

142584

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**RADYASYON ÇALIŞANLARININ MARUZ KALABİLECEKLERİ
PARMAK VE EL IŞINLAMASINA İLİŞKİN ÜÇ FARKLI GAMA
RADYOİZOTOP İÇİN BİR İNCELEME**

142584

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Nihal AĞMA
(304980089011)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2003
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Mayıs 2003**

Tez Danışmanı : Prof.Dr. A.Beril TUĞRUL

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Hüseyin GÜVEN (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Mustafa DEMİR (İ.Ü.)

[Signature]

24.06.2003

[Signature]

24/06/03

[Signature]

17/06/03

**YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMENTASYON KURULU**

MAYIS 2003

ÖNSÖZ

Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında radyasyon çalışanlarının maruz kalabilecekleri parmak ve el ışınlamasına ilişkin üç farklı gama radyoizotopu için bir değerlendirme hedeflenmiştir. Bu çalışmanın, konu ilgililerine faydalı olacağı umulur.

Yüksek Lisans Eğitim çalışmam sırasında ders ve tez aşamasında her zaman yardımda bulunup, teşvik eden ve destekleyen değerli Hocam Sayın Prof. Dr.A.Beril TUĞRUL'a en içten duygularıyla teşekkür etmeyi bir borç bilirim.Deneylerin yapılması sırasında yardımını esirgemeyen Araş.Gör.Arzu KURTOĞLU'na teşekkür ederim.

Bütün öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen değerli aileme ve çalışmam sırasında büyük bir özveriyle bana yardımcı olan sevgili eşim Göksel AĞMA'ya teşekkür ederim.

MAYIS 2003

Nihal AĞMA

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1.GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. GAMA RADYASYONU	4
2.1.Radyasyonun Tanımı ve Çeşitleri	4
2.1.1.Elektromanyetik Radyasyon ailesi	5
2.1.2.Girici Elektromanyetik Radyasyonlar	7
2.2.Gama Işınları	7
2.2.1.Gama Işınlının Kendine Has Özellikleri	9
2.2.2.Gama Işınlının Madde İçinde Zayıflatılması	9
2.3.Gama Işınlının Madde İle Etkileşimi	10
2.3.1.Fotoelektrik Olay	11
2.3.2.Compton Olayı	12
2.3.3.Çift Oluşum	13
2.4.Gama Kaynakları	14
3. RADYASYONDAN KORUNMA	18
3.1.Radyasyondan Korunmanın Tanıtımı	19
3.2.Radyasyondan Korunma Prensipleri	22
3.2.1.Dış Radyasyon Tehlikelerinden Korunma Prensipleri	22
3.2.1.1.Radyasyon Kaynağından Uzaklık	23
3.2.1.2.Işınlama Süresi	24
3.2.1.3. Radyasyon Kaynağının Zırhlanması	24
3.2.2.İç Radyasyon Tehlikelerinden Korunma Prensipleri	26
3.3.Radyasyon Dozimetrisi	28
3.3.1.Işınlama Doz Birimleri	29
3.3.2.Absorblama Doz Birimleri	29
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	30
4.1.Deneyde Kullanılan Gama Kaynaklarının Tanıtımı	30
4.1.1.Co-60 Radyoizotop Kaynağı	30
4.1.2.Cs-137 Radyo İzotop Kaynağı	31
4.1.3.Ir-192 Radyo İzotop Kaynağı	32
4.2.Deneyde Kullanılan Fantomun Tanıtımı	33
4.3.Deneyde Kullanılan Cihaz ve Elemanlar	39
4.3.1.Sintilasyon Dedektörü	39
4.3.2.Çok Kanallı Analizör	40
4.3.3.Kolimatör	41
4.3.4.Zırh Eleman	42
4.4.Deney Düzenegi	42

4.5.Deney Geometrisi	43
4.6.Deney Yapılışı	46
5. DENEY SONUÇLARI	47
5.1.Co-60 Gama Kaynağı Kullanılarak Elde Edilen Deney Sonuçları	47
5.2.Cs-137 Gama Kaynağı Kullanılarak Elde Edilen Deney Sonuçları	49
5.3.Ir-192 Gama Kaynağı Kullanılarak Elde Edilen Deney Sonuçları	52
5.4.Deney Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi	54
5.4.1.A Pozisyonu İçin Mukayeseli Değerlendirilmesi	55
5.4.2. B Pozisyonu İçin Mukayeseli Değerlendirilmesi	57
5.4.3.C Pozisyonu İçin Mukayeseli Değerlendirilmesi	58
6. SONUÇ VE TARTIŞMA	60
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	66



KISALTMALAR

ALARA	: As Low As Reasonable Achievement
esb	: Elektrostatik Yük Birimi
ICRP	: Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi
İ.T..	: İstanbul Teknik Üniversitesi
MKS	: Metre Kilogram Saat
MMED	: Maksimum müsaade edilebilir doz
NaI (TI)	: Talyumla aktivite edilmiş Sodyum İyodür
NRC	: Nuclear Regulatore Comission
SI	: Standart International



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1	Gama Fatonu Yayan Önemli Radyoizotoplar.....	16
Tablo 3.1	ICRP-1994'ün Tavsiyelerine Göre Kişiler İçin Doz Sınırları.....	21
Tablo 3.2	Radyoizotopların Tehlikelerine Göre Sınıflandırma.....	27
Tablo 4.1	Deneylerde Kullanılan Radyoizotop Kaynaklarının Özellikleri.....	32
Tablo 4.2	Deney Geometrisine Ait Bilgiler.....	44
Tablo 5.1	Co-60 Radyoizotop Kaynağı Deney Sonuçları.....	48
Tablo 5.2	Cs-137 Radyoizotop Kaynağı Deney Sonuçları.....	51
Tablo 5.3	Ir-192 Radyoizotop Kaynağı Deney Sonuçları.....	53
Tablo 5.4	Deneylere İlişkin Bağlı Sayım Mukayese Tablosu.....	55
Tablo 5.5	Deneylere İlişkin Bağlı Zayıflatma Mukayese Tablosu.....	55



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1	Elektromanyetik Radyasyon Ailesi.....	6
Şekil 2.2	$^{99}_{42}\text{Mo}$ 'un β Bozunumu Yaparak $^{99m}_{43}\text{Tc}$ ve $^{99}_{43}\text{Tc}$ 'a Dönüşümü.....	8
Şekil 2.3	Gama Işınlarnının Malzeme İçinde Soğurularak Zayıflatılması.....	10
Şekil 2.4	Fotoelektrik Olay	11
Şekil 2.5	Compton Olayının Şematik Gösterimi	13
Şekil 2.6	Çift Teşekkülü Olayının Şematik Gösterimi.....	14
Şekil 2.7	^{137}Cs Gama Kaynağının Bozunum Şeması.....	14
Şekil 2.8	^{60}Co Gama Kaynağının Bozunum Şeması.....	15
Şekil 3.1	Radyasyon Şiddetinin Mesafenin Karesi İle Ters Orantılı Olarak Değişimi.....	23
Şekil 3.2	α , β , γ Işınlarnının Zırhlanması.....	25
Şekil 3.3	α , β , γ Işınlarnının Durdurulması.....	26
Şekil 3.4	^{153}Sm ve ^{99m}Tc İçin Cilt Gama Işını Doz Şiddeti Dağılımı.....	28
Şekil 4.1.	Co-60 Radyoizotop Kaynağı.....	31
Şekil 4.2	Cs-137 Radyoizotop Kaynağı.....	31
Şekil 4.3	Ir-192 Radyoizotop Kaynağı.....	33
Şekil 4.4	İnsan Eli Anatomisi.....	34
Şekil 4.5	İnsan Eli Rontgeni.....	35
Şekil 4.6	Temin Edilen Kemikler.....	36
Şekil 4.7	Fantom İçin Kullanılan Kemiklerin Fırınlanmış Görüntüsü.....	37
Şekil 4.8	Kalıba Dökülmüş Parafin.....	37
Şekil 4.9	Kemik Yerleştirilmiş Parafin Fantom.....	38
Şekil 4.10	Fantomun Avuçiçi Görünümü.....	38
Şekil 4.11	Fantomun Üstten Görünümü.....	39

Şekil 4.12	Sintilasyon Dedektörü.....	40
Şekil 4.13	Çok Kanallı Analizör.....	41
Şekil 4.14	Kolimatör.....	41
Şekil 4.15	Zırh Elemanları.....	42
Şekil 4.16	Deney Düzeneği.....	43
Şekil 4.17	Parmak Deney Geometrisinin Görünümü (A Pozisyonu).....	44
Şekil 4.18	Avuç içi Deney Geometrisinin Görünümü (B Pozisyonu).....	45
Şekil 4.19	Parmak Arası Deney Geometrisinin Görünümü (C Pozisyonu).....	45
Şekil 5.1	Co-60 Radyoizotop Kaynağına İlişkin Deneylerin Bağlı Sonuçları.....	47
Şekil 5.2	Co-60 Radyoizotop Kaynağına İlişkin Bağlı Zayıflatma Sonuçları.....	49
Şekil 5.3	Cs-137 Radyoizotop Kaynağına İlişkin Deneylerin Bağlı Sonuçları.....	50
Şekil 5.4	Cs-137 Radyoizotop Kaynağına İlişkin Bağlı Zayıflatma Sonuçları.....	50
Şekil 5.5	Ir-192 Radyoizotop Kaynağına İlişkin Deneylerin Bağlı Sonuçları.....	52
Şekil 5.6	Ir-192 Radyoizotop Kaynağına İlişkin Bağlı Zayıflatma Sonuçları.....	54
Şekil 5.7	A Pozisyonu İçin Bağlı Sayım Mukayese Grafiği.....	56
Şekil 5.8	A Pozisyonu İçin Bağlı Zayıflatma Mukayese Grafiği.....	56
Şekil 5.9	B Pozisyonu İçin Bağlı Sayım Mukayese Grafiği.....	57
Şekil 5.10	B Pozisyonu İçin Bağlı Zayıflatma Mukayese Grafiği.....	58
Şekil 5.11	C Pozisyonu İçin Bağlı Sayım Mukayese Grafiği.....	59
Şekil 5.12	C Pozisyonu İçin Bağlı Zayıflatma Mukayese Grafiği.....	59

SEMBOL LİSTESİ

A	: Kaynağın Aktivitesi
A	: Alan
c	: Işık Hızı
d_m	: Ölçülen Doz
d_{mmd}	: Maksimum Müsade Edilebilecek Doz
D	: Doz
$\Delta\lambda$	: Dalga Boyu Farkı
d_1	: 1. Konumdaki Radyasyon Kaynağından Olan Uzaklık
d_2	: 2. Konumdaki Radyasyon Kaynağından Olan Uzaklık
E_B	: Bağlanma Enerjisi
E_f	: Gelen Fotonun Enerjisi
E_f'	: Saçılan Fotonun Enerjisi
E_{max}	: Maksimum Kinetik Enerjisi
E_e	: Elektronun Enerjisi
E_γ	: Gama Fotonunun Enerjisi
f	: Frekans
f_0	: Başlangıç Frekansı.
F	: Radyasyon Akısı
h	: Planck Sabiti
I_1	: 1. Konumdaki Radyasyon Şiddeti
I_2	: 2. Konumdaki Radyasyon Şiddeti
I	: Ölçülen Sayım Değeri
I_0	: Başlangıç Sayım Değeri
I	: Malzemeyi Kateden Radyasyonun Şiddeti
I_0	: Radyasyonun Malzemeyi Katetmeden Önceki Şiddeti
λ	: Gelen Fotonun Dalga Boyu
λ'	: Saçılan Fotonun Dalga Boyu
K	: Birim Aktivitesinin Birim Mesafe ve Sürede Verdiği Doz
k	: Kaynak İle Hedef Bölge Arasındaki Ortamın Absorblama Faktörü
m_e	: Elektronun Kütlesi
m_0	: Durgun Kütle
η	: Fotoelektrik Absorbsiyon Olasılığı
μ	: Malzemeye İlişkin Lineer Absorbsiyon Katsayısı
r	: Kaynağa Olan Mesafe
t_φ	: Çalışma Süresi
t	: Veriliş Süresi
V	: Elektronun Hızı
x	: Malzeme Kalınlığı
Z	: Maddenin Atom Numarası

**RADYASYON ÇALIŞANLARININ MARUZ KALABİLECEKLERİ
PARMAK VE EL IŞINLAMASINA İLİŞKİN ÜÇ FARKLI
GAMA RADYOİZOTOPU İÇİN BİR İNCELEME**

ÖZET

Bu Yüksek Lisans Tezinde, radyasyon çalışanları için önem arz eden bir konu olan parmak ve el ışınlamasına yönelik deneysel çalışma yapılması hedeflenmiştir. Parmak dozu veya el dozuna ilişkin önemli bir faktör, çalışılan radyasyonun ve radyoizotopun cinsidir. Gama ışınlarıyla çalışılması, giriciliğin yüksek olması nedeniyle tercih edilmiştir. Gama radyoizotop kaynağı olarak, doğal ve yapay farklı radyoizotoplar mevcuttur. Ancak, bunlardan üçü, farklı amaçlı da olsa nükleer uygulamalarda çoğu kez tercih edilmektedir. Bunlar; Co-60, Cs-137 ve Ir-192 gama radyoizotop kaynaklarıdır. Bu çalışmada da söz konusu bu üç gama radyoizotop kaynağı ile çalışılmıştır.

Deneysel çalışmaların yapılabilmesi için, insanla çalışılması nükleer güvenlik şartları bakımından uygun olmaması nedeniyle fantom ile çalışılması benimsenmiştir. Uygun bir simülasyonun sağlanabilmesi için ise, el kemiklerine uygun boyutlarda kemikler içeren ve parafinden imal edilen özel bir fantom hazırlanmıştır. Böylelikle, olabildiğince realistik olarak deneylerin yapılması amaçlanmıştır.

Radyasyonla çalışanların el ve parmak ışınlamasına maruz kalabilmeleri farklı pozisyonlarda olabileceği düşünülerek, deneyler üç farklı geometride yapılmıştır. Deney sonuçları; bağıl sayım sonuçlarından ayrı olarak, dokuda bağıl zayıflatma bağlamında da, yine bar grafik olarak verilmiştir. Ayrıca çalışılan farklı radyoizotoplar için mukayeseli bağıl sayım ve bağıl zayıflatma grafikleri, oluşturulan üç farklı pozisyon için bar grafik olarak verilmektedir. Böylelikle de, radyasyon çalışanları için laboratuarda ve uygulamada önem arz eden bir konuda maruz kalınabilecek el ve parmak ışınlaması konusunda realistik sonuçlara ulaşılabilmektedir.

AN INVESTIGATION ON EXPOSURE OF HAND AND FINGER FOR RADIATION WORKERS

SUMMARY

This thesis is aimed at the experimental study of Finger and Hand Exposure dosage which is an extremely important tissue for Radiation Workers. An important aspect for finger or hand exposure is the type of radiation and radioisotope. Gamma radiation is preferred due to high in an organ penetration. As there are different the gamma source naturally and artificially. But three of them are mostly in the nuclear applications. These are Cobalt-60, Cesium-137 and Iridium-192 radioisotopes. That are studied with them.

For the experimental studies phantoms are used since it is not proper for nuclear safety regulations to study on human beings. For a proper simulation, a special paraffin phantom is prepared with bones matching human hand bones. So, it is aimed at experimentation as realistic as possible.

The experiments are conducted in three different geometries considering the fact that radiation workers may be at different relative positions while their hands and finger are being exposed. Results; of the experiments beside relative counts, relative decrease are given as bar charts. For all three geometries the bar graphics are drawn for each of the radioisotope as relative counts and tissue relative decrease. So, realistic results are obtained on the very important subject of hand and finger exposure for radiation workers.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İkinci Dünya Savaşının sona ermesinden bu yana, dünya üzerinde kullanılan radyoaktif maddelerin ve radyasyon kaynaklarının sayısında hızlı ve sürekli bir artış meydana gelmektedir. Günümüzde, radyoaktif maddeler artık sadece özel laboratuvarlarda kullanılan merak konusu maddeler olmaktan çıkarak, başta tıp, endüstri, tarım olmak üzere geniş uygulama alanları bulmuş ve her çeşit bilimsel araştırmanın vazgeçilmez bir aracı haline gelmiştir. (Maghissivcarter, 1977)

Bunlara ilaveten, dünyanın bir çok yerinde elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamaya yönelik olarak nükleer santrallerden yararlanılması söz konusudur. Dünya enerji ihtiyacının git gide artmasına karşın, sürekli enerji kaynaklarının azaldığı bir dönemde, nükleer enerjiden yararlanılması gündeme gelen bir konu olmaktadır. Nükleer enerjiden yararlanma ihtiyacı arttıkça, insanların radyasyonla doğrudan temas haline gelmesi olasılığı artmaktadır (Adalıoğlu, 1997).

Dünyada yaşayan tüm canlılar kaçınılmaz bir şekilde, bir kısmı uzaydan kaynaklanan kozmik ışınlardan gelen doğal radyasyonun etkisi altındadır. Bu ışınlar nedeniyle insan yılda yaklaşık olarak 30 mrem civarında bir radyasyona maruz kalmaktadır. Buna ilave olarak, yeryüzündeki mevcut uranyum, toryum gibi kaynaklardan, binalarımızın yapımında kullanılan malzemelerden ve ayrıca vücudumuzda aktif bulunan potasyumdan aldığımız radyasyonlarla toplam olarak, bölgesel farklılıklar olabileceğini de göz önünde tutarak yılda ortalama 0,85-0,9 mSv'lik (85-90 mrem'lik) bir radyasyon alınabildiği ifade edilmektedir (Adams ve diğ., 1964). Güney Hindistan'da zengin toryum yatakları üzerinde kurulu bulunan Kerala kasabasında, sadece çevresel doğal radyasyonun bölge insanlarına yıllık yaklaşık 400 mrem'lik bir doz yüklediği bilinmektedir (Algüneş, 2002).

Bir göğüs röntgeninin yada diş röntgeninin 10 mrem civarında bir absorplanmış doza neden olduğu bilindiğinden, rutin sağlık tetkiklerini yaptıran bir kişinin normal şartlarda yılda en fazla 1,5 - 1,6 mSv'lik (150-160 mrem'lik) bir radyasyon aldığı düşünölmektedir. Bir diğör örnek te Chernobil nükleer kazası sonuçlarıdır. Kaza sonrası 1 yıl boyunca Türkiye'de alınan en yüksek dozun 59 mrem ve ortalama dozun ise 15 mrem olduğu hesaplanmaktadır (Bugnard ve diğ., 1967).

Etkilendiğimiz toplam doz değeriinin radyasyonla çalışmayan bir kişi için, yıllık 2 mSv (200 mrem)'lik değeriin altında kalması Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP) tarafından önerilmektedir. Bu değeri, yaklaşık olarak sivil hava yolları uçuş personelinin bir yılda aldığı ortalama doza eşit bir değeri (Baum ve diğ., 1970).

Alınabilecek koruyucu tedbirler sayesinde bu tehlikelerin büyük ölçüde azaltılması mümkün olabilmektedir. Radyasyonun en önemli tehlikesi, canlılar üzerinde zararlı biyolojik etkilerin meydana getirebilmesidir. Kontrollü ve düzenli korunma uygulaması halinde olabilecek tehlikelerin önüne geçilebilmektedir. (Eisenbud, 1963).

Radyasyon hasarlarına karşı etkiler, ışınlanan organ ve dokuların radyasyon duyarlılıklarıyla bu organ ve dokuların vücutta gördükleri fonksiyonlara bağlıdır. Beyin dahil olmak üzere bütün sinir dokusu ve kalp dokusu genel olarak radyasyona karşı duyarlı değildir. Bir doku veya organ üzerindeki radyasyon hasarı; dokunun veya organın meydana getirdiği ürünlerin (hormonlar, özel hücreler, enzimler gibi) artmasına veya azalmasına, dokunun veya organın büyümesinde aksaklıklara veya ölüme sebebiyet verebilmektedir (Güngör,1991).

Radyasyon etkisiyle hasara uğrayan bir doku, eğer tamamen tahrip olmamış ise ışınlamadan sonra tamir olayı başlayabilmektedir. Tamir olayı esnasında normal hücre fonksiyonları geçici olarak durabilmekte ve ölen hücreleri yenilemek üzere hücreler hızla çoğalmaktadır. Bu nedenle, tamir olayı devam ederken vücudun diğör kısımları vücut için hayati önemi olan bazı doku ürünlerinden mahrum kalabilirler. Böylece radyasyon hastalığının tedavisinde, özellikle vücudun hayati ihtiyacı olup o sırada vücut tarafından yapılamayan maddelerin sağlanması göz önünde tutulmalıdır (Özden, 1990).

Radyasyonların insan vücudu üzerindeki etkilerinin incelenmesi çalışmaları sonucunda, vücutta farklı organ ve doku gruplarının zarar görmelerinin söz konusu olduğu gözlenmiştir. (Göksel, 1973). Bu organlar arasında el de yer almaktadır (Bursik ve diğ., 1999).

Bu Yüksek Lisans tez çalışmasında, gama radyasyon kaynakları ile çalışanların maruz kalabilecekleri parmak ve el ışınlamasına ilişkin bir inceleme amaçlanmıştır. Bu amaçla, deneye uygun bir düzenek ile deneysel araştırmaların yapılması ve elde edilen verilerin değerlendirilerek yorumlanması hedeflenmiştir.



BÖLÜM 2

GAMA RADYASYONU

2.1. Radyasyonun Tanımı ve Çeşitleri

Radyasyon öz bir tanımla, partikül akımı ile veya dalga tabiatı göstererek, bir ortama veya maddeye enerji transfer edilişi olarak tanımlanabilmektedir (Glass ve Highes, 1962). Bu tanım, hayli geniş kapsamlı bir tanımdır.

Radyasyon, partiküler ve elektromanyetik radyasyon olarak sınıflandırılabilir. Nötron, proton, elektron, alfa parçacıkları beta parçacıkları gibi parçacıklar, partiküler radyasyon içinde yer alırlar. Elektromanyetik radyasyon ailesine mensup olan ve foton ile yayınan radyasyon ise elektromanyetik radyasyonu oluşturmaktadır.

Radyasyonlar madde içine nüfuz edip cismi oluşturan atomları iyonlaştırmaları veya iyonlaştırmaması itibariyle de iki sınıfta incelenebilmektedir (Şeker ve Çerezci, 1997).

Bunlar;

a) İyonlaştırıcı Radyasyon

- Nötron (Yüksüz parçacıklar)
- Proton (Yüklü parçacıklar)
- Alfa parçacıkları (Yüklü parçacıklar)
- Beta parçacıkları (Yüklü parçacıklar)
- Girici elektromanyetik radyasyon (X ve Gama ışınları)

b) İyonlaştırmayan Radyasyon

- Kızılötesi (Infrared) ışınlar
- Morötesi (Ultraviolet) ışınlar

olmaktadır (Eisenbud, 1968).

İyonlaştıran radyasyon, atom ve moleküllerden elektron koparabilen radyasyonlardır. Radyasyonun insan bünyesine zararlı etkisinin asal nedeni de çoğu kez, hücre içinde iyonlaşma ve uzantısında meydana gelen istenmeyen olaylardır (Shapiro, 1990). Bu bakımdan iyonlaştırmacı radyasyonun, radyasyon sağlığı açısından ayrı bir önemi bulunmaktadır.

Elektromanyetik Radyasyonlar, kütleli ve elektriksel özellikleri olmayan fotonun dalga hareketi olarak ifade edilebilir. Girici elektromanyetik radyasyon ise, enerjili ve dalga boyları küçük olan X ve gama ışınları olup, maddeye nüfuz edebilme özelliğine sahiptir.

Radyasyondan korunma açısından girici elektromanyetik radyasyon öncelikle üzerinde durulması gereken gruba oluşturmaktadır. Bu yüksek Lisans tezi kapsamında yapılan deneysel araştırmada gama radyasyon kaynakları ile çalışılması hedeflenmiştir. Bu nedenle, burada girici elektromanyetik radyasyon içinde yer alan gama ışınları üzerinde özellikle durulacaktır.

2.1.1 Elektromanyetik Radyasyon Ailesi

Elektromanyetik radyasyonlar, kütleli ve elektriksel özellikleri olmayan fotonun dalga hareketi olarak ifade edilebilir. Bu bağlamda, elektromanyetik radyasyonun ortak özelliklerinden bahsedilebilir. Bunlar, foton adı verilen enerji paketiyle yayılırlar.

Bu çerçevede;

$$E_f = h \cdot f \quad (2.1)$$

denklemini geçerlidir. Burada, E_f foton enerjisini, h Planck sabitini ve f ise frekansı ifade etmektedir.

Fotonlar, ışık hızıyla yol alırlar ve dalga tabiatındadırlar.

Bu çerçevede;

$$c = \lambda \cdot f \quad (2.2)$$

yazılabilir. Burada; c ışık hızını, λ dalga boyunu ve f de frekansı temsil etmektedir.

Fotonlar enerjitiktirler. Bu bağlamda, Denklem 2.1 ve 2.2' den hareketle (sabit değerler yerine konduğunda);

$$E_f(\text{keV}) = 12,4/\lambda \text{ (Å)} \quad (2.3)$$

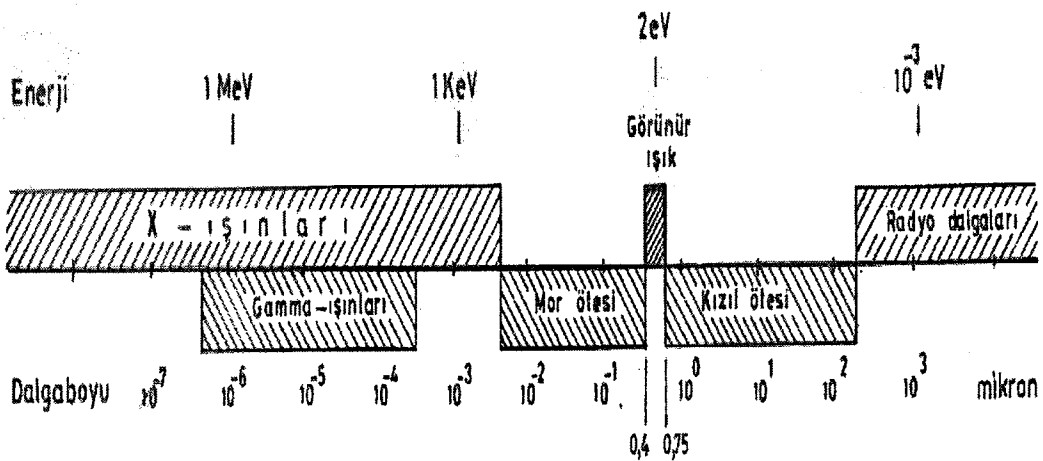
yazılabilir. Denklem 2.3 göstermektedir ki; elektromanyetik radyasyonun enerjisi ile dalga boyu ters orantılı değişim göstermektedir.

Ayrıca, fotonlar doğrusal yayılırlar ve “ters kare kanunu” geçerlidir. Bunun matematiksel ifadesi şöyledir;

$$I_1 \cdot d_1^2 = I_2 \cdot d_2^2 \quad (2.4)$$

Burada d_1 ve d_2 radyasyon kaynağından olan uzaklıklar, I_1 ve I_2 bu uzaklıklardaki radyasyon şiddetleridir.

Elektromanyetik Radyasyon enerji ve / veya dalga boyuna göre kendi içinde ayrımlanabilmektedir (McMaster, 1963). Bu sebeple, elektromanyetik radyasyonun bir aile oluşturduğu düşünülmekte ve çoğu kez “Elektromanyetik Radyasyon Ailesi” olarak nitelendirilmektedir. Şekil 2.1.' de enerjilerine (veya dalga boylarına) göre elektromanyetik radyasyon ailesi şematik olarak görülmektedir.



Şekil 2.1. Elektromanyetik Radyasyon Ailesi

Elektromanyetik Radyasyon Ailesine mensup radyasyon tipleri olarak;

- * Kozmik ışınlar
- * Gama ışınları
- * X ışınları
- * Ultraviolet (Mor ötesi) ışınlar
- * Görünür ışık
- * Infrared (Kızıl ötesi) ışınlar
- * Radyo dalgaları

sayılabilir (Özden,1990).

Elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşimi dalga boyuna ve dolayısıyla enerjilerine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Bu bakımdan da farklı amaçlarla kullanımları söz konusudur.

2.1.2 Girici Elektromanyetik Radyasyonlar

Elektromanyetik radyasyon ailesi içinde, nükleer uygulamalar açısından özellikle önemli olanları girici elektromanyetik radyasyonlardır. Girici elektromanyetik radyasyon ile, katı maddeye nüfuz edebilen X ve gama ışınları kastedilmiş olmaktadır. Bu ışınların elektromanyetik radyasyon ailesi içindeki yeri Şekil 2.1’de görülmektedir.

X ve gama ışınları, orjin bakımından farklı olup, her ikisi de elektromanyetik radyasyon ailesine mensup kısa dalga boylu ışınlardır. Gama ışınları atom çekirdeğinden yayınlanır. Karakteristik X ışınları ise çekirdeği çevreleyen elektron bulutundan meydana gelirler(Bueche, 1965). Bu Yüksek Lisans tezinde gama ışınları ile çalışılması amaçlandığından gama ışınları üzerinde durulacaktır.

2.2. Gama Işınları

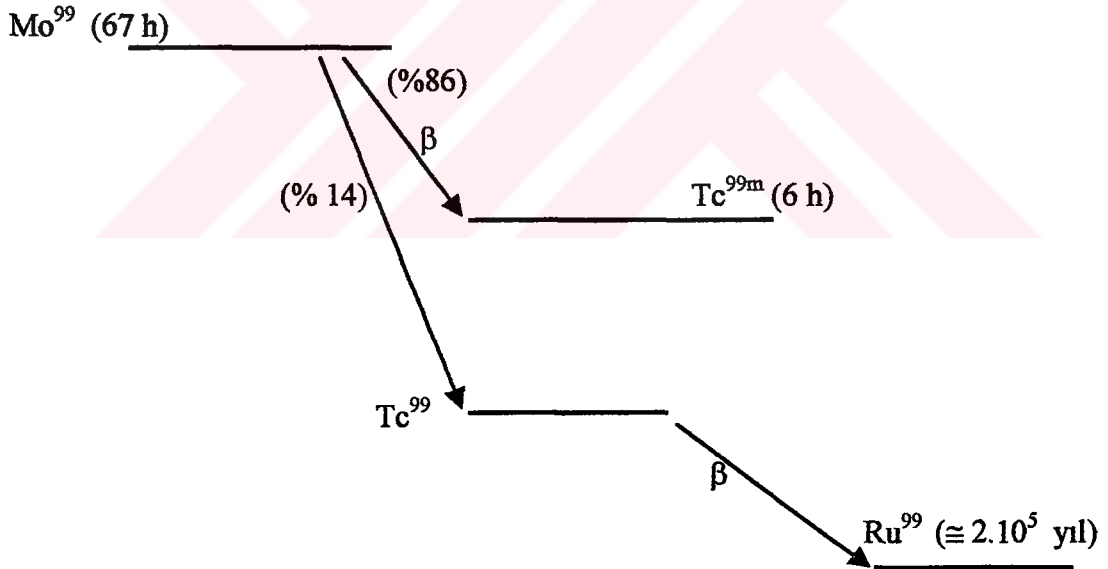
Radyoaktif çekirdekler kararsız olup, fazla enerjiye sahip olabilirler. Bu çekirdeklerin, fazla enerjilerini elektromanyetik radyasyon olarak (foton şeklinde) atarak daha kararlı hale veya temel hale geçmesi söz konusu olabilir. Bu sırada, çekirdeğin kütlesi ve elektrik yükü değişmez (Aybers, 1980).

Uyarılmış halde kalma süresi daha uzun olsa bile, çekirdekten γ fotonu atılması hayli kısa sürede (yaklaşık 10^{-12} sn’de) olmaktadır. Ancak yine de, pratikte ana

çekirdeğe mal edilse bile γ ışını ana çekirdekten değil, kız çekirdekten atılmaktadır. Radyoizotoplar 3 MeV değerine kadar gama fotonu enerjisine sahip olmaktadırlar (Quittner, 1972).

Çekirdeğin fazla enerjisini foton olarak atması olayı, α veya β gibi bir parçacık fırlatmasıyla birlikte olmazsa buna “izomerik geçiş” denmektedir. Bu esnada, sadece γ ışını yayınlanır. Bu olayda γ ışınması olurken çekirdek bir başka çekirdeğe dönüşmez, kütle ve atom numaraları aynı kalır. Bazı izomerik çekirdekler uyarılmış halde saatlerce kalabilmektedir. Buna, metastabil izomerik durum denmektedir ve ${}_Z X^{A*}$ şeklinde gösterilmektedir (Algüneş, 2002).

Nükleer tıptaki çalışmalarda sıkça tercih edilen Tc^{99m} , metastabil izomerler için bir örnek olarak verilebilir. Yarı ömrü 67 saat olan Mo^{99} ’dan β bozunumu sonucu oluşan Tc^{99m} ’in yaklaşık 6 saatlik bir fiziksel yarı ömrü vardır ve 140 keV’lik bir γ fotonu vererek (Şekil 2.2) temel hale geçmektedir (Casarett, 1963).



Şekil 2.2 ${}_{42}Mo^{99}$ ’un β Bozunumu Yaparak ${}_{43}Tc^{99m}$ ve ${}_{43}Tc^{99}$ ’a Dönüşümü

Bir radyoizotop, kısa yarı ömürlü bir aktif kız çekirdeğe dönüştüğü zaman genellikle bu iki yapı mekanik veya kimyasal yolla birbirinden ayrılabilir. Ana çekirdek

korunurken aktif kız çekirdeğin alınması, “sağılması” olarak nitelenmektedir (Algüneş,2002). Sağılma olaylarına örnek olarak $^{99}\text{Mo} - ^{99\text{m}}\text{Tc}$ ve $^{132}\text{Te} - ^{132\text{m}}\text{I}$ dönüşümleri verilebilir.

$^{99\text{m}}\text{Tc}$, kısa yarı ömürlü düşük enerjili tek γ ışını yayıcısı olduğundan tıpta özellikle tanıda yaygın olarak kullanılan bir radyoizotopdur. Nükleer tıpta yapılan görüntüleme testlerinin büyük bir kısmı $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ile yapılmaktadır.

2.2.1. Gama Işınlının Kendine Has Özellikleri

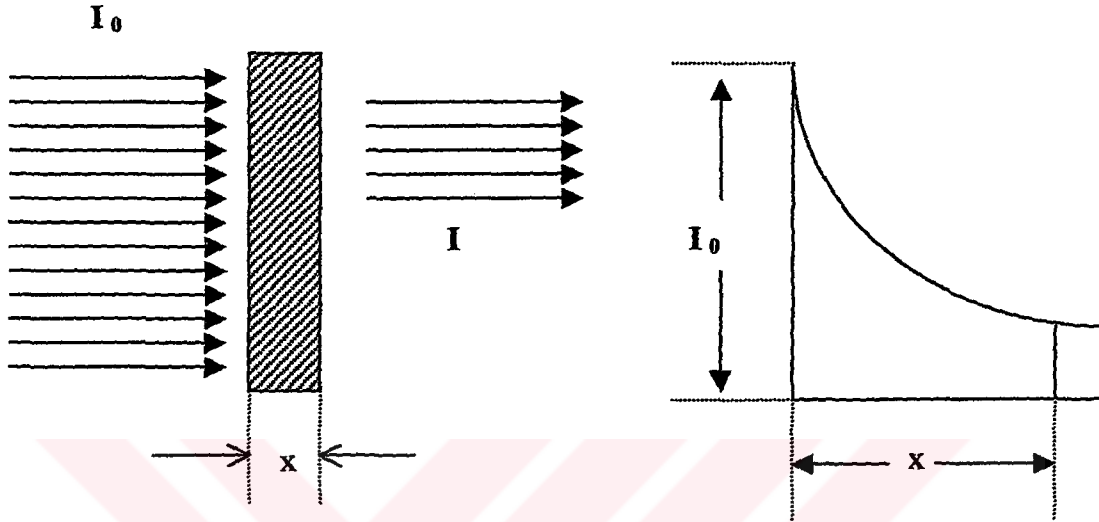
Gama ışınları elektromanyetik radyasyon ailesi içinde yer almakla beraber, tüm elektromanyetik radyasyon ailesinin sahip olmadığı bazı özelliklere de sahiptirler. Bunlar (Özden, 1990);

- Elektromanyetik radyasyon ailesi spektrumu içinde enerjilik bölgede yer alırlar. Enerjileri genellikle 10 keV’in üzerindedir.
- Maddeye nüfuz edebilirler. Dolayısıyla girici ışınlardır.
- Madde ile etkileşirler. (Bölüm 2.3’te ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.)
- Fotoğraf filmini etkilerler.
- Dolaylı iyonlaştırıcı radyasyonlardır.
- Canlıların, uzun süre maruz kalması halinde, canlılık fonksiyonlarını negatif yönde etkilemeleri söz konusudur.
- Atom çekirdeğinden yayınlanırlar. Kararsız atom çekirdeklerinin yeniden düzenlenmeleri sırasında fazla enerji bir gama fotonu olarak atılır. Bu nedenle gama ışınlarının kaynakları radyoizotoplardır.
- Çizgisel spektruma sahiptirler. Gama ışınları atom çekirdeğinden yayınlanırken bir veya birden fazla enerji seviyelerinde yayınlanabilirler, ancak yayınlanan gama ışınları belirli enerji seviyelerindedir.

2.2.2. Gama Işınlının Madde İçinde Zayıflatılması

Gama ışınları yüksüz olmaları nedeniyle, malzeme içerisinde etkileşme yapmaksızın uzun mesafe kat edebilirler . Bir fotonun malzeme içerisinde alacağı yol istatistiksel olarak birim mesafede yapacağı etkileşmelere bağlıdır (Güngör,1991).

Bu etkileşmelerde fotonun enerjisine ve fotonun yol almakta olduğu malzemeye bağlıdır. Bir gama fotonu malzeme ile etkileştiği zaman, malzeme tarafından yutulabilir. Enerji kaybederek veya kaybetmeden saçılır ve yönü değişebilir. Genellikle, gama fotonları malzemeye etkileşerek tamamen yok olamayabilirler, ancak zayıflayabilirler (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Gama Işınlarnın Malzeme İçinde Soğurularak Zayıflatılması

Gama fotonlarının madde içinde soğurularak şiddetlerinin zayıflaması, matematiksel olarak;

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.5)$$

olarak ifade edilebilir (Göksel,1973). Burada;

I : Malzemeyi kateden radyasyonun şiddeti

I_0 : Radyasyonun malzemeyi katetmeden önceki şiddeti

μ : Malzemeye ilişkin lineer absorpsiyon katsayısı

x : Malzeme kalınlığı

ifade etmektedir. Malzemeye ilişkin absorpsiyon katsayısı, malzeme özelliklerine ve gelen fotonun enerjisine bağlı olarak değişebilmektedir.

2.3. Gama Işınlarnın Madde İle Etkileşimi

Gama ışınları elektrik yüklü olmamalarına karşın atomlarla etkileşmelerinde iyonizasyon meydana getirebilirler (Shapiro, 1990). Bu bakımdan, dolaylı iyonizan radyasyon olarak nitelenirler.

Gama ışınlarının madde ile etkileşmelerinde başlıca 3 mekanizma söz konusudur (Algüneş,2002).

Bu üç olay;

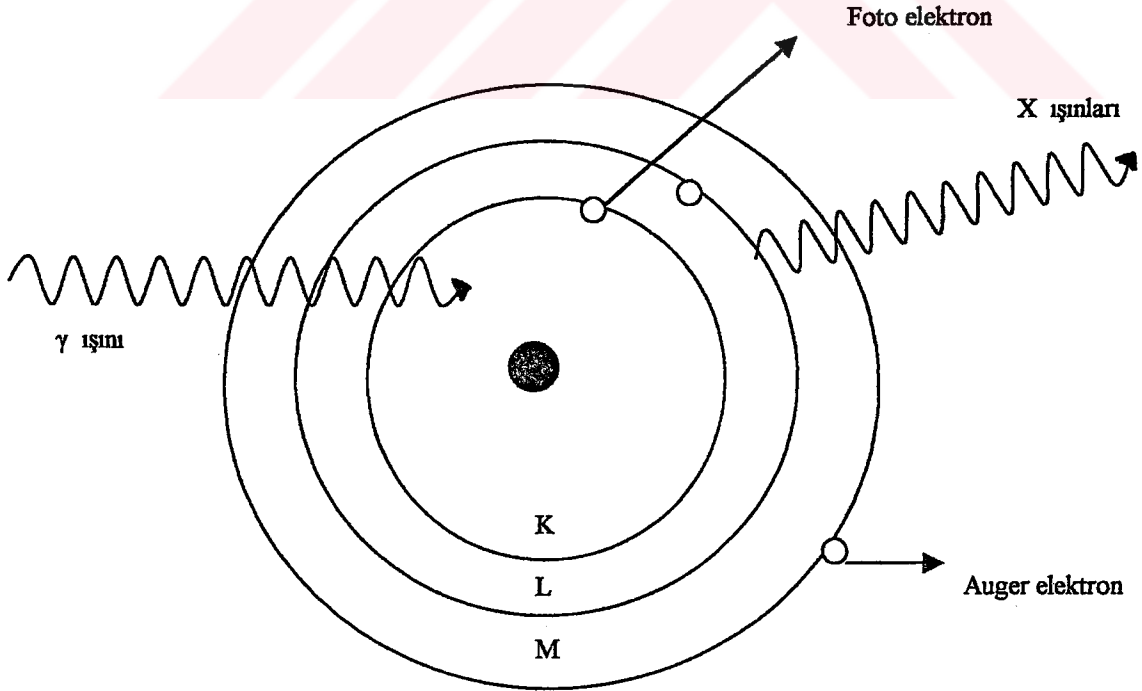
- Fotoelektrik olay,
- Compton olayı,
- Çift oluşum olayı

dır.

2.3.1. Fotoelektrik olay

Enerjileri 10 KeV ile 500 KeV arasında olan düşük enerjili fotonlar için en önemli enerji kaybı mekanizmasıdır. Bu olayda, bir γ ışını fotonu soğurucu atomla etkileşerek tamamen kaybolur. Onun yerine soğurucu atomun elektron yörüngesinin birinden (genellikle atomun K kabuğundan) enerjitik fotoelektron atılır.

Gelen γ ışınının enerjisi, elektronu orijinal kabuğundan koparıp uzaklaştırmaya ve kinetik enerji vermeye harcanır. Şekil 2.4'te Fotoelektrik olay şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.4 Fotoelektrik Olay

Fotoelektrik olay için h planck sabiti ve f frekans olmak üzere, foton enerjisini hf , bağlanma enerjisine hf_0 ve fotoelektronların maksimum kinetik enerjisini $E_{\max}$ olarak yazılırsa;

$$hf = hf_0 + E_{\max} \quad (2.6)$$

$$E_\gamma = E_B + E_e \quad (2.7)$$

$$h\nu = E_B + E_e \quad (2.8)$$

olarak ifade edilir (Powsner, 1998).

Fotoelektrik olay olma olasılığı, düşük enerjili γ , X ışınları ve yüksek atom numaralı soğurucu maddeler için büyüktür. Buna göre fotoelektrik absorpsiyon olasılığı (η);

$$\eta = Z^5 \times E_\gamma^{-7/2} \quad (2.9)$$

şeklindedir (Spiers, 1968). Burada;

Z : Maddenin atom numarası

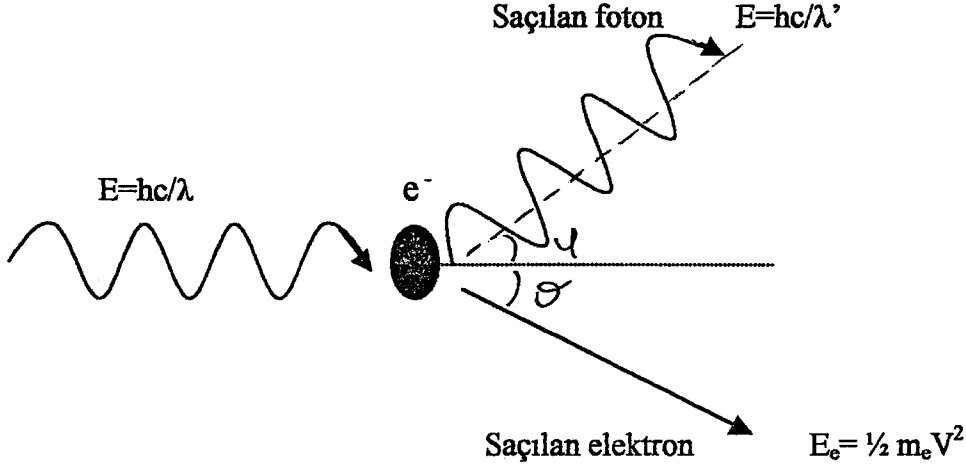
E_γ : Gama fotonunun enerjisini

temsil etmektedir.

2.3.2.Compton Olayı

Compton olayı, elektromanyetik radyasyonların tanecik karakteri ile izah edilebilen bir olaydır (Algüneş, 2002). Genellikle, 0,5 MeV'den büyük enerji değerine sahip fotonun, serbest elektronla veya atomun dış yörüngelerindeki bağ enerjisi küçük olan bir elektronla etkileşmesinde gözlemlenmektedir (Powsner, 1998).

Gelen foton, enerjinin bir kısmını elektrona devreder ve ona devrettiği enerjiye eşit bir kinetik enerji kazandırır. Kendisi, ilk doğrultusundan sapar ve enerjisi azalır. Böylelikle, dalga boyu büyür ve farklı bir foton halinde yoluna devam eder. Şekil 2.5'de Compton Olayı şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Compton Olayının Şematik Gösterimi

Yapılan incelemeler, bu olayda, elastik bir çarpışma için geçerli olan enerjinin korunumunun;

$$E_f - E_f' = (1/2) m_e V^2 \quad (2.10)$$

şeklinde gerçekleştiğini göstermektedir.

Gelen ve saçılan fotonların dalga boyu farkı;

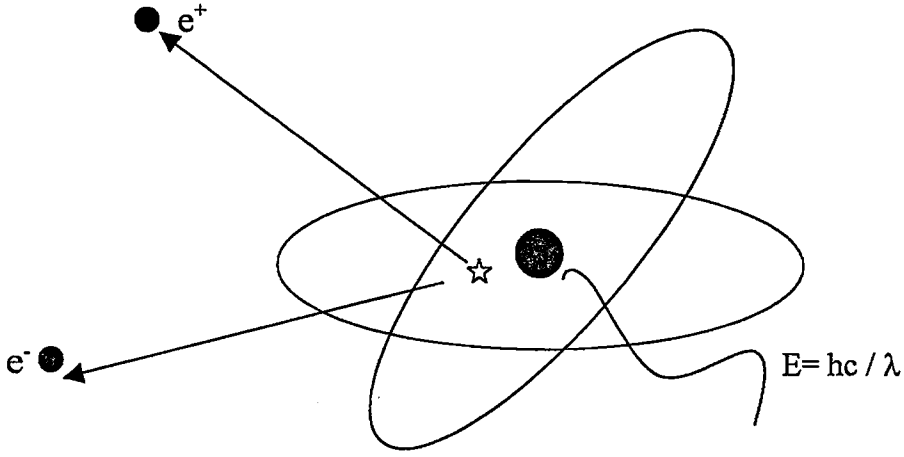
$$\lambda' - \lambda = \Delta\lambda = h (1 - \cos \phi) / m_e c \quad (2.11)$$

ifadesi ile ϕ saçılma açısına bağlıdır.

Bu olay sonucunda enerjisi azalan fotonun, fotoelektrik ve hatta Compton olaylarına, kinetik enerji kazanmış elektronun ise iyonizasyon ve eksitasyon olaylarına sebep olarak madde içinde absorplanması beklenir. Compton olayı olasılığı, absorplayıcı maddenin Z atom numarası ile orantılı olarak artmaktadır.

2.3.3. Çift Oluşumu

Çift oluşumu, enerjisi teorik olarak 1,022 MeV'den, pratik olarak 2 MeV'den daha büyük olan bir foton, içinden geçtiği absorplayıcı ortamda bir çekirdeğin alanında biri pozitif diğeri negatif iki elektron oluşabilir Şekil (2.6). Fotonun 1,02 MeV'den arta kalan enerjisi e^+ ve e^- 'in kinetik enerjisi rasgele paylaşılır (Algüneş, 2002). Bu yapılar çekirdeğin çok yakınında oluşmasına rağmen β partikülleri olarak isimlendirilemez.

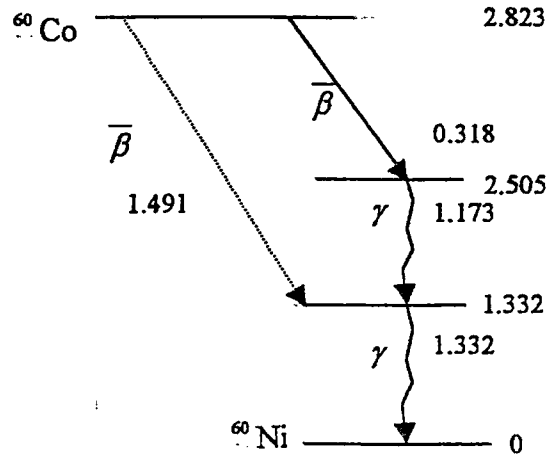


Şekil 2.6 Çift Teşekkülü Olayının Şematik Gösterimi

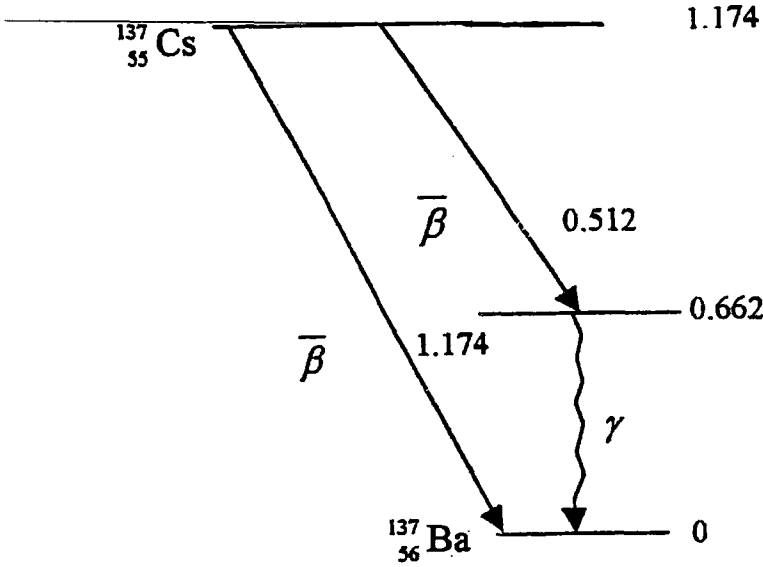
2.4 Gama Kaynakları

Gama fotonları, radyoaktif kaynakların bozunumunda ve nükleer reaktörlerde fisyon sırasında, fisyon ürünlerinin bozunumunda, nötronun malzeme ile etkileşimleri sırasında yayılabilirler (Shultis and Faw, 1996)

Gama radyoizotopları, eğitim, tıp, araştırma, endüstri alanlarında geniş çapta kullanılmaktadır. Bu kaynaklar bir veya daha fazla gama ışını yayarak bozunuma uğramaktadırlar. Her radyoizotopun karakteristik bir gama spektrumu mevcuttur. Endüstride en geniş uygulama alanı bulunan ^{137}Cs ve ^{60}Co radyoizotoplarının bozunum şemaları Şekil 2.7 ve 2.8’de görülmektedir.



Şekil 2.7 ^{60}Co Gama Kaynağının Bozunum Şeması



Şekil 2.8 ^{137}Cs Gama Kaynağının Bozunum Şeması

Gama ışınları , fisyon olayının ilk 60 saniyesinde (öncü gama fotonları) veya fisyon ürünlerinin bozunumundan da meydana gelebilmektedirler. Toplam fisyon enerjisinin yaklaşık %10-12 kadarı gama ışını olarak yayınlanmaktadır. Öncü gama fotonlarının enerji aralığı 0.1-10.5 MeV civarındadır. Nükleer reaktörlerde fisyon ürünlerinin bozunumu sırasında hayli uzun süren gama aktivitesi oluşmaktadır. Gecikmiş gama fotonlarının enerjisi ise, 6-8 MeV aralığındadır (Almenas, 1992).

Birçok malzeme için, nötron absorpsiyonu sonucunda, yarı ömrü saniyeden yıllara kadar farklılık gösteren radyoizotoplar oluşmaktadır. Bu aktivasyon çekirdeklerinin sonradan bozunumlarından çıkan radyasyon özellikle reaktör kalbindeki yapısal malzemeler için önem taşımaktadır. Bu gibi radyoizotoplar genellikle beta radyasyonu yayarak kız çekirdeği uyarılmış seviyede bırakmakta ve çekirdek ise 10^{-14} s'de gama fotonu yayarak temel seviyeye inmektedir.

Radyoizotopların pozitron bozunumu ya da çift oluşumunda meydana gelen pozitronlar, 10^{-10} s'de malzeme içinde yavaşlamakta ve elektronlarla birleşerek yok olmaktadır. Elektron ve pozitronun kalan kütle enerjisi her biri 0.511 MeV enerjiye sahip iki anihilasyon fotonu şeklinde yayınlanmaktadır. Diğer bir nötron reaksiyonu olan, ışınlı yakalanmada, uyarılmış çekirdek 10^{-14} s içerisinde temel enerji seviyesine bozunurken bu arada bir veya daha fazla gama fotonu yayınlanmaktadır (Shultis and Faw, 1996).

Tablo 2.1 Gama Fotonu Yayan Önemli Radyoizotoplar.

E_γ MeV $t_{1/2}$	<0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 1.5	> 1.5
		²⁸ Mg	¹⁸ F	²⁴ Na	²⁴ Na
		⁹⁹ Tc ^m	⁵⁶ Mn	²⁸ Mg	⁴² K
<1d		¹¹³ In ^m	⁶⁴ Cu	³¹ Si	⁵⁶ Mn
		¹³² I	⁷² Ga		⁷² Ga
		¹⁹⁷ Hg ^m	¹³² I		¹³² I
			¹³⁷ Ba ^m		
	⁶⁷ Cu	⁴⁷ Ca	⁴⁷ Ca	⁴⁷ Ca	¹⁴⁰ La
	⁶⁷ Ga	⁶⁵ Ni	⁷⁶ As	⁶⁵ Ni	
	¹³³ Xe	⁶⁷ Cu	⁸² Br	⁷⁶ As	
	¹⁵³ Sm	⁶⁷ Ga	⁶⁹ Mo	⁸² Br	
	¹⁹⁷ Hg	⁹⁹ Mo	¹¹⁵ Cd		
		¹¹¹ Ag	¹²² Sb		
		¹¹⁵ Cd	¹³¹ I		
		¹³² Te	¹⁴⁰ La		
1d - 10d		¹³¹ I	¹⁸⁷ W		
		¹³³ Xe ^m			
		¹³¹ Cs			
		¹⁴⁰ La			
		¹⁴³ Ce			
		¹⁵³ Sm			
		¹⁸⁷ W			
		¹⁹⁸ Au			
		¹⁹⁹ Au			
	¹⁴⁰ Ba	⁵¹ Cr	⁸⁴ Rb	⁵⁹ Fe	
		⁷¹ Ge	⁹⁵ Nb	⁸⁸ Rb	
10d - 50d		¹¹⁴ In ^m	¹¹⁵ Cd ^m	¹¹⁵ Cd ^m	
		¹⁴¹ Ce	¹¹⁵ In ^m		
		¹⁸¹ Hf	¹⁴⁰ Ba		
		¹⁹² Hg			
	¹²⁵ I	⁵⁷ Co	⁴⁸ Sc	⁴⁸ Sc	¹²⁴ Sb
	¹⁶⁰ Tb	⁷⁵ Se	⁵⁴ Mn	⁶⁵ Zn	
	¹⁷⁰ Tm	¹¹³ Sn	⁵⁸ Co	¹¹⁰ Ag	
		¹⁶⁰ Tb	⁶⁵ Zn	¹⁶⁰ Tb	
50d - 365d		¹⁷⁵ Hf	⁸⁵ Sr	¹⁸² Ta	
		¹⁸² Ta	⁹⁵ Zr		
		¹⁹² Ir	¹¹⁰ Ag ^m		
			¹¹³ Sn		
			¹²⁴ Sb		
			¹⁶⁰ Tb		
			¹⁹² Ir		
			²¹⁰ Po		
	⁵⁵ Fe	¹³³ Ba	²² Na	⁶⁰ Co	²²⁶ Ra
	¹³³ Ba	¹⁵² Eu	⁸⁵ Kr	¹³⁴ Cs	
	¹⁵⁵ Eu	¹⁵⁴ Eu	¹³⁴ Cs	¹⁵² Eu	
	²³² Th	¹⁵⁵ Eu	¹³³ Ba	¹⁵⁴ Eu	
>1y	²³⁸ U	²²⁶ Ra	¹⁵² Eu	²²⁶ Ra	
	²³⁹ Pu		¹⁵⁴ Eu		
	²⁴¹ Am		²²⁶ Ra		

Tablo 2.1’de gama fotonu yayan önemli radyoizotoplar verilmiştir. Bu radyoizotoplar enerjilerine ve yarı ömürlerine göre sınıflandırılmışlardır (Földiák, 1986).



BÖLÜM 3

RADYASYONDAN KORUNMA

Radyasyon, canlılar üzerinde, yeterince uzun süre etkin olursa, canlıda negatif etkiler görülebilir. Bu bağlamda, radyasyon etkisi altında, hücrelerin radyasyon tarafından tahribi söz konusudur (Williams, 1987). Özellikle iyonizan radyasyonlar, sebep oldukları iyonlaşma olayları sonucunda, canlı dokular üzerinde hayli önemli tahribata neden olabilirler.

İyonizasyonun hücre üzerindeki etkisini açıklayan teoriler bulunmaktadır. Bunlardan biri hedef teorisidir (target teorisi). Bu teori, hücre içinde küçük bir duyarlı hacmin bulunduğunu ve hücrenin önemli bir hasara uğraması için radyasyonun bu duyarlı hacme çarpmasının gerekli olduğunu varsaymaktadır. Bu hacim “hedef” olarak adlandırılmaktadır. Hedefin dışında iyonizasyonun etkisiz olduğu kabul edilmektedir (Bevelacqua, 1999).

Bir başka teoride ise; iyonizasyonun hücre içinde meydana getirdiği kimyasal değişikliklerin telafi edilmeyecek bir hasarın meydana gelmesinden önce, hücre içinde belirli bir minimum miktar kimyasal değişikliği yapacak kadar iyonizasyon meydana gelmesi zorunluluğunu kabul etmektedir (Williams, 1987).

Her iki teoride, canlıda önemli bir biyolojik etkinin meydana gelebilmesi için, hücrenin belli bir radyasyon seviyesinin üzerinde radyasyona maruz kalmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Buna göre, canlıda radyasyondan dolayı meydana gelebilecek negatif bir etkinin, canlının belli bir doz sınır değerinin üzerinde radyasyon alması halinde mümkün olabileceği söylenebilir.

Canlıda meydana gelebilecek biyolojik etkiler, somatik ve genetik etkiler olarak gruplanmaktadır. Her iki etki de, canlı için olumsuz etkileri ifade etmektedir.

Somatik etkiler; radyasyona maruz kalan kişinin, yaşam süresi içinde kendisinde ortaya çıkan biyolojik etkilerdir. Somatik etkilerin ortaya çıkmasında etken olan faktörler; maruz kalınan toplam radyasyon dozu, dozun alındığı zaman süresi, radyasyonlara maruz kalan vücut bölgesi ve alanı olarak sayılabilir (Powsner, 1998).

Belirli bir radyasyon dozuna maruz kalan vücut bölgesi, vücudun tümü ise, meydana gelecek etki büyük olmaktadır. Buna karşın, aynı doza maruz kalan bölge, sadece cildin ve kasların küçük bir hacmi ise, etki de küçük olmaktadır (Williams, 1987).

İnsanların radyasyon dozlarına maruz kalma süreleri de önemli bir hususu oluşturmaktadır. Işınlamalar akut ışınlama ve kronik ışınlama olarak ikiye ayrılabilir (Onur, 2002).

Kısa bir zaman süresi içinde meydana gelen ışınlamaya “akut ışınlama” adı verilmektedir (Powsner, 1998). Burada ani ışınlama söz konusudur. Genellikle canlılar için akut ışınlamalar daha büyük sorun oluşturmaktadırlar.

Uzun bir zaman süresi içinde ışınlama ise, “kronik ışınlama” olarak adlandırılmaktadır. Bu tür ışınlamada, radyasyon dozu geniş bir süreçte alınmaktadır. Rutin mesleki ışınlamalar genellikle bu sınıfa girmektedirler (Göksel, 1973).

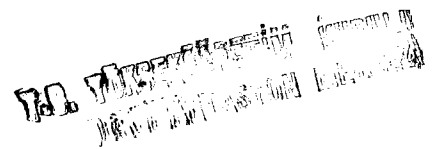
Genetik etkiler, ışınlanan kişinin, üreme yoluyla, sonraki kuşaklara geçebilen radyasyon hasarı etkileridir. Her bireyin kişisel tabiatını belirleyen genler ve bunu belirleyen kromozomların düzenlenişleri, ana ve babadan gelen gen özellikleriyle yakından ilişkilidir (Bevelacqua, 1999).

Radyasyon etkisiyle, üreme hücresinde yapı değişikliği olabilir ve “gen mutasyonu” meydana gelebilir (Profio, 1979). Mutasyonun meydana geliş olasılığını belirleyen ana faktör, hücrenin aldığı toplam radyasyon dozu olmaktadır (Güngör, 1991).

3.1. Radyasyondan Korunma Tanıtımı

Radyasyon korunmasının ana ilkesi , vücudun maruz kalacağı radyasyon düzeyini mümkün olan en düşük düzeye indirmektir. “Olabilen en düşük radyasyon miktarı olan “ALARA” (As Low As Reasonable Achievement) ile çalışmak radyasyonla çalışmada geçerli olan prensip olarak bilinmektedir (NRC, 1991).

Alınabilecek radyasyon dozuna ilişkin olarak doz limitleri belirlenmiştir. Bu limitler, edinilen tecrübeler ve hayvanlar üzerinde yapılan deneylerle belirlenmiş doz limitleridir.



Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu (ICRP, 1977), tarafından “maksimum müsaade edilen doz” (MMED); “bir insanda ömrü boyunca hiçbir zaman önemli bir vücut arızası (somatik hasar) ve aşırı bir genetik hasar meydana getirmesi beklenmeyen iyonlaştırıcı radyasyon dozu” olarak tanımlanmaktadır .

Vücudun homojen bir şekilde ışınlanması halinde kişinin veya neslinin sağlığı için en büyük risk, belirli bazı doku ve organların ışınlanması nedeni ile ortaya çıkabilmektedir. Bu organların aldığı dozların belirlenmesi ayrı bir önem taşımaktadır (Yaşar ve Tuğrul, 2003).

Bu doku ve organ grupları;

1. Kan ve kemik iliği
2. Dalak ve diğer lenfatik dokular
3. Cilt ve kıl folikülleri
4. Sindirim yolu
5. Adrenal bezleri
6. Tiroit bezi
7. Akciğerler
8. İdrar yolları
9. Karaciğer ve safra kesesi
10. Kemikler
11. Gözler
12. Üreme organları

olarak sayılabilir (Göksel, 1973).

Kişiler için doz sınırları saptanırken, ICRP’nin önerilerine göre; işleri gereği radyasyonla çalışanlar ve toplum üyesi kişiler olmak üzere iki grupta göz önüne alınmaktadırlar (Güngör, 1991). Mesleki çalışmalarda tüm vücudun radyasyon etkisi altında kalması halinde seneler bağlamında alınan kümülatif doz;

$$D = 5 \text{ (N-18)}$$

(3.1)

olmaktadır. Burada D rem cinsinden doz, N ise yıl cinsinden yaştır (Göksel, 1973).

Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonunca belirlenen, radyasyon çalışanı için maksimum müsaade edilen doz değeri, yılda 50 mSv (veya 5 rem)'dir. Bu bağlamda, ortalama olarak, bir radyasyon çalışanı; haftada 1 mSv (0,1 rem), günde 0.02 rem ve 5 saat/gün çalışma ile saate 0,004 rem'lik maksimum müsaade edilen doza maruz kalabileceği hesaplanabilmektedir (ICRP, 1965).

Burada amaç, bu dozu, maksimum müsaade edilen doz seviyelerinin altına indirmektir. Tablo 3.1'de Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu (ICRP, 1994) tarafından kişiler için belirlenen doz sınırları verilmektedir.

Tablo 3.1.

ICRP-1994'ün Tavsiyelerine Göre Kişiler İçin Doz Sınırları

Organ veya Doku	Görevleri Sırasında Işınlanan Ergin Kişiler için Maksimum Müsaade Edilen Dozlar	Toplum Üyesi Kişiler için Doz Sınırları
Bütün Vücut	2 rem/yıl	0.2 rem/yıl
Gonadlar ve Kırmızı Kemik İliği	2rem/yıl	0.2 rem/yıl
Cilt, Kemikler ve Tiroid	12 rem/yıl	1.2 rem/yıl
Eller ve Kollar, Ayaklar ve Bacaklar	30 rem/yıl	3 rem/yıl
Diğer herhangi bir tek organ	6 rem/yıl	0.6 rem/yıl

Bu tablodan görüleceği üzere, ICRP tarafından tavsiye edilen doz sınırları radyasyonla çalışan ergin kişiler ve toplum üyesi kişiler için olmak üzere iki ayrı durum için incelenmiş olup, toplumdaki kişiler için "Doz Sınırları" mesleki bakımdan radyasyona maruz kalanlar için tavsiye edilen MMED'in onda biridir (Göksel, 1973).

3.2. Radyasyondan Korunma Prensipleri

Radyasyon tehlikeleri; vücudun dışında bulunan kaynakların meydana getirdiği dış ışınlama ve vücuda giren radyoaktif maddelerin meydana getirdiği iç ışınlama tehlikeleri olmak üzere ikiye ayrılabilir. Bu ayrıma paralel olarak, radyasyondan korunma prensipleri de, dış radyasyon tehlikelerinden korunma prensipleri ve iç radyasyon tehlikelerinden korunma prensipleri olmak üzere ikiye ayrımlanabilmektedir (Güngör, 1991)

3.2.1. Dış Radyasyon Tehlikelerinden Korunma Prensipleri

Radyasyon etkisiyle olabilecek biyolojik etkilerin nedeni, ortama radyasyon tarafından enerji aktarılması olduğundan, bu transferi engellemek, bir başka ifadeyle korunma yöntemlerini uygulamak süratiyle radyasyon tehlikesini en aza indirmekle mümkündür. Dış radyasyon kaynağının verdiği dozun değerini bilmek, radyasyondan korunma tedbirleri için en temel bilgi olmaktadır. Dış radyasyon kaynağı olarak alınan bir noktasal gama kaynağının verdiği doz;

$$D=K \times A \times t / k r^2 \quad (3.2)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada;

A: Kaynağın aktivitesini ,

t: Veriliş süresini ,

r: Kaynağa olan mesafeyi,

K : Birim aktivitesinin birim mesafe ve sürede verdiği dozu,

k : Kaynak ile hedef bölge arasındaki ortamın absorplanma faktörünü

göstermektedir (Algüneş, 2002).

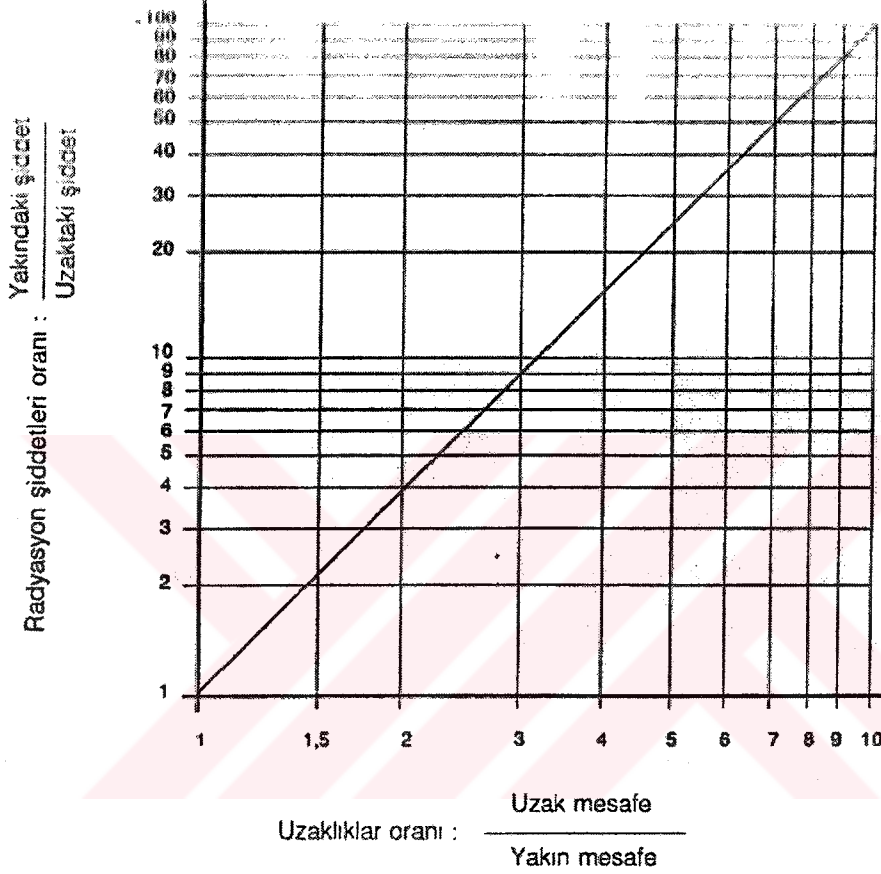
Dış radyasyonun muhtemel etkilerinden korunmak için 3 temel faktör göz önüne alınmaktadır. Bunlar;

- Radyasyon kaynağından uzaklık
- Işınlama süresi
- Zırhlama

olarak ifade edilebilir.

3.2.1.1. Radyasyon Kaynağından Uzaklık

Radyasyon kaynağından uzaklık ilk önemli faktörü oluşturur. Burada, “ters kare” kanunu geçerlidir. Ters kare kanunu; radyasyon şiddetinin, uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak azalmasını ifade etmektedir (Shapiro, 1990).



Şekil 3.1 Radyasyon Şiddetinin Mesafenin Karesi İle Ters Orantılı Olarak Değişimi.

Bu durumda, kaynaktan 10 cm uzaklıktaki radyasyon şiddeti, 1 cm'deki radyasyon şiddetinden 100 kere daha az olmaktadır. Dolayısıyla, radyasyonla çalışmada ilke; radyasyon kaynağından mümkün olduğu kadar uzak durmak ve uzakta çalışmaktır.

3.2.1.2. Işınlama Süresi

Işınlama süresi; radyasyonla çalışmada, alınan doza etken olan ikinci önemli faktördür. Radyasyonla çalışırken, gereksiz radyasyon dozu alınmaması için, çalışma süresi olabildiğince kısa tutulmalıdır. Bunun için de çalışmaya başlamadan önce

maksimum çalışma süresini öngören iyi bir çalışma programının yapılması ve bu programa çalışma süresince uyulması gerekmektedir.

Müsaade edilebilecek çalışma zamanı (saat/gün); günlük doz eşdeğeri sınırının, ölçülen radyasyon doz şiddetine oranı olacak şekilde hesaplanabilir (Shapiro, 1990).

Buna göre;

$$t_q = d_{mmd} / d_m \quad (3.3)$$

olarak yazılabilir.

Burada;

t_q : Çalışma süresi

d_{mmd} : Maksimum müsaade edilebilecek doz

d_m : Ölçülen doz

olmaktadır.

3.2.1.3. Radyasyon Kaynağının Zırhlanması

Radyasyondan korunmada üçüncü faktör, zırhlanmadır. Çoğu kez, kaynağa olan uzaklığın ve kaynak yakınında çalışma süresinin sınırlanması radyasyon dozunu yeterince azaltmak için yeterli olmamaktadır (Onur, 2003). Bu durumda, radyasyon kaynağının zırhlanması zorunluluk olarak ortaya çıkar.

Zırhlanmanın temeli; radyasyon kaynağı ile, çalışılacak yer arasına radyasyonu tamamen yutacak veya şiddetini müsaade edebilecek doz seviyelerine kadar azaltacak nitelikte bir engel konulmasıdır (Powsner, 1998). Genellikle, zırhlama; radyasyon tehlikesinin önlenmesinin en etkin yoludur.

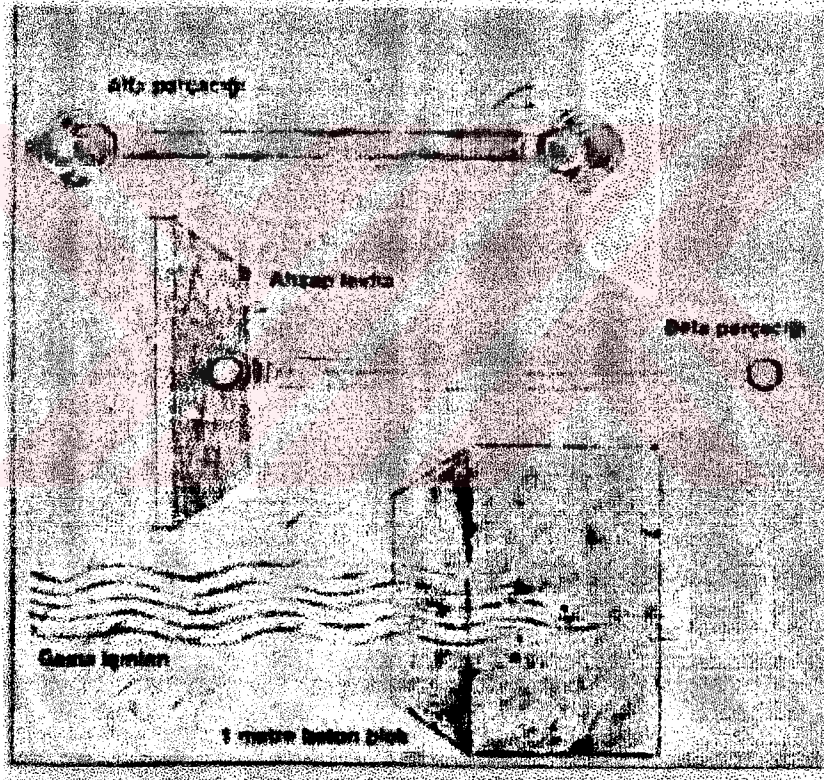
Radyasyon alanı içinde bulunan kişilerin (şartlar uygun olsa bile) kurşun gömlek giymeleri de ALARA prensibi göz önüne alındığında uyulması gereken önemli bir korunma tedbiridir (Algüneş, 2002).

Zırhın cinsini ve kalınlığını belirleyen en önemli faktörler radyasyonun cinsi ve enerjisidir. Alfa parçacıkları ağır ve yüklü parçacıklar olduklarından derinin dış ölü tabakasını delip vücudun içerisine giremediklerinden dış radyasyon tehlikesi yaratmazlar. Alfa parçacıklarını durdurmak için birkaç cm hava kalınlığı, 0,5 mm kalınlığında Al bir levha veya kağıt tabakası yeterlidir. İnsanların günlük elbiseleri,

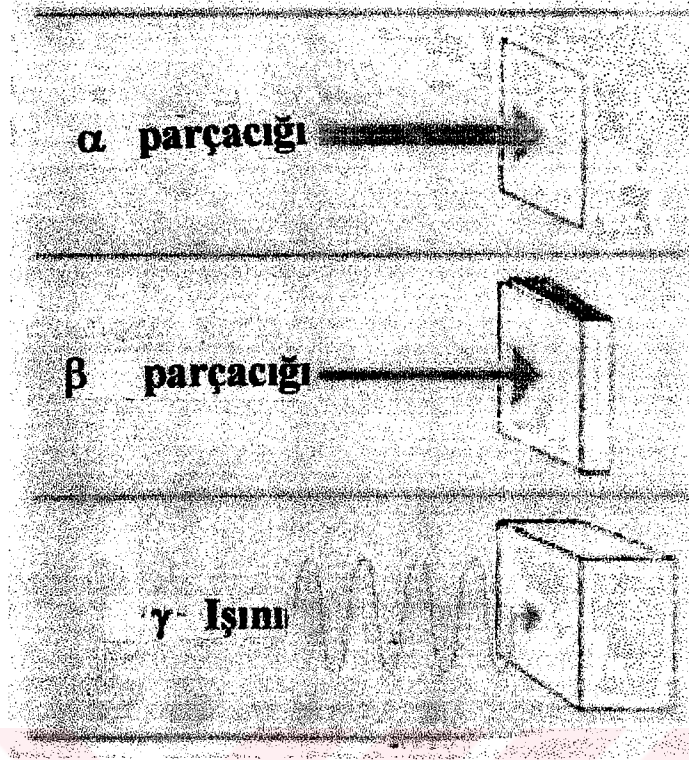
vücudu alfa ışınlarından korumak için etkin bir zırhlanma aracı durumundadır. Yüksek enerjili β parçacıkları hava tabakasının atomları ile etkileşimleri sonucu enerjilerini kaybedeceklerinden kaynakla kişi arasındaki hava tabakasından zırhlamada yararlanılabilir (Güngör, 1991).

Gama ışınları yüksüz olmaları nedeniyle hayli giricidirler. Gama ışınlarının zırhlanmasında; kurşun, demir, beton gibi atom numaraları büyük olan malzemeler kullanılır (Göksel, 1973).

Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te, α , β ve γ ışınlarının zırhlanması ve durdurulmasına ilişkin şematik görüntüler verilmektedir.



Şekil 3.2 α , β , γ Işınlarının Zırhlanması



Şekil 3.3 α , β , γ Işınlarının Durdurulması

3.2.2 İç Radyasyon Tehlikelerinden Korunma Prensipleri

Radyoaktif maddeler, vücut içerisine ağız, solunum ve cilt üzerindeki çizik ve yaralar yolu ile girebilmektedirler. Özelliklerine göre, vücudun çeşitli organlarında belirli bir süre veya sürekli kalabilirler ve de iç ışınlamaya neden olurlar. I-131, tiroid bezinde yoğunlaşmakta, Sr-90 ise genellikle kemiklerde birirmektedir.

Bu nedenle, iç ışınlama, özellikle radyoizotoplarla çalışan laboratuvarlarda önemsenecek bir husus durumundadır. Radyoizotoplar, insan vücuduna girdikleri takdirde yaratacakları tehlikelere göre sınıflandırılabilirler. Tablo 3.2’de radyoizotoplarına insana zararına göre tehlike sınıflaması verilmektedir.

Tablo 3.2**Radyoizotopların Tehlikelerine Göre Sınıflandırılması (GÜNGÖR,1991)**

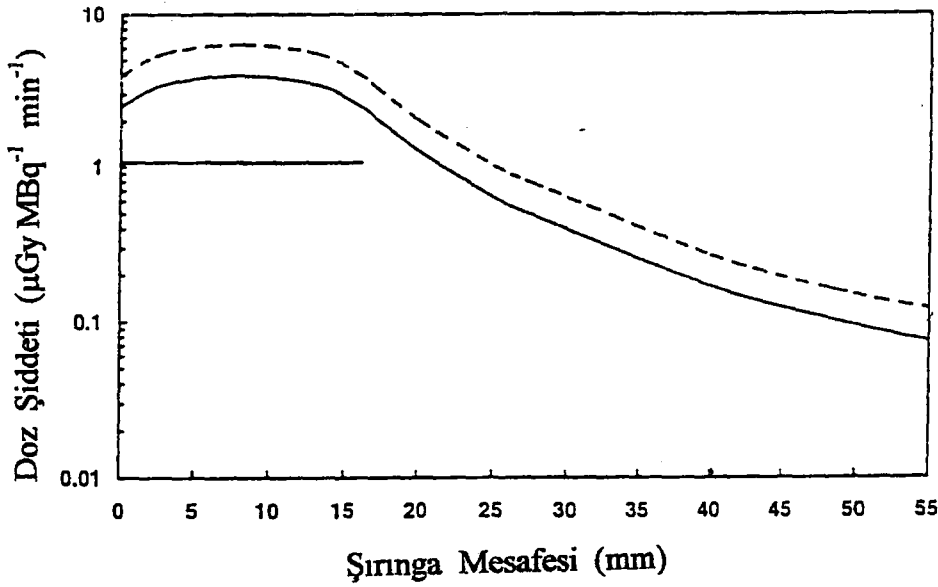
Tehlike Derecesi	Radyoizotop
Çok tehlikeli	Sr-90, Ra-226, Pu-239
Tehlikeli	Ca-45, Sr-89, Ba-140, I-131
Orta Derecede tehlikeli	Na-22, Na-24, P-32, S-35, Cl-36, K-42, Mn-52, Mn-54, Mn-56, Fe-55, Co-58, Co-60, Co-64, Zn-65, Br-92, Rb-86, Mo-99, Ca-137, Ba-137
Az tehlikeli	H-3, C-14

İç radyasyon tehlikelerinden korunmanın ana yöntemi, radyoaktif maddelerin müsaade edilen sınırlar üzerinde vücuda girmelerinin önlenmesi için gerekli tüm önlemleri almak ve uygulamaktır. Radyasyonla çalışma bölgesinde, saçılma ve dökülmeye karşı tedbir olarak, yeterli büyüklükte, yüzeyleri, kenar ve köşeleri düzgün metal veya plastik küvetler kullanılmalıdır. Atıkların toplanmasında kullanılan çöp kutularının da aynı özellikleri taşımasına dikkat edilmelidir.

Radyoizotop laboratuvarlarında, ağızla çalışan aletler kesinlikle kullanılmamalıdır. Otomatik pipetler tercih edilmelidir. Çalışılan radyoaktif madde, buharlaşmaya elverişli ise, çalışanın, uygun bir filtreye sahip ve bütün yüzü kaplayan bir gaz maskesi kullanılması gerekmektedir.

Radyoaktif maddelerle çalışılan bölgelerin kontrolü, nükleer güvenlik için bir gerekliliktir. Böyle yerlerde, periyodik olarak, radyoaktif madde ile çalışılan alandan örnek alınarak, rutin bir şekilde, muhtemel kontaminasyon olasılığı araştırılmalıdır (Algüneş,2002).

¹⁵³Sm ve ^{99m}Tc için cilt gama ışını doz şiddeti dağılımı Şekil 3.4’de verilmiştir (Pattison,1999).



Şekil 3.4 ^{153}Sm (Samoryum) ve $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (Teknesyum) İçin Cilt Gama Işını Doz Şiddeti Dağılımı

3.3 Radyasyon Dozimetrisi

“Radyasyon dozimetresi” iyonlaştırıcı radyasyon miktarının ölçülmesini ifade etmektedir. Radyasyon dozimetresi için geliştirilmiş farklı yöntemler ve ölçümleme sistem ve elemanları bulunmaktadır (Doğan ve Tuğrul, 2001).

Radyasyon demeti, herbiri kendine özel bir enerji miktarını taşıyan dalga paketleri veya kuvantlar akısı olarak göz önüne alınabilmektedir. Bir radyasyon demetinin şiddetini ölçmenin bir yolu, belirli bir yerdeki santimetre kareden geçen parçacıkların veya kuvantların sayısının tayin edilmesidir.

Radyasyon demeti; ister parçacıklar, ister fotonlar olarak göz önüne alınsın, radyasyon şiddetinin bir ölçüsü olarak, bir A alanından dik olarak saniyede geçen parçacıklar veya fotonların sayısı (N) alınabilir. Bu sayıya “radyasyon akısı” adı verilmektedir.

Radyasyon akısı:

$$F = N / A \quad (3.4)$$

olarak hesaplanabilir.

Göz önüne alınan bir nokta için radyasyon şiddeti ile enerji absorblanma hızı birbirinden farklıdır. Belirli bir alandan geçen toplam radyasyondan sadece bir kısmı, orada absorblanmaktadır. Bu da, absorblayıcının cins ve özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir. Bu bağlamda farklı doz birimlerinden bahsedilebilir.

“Işınlama dozu” sadece radyasyon demetinin bir özelliği ile ilgili olmaktadır. “Absorblanmış doz” ise, hem radyasyon demetinin hem de absorblanmış olduğu malzemenin özellikleri ile ilgisi bulunmaktadır .

3.3.1 Işınlama Doz Birimleri

Işınlama, radyasyonun havayı iyonlaştırma yeteneğinin bir ölçüsüdür. Hesaplanmasında, belirli kütledeki hava içinden geçen bir radyasyon demetinin meydana getirdiği iyonizasyonun ölçülmesi esas olmaktadır.

İlk Uluslararası Radyasyon dozu birimi “Röntgen” dir ve 1928 yılında tanımlanan bu birim, iyonizasyon olayına dayanmaktadır. Röntgen; “normal şartlardaki (0° C ve 76 cm / Hg basıncı) 1 cm³ (0,001293 g) hava içinde 1 esb (elektrostatik yük birimi)’ne eşdeğer iyon çifti oluşturan X ve Gama radyasyonu miktarı” dır. Simgesi “R” dir. SI (standart international) olarak tanımlanan (temel olarak MKS) birim sistemi içerisinde Röntgen karşılığı olarak Coulomb/Kg kullanılmaktadır. Radyasyonda en çok kullanılan şiddet birimi ise, Röntgen/Saat’tir (R/h).

3.3.2 Absorblama Doz Birimleri

Yüksek enerjili X ışınlarından α , β ve nötron gibi radyasyondan kaynaklanan herhangi bir cisimde absorblanan enerjinin ölçülmesinde röntgen dolayısı ile ışınlama doz birimi yetersiz kalmıştır. Böylece her çeşit radyasyon ve madde için absorblanmış doz birimi olarak “rad” tanımlanmıştır .

Rad; “gram başına 100 erg’lik bir enerji absorbsiyonu oluşturan herhangi bir radyasyon miktarıdır”. Bir başka ifadeyle, rad, madde tarafından absorblanan dozun birimidir ve ister elektromanyetik, isterse partiküler olsun, tüm radyasyonları kapsamakta ve $1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ J / kg} = 100 \text{ erg / gr}$ ifade etmektedir.

Kullanılmakta olan diğer bir absorblanma doz birimi ise Gray’dır. 1 Gray, 1 kg’lık bir ortamda 1 Joule’lük enerji absorbsiyonu meydana getiren radyasyon miktarı olmaktadır.(1 Gray (Gy) = 1 J / kg = 100 rad).

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu Yüksek Lisans Tezinde radyasyon çalışanlarının maruz kalabilecekleri parmak ve el ışınlamasına ilişkin üç farklı gama radyoizotopu için bir inceleme amaçlanmıştır. Bu amaçla, bir dizi deneysel çalışmalar yapılmıştır.

4.1. Deneyde Kullanılan Gama Kaynaklarının Tanıtımı

Deneysel çalışmalarda, üç farklı gama radyoizotop kaynağı ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Kullanılan radyoizotop kaynaklar, uygulamalarda yaygın kullanım alanı olan gama radyoizotop kaynakları arasından seçilmiştir.

Bunlar;

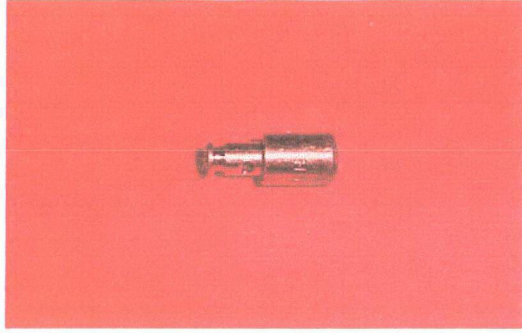
- ^{60}Co
- ^{137}Cs
- ^{192}Ir

radyoizotoplarıdır.

4.1.1. ^{60}Co Radyoizotop Kaynağı

^{60}Co radyoizotop kaynağının enerji pikleri iki tane olup, 1,17 MeV ile 1,33 MeV'dedir. Yarı ömrü 5,26 yıldır. Nükleer uygulamalar açısından, enerji pikleri yüksek olarak nitelenmektedir. Yapay radyasyon kaynağı olarak elde edilen bir gama kaynağıdır.

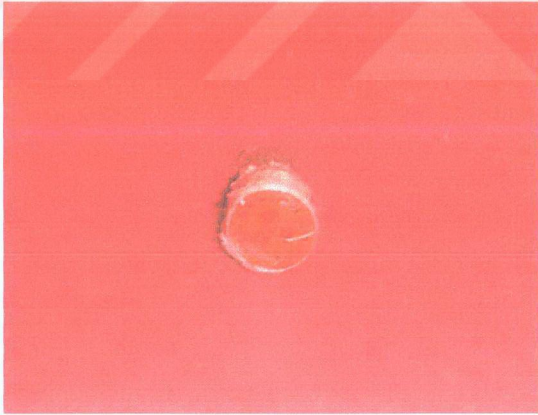
Endüstride ve tıpta farklı amaçlarla yaygın olarak kullanılmaktadır. ^{60}Co kaynağı kullanımı ile çift enerjili ve enerji pikleri 1 MeV'in üzerinde olan bir gama radyoizotop kaynağı ile çalışılmış olmaktadır. Çalışılan ^{60}Co gama kaynağının fotoğrafı Şekil 4.1'de görülmektedir.



Şekil 4.1. ^{60}Co Radyoizotop Kaynağı

4.1.2. ^{137}Cs Radyoizotop Kaynağı

^{137}Cs radyoizotop kaynağı da gama kaynağı olarak yaygın şekilde kullanılan bir kaynaktır. Yarı ömrü 30 yıldır. Bu kaynak, 662 keV enerjili gama fotonları ile, tek enerjili olması nedeniyle, çoğu kez nükleer tekniklerde tercih edilmektedir. ^{137}Cs gama radyoizotop kaynağının kullanımı ile, deneylerde mono enerjitik (tek enerjili) bir kaynak ile çalışılmış olunmaktadır. Çalışılan ^{137}Cs gama kaynağının fotoğrafı Şekil 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.2. ^{137}Cs Radyoizotop Kaynağı

4.1.3.¹⁹² Ir Radyoizotop Kaynağı

Bu kaynak (n,γ) reaksiyonuyla yapay olarak elde edilmekte olup, spesifik aktivitesi yüksek ve nokta kaynak olarak kullanılabilme özelliğine sahip bulunmaktadır. Yarı ömrü 72,6 gündür. Tıpta ve endüstride kullanımı hayli yaygındır. Endüstride gama radyografi çekimleri için tercih edilen bir gama radyoizotop kaynak durumundadır. Bu kaynağın deneylerimizde kullanım amacı poli enerjitik (çok enerjili) gama radyoizotop kaynakla çalışmış olmaktır. Çalışılan ¹⁹²Ir gama kaynağının fotoğrafı Şekil 4.3’de görülmektedir.

Kullanılan gama kaynaklarına ilişkin özellikler Tablo 4.1’de özetlenmiştir (McMaster, 1963). Ölçümlerde, poli enerjitik kaynak olan ¹⁹²Ir gama radyoizotop kaynağının piklerinden, şiddetleri % 5’in üzerinde olanlar ile çalışılmıştır.

Tablo 4.1
Deneylerde Kullanılan Radyoizotop Kaynaklarının Özellikleri (McMaster, 1963)

Gama Radyoizotop Kaynağı	Yarı Ömrü	Enerji (MeV) ve Şiddet (%)	Doz Sabiti (Am ² /kg Bq)	Aktivite
⁶⁰ Co	5,26 yıl	γ_1 1,17(100) γ_2 1,33 (100)	2,52	0,40 mCi
¹³⁷ Cs	30 yıl	γ_1 0,662 (85)	0,46	11,100 μ Ci
¹⁹² Ir	74,2 gün	γ_1 0,200 (0,5) γ_2 0,210 (4,1) γ_3 0,280 (0,4) γ_4 0,296 (35,8) γ_5 0,308 (37,1) γ_6 0,316 (100) γ_7 0,374 (0,8) γ_8 0,416 (0,7) γ_9 0,468 (56,8) γ_{10} 0,484 (3,5) γ_{11} 0,489 (0,4) γ_{12} 0,589 (5,3) γ_{13} 0,604 (9,9) γ_{14} 0,612 (6,4) γ_{15} 0,884 (0,4) γ_{16} 1,062 (0,07)	0,97	0,001 μ Ci



Şekil 4.3. ^{192}Ir Radyoizotop Kaynağı

4.2. Deneyde Kullanılan Fantomun Tanıtımı

Gama radyasyon kaynakları ile çalışmada, çalışanların maruz kalabilecekleri parmak ve el ışınlanmasına ilişkin deneysel çalışma için öncelikle bir fantoma gereksinim duyulmuştur. Zira, burada konu, çalışan insanın bir uzvunun aldığı radyasyon dozunun belirlenmesi olduğundan, bizzat insan ile çalışmak, radyolojik güvenlik açısından uygun olmamaktadır.

Çoğu deneysel çalışmada tercih edildiği gibi, bu çalışmada da “fantom” adı verilen, ilgilenilen doku veya uzvu simüle eden, uygun biçimde ve uygun malzemeden yapılmış bir eleman kullanılması yoluna gidilmiştir. Bu amaçla, öncelikle, fantom üzerinde durulmuş ve insan eli biçiminde fantom oluşturulmaya çalışılmıştır.

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere, bu bağlamda, bu çalışma için özel bir fantom hazırlanmıştır. Söz konusu fantom hazırlanırken, erişkin bir insan elinin yapısı göz önüne alınmıştır. Erişkin bir insanın elinde bulunan kemiklerin sayısı ve uzunluğu dikkate alınmıştır. Bu amaçla öncelikle, el için anatomik bir inceleme yapılmıştır. Şekil 4.4’te insan eli anatomisi, Şekil 4.5’te ise insan elinin röntgeni görülmektedir.



Şekil 4.4. İnsan Eli Anatomisi



Şekil 4.5. İnsan Eli Röntgeni

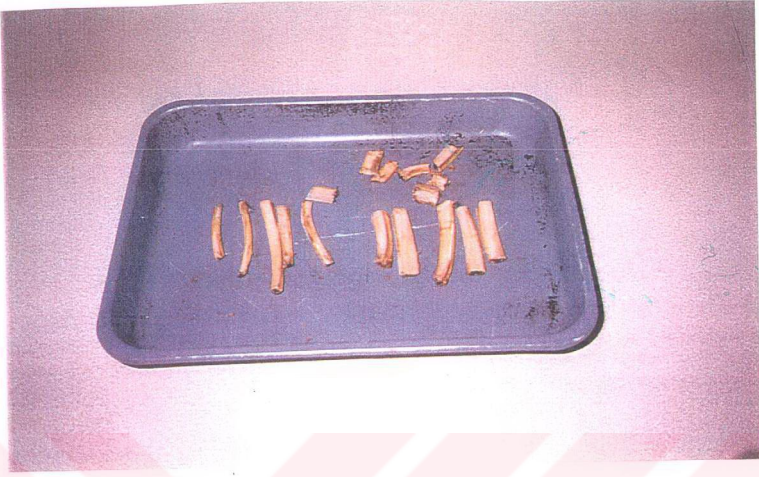
İmal edilecek fantomun malzemesi önem arz etmektedir. Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'ten de görüldüğü üzere, insan elinde başlıca iki malzeme bulunmaktadır. Bunlar, yumuşak doku ve kemiktir.

Olabildiğince realiteye uygun olması açısından insan eli kemiğini simule etmek üzere benzer boyutlarda olduğu tespit edilen koyun kaburga kemiği kullanılması tercih edilmiştir. İnsan elinde bulunan kemiklere benzer biçiminde temin edilen bu kemikler Şekil 4.6'da görülmektedir.



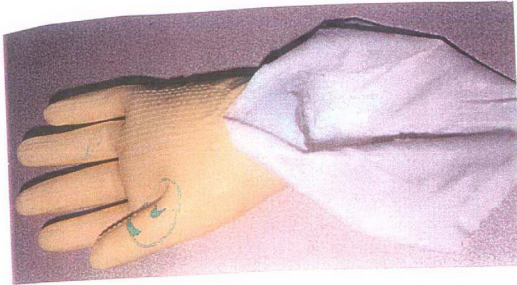
Şekil 4.6. Temin Edilen Kemikler

Bu kemiklerin rasyonel kullanılabilmesi için sterilize edilmesi gerekmiştir. Kemikleri sterilize etmek amacıyla, kemikler bir fırın içinde yüksek ısıya maruz bırakılmıştır. Fırınlama işlemi, 180°C 'da 25 dakika süre ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.7'de fantom için kullanılan kemiklerin fırınlama işleminden sonraki hali görülmektedir.



Şekil 4.7. Fantom İçin Kullanılan Kemiklerin Fırınlanmış Görüntüsü

Yumuşak dokuyu simule etmek için ise, bir hidrokarbon olan ve şekil vermek üzere döküme uygun bir malzeme olan parafinden yararlanılmıştır. Kalıp olarak ise, boyut olarak normal standartlarda polimer bir eldivenden faydalanılmıştır. Fantomun imali için öncelikle, parafin yüksek ısıda ısıtılarak erimesi sağlanmış daha sonra kalıp eldivene dökülerek elin kalıbı oluşturulmuştur Şekil 4.8’de kullanılan kalıp eldivene dökülmüş parafin görülmektedir.

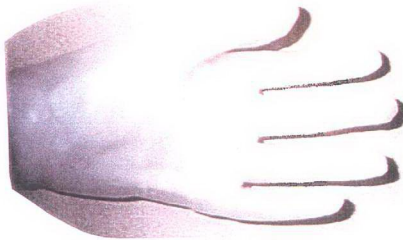


Şekil 4.8. Kalıba Dökülmüş Parafin

Kalıp eldivene dökülmüş parafin, dökülmesini takiben bir gün bekletilmiştir. Daha sonra, kalıp eldiven çıkartılmıştır. Sterilize edilmiş kemikler Şekil 4.5'e uygun olarak parafinden hazırlanan ele oyularak dikkatle yerleştirilmiştir. Fantomun bu işlem sırasındaki görünümü Şekil 4.9'da görülmektedir. Daha sonra, kemiklerin üzeri sıvı parafinle doldurulmuştur. Böylelikle, fantom son halini alarak deneyler için kullanılacak hale gelmiştir. Şekil 4.10'da ve Şekil 4.11'de deneylerde kullanılan fantomun iki farklı yönden görüntüsü verilmektedir.



Şekil 4.9 Kemik Yerleştirilmiş Parafin Fantom



Şekil 4.10. Fantomun Avuçiçi Görünümü



Şekil 4.11. Fantomun Üstten Görünümü

4.3. Deneyde Kullanılan Cihaz ve Elemanlar

Deneyisel çalışmalar sırasında, deney düzeneği fantom ve radyoizotop kaynaklarla beraber sayım için ilgili cihaz ve elemanlardan oluşturulmuştur. Ayrıca, koruyucu elemanlar da deney düzeneği içinde yer almıştır. Fantom ve radyoizotop kaynaklar dışında deneyde kullanılan elemanlar;

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

olarak sayılabilir.

4.3.1. Sintilasyon Detektörü

Deneylerde, Nucleus marka talyumla aktive edilmiş NaI (TI) kristalli bir sintilasyon dedektörü kullanılmıştır. Sayım verimi yüksek ve kolay kullanımı olan bu detektör

deneylerimizde tercih edilmiştir. Şekil 4.12’de kullanılan sintilasyon dedektörünün fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 4.12 . Sintilasyon Dedektörü

4.3.2. Çok Kanallı Analizör

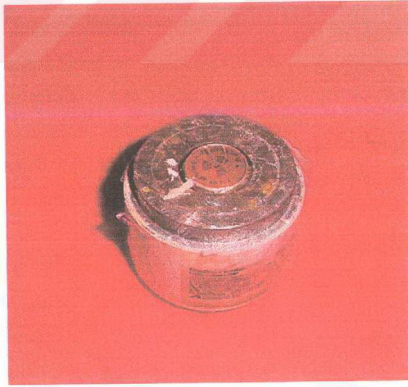
Deneylerde, Nucleus marka 256 kanallı, 800A model bir çok kanallı analizör kullanılmıştır. Bu çok kanallı analizör, ön yükseltici, yükseltici, güç kaynağı ve sayıcı gibi ünitelerini tek bir ünite halinde içinde bulundurmakta ve ilaveten üzerinde monitörü yer almaktadır. Kullanılan çok kanallı analizörün fotoğrafı Şekil 4.13 ‘de görülmektedir.



Şekil 4.13 Çok Kanallı Analizör

4.3.3. Kolimatör

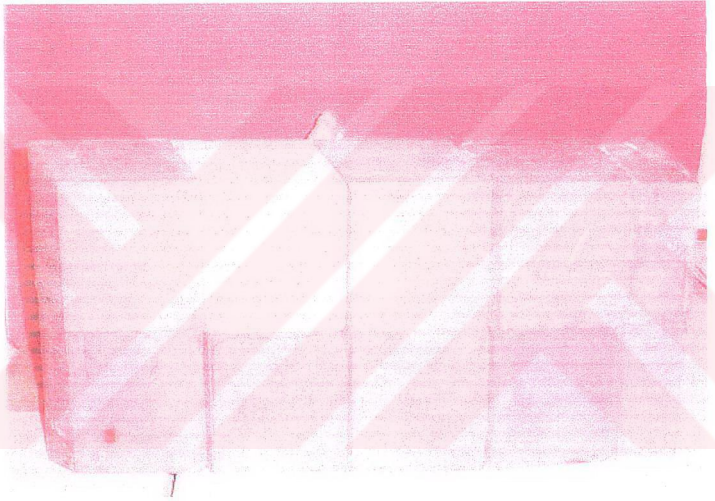
Gama Radyoizotop kaynaklar deneylerde bir kolimatör ile beraber kullanılmıştır. Kolimatör kurşundan imal edilmiş olup, biçimi de gama radyoizotop kaynakların yerleştirilmesi için uygundur. Şekil 4.14'te kolimatörün fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 4.14. Kolimatör

4.3.4. Zırh Elemanlar

Zırh elemanlar, nükleer güvenlik şartları ile deneye uygun olarak hazırlanarak kullanılmıştır. Böylelikle, deneysel çalışma şartları için radyolojik güvenlik açısından uygun şartlar tesis edilmeye çalışılmıştır. Özel imal edilmiş birbirine geçmeli olarak yerleştirilebilen kurşun tuğlalardan ibarettir. Deneylerde kullanılan ve zırh eleman olarak adlandırılan kurşun tuğlalardan oluşmuş bariyerin fotoğrafı Şekil 4.15.'de görülmektedir.



Şekil 4.15 Zırh Elemanları

4.4. Deney Düzeneği

Deneysel çalışmalar sırasında, deney düzeneği fantom ve radyoizotop kaynaklarla beraber sayım için ilgili cihaz ve elemanlardan oluşturulmuştur. Ayrıca, koruyucu elemanlar da deney düzeneği içinde yer almıştır. Şekil 4.16'da deney düzeneği fotoğrafik olarak görülmektedir.



Şekil 4.16 Deney Düzenegi

4.5. Deney Geometrisi

Parmak ve el ışınlamasına ilişkin yapılması hedeflenen deneysel çalışmalar için deney geometrisi belirlemesi, deneylerin önemli bir aşamasını oluşturmaktadır. Bu nedenle, deney geometrisi özenle oluşturulmuştur.

Radyasyon çalışanlarının, radyoizotopla çalışma sırasında ellerinin farklı şekillerde radyasyon alması söz konusu olabileceği düşünülmüştür. İnsan elinin farklı kalınlık ve biçimsel kısımlarının bulunduğu göz önüne alınarak, olabilecek muhtemel fakat farklı şartlar için deney geometrisi oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu bağlamda üç farklı ışınlama pozisyonu için, bir başka deyişle üç farklı deney geometrisi ile çalışılmıştır.

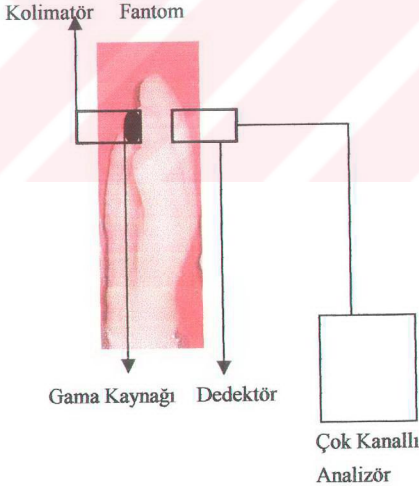
İlk pozisyon, parmakların radyoizotopa hemen temas durumunda alabileceği doza ilişkin olarak oluşturulmuştur (A Pozisyonu). İkinci pozisyon, avuç içinin radyoizotopa hemen temas durumunda alabileceği doza ilişkin olarak oluşturulmuştur (B Pozisyonu). Üçüncü pozisyon ise, radyoizotopun hemen parmak arası (3. ve 4. parmak arası) bölgesinde olması durumunda (C pozisyon) ölçüm alınacak şekilde deney geometrileri ile çalışılmıştır. Söz konusu bu deney geometrilerine ilişkin bilgiler Tablo 4.2’de verilmektedir.

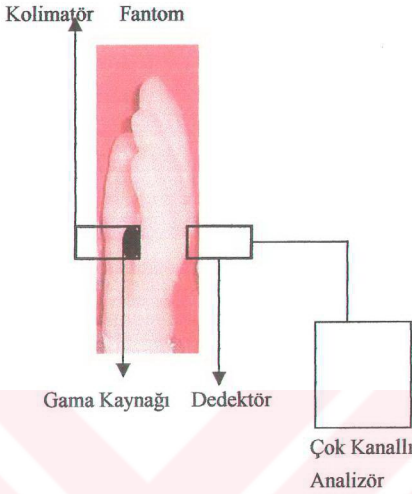
Tablo 4.2

Deney Geometrisine Ait Bilgiler

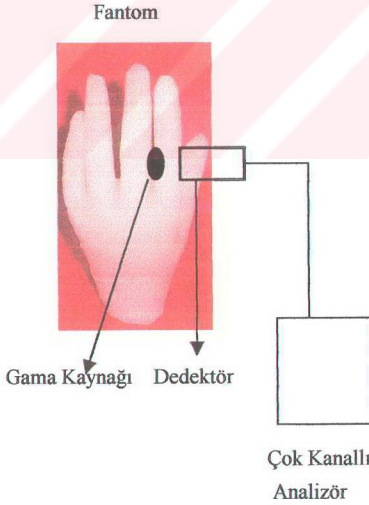
Pozisyon	Kaynak – Dedektör Yerleşimi	Açıklama
A	Aynı Eksenli	Parmak taşıma simülasyonu
B	Aynı Eksenli	Avuç içi taşıma simülasyonu
C	90°'lik açılı	Enjeksiyon taşıma simülasyonu

Deneyisel çalışmalar boyunca deney geometrisinin her pozisyon için, deneyin sağlıklı sonuç vermesi açısından sabit tutulmasına dikkat edilmiştir. Bu bağlamda, deneyler arasında uyumun sağlanabilmesi için detektör ve gama radyoizotop kaynağın yeri daima sabit tutulmuştur. Deney geometrisine ait görüntüler üç pozisyon için Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da görülmektedir.

**Şekil 4.17.** Parmak Deney Geometrisinin Görünümü (A Pozisyonu)



Şekil 4.18. Avuç içi Deney Geometrisinin Görünümü (B Pozisyonu)



Şekil 4.19. Parmak Arası Deney Geometrisinin Görünümü (C Pozisyonu)

4.6. Deneyin Yapılışı

Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında amaçlanan radyasyon çalışanlarının maruz kalabilecekleri parmak ve el ışınlamasına ilişkin üç farklı gama radyoizotopu için, Bölüm 4.2’de tanıtılan ve bu deneylerin yapılabilmesi için özel olarak hazırlanan el fantomu kullanılarak, Bölüm 4.3’de tanıtılan deney cihazlarının Bölüm 4.4’de açıklanan deney düzeneği bağlamında Bölüm 4.5’de belirtilen üç farklı deney geometrisi için Bölüm 4.1 içinde tanıtılan ^{60}Co , ^{137}Cs ve ^{192}Ir radyoizotop kaynakları ile deneysel olarak çalışılmıştır. Deneyler her bir pozisyon ve her bir radyoizotop kaynak için ayrı ayrı yapılmıştır. Deney süresince tüm işlemler titizlikle sürdürülmüştür.

Her deneyden önce doğal sayımlar (background); kaynaksız hal için, en az üç kez alınmıştır. Bu sayımlardan hareketle, ortalama doğal sayım (background) belirlemesi yapılmış ve standart sapması tayin edilmiştir.

Deneylere başlamadan önce her defasında, çok kanallı analizörün kalibrasyonu yapılmıştır. Deneylerde kullanılacak gama radyoizotop kaynaklarına ilişkin pik bölgeleri, çok kanallı analizörde belirlenip, sabitleme yapılmıştır.

Çok kanallı analizörün kalibrasyonundan sonra fantom konmadan, her pozisyon için fantomsuz hale ilişkin sayımlar alınmıştır. Böylelikle, başlangıç (I_0) sayım değeri tayin edilmiştir. Bu işlemten sonra, o radyoizotopa ilişkin deneylere geçilmiş ve çalışılacak gama radyasyon kaynağı yerine yerleştirilmiş ve ilgili pozisyonlar için deneyler gerçekleştirilmiştir.

Gama radyoizotop kaynağı ile fantomun farklı pozisyonlarında birer dakikalık en az üç sayım alınmış ve ortalama değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca, standart sapma tayini de yapılmıştır. Sayımlar üç farklı gama kaynağı için (^{60}Co , ^{137}Cs ve ^{192}Ir) benzer şekilde tekrarlanmıştır.

Elde edilen sayım değerleri o deneye ilişkin başlangıç (I_0) değerine oranlanarak (I/I_0) bağıl sayım değerlerine ulaşılmıştır. Böylelikle, değerlendirme açısından daha rasyonel değerlere ulaşılması sağlanmıştır. Bağıl sayım değerleri bir sayısından çıkartılarak ($1-I/I_0$) bağıl zayıflatma değerine ulaşılmıştır.

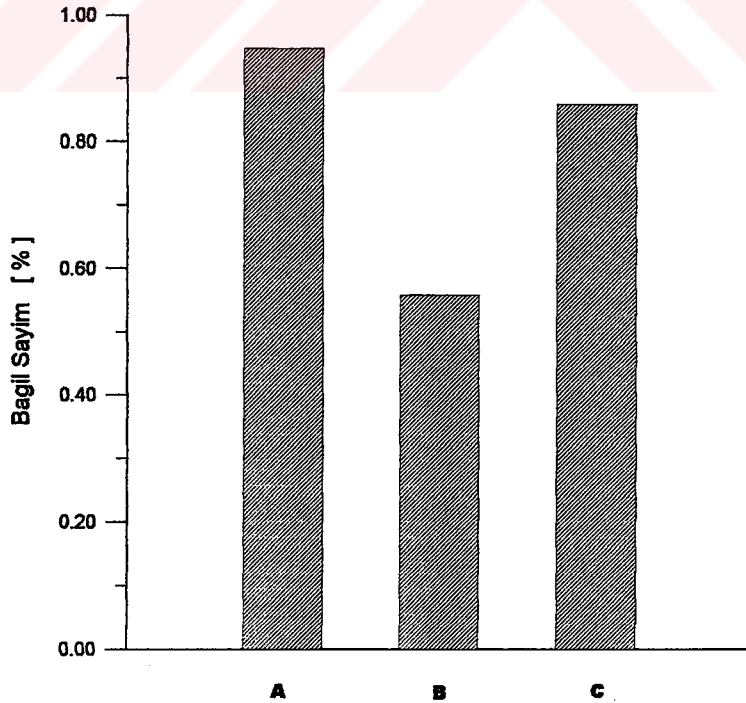
BÖLÜM 5

DENEY SONUÇLARI

Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında radyasyon çalışanlarının yaygın kullanımı olan üç farklı gama radyoizotop kaynağı ile çalışmada el ve parmaklarının maruz kalabileceği radyasyona ilişkin deneysel çalışmalar yapılmıştır. Gerçeklenen deneyler, Bölüm 4'te detaylı olarak belirtildiği şekilde, özel bir el fantomu hazırlanarak üç farklı pozisyon için yapılmış olup, bu bölüm içinde elde edilen sonuçlar beraberce verilmektedir.

5.1. ^{60}Co Gama Kaynağı Kullanılarak Elde Edilen Deney Sonuçları

^{60}Co radyoizotop kaynağı ile el fantomu kullanılarak yapılan deneylere ilişkin sonuçlar Tablo 5.1.'de bir araya toplanmıştır. Tablo 5.1.'den hareketle farklı deney pozisyonları (A, B, C, pozisyonları) için bağıl grafiği Şekil 5.1.'de, verilmektedir.



Şekil 5.1 ^{60}Co Radyoizotop Kaynağına İlişkin Deneylerin Bağıl Sonuçları

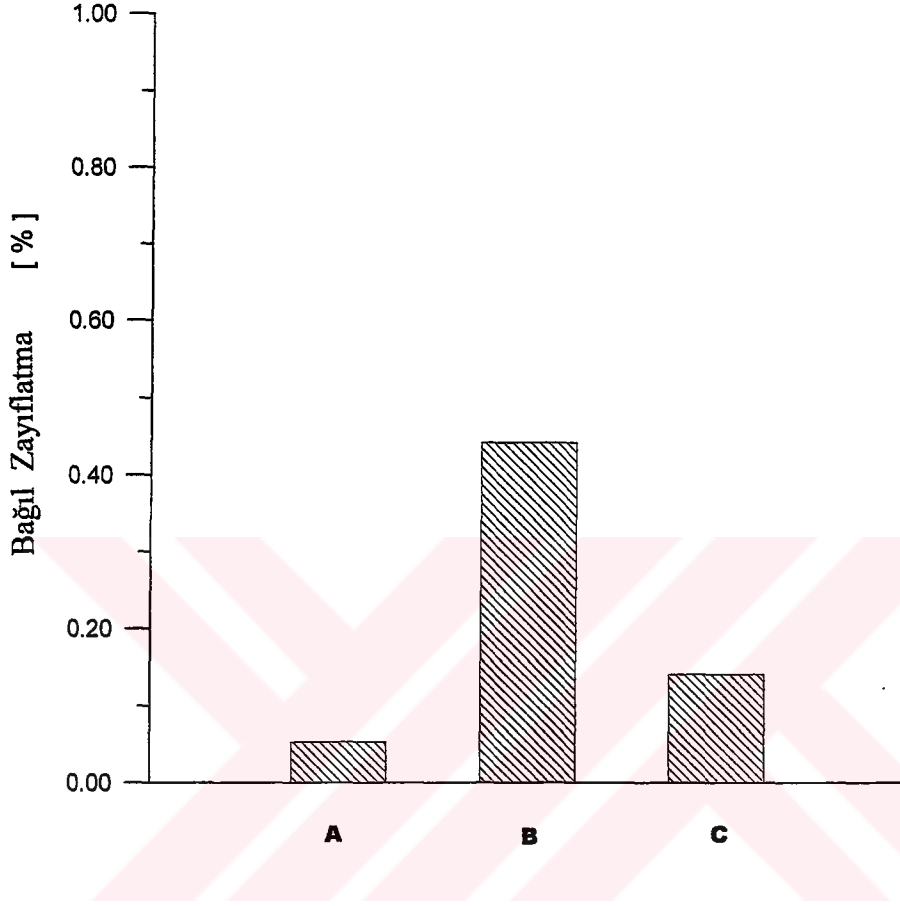
Tablo 5.1
Co-60 Radyolizotop Kaynağı Deney Sonuçları

Numunesiz Net Sayım (I_0) : 143156

Doğal Sayım : 64

Pozisyon	Kalınlık (cm)	Sayım							Net Ortalama Sayım (I)	Standart Sapma	Bağıl Sayım (I/I ₀)	Bağıl Zayıflatma (1-I/I ₀)
		1.Sayım		2.Sayım		3.Sayım						
		Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Net Sayım				
A	2	135685	135621	135697	135633	135715	135651	135635	+12	0,947	0,053	
B	4	79846	79782	79935	79871	79975	79911	79855	+54	0,558	0,442	
C	2,5	123040	122976	123065	123001	123090	123026	123001	+20	0,859	0,141	

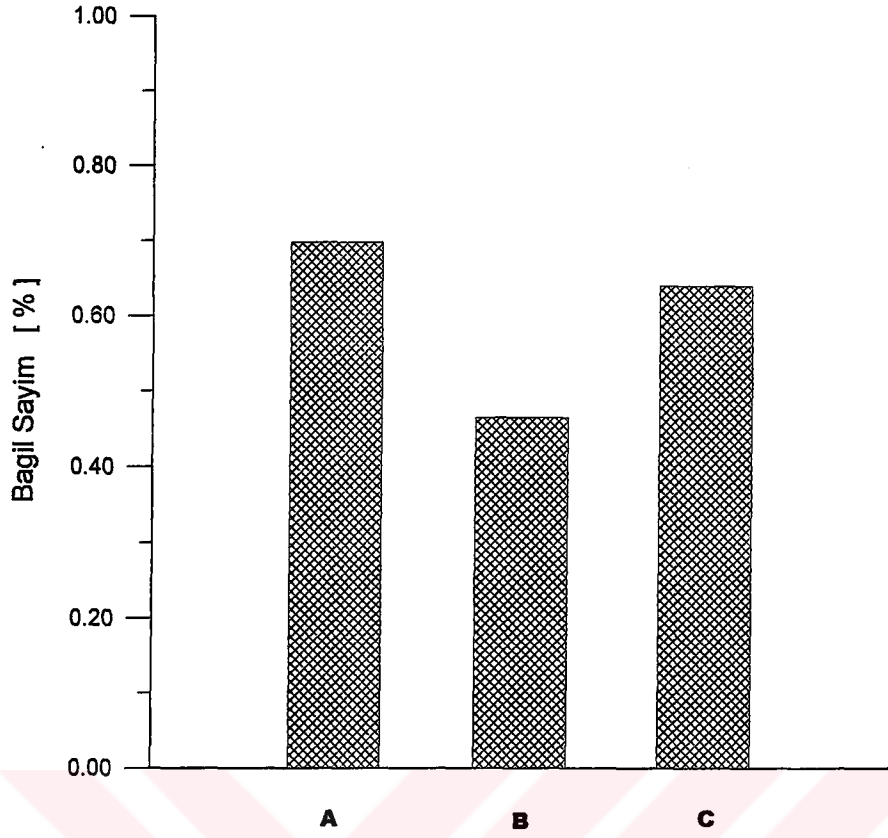
Tablo 5.1.'den hareketle farklı deney pozisyonları (A, B, C, pozisyonları) için bağıl zayıflatma grafiği ise Şekil 5.2.'de, verilmektedir.



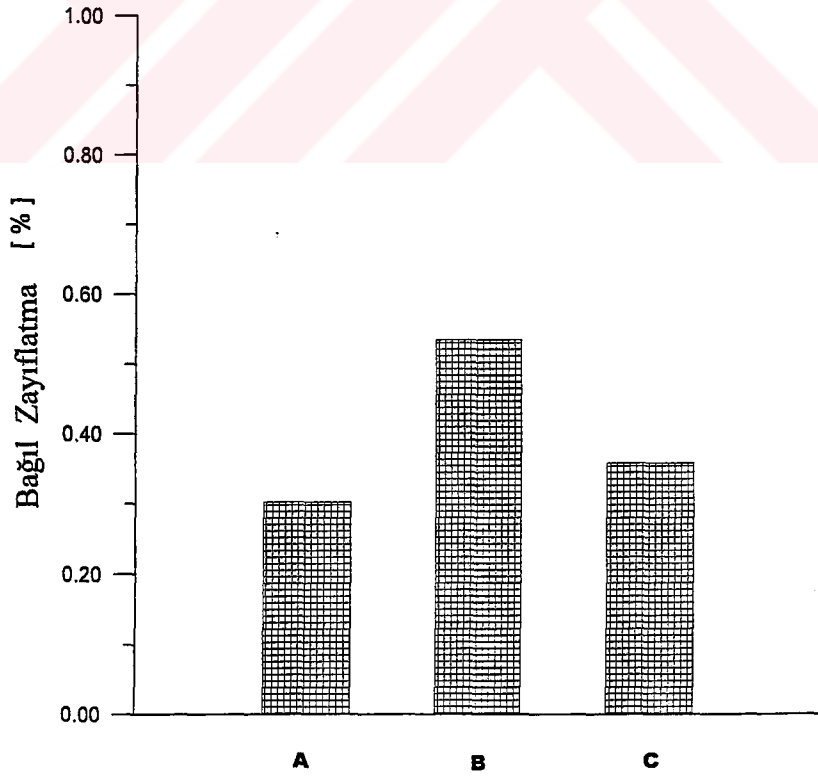
Şekil 5.2 ^{60}Co Radyoizotop Kaynağına İlişkin Bağıl Zayıflatma Sonuçları

5.2. ^{137}Cs Gama Kaynağı Kullanılarak Elde Edilen Deney Sonuçları

^{137}Cs radyoizotop kaynağı ile el fantomu kullanılarak yapılan deneylere ilişkin sonuçlar Tablo 5.2.'de bir araya toplanmıştır. Tablo 5.2.'den hareketle farklı deney pozisyonları (A, B, C, pozisyonları) için bağıl grafiği Şekil 5.3.'de, bağıl zayıflatma grafiği ise Şekil 5.4'te verilmektedir.



Şekil 5.3 ^{137}Cs Radyoizotop Kaynağına İlişkin Deneylerin Bağıl Sonuçları



Şekil 5.4 ^{137}Cs Radyoizotop Kaynağına İlişkin Bağıl Zayıflatma Sonuçları

Tablo 5.2
Cs-137 Radyoizotop Kaynağı Deney Sonuçları

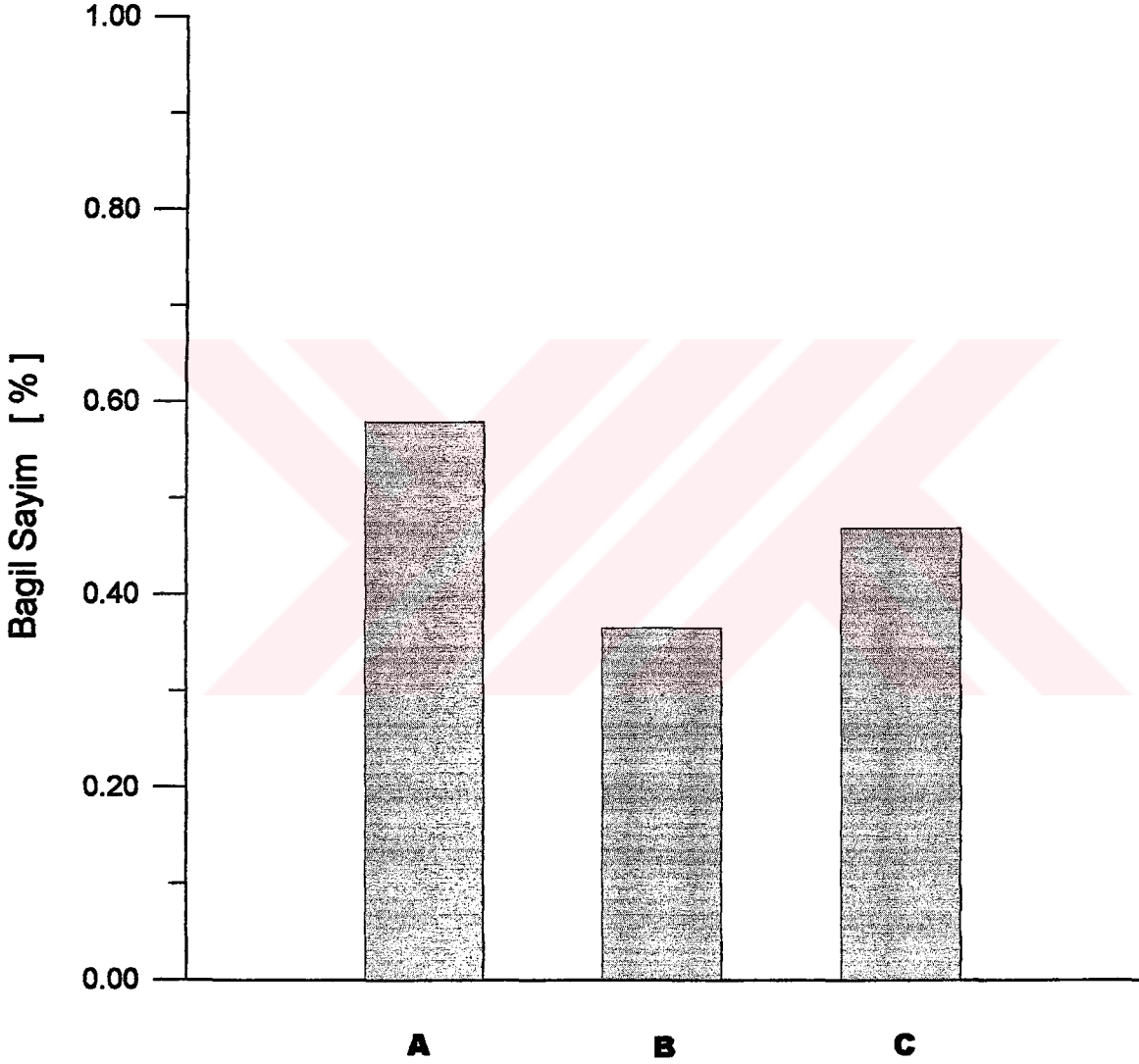
Numunesiz Net Sayım (I_0) : 39734

Doğal Sayım : 64

Pozisyon	Kalınlık (cm)	Sayım							Net Ortalama Sayım (I)	Standart Sapma	Bağıl Sayım (I/I ₀)	Bağıl Zayıflama (1-I/I ₀)
		1.Sayım		2.Sayım		3.Sayım						
		Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Net Sayım				
A	2	27829	27765	27732	27668	27840	27776	27736	+49	0,698	0,302	
B	4	18574	18510	18694	18630	18460	18396	18512	+96	0,466	0,534	
C	2,5	25704	25640	25479	25415	25524	25460	25505	+97	0,642	0,358	

5.3. ¹⁹²Ir Gama Kaynağı Kullanılarak Elde Edilen Deney Sonuçları

¹⁹²Ir radyoizotop kaynağı ile el fantomu kullanılarak yapılan deneylere ilişkin sonuçlar Tablo 5.3.'de bir araya toplanmıştır. Tablo 5.3.'den hareketle farklı deney pozisyonları (A, B, C, pozisyonları) için bağıl grafiği Şekil 5.5.'de verilmektedir. Bağıl zayıflatma grafiği ise Şekil 5.6'da verilmektedir.



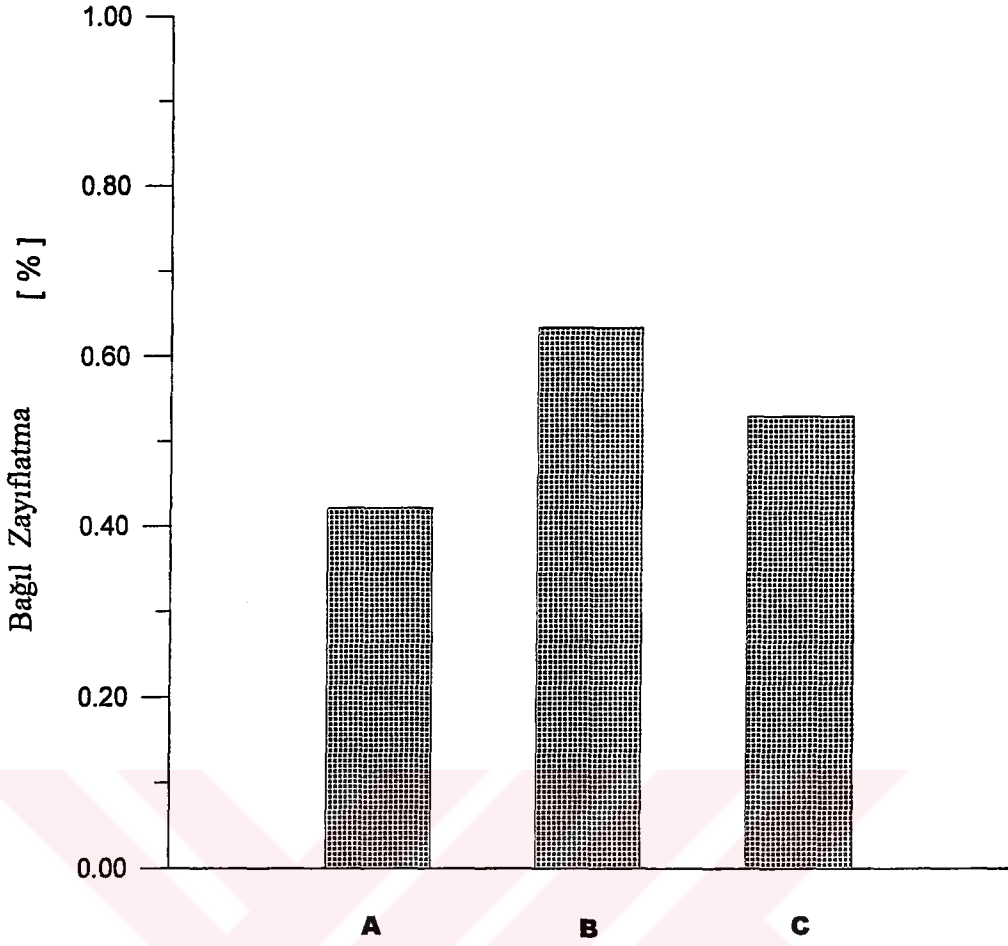
Şekil 5.5 ¹⁹²Ir Radyoizotop Kaynağına İlişkin Deneylerin Bağıl Sonuçları

Tablo 5.3
Ir-192 Radyoizotop Kaynağı Deney Sonuçları

Numunesiz Net Sayım (I_0) : 5007

Doğal Sayım : 64

Pozisyon	Kalınlık (cm)	Sayım								Net Ortalama Sayım (I)	Standart Sapma	Bağıl Sayım (I/I ₀)	Bağıl Zayıflatma (1-I/I ₀)
		1.Sayım		2.Sayım		3.Sayım							
		Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım						
A	2	2962	2898	2957	2893	2975	2911	2901	+8	0,579	0,421		
B	4	1897	1833	1895	1831	1886	1822	1829	+5	0,365	0,635		
C	2,5	2418	2354	2413	2349	2412	2348	2350	+3	0,469	0,531		



Şekil 5.6 ^{192}Ir Radyoizotop Kaynağına İlişkin Bağıl Zayıflatma Sonuçları

5.4. Deney Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirmesi

El fantomu ile üç farklı radyoizotop kaynağı ile fantom kullanılarak elde edilen sonuçlardan hareketle farklı pozisyonlar için mukayeseli değerlendirme yapılmıştır. Bu amaçla, öncelikle, çalışılan üç farklı radyoizotop kaynak için elde edilen bağıl sayım ve bağıl zayıflatma sonuçları bir araya toplanmıştır. Oluşturulan mukayese tabloları, sırasıyla, bağıl sayım sonuçları Tablo 5.4'de bağıl zayıflatma sonuçları ise Tablo 5.5.'de verilmektedir.

Y.2. FENİKEKİTİM KURULU
FENİKEKİTİM KURULU
FENİKEKİTİM KURULU

Tablo 5.4
Deneylere İlişkin Bağlı Sayım Mukayese Tablosu

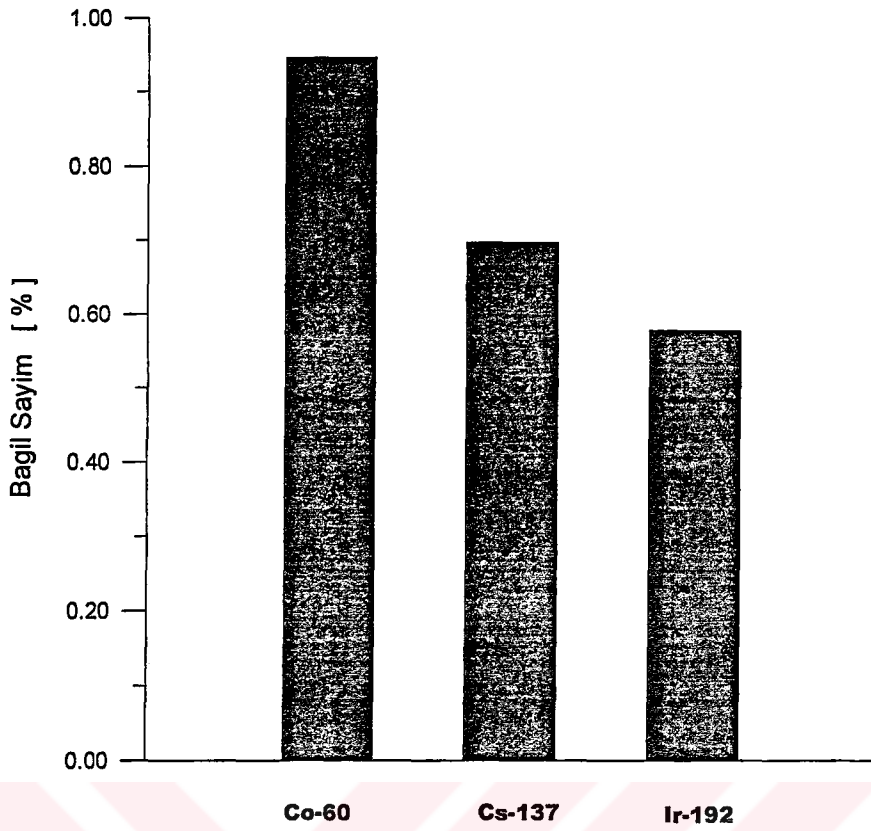
Radyoizotop Kaynak	Bağlı Sonuçlar (%)		
	A Pozisyonu	B Pozisyonu	C Pozisyonu
⁶⁰ Co	0,947	0,558	0,859
¹³⁷ Cs	0,698	0,466	0,642
¹⁹² Ir	0,579	0,365	0,469

Tablo 5.5
Deneylere İlişkin Bağlı Zayıflatma Mukayese Tablosu

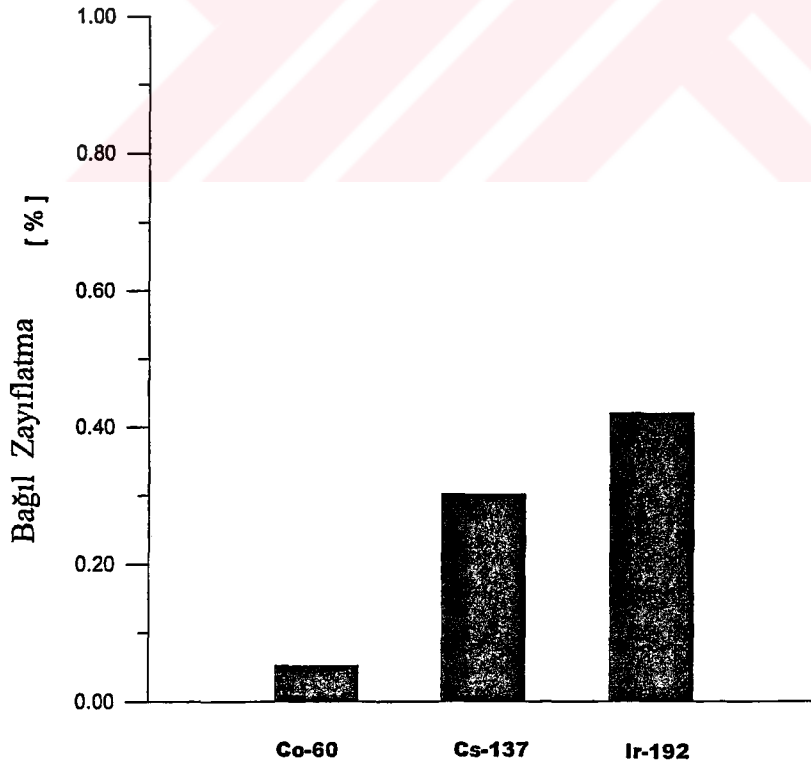
Radyoizotop Kaynak	Bağlı Zayıflatma (%)		
	A Pozisyonu	B Pozisyonu	C Pozisyonu
⁶⁰ Co	0,053	0,442	0,141
¹³⁷ Cs	0,302	0,534	0,358
¹⁹² Ir	0,421	0,635	0,531

5.4.1. A Pozisyonu İçin Mukayeseli Değerlendirme

A Pozisyonu için Tablo 5.4'den ve Tablo 5.5'den hareketle, mukayeseli grafikler çizilmiştir. Bağlı sayım sonuçları için çizilen mukayese grafiği Şekil 5.7'de bağlı zayıflatma grafiği ise Şekil 5.8'de görülmektedir.



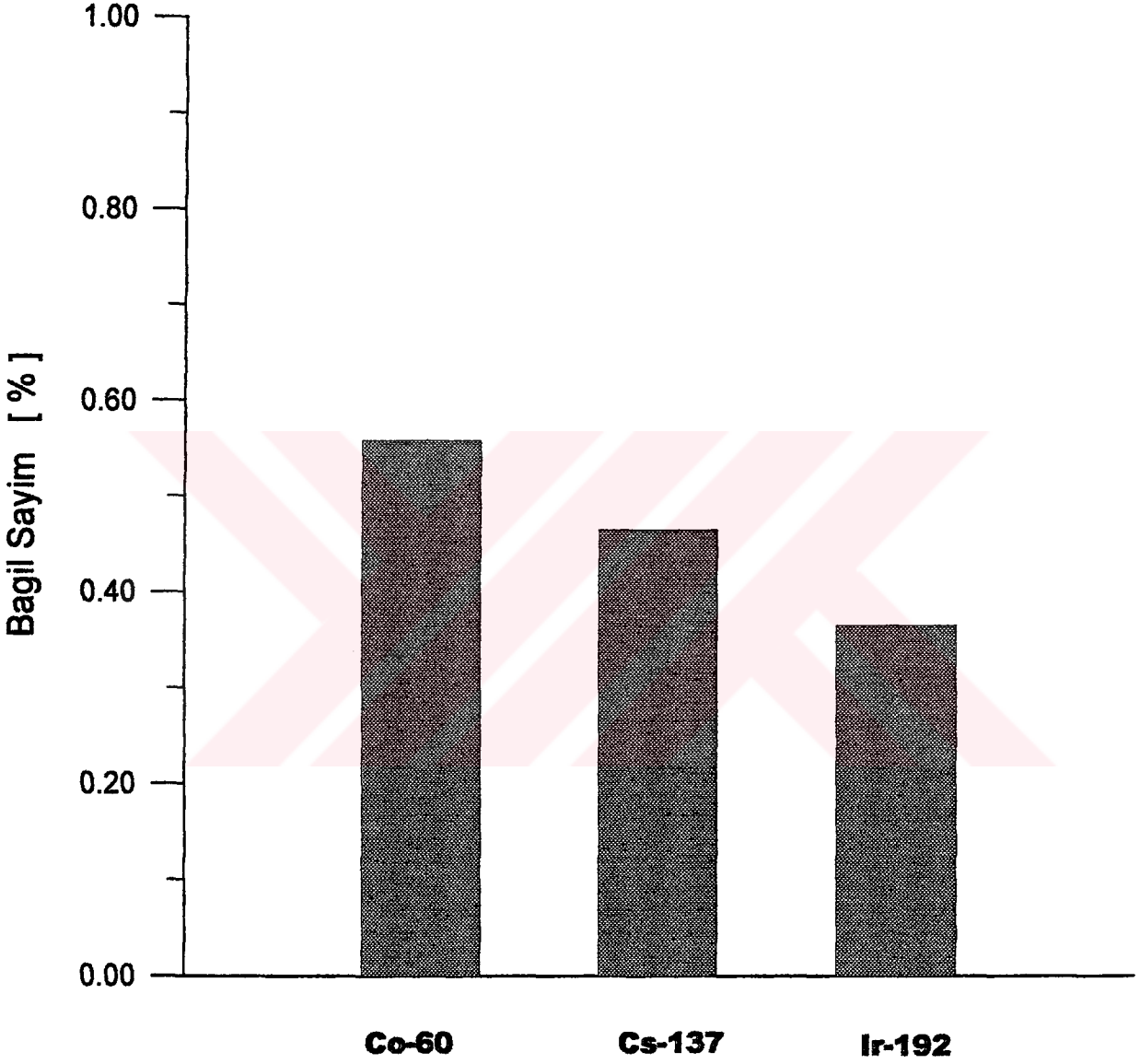
Şekil 5.7 A Pozisyonu İçin Bağıl Sayım Mukayese Grafiği



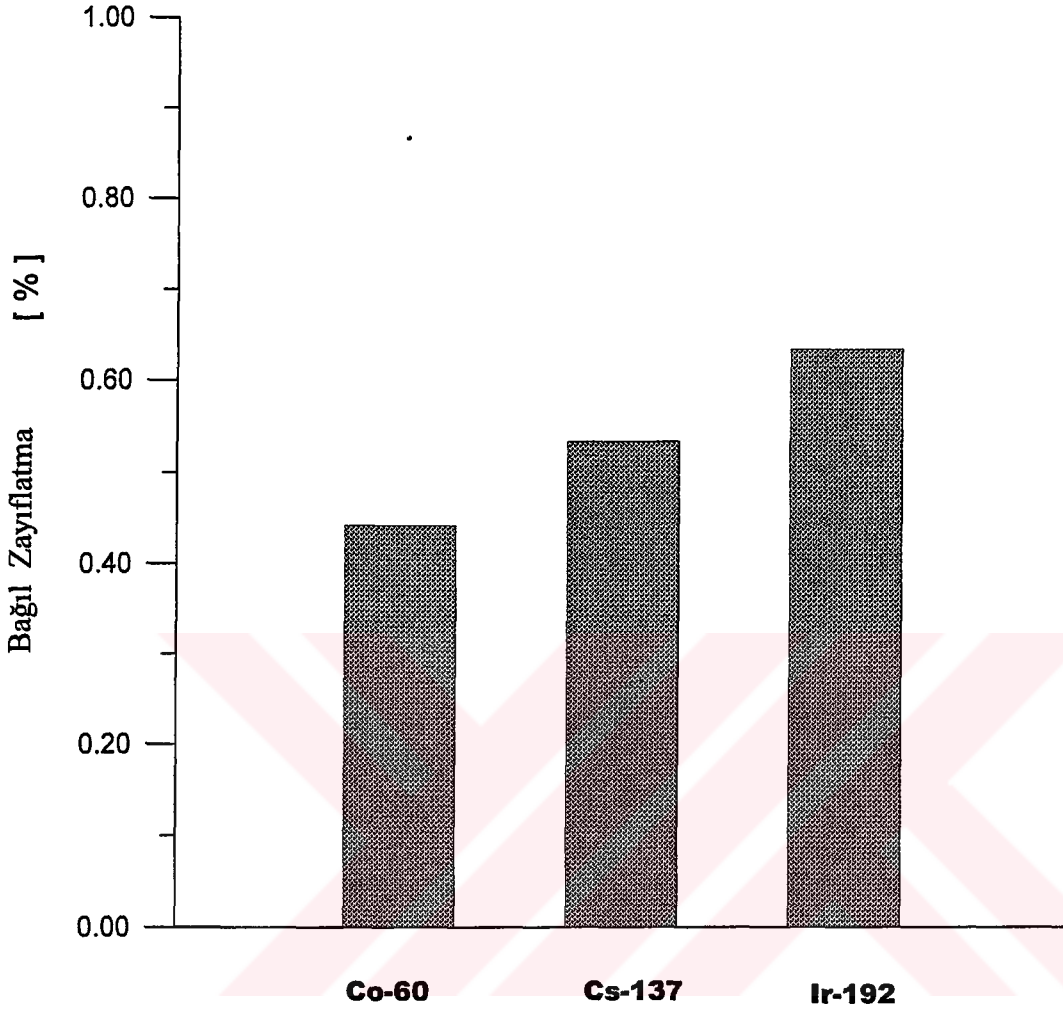
Şekil 5.8 A Pozisyonu İçin Bağıl Zayıflatma Mukayese Grafiği

5.4.2. B Pozisyonu İçin Mukayeseli Değerlendirme

B Pozisyonu için Tablo 5.4'den ve Tablo 5.5'den hareketle, mukayeseli grafikler çizilmiştir. Bağlı sayım sonuçları için çizilen mukayese grafiği Şekil 5.9'da bağlı zayıflatma grafiği ise Şekil 5.10'da görülmektedir.



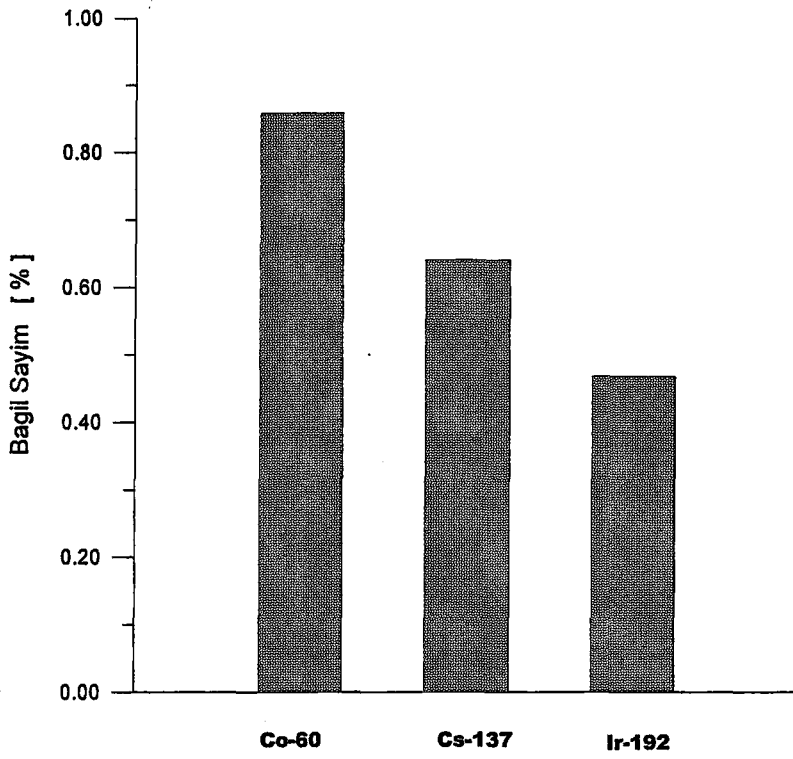
Şekil 5.9 B Pozisyonu İçin Bağlı Sayım Mukayese Grafiği



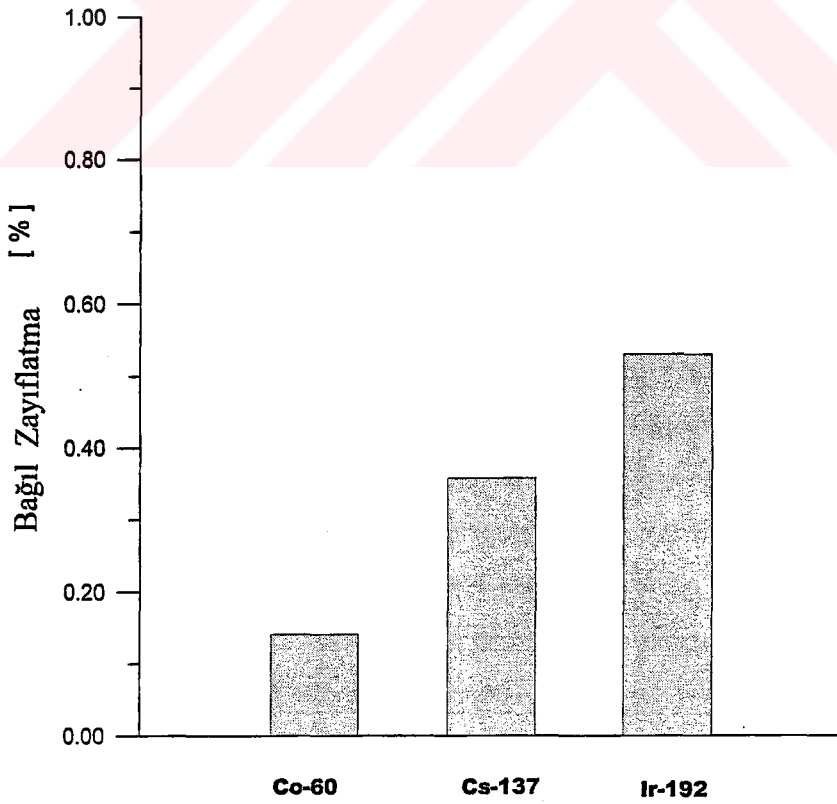
Şekil 5.10 B Pozisyonu İçin Bağıl Zayıflatma Mukayese Grafiği

5.4.3. C Pozisyonu İçin Mukayeseli Değerlendirme

C Pozisyonu için Tablo 5.4'den ve Tablo 5.5'den hareketle, mukayeseli grafikler çizilmiştir. Bağıl sayım sonuçları için çizilen mukayese grafiği Şekil 5.11'de bağıl zayıflatma grafiği ise Şekil 5.12'de görülmektedir.



Şekil 5.11 C Pozisyonu İçin Bağlı Sayım Mukayese Grafiği



Şekil 5.12 C Pozisyonu İçin Bağlı Zayıflatma Mukayese Grafiği

BÖLÜM 6

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu Yüksek Lisans Tezinde, radyasyon çalışanları için önem arz eden bir konu olan parmak ve el ışınlamasına yönelik deneysel çalışma yapılması hedeflenmiştir. Radyasyonla çalışma koşullarında, hastane veya labaruvarda eller ve dolayısı ile parmaklar radyasyon riskine maruz kalabilen organımız olmaktadır. Bu bakımdan, böylesi bir deneysel çalışma yapılması yoluna gidilmiştir.

Parmak dozu veya el dozuna ilişkin önemli bir faktör, çalışılan radyasyonun ve radyoizotopun cinsidir. Gama ışınlarıyla çalışılması, girciliğin yüksek olması nedeniyle tercih edilmiştir. Gama radyoizotop kaynağı olarak, farklı radyoizotoplar mevcuttur. Ancak, bunlardan, üçü, farklı amaçlı da olsa çoğu kez tercih edilmektedir. Bunlar, ^{60}Co , ^{137}Cs ve ^{192}Ir gama radyoizotop kaynaklarıdır. Bu çalışmada da söz konusu bu üç gama radyoizotop kaynağı ile çalışılmıştır.

Deneysel çalışmaların yapılabilmesi için, insanla çalışılması nükleer güvenlik şartları bakımından uygun olmaması nedeniyle fantom ile çalışılması benimsenmiştir. Uygun bir simülasyonun sağlanabilmesi için ise, el kemiklerine uygun boyutlarda kemikler içeren ve parafinden imal edilen özel bir fantom hazırlanmıştır (Şekil 4.6 – Şekil 4.11). Böylelikle, olabildiğince realistik olarak deneylerin yapılması amaçlanmıştır.

Radyasyonla çalışanların el ve parmak dozuna maruz kalabilmeleri farklı pozisyonlarda olabileceği düşünülerek, deneyler üç farklı geometride yapılmıştır. Bunlardan ikisi parmak dozuna (A ve C pozisyonları) ilişkin, biri de el (avuç içi) dozuna (B pozisyonu) ilişkin pozisyonlardır. A ile nitelenen parmak dozu pozisyonu ile B olarak nitelenen el (avuç içi) pozisyonu, radyasyonla çalışanların doğrudan elle radyoizotop taşımalarına ilişkin pozisyonlardır. C pozisyonu da parmak dozuna ilişkin bir geometri olmakla beraber, daha çok enjeksiyon şartlarında parmağın maruz kalacağı dozu simile edebilecek şekilde oluşturulmuştur. Bu şekilde,

çalışılan 3 geometri ile, radyasyonla çalışanların, maruz kalabilecekleri el ve parmak dozuna ilişkin simülasyonun sağlanabileceği düşünülmüştür.

Deneylerin güvenilirliğini arttırmak ve standart sapma değerini olabildiğince azaltabilmek için, deneyler tekrarlanarak yapılmıştır. Tekrar sayısının en az üç kez olması sağlanmıştır.

Böylelikle, özel hazırlanan bir fantom kullanarak, üç farklı gama radyoizotop kaynağı ve farklı pozisyonlara ilişkin deneyler yapılmıştır. Bu şekilde, parmak ve el dozuna ilişkin çeşitlilik içeren deneyler gerçekleştirilmiştir. .

Elde edilen sonuçlar, çalışılan her gama radyoizotop kaynağı için, Tablo 5.1 – Tablo 5.3'te verilmiştir. Deney sonuçları, bağıl sayım ve bağıl zayıflatma olmak üzere iki farklı şekilde verilmiştir. Şekil 5.1, Şekil 5.3 ve Şekil 5.5'te sırasıyla, ^{60}Co , ^{137}Cs ve ^{192}Ir gama radyoizotop kaynakları için bağıl sayım bar grafikleri olarak verilmiştir. Bu grafikler, çalışılan gama radyoizotop kaynaklarına ilişkin olarak, parmak ve eli kat eden radyasyonu, dolayısı ile de söz konusu kalınlıklardaki sayımlara ilişkin bağıl değerleri vermektedir. Genel karakter olarak, Şekil 5.1, Şekil 5.3 ve Şekil 5.3 grafikleri birbirine benzerlik göstermektedir.

Deney sonuçları; bağıl sayım sonuçlarından ayrı olarak, dokuda bağıl zayıflatma olarak da, yine bar grafik olarak verilmiştir. Söz konusu bu bar grafikler, Şekil 5.2, Şekil 5.4 ve Şekil 5.6'da sırasıyla, ^{60}Co , ^{137}Cs ve ^{192}Ir için görülmektedir. Bu grafikler de, genel karakteristik olarak birbirlerine benzemektedirler.

Şekil 5.1, Şekil 5.3 ve Şekil 5.5 bar grafiklerinin birbirlerine benzer olması ve Şekil 5.2, Şekil 5.4 ve Şekil 5.6'daki grafiklerin yine benzer olması beklenti doğrultusunda sonuçlardır. Zira, belli mesafideki bağıl dozu veren Şekil 5.1, Şekil 5.3 ve Şekil 5.5 ters kare kanunu çerçevesinde mesafe ile azalırken, dokudaki bağıl zayıflatma hakkında fikir veren Şekil 5.2, Şekil 5.4 ve Şekil 5.6 ise mesafe ile artmaktadır.

Üç radyoizotop için toplu sonuçların verildiği Tablo 5.4 ve Tablo 5.5 göz önüne alınarak, mukayeseli değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışılan farklı radyoizotoplar için mukayeseli bağıl sayım ve bağıl zayıflatma grafikleri, oluşturulan üç farklı pozisyon için bar grafik olarak, Şekil 5.7 – Şekil 5.12'de verilmektedir.

Şekil 5.7, Şekil 5.9 ve Şekil 5.11’de bağıl sayım deney sonuçlarında her pozisyon için sıralama ^{60}Co , ^{137}Cs ve ^{192}Ir biçimindedir. Buna karşın, dokudaki bağıl zayıflatmanın verildiği Şekil 5.8, Şekil 5.10 ve Şekil 5.12.’de sıralama tersine olarak, ^{192}Ir , ^{137}Cs ve ^{60}Co şeklindedir. Bu durum, çalışılan gama radyoizotop kaynakların enerjileride göz önüne alındığında, sayım ve bağıl zayıflatma bağlamında beklenti doğrultusunda olmaktadır.

Öz olarak, belirtmek istersek; bu Yüksek Lisans Tezi ile, üç farklı gama radyoizotop kaynak ile özel olarak hazırlanan fantom kullanarak el ve parmaklarda ışınlamasına ilişkin deneysel bir değerlendirme yapılabilmektedir. Böylelikle de, radyasyon çalışanları için labratuvarda ve uygulamada önem arzeden bir konuda maruz kalınabilecek el ve parmak ışınlaması konusunda realistik sonuçlara ulaşılabilmektedir.



KAYNAKLAR

- Adalıoğlu U.** ,1997, Enerji Üretim Sistemleri ve Risk. I. Ulusal Nükleer Enerji ve Çevre Sorunları Sempozyumu. Trakya Üniversitesi Rekt. Yayınları.
- Adams, J. A. S. , and W. Lowder, eds.** 1964, The Natural Radiation Environment. Chicago; Univ. Chicago Press.
- Algüneş Ç.**, 2002, Trakya Üniversitesi Rektörlüğü Yayınları, No 51, Edirne
- AlmenasK.and Lee R.**,1992 , Nuclear Engineering, Springer-Verlag
- Aybers, N. ve Karasulu, M.**,1980, Nükleer Enerjiye Giriş. İ.T.Ü. Nükleer Enerji Ens.Genel Yayınlar No:15
- Baum, J. W., A. V. Kuehner, and R. L. Chase,** 1970 , Dose equivalent meter designs based on tissue equivalent proportional counters. Health Phys., 19:813-824
- Bevelacqua J.J.**, 1999, Basic Health Physics Problems and Solutions A Wiley Interscience Publication
- Bueche,F.**, 1965, Principles of Physics, McGraw-Hill Book Comp.
- Bugnard L. ve diğ.**, 1967, Radyasyon Korunması için temel Güvenlik Standartları,AEK yayınları.
- Bursik, S., Meisenhelder, J., and Spahn, G.**, 1999, Characterization And Minimization Of Extremity Doses During ³²P Metabolic Cell Labeling. *Health Physics Society*, Vol. 77 pp 595-600
- Casarett, A.P.**, 1963, Radiation Biology. Prentice-Hall, Inc.
- Eisenbud, M.**, 1963, Environmental Radioaktivite in US, P.135.
- Eisenbud, M.**, 1968, Source of Radioactivity in the Environment. *In Proceedings of a Conference on the Pediatric Significance of Peacetime Radioactive Fallout*. Pediatrics, suppl. 41:174-195
- Földiák,G.**, 1986, Industrial Application of Radioisotopes ,Elsevier,Amsterdam.
- Glass, R.C., Highes, A.R.**, 1962, Encyclopedic Dictionary of Physics, Meetham Pergomon Press, Oxford, London.
- Göksel, S.A.**, 1973, Radyasyon Korunması İçin Temel Güvenlik Standartları, Başbakanlık

Atom Enerjisi Komisyonu Yayınları No.6

Güngör, N., 1991, Sağlık Fiziği, İ.T.Ü. Fen-Edebiyat Fak.,İstanbul.

International Commission On Radiological Protection (ICRP), 1977, Radiation Protection, New York

International Commission on Radiological Protection (ICRP), 1965, Radiation Protection, Pergamon Press

Maghissi, A.A Carter, M.W., 1977, Radionuclides in Environmental Studies, Georgia Ins. of Tech., Atlanta

McMaster, R.C., 1963, Nondestructive Testing Handbook, The Ronald Prees Company, New York.

Nuclear Regulatory Commission (NRC), 1991, 56 Federal Register, 58 Washington

Onur, S., 2002, Gama Radyasyonu Zırhlaması Amacıyla Farklı Betonların Değerlendirilmesi, İ.T.Ü., İstanbul

Özden, N., 1990, Sanayide Radyasyondan Korunmanın Esasları, Aliğa Petrokimya San. ve Tic. A.Ş.

Pattison, J.E., 1999, Finger Doses Recived During ¹⁵³Sm Injections. *Health Physics*, Vol. 77 pp 530-535.

Powsner, R.A., Powsner, E.R., 1998, Essentials of Nuclear Medicine Physics, Maple-Vail Book Manufacturing Group, Hong Kong.

Profio, A.E., 1979, Radiation Shielding and Dosimetry, A Wiley Interscience Publication

Qittner, P., 1972 Gamma- Ray Spectroscopy. London: Adam Hilger.

Shapiro J., 1990, Radiation Protection, Harvard University Press, Cambridge.

Shultis J. Kenneth and Richard E. Faw, 1996. Radiation Shielding Prentice Hall PTR, New Jersey.

Spiers, W.F., 1968, Radioisotopes in the Human Body , Physical and Biological Aspects, Acedemic Press, London.

Şeker S. ve Çerezci O., 1997, Çevremizdeki Radyasyon ve Korunma Yöntemleri, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.

Williams, L.E., 1987, Nuclear Medical Physics CRP Press, Boca Raton Florida

Yaşar, D. Tuğrul, A. B., 2003, A Comparison of TLD Measurement to MIRD Estimates of The Dose to the Tastes From Tc-99m in the Lives and Spleer. *Radiation Measurements*, Vol.37 pp 113-118



ÖZGEÇMİŞ

1976 Yılında İstanbul'da doğdu. Çemberlitaş Kız Lisesinden mezun oldu. 1993 Yılında İstanbul Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümüne başladı ve 1997 Yılında mezun oldu. 1998 Yılında İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü'nde Yüksek Lisans öğrenimine başladı ve halen Yüksek Lisans eğitime devam etmektedir. Halen Fen Bilgisi, Fizik branşlarında öğretmenlik yapmakta olup İngilizce bilmektedir. Evli ve bir çocuk annesidir.

