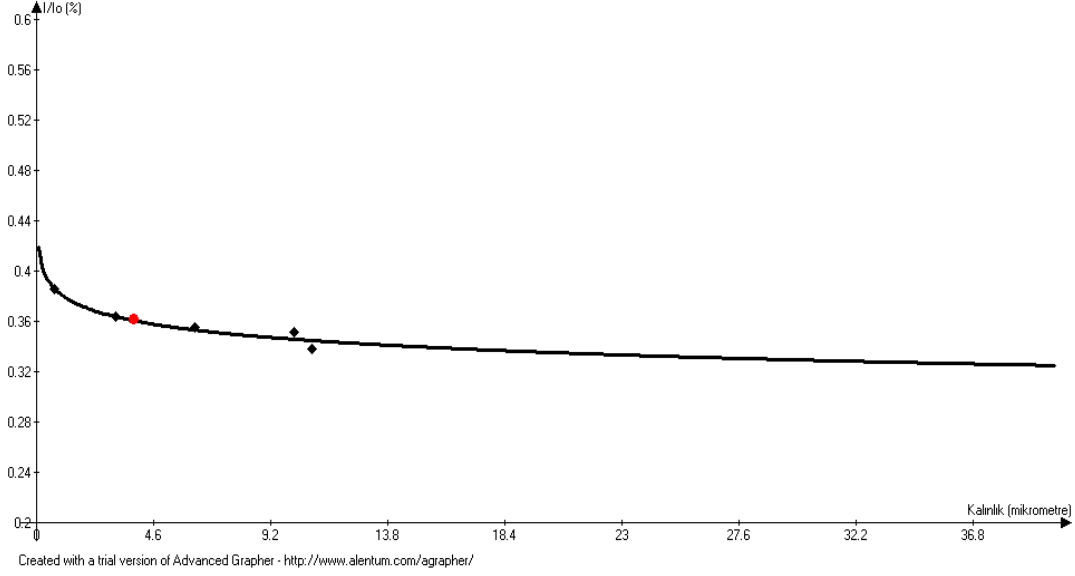
Şekil 5.11 : Cu-Ag Kalibrasyon Eğrisi İçin Hata Grafiği.

5.6.4 Cu-Pb Numuneler Kullanılarak Elde Edilen Eğrinin Sınanması

Cu-Pb numuneler kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde kullanılmayan bir kalınlık olan 3,80 µm kalınlıktaki numune ile çalışılmıştır ve elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.12’de verilmektedir. Şekil 5.12’de ise Cu-Pb kalibrasyon eğrisi ile elde edilen yeni noktanın durumu görülmektedir.

Çizelge 5.12 : Cu-Pb Kalibrasyon Eğrisinin Sınanması İçin Yapılan Deney Sonuçları.

Sayımlar (± 10)		10,80 µm Kalınlıktaki Numune Sayımları	Başlangıç Sayımları (I ₀)
1.Sayım	Ölçülen Sayım	660.581,00	1.816.556,00
	Net Sayım	660.187,00	1.816.162,00
2.Sayım	Ölçülen Sayım	655.881,00	1.819.166,00
	Net Sayım	655.487,00	1.818.772,00
3.Sayım	Ölçülen Sayım	655.331,00	1.807.766,00
	Net Sayım	654.937,00	1.807.372,00
Net Ortalama Sayım		656.870,33	1.814.102,00
Standart Sapma		2.885,45	5.972,66
Bağıl Sayım I/I ₀		0,362091	1

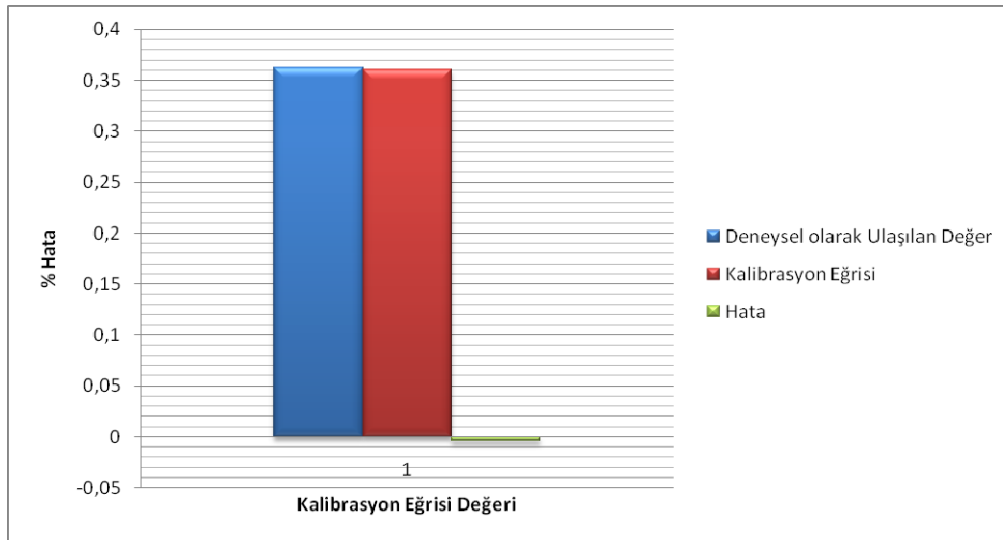


Şekil 5.12 : Cu-Pb kalibrasyon eğrisinin Sınanması.

Analitik olarak sonuçların irdelenmesi için, sınama amaçlı yapılan deneylerle elde edilen ve Çizelge 5.12’de görülen ve deneysel olarak bulunmuş I/I_o değerlerinin Denklem 5.4 yardımı ile hesaplanarak elde edilen I/I_o değerleri Çizelge 5.13’de ve Şekil 5.13’de mukayesesi görülmektedir.

Çizelge 5.13 : Cu-Pb Kalibrasyon Eğrisi İçin Hata Değerlendirmesi.

Yöntem	Deneysel olarak Ulaşılan Değer	Kalibrasyon Eğrisi Değeri	Hata (%)
I/I_o	0,362091	0,360616	-0,004092



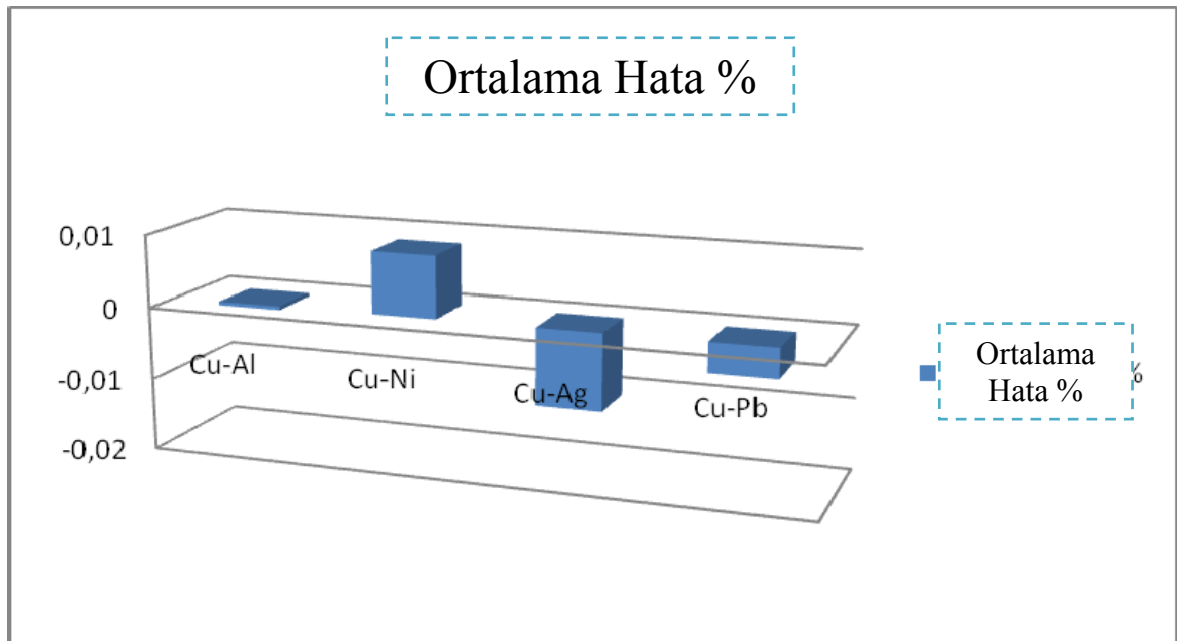
Şekil 5.13 : Cu-Ag Kalibrasyon Eğrisi İçin Hata Grafiği.

5.6.5 Kalibrasyon Eğrilerinin Mukayeseli Değerlendirmesi

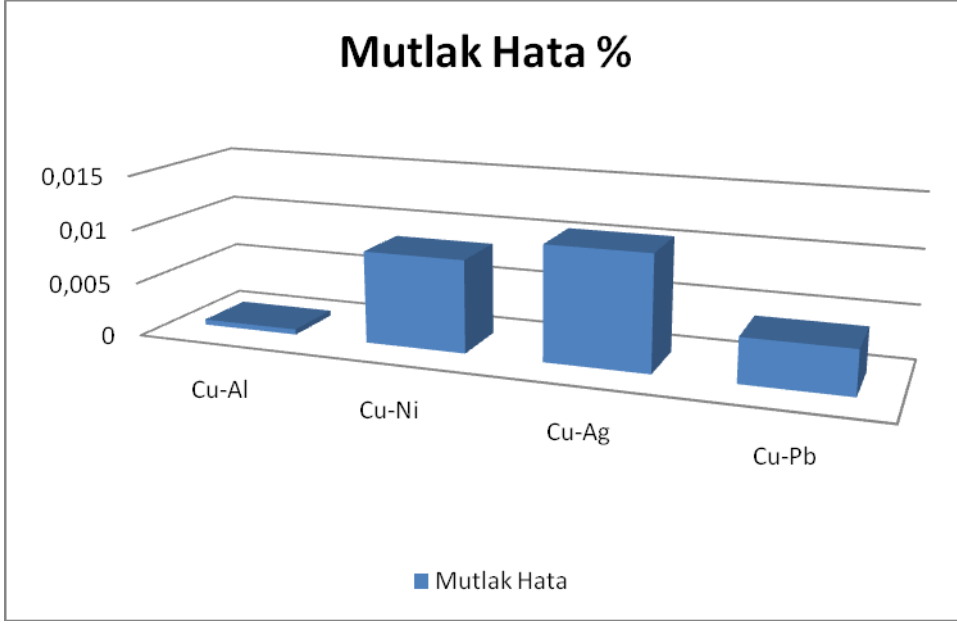
Bakır ile birlikte kullanılan metal elemanların “Beta Transmisyon Tekniği” ile beta geğirgenliği değerlendirmesi için Sr-90 beta radyoizotop kaynağı kullanılarak yapılan deneylerle elde edilen sonuçlardan hareketle çizilen eğrilerin güvenilirliğine ilişkin olarak sınamalarına ilişkin deneylerle ulaşılan hata değerleri toplu halde izelge 5.14’de verilmektedir. Çizelge 5.14’den hareketle çizilen ortalama hata ve ortalama mutlak hata mukayese grafikleri, sırasıyla Şekil 5.14 ve Şekil 5.15’de görülmektedir.

Çizelge 5.14 : Hata Mukayesesi.

Numune	Hata
Cu-Al	-0,000499
Cu-Ni	0,008558
Cu-Ag	-0,010583
Cu-Pb	-0,004092
Ortalama Hata	-0,001654
Ortalama Mutlak Hata	0,005933



Şekil 5.14 : Hata Mukayese Grafiği.



Şekil 5.15 : Mutlak Hata Mukayese Grafiği.

Çizelge 5.14 ve Şekil 5.14'den görüldüğü üzere çizilen eğriler için çalışılan malzemelerde en büyük mutlak hata % 1 civarında kalmıştır. Dört farklı malzeme grubu için ortalama mutlak hata oranı ise % 0,6 olarak bulunmuştur. Ortalama hata bağlamında bakıldığında ise ortalama hata % 0.2 altında kalmıştır.

Görüldüğü üzere, sınama çalışmaları bağlamında mutlak hata ve ortalama hata değerleri %1 veya altında kalmaktadır. Bu hata değeri, kabul edilebilir mertebe olarak nitelenebilecek değerdir. Buradan hareketle, Cu-Al, Cu-Ni, Cu-Ag ve Cu-Pb için çizilen eğrilerimizin “kalibrasyon eğrisi” olarak kullanılması mümkün görülmektedir.

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu Yüksek Lisans Tez çalışması ile, metallerin bir arada kullanılması halinde beta geçirgenliklerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda, endüstride farklı sektörlerde sıkça kullanılan bir metal olan bakır ile çalışılması benimsenmiş ve bakır ile birlikte dört farklı metalin kullanılması halinde söz konusu bu malzemelerin beta geçirgenliklerinin incelenmesi gerçekleştirilmiştir.

Bakır ile birlikte çalışılan dört metal; sırasıyla, alüminyum, nikel, gümüş ve kurşundur. Böylelikle, farklı alanlarda kullanılabilen ana metal olan bakır ile birlikte toplam beş metal için beta geçirgenlik incelemesi deneysel olarak gerçekleştirilmiş olmaktadır.

Farklı beta radyasyon kaynakları mevcuttur. Bununla beraber, endüstriyel çalışmalarda sıklıkla kullanılan beta radyasyon kaynağı Sr-90 radyoizotop kaynağıdır. Bu çalışmada da beta radyasyon kaynağı olarak, Sr-90 beta kaynağı tercih edilerek kullanılmıştır.

Beta parçacıklarının erişme uzaklıkları, girici radyasyon kaynakları içinde nispeten kısa olduğundan, beta radyasyonu ile çalışma zorluklar arz etmektedir. Bu bağlamda, deney geometrisi titizlikle oluşturulmuş ve deneyler hep aynı geometride, ve tekrarlanarak gerçekleştirilmiştir.

Bakır ile birlikte kullanılan dört metal için deneylerden elde edilen sonuçlar, Çizelge 5.1- Çizelge 5.4'de verilmiştir. Bu çizelgelerden hareketle uyum (fitting) eğrileri çizilebilmiştir. Uyum (fitting) eğrilerinin denklemleri belirlenmiştir (Denklem 5.1 – Denklem 5.4)

Çizilen uyum (fitting) eğrileri Şekil 5.1 – Şekil 5.4'de görülmektedir. Şekil 5.1 - Şekil 5.5 incelendiğinde, grafiklerin genel karakteristiğinin beklenti doğrultusunda olduğu gözlenmiştir. Bir başka deyişle, uyum (fitting) eğrileri kalınlıkla azalagiden bir karakter göstermektedir. Bu husus, malzeme kalınlaştıkça, etkileşim olasılığının artması ile ilgili olmaktadır.

Bakır ile birlikte çalışılan farklı dört metal için çizilen uyum eğrilerinin mukayeseli incelemesinde (Çizelge 5.5. ve Şekil 5.5.) bakır ile birlikte kullanılan metallerin periyodik sıralamasına uyum gösterdiği gözlenmiştir. Bu husus ta beklenti doğrultusunda bir sonuç olup, malzeme atom numarası arttıkça yine etkileşim olasılığının artması ile ilgili olmaktadır.

Burada, bakır ile birlikte kullanılan dört farklı metal ile elde edilen deneysel sonuçlardan hareketle çizilen eğrilerin, (değerler değişse de) değişim karakteristiklerinin birbirine uyumlu olduğu görülmektedir. Bu durum, lojik uygunluğu kanıtlayan bir husus olmaktadır.

Çizilen uyum (fitting) eğrilerinin sınanması amacıyla, (çalışılan malzemeler için) uyum (fitting) eğrilerinin çıkarılmasında kullanılmayan malzeme kalınlıklarına ilişkin deneyler de yapılmıştır. Alınan sonuçlar, Çizelge 5.6, Çizelge 5.8, Çizelge 5.10, Çizelge 5.12’de verilmiştir ve uyum (fitting) eğrileriyle örtüşümü Şekil 5.6, Şekil 5.8, Şekil 5.10 ve Şekil 5.12’de görülmektedir. Söz konusu bu çizelge ve grafikler göstermektedir ki; sınama amaçlı deneylerimizle, çizilen uyum (fitting) eğrileri ileri derecede uyumluluk göstermektedir.

Nümerik değerlendirme için uyum (fitting) eğrilerinin belirlenen denklemleri (Denklem 5.1 – Denklem 5.4) ile deneysel olarak elde edilen bağıl şiddet değerleri mukayeseli olarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu amaçla, Çizelge 5.7, Çizelge 5.9, Çizelge 5.11, Çizelge 5.13 oluşturulmuş ve Şekil 5.7, Şekil 5.9, Şekil 5.11, ve Şekil 5.13’de hata grafikleri çizilmiştir. Söz konusu çizelgeler ve hata grafikleri ortalama hataların hayli düşük olduğunu kanıtlamaktadır.

Ayrıca, bakır ile birlikte çalışılan dört metale ilişkin olarak yapılan sınamalar da mukayeseli olarak incelenmiş ve bunun için Çizelge 5.14 oluşturulmuştur. Çizelge 5.14’den hareketle, ortalama hata grafiği Şekil 5.14’de ve mutlak hata grafiği de Şekil 5.15’de çizilmiştir. Görüldüğü üzere çizilen eğriler için çalışılan malzemelerde en büyük mutlak hata % 1 mertebesindedir. Buna karşın, dört farklı malzeme grubu için ortalama mutlak hata oranı ise % 0,6 olarak belirlenmiştir. Ortalama hatayata bakıldığında ise ortalama hata % 0.2 altında kalmıştır.

Bu durumda, Şekil 5.1 – Şekil 5.4’de çizilen uyum eğrilerinin uygunluğu gösterilmiştir. Bir başka deyişle, Cu-Al, Cu-Ni, Cu-Ag ve Cu-Pb için çizilen uyum (fitting) eğrilerimizin “kalibrasyon eğrisi” olarak kullanılması mümkündür.

Öz olarak, belirtmek gerekirse; bu Yüksek Lisans tez çalışması ile, bakır ile birlikte dört farklı metal (Al, Ni, Ag ve Pb) için yapılan deneysel çalışmalarımızla bu malzemelere ilişkin beta geçirgenlikleri belirlenmiş ve beta radyasyonunun bağıl şiddeti ile kalınlığa bağlı olarak kalibrasyon eğrileri çizilebilmiştir. Böylelikle, uygulamaya yönelik, hayata geçirilebilir ve kullanılabilir sonuçlara ulaşılmış bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

- Aybers, N.**, 1980. Nükleer Enerjiye Giriş. İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü. İstanbul.
- Aybers, N., Bayülgen, A.**, 1992. Nükleer Reaktörlerin Güvenliği, İstanbul Teknik Üniversitesi , Türkiye, 1992.
- Bilge, N.**, 1991. Endüstride Nükleer Teknikler, İstanbul Teknik Üniversitesi , Türkiye, 1991.
- Bilge, N., Tuğrul, B.**, 1990. Endüstriyel Radyografinin Esasları, İstanbul Teknik Üniversitesi , Türkiye, 1990..
- Büyük, B.**, 2004: Gama Transmisyon Tekniği İle Cs-137 Gama Kaynağı Kullanılarak Farklı Maddeler İçin Kalınlık Tayini, İstanbul Teknik Üniversitesi , Türkiye, Mayıs.
- Çakatay, U. Aydın, S. Ahmet, B.**, 2010. Biyokimyada temel Hesaplamalar. İstanbul Üniversitesi. İstanbul.
- Dericioğlu, A.F.**, 2007. Elektromanyetik Malzemeler ve İleri Teknolojik Uygulamaları, ODTÜ Bilimsel Araştırmalar, Ankara.
- Földiak, G.**, 1986. Industrial Applications of Radioisotopes, Elsevier, Amsterdam.
- Göksel, A.**, 1973. Radyasyonların Biyolojik Etkileri ve Radyasyon Korunması. Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi. İstanbul.
- Halmshaw, R.**, 1991. Non-Destructive Testing. E. Arnold, London.
- Halmshaw, R.**, 1995. Industrial Radiology; Theory and Practice. London.
- Ildız, G.Ö.**, 2004. Farklı Malzemelerin Sr-90 Kaynağı Karşısındaki Davranışı, İstanbul Teknik Üniversitesi , Türkiye, Ocak.
- Kaplan, I.**, 1965. Nükleer Fizik. Massachusetts Institute of Technology. Massachusetts.
- Kılınçarslan, Ş. Başyiğit, C. Akkurt, İ.**, 2007. Barit Agregalı Ağır Betonların Radyasyon Zırhlama Amacıyla Kullanımının Araştırması, Gazi Üniversitesi. Ankara.
- Kurtoğlu, A.**, 2005. Gama Absorbsiyon Tekniği İle Başlıca Üç Kıymetli Metalin Analizi, Kütle Zayıflatma Katsayılarının Tayini ve İrdelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi , Türkiye, 2005.
- Mix, P.E.**, 1990. Introduction to Non-Destructive Testing, John Wiley, New York..
- Sesondke. A. and Glasstone, S.**, 1994. Nuclear Reaktor Engineering, Princeton, New Jersey.
- Shapiro, J.**, 1990. Radiation Protection, Harvard University Press, Cambridge.

Tuğrul, B., 1995. A New Approach for Calculating The Geometry Factor For Flow Measurements with Radiotracers, *Kerntechnik*, **60**, pp.265-266.

Turgay, M.E., 2005: Gama Transmisyon Tekniği ile Cs-137 ve Co-60 Gama Kaynağı Kullanılarak Farklı Metaller İçin Yoğunluk Tayini, İstanbul Teknik Üniversitesi , Türkiye, Ocak.

Url-1 < http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler>, alındığı tarih 29.12.2009.

Url-2 < www.iem-inc.com/toolen2.html >, alındığı tarih 10.03.2010.

Url-3 < <http://www.alentum.com/agrapher>>, alındığı tarih 20.01.2010.

Url-2 <<http://office.microsoft.com/tr-tr/excel/FX100487621055.aspx?ofcresset=1>>, alındığı tarih 03.02.2010.

Url-2 < http://www.deq.idaho.gov/inl_oversight/radiation/penetration.cfm>, alındığı tarih 27.04.2010.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Tayfun BEL

Doğum Yeri ve Tarihi: 11 01 1981

Adres: İstanbul TÜRKİYE

Lisans Üniversite: İTÜ, Uçak ve Uzay Fak. Meteoroloji Mühendisliği Bölümü

Yayın Listesi: