POLİMER VE METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN GAMA IŞINI ZIRHLAMA MALZEMESİ OLARAK ETKİNLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Birgül YURTTADUR PERÇİN

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİMER VE METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN GAMA IŞINI ZIRHLAMA MALZEMESİ OLARAK ETKİNLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Birgül YURTTADUR PERÇİN
0009-0000-5521-8283

Doç. Dr. Ürkiye AKAR TARIM
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

BURSA – 2023
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

POLİMER VE METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN GAMA IŞINI ZIRHLAMA MALZEMESİ OLARAK ETKİNLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Birgül YURTTADUR PERÇİN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ürkiye AKAR TARIM

Günümüzde yaygınlaşan nükleer uygulamalardan dolayı bu alanlarda çalışan insanların radyasyona maruz kalmaları kaçınılmaz bir gerçektir. Bu yüzden de maruz kalınan radyasyonun etkisini azaltabilmek için zırhlama büyük önem taşımaktadır. Genel olarak literatürdeki çalışmalar incelendiğinde zırhlama sistemleri veya teknikleri kurşun içermektedir. Ancak kurşun hem toksik etkisi hem de kişisel zırhlama için ağır olması nedeniyle ideal bir zırh malzemesi olarak değerlendirilmemektedir. Bu nedenle hem toksik etkisi daha az olan, doğada zamanla kaybolan hem de kişisel olarak kullanılabilecek ve daha hafif materyale sahip olan zırhların geliştirilmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada çeşitli polimer ve metal matrisli kompozitlerin gama ışını zırhlama malzemesi olarak etkinliklerinin araştırılması ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Nükleer teknolojide önemli bir konu olan radyasyon zırhlamasına yönelik olarak, çalışılan polimer ve metal matrisli kompozitlerin gama radyasyonu karşısındaki davranışlarının araştırılması amacıyla Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı imkanları dahilinde bulunan Cs-137, Co-60, Na-22 ve Am-241 gama radyoizotop kaynakları ile 3" x 3" boyutlarında NaI(TI) sintilasyon dedektörü kullanılarak gama transmisyon (geçirgenlik) tekniğine uygun olarak hazırlanan deney düzeneğinde spektrumlar alınmıştır ve bu spektrumlardan elde edilen veriler kullanılarak çalışılan soğurucu kompozit malzemelerin gama radyasyonunu zayıflatma etkilerini tanımlamada kullanılan parametrelerden lineer zayıflatma katsayısı (μ), ortalama serbest yol (MFP), yarı değer kalınlığı (HVL) ve onda bir değer kalınlığı (TVL) ile ilgili gerekli hesaplamalar ve analizler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gama ışını, zırhlama özellikleri, NaI sintilasyon dedektörü, gama ışını kaynakları, kompozit malzemeler

2023, viii + 107 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFICIENCY OF POLYMER AND METAL MATRIX COMPOSITES AS GAMMA RAY SHIELDING MATERIAL

Birgül YURTTADUR PERÇİN

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Doç. Dr. Ürkiye AKAR TARIM

Exposure to radiation is an inevitable reality for those working in the nuclear industry, due to the widespread use of nuclear applications today. Therefore, shielding is of great importance in order to reduce the effect of the radiation exposure. When the studies in the literature are examined in general, it can be observed that shielding systems or techniques typically involve lead. However, lead is not considered an ideal armor material due to its toxic effects and heaviness for personal protection purposes. Therefore, it is important to develop armors that have less toxic effects, degrade over time in nature, can be used personally, and have lighter materials. The aim of this study is to investigate and evaluate the effectiveness of various polymer and metal matrix composites as gamma radiation shielding materials. To investigate the behavior of polymer and metal matrix composites against gamma radiation, which is an important topic in nuclear technology and radiation shielding, spectra were obtained using Cs-137, Co-60, Na-22, and Am-241 gamma radioisotope sources and a 3" x 3" NaI(TI) scintillation detector in an experimental setup prepared according to the gamma transmission (attenuation) technique, which was available in the Nuclear Physics Research Laboratory of the Physics Department of Bursa Uludag University. Using the data obtained from these spectra, calculations and analyses were carried out for the parameters used to describe the gamma attenuation effects of the studied shielding composite materials, namely linear attenuation coefficient (μ), mean free path (MFP), half-value layer (HVL), and tenth-value layer (TVL).

Key words: Gamma ray, shielding parameters, NaI scintillation detector, gamma ray sources, composite material
2023, viii + 107 pages.

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitim sürecimden başlayarak bu tez çalışmamın tamamlanmasına kadar geçen süreçte hiçbir sorduğum sorumu geri çevirmeyen ve her konuda bilgi ve birikimlerini benim ile paylaşan, desteğini hiç esirgemeden bu zamana kadar gelmemi sağlayan danışmanım Doç. Dr. ÜRKİYE AKAR TARIM'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Lisansüstü derslerimden, tez çalışmamın tamamlanmasına kadar geçen süreçte bilgilerini paylaşan ve desteğini esirgemeyen Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü hocalarından Sayın Prof.Dr. ORHAN GÜRLER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Polimerler ile ilgili deney numunelerimin üretilmesi konusunda her zaman yanımda olan ve iş hayatımda da eğitimim konusunda beni destekleyen bunu problem etmeyen Özgürmetal Plastik ve Kalıp A.Ş Kurucularından eski Müdürüm FEVZİ SEVİM'e ve numune üretim prosedürlerine göre numunelerimin üretilmesinde yardımcı olan Özgürmetal Plastik ve Kalıp A.Ş çalışanları abilerim SELÇUK YILDIRIM ve ENGİN TIKIZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Metal Matrisli malzemeler ile ilgili deney numunelerimin bulunması ve tedarik edilmesi konusunda her zaman yardımcı olan Yalın Oto Yan Sanayi Tic. Ltd. Şti. Kurucularından abim BİLAL IŞIK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak yüksek lisans eğitimim ve tez sürecimde ihmal ettiğim hatta zaman zaman yorulup eğitimime ara vermek istediğimde beni motive eden, okuduğum bölüm hakkında bilgisi olmadığı halde benimle beraber ders çalışan, gerektiğinde sabahlayan ve işe uykusuz giden Anadolu Üniversitesi Personeli sevgili eşim VEHBİ PERÇİN'e ve bu zamana kadar eğitim hayatımda geçirdiğim bütün süreçlerde beni maddi ve manevi destekleyen kıymetli ve değerli annem ve babam ELVEDA-HALİL YURTTADUR'a sonsuz sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Birgül YURTTADUR PERÇİN
20/06/2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... İ
ABSTRACT ..... İİ
TEŞEKKÜR ..... İİİ
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ V
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... Vİ
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... Vİİİ
1.GİRİŞ 1
2.KURAMSAL TEMELLER 6
2.1. Radyasyon ve Özellikleri 6
2.2. Radyasyon ve Türleri 6
2.2.1. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon 7
2.2.2. İyonlaştırıcı radyasyon 9
2.3. Radyasyon Kaynakları 14
2.3.1. Doğal radyasyon 14
2.3.2. Yapay / İnsan yapımı radyasyon 16
2.4. Radyasyondan Korunma Yöntemleri 17
2.4.1. İç radyasyondan korunma 17
2.4.2. Dış radyasyondan korunma 18
2.5. Radyasyonun Madde ile Etkileşimi 20
2.5.1. Yüklü parçacıkların madde ile etkileşmesi 20
2.5.2. Yüksüz parçacıkların madde ile etkileşimi 22
2.6. Gama Işınlarının Madde ile Etkileşimi 27
2.6.1. Fotoelektrik olay 29
2.6.2. Compton saçılması 30
2.6.3. Çift oluşumu 31
2.7. Sintilasyon Dedektörleri 33
2.7.1. Gazlı sintilatörler 34
2.7.2. Organik Sintilatörler 36
2.7.3. İnorganik sintilatörler 36
2.8. Gama Işını Zırhlama Parametreleri 41
3. MATERYAL VE YÖNTEM 44
3.1. Materyaller 44
3.1.1. Bakır 45
3.1.2. Alüminyum 47
3.1.3. Sac numunesi 48
3.1.4. Kompozit malzemeler 50
3.2. Metod 58
3.2.1. Dar demet geometrisi 58
3.2.2. Gama ışını zırhlama deney düzeneği 62
3.2.3. Deneysel verilerin elde edilmesi ve hesaplamalar 71
4. BULGULAR 78
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 101
KAYNAKLAR 103
ÖZGEÇMİŞ 107

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
B	Beta parçacığı
Σ	Compton katsayısı
K	Çift üretim katsayısı
E	Enerji
τ	Fotoelektrik katsayısı
γ	Gama ışıması
c	Işık hızı
I	Işık şiddeti
M	Kütle
μ	Lineer zayıflatma katsayısı
m	Metre
mm	Mikrometre
ν	Nötrino
1/μ	Ortalama Serbest Yol
h	Planck sabiti
ρ	Yoğunluk

Kısaltmalar	Açıklama
GHz	Gigahertz
kHz	Kilohertz
MeV	Megaelektronvolt
TVL	Onda Bir Değer Kalınlığı
PA 6.6	Poliamid
PA 6.6 %30	Poliamid %30
POM	Polioksimetilen
POM %30	Polioksimetilen %30
PP Copolimer	Polipropilen
NaI(TI)	Sodyum İyodur (Talyum)Sintilatör Dedektörü
THz	Terahertz
HVL	Yarı Değer Kalınlığı
RoHs	Zararlı Maddelerin Kullanımını Kısıtlama

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 2.1.	Radyasyon türleri	7
Şekil 2.2.	X-ışını tüpüne ait görsel (Url-2, 2023)	12
Şekil 2.3.	Elektromanyetik radyasyonun enerji spektrumu (Seyrek, 2007)	13
Şekil 2.4.	Nötronun elastik saçılmasının şematik gösterimi (Büyük, 2013)	23
Şekil 2.5.	Nötronun inelastik saçılmasının şematik gösterimi (Büyük, 2013)	24
Şekil 2.6.	Nötron yakalanması olayının şematik gösterimi (Büyük, 2013)	24
Şekil 2.7.	Fisyon olayının şematik gösterimi (Büyük, 2013)	25
Şekil 2.8.	Üç gama etkileşmesinin etkin olduğu bölgeler ve enerjileri (Doğan, 2015)	27
Şekil 2.9.	Fotoelektrik olayın şematik gösterimi (Doğan, 2015)	30
Şekil 2.10.	Compton saçılmasının şematik gösterimi (Url-4, 2023)	31
Şekil 2.11.	Çift oluşumunun şematik gösterimi (Url-5, 2023)	32
Şekil 3.1.	Tez çalışmasında kullanılan numunelerin genel görünümü	45
Şekil 3.2.	Bakır numunesinin görseli	46
Şekil 3.3.	Alüminyum numunelerinin görseli	48
Şekil 3.4.	Kalınlık değerleri (a) 0,8, (b)1,0 ve (c) 1,2 mm olan sac numunelerinin görseli	49
Şekil 3.5.	Poliamid 6.6 numunelerin görseli	51
Şekil 3.6.	Poliamid 6.6 %30 GF numunelerin görseli	52
Şekil 3.7.	Polipropilen Copolimer numunelerinin görseli	53
Şekil 3.8.	Polipropilen %30 Copolimer numunelerin görseli	54
Şekil 3.9.	Polioksimetilen naturel numunelerinin görseli	55
Şekil 3.10.	Polioksimetilen %30 numunelerinin görseli	56
Şekil 3.11.	Poliüretan numunelerinin görseli	57
Şekil 3.12.	Dar demet geometrisi (Turner, 2007)	58
Şekil 3.13.	t kalınlığındaki bir malzemeden geçen radyasyon demetinin şiddeti (Knoll, 2002)	59
Şekil 3.14.	Geniş demet geometrisi (Knoll, 2002)	60
Şekil 3.15.	Gama transmisyon tekniğinin genel şeması	63
Şekil 3.16.	Kullanılan sisteme ait görsel	63
Şekil 3.17.	Cs-137 radyoaktif kaynak	65
Şekil 3.18.	Am-241 radyoaktif kaynak	66
Şekil 3.19.	Co-60 radyoaktif kaynak	66
Şekil 3.20.	Na-22 radyoaktif kaynak	67
Şekil 3.21.	Çalışılan sintilasyon detektörü	68
Şekil 3.22.	Ortec Maestro Programı ara yüzü	69
Şekil 3.23.	Ortec DigiBase ait görsel	70
Şekil 3.24.	Kurşun bloklar	70
Şekil 3.25.	Polipropilen Naturel % 30 numunesi 59,5 keV enerjide lineer zayıflatma katsayısını değerlerini gösteren grafik	72
Şekil 3.26.	Alüminyum numunesi 511 keV enerjide lineer zayıflatma katsayısını değerlerini gösteren grafik	73
Şekil 3.27.	Polioksimetilen numunesi 662 keV enerjide lineer zayıflatma katsayısını değerlerini gösteren grafik	74
Şekil 3.28.	Bakır numunesi 1173 keV enerjide lineer zayıflatma katsayısını değerlerini gösteren grafik	75

Şekil 3.29. Alüminyum numunesi 1274,5 keV enerjide lineer zayıflatma katsayısını değerlerini gösteren grafik..... 76
Şekil 3.30. 0,8 Sac numunesi 1332,5 keV enerjide lineer zayıflatma katsayısını değerlerini gösteren grafik..... 77
Şekil 3.31. Enerji 59,5 (Am-241) ait lineer zayıflatma katsayısı kıyaslama grafiği..... 82
Şekil 3.32. Enerji 661,6 (Cs-137) ait lineer zayıflatma katsayısı kıyaslama grafiği..... 82
Şekil 3.33. Enerji 511 (Na-22) ait lineer zayıflatma katsayısı kıyaslama grafiği..... 83
Şekil 3.34. Enerji 1274,5 (Na-22) ait lineer zayıflatma katsayısı kıyaslama grafiği..... 83
Şekil 3.35. Enerji 1173,2 (Co-60) ait lineer zayıflatma katsayısı kıyaslama grafiği..... 84
Şekil 3.36. Enerji 1332,5 (Co-60) ait lineer zayıflatma katsayısı kıyaslama grafiği..... 84
Şekil 3.37. Enerji 59,5 (Am-241) ait ortalama serbest yol kıyaslama grafiği..... 85
Şekil 3.38. Enerji 661,6 (Cs-137) ait ortalama serbest yol kıyaslama grafiği..... 86
Şekil 3.39. Enerji 511 (Na-22) ait ortalama serbest yol kıyaslama grafiği..... 86
Şekil 3.40. Enerji 1274,5 (Na-22) ait ortalama serbest yol kıyaslama grafiği..... 87
Şekil 3.41. Enerji 1173,2 (Co-60) ait ortalama serbest yol kıyaslama grafiği..... 87
Şekil 3.42. Enerji 1332,5 (Co-60) ait ortalama serbest yol kıyaslama grafiği..... 88
Şekil 3.43. Enerji 59,5 (Am-241) ait yarı değer kalınlığı kıyaslama grafiği..... 89
Şekil 3.44. Enerji 661,6 (Cs-137) ait yarı değer kalınlığı kıyaslama grafiği..... 89
Şekil 3.45. Enerji 511 (Na-22) ait yarı değer kalınlığı kıyaslama grafiği..... 90
Şekil 3.46. Enerji 1274,5 (Na-22) ait yarı değer kalınlığı kıyaslama grafiği..... 90
Şekil 3.47. Enerji 1173,2 (Co-60) ait yarı değer kalınlığı kıyaslama grafiği..... 91
Şekil 3.48. Enerji 1332,5 (Co-60) ait yarı değer kalınlığı kıyaslama grafiği..... 91
Şekil 3.49. Enerji 59,5 (Am-241) ait onda bir değer kalınlığı kıyaslama grafiği..... 92
Şekil 3.50. Enerji 661,6 (Cs-137) ait onda bir değer kalınlığı kıyaslama grafiği..... 93
Şekil 3.51. Enerji 511 (Na-22) ait onda bir değer kalınlığı kıyaslama grafiği..... 93
Şekil 3.52. Enerji 1274,5 (Na-22) ait onda bir değer kalınlığı kıyaslama grafiği..... 94
Şekil 3.53. Enerji 1173,2 (Co-60) ait onda bir değer kalınlığı kıyaslama grafiği..... 94
Şekil 3.54. Enerji 1332,5 (Co-60) ait onda bir değer kalınlığı kıyaslama grafiği..... 95

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Bakır numunesine ait kimyasal bileşim tablosu..... 46
Çizelge 3.2. Alüminyum numunesine ait kimyasal bileşim tablosu..... 47
Çizelge 3.3. 0,8 Sac numunesinin kimyasal bileşim tablosu..... 48
Çizelge 3.4. 1,0 Sac numunesinin kimyasal bileşim tablosu..... 49
Çizelge 3.5. 1,2 Sac numunesinin kimyasal bileşim tablosu..... 49
Çizelge 3.6. Poliamid 6.6 numunesine ait yoğunluk değeri..... 51
Çizelge 3.7. Poliamid 6.6 %30 GF numunesine ait yoğunluk değeri..... 52
Çizelge 3.8. Polipropilen Copolimer numunesine ait yoğunluk değeri..... 53
Çizelge 3.9. Polipropilen %30 Copolimer numunesine ait yoğunluk..... 54
Çizelge 3.10. Polioksimetilen Naturel numunesine ait yoğunluk değeri..... 55
Çizelge 3.11. Polioksimetilen %30 numunesine ait yoğunluk değeri..... 56
Çizelge 3.12. Poliüretan numunesine ait yoğunluk değeri……..……. 57
Çizelge 3.13. Deneylerde kullanılan radyoizotop kaynakların özellikleri…... 65
Çizelge 3.14. Lineer zayıflatma katsayısı (cm^{-1}) hesaplama sonuçları…….. 78
Çizelge 3.15. Ortalama serbest yol (cm) hesaplama sonuçları…….. 79
Çizelge 3.16. Yarı değer kalınlığı (cm) hesaplama sonuçları…… 80
Çizelge 3.17. Onda bir değer kalınlığı (cm) hesaplama sonuçları…… 81

1.GİRİŞ

İnsanlar yaşamları süresince hem yaşadıkları ortam ve çevre şartlarından kaynaklı hem de yaşam şekilleri sebebiyle doğal ve yapay radyasyona maruz kalmaktadır. Maruz kalmış olduğumuz radyasyonların çoğunluğunu doğal radyasyon oluşturmaktadır. Doğal radyasyon kaynaklarından alınan radyasyon genel olarak yaşam alanının konumunun yüksekliği ya da jeolojik yapısına bağlıdır. Toprak, su, hava, kaya, kozmik ışınlar, kum, tuğla, çimento ve güneş doğal radyasyon kaynaklarına örnek olarak verilebilir. Örneklerden de anlaşılacağı üzere radyasyon hayatımızın bir gerçeği olarak kabul edilmektedir.

Teknolojinin gelişimiyle malzemelerin yapısı ve zamanla küçülen madde boyutları hakkında bilgi sahibi olunmaktadır. Malzemelerin özelliklerinin incelenmesinde ve geliştirilebilmesinde bilim ve endüstri çalışmaları günümüzde devam etmektedir. Madde radyasyon etkileşimi, malzemelerin yapısı hakkında önemli bilgilerin elde edilmesini ve yeni yaklaşımların ortaya koyulmasına imkân sağlar. Dolayısıyla nükleer bilimin önemli kontrol ve değerlendirme araçlarından olan radyasyonun malzemeyle etkileşimi, mikro yapıdan nano yapıya doğru giderek küçülen malzemeler ile radyasyon zırhlanması hakkında yapılan çalışmalara olanak tanır. Malzemelerin nano ölçekteki yapılarının anlaşılması ve kontrol edilmesi malzeme biliminde önemli bir gelişmedir ve bu malzemelerin çeşitli endüstrilerde kullanım imkanlarının artmasına da neden olmuştur. Malzemenin özelliklerinin geliştirilebilmesiyle, çeşitli sanayi alanlarında çeşitli nedenler için kullanım şartlarının sağlanması mümkün hale gelir. Malzeme özelliklerinin geliştirilmesiyle tasarım, üretim kolaylığı, enerji, yüksek verim ve yüksek güvenlik gibi birçok alanda kullanılma imkânı elde edilebilir. Kazanılan bilgi birikimlerin kullanılmasıyla devreye alınan alanlar; nükleer teknoloji, tıp, inşaat, enerji sektörü, elektronik-bilgisayar uygulamaları ve maden vb. birçok sektörde fayda sağlayabilir (Şahin, 2006, Choo, 1990).

Bir başka açıdan bakmak gerekir ise, teknoloji dünya genelinde birçok alanda her geçen gün hızla gelişmektedir ve gelişimiyle birlikte getirmiş olduğu yenilikler ile birçok alanda farklı malzemeler ile neler yapılabileceği ya da nasıl kullanılabileceği gibi, araştırma ve geliştirme çalışmalarını yaygınlaştırmıştır. Bu yaygınlaşmayla radyasyondan korunmak için de kullanılabilecek malzemeler ve zırhlama konusundaki inceleme ve iyileştirme çalışmaları ilerleyen teknoloji ile her geçen gün artmıştır (Polat, 2019).

Malzemenin yapısı ile ilgili bilgi sahibi olmak için çeşitli radyasyon kaynakları kullanılabilir. Radyasyonun malzemeyle etkileşiminin meydana gelebilmesi için radyasyon türleri ve yapıları hakkında bilgi sahibi olmak ve tecrübe büyük önem taşımaktadır.

Radyasyonun insan sağlığına etkilerinin ne olduğu veya etki boyutunun ne kadar olduğunun bilinmesi gerekmektedir. Ayrıca radyasyonun malzeme özellikleri üzerinde farklı etkileri de olabilmektedir. Radyasyonun maddeyle etkileşimi ve malzemelerin radyasyona karşı hareketi nükleer bilimciler ve radyasyon kaynaklarını kullanan tüm araştırmacılar için önem arz etmektedir (Göksel, 1973). Radyasyonun malzemeyle etkileşiminin araştırılması, radyasyondan korunmak için gerekli olan malzemenin seçilmesi açısından büyük önem taşır. Nükleer uygulayım biliminde radyasyonun negatif etkilerinden korunmayı sağlayabilecek malzemelerin bulunması ve geliştirilmesi önemli bir husustur (Shultis, 2000). Teknolojinin gelişimiyle beraber endüstride kullanılan malzeme çeşitleri de artmıştır. Böylece, farklı malzeme türleri bir araya getirilerek, malzemelerin farklı amaçlar için kullanılmasına olanak sağlamıştır. Örnek olarak kompozit malzemeler verilebilir. Çünkü bu malzemeler içlerine karıştırılan ya da eklenilen cam elyaf malzeme vb. takviyeler ile orijinal malzeme hallerinin sahip olduğu özelliklerden daha gelişmiş bir özelliğe sahip olabilmektedirler (Şahin, 2006).

Kompozit malzemelerin birçok alanda kullanılan diğer malzemelere kıyasla hafif, üretiminin kolay ve farklı mekanik özelliklere sahip olmaları kullanıldıkları sektör ve kullanım alanlarının sayısını artırmıştır. Böylece, kompozit malzemelerin üretim

prosesleri sonrasında yapılan mukavemet, yanmazlık, sertlik vb. gibi testler dışında radyasyon konusunda da çalışmalar yapılmaya başlanmıştır.

Cam elyaf kompozit malzemelerin dayanım gücünü artırmak için kullanılan ve en fazla tercih edilen takviye malzemesidir. Plastik esaslı malzemelerle birlikte cam elyaf kullanılması, malzemelerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesini sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasında Polioksimetilen (POM), Polipropilen (PP), Poliamid (PA) malzemelere cam elyaf eklenilerek, ortaya çıkarılan kompozit hammaddelerin orijinal granür durumlarına göre zırhlama özellikleri, gama geçiş tekniği ile belirlenmiştir. Lineer zayıflatma katsayısı (μ), ortalama serbest yol (MFP), yarı değer kalınlığı (HVL) ve onda bir değer kalınlığı (TVL) değerlerinin deneysel olarak hesaplanması ve analiz edilmesi amaçlanmıştır.

Literatürde nükleer uygulayım bilimi için kullanılabilir malzemelerin üretilebilmesi ve geliştirilebilmesine yönelik çok sayıda araştırma ve çalışma bulunmaktadır. Araştırma ve çalışmaların incelenmesi ve analiz edilmesiyle elde edilebilecek veri ve değerlendirme sonuçlarıyla ileri uygulayım bilimi ürünü olabilecek malzemelerin geliştirilebilmesine olanak sağlanmaktadır.

Sönmez M. (2009), yaptığı çalışmada kompozit malzemeleri ve polimer matrisli kompozit malzemeleri ele almış. Kompozit malzemeler hakkında bilgiler vererek alt türlerini ve bu türlerin üretim yöntemlerini ele almış, polimer matrisli kompozitlerin genel özelliklerini, avantajlarını, dezavantajlarını ve üretim yöntemlerini değerlendirerek, ürün tasarımlarıyla ilişkilerini konu almış. Çalışmasının saha araştırmasını Türkiye'de farklı alanlarda polimer matrisli kompozitler ile çalışan iki farklı tasarımcı ve iki farklı firma yöneticisiyle görüşmüş. Yapmış olduğu saha çalışmasında polimer matrisli kompozitlerin Türkiye'de kullanım alanlarını, güçlü yönleri ve zayıf yönlerini, görüşmüş olduğu tasarımcıların malzeme hakkındaki bilgilerini ve malzemeyi tercih etme sebeplerini,

sektöre dair gelişmeleri ve polimer matrisli kompozitlerin önündeki fırsatları ve engelleri tartışmıştır.

Shik vd. (2018), yaptıkları çalışmada kurşun (PbO), bizmut (Bi_2O_3) ve tungsten oksit (WO_3) içeren PVC kompozit malzemeler üretip bu malzemelerin tanı amacıyla kullanılan X-ışını zırhlama özelliklerinde çalışmışlardır. Bi_2O_3 ve WO_3 karıştırılan PVC kompozit malzemelerin kütle zayıflama katsayılarını hesaplamışlardır. Bulunan sonuçlara göre kütle zayıflatma katsayısı en iyi Bi_2O_3 ve PbO katılan malzemeler olduğunu ortaya çıkarmışlardır.

Poltabtim vd. (2018), yapmış oldukları çalışmalarında Fe_3O_4, W_2O_3 ve Bi_2O_3 karıştırılmış EPDM kauçuk malzemelerin donma karakteristiği, fiziksel özellikleri ve mekanik özellikleriyle gama ışını zırh özelliklerini incelemişlerdir. Malzemelerin lineer zayıflama katsayılarının değerlendirilmesi sonucuna göre en yüksek değerin bizmut triokside ait olduğunu görmüşlerdir. Ayrıyeten metal oksit içeriği fazlalaştıkça malzemelerin yarı değer kalınlık sonuçlarında azalma olduğunu gözlemlemişlerdir.

Han ve Demir (2009), yapmış oldukları çalışmada farklı enerjilere sahip radyasyonlar için, farklı oranlarda krom, nikel ve demir alaşımların kütle zayıflatma katsayılarını hesaplamışlardır. Hesaplamalarda etkin atomik ve elektron numaraları tesir kesitleri belirtilmiş, bulunan değerlerin deneysel sonuçlar ile karşılaştırmasını yapmışlardır.

Singh vd. (2004) kurşun-borat ve bizmut-kurşun-borat cam sistemlerinin gama radyasyonu zırh malzemesi olarak kullanılması yönünde karşılaştırmışlardır. Deneysel ölçüm sonuçlarıyla teorik hesaplamalar gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçları yarı değer kalınlık hesaplarında kullanmışlardır.

Kharita vd. (2008) yaptıkları çalışmalarında Suriye bulunan beton çeşitlerinin radyasyondan korunma ve zırhlama özelliklerini iyileştirmek maksadıyla deneyler gerçekleştirmiştirler. Çalışmalarında gama izotop kaynağı olarak Cs-137, Co-60 ve

nötron kaynağı olarak da Am-Be kullanmışlar. Deneylerinin sonucunda elde ettikleri verilerine dayanarak, bazı beton malzemelerinin yarı değer kalınlığını yaklaşık %10 civarında azalttığını belirtmişlerdir.

Gong vd. (2018), yaptıkları çalışmada bor karbür, kurşun oksit ve benzofenon katkılanmış silikon kauçuk malzemelerin nötron ve gama zırhlama özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında Cs-137 ve Co-60 gibi gama ışını kaynakları kullanılmışlardır. Yaptıkları çalışmalarında artan kalınlık değerleriyle birlikte malzemelerin gama ışını geçirgenliğinde azama ve zırh özelliklerinde yükseliş görmüşlerdir. Nötron ve gama zırhlama malzemelerinin esneklik, termal kararlılık ve radyasyon zırhlama gibi birçok kullanım alanlarının olduğunu belirtmişleridir.

Büyük (2014), yaptığı çalışmasında paslanmaz çelik ve bor çeliği malzemelerinin Cs-137 ve Co-60 gama kaynakları için gama zayıflatma özelliklerini incelemiştir. Sonuçlarını kurşun ve seçenek olabilecek diğer malzemeler ile karşılaştırmıştır. Kurşunun yerinde kullanılabilecek çelik malzemeleri RoHs yönetmeliğine uygunluğunu da değerlendirmiştir. Bulduğu sonuçlarına göre, Cs-137 gama kaynağı için paslanmaz çeliğin lineer zayıflatma katsayısının bor çeliğinden daha yüksek olduğunu tespit etmiş. Ancak Co-60 gama kaynağı için aynı verilerin olmadığı görmüştür. Ayrıca, paslanmaz ve bor çeliğinin beton ve alüminyum alaşımlarına göre daha yüksek gama zayıflatma kapasitesinin olduğunu belirtmiştir.

2.KURAMSAL TEMELLER

2.1. Radyasyon ve Özellikleri

Radyasyon, parçacık, dalga ya da elektromanyetik enerji paketleri şeklinde yayılır. Buradan anlaşılabileceği üzere radyasyon, tabiatta var olan ve yaşantımızda her gün karşılaştığımız bir olgudur. Ayrıca, radyasyon madde içerinde ve boşlukta hareket eden enerji olarak da düşünülebilir.

Çekirdeğindeki proton ve nötron sayılarının tutarsız olması sonucu bazı atomlar kararsızdır. Proton ve nötron miktarındaki eşitsizlik atom çekirdeğinde ek bir enerjiye sebep olur ve bu sebep olan enerjinin fazla olan bölümü radyasyon olarak salınır. Yani enerjinin fazla olan kısmı kelimesiyle de anlaşılabileceği gibi bu süreç proton ve nötron sayıları eşitlenene kadar yani kararsız halden kararlı hale geçene kadar sürer. Atomlar kararsız halinden kararlı hale geçerken enerjilerini farklı şekilde kaybederler ve farklı elementlere dönüşebilirler. Bu dönüşüm esnasında ortaya çıkan enerjiye radyasyon, bu olay radyoaktif bozunma olarak adlandırılır. Burada radyoaktif parçalanmayı kısaca tanımlamak gerekir ise kararsız haldeki atomların kararlı hale geçmesi olayı denilebilir.

Radyasyonun türü, enerjisi ya da şiddeti sadece radyasyon ölçümü için özel olarak tasarlanmış dedektörler ile ölçülebilir ya da hesaplanabilir.

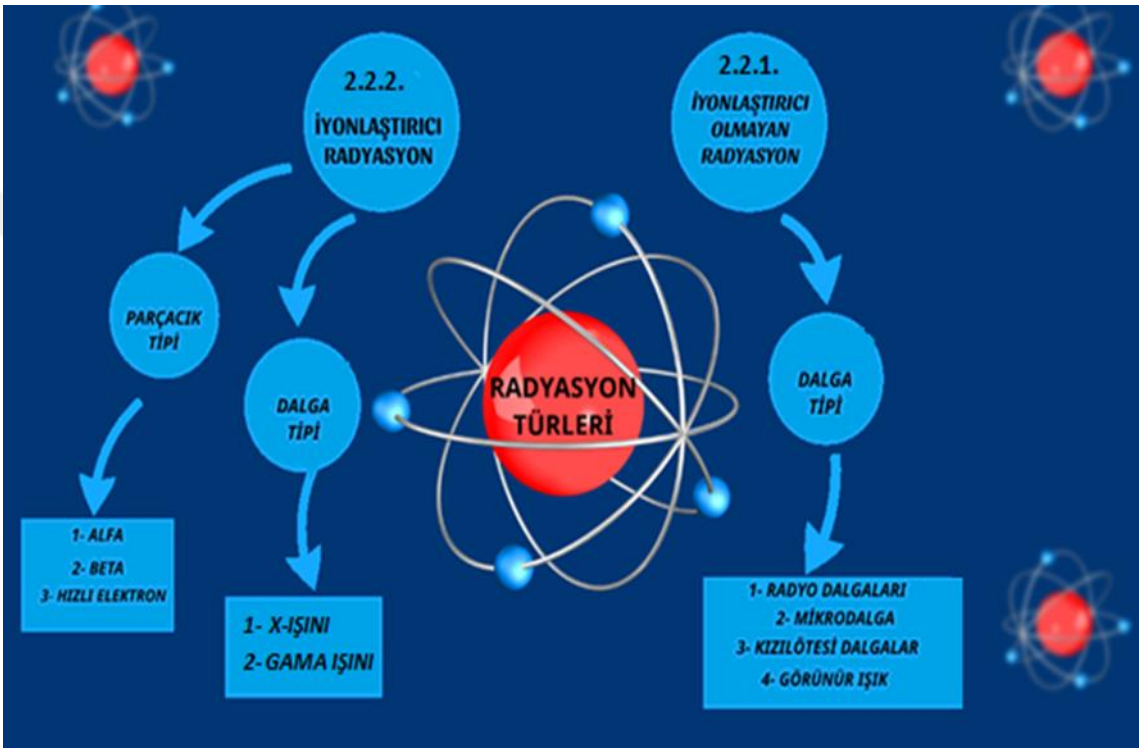
2.2. Radyasyon ve Türleri

Atom, bir elementin en küçük ve en temel birimidir, fakat atom tek başına bir elementin tüm kimyasal ve fiziksel niteliklerine sahip değildir. Atomlar, elektriksel yük taşıyan parçacıklar olan protonlar, nötronlar ve elektronlardan oluşur. Ortamdaki atomdan bir elektron koparılması ya da bir elektron bağlanması gibi durumlarda atomun yük dengesi pozitif (+) veya negatif (-) yönde bozulur. Bu bozunma olayına verilen ad iyonizasyondur,

iyonizasyon sonucunda oluşan atoma iyon denir. Bu tanımlardan da anlaşıldığı gibi radyasyon iyonlaştırıcı özelliğine göre 2'ye ayrılır;

1- İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon

2- İyonlaştırıcı Radyasyon



Şekil 2.1. Radyasyon türleri

2.2.1. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon

Bir atom veya molekül bir elektronu koparabilmek için yeteri kadar enerjisi yok ise buna iyonlaştırıcı olmayan radyasyon denir.

İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar kimyasal bağları koparacak ya da biyolojik etkileşim yapabilecek bir enerjiye sahip değildir. Ayrıca uzaklaşıldıkça şiddeti de azalır. İyonlaştırıcı olmayan radyasyonların enerji değeri, iyonlaştırıcı radyasyonlara göre

düşüktür. Madde içinden geçer iken yüklü iyonlar oluşturmak yerine, atomlar ve moleküller üzerinde titreşimsel veya elektronik değişikliklere neden olabilir.

Son yıllarda hızlı teknolojik gelişme ile hayatımızın her alanında elektromanyetik radyasyonun kullanımında artış olmuştur. Elektrikli aletler, televizyonlar, bilgisayarlar ve cep telefonları hemen her yerde ve herkes tarafından kullanılmaktadır. Yüksek voltajlı enerji iletim hatları, günlük yaşantımızdaki en önemli elektromanyetik radyasyon kaynağıdır. Yukarıdaki Şekil 2.1'de görüldüğü gibi iyonlaştırıcı olmayan radyasyon dalga tipi radyasyonlardır.

Radyo dalgaları; frekansları 300 gigahertz ile 3 kilohertz arasında değişken, dalga boyu değerleri de 1 mm ile 100 km arasına karşılık gelen ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon türüdür. Işık hızı ile hareket eder. Örneğin; gök gürültülü şimşek çakması sonucunda yayılan elektromanyetik dalgalardan bazıları da doğal radyo dalgalarıdır. Mobil radyo haberleşmeleri, radyo-televizyon yayını, radar ve navigasyon sistemleri ve uydu haberleşmesi gibi aklımıza gelmeyen birçok uygulama, yapay radyo dalga kaynaklarına verilebilecek örnekler arasındadır.

Mikrodalgalar; frekans aralığı 0,3 GHz ile 300 GHz arasında değişirken ve dalga boyunun değer aralığı 1 m ile 1 mm arasında olan yüksek frekanslı ve kısa dalga boylu iyonlaştırıcı olmayan radyasyon türüdür. Aşırı yüksek frekans (SHF) ve çok aşırı yüksek frekans (EHF) terimleri mikrodalga frekans aralığına karşılık gelir. Bazı kaynaklarda bu sınırlar değişebilir.

Kızılötesi dalgalar; dalga boyu 0,7 mikrometre ile 300 mikrometre değer aralığında ve frekans değeri ise 1 terahertz ile 430 terahertz arasında değişkenlik gösterebilir. Kızılötesi dalgalar ısı dalgaları olarak da bilinir. Büyük bir bölümü iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak kabul edilir.

Görülebilir ışık; dalga boyu 400- 700 nm aralığında insanın gözüyle görebileceği bölgede olan, elektromanyetik dalgaların en bilineni ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon türüdür.

2.2.2. İyonlaştırıcı radyasyon

Atomun dış yörüngesinden elektron koparabilen ve çarptığı maddenin atomlarında iyon oluşturabilen veya atomun iyonize olmasını sağlayacak seviyede yeterli enerji taşıyan radyasyonlara iyonlaştırıcı radyasyon denir. Kısaca tanımlamak gerekir ise atomdan elektron koparabilen ve bu şekilde atomu iyonize edebilen radyasyon türü de denilebilir. Genellikle yüksek enerjili radyasyon iyonlaştırıcı radyasyon olarak tanımlanabilir. İyonlaştırıcı radyasyonu beş duyu organımız ile algılayabilmemiz mümkün değildir, rengi ve kokusu yoktur. Önlem alınmaz ise bütün canlılar için zararlı olabilir, fakat zararlı etkilerinin dışında kullanım alanlarına bakıldığında faydalı uygulamalarının olduğu da görülmektedir. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi iyonlaştırıcı radyasyon dalga ve parçacık tipi olarak ikiye ayrılır.

Parçacık tipi iyonlaştırıcı radyasyon, belirli bir kütlesi ve enerjisi olan, yük taşıyan ve fazla hızlı hareket edebilen ve gözle görülemeyen küçük parçacıkları ifade eder. Parçacık tipi radyasyona örnek; alfa, beta ve nötron parçacıkları verilebilir.

Alfa parçacıkları, bir atom çekirdeğinin parçalanmasında meydana çıkan Helyum (^4_2He) çekirdekleri olarak ifade edilir. Bir X çekirdeği alfa parçalanması yapar ise çekirdekten bir helyum salınır veya yayınlanır. Çekirdeğin atom numarası Z=2, kütle numarası A=4'tür. Alfa parçalanmasını denklem olarak aşağıdaki gibi gösterebilir.

$$^A_ZX \rightarrow ^{A-4}_{Z-2}Y + \ ^4_2He \qquad (2.1)$$

Yukarıdaki denklemde X parçalanacak olan çekirdeği, Y ise yeni çekirdeği ifade eder. Alfa parçacıkları çok küçük madde kalınlığı ile durdurulabilir. Madde olarak kâğıt örnek verilebilir.

Beta parçacıkları, çekirdekten yayınlan yüksek enerjiye sahip elektrondur. Alfa parçacıklarına göre kütlelerinin küçük olması ve daha düşük elektriksel yüke sahip olmaları nedeni ile daha sık aralıklarla etkileşirler. Beta bozunması sırasında, çekirdekten yayılan beta parçacığı, çekirdekteki enerji fazlalığını taşıyan kütleyi temsil eder. Bu fazla enerji, $E = mc^2$ eşitliği ile bir kütleye dönüşür. Fazla olan kütlenin bir kısmı, elektron ve antinötrino tarafından taşınırken, geri kalan bölümü beta ışını olarak çekirdekten dışarıya çıkar. Bu bağlamda, nötronun protona dönüşmesi esnasında negatif (–) yüklü betalar yani negatron yayınlanır. Proton nötrona dönüşür iken ya pozitif (+) yüklü betalar yani pozitron yayınlanır ya da yörünge elektronlarından biri çekirdek tarafından kapılır. Çekirdekte oluşan elektronlar negatif (–) beta parçacıkları, pozitronlar ise pozitif (+) beta parçacıkları olarak ifade edilir. Betaların parçalanma denklemleri aşağıdaki gibidir.

Beta (-) parçalanması (Nötron ⟶ Proton)

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}_{Z+1}{}^{A}Y + \beta^{-} + \bar{\gamma} \tag{2.2} $$

Beta (+) parçalanması (Proton ⟶ Nötron)

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}_{Z-1}{}^{A}Y + \beta^{+} + \gamma \tag{2.3} $$

Nötron parçacıkları doğal ve yapay nükleer reaksiyonların bir sonucu olarak yayınlanır. Nötronun elektrik yükü yoktur. Serbest nötronların yarı ömrü yaklaşık 13 dakikadır. Radyoaktif çekirdekler 8 MeV'lik bağlanma enerjisinden daha yüksek bir enerjiye sahip olduklarında nötron salınımı gerçekleşir. Nötron sayısı fazla olan çekirdek, aynı ana elementin farklı bir izotopuna bir nötron bozunumu yaparak dönüşebilir. Ürün çekirdek, daha sonra temel durumuna dönerken gama ışınları yayan uyarılmış bir durumda bırakılır. Parçalanma denklemi de aşağıdaki gibidir.

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-1}_{Z}Y + {}^{1}_{0}n \tag{2.4} $$

Burada X nötronca fazlalığı olan çekirdeği, Y ise uyarılmış durumdaki bir ürün çekirdeğini gösterir.

Dalga tipi radyasyon, enerji taşımasına rağmen kütlesi olmayan radyasyon türüdür. Dalga tipi radyasyon X-ışınları ve gama ışınları olarak 2'ye ayrılır.

Günümüzde röntgen teknolojisinin gelişmesine ve tıp biliminde medikal görüntüleme alanının ilerlemesinde güncel bir dönem başlatan X-ışınları, 1895 yılında Alman fizikçi Wilhelm Conrad Röntgen tarafından elektron tüpü üzerine çalışırken bulunmuştur.

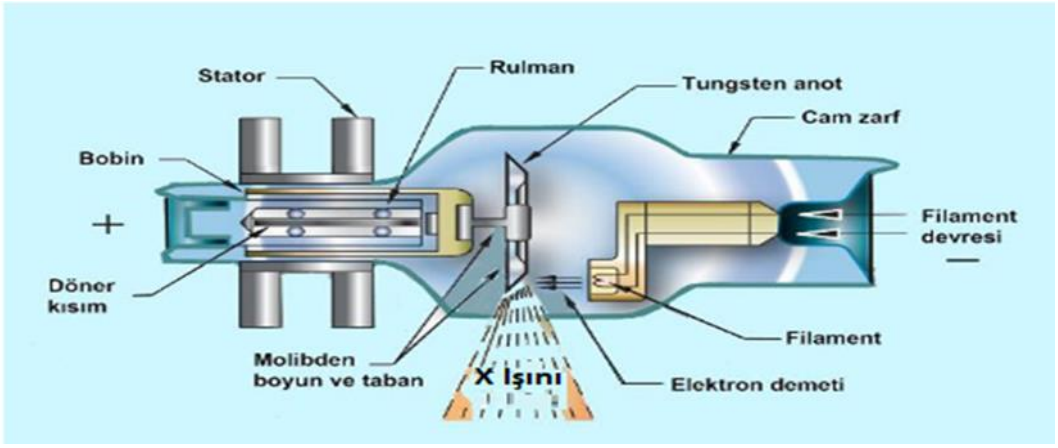
X-ışınları hem dalga hem de parçacık özellikleri gösterirler ve çift karakterlidirler. X-ışınları, doğal X-ışınları ve yapay X-ışınları olarak iki bölümde incelenebilir.

i. Doğal X-Işınları; atom çekirdeğiyle ilişkili çeşitli nükleer olaylardan kaynaklıdır. Genelde bu olaylar arasında K kabuğundan elektron yakalanması, alfa bozunumu, iç dönüşüm ve beta bozunumu gibi süreçle bulunur. Bu süreçte atomun içindeki elektronlardan biri K enerji kabuğundan koparıldığında, boşalan yerine daha yüksek enerjili seviyelerden elektronlar atlayarak boşalan kısmı doldururlar. Bu esnada oluşan enerjinin fazla kısmı X-ışını şeklinde dışarı salınır. Doğal X-ışınları, astronomik olaylar gibi doğal süreçlerden kaynaklanır.

ii. Yapay X-Işınları; hızlandırılmış parçacıklarla veya radyoaktif kaynaklardan çıkan fotonlarla maddenin etkileşmesi sonucunda oluşur. Maddenin fotonlarla etkileşmesi sonucunda karakteristik (çizgi) ve sürekli X-ışınları elde edilir. Yapay X-ışınları ise X-ışını tüpleri gibi teknolojik cihazlar kullanılarak üretilir.

X-ışını tüpü adı verilen tüp kullanılarak X- ışınları elde edilir. X-ışını, havası alınmış tüp içindeki katottan çıkan elektronların yüksek voltajla hızlandırılan yüksek atom

numarasına sahip anot metaline çarptırılması sonucu oluşan bir radyasyondur. X-ışınlarının oluşum sürecinde, elektronların anot metaline çarpmasıyla atomlar iç yörüngelerinde bulunan elektronlar arasında elektronik geçişler gerçekleşir (Şekil 2.2). Elektronların kinetik enerjisini elektromanyetik enerjiye dönüştürme X-ışını tüpünün ana görevidir. Yörüngeden ayrılmadan hedef madde elektronlarının uyarılması termal enerjiye; X-ışını oluşumuna ise çekirdek ve yörünge elektronları ile etkileşimi yol açmaktadır. X-ışını tüplerinde, anottan çıkan X-ışınları genellikle elektron geliş doğrultusunda 90 derece açıyla yayılır ve X ışınlarının istenen yön doğrultusunda çıkması için katoda belli bir eğim verilir.



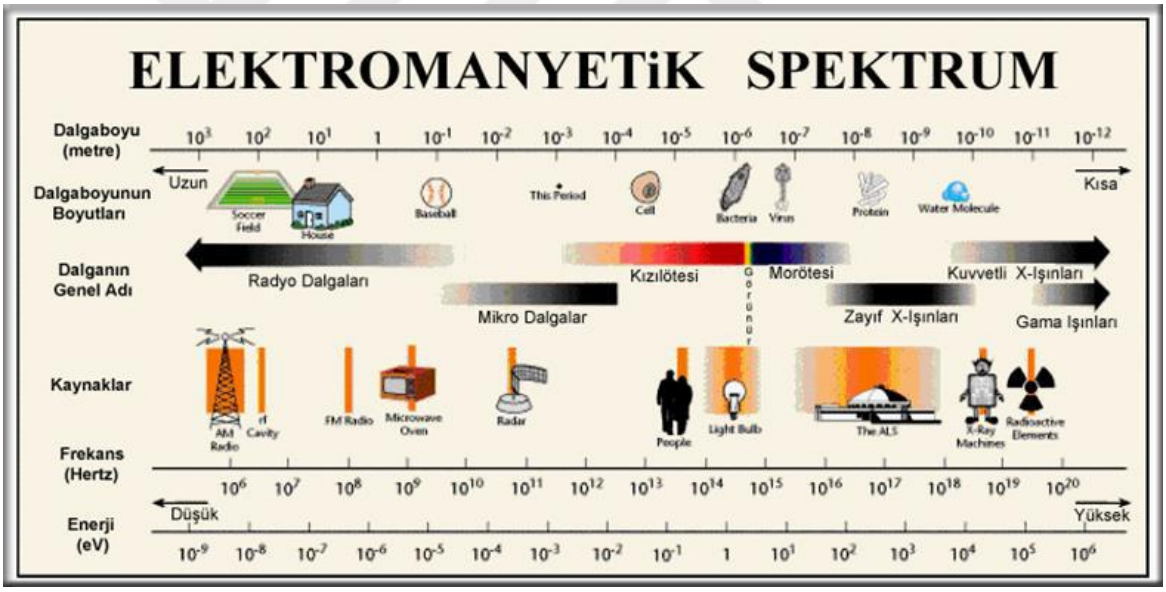
Şekil 2.2. X-ışını tüpüne ait görsel (Url-2, 2023)

Gama doğada bulunan bir elektromanyetik radyasyon çeşididir. Gama ışınlarının enerji aralığı 0,1 ile 10 MeV' tur. Gama ışınları, atom çekirdeklerindeki enerji seviyeleri arasındaki geçişler sonucunda ortaya çıkar. Bu geçişler, çekirdeklerin yüksek enerjili durumlarından daha düşük enerjili durumlarına geçerken ortaya çıkan enerji farklarından kaynaklanır. Bu enerji farkları, genellikle milyonlarca elektron volt (MeV) düzeyindedir. Dalga boyu 10^4 ile 100 femtometre (fm) aralığına karşılık gelir. Elektromanyetik spektrumdaki titreşim sayısı en yüksek, titreşim sayısının aksine dalga boyu en düşük ve enerji düzeyi en yüksek olan elektromanyetik ışınlardır (Şekil 2.3). Gama ışınları, elektromanyetik spektrumdaki diğer ışınlar gibi kütlesi yoktur ve yüksüzlerdir. Dolayısıyla manyetik ve elektrik alanda saptırılamazlar, yüksek enerjileri nedeniyle

madde içinde yol alabilirler, ışık hızında hareket ederler ve gazları iyonlaştırma yetenekleri vardır. Gama yayınlanmasının yarı ömrü diğer bozunumlara göre çok kısadır. Gama ışınlarının kaynağı atomun çekirdeğidir. γ ile sembolize edilirler.

Gama ışınları, atomun çekirdeğindeki enerji seviyesindeki farklılıktan oluşur. Çekirdek, alfa veya beta parçacığı yayınladıktan sonra kararlı durumda olmayabilir. Çekirdek kalan enerjisini elektromanyetik radyasyon olarak gama ışınları şeklinde yayınlar. Gama ışınları, beta ışınlarına göre daha yüksek enerjili ve daha girici ışınlardır.

Gama ışınlarına ait dalga boyu ışıktan veya radyo dalgalarından çok daha kısadır ve bu nedenle elektromanyetik spektrumda "X" ışınları ile benzerlik gösterir. Gama ışınları ve X-ışınları arasındaki temel fark, "γ" ışınları çekirdekten yayınlanır, X-ışınları elektronik geçişlerden kaynaklanır.



Şekil 2.3. Elektromanyetik radyasyonun enerji spektrumu (Seyrek, 2007)

2.3. Radyasyon Kaynakları

İnsanoğlu varoluşundan bu zamana kadar geçen süre içerisinde radyasyon ile iç içe yaşamaktadır. Uzun ömürlü radyoaktif elementler dünyanın oluşumuyla birlikte tabiatta yerini almıştır ve aynı zamanda da yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. Nükleer bomba denemeleri ve bazı teknolojik ürünlerin kullanımı ile geçtiğimiz yüzyılda radyasyon seviyesinde artış olmuştur. Doğal radyasyon seviyesini ve büyüklüğünü etkileyen birçok neden vardır. Bunlar, coğrafi konum, toprak yapısı, hava şartları, doğal kaynaklar, güneş aktivitesi ve kişisel aktiviteler sadece birkaç tanesidir. Bu faktörlerin bir kombinasyonu, bir bölgedeki doğal radyasyon seviyelerini belirler. Radyasyon seviyelerini izlemek ve uygun önlemler almak, radyasyon güvenliği açısından önemlidir. Radyasyon kaynakları doğal radyasyon ve yapay radyasyon olmak üzere, iki ana başlık altında incelenmektedir.

2.3.1. Doğal radyasyon

Doğal radyasyon, insanların müdahalesi ya da katkısı olmadan oluşan radyasyondur. Uzaydan gelen kozmik ışınlar, doğal radyasyonun sadece bir kısmını oluşturur. Atmosfer, kozmik ışınların yeryüzüne ulaşmasını engelleyen bir kalkan görevi görür. Dünya atmosferi kozmik ışınların birçoğunu tutar. Bir başka doğal radyasyon kaynağı olan fosil yakıtlar, uzun ömürlü ve doğal radyoaktif elementler içerir. Yakıt içinde iken bu tür elementler bir radyasyon tehlikesi yaratmasalar da yakıtlar yakıldığı zaman atmosfere yayılırlar. Doğal radyasyon seviyesini arttıran önemli nedenlerden bir tanesi de radyoaktif radyum elementinin bozunması sırasında salınan radon gazıdır. Radon gazı doğal radyasyon dozlarının ortalama yarısına sebep olmaktadır. Radyoaktif maddelerin bozunması sırasında radon gazı, toprak içerisinde kalır. Fakat bazı durumlarda radon gazı toprağın yüzey kısmına doğru yükselir ve atmosfere yayılır. Radon gazının evlerde birikmesi ve iç ortamlarda yüksek seviyelere ulaşması mümkündür. Bu yüzden evin içerisinde radon gazının birikmesini önlemek için iyi bir havalandırma sistemi gereklidir. Evin doğru bir şekilde havalandırılması, radon gazının birikimini azaltır ve iç ortamda

düşük seviyelerde kalmasını sağlar. Havalandırma sistemi olmayan evlerde, radon gazı seviyeleri dışarıdakinden çok daha yüksek olabilir. Radon gaz halinde bulunduğu ve havada var olduğu için ister istemez solunum yoluyla vücuda alınır ve solunum yapıldığında akciğere geçici olarak tutunup, akciğer dokularının radyasyona maruz kalmasına sebep olur. Radon gazı miktarı bölgeden bölgeye değişiklik gösterebilir.

İki yoldan radon birikimi basitçe azaltılabilir:

- Havalandırma, iyi bir havalandırma sistemi, evin içindeki radon gazının birikimini azaltmada etkili olur
- Radon Önleme Sistemleri, radon gazının topraktan veya temel altındaki alanlardan sızmasını önlemek için kurulan sistem

Tükettiğimiz organik maddelerde farklı radyoaktif izotoplar bulunabilir ve aslında bu farklılığın sebebi yetiştirildiği toprak tipi, coğrafi konum, ürünlerin beslendiği minerallerden kaynaklıdır.

Doğal radyasyon 3'e ayrılır;

i. Kozmik Radyasyon; uzayda bulunan yıldızlar, süpernova ve diğer astrofiziksel olaylar tarafından üretilir. Ancak atmosferin üst tabakalarına ulaşabilen ve dünyaya ulaşabilen parçacıkların çoğunluğu protonlardan oluşur Kozmik ışınların güneş yayıcı olması insan sağlığı açısından tehlikelidir. Güneş tarafından düşük enerjili parçacıklar olarak yayılmasına rağmen, büyük bir kısmı güneş sistemini sınırlayacak enerjiye sahiptir. Yıldızların oluşumu buna en güzel örnektir. Kozmik ışınların yaklaşık olarak % 98'ini pozitif yüklü çekirdekler, geriye kalan %2'lik kısmını ise negatif yüklü elektronlar oluşturmaktadır.

ii. Karasal Radyasyon; doğal olarak yeryüzünde bulunan radyoaktif elementlerin bozunması sonucu ortaya çıkar. Dünyanın kendisinin radyasyon kaynağı olduğunu söylemek yanlış bir ifade olmaz. Kayalar, mineraller, toprak ve

yerküre radyoaktif çekirdek içerir. Doğada bulunan birçok izotop radyoaktiftir ve ışıma yaparak yerküreden kaynaklı radyasyon dozuna katkıda bulunurlar. Kaya ve toprak bulunan radyasyona genellikle Karbon-14, Potasyum-40, Uranyum-238 ve Toryum-232 izotopları sebep olmaktadır. Toprak ve suda Uranyum-238 ve Toryum-232 izotopları eser miktarda dağılmış şekilde bulunurken bunların aksine Potasyum-40 ve Karbon-14 tüm organik maddelerde bulunur ve buna bitki ve hayvanlar dahildir. Fosfat gübre olarak kullanıldığında doğal fon doz hızına az da olsa katkıda bulunur. Radyasyonla doğrudan ışıma yoluyla maruz kalmanın yanı sıra, radyoaktif izotopların besin tüketimi veya solunum yolu ile vücuda alınması da mümkündür.

iii. İçsel Radyasyon; İnsanlar vücutlarında doğal bulunan Potasyum-40 ve Karbon-14 izotoplarından dolayı içsel radyasyona maruz kalırlar. Kişiden kişiye dozun miktarı değişmektedir ve iç radyasyondan kaynaklı dozun seviyesi kozmik ve yerküre kaynaklı dozun seviyesinden çok daha düşüktür.

2.3.2. Yapay / İnsan yapımı radyasyon

Yaşadığımız süreç içerisinde doğal radyasyona maruz kalındığı gibi yapay radyasyona da maruz kalınmaktadır. Yaşamımızda ve tıbbi uygulamalar esnasında geçirdiği süreçler yapay kaynaklardan alınan radyasyon dozunu yüksek ölçüde etkilemektedir. Örneğin radyoterapide tedavi gören hastada ışınlanma seviyesi normal bir kişiden çok daha fazladır. Bu örnek ne kadar tıbbi süreci anlatmış olsa da sadece tıp süreçleri ile değil, kişiler iş ortamları ile de alınan doz miktarlarını değiştirebilir. Örneğin, nükleer tıp ilaçları hazırlayan sağlık çalışanları hazırladıkları ilacı hastaya verir iken normal hayatlarında maruz kaldıklarından radyasyondan çok daha fazla seviyede radyasyona maruz kalabilirler.

Yapay radyasyonlar, doğal radyasyon kaynaklarının tam tersi olarak bütünüyle kontrol altında tutulabilmeleri maruz kalınan doz miktarı yönünden önemlidir.

2.4. Radyasyondan Korunma Yöntemleri

Radyasyondan korunmanın temel amacı nüfuz etmesi durumunda biyolojik sistemlerde yaratacağı olumsuz sonuçları engellemek veya en az seviyeye düşürmektir. Radyasyonun etkilerinden bazıları herhangi bir eşik dozu almadan da oluşabilmektedir. Oluşumları radyasyon dozunun bir fonksiyonu olarak ortaya çıkan radyasyon etkilerine stokastik (olasılıksal) etkiler denir. Herhangi bir eşik değer yoktur. Stokastik olmayan etkiler ise stokastik etkilerin tam tersi olarak meydana gelebilmesi belirli bir eşik dozuna bağlıdır.

Radyasyondan korunmanın temel amacı, stokastik olmayan radyasyon etkilerinin oluşmasını önlemek, stokastik etkilerin meydana geliş olasılıklarını da en aza indirmektir. Radyasyondan etkilenmenin insanlar için biyolojik zararlarının olduğu bilindiği için maruz kalınacak dozun sadece izin verilen seviyelerin altında kalması yeterli olmayıp, olabildiği kadar düşük tutulmalı ve bunun için gerekli her türlü önlem alınmalıdır. Radyasyondan korunma, iç ve dış radyasyondan korunma sağlamak üzere iki farklı başlık altında incelenebilir.

2.4.1. İç radyasyondan korunma

Radyoaktif maddelerin solunum, sindirim, mukozalar veya cilt bütünlüğünün bozulması yoluyla vücuda girmesi iç radyasyona neden olur. Vücuda giren radyoaktif madde vücuttan atılmadığı sürece radyasyon yaymaya devam edecektir. İç radyasyonun vereceği zararlardan korunmak için; ortam, giysiler ve cildin radyoaktif madde ile teması kesilmelidir. Yiyecekler ve solunum ile radyoaktif maddenin vücuda girmesini durduran önlemlerin alınması gerekir. Bu önlemler arasında;

- Özel olarak tasarlanmış solunum cihazları ve tam yüz maskesi kullanılması
- Koruyucu ya da kurşun vb. kıyafet giyilmesi,
- Radyasyonlu bölgede bulunan gıda veya suyu vb. yiyeceklerin tüketilmemesi (Yaren ve Karayılanoglu, 2005).

2.4.2. Dış radyasyondan korunma

Dış radyasyon kaynaklarından korunmak için zaman, mesafe ve zırhlama gibi üç yöntem bulunmaktadır.

i. Zaman kuralı; radyasyonla çalışan kişiler için önemli bir faktördür. Radyasyon maruziyeti zamanla doğru orantılı bir şekilde değişir. Yani, radyoaktif kaynağın yanında geçirilen süre ne kadar yüksek olursa, alınan radyasyon dozu da o kadar yükselir. Bir başka deyişle, çalışılan cihazın ya da radyoaktif kaynağın yanında geçirilen süre ne kadar az olursa radyasyondan alınan doz da o kadar az olacaktır. Doz hızının erkenden bilinmesiyle bu bölümde çalışanların maruz kalabilecekleri maksimum dozun süresi hesaplanabilir. Bu hesaplama, çalışanların ne kadar süreyle çalışabileceklerini belirlemek ve radyasyon dozunu kabul edilebilir seviyede tutmak için yapılır.

$$Doz = (Doz\ Şiddeti) \times (Zaman) \tag{2.5}$$

ii. Mesafe Kuralı; radyasyon alanının kaynağa olan uzaklığı arttıkça azalır. Girici radyasyon yayan kaynak var ise, radyasyon kaynağının şiddetinde mesafeye bağlı olarak azalma olur. Yani kısaca kaynaktan uzaklaştıkça şiddet azalır bu da mesafenin karesi ile ters orantılı olduğu bağlantısını ortaya çıkarır.

$$D_1 \times d_1^2 = D_2 \times d_2^2 \tag{2.6}$$

iii. Zırhlama Kuralı; Radyasyon kaynağından kaynaklanan doza maruz kalan kişinin maruz kalacağı radyasyonu azaltmak için zırhlama malzemeleri kullanılır. Zırhlama kurşun, beton, duvar vs. gibi malzemelerin kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Maruz kalınan radyasyonun dozunu azaltmak için kullanılan malzemeye ise zırhlama malzemesi denir. Zırhlama

malzemesi, radyasyonu emen veya saçan bir malzeme olmalı. Zırhlamada kullanılan malzemenin yoğunluğu ne kadar yüksek ise X- ışını ve Gama ışınlarının zırhlama özelliği de o kadar fazladır. Radyoaktif kaynağın zırhlanması için iki farklı yöntem kullanılabilir. Radyoaktif kaynağın zırhlaması kolimatörlerin kullanılması ve dış koruyucu bölmelerin eklenmesiyle yapılabilir. Zıhlama hesaplamalarında malzemelerin onuncu tabaka kalınlığı değerleri kullanılır. Onuncu tabaka kalınlığı, bir malzemenin radyasyonu emme yeteneğini ifade eder.

Farklı radyasyon türlerinde kullanılan zırhlama malzemeleri ve zırhlama işlemleri farklılık gösterebilir. Zırhlamanın temel amacı, elektromanyetik veya parçacık radyasyonlarından kaynaklanan dozun, canlı için zararsız seviye gelmesidir (Kahya, 1985).

Zırhlama gereklilikleri, zırhlanacak radyasyonun türüne bağlı olarak değişir. Zırh malzemesi seçilirken ilk düşünülmesi gereken kişilerin sağlığının korunması olmalıdır. Etkili bir zırhlama yöntemi radyasyonun olumsuz etkilerini en az seviyeye düşürebilir. Bununla birlikte ekonomik olması, ağır olmaması ve boşluklu bir yapısının olması gibi faktörler zırh malzemesi seçiminde etkilidir.

Radyasyon kaynağının bulunduğu yer, enerjisi ve bitişik mekânlar ile olan ilişkisi, zırh kalınlığı ve kullanılan zırh malzemesi gibi faktörler, doğru zırhlama için dikkate alınması gereken önemli parametrelerdendir. Bu parametrelerin doğru tespit edilememesi veya değişiklik göstermesi, radyasyondan korunma için alınan zırhlama önlemlerinin yeterli olmamasına neden olur (Kaçar, 2006).

2.5. Radyasyonun Madde ile Etkileşimi

Radyasyonun madde ile etkileşim bilgileri, radyasyondan korunma ilkelerinin temelini oluşturur. Radyasyon ile malzeme etkileşiminde radyasyon malzeme üzerinde değişimler oluşturur iken bu süreçte kendisi de değişebilmektedir. Bu değişmenin en önemli faktörü radyasyonun enerjisindeki değişimdir. Malzeme ile etkileşen radyasyon mevcut enerjisinin hepsini veya bir bölümümü kaybeder. Radyasyonun enerjisindeki bu azalış etkileştiği malzemenin radyasyon zırhlama özelliği olarak da ifade edilebilir. Radyasyonun zırhlama özelliği farklı radyasyon türleri için radyasyon zırhlamada kullanılan malzemelerde farklılık gösterebilir ve farklı sonuçlar ortaya çıkabilir. X-ışını veya gama ışını madde ile etkileşim yaptığında maddenin içerisinde çeşitli olaylar meydana getirdiği bilinmektedir. Radyoaktif parçacık ve ışınların madde içerisinde durdurulabilmesi bu sebepten dolayı önemlidir. Etkileşme mekanizması parçacığın türüne ve enerji değerine bağlı olduğu gibi aslında girdiği ortamda bulunan atomun proton sayısına ve yoğunluğuna da bağlı olarak değişmektedir. Farklı radyasyon türlerinin madde ile etkileşim şekilleri de farklı olabilmektedir. Yani, yüklü ve yüksüz parçacıkların madde ile etkileşimlerinin birbirinden farklı olduğu söylenebilir. Yüklü ve yüksüz parçacıkların madde ile etkileşimlerini ayrı ayrı incelememiz gereklidir (Büyük, 2013).

2.5.1. Yüklü parçacıkların madde ile etkileşmesi

Madde tarafından soğurulmasının ölçülmesiyle birlikte yüklü parçacıkların enerjileri netleştirilir. Yüklü parçacıklar madde içerisinden geçerken genellikle enerji kaybı ve geliş açılarından sapmalar gibi iki temel konuyla nitelendirilebilmektedir. Yüklü parçacıklar maddenin atomik elektronlarıyla inelastik çarpışma yapmasının ve çekirdekten elastik saçılmasının bir sonucudur (Büyük, 2013). Yüklü parçacıkların madde ile etkileşimi incelenir iken hafif yüklü parçacıklar (elektron) ve ağır yüklü parçacıklar (muon, pion, proton, alfa) olarak iki gruba ayırmak gerekmektedir.

Ağır yüklü parçacık olan muonlar, pionlar, protonlar ve alfalar bir parçacık soğurucu ortama girdiğinde, ortamdaki atomların yörünge elektronlarının negatif yükü ile kendi pozitif yükü arasındaki Coulomb kuvveti ile etkileşmektedir. Madde içerisindeki enerji kaybından esnek olamayan yani inelastik çarpışmalar sorumlu olmaktadır. Ağır yüklü parçacıklar gelen parçacığın kinetik enerjisi atomun iyonlaşma enerjisinden fazla ise, enerjisini yolu üzerindeki atomları iyonlaştırmak için harcamaktadır (Knoll, 2002). Her etkileşmede kaybedilen enerji çok ufak olacaktır. Bu bağlamda çok fazla iyon çifti oluşacaktır. Soğurucu ortamın atomundan kopan elektron negatif iyonu, geriye kalan atom da pozitif iyonu meydana getirir. Bu durum yüklü parçacık enerjisini tamamen kaybedip duruncaya kadar devam eder. Meydana gelen negatif iyon, tekrar ikincil bir iyonlaşmaya sebep olabilir. Bu elektronlar delta ışınları olarak ifade edilebilirler (Knoll, 2002). Atomik elektronlarla çarpışmaları ağır yüklü parçacıkların yollarında bir değişiklik meydana getirmezler.

Hafif yüklü parçacıkların madde ile etkileşimi; elektronların ve pozitronların içerisinden geçtiği madde ile yaptığı etkileşimler ağır parçacıkların yaptığı etkileşmeler ile hemen hemen aynıdır. Elektronların ve pozitronların hafif yüklü parçacıklar ile aynı enerji değerindeki ağır yüklü parçacıklarla karşılaştırıldıklarında kütlelerinin küçük olmasından dolayı hızları yüksek olur. Hızları yüksek olan beta parçacıkları bir çekirdek alanından geçtiği zaman, radyasyon yayınlanması yolu ile enerji kaybına uğrar. Bremsstrahlung ya da frenleme radyasyonu adı verilen X ışını spektrumu şeklinde görülür. Elektronun ivmelenmesinden dolayı bu radyasyon ortaya çıkar ve çekirdeğin elektriksel çekiminden dolayı izlediği stabil yolda sapma meydana gelir. Radyasyonun enerji değeri birkaç MeV veya daha düşük ise radyasyonun enerji kaybı da düşük olacaktır. Hafif yüklü parçacıklar, bir ortamda yukarıda bahsedilen olaylar çevresinde enerjilerini kaybederler. Yüklü parçacıkların birim yol başına kaybettikleri enerji, durdurma gücü olarak tanımlanır. Hafif yüklü parçacıklar tarafından birim yol başına iyonizasyon ve eksitasyon ile kaybedilen enerji, çarpışma durdurma gücü olarak adlandırılır (https://avesis.istanbul.edu.tr/resume/downloadfile/latife.sahin?key=caaeb480-5009-42f7-b671-32c3794112a5).

2.5.2. Yüksüz parçacıkların madde ile etkileşimi

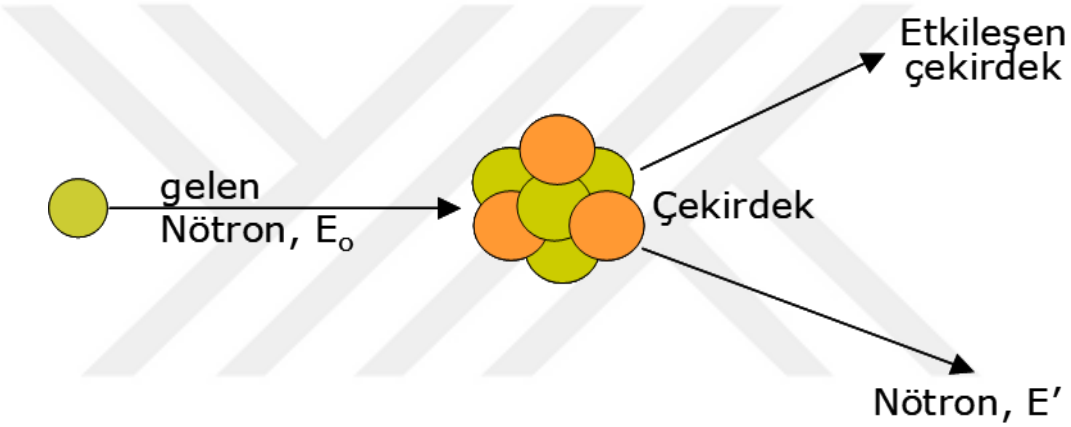
Yüksüz parçacıkların madde ile etkileşimleri, herhangi bir elektrik yüküne sahip olmadıklarından dolayı farklılık göstermektedir. Doğrudan elektrik yükleri sebebiyle maddeyle etkileşmeseler de farklı olayların oluşması sonucunda elektrik yüküne sahip partiküllerin serbest kalmalarına sebep olmaktadırlar. Yüksüz parçacıkların, yükleri bulunmadığından dolayı madde atomları ile Coulomb kuvvetleri türünde etkileşme gerçekleştirememektedirler. Nötron, nötrino ve fotonları yüksüz parçacıklar kapsamında değerlendirmek mümkündür. Bu nedenle her birinin madde ile etkileşimini kendi aralarında tek tek değerlendirmek gerekmektedir (Knoll, 2002).

Nötron; yüksüz parçacıklar oldukları için çekirdekle nükleer kuvvet aracılığıyla etkileşir. Çekirdeğe yakınlaştıklarında yüklü parçacıkların aksine Coulomb engelini aşmak durumunda değillerdir. Çekirdekle etkileşme yapabilmeleri için çekirdeğe en az 10^{-13}cm yakınlaşmalıdırlar. Nötronlar düşük enerji seviyesinde bile oldukça yüksek verimlilikle dedekte edilebilir. Nötronları dedekte edebilmek için yüklü partiküller üretilmek zorundadır. Nötronları çok fazla sayıda protona sahip olan malzemeler ile yavaşlatmak faydalı olacaktır. Çünkü enerjilerinin yüksek bir bölümünü çarpışmayla birlikte benzer kütleli parçacığa aktarabilirler. Nötronların enerji değerlerine göre sınıflandırılması şöyledir;

E>100 MeV : Yüksek enerjili nötronlar
10-20 MeV > E >100-200 keV : Hızlı nötronlar
100 keV >E >0,1 eV: Epitermal nötronlar
E ~ kT~1/40 eV: Termal/Yavaş nötronlar
E~meV~ μeV: Soğuk ve ultra-soğuk nötronlar (Büyük, 2013)

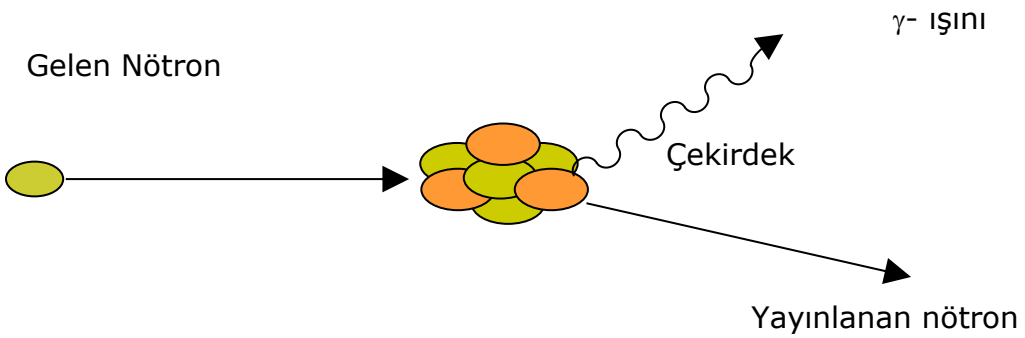
Nötronlar enerjilerine bağlı olarak birçok etkileşmeyi meydana getirirler.

Elastik saçılma; özellikle MeV mertebesindeki yüksek enerjilere sahip olan nötronlar için önemli bir enerji kaybetme mekanizması olarak öne çıkmaktadır. Bu süreçte çarpışan parçacıkların kinetik enerjisi toplamı korunmaktadır. A(n,n)A şeklinde ifade edilir. Burada, 'A' nötronun etkileşimde bulunduğu atomun çekirdeğini ve 'n' ise nötron sembolünü temsil eder. Bu reaksiyonlarda nötron bir atom çekirdeği ile çarpışır, enerjisinin bir kısmını çekirdeğe aktardıktan sonra farklı bir doğrultuda çekirdekten uzaklaşır. Elastik saçılmada çekirdeğin fiziksel yapısında değişiklik olmadığından, elastik saçılma olarak adlandırılır (L'Annunziata, 2003). Şekil 2.4'de nötronun bir çekirdekten elastik saçılması şematik olarak gösterilmektedir.



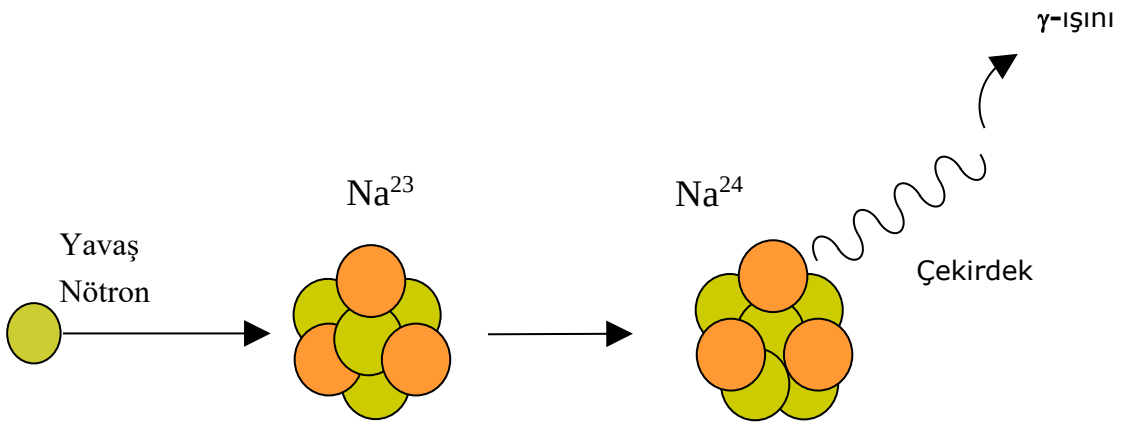
Şekil 2.4. Nötronun elastik saçılmasının şematik gösterimi (Büyük, 2013)

İnelastik saçılma; A (n,n') A* veya A (n,2n') B* şeklinde ifade edilir. İnelastik saçılmada çekirdek uyarılmış duruma geçer ve bu çekirdek daha sonra radyasyonun diğer çeşit formlarını yayabilmektedir. Nötronun çekirdeği uyarması için 1 MeV veya fazla enerjiye sahip olması gerekir. Bu eşik enerjisinin altındaysa, yalnızca elastik saçılma olabilmektedir (L'Annunziata, 2003). Şekil 2.5'te nötronun inelastik etkileşmesi şematik gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Nötronun inelastik saçılmasının şematik gösterimi (Büyük, 2013)

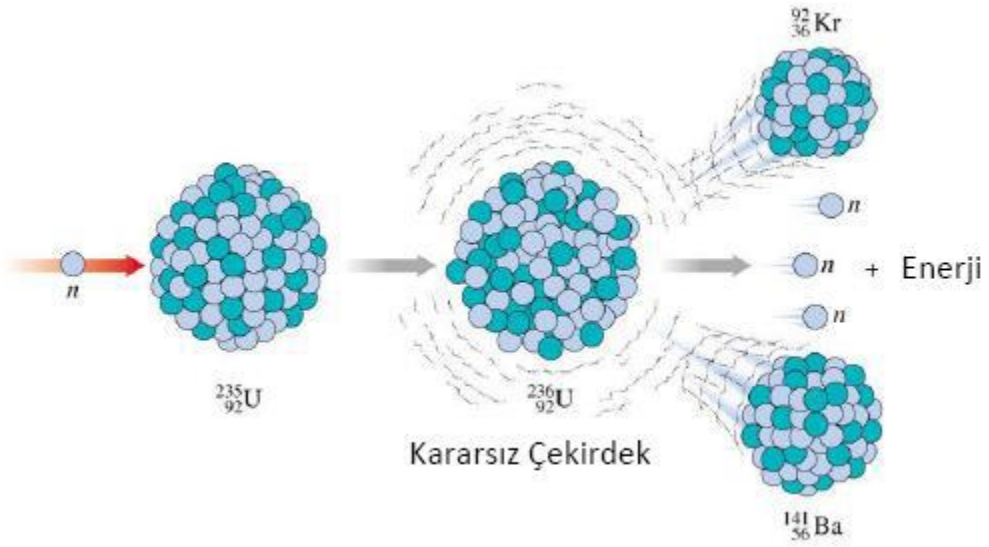
Nötron yakalanması; nötronun atom çekirdekleri tarafından soğurulduktan sonra gerçekleşen reaksiyondur. $n+(Z,A)\rightarrow\gamma+(Z,A+1)$ şeklinde ifade edilir. Düşük enerji de nötron yakalanma olasılığının daha fazla olmasının nedeni aslında nötron yakalanması için tesir kesiti değerinin $\cong {}^{1}/_{v}$ değişimidir. Formülde gösterilen v nötronun hızını ifade eder (L'Annunziata, 2003). Şekil 2.6'da nötron yakalanması olayı şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Nötron yakalanması olayının şematik gösterimi (Büyük, 2013)

Nükleer reaksiyonlar; düşük enerjilere sahip nötronların çekirdek tarafından yakalanması ve buna bağlı olarak yüklü parçacıkların yayınlanmasıyla gerçekleşir. Nükleer reaksiyonlar genellikle elektronvolt ile kiloelektronvolt aralığındaki enerjilerde gerçekleşir (Büyük, 2013).

Fisyon: nükleer enerji üretimi için kullanılan bir yöntemdir. Fisyon sonucunda çekirdek iki veya daha fazla ürün çekirdeği oluşturur. Bu ürün çekirdekleri genellikle farklı elementlerin izotoplarıdır (Büyük, 2013). Şekil 2.7'da Fisyon olayı gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Fisyon olayının şematik gösterimi (Büyük, 2013)

Yüksek enerji hadron sağanağının üretilmesi; parçacık fiziği araştırmalarında ve nükleer reaksiyonların incelenmesinde önemli bir rol oynar. Bu olaylar, parçacıkların etkileşimleri, parçacık fiziği standart modeli ve kozmik ışınların kökeni gibi konularda bilgi sağlamaktadır. Ayrıca, yüksek enerji hadron sağanağı, tıbbi görüntüleme, radyoterapi ve nükleer enerji üretimi gibi uygulamalarda da kullanılabilmektedir.

Nötrinolar; elementler ve parçacıklar arasında yer alan ve zayıf etkileşime tabi olan nötr yüklü parçacıklardır. Standart model adı verilen parçacık fiziği teorisine göre, nötrinolar

üç farklı çeşidi olan ve karışabilen parçacıklardır: elektron nötrinosu (νe), müon nötrinosu (νμ) ve tau nötrinosu (ντ). Bu sebeple çoğu madde içinde çok az etkileşerek ilerler. Nötrinoların tesir kesiti son derece küçüktür, genellikle tesir kesitleri $10^{-43}\mathrm{cm}^2$ gibi değere sahiptir. Nötrinolar, Güneş'te, süpernovaya patlamış yıldızlarda, kozmik ışınlar ve nükleer reaktörlerde üretilir. Nötrinoların doğası ve davranışları, kozmoloji, astrofizik, parçacık fiziği ve nükleer fiziğin araştırma konuları arasında yer almaktadır. Aşağıdaki reaksiyonlar kullanılarak nötrinoların dedeksiyonu yapılabilir.

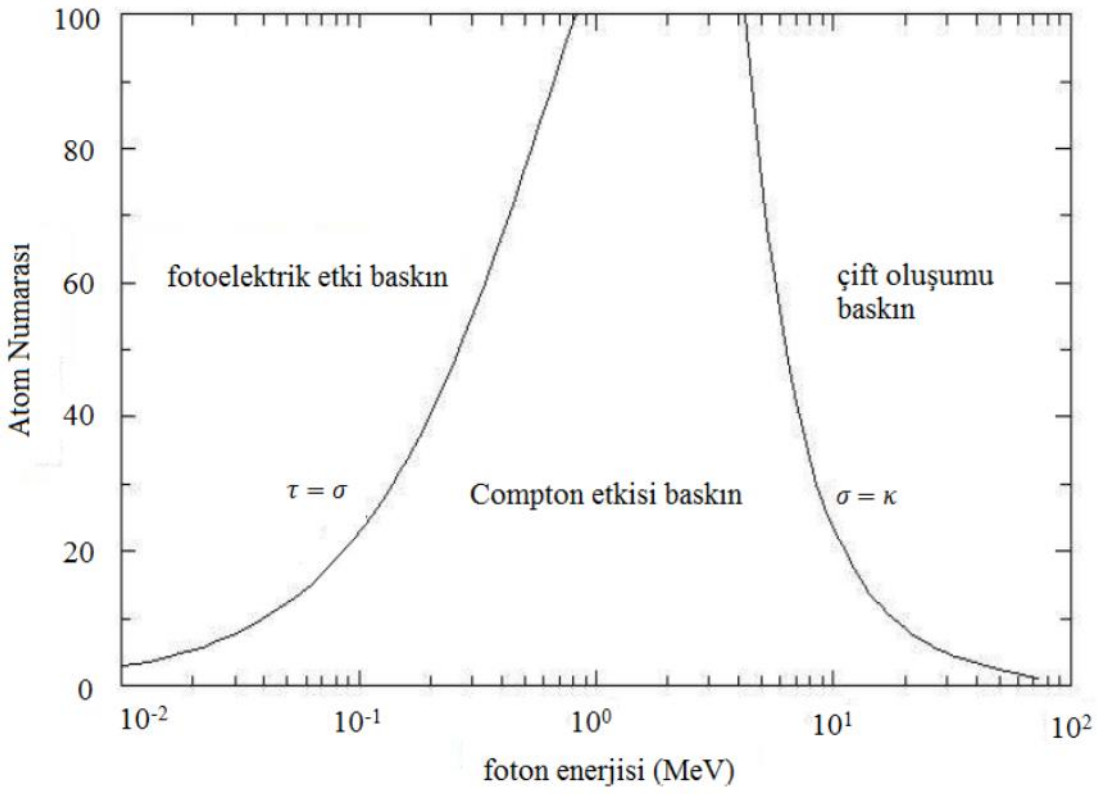
$$p + v_e \rightarrow n + e^+ \tag{2.7}$$

$$n + v_e \rightarrow p + e^- \tag{2.8}$$

Fotonlar; X-ışınları, Gama ışınları ve Bremsstrahlung gibi madde ile birçok şekilde etkileşebilirler ve fotonlar elektromanyetik radyasyonlardır. Elektrik yükleri bulunmayan fotonlar (X-ışını ve Gama ışınları) atom ile etkileşme yaptığında iyonlaşma oluşturur. Elektriksel yükleri olmayan X-ışını ve gama ışınları yüklü parçacıklar gibi Coulomb kuvvetine maruz kalmazlar ve yollarında bulunan parçacıklarla çarpışma yaparlar. Bu durum madde içindeki atomların iyonlaştırmadığı anlamına gelmez. Fotonlar (X-ışını ve Gama ışınları) elektromanyetik kuvvet aktarıcılarıdır ve maddeyle etkileşmeleri iyonizasyon ve ortama enerji aktarma yoluyla gerçekleşir. Fotonların madde içindeki davranışları yüklü parçacıkların madde içerisindeki davranışlarından çok farklıdır.

2.6. Gama Işınlarının Madde ile Etkileşimi

Gama ışınlarının madde ile etkileşimi üç farklı yolla gerçekleşir. Fotoelektrik etki, compton saçılması ve çift oluşumu bu yollardan en önemli olanlarıdır (Şekil 2.8). Diğer etkileşme türleri (Rayleigh saçılması, çekirdekten Thomson saçılması, Delbruck saçılması, Bragg saçılması, Foto bozunum, Mezon oluşumu ve nükleer rezonans saçılması) gama ışını şiddetindeki azalma ve enerji depolanması açısından önemsiz olduğu için genellikle ihmal edilirler.



Şekil 2.8. Üç gama etkileşmesinin etkin olduğu bölgeler ve enerjileri (Doğan, 2015)

Tesir kesiti; bir nükleer yapının etkileşmesinin oluşum ihtimalini gösteren ölçüdür. Radyasyonun madde ile etkileştiği durumlarda, etkileşim yapabileceği yapıya ait aktif bir alan görülür. Bu aktif alan, mevcut etkileşmeye ait tesir kesitidir. Gama ışını atomik elektronlarla etkileşim yaptığında elektronların hareket etmesine rağmen, atomik

elektronlarla etkileşimde aktif elektron bölgesi görülür. Bu bölge, σ_e elektron başına düşen tesir kesiti olarak tanımlanabilir. Birimi alandır. Tesir kesiti biriminin cm^2olmasına rağmen, cm^2'nin büyük bir ölçü olması sebebiyle cm^2 yerine barn birimi kullanılır (1 barn= $10^{-24}cm^2$).

Gelen gama ışını, t kalınlığında bir malzemenin içinden geçerken gösterdiği değişimi, eksponansiyel bir dağılımı göstermektedir. I_0 kaynaktan ayrılan ve detektöre ulaşan gama ışını şiddetini, I ise etkileşme sonrasındaki ortamdan geçen gama ışını şiddetini gösterir.

$$I = I_0 e^{-\mu t} \tag{2.9}$$

şeklinde ifade edilir.

Yukarıda verilen ifade de μ değeri bize lineer zayıflama katsayısını ifade eder ve Denklem 2.10'da verilmiştir.

$$\mu = \sigma \times n \tag{2.10}$$

σ gama ışını tesir kesiti yani gama ışının maddeyle etkileşme yapma olasılığını gösteren semboldür, n olarak gösterilen değer ise birim hacim başına düşen madde içerindeki atom sayısını verir. Bir başka şekilde tesir kesitini ifade etmek gerekir ise, lineer zayıflama katsayısının gama ışının maddeyle yaptığı farklı etkileşme olasılıklarının toplamı olarak söylenilebilir.

$$\mu = \tau + \sigma + \kappa \tag{2.11}$$

Burada; μ: toplam gama lineer zayıflama katsayısı,

τ: Fotoelektrik etkileşme olasılığı

σ: Compton saçılması olasılığı

κ: Çift oluşumu olasılığı

Gama ışınlarının madde ile yaptığı etkileşmelerin tanımları ve açıklamaları aşağıdaki gibidir;

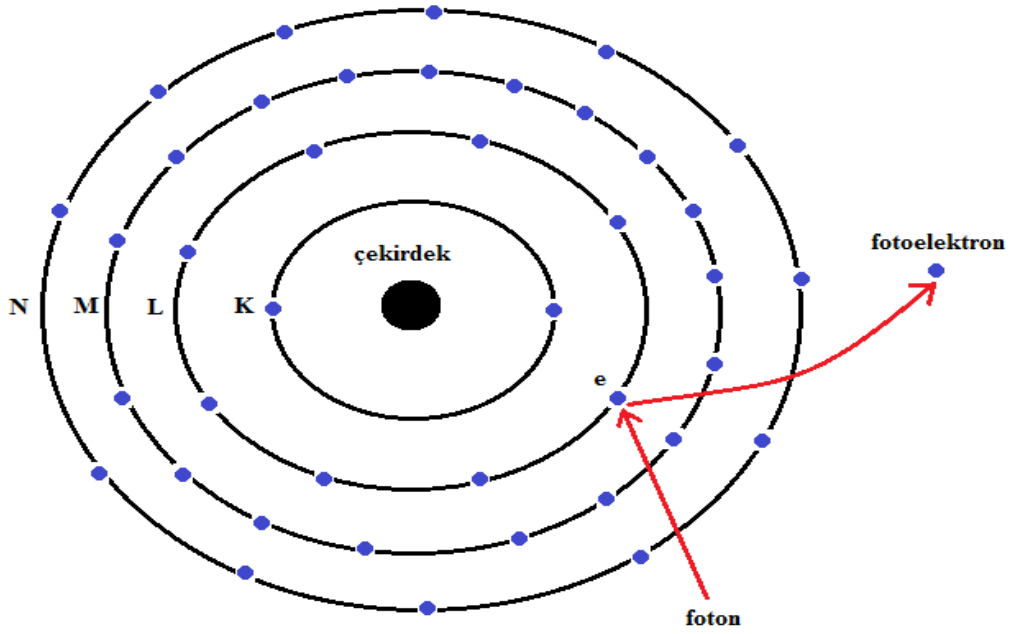
2.6.1. Fotoelektrik olay

Fotonlar, ışık hızında hareket ederler ve durgun kütleye sahip değildirler, yani dinlenme kütlesi sıfırdır. Aynı zamanda dalga-partikül ikiliği olarak da adlandırılan özelliği sayesinde hem dalga hem de parçacık gibi davranabilirler. Fotonların iç yapıları hakkında tam bilgiye sahip olunmamakla birlikte, elektrona benzediği düşünülmektedir. Ancak fotonun fiziksel bir boyutu olmadığı ve alt bileşenlere parçalandığı bilinmektedir. Fotonlar, fotoelektrik olay gibi durumlarda madde ile etkileşime geçebilirler. Fotoelektrik olayda, fotonlar hedef atomların iç yörünge elektronlarıyla etkileşme yapar ve eğer fotonun enerjisi, elektron bağlanma enerjisinden fazla ise elektron yörüngeden fırlatılır. Bu olay sonrasında foton kaybolur ve tüm enerjisini elektrona verir. Boşalan yörüngede başka bir yörünge elektronu tarafından doldurulurken, karakteristik X-ışını yayınlanır. Bu şekilde fotonun etkileşimi sonucunda elektron fırlatılması ve X-ışını yayılması gerçekleşir.

Fotoelektrik olay olması için fotonunun sahip olduğu enerjinin, elektron bağlanma enerjisinden fazla olması gereklidir. Fotoelektrik olayın oluşmasının olasılığı, foton enerjisi ile bağlanma enerjisi arasında küçük bir fark olduğunda artar. Foton enerjisi bağlanma enerjisine çok yakın ise, fotoelektrik olayın oluşma olasılığı azalır (Martin, 2013).

Saçılan foton yoktur. Fotoelektrik olayda ve foton soğrulmuştur. Fotoelektron, madde içerisinde kısa bir mesafede durdurulabilir. Fotoelektrik olay radyasyon ölçümlerinde önemli bir yere sahiptir. Bunu nedeni, gelen gama ışınlarının mevcut enerjisinin hepsinin dedektör içerisinde soğurulabiliyor olmasıdır. Bunun sonucu olarak gelen gama

ışınlarının enerji değerleri doğru bir şekilde ölçülebilir olmaktadır. Şekil 2.9' da fotoelektrik olay gösterilmektedir.

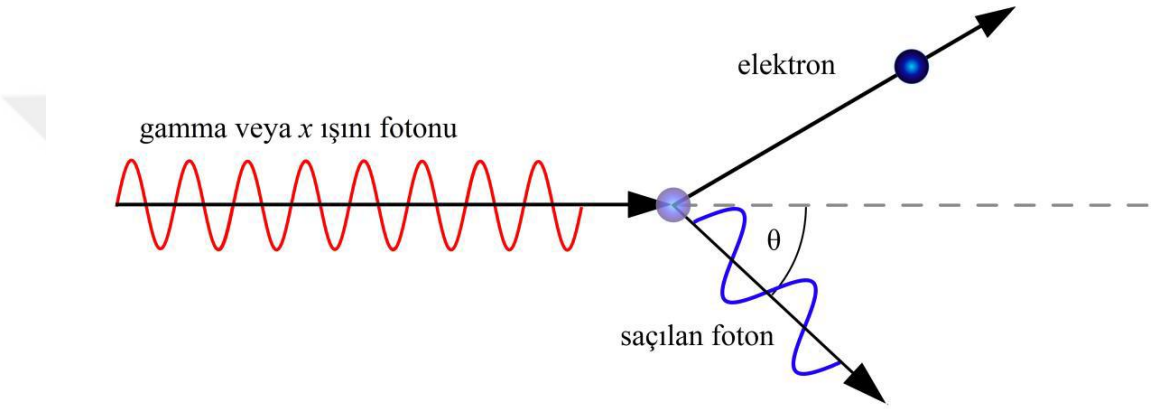


Şekil 2.9. Fotoelektrik olayın şematik gösterimi (Doğan, 2015)

2.6.2. Compton saçılması

Bir etkileşmede, gelen gama ışının enerjisi 0,5 MeV'den büyük olduğu zaman, etkileştiği maddenin zayıf veya serbest elektronlarıyla etkileşebilir. Bu etkileşme gama ışını ve malzemenin elektronları arasında oluşur. Enerjileri yüksek gama ışınları, atomun elektronlarına çarpar ve onu bir doğrultuda fırlatır bu esnada kendi de bir doğrultuda saçılır. Compton saçılması fotonların sadece dalga tabiatları olarak değil parçacık olarak da incelenmesi gerektiğini gösterir ve foton atomun yörünge elektronlarına çarparak onu yörüngesinden fırlatır, bu fırlatılan elektrona Compton elektronu denir. Gelen foton enerjisinin belli bölümünü elektrona aktarır ve bu esnada enerjisini aktaran foton geliş yönünden sapar. Fotonda kalan enerjiyi başlangıç enerjisi ve sapma açısı belirler. Saçılma açısı ne kadar küçük ise enerjisi de o kadar korunmuş olur.

Yüksek enerjili fotonlar, Compton saçılması ile enerjilerini azaltırlar. Bu süreçte foton, atomdaki serbest veya zayıf bağlı elektronlarla çarpışır ve enerjisinin bir kısmını elektronlara aktarır. Ancak, Compton saçılmasıyla fotonun enerjisi belirli bir seviyeye düştüğünde, artık fotoelektrik etki ile absorbe edilir. Gerçekleşen esnek çarpışma esnasında enerji ile momentum değeri korunur. Etkileştiği maddenin atomlarının yörünge elektron sayısı arttıkça Compton olayının olma ihtimalide yükselir. Şekil 2.10'da Compton saçılması şematik olarak gösterilmiştir.



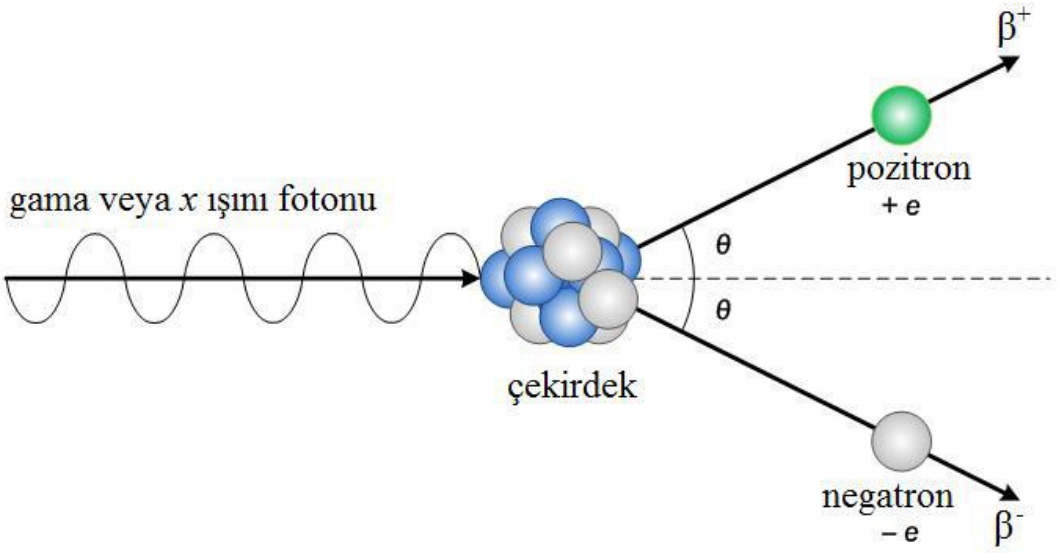
Şekil 2.10. Compton saçılmasının şematik gösterimi (Url-4, 2023)

2.6.3. Çift oluşumu

Yeterli enerjiye sahip olan foton, madde aracılığıyla soğurulur ve zıt yüklü elektrik parçacıkları oluşturur. Çift oluşumu kısaca fotonun elektron-pozitron çiftine dönüşmesidir. Momentumun korunması için bu olay üçüncü bir cismin varlığında ortaya çıkar. Elektronun kütlesi, pozitronun kütlesine eşit olduğunda, elektron-pozitron çift oluşumu için $h\nu = 2\, m_e c^2 = 1{,}02\ \text{MeV}$ eşik enerjisi değeri olur.

Yani yukarıdaki denklemden anlaşılacağı üzere çift oluşumunun oluşabilmesi için fotonun geliş enerjisi değerinin 1,02 MeV'dan büyük olması gereklidir. Fotonun enerji değeri yeterince büyükse ve foton atom çekirdeğine yakın mesafeden geçerse, çekirdeğin

yakın mesafesinde aynı anda biri negatif yüklü olan elektron diğeri ise pozitif yüklü olan pozitron olmak üzere çift oluşumuna neden olur (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Çift oluşumunun şematik gösterimi (Url-5, 2023)

2.7. Sintilasyon Dedektörleri

Sintilatör materyaller, katı, sıvı ve gaz biçimlerinde olup radyasyon kaynağının geçtiği yerde iyonizasyon yaparak, ışık parıldamaları ya da kıvılcımları meydana getiren malzemelerdir. İlk olarak parçacık dedeksiyonu için katı malzeme olarak kullanılan dedektör, sintilasyon dedektörleridir. 1903 yılında William Crookes ZnS tabanlı bir ekrana alfa parçacıklarını çarptırarak, parıldamaların (sintilasyonlar) oluştuğunu gözlemlemiştir. 1910 yılında Rutherford'da benzer deneyler yapmıştır ancak bu yöntemin etkisiz olması ve zaman tüketimi açısından sayımın sıkıntılı olması nedeniyle 30 yıl rafa kaldırılmıştır. Elektronik teknolojisinin gelişmesi ile, amplifikasyon/yükseltici araçlar, sintilatörlerin elektrik sinyallerini yükseltilmesini sağlayarak, tekrardan bu yönteme geri dönüşü sağlamıştır.

Sintilatörler, radyasyon veya parçacık etkileşimden kaynaklanan ışığı üreten maddelerdir. Ürettikleri ışık miktarı genellikle düşüktür. Sintilatörlerde üretilen ışığın yükseltilmesi gerekmektedir. Sintilatörlerde üretilen ışığın yükseltilmesi ve çoğaltılması için fotoçoğaltıcı tüp kullanılır. Fotoçoğaltıcı tüp az miktardaki ışığı alarak bunu defalarca yükseltir ve çıkışında yüksek bir puls haline getirilir. Fotoçoğaltıcı tüp, içerisinde bulunan fotoelektron çarpmaları ve çoğalma süreçleri ile ışığı artırır.

Sintilasyon dedektörlerinin işlemleri iki başlıkta toplanmaktadır;

•Sintilatörün, gelen radyasyonun enerjisini soğurması ve elektromanyetik spektrumda görünür ışık bölgesinde, foton üretmesi,

•Fotoçoğaltıcı tüp tarafından ışığın yükseltilmesi ve çıkış pulsun oluşturulması.

Sintilatör dedektörler tür olarak üçe ayrılmaktadır;

1. Gazlı sintilatörler
2. Organik sintilatörler
3. İnorganik sintilatörler

2.7.1. Gazlı sintilatörler

Gaz dolu dedektörler veya iyonizasyon dedektörleri, radyasyonun neden olduğu iyonizasyon akımını ölçen dedektörlerdir. Bu dedektörler, gaz ortamında iyonlaştırıcı radyasyonun neden olduğu iyonları tespit ederler. İyonlaştırıcı radyasyonun gaz ortamı içerisinde oluşturduğu iyonlar, elektrik olarak yüklü parçacıklardır. Genellikle hava, helyum, argon gibi gazlar yüksek basınca sahip silindirik bir kap içerisi doldurulmuştur. Bu gazlar pozitif elektrot ve negatif elektrot olarak bilinen iki elektrotun arasına sıkıştırılır. Zıt yüklü olan iki elektrot arasında bir elektrik alan oluşturulur ve iyonlaştırıcı radyasyon gaz molekülleriyle etkileşerek gazı iyonlarına ayırır. Pozitif iyonlar katot tarafına, negatif iyonlar anot tarafına doğru göç eder ve bu süreçte iyon ya da iyonizasyon akımı oluşur. Oluşan iyon akımın şiddeti gelen radyasyonun şiddeti ile orantılıdır. Gaz dolu dedektörler, pozitif ve negatif elektrotlar arasındaki uygulanan gerilim farkına göre; iyon odası, orantılı sayaç ve Geiger dedektörleri olarak üç farklı şekilde sınıflandırılabilir;

İyon odası; radyasyonun oluşturduğu iyonizasyonu algılamak için kullanılan bir tür dedektördür. İyon odaları, radyasyonun geçtiği bir gaz ortamında elektron ve iyon oluşumunu tespit ederek radyasyonun varlığını ve yoğunluğunu ölçer. İyon odaları, radyasyonun zaman içindeki iyonizasyon oluşum hızının yavaş olduğu durumlarda kullanılır. Bu durumlarda, direkt akım ölçümü uygun olmayabilir. Bu yüzden de iyon odaları puls tipi çalışma modunu tercih eder. Puls tipi çalışma modunda, iyon odası, radyasyonun anlık etkileşimlerini algılayarak hızlı darbeler veya "puls" şeklinde sinyaller üretir. Bu sinyaller daha sonra işlenerek ortalama şiddet hesaplanır. İyon odalarında çoğunlukla atmosfer basıncında ve hava gibi bir gaz kullanılır. Hava, kolayca elde edilebilir ve iyonizasyon olayları için uygun bir ortam koşulu sağlar. Bu süreçte, diğer gazlar da kullanılabilir, ancak belirli uygulamalara ihtiyaç vardır. Doz hızı ölçüm cihazları, radyasyon alan dedektörleri, doz kalibratörleri ve cep dozimetreleri gibi cihazlar, iyon odası prensibiyle çalışan radyasyon ölçüm cihazlarıdır. Bu cihazlar, radyasyonun doz hızını veya dozunu ölçmek, radyasyon alanının belirlenmesi veya doz

kalibrasyonu yapmak, kişisel maruziyet dozunu izlemek gibi çeşitli uygulamalarda kullanılır.

Orantılı sayaçlar; gelen radyasyonun orijinal iyon çiftleriyle gaz atomları arasındaki etkileşimlerine dayanır. Farklı enerjilere sahip radyasyon kaynakları, iyonlaşma sonucunda oluşan elektrik akımının farklı olmasına neden olur. Bu sayede orantılı sayaçlar, radyasyonun enerjisini ayırt etme yeteneğine sahiptir. Orantılı sayaçların çalışma voltajı orantılı bölgede bulunur, yani gaz içindeki iyonlar ve elektronlar arasındaki orantılı çoğalma bölgesinde çalışır. Bu nedenle, anottaki yük miktarı ve voltaj pulsu büyüktür. Yüksek alan şiddeti, yüksek hassasiyet sağlar. Bu tür dedektörlerle, düşük enerjili X ve gama ışınları ve alfa parçacıklarının ölçümü yapılabilir. Alfa parçacıklarının ölçümü için, orantılı sayaçlarda alfa parçacıklarının geçişine izin veren naylon veya mikadan yapılmış ince bir pencere kullanılır. Ayrıca, orantılı sayaçlar alfa ve beta radyasyonlarını ayırt etme yeteneğine sahiptir. Alfa parçacıkları büyük yüklere sahip olduğu için gaz içinde daha fazla iyonizasyon oluşturur ve daha yüksek bir elektrik akımı üretir. Beta parçacıkları ise daha küçük yüklere sahiptir ve gaz içinde daha az iyonizasyon oluşturur, bu nedenle daha düşük bir elektrik akımı üretirler. Bu farklılık sayesinde orantılı sayaçlar, alfa ve beta parçacıklarını birbirinden ayırt etme yeteneğine sahiptir.

Geiger Müller; yüksek gerilim ile çalışan iyon odalarıdır. Uygulanan yüksek gerilim nedeniyle Geiger-Müller dedektörleri, radyasyonun enerjisinden bağımsız olarak bir sinyal üretirler. Bu dedektörler, düşük enerjili X ve gama ışınlarının yanı sıra az iyonizasyona neden olan yüklü parçacıkların ölçümü için kullanılır. Geiger-Müller dedektörleri, parçacık enerjisinin ölçülmesi veya parçacık türlerinin ayrımı için uygun değildir. Bu dedektörlerin ana kullanım amacı, radyasyonun varlığını tespit etmek ve radyoaktif kirlenmenin tespit edilmesidir. Geiger-Müller dedektörleri, odanın önüne yerleştirilen bir zırh kullanarak beta parçacıklarının tutulmasını sağlar, böylece yalnızca gama ışınları sayılabilir. Bu zırh, beta parçacıklarının dedektöre ulaşmasını engeller ve sadece gama ışınlarına yanıt verilir. Survey metre ve alan monitörleri gibi radyasyon ölçüm cihazları, Geiger-Müller tipi dedektörlere sahiptir. Bu cihazlar, radyasyon

seviyelerini hızlı ve etkili bir şekilde tespit etmek ve radyasyon alanının ölçümünü yapmak için kullanılır. Örneğin, nükleer santrallerde, tıbbi ortamlarda, endüstriyel kullanımlarda ve radyasyon güvenliği kontrollerinde yaygın olarak kullanılırlar.

2.7.2. Organik Sintilatörler

Aromatik hidrokarbon bileşiklerden oluşan ve moleküler uyarım sonucu sintilasyon ışığı yayınlayan malzemelerdir. Bu sintilasyon ışığı, organik bileşenlerin moleküler seviyede enerji seviyelerindeki geçişlerden kaynaklanır. Organik sintilatörlerin önemli bir özelliği, çok hızlı bozunma sürelerine sahip olmalarıdır. Bu bozunma süreleri genellikle birkaç nano saniye veya daha kısadır. Bu hızlı bozunma süreleri, sintilasyon ışığının hızlı bir şekilde yayılmasını sağlar. Floresans mekanizması, organik sintilatörlerdeki moleküler seviyedeki enerji geçişlerine dayanır. Organik bileşenlerin elektron yapıları, belirli simetri özelliklerine sahip olan π elektron sistemlerini içerir. Elektronlar, bu π elektron orbitallerini işgal ederler ve enerji seviyelerindeki geçişler sonucunda floresans ışığı yayılır. Bu floresans, fiziksel durumdan bağımsız olarak gözlenebilir ve organik sintilatörlerin kullanımını sağlar. Organik sintilatörler, radyoaktif parçacıklar veya fotonlar ile etkileştiğinde sintilasyon ışığı yayarak enerjiyi algılar. Bu özellikleri nedeniyle, nükleer tıp, parçacık fiziği ve radyasyon dedektörlerinde yaygın olarak kullanılırlar. Organik sintilatörler, yüksek verimlilik, hızlı tepki süresi ve iyi enerji çözünürlüğü gibi avantajlara sahiptir, bu da onları radyasyon algılama ve analiz uygulamalarında önemli hale getirir.

2.7.3. İnorganik sintilatörler

İnorganik sintilatörlerin çoğu alkali metal kristalleridir. Örnek olarak;

NaI(TI)
CsI(Tl)
CaI(Na)
CaF2(Eu)

İnorganik sintilatörlerin lüminesansı, kristalin yasak enerji bandı veya izin verilen enerji bantları gibi terimsel ifadelerle anlaşılabilmektedir. Radyasyonla etkileşim sonucu, sintilatör kristalindeki elektronlar enerji seviyelerinde yükselir ve daha sonra orijinal hallerine dönerken fotonlar yayılır. Bu yayılan fotonlar, sintilatörün lüminesans özelliğini oluşturur ve algılanabilir hale gelir. Atomların elektronik enerji seviyeleri kesikli enerji seviyeleri olarak tanımlanır. Kesik çizgilerle ifade edilen enerji seviyesi diyagramlarında, atomların belirli enerji seviyelerinde elektronlar bulunur. Elektronların geçebileceği enerji düzeyleri arasında boşluklar bulunur ve bu boşluklara bant denir. Kristal yapıdaki bir malzemenin temel enerji seviyesinde, en üstteki bant tamamen elektronlarla doldurulmuş durumdadır. Bu bant valans bandı olarak adlandırılır. Valans bandı, atomların en dış orbitalindeki valans elektronlarının bulunduğu banttır. Potansiyel fark uygulanırsa, elektronlar daha üst enerji düzeylerine çıkabilir. Bu durumda yüksek enerji düzeylerinde boşluklar oluşur ve elektronlar bu boşlukları doldurarak iletkenlik sağlar. Bu bant, elektronların rahatça hareket edebildiği banttır ve iletkenlik bandı olarak adlandırılır. İletkenlik bandı, malzemenin iletkenlik özelliğini belirler.

Bazen de elektrona verilen enerji, iletkenlik bandına geçmesi için yeterli olmayabilir ve bunun yerine elektron valans bandında elektrostatik Coulomb kuvveti ile holde kalabilmektedir.

Yarı-iletkenlerde uyarılma ile oluşturulan elektron-deşik çifti tümüyle birbirinden bağımsız değildir. Coulomb etkileşmesinden dolayı elektron ve deşik birbirine bağlıdır. Bağlı olan bu elektron-deşik çiftine eksiton denir. Enerji seviyeleri açısından eksiton, elektronun valans bandıyla iletkenlik bandı arasında kalmasını sağlayan olaydır. Böylece eksiton seviyeleri iletkenlik bandının daha alt seviyelerinde yer alır. Eksiton bandının genişliği, valans ve iletkenlik bandı arasındaki yasak bantın genişliğinden daha küçüktür. Ayrıca, eksiton seviyeleri, kristalde safsızlık ve kusur sebebiyle de oluşabilir. Önemli enerji seviyeleri talyum gibi aktivatör atomlar sayesinde oluşturulur. Aktivatör atomlar taban seviyede ya da uyarılmış seviyede var olabilmektedir.

Sintilasyon üretimi aşağıdaki durumlar sonucunda açığa çıkmaktadır:

- İyonize radyasyonun kristale girmesi
- Elektronların iletkenlik bandına çıkması
- Valans bandında hollerin oluşturulması
- Eksitonun meydana gelmesi
- Aktivatör merkezlerinin, elektron, hol ya da eksiton soğurması ile uyarılmış seviyeye çıkması
- De-eksitasyon foton emisyonu ile takip edilmesi.

Sintilatörlerden ışığın yayınlanması, birincil olarak kristalin değil, aktivatör atomlarının aktarımı sonucu oluşmaktadır. Gelen radyasyonun enerjisi kristal örgüye giderek sonunda ısıya dönüşür. Sintilatör kristalindeki aktivatör atomları ile gerçekleşen lüminesans üretimi, enerjinin ana kristalden safsızlığa aktarılmasının sonucudur. NaI(TI) sintilatörleri için, gelen enerjinin yaklaşık olarak % 12 si talyum lüminesansı olarak açığa çıkar. Işığın çıkış şiddeti ve yayınlanmış ışığın dalga boyu, herhangi bir sintilatörlerin iki önemli özelliğidir. Işık çıkışı, sintilatörden yayılan ışığın yoğunluğunu ve şiddetini belirlemektedir ve fotoçoğaltıcı tüpte üretilen fotoelektron sayısını etkiler.

NaI(TI) Dedektörü; gama ışınlarının doğasını anlamak ve ölçüm yapabilmek açısından çok kullanışlı bir dedektördür. Tek kristallerden üretilmiş olması, dedektörün yüksek kalite kristal yapısını sağlar. 0,75 m çapında ve 0,25 m kalınlığında olmak üzere belirli bir boyutu vardır. Yüksek yoğunluğu ($3{,}67 \times 10^3$ kg/m^3) sayesinde gama ışınları ile etkileşimi daha etkilidir. Yüksek atom numarası ve geniş bir hacmi, dedektörün gama ışınlarını daha verimli bir şekilde algılanmasını sağlar. Bu sebeple, geniş hacim gerektiren deneylerde tercih sebebi olan bir dedektördür. NaI(TI) dedektörünün yaydığı ışık spektrumu, 410 nm'de pik yapar. NaI(TI) dedektörünün ışık dönüşüm veriminin en yüksek olduğu noktadır. Oldukça kırılgan ve hassas olup sıcaklık değişim ve termal şoktan da etkilenebilmektedir. Ayrıca higroskopiktir ve kapalı tutulmalıdır.

NaI sintilatorlerinde Talyum (Tl) aktivatör olarak kullanılarak foton yayınlanma olasılığı arttırılır. Bu tip katkılı sintilatörlere genellikle "Tl-activated NaI" veya "NaI(Tl)" denir. Saf bir NaI kristalinde valans bandı ile iletim bandı arasında boş enerji seviyeleri bulunmazken, Tl aktivatör kullanıldığında bu bölgeye ilave elektron durumları eklenir. Tl atomlarının eklenmesi, iletim bandından valans bandına geçiş yapan uyarılmış elektronlar için bir enerji geçiş yolunu sağlar. Bu durumda, uyarılmış elektronlar aktivatör maddesinin uyarılmış enerji seviyesinden taban duruma inerken, daha düşük enerjili fotonların yayılma olasılığı ortaya çıkar. Sonuç olarak, katkılı sintilatörler enerjisi daha. Katkılı sintilatörlerin bir diğer avantajı, daha büyük kristallerin yapılabilmesidir. Büyük kristaller, daha fazla gama ışınını emebilir ve daha yüksek bir dedektör verimliliği sağlar. Buda, bir kaynaktan gelen gama ışınlarını gözlemleme olasılığını artırır. NaI(TI) sintilatörler, radyasyon algılama ve spektrometri uygulamalarında yaygın olarak kullanılan etkili dedektörlerdir. Talyum aktivasyonu, sintilatör performansını iyileştirerek enerji tespiti ve doğruluğunu artırır (Krane, 1988).

CsI(TI); CsI kristali üzerine talyum aktivatörü eklenerek oluşturulan sintilatörlerdir. Bu dedektörlerin yoğunluğu $4{,}51 \times 10^3$ kg/m^3'dür ve atom numaraları NaI'den daha büyüktür. Oda sıcaklığında ışık dönüşüm verimi, NaI (Tl) yaklaşık %45 'ine kadar olan bir etkinliğe sahiptir. CsI(Tl) dedektörleri higroskopik değildir ve NaI'ye göre daha plastik ve yumuşak bir yapıya sahiptir. Emisyon spektrumu 420-600 nm arasında genişlik gösterir.

CsI(Na); Atom numarası ve yoğunluğu CsI(TI) ile hemen hemen aynıdır. Gama ışınlarını görünür ışığa dönüştürme verimi, NaI'nin %85 'ine kadar olan bir etkinliğe sahiptir. CsI(Na)'nın emisyon spektrumu 320-540 nm arasında farklılık gösterebilir. Bu nedenle, CsI(Na) sintilatörleri çoğunlukla 320-540 nm aralığındaki dalga boylarında çalışan dedektörler için tercih edilir. Ayrıca, hafif higroskopik bir yapıya sahiptirler, bu yüzden kapalı bir ortamda saklanmaları tavsiye edilir.

CaF2 (Eu); CsI(Na)'ya göre daha düşük atom numarası ve yoğunluğu olan malzemedir. Bu sebeple, gama hassasiyeti CsI(Na) sintilatörlerinde olduğundan daha düşüktür. Fakat, beta ve X-ışınları dedeksiyonu için CaF2(Eu) dedektörleri uygundur. Görünür ışığa dönüştürme verimi, NaI sintilatörlerinin yaklaşık %50' si kadar olan bir etkinliğe sahiptir. Emisyon spektrumu ise 405-490 nm arasındadır.

2.8. Gama Işını Zırhlama Parametreleri

Radyasyon zırhlaması için kullanılacak malzemeler homojen yoğunluğa ve içeriğe sahip olmalıdır. Bunun yanında radyasyonu zırhlamak için kullanılan malzemelerin radyasyon dozunu güvenli bir seviyeye düşürmek için yeterli bir kalınlıkta üretilmesi gerekmektedir. Bir malzemenin özellikle gama ışını zırhlama kabiliyetini belirlemek ve başka malzemelerle kıyaslayabilmek için;

Lineer zayıflatma katsayısı, kütle zayıflatma katsayısı, ortalama serbest yol (MFP), yarı değer kalınlığı (HVL) ve onda bir değer kalınlığı (TVL) gibi parametrelerin bilinmesi gereklidir.

Lineer ve Kütle Zayıflatma katsayıları**:** Radyasyon bir madde ortamından geçerken önceki bölümlerde bahsedildiği gibi madde-foton etkileşmelerini yaparak şiddetini azaltır. Tekrar etmek gerekir ise Gama ışınları ve X-ışınları malzemeden geçer iken Fotoelektrik olay, Compton saçılması, Çift oluşumu yapalar ve bu etkileşmeleri yaparken ışın demetinin şiddetinde azalma olur ve bu azalma eksponansiyeldir. Şiddeti başlangıçta I_0 olan bir foton, kalınlığı dx olan bir malzemeden geçerken şiddetinde dI kadar bir değişim olmaktadır. Ayrıca radyasyon şiddetindeki azalmanın, fotonun etkileşerek ilerlediği zırhlayıcının kalınlığıyla doğru orantılı olduğu düşünülür ise şiddetin mesafeyle azalışı da Denklem (2.12)'deki gibi olur.

$$-\frac{dI}{dx} = \mu I_0 \tag{2.12}$$

Denklem (2.12) sonlu bir x kalınlığı için integral alındığında, dar bir foton demetinin x kalınlığındaki bir zırhlayıcıdan geçer iken radyasyon şiddetinde olan değişim Denklem (2.13) ile hesaplanır.

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x} \tag{2.13}$$

Denklem (2.13) " Lambert-Beer yasası" olarak bilinir. I_0 gelen ışın demetinin" şiddetini, I(x) soğurucu ortamın x kalınlığından geçer iken radyasyon şiddetini verir. Soğurucu ortamın kütle yoğunluğuna (ρ) bağlı olarak ise kütle azaltma katsayısı μ_m parametresi tanımlanır. Kütle zayıflatma katsayısı, zırhlama malzemesinin monoenerjik bir fotonla birim hacim başına yaptığı toplam etkileşim olasılığını temsil eder. Lineer zayıflatma katsayısının malzemenin yoğunluğuna oranı kütle azaltma katsayısını vermektedir ve bu katsayının birimi cm^2/g'dır.

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \tag{2.14}$$

Ortalama serbest yol: Radyasyon madde etkileşimi sırasında madde içinden geçerken radyasyonların arka arkaya meydana getirdiği iki etkileşim arasındaki ortalama mesafe ortalama serbest yol (MFP) olarak bilinir. Ortalama serbest yol birimi cm'dir.

$$MFP = \frac{1}{\mu} \tag{2.15}$$

formülü ile hesaplanır.

Yarı Değer Kalınlığı (HVL) ve Onda Bir Değer Kalınlığı (TVL); Madde ortamında etkileşen tek enerjili radyasyonun malzemeye girmeden önce sahip olduğu başlangıç şiddetini (I_0) yarıya düşürmek ($I = \frac{I_0}{2}$) için kullanılan malzeme kalınlığı için yarı değer kalınlığı (HVL) denir. HVL, malzemeye gelen fotonların şiddetinin yarısına düştüğü kalınlığı tarif etmesi nedeniyle, bir malzemenin radyasyon zırhlama performansı değerlendirilirken kullanılan önemli bir parametredir. Herhangi bir zırhlayıcının tek enerjili radyasyon demeti için yarı-değer kalınlığı;

$$HVL = \frac{ln(2)}{\mu} \tag{2.16}$$

formülü ile hesaplanır.

Benzer biçimde zırhlayıcıdan geçen radyasyon şiddetini başlangıç seviyesindeki radyasyon şiddetinin onda birine düşürmek için kullanılan kalınlık ise onda bir değer kalınlığı (TVL) olarak isimlendirilir. Bu parametre ise;

$$TVL = \frac{ln(10)}{\mu} \tag{2.17}$$

formülü ile hesaplanır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyaller

Tasarım ve üretim gibi çok farklı uygulamalarda kullanılabilecek zırh malzemesi bulunur. Bu malzemeleri açıklamak gerekir ise, bakır, alüminyum, sac, dökme demir ve pirinç gibi günlük hayatta kullandığımız sıradan malzemelerin yanı sıra, daha yüksek performansa sahip ve yenilikçi malzemeler de zırh uygulamalarında kullanılabilir. Örnek olarak, performansı yüksek çelikler, süper iletkenler, kompozitler ve akıllı malzemeler verilebilir. Örnek verilen bu malzemeler, gelişmiş özellikleri nedeniyle zırh uygulamalarında kullanılan malzemelerdir. Bu malzemelerin tasarımı ve üretimi, zırhın performansını artırmak ve etkili koruma sağlamak için önemlidir. Doğru malzeme seçimi ve seçilen malzemeyi de uygun yöntemler ile üretip uygulamaya almak mühendis ve bilim insanlarının karşılaştıkları önemli sorunlardan biridir. Bu sebeple malzemeleri incelerken sınıflandırma daha uygun olacaktır. Malzemeler kendi aralarında ya da farklı malzemeler ile bazı özellikleri göz önüne alınarak sınıflandırılabilir;

Bileşenlerine göre, tek atomlu malzemeler (saf metaller), çok atomlu malzemeler (moleküler bileşikler), karışım (birden fazla bileşenden oluşan malzemeler) ve alaşım (metalik elementlerin birleşimiyle oluşan malzemeler) olarak malzemeleri sınıflandırılabiliriz.

Bağ yapılarına göre, iyonik bağlı malzemeler (elektron transferiyle oluşan malzemeler), kovalent bağlı malzemeler (elektron paylaşımıyla oluşan malzemeler), iyonik-kovalent arası malzemeler (hem iyonik hem de kovalent bağlar içeren malzemeler) ve metalik malzemeler (serbest elektronlara sahip malzemeler) olarak sınıflandırabiliriz.

Bileşenlerinin dizilimine göre, camsı malzemeler (düzenli bir atomik dizilime sahip olmayan malzemeler), kristal malzemeler (düzenli bir atomik dizilime sahip olan malzemeler), yarı kristalin malzemeler (kısmen düzenli bir atomik dizilime sahip malzemeler) ve amorf malzemeler (hiçbir düzenli atomik dizilime sahip olmayan malzemeler) olarak sınıflandırma yapabiliriz.

Elektriksel özelliklerine göre, iletken malzemeler (elektriği iyi ileten malzemeler), yarıiletken malzemeler (elektriği kısmen ileten malzemeler), yalıtkan malzemeler (elektriği iletmeyen malzemeler), ve süper iletken malzemeler (düşük sıcaklıklarda elektriği dirençsiz ileten malzemeler) olarak sınıflandırma yapabiliriz. Gruplandırma yapılırken malzemelerin benzerlik oranı ve karmaşıklığı göz önünde bulundurularak, daha basit ve anlaşılır sınıflandırma yöntemleri tercih edilmelidir. Bu şekilde malzemeler arasındaki ilişkiler daha kolay anlaşılabilir ve karşılaştırma yapılabilir.

Bu tez çalışmasında 4 farklı radyoaktif kaynak ve 12 farklı soğurucu numune kullanılmıştır. Numunelerin her biri uygun proses koşullarında üretilmiş ve üretim verileri kayıt altına alınmıştır.

Bu tez çalışmasında kullanılan numunelerin görseli Şekil 3.1'deki gibidir.



Şekil 3.1. Tez çalışmasında kullanılan numunelerin genel görünümü

3.1.1. Bakır

Bakır, insanlık tarihinde önemli bir dönüm noktasını temsil eden ve taş devrinden tunç devrine geçişin başlangıcını simgeleyen bir metaldir. Taş devrinde insanlar genellikle taş aletler kullanırken, bakırın keşfi ve kullanımıyla birlikte metal çağı başlamıştır. Bakır

günümüzde hala büyük bir öneme sahiptir ve farklı alanlarda kullanımı ile tarihten bugüne kadar geçen süreçte insanlığın yaygın kullandığı metallerin biri olmuştur. İyi elektrik ve iyi ısı iletiminin olması, korozyona karşı dayanıklı olması ve kolay işlenebilirlik ve estetik görünümü bakırın çeşitli endüstrilerde ve uygulamalarda geniş bir kullanım alanına sahip olmasını sağlar. Ancak, bazı özel uygulamalarda veya belirli gereksinimleri karşılamak için başka metaller de tercih edilebilir.

Bakır, yüksek elektrik iletkenliği ve ağırlığıyla bilinen bir metaldir. Periyodik tabloda yer alan 1B geçiş metal grubu elementlerindedir. Bakırın manyetik özelliği yoktur. Yoğunluğu 8,93 g/cm^3'dür. Atom numarası 29'dur. Bakırın ergime noktası 1083 °C'dir. Kaynama noktası ise 2595 °C'dir.

Bu tez çalışmasında kullanılan bakır numunelerin her birinin kalınlığı 1 mm'dir.

Çizelge 3.1. Bakır numunesine ait kimyasal bileşim tablosu

Malzeme	Alaşım elementleri										
Bakır	Cu	Pb	Sn	Zn	Fe	P	Ni	Sertlik		Kalınlık	
	99,979	0,002	0,0097					Min.	Max.	Min.	Max.
								48	52	0,10mm	0,11mm

Bakır numunelerine ait görsel Şekil 3.2'deki gibidir.



Şekil 3.2. Bakır numunesinin görseli

3.1.2. Alüminyum

Tarih boyunca teknik özelliklerinden kaynaklanan avantajları nedeniyle geniş bir kullanım alanına sahip olmuş ve günümüzde kullanımı artmaya başlamıştır. Alüminyumun kullanımı otomotiv endüstrisinden inşaata, ambalajlamadan elektrik ve elektronik sektörüne kadar geniş bir yelpazede yaygınlaşmıştır. Hafifliği, dayanıklılığı, elektriksel ve ısısal özellikleri, geri dönüştürüle bilirliği ve diğer birçok avantajı nedeniyle alüminyum, modern endüstrinin önemli bir malzemesi haline gelmiştir. Böylece, alüminyumun önemini günümüzde her geçen gün artmıştır. Alüminyum, yüksek saflıkta (%99) olduğundan yumuşak ve kolay işlenebilir bir malzemedir. Alüminyum iyi bir ısı ve elektrik iletkenidir ve yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır. Korozyona karşı mukavemeti çok yüksektir.

Alüminyum 3A grubunda yer alan ve metalik özelliklere sahip bir elementtir. Doğada genellikle bileşik halinde bulunur. Alüminyum düşük yoğunluğa sahip bir metaldir ve yoğunluğu yaklaşık 2,69 – 2,72 g/cm^3'tür. Alüminyum atom numarası 13'tür ve atom ağırlığı yaklaşık olarak 26,98 akb'dir. Ergime noktası 659,7 °C', kaynama noktası 2057 °C'dir. Beyaz renkli bir metalik elementtir.

Bu tez çalışmasında Alüminyum numunelerinin her birinin kalınlığı 2 mm'dir

Çizelge 3.2. Alüminyum numunesine ait kimyasal bileşim tablosu

Malzeme	Alaşım elementleri										
Alüminyum	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ti	Zn	Al	Çekme MPa	Akma MPa	Uzama
	0,104	0,242	0,011	0,227	2,668	0,018	0,018	96,712	258	179	15,6

Alüminyum numunelerine ait görsel Şekil 3.3'teki gibidir.



Şekil 3.3. Alüminyum numunelerinin görseli

3.1.3. Sac numunesi

Gün geçtikçe artan rekabet koşulları sebebiyle, üretimde ekonomik ve pratik oluşun ön planda tutulduğu günümüz teknolojisinde sac metaller; döküm, dövme ve talaşlı imalatın yerini almaktadır. Bunun sebebi kalıplama yoluyla üretilen parçaların ucuzluğu, teknik ve estetik parametrelerinin kolay kontrol edilebilir olmasıdır. Ağır gösterişli ve karmaşık ürünlerin üretiminden ziyade fonksiyonel, basit ve kullanışlı parçaların tercih edilmesi üretimde bu değişime yönelmeyi tetiklemiştir.

Bu tez çalışmasında 3 farklı Sac numunesi kullanıldı ve her birinin kalınlığı sırası ile 0,8 mm – 1 mm – 1,2 mm'dir. Her bir kalınlık için ayrı ayrı çalışma yapılmıştır.

Çizelge 3.3. 0,8 Sac numunesinin kimyasal bileşim tablosu

Malzeme	**Alaşım elementleri**										
Sac 0,8mm	C	Mn	P	S	Si	Al	Nb	Ti	Çekme N/mm^2	Akma N/mm^2	Uzama %
	0,002	0,101	0,010	0,007	0,005	0,057	0,001	0,054	284	154	15,6

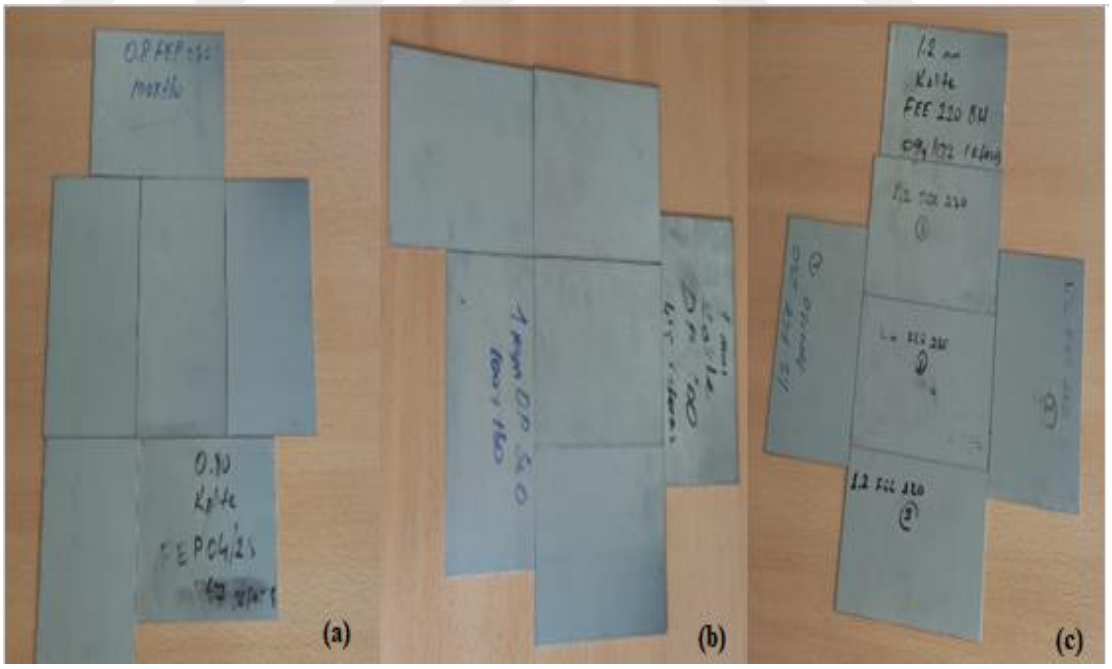
Çizelge 3.4. 1,0 Sac numunesinin kimyasal bileşim tablosu

Malzeme	**Alaşım elementleri**											
Sac 1,0mm	C	Mn	P	S	Si	Al	Cu	Cr	Ni	Çekme N/mm²	Akma N/mm²	Uzama %
	0,094	1,591	0,020	0,002	0,290	0,0377	0,034	0,445	0,032	284	154	15,6

Çizelge 3.5. 1,2 Sac numunesinin kimyasal bileşim tablosu

Malzeme	**Alaşım elementleri**											
Sac 1,2mm	C	Mn	P	S	Si	Al	Cu	Cr	Ni	Çekme N/mm²	Akma N/mm²	Uzama %
	0,002	0,441	0,036	0,008	0,009	0,058	0,032	0,024	0,035	342	224	34,6

Sac numunelerine ait görsel Şekil 3.4'teki gibidir



Şekil 3.4. Kalınlık değerleri (a) 0,8, (b)1,0 ve (c) 1,2 mm olan sac numunelerinin görseli

3.1.4. Kompozit malzemeler

Farklı malzemelerin kombinasyonuyla oluşturulan malzemelerdir. Bu malzemelerde farklı özelliklere sahip bileşenler bir araya getirilerek, tek bir malzemede en iyi özellikleri elde etmek veya istenen farklı özelliklere sahip bir malzeme oluşturmak amaçlanır. En az iki farklı özellikteki veya yapıdaki malzemenin birleştirilip yeni malzeme oluşturulmasındaki amaç, malzemenin kompozit olmadan önceki özelliklerinde yeterli gelmeyen bazı özelliklerin olması ve iyileştirmenin gerekli olmasıdır. Kompozit malzemelerin özelliklerinin metal malzemelere göre avantajlı olması nedeniyle son zamanlarda metal malzemeler kıyaslama yapıldığında ön plana çıktığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, kompozit malzemelerin yoğunluğu düşük olduğu için özellikle ağırlık istenmeyen durumlarda büyük bir avantaj oluşturmaktadır.

Günümüz teknolojisi ile hemen hemen her alanda farklı gereksinimleri karşılamak üzere kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin bazı kullanım yerleri şöyledir;

- Radyasyon zırhlama
- İnşaat ve yapı bölümünde kullanılan malzemeler
- Otomotiv üretim sektöründe kullanılan malzemeler
- Savunma sanayi ve havacılık bölümlerinde

Bu tez kapsamında kullanılan sacıcı kompozit malzemeler şunlardır;

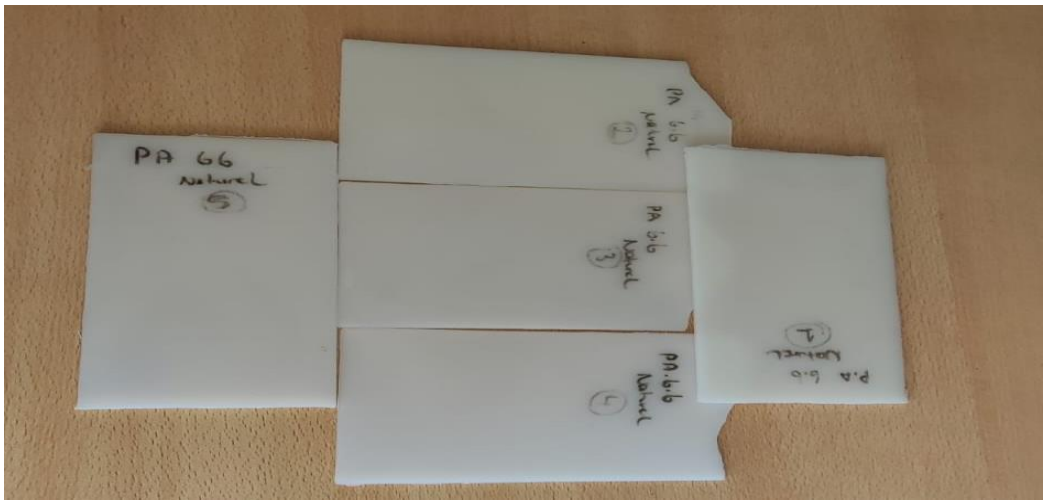
Poliamid (PA 6.6 Naturel); mühendislik plastiklerinin en önemli gruplarından birini Poliamidler oluştururlar ve yüksek kütleli, doğrusal yapılı polimer sınıfı içerisinde yer almaktadır. Katı, opak ve saydam görünümlüdürler. Poliamidlerin %85-90 oranında saydam olan türleri ışığı geçirmektedir. Sertlik, yüksek dayanım, iyi elektriksel ve kimyasal özelliklere sahip olan poliamid aynı zamanda termoplast bir üründür.

Poliamid plastikler içerisinde Poliamid 6.6'nın en dayanıklı ve en yüksek ergime noktasına sahip olduğu bilinir. Yarı kristal bir yapıya sahip olması nedeni ile Poliamid 6.6'dan yapılan malzemelerin bazı bölümleri kristal bir yapı iken bazı bölümleri amorf bir yapı olarak görülebilmektedir. Üretim koşulları değiştirilerek kristal miktarı arttırılıp azaltılabilmekte olduğu için buna bağlı olarak mekanik özellikleri değiştirilebilmektedir. Bizim kullanmış olduğumuz numunenin verileri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 3.6. Poliamid 6.6 numunesine ait yoğunluk değeri

Malzeme	Test Metodu	Birim	Yoğunluk	Et kalınlığı
Poliamid 6.6	ISO 1183	kg/m^3	1140	1 mm

Poliamid 6.6 numunelerin görseli Şekil 3.5'teki gibidir.



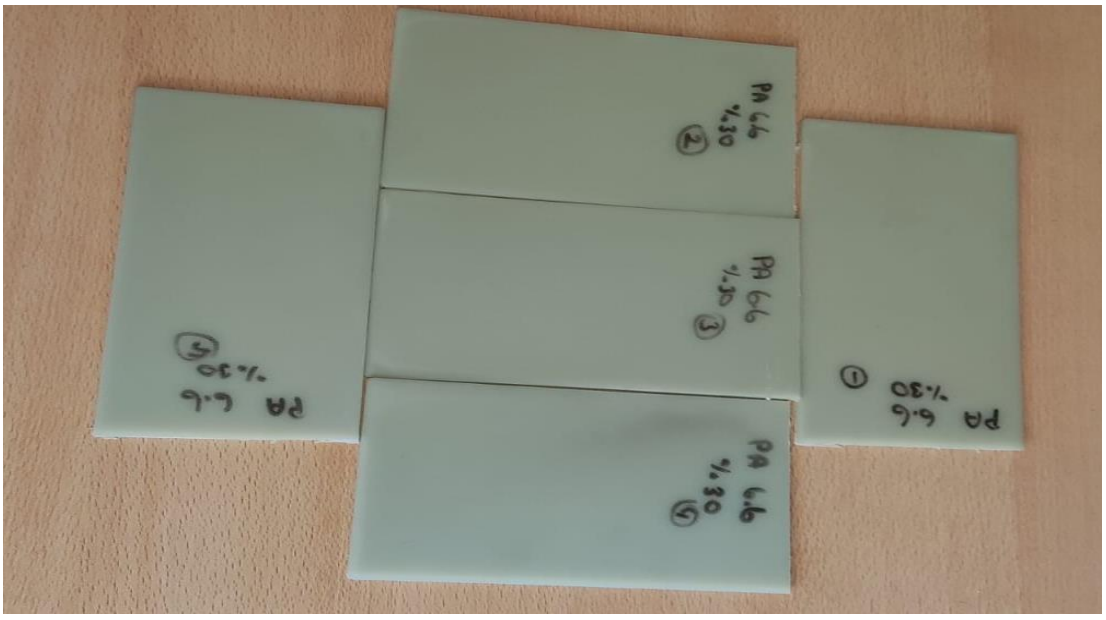
Şekil 3.5. Poliamid 6.6 numunelerin görseli

Poliamid %30 (PA 6.6 %30 GF); Poliamid malzemenin darbeye karşı daha mukavemetli olması için içerisine elastomer; mukavemet, sertlik ve yorulma direnci gibi özelliklerini arttırmak için ise cam elyafla takviye edilir. Yüksek mukavemete ve sertliğe sahiptir. Isıl deformasyona karşı dirençlidir. Tekrarlı gerileme ve ani darbelere karşı mükemmel direnç gösterir. Ayrıca; çok yüksek eğilme, çekme dayanımına, düşük sürtünme katsayısına sahiptir ve yük altında çalışmaya en uygun malzemedir. Etkili bir dielektrik özelliğe sahiptir. Ayrıca sulu çözelti ve tuzlara karşı da direnç gösterme özelliğine sahiptir. Sıcak su hatta buhara mükemmel derecede direnç gösterir. Bizim kullanmış olduğumuz numunenin verileri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 3.7. Poliamid 6.6 %30 GF numunesine ait yoğunluk değeri

Malzeme	Test Metodu	Birim	Yoğunluk	Et kalınlığı
Poliamid 6.6 % 30 GF	ISO 1183	kg/m^3	1370	1 mm

Poliamid 6.6 %30 GF numunelerin görseli Şekil 3.6'teki gibidir



Şekil 3.6. Poliamid 6.6 %30 GF numunelerin görseli

Polipropilen (PP Copolimer); propilen monomerinin ziegler-natta katalizörü yardımıyla polimerizasyonu sonucu üretilen bir polimerdir. Dayanıklılığı, kimyasal direnci, düşük ağırlığı, kolay şekillendirilebilmesi, şeffaf olması ve ekonomik olması tercih edilmesinde etkili olan faktörlerdir. Polipropilen genel olarak kimyasal direnci iyi olan bir polimerdir. Ancak, bazı kimyasallara karşı kısıtlı direnç gösterebilir. Bu kimyasallar arasında klor, nitrik asit ve diğer kuvvetli oksitleyiciler bulunmaktadır. Polipropilen malzemeler görünür bölge ışınlarına dayanıklı olabilirken, UV ışınlarına karşı sınırlı bir dirence sahiptir. UV koruma önlemleri alınmadığında, UV ışınları polipropilenin yüzeyini bozabilir ve özelliklerini değiştirebilir. Dolayısıyla, polipropilenin kullanılacağı uygulama ve çevre koşulları göz önünde bulundurularak uygun koruma önlemleri alınmalıdır. Polipropilen (PP), Polietilenin bazı özelliklerinde istenilen değerleri karşılamadığında tercih edilen bir termoplastiktir. Polipropilen (PP), plastikler arasında en düşük yoğunluğa sahip olanlardan biridir.

Çizelge 3.8. Polipropilen Copolimer numunesine ait yoğunluk değer

Malzeme	Test Metodu	Birim	Yoğunluk	Et kalınlığı
Polipropilen Copolimer	ISO 1183	kg/m^3	905	1 mm

Polipropilen Copolimer numunelerin görseli Şekil 3.7'teki gibidir



Şekil 3.7. Polipropilen Copolimer numunelerinin görseli

Polipropilen %30 (PP %30 Copolimer); Monomer propilenin polimer hale getirilmesi ile elde edilen polipropilen kimyasal solventlere (asit ve bazlar) karşı aşırı yüksek dirence sahiptir. Bu özellik, polipropilenin kimyasal endüstri ve diğer uygulamalarda tercih edilmesini sağlar, çünkü asitler, bazlar ve diğer solventlere karşı dayanıklılık gerektiren ortamlarda güvenilir bir malzeme olarak kullanılabilir. PP, propilen polimerizasyonu ile üretilen yarı sert, şeffaf, kolay şekillendirilebilen ve maliyet açısından uygun bir polimerdir. Iki veya daha fazla farklı monomerin birleşerek oluşturduğu bir polimerdir. Bu durumda, polipropilenin yapısında %30 oranında başka bir monomerin bulunduğu ve bu şekilde bir copolimer elde edildiği anlaşılıyor. Bu copolimer, polipropilenin özelliklerini etkileyebilir ve belirli uygulamalarda istenen özellikleri sağlamak için kullanılabilir. (https://www.alpil.com.tr/urunler/plastik/polipropilen-pp/)

Çizelge 3.9. Polipropilen %30 Copolimer numunesine ait yoğunluk

Malzeme	Test Metodu	Birim	Yoğunluk	Et kalınlığı
Polipropilen %30 Copolimer	ISO 1183	kg/m^3	1140	1 mm

Polipropilen %30 Copolimer numunelerin görseli Şekil 3.8'deki gibidir.



Şekil 3.8. Polipropilen %30 Copolimer numunelerin görseli

Polioksimetilen (POM Nature); Polioksimetilen kimyasal adıylada bilinmektedir. POM, formaldehit monomerinin polimerizasyonuyla elde edilen bir termoplastik polimerdir. Genellikle yüksek mukavemet, sertlik ve sertleşme sıcaklığı gibi özelliklere sahip olan POM, mekanik parçalar, dişli ve rulman gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda düşük sürtünme katsayısı, kimyasal direnç ve elektriksel özellikler gibi avantajları da vardır. POM (polioksimetilen) doğal haliyle opak beyaz renge sahiptir. Ancak, POM malzemesi kolaylıkla renklendirilebilir ve farklı renklerde üretilebilir.

Çizelge 3.10. Polioksimetilen Naturel numunesine ait yoğunluk değeri

Malzeme	Test Metodu	Birim	Yoğunluk	Et kalınlığı
Polioksimetilen Naturel	ISO 1183	kg/m^3	1410	1 mm

Polioksimetilen Naturel numunelerin görseli Şekil 3.9'daki gibidir.



Şekil 3.9. Polioksimetilen naturel numunelerinin görseli

Polioksimetilen %30 (POM %30); Polioksimetilen (POM) %30 copolimer olarak kullanıldığında, fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri oldukça iyidir. Dayanıklılık, elastikiyet, sürtünme direnci, boyut kararlılığı, kimyasal direnç ve dielektrik özellikleri yüksektir. Nem alma oranının düşük olması, POM'un boyut kararlılığını artırır ve zamana bağlı deformasyonu en aza indirir. Bu özellik, POM'un kullanıldığı uygulamalarda malzemenin boyutlarının ve şeklinin değişmeden kalmasını sağlar. Aynı zamanda, düşük nem alma oranı, POM'un elektriksel ve mekanik özelliklerinin stabil kalmasına yardımcı olur. Bu nedenle, POM %30 copolimer, yüksek performans ve dayanıklılık gerektiren endüstrilerde tercih edilen bir malzemedir. Özellikle otomotiv, elektronik, mühendislik parçaları ve tüketici ürünlerinde kullanılan POM %30, düşük nem alma oranı sayesinde uzun ömürlü ve güvenilir bir seçenek olarak değerlendirilir.

Çizelge 3.11. Polioksimetilen %30 numunesine ait yoğunluk değeri

Malzeme	Test Metodu	Birim	Yoğunluk	Et kalınlığı
Polioksimetilen %30	ISO 1183	kg/m^3	1600	1 mm

Polioksimetilen %30 numunelerin görseli Şekil 3.10’daki gibidir.



Şekil 3.10. Polioksimetilen %30 numunelerinin görseli

Poliüretan; Otto Bayer tarafından 1937 yılında keşfedilen ve sürekli olarak büyüyen bir endüstri oluşturan bir polimerdir. 1969'larda poliüretan otomotiv parçalarınada tercih edilen bir ürün olmuştur. poliüretan malzemelerin çok yönlü kullanımı ve farklı özelliklere sahip ürünlerin üretilebilmesi, bu malzemenin endüstride yaygın olarak tercih edilmesini sağlamıştır. Özelliklerinin araştırılması ve geliştirilmesiyle, daha iyi performans ve daha ekonomik ürünler elde edilebilir. Poliüretan malzemeler, plastik esaslıdır ve geniş bir yelpazede farklı özelliklere sahip olabilen ürünler üretilebilir. Dolgu maddeleri eklenerek, poliüretan malzemelerin termal ve mekanik özellikleri iyileştirilebilir.

Çizelge 3.12. Poliüretan numunesine ait yoğunluk değeri

Malzeme	Test Metodu	Birim	Yoğunluk	Et kalınlığı
Poliüreten	ISO 1183	kg/m^3	1200	1 mm

Poliüretan numunelerin görseli Şekil 3.11'deki gibidir.

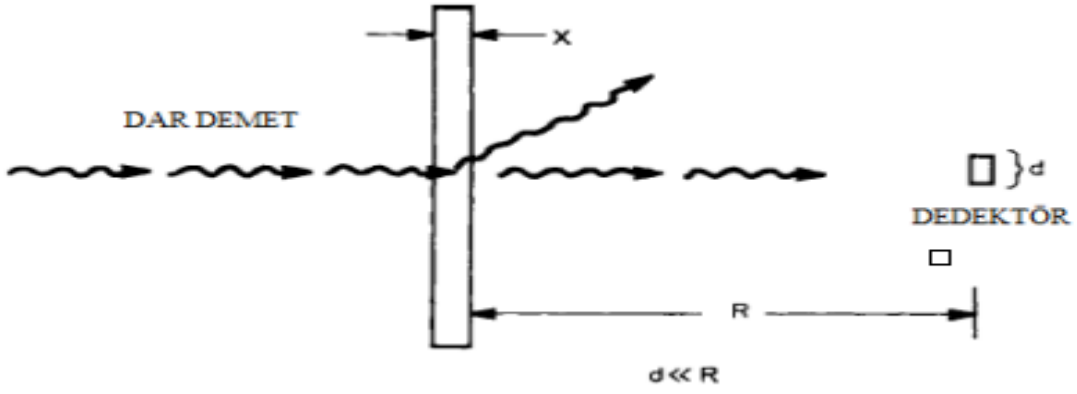


Şekil 3.11. Poliüretan numunelerinin görseli

3.2. Metod

3.2.1. Dar demet geometrisi

Dar demet geometrisi veya iyi geometri, bir deney veya ölçüm düzenlemesinde birincil radyasyonun malzemeden geçerek dedektöre ulaşmasını ve saçılan radyasyonun engellenmesini sağlamak için kullanılan bir kavramdır. Bu geometri, daha doğru ve hassas sonuçlar elde etmek için kullanılan bir tekniktir. Bir başka şekilde ifade etmek gerekirse, dar demet geometrisi, radyasyonun birincil demet halinde daraltılarak hedeflenen bölgeden geçirildiği ve dedektör tarafından algılandığı bir deney veya ölçüm düzenlemesini ifade eder. Bu geometri, radyasyonun daha kesin ve odaklanmış bir şekilde incelenmesini sağlar. Bu geometri, kolime edilerek paralel demet haline getirilmiş bir mono enerjik radyasyon demetinin (x) kalınlığında bir malzemeden geçmesi ve ardından tekrar kolime edilerek algılayıcıya ulaşmasına dayanır (Turner, 2007). Şekil 3.12'de dar demet geometrisi gösterilmiştir.

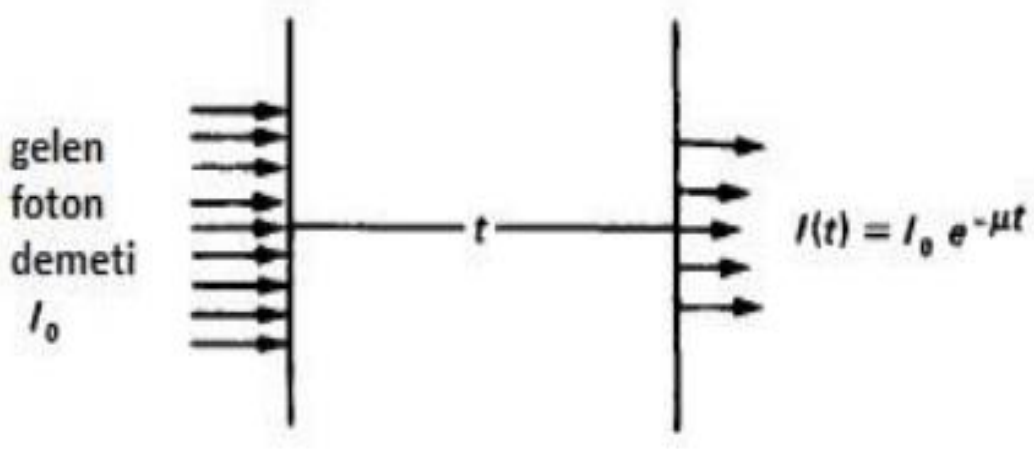


Şekil 3.12. Dar demet geometrisi (Turner, 2007)

Dar demet geometrisinde, (x) kalınlığındaki bir hedefe çarpan I_0 şiddetindeki tek enerjili paralel bir demet, hedefi $I_{(x)}$ şiddetinde terk ediyorsa, radyasyonun madde içinde zayıflamasını denklem 3.1 ile ifade edebiliriz.

$$\mathrm{I}(x) = I_0 e^{-\mu x} \tag{3.1}$$

Şekil 3.13'te dar demet geometrisinde, t kalınlığındaki bir hedefe çarpan foton demetinin zayıflamasını ifade etmek için kullanılan denklemi gösterilmektedir. Burada, μ lineer zayıflatma katsayısıdır.



Şekil 3.13. t kalınlığındaki bir malzemeden geçen radyasyon demetinin şiddeti (Knoll, 2002)

Bir foton demetinin t kalınlığındaki bir hedefi etkileşmeden geçme olasılığı;

$$\frac{geçen\ foton\ sayısı}{gelen\ foton\ sayısı} = e^{-\mu t} \tag{3.2}$$

şeklinde verilir.

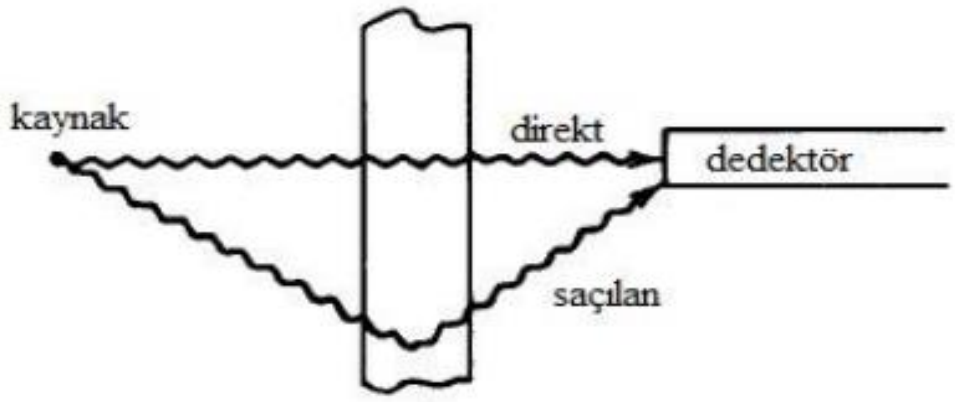
Bu olasılıktan yola çıkarak, iki etkileşme arasındaki ortalama mesafe ortalama serbest yol (λ) olarak adlandırılır ve Denklem 3.3 ile hesaplanır.

$$\lambda = \frac{\int_0^\infty x\, e^{-\mu x} dx}{\int_0^\infty e^{-\mu x}\, dx} = \frac{1}{\mu} \tag{3.3}$$

Bir bileşik ya da karışım için toplam kütle zayıflatma katsayısı (μ_m), $(dE/dx)c$ ile hesaplanır ve Denklem 3.4 ile bulunur.

$$\mu_c\ (m^2/kg) = \sum_i w_i \mu_i (m^2/kg) \tag{3.4}$$

Burada, μ_c: bir bileşik veya karışım için toplam kütle zayıflatma katsayısı,
w_i : bileşiğin i. elementi için ağırlık faktörü,
μ_i : i. elementin toplam kütle zayıflatma katsayısıdır.



Şekil 3.14. Geniş demet geometrisi (Knoll, 2002)

Radyasyon kaynağının ve dedektörün kolime edilmediği geniş demet geometrisi, dar demet geometrisine göre daha basit ve pratik bir yöntemdir (Şekil 3.14).

Geniş demet geometrisinde kullanılan dedektörler, radyasyon kaynağından gelen birincil radyasyonların yanı sıra saçılan ikincil radyasyonları da algılar. Bu durumda, dedektöre ulaşan sinyal, birincil ve ikincil radyasyonların toplamını temsil eder. Bu durumda, dedektörün ölçtüğü sinyal dar demet geometrisine göre daha yüksek olabilir. Çünkü dar demet geometrisinde, dedektör yalnızca birincil radyasyonu alırken, geniş demet geometrisinde hem birincil radyasyonu hem de saçılan ikincil radyasyonları algılar. Dolayısıyla, ikincil radyasyonlar ölçülen sinyali artırabilir ve sonuçta sinyal yoğunluğu yüksek olabilir. Dedektörün geniş demet geometrisinde ikincil radyasyonları da algılaması, gama geçirgenlik hesaplamaları için Denklem 3.1 kullanılamamaktadır. Bu durumda Denklem 3.1'e ikincil radyasyondan gelen etkiler dolayısıyla yığılma faktörü (B) eklenmiştir (Denklem 3.5) (Knoll, 2002).

$$I(t) = BI(0)e^{-\mu t} \tag{3.5}$$

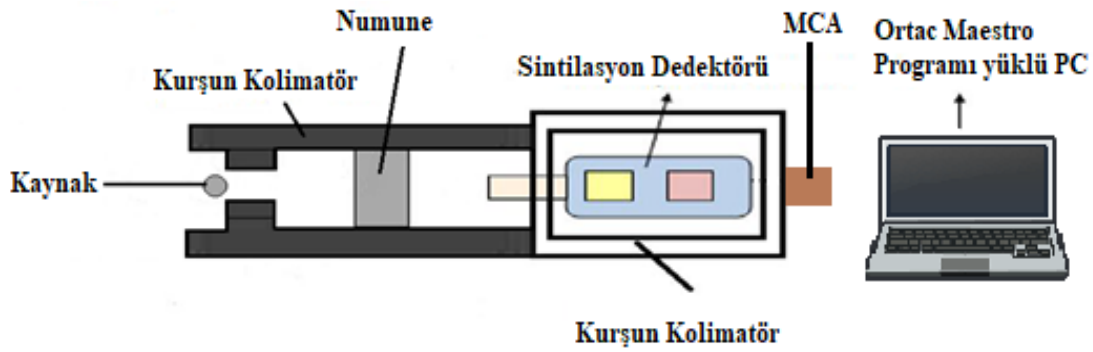
şeklinde bulunur.

3.2.2. Gama ışını zırhlama deney düzeneği

Gama transmisyon tekniği, gama ışınlarının malzemelerdeki geçirgenlik özelliğinden yararlanarak malzeme analizlerinde kullanılan bir yöntemdir. Bu teknik, malzemenin içerisinden geçen gama ışınlarının ölçülmesine dayanır. Gama ışınlarının malzemelerdeki nüfuz etme yeteneği, malzemenin yoğunluğuna, atomik yapıya, kalınlığına ve kompozisyonuna bağlıdır. Yoğun malzemeler ve kalın tabakalar gama ışınlarını daha fazla soğururken, daha seyrek malzemeler ve ince tabakalar ise gama ışınlarının geçirgenliğini artırır. Gama transmisyon tekniği, bu geçirgenlik özelliğini kullanarak malzeme analizlerinde ve kalınlık ölçümlerinde etkili bir yöntemdir. Gama transmisyon tekniği, dedektör ve radyoaktif kaynağın malzemenin farklı taraflarına yerleştirilmesiyle çalışır. Radyoaktif kaynak, gama ışınları yayarak malzemenin bir tarafından geçer. Dedektör ise malzemenin diğer tarafında konumlandırılır ve gama ışınlarının geçtiği yolu algılar. Dedektörde ölçülen gama ışını şiddeti, malzemenin geçirgenliği ile ilgilidir. Eğer malzeme yoğun veya kalın ise, gama ışınları bu malzemeden daha az geçebilir ve dedektörde ölçülen şiddet daha düşük olur. Ancak daha seyrek veya ince bir malzeme ise, gama ışınları daha rahat geçebilir ve dedektörde ölçülen şiddet daha yüksek olur. Dedektörde ölçülen radyasyon şiddeti, kaynaktan çıkan radyasyonun malzemeyi kat ederek geçen miktarını temsil eder. Bu yöntemde, önemli olan noktalardan biri, saçılan radyasyonun ölçülmesi ve sonuçların güvenilir olabilmesi için kaynak ve dedektörün doğru bir şekilde kolimine edilmesi ve zırhlanmasıdır.

Gama transmisyon tekniğiyle numuneli bir malzemenin analizi yapılırken, genellikle bir referans ölçümü yapılır. Referans ölçümü, numunenin olmadığı durumu temsil eder ve malzemenin etkisiz olduğu kabul edilir. Bu referans ölçümü, aynı koşullarda ve aynı süre boyunca gerçekleştirilir. Numuneli ve numunesiz ölçümler arasındaki farklar değerlendirilerek, numunenin özellikleri hakkında bilgi elde edilir. Detektörden alınan sayımlar arasındaki fark, malzemenin geçirgenliği, yoğunluğu veya içerdiği elementler gibi parametreler hakkında bilgi sağlar. Bu farklar, numunenin gama ışınlarını ne kadar engellediği veya ne kadar geçirdiği konusunda ipuçları verir (Knoll, 2002, Gardner ve Ely, 1967).

Transmisyon tekniğine göre çalışan ve yüksek lisans tezimde kullanılan gama deney düzeneğinin şematik görüntüsü Şekil 3.15 ve Şekil 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.15. Gama transmisyon tekniğinin genel şeması



Şekil 3.16. Kullanılan sisteme ait görsel

Yapılan araştırma ve çalışmaların sonucunda gama transmisyon tekniği ile malzemelerin gama geçirgenliklerinin incelenmesi için uygun sistem oluşturulmuştur. Oluşturulan bu sistemin elemanları;

1- Radyoaktif Kaynak

2-Detektör Sistemi

3- Kolimatör

Gama ışını kaynakları

Deneysel çalışmalarda endüstriyel uygulamalarda sıkça kullanılan ve Bursa Uludağ Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Anabilim dalı Laboratuvarı imkanları dahilinde bulunan Na^{22}, Co^{60}, , Cs^{137} ve Am^{241} gama ışını kaynakları kullanılmıştır. Na^{22}, Co^{60}, Cs^{137} ve Am^{241} radyoizotopları, nükleer uygulamalarda ve deneysel çalışmalarda gama ışını kaynağı olarak sıkça kullanılan radyasyon kaynakları arasında yer almaktadır.

Na^{22} gama ışını kaynağı 2,6018 yıl yarı ömürlü bir kaynaktır. 511 ve 1274,5 keV enerjilerinde iki ana pik değerine sahip olan Na^{22}'ın ortalama enerji piki 893 keV olarak kabul edilmektedir (Croft, 2006).

Co^{60} gama ışını kaynağı 5,2711 yıl yarı ömürlü bir kaynaktır. 1173,2 ve 1332,5 keV enerjilerinde iki ana pik değerine sahip olan Co^{60} 'ın ortalama enerji piki 1250 keV olarak kabul edilmektedir (Croft, 2006).

Cs^{137} gama ışını kaynağı 30,08 yıl olan yarı ömrü ile yapay radyoizotoplar içinde uzun yarı ömürlü olarak değerlendirilebilen bir kaynak durumundadır. Bu radyoizotopun 661,6 keV enerjide tek bir foto-piki bulunmaktadır. Cs^{137} radyoizotopu'nun kullanımı ile deneylerde mono enerjik (tek enerjili) bir kaynak ile çalışılmış olunur.

Am^{241} gama ışını kaynağı 432,6 yıl olan yarı ömrü ile yapay radyoizotoplar içinde uzun yarı ömürlü olarak değerlendirilebilen bir kaynak durumundadır. Bu radyoizotopun 59,5 keV enerjide tek bir foto-piki bulunmaktadır. Am^{241} radyoizotopunun kullanımı ile deneylerde mono enerjik (tek enerjili) bir kaynak ile çalışılmış olunur.

Çalışılan radyoizotop kaynaklarına ilişkin bilgiler Çizelge 3.13'te verilmektedir.

Çizelge 3.13. Deneylerde kullanılan radyoizotop kaynakların özellikleri

Gama Işını kaynağı	Yarı Ömrü (yıl)	Enerji (keV)	Çalışılan Aktivite	Emisyon Olasılığı (%)
Na-22	2,6018	511	74	178,0
		1274,5		99,94
Co-60	5,2711	1173,2	74	99,85
		1332,5		99,9826
Cs-137	30,08	661,6	333	85,1
Am-241	432,6	59,5	74	35,92

Çalışılan radyoizotop kaynakların görüntüleri Şekil 3.17, 3.18, 3.19 ve 3.20'de verilmektedir.



Şekil 3.17. Cs-137 radyoaktif kaynak



Şekil 3.18. Am-241 radyoaktif kaynak



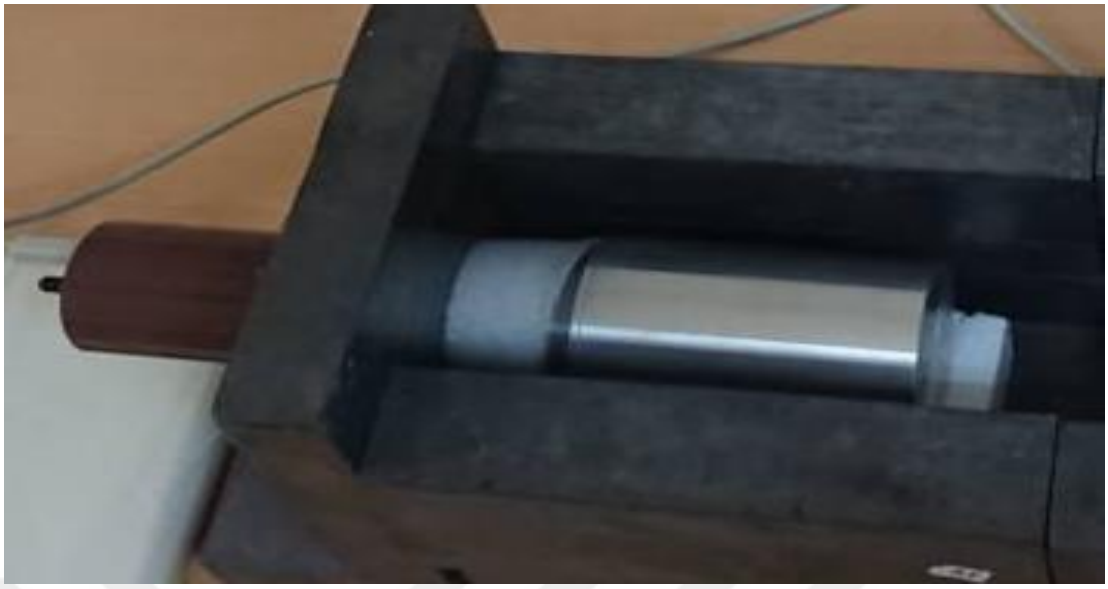
Şekil 3.19. Co-60 radyoaktif kaynak



Şekil 3.20. Na-22 radyoaktif kaynak

Dedektör sistemi

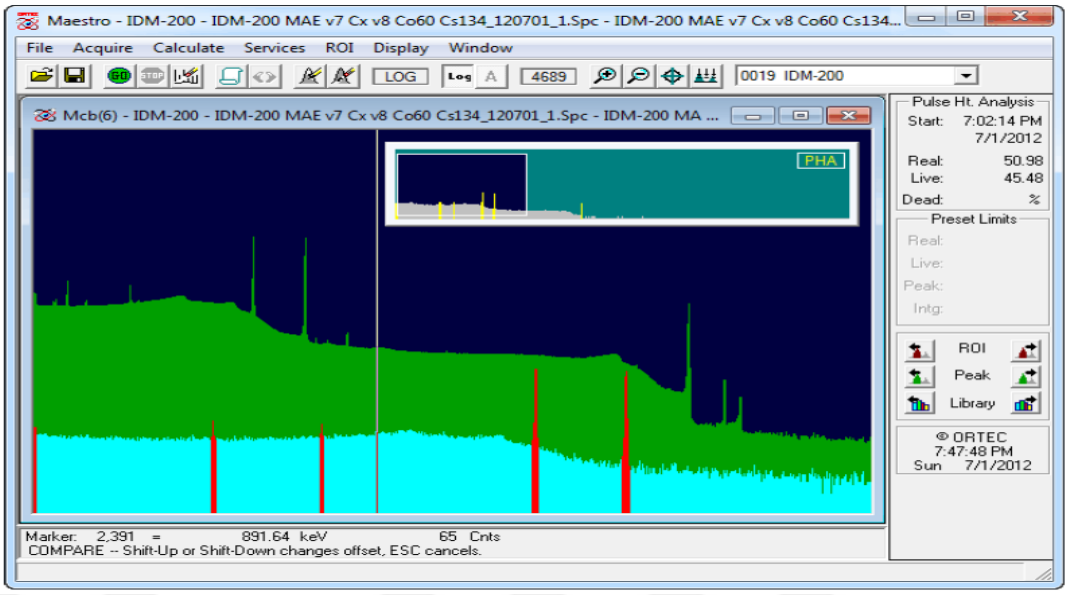
Bursa Uludağ Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Anabilim dalı laboratuvarında kullanılan, OUAP(F)-2016/10 numaralı bilimsel araştırma projesi (BAP) imkanları dahilinde Nel Elektronik Cihazlar İmalat ve Tic.A.Ş'den temin edilmiş olan Ortec (9054) 3x3 sodyum iyodür (NaI) sintilasyon dedektörü ve sintilasyon dedektörü için 14 pin PMT ana modül, dijital MCA, Ön yükseltici, Yüksek voltaj kaynağı ve maestro yazılımı kullanılmıştır. Kullanılan dedektör sistemi Şekil 3.21'de verilmiştir.



Şekil 3.21. Çalışılan sintilasyon detektörü

Ortec Maestro yazılımı ve Windows 7 işletim sistemli bilgisayar programı ile farklı gama enerji aralıklarında olan radyoizotop numuneler analiz edilebilmektedir. Maestro, çok çeşitli endüstriyel, öğretim, araştırma ve diğer bilimsel uygulamalarda gama ve alfa spektroskopi sistemleriyle uyumlu çok kanallı bir analizör (MCA) "emülasyon" yazılım paketidir.

Diğer Ortec uygulama yazılımlarında olduğu gibi Maestro, yerel alan ağı genelinde 250'ye kadar dedektör sistemi için donanım kontrol işlevleri, veri toplama ve otomasyon dahil cihaz kontrolünü kolaylaştırmak için bağlantı yazılım katmanını kullanır. Maestro, temel spektroskopi uygulamaları için mükemmel bir seçimdir ve çoğu Ortec çok kanallı analizör ile standart olarak gelir. Şekil 3.22'de programın ara yüzü gösterilmektedir.



Şekil 3.22. Ortec Maestro Programı ara yüzü

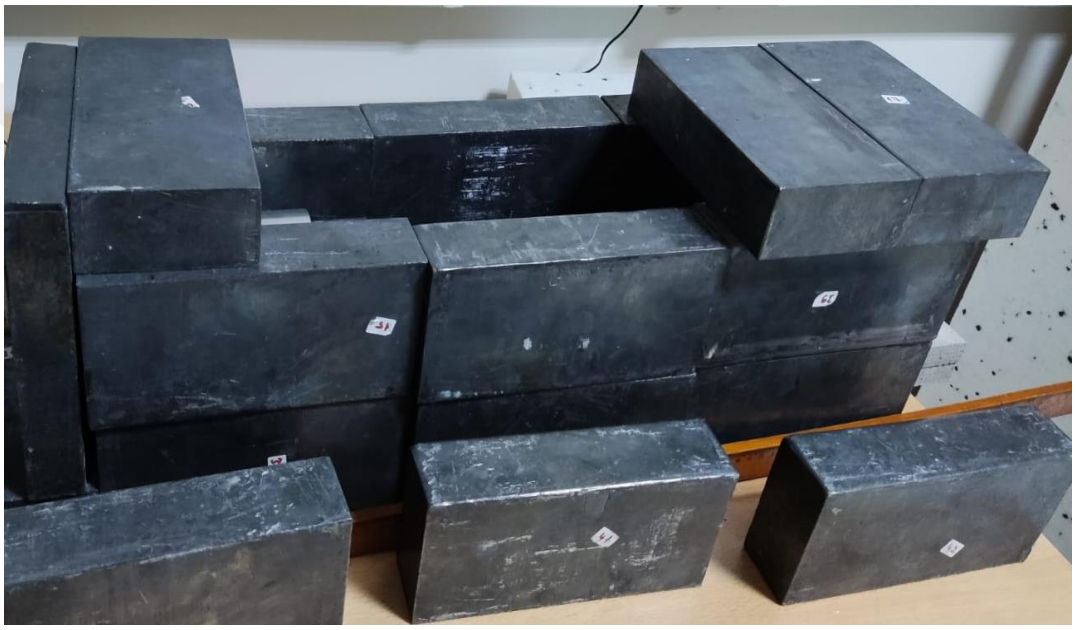
DigiBASE, NaI(Tl) sintilasyon dedektörleri ile gama ışını spektroskopisi uygulamaları için 14 pimli bir fotoçoğaltıcı tüp tabanıdır. DigiBASE'in konsepti, minyatür bir pre-amplifikatör (ön yükselteç) ve dedektör yüksek voltajını (0 ile +1200 V) güçlü dijital sinyal işleme, çok kanallı analizör ve hassas zaman çözünürlüğü ölçümleri için özel özelliklerle birleştirir. NaI(Tl) dedektörünüze bağlamak için ihtiyacınız olan her şey tüp tabanına dahildir. Basit program kurulumu ile bilgisayarın USB girişi üzerinden bağlantı sağlanır. Sadece bilgisayara Ortec maestro yazılımını yüklemek gereklidir.



Şekil 3.23. Ortec DigiBase ait görsel

Gama ışını zırhlama özelliklerini belirlemek için yapılan deneysel çalışmada Ortec Maestro yazılımı kullanılarak elde edilen veriler Windows 7 işletim sistemli bir bilgisayarda analiz edildi.

Ölçüm sonuçlarına doğal radyasyonun muhtemel etkisini minimuma indirmek ve kaynak ile dedektörün kolime edilmesi için kurşun bloklardan yararlanılmıştır. Şekil 3.24'te gösterilmekte olan özel olarak üretilmiş, üst üste ve yan yana dizilmiş kurşun blokların kullanılmasıyla güvenli bir radyasyon alanı oluşturulmuştur.



Şekil 3.24. Kurşun bloklar

3.2.3. Deneysel verilerin elde edilmesi ve hesaplamalar

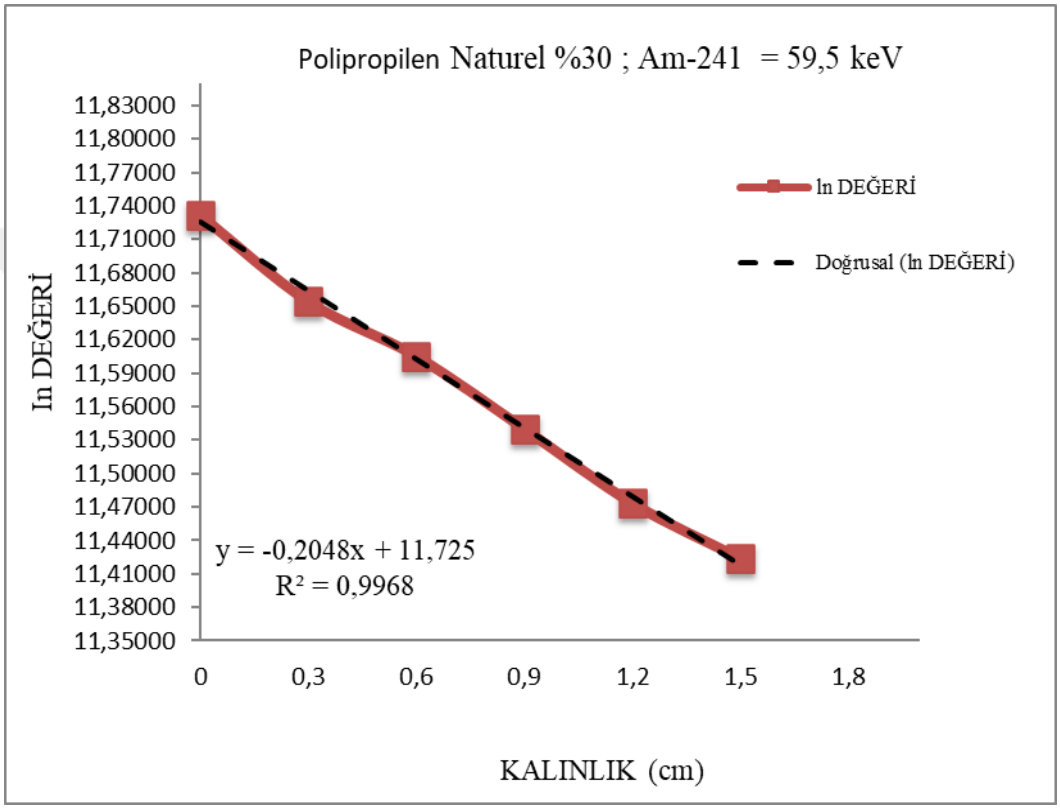
Materyaller başlığı altında özellikleri verilen malzemeler ile gama transmisyon tekniği uygulaması bağlamında deneyler yapılmıştır. Deney düzeyinin bir tarafına gama radyoizotop kaynak diğer tarafına gama detektör koyularak yatay eksende birbirlerine bakacak şekilde düzenek hazırlanır, bu deney düzeneğinde amaç kaynaktan çıkıp malzemeyi geçen radyasyonun şiddetini ölçmektir. Her malzeme için farklı kalınlık değerlerine sahip numuneler ile ölçüm alınan sayım değerleri (I), düzenekte soğurucu malzeme yok iken ölçüm alınan sayım değeri (I_0) arasındaki oran her bir kalınlık değeri için ($^{I_0}/_{I}$) verileri hesaplandı. Her bir malzeme için kalınlığa bağlı olarak $^{I_0}/_{I}$ oranlarının doğal logaritma grafikleri çizilerek malzemenin gama zayıflatma katsayısı elde edilen doğruların eğiminden Denklem 3.6'da verilen Lambert-Beer yasasına göre hesaplanmıştır.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \tag{3.6}$$

I: Hedefi terk eden gama radyasyon şiddetini temsil eder.
I_0: Başlangıçta demete uygulanan gama radyasyon şiddetini temsil eder.
μ: Malzeme için lineer zayıflatma katsayısını temsil eder.
x: Hedefin kalınlığını temsil eder.

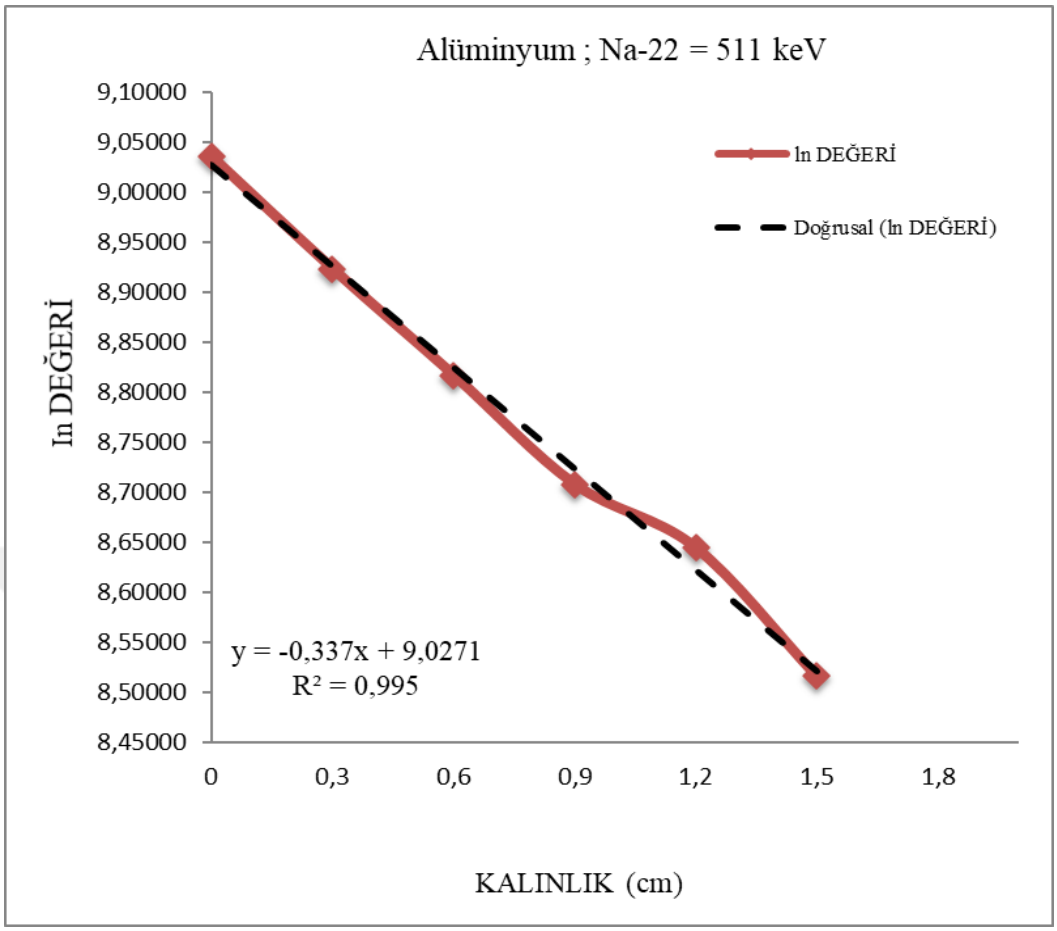
Deneysel sistem saçılma etkilerini mümkün olduğunca azaltmayı amaçlayarak kurulmuştur. Dedektörün kaynaktan 45 cm uzaklığa konumlandırılması ve deney düzeneği üzerinde yapılan ayarlamalar, ölçümlerin doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlamak amacıyla yapılmıştır. Doğal etkilerden kaynaklanan arka plan radyasyonunu azaltılmak için detektör 5x20x10'cmlik kurşun ile zırhlanmıştır. Soğurucu malzeme koyulmadan kaynaktan çıkan başlangıç gama radyasyonu şiddeti (I_0) ölçülmüştür. Her bir malzeme için farklı kalınlık değerlerine sahip deney numuneleri dedektör önüne koyularak, her kalınlık değeri için gama radyasyonu şiddeti (I) ölçümleri yapılmıştır. Her bir örneğin sayım süresi 3600 saniye olarak alınmıştır. Toplamda 5 farklı kalınlık için ve bir kez de deney düzeneğinde malzeme yok iken ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Malzemelerin In-kalınlık grafikleri ile gama zayıflatma eğrilerinin incelenmesi ve malzemelerin lineer zayıflatma katsayılarının, ortalama serbest yollarının, yarı değer kalınlıklarının ve onda bir değer kalınlıklarının hesaplanan değerleri arasında kıyaslama yapılarak, gama ışını zırhlama özellikleri hakkında değerlendirme yapılmaya çalışılmıştır.



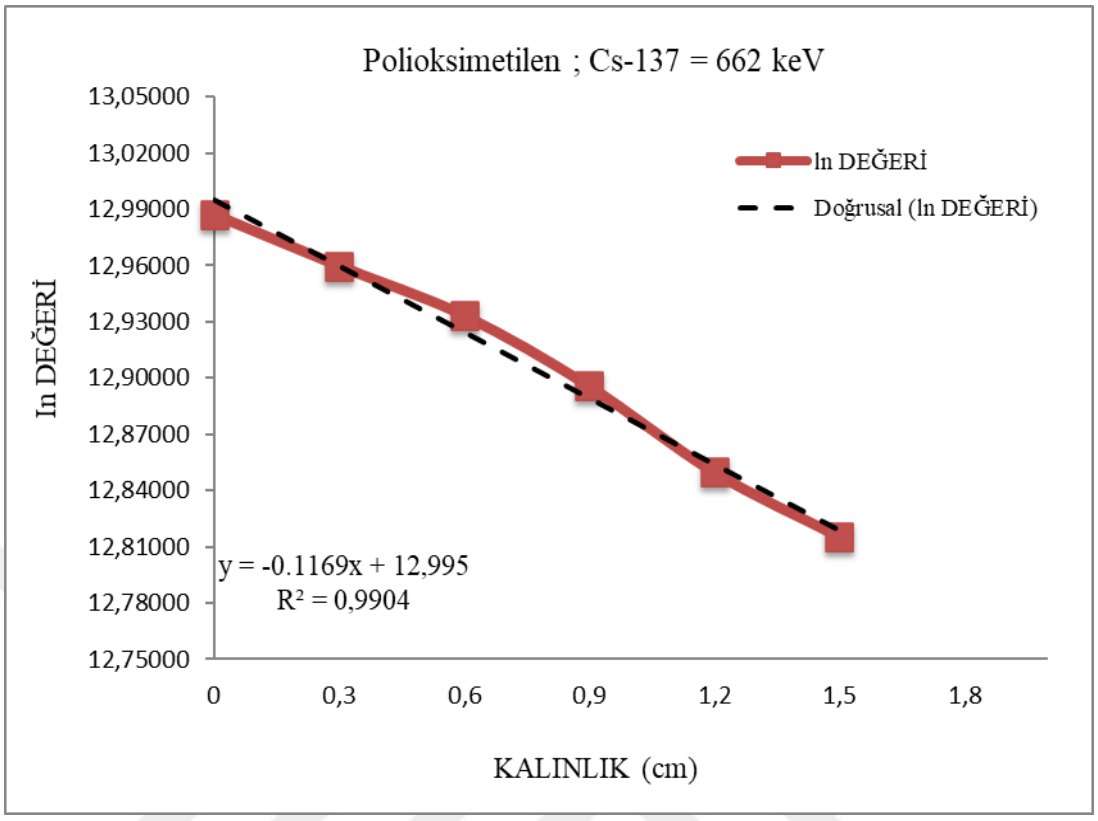
Şekil 3.25. Polipropilen Naturel %30 numunesi 59,5 keV enerjide lineer zayıflatma katsayısını değerlerini gösteren grafik

Grafikte görülen y =-0,2048x + 11,725 denkleminde yazan 0,2048 değeri bize Polipropilen Naturel %30 numunesinin 59,5 keV enerjisindeki lineer zayıflatma katsayısını verir.



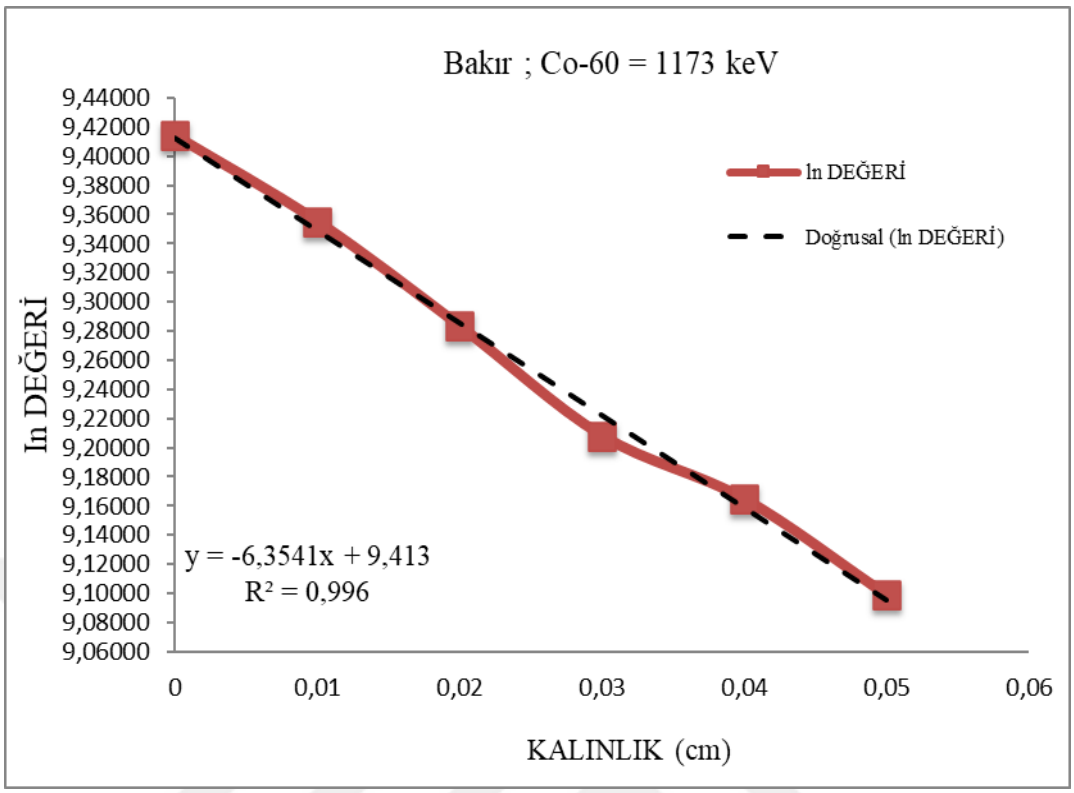
Şekil 3.26. Alüminyum numunesi 511 keV enerjide lineer zayıflatma katsayısını değerlerini gösteren grafik

Grafikte görülen y =-0,337x + 9,0271 denkleminde yazan 0,337 değeri bize Alüminyum numunesinin 511 keV enerjisindeki lineer zayıflatma katsayısını verir.



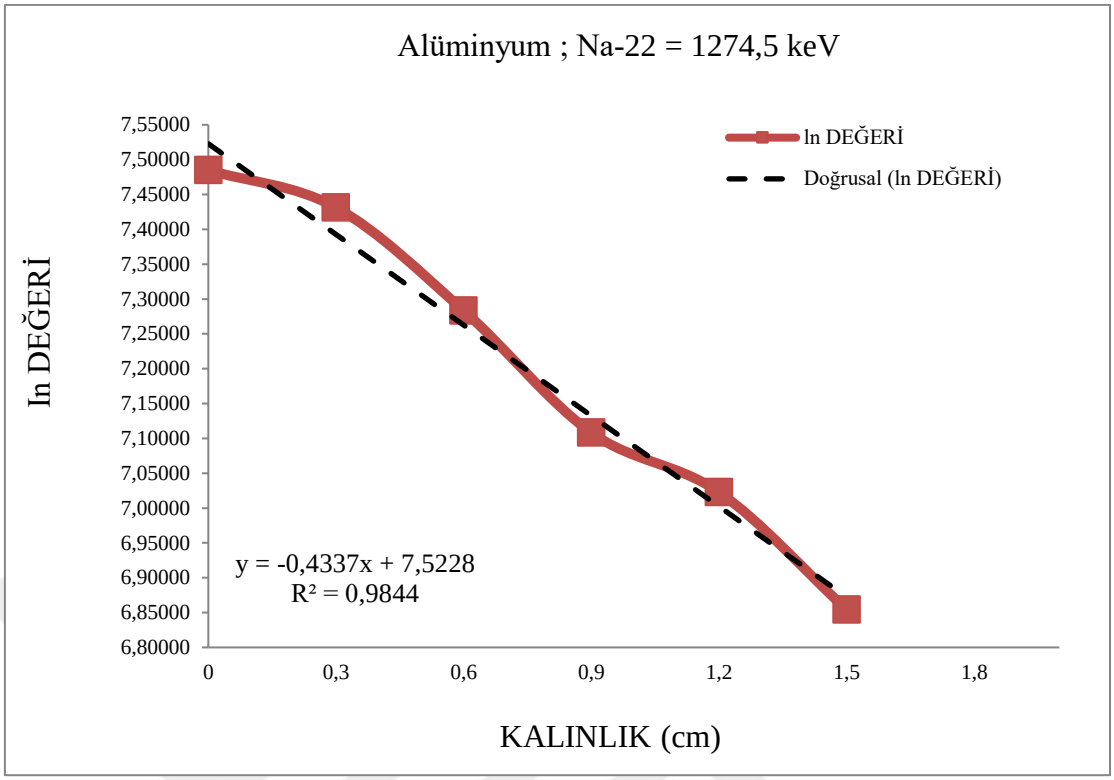
Şekil 3.27. Polioksimetilen numunesi 662 keV enerjide lineer zayıflatma katsayısını değerlerini gösteren grafik

Grafikte görülen y =-0,1169x + 12,995 denkleminde yazan 0,1169 değeri bize Polioksimetilen numunesinin 662 keV enerjisindeki lineer zayıflatma katsayısını verir.



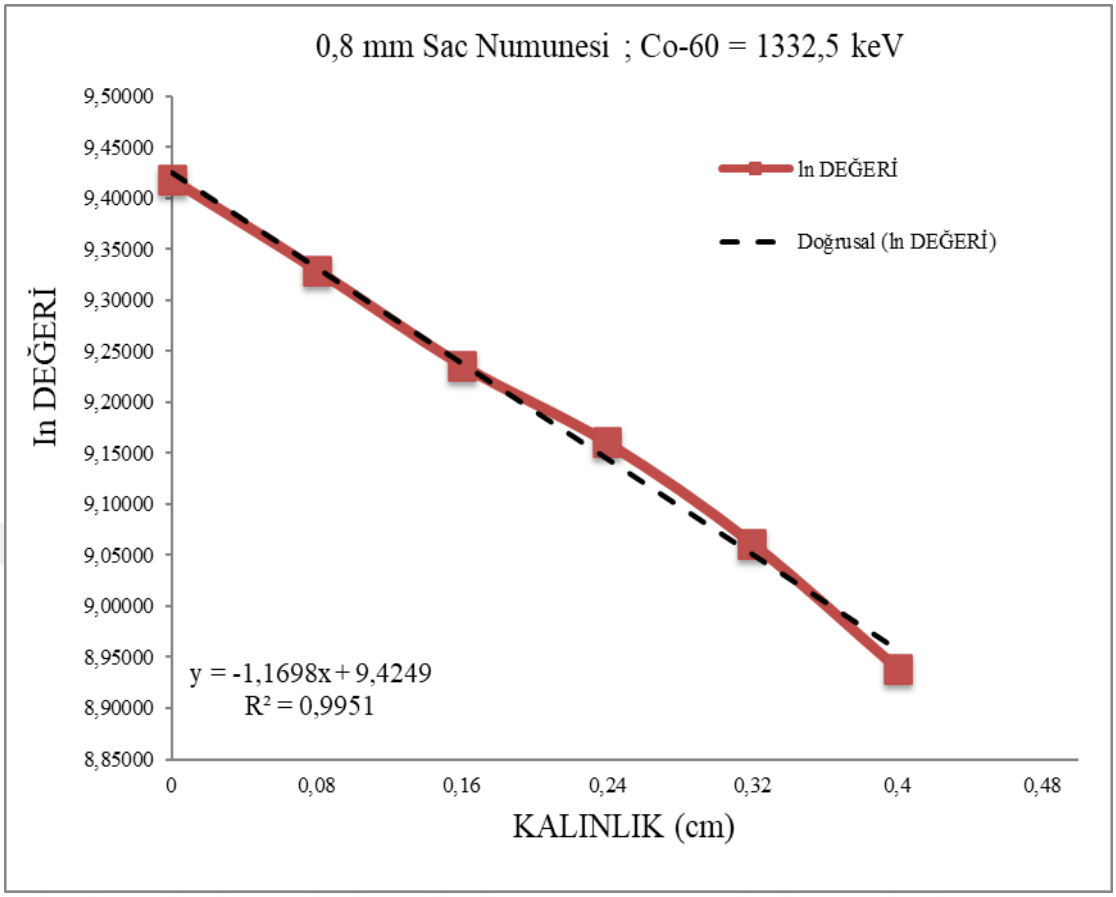
Şekil 3.28. Bakır numunesi 1173 keV enerjide lineer zayıflatma katsayısını değerlerini gösteren grafik

Grafikte görülen y =-6,3541x + 9,413 denkleminde yazan 6,3541 değeri bize Bakır numunesinin 1173 keV enerjisindeki lineer zayıflatma katsayısını yani μ değerini vermektedir.



Şekil 3.29. Alüminyum numunesi 1274,5 keV enerjide lineer zayıflatma katsayısını değerlerini gösteren grafik

Grafikte görülen y =-0,4337x + 7,5228 denkleminde yazan 0,4337 değeri bize Alüminyum numunesinin 1274,5 keV enerjisindeki lineer zayıflatma katsayısını verir.



Şekil 3.30. 0,8 Sac numunesi 1332,5 keV enerjide lineer zayıflatma katsayısını değerlerini gösteren grafik

Grafikte görülen y =-1,1698 + 9,4249 denkleminde yazan 1,1698 değeri bize 0,8 mm Sac numunesinin 1332,5 keV enerjisindeki lineer zayıflatma katsayısını verir.

4. BULGULAR

Tez çalışması kapsamında üretilen tüm numunelerin, Lambert-Beer yasasına göre In($^{I_0}/_{I}$)- kalınlık(soğurucu kalınlığı) grafikleri oluşturuldu. Grafikler üzerinden oluşturulan doğruların eğimleri hesaplanmış ve her bir malzemenin tez kapsamında kullanılan gama ışını kaynaklarından yayınlanan gama ışını enerjileri için lineer zayıflatma katsayıları elde edilmiş ve değerler Çizelge 3.14'te verilmiştir.

Çizelge 3.14. Lineer zayıflatma katsayısı (cm^{-1}) hesaplama sonuçları

Malzeme	Enerji (keV)					
	59,5	661,6	511	1274,5	1173,2	1332,5
Bakır	74,134	2,5285	9,8781	18,333	6,3541	7,3921
Alüminyum	0,6371	0,2028	0,337	0,4337	0,219	0,1049
Sac kalınlık 0,8	9,8775	0,6112	0,5986	0,7789	1,4379	1,1698
Sac kalınlık 1,0	9,4893	0,5671	0,9814	0,7425	0,603	0,4033
Sac kalınlık 1,2	7,9905	0,5444	0,9755	0,1756	0,4906	0,3506
PA 6.6	0,1921	0,0912	0,233	0,4828	0,1226	0,2797
PA 6.6 %30	0,3176	0,1137	0,0663	0,2621	0,184	0,1851
PP	0,1583	0,0733	0,2045	0,1954	0,0125	0,0781
PP %30	0,2048	0,0818	0,2542	0,42	0,0815	0,0542
Pom	0,2477	0,1169	0,1685	0,2372	0,1233	0,0778
Pom %30	0,3311	0,1146	0,2586	0,222	0,1619	0,1298
Poliüreten	0,2281	0,1134	0,3547	0,2752	0,2076	0,176

MFP yani ortalama serbest yol parametre değerleri çizelge 3.14'teki değerleri, Eşitlik 2.15 'de yerine koyarak hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 3.15'te verilmiştir.

Çizelge 3.15. Ortalama serbest yol (cm) hesaplama sonuçları

Malzeme	Enerji (keV)					
	59,5	661,6	511	1274,5	1173,2	1332,5
Bakır	0,0135	0,3955	0,1012	0,0545	0,1574	0,1353
Alüminyum	1,5696	4,9310	2,9674	2,3057	4,5662	9,5329
Sac kalınlık 0,8	0,1012	1,6361	1,6706	1,2839	0,6955	0,8548
Sac kalınlık 1,0	0,1054	1,7634	1,0190	1,3468	1,6584	2,4795
Sac kalınlık 1,2	0,1251	1,8369	1,0251	5,6948	2,0383	2,8523
PA 6.6	5,2056	10,9649	4,2918	2,0713	8,1566	3,5753
PA 6.6 %30	3,1486	8,7951	15,0830	3,8153	5,4348	5,4025
PP	6,3171	13,6426	4,8900	5,1177	80,0000	12,8041
PP %30	4,8828	12,2249	3,9339	2,3810	12,2699	18,4502
Pom	4,0371	8,5543	5,9347	4,2159	8,1103	12,8535
Pom %30	3,0202	8,7260	3,8670	4,5045	6,1767	7,7042
Poliüreten	4,3840	8,8183	2,8193	3,6337	4,8170	5,6818

HVL, malzemeye gelen fotonların şiddetinin yarıya düştüğü kalınlığı gösteren ve malzemenin radyasyon zırhlama performansını değerlendirmek için kullanılan parametredir. Bu parametre hesaplanır iken Çizelge 3.14'teki verilerden yararlanılmıştır. Eşitlik 2.16 yardımıyla her enerji değeri ve malzeme için ayrı ayrı HVL parametre değeri hesaplanmıştır.

Çizelge 3.16. Yarı değer kalınlığı (cm) hesaplama sonuçları

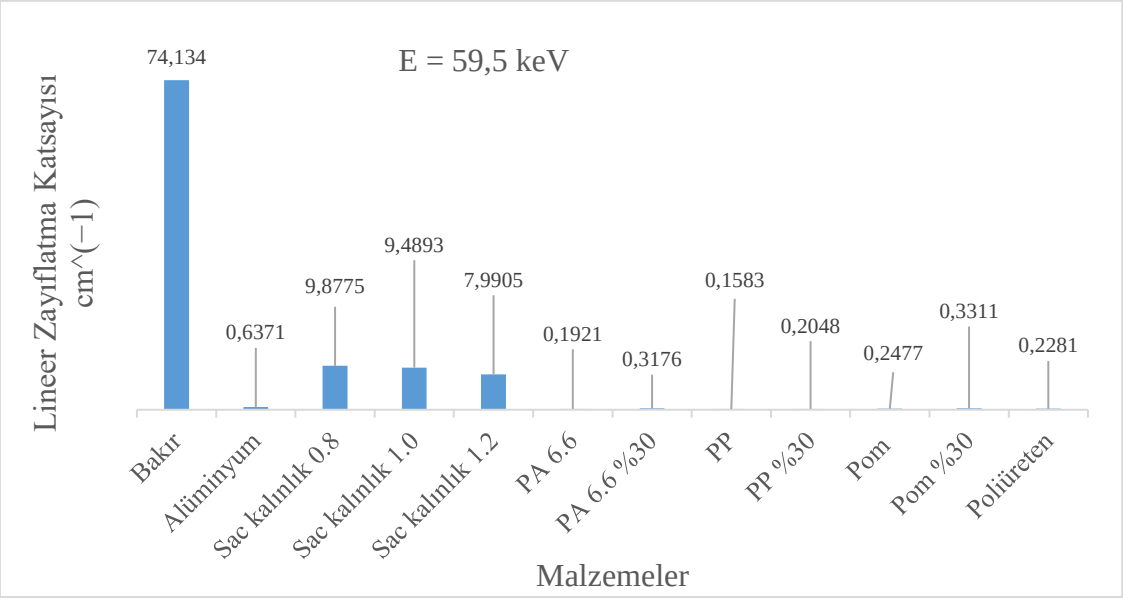
Malzeme	Enerji (keV)					
	59,5	661,6	511	1274,5	1173,2	1332,5
Bakır	0,0093	0,2741	0,0702	0,0378	0,1091	0,0938
Alüminyum	1,0880	3,4179	2,0568	1,5982	3,1651	6,6077
Sac kalınlık 0,8	0,0702	1,1341	1,1579	0,8899	0,4821	0,5925
Sac kalınlık 1,0	0,0730	1,2223	0,7063	0,9335	1,1495	1,7187
Sac kalınlık 1,2	0,0867	1,2732	0,7106	3,9473	1,4129	1,9770
PA 6.6	3,6083	7,6003	2,9749	1,4357	5,6537	2,4782
PA 6.6 %30	2,1825	6,0963	10,4547	2,6446	3,7671	3,7447
PP	4,3787	9,4563	3,3895	3,5473	55,4518	8,8751
PP %30	3,3845	8,4737	2,7268	1,6504	8,5049	12,7887
Pom	2,7983	5,9294	4,1136	2,9222	5,6216	8,9093
Pom %30	2,0935	6,0484	2,6804	3,1223	4,2813	5,3401
Poliüreten	3,0388	6,1124	1,9542	2,5187	0,2183	3,9383

TVL, zırhlayıcıdan geçen radyasyonun şiddetini başlangıçtaki radyasyonun şiddetinin onda bir değerine düşüren kalınlık parametresidir. Bu parametrenin hesaplanmasında Çizelge 3.14'teki veriler kullanılmıştır. Eşitlik 2.17 yardımıyla her enerji değeri ve malzeme için ayrı ayrı TVL parametreleri cm cinsinden hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Çizelge 3.17'de verilmiştir.

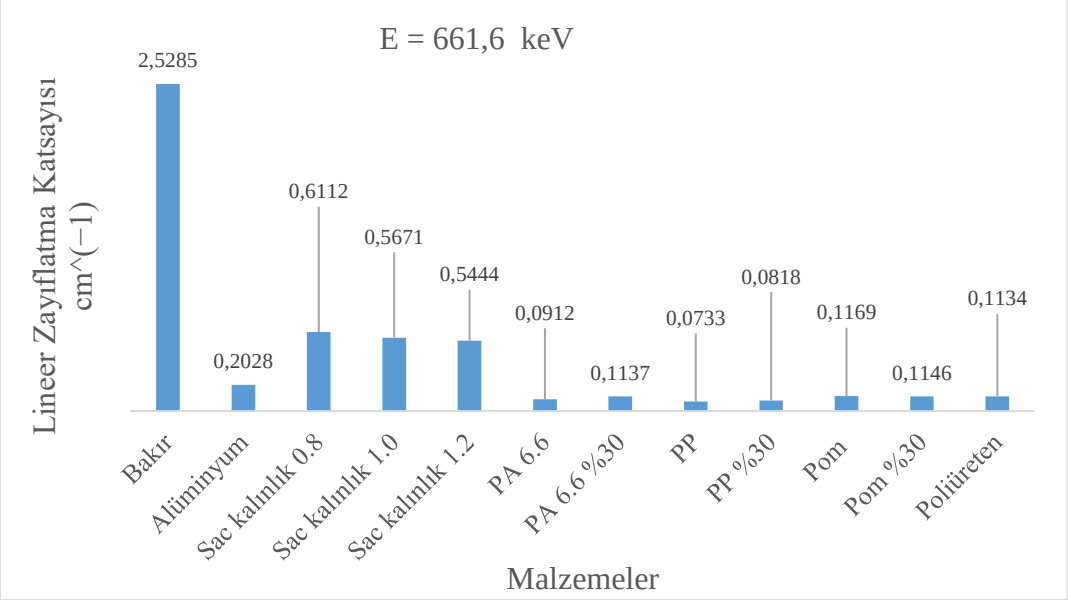
Çizelge 3.17. Onda bir değer kalınlığı (cm) hesaplama sonuçları

Malzeme	Enerji (keV)					
	59,5	661,6	511	1274,5	1173,2	1332,5
Bakır	0,0311	0,9107	0,2331	0,1256	0,3624	0,3115
Alüminyum	3,6142	11,3540	6,8326	5,3092	10,5141	21,9503
Sac kalınlık 0,8	0,2331	3,7673	3,8466	2,9562	1,6014	1,9684
Sac kalınlık 1,0	0,2427	4,0603	2,3462	3,1011	3,8185	5,7094
Sac kalınlık 1,2	0,2882	4,2296	2,3604	13,1127	4,6934	6,5676
PA 6.6	11,9864	25,2476	9,8823	4,7692	18,7813	8,2323
PA 6.6 %30	7,2500	20,2514	34,7298	8,7851	12,5140	12,4397
PP	14,5457	31,4132	11,2596	11,7840	184,2068	29,4825
PP %30	11,2431	28,1490	9,0582	5,4823	28,2526	42,4831
Pom	9,2959	19,6970	13,6652	9,7074	18,6747	29,5962
Pom %30	6,9543	20,0924	8,9040	10,3720	14,2223	17,7395
Poliüreten	10,0946	20,3050	6,4916	8,3670	11,0915	13,0829

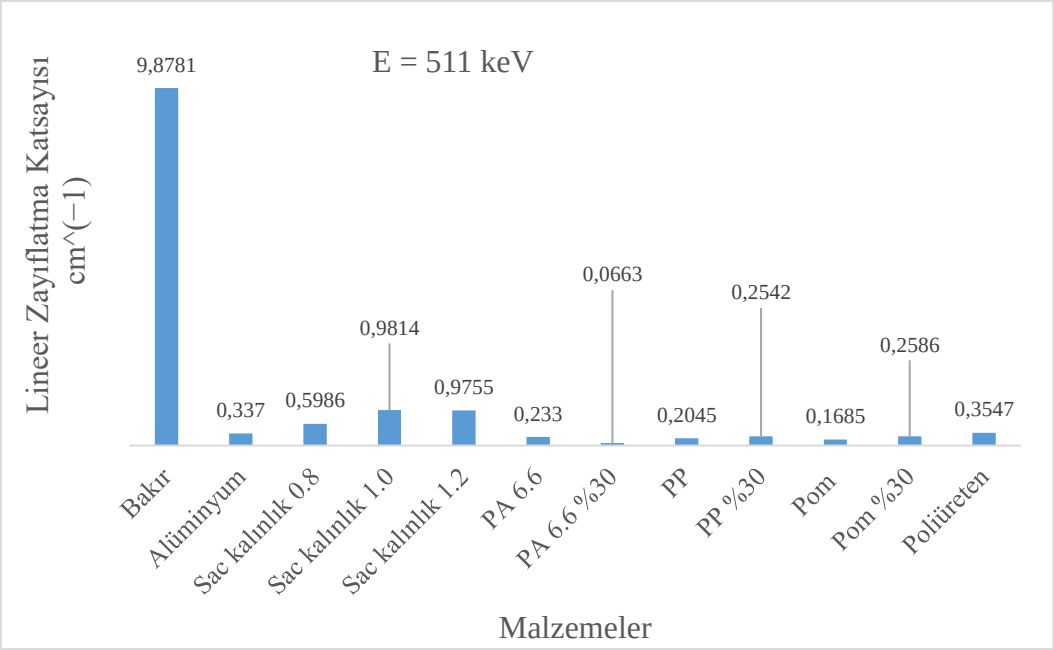
Tez kapsamında üretilen ve gama ışını zırhlama özellikleri incelenen malzemelerin Çizelge 3.14'teki lineer zayıflatma katsayıları kullanılarak Am^{241}, Cs^{137}, Na^{22}, Co^{60} gama radyasyon kaynaklarına ait kıyaslamalı lineer zayıflatma katsayısı verileri Şekil 3.31, Şekil 3.32, Şekil 3.33, Şekil 3.34, Şekil 3.35 ve Şekil 3.36'da gösterilmektedir.



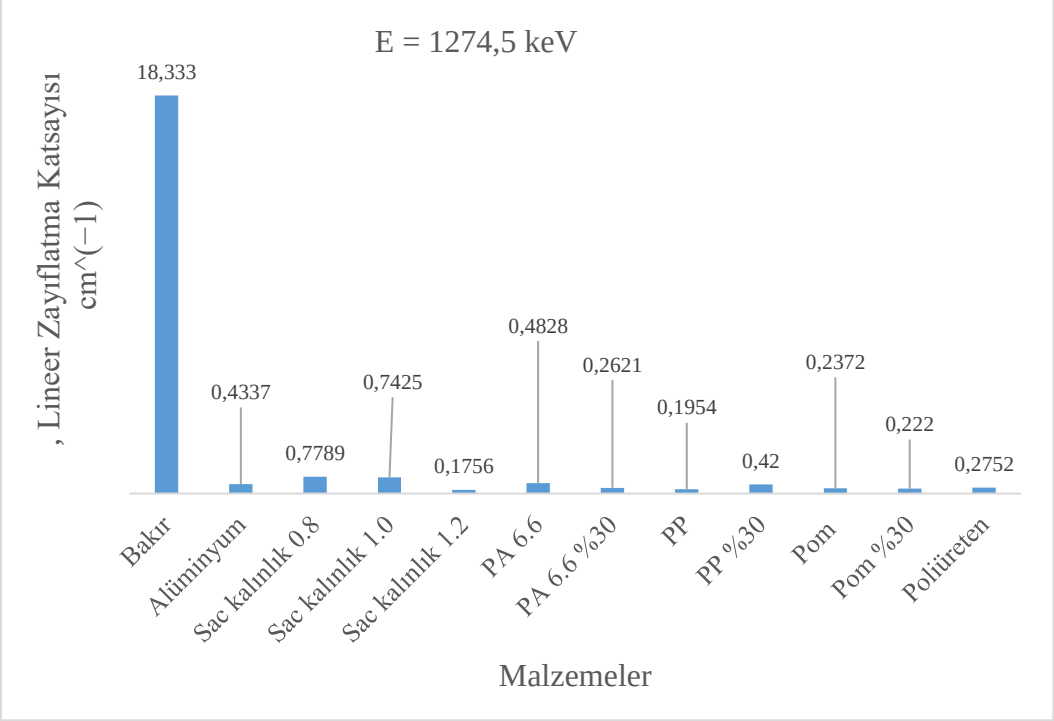
Şekil 3.31. Enerji 59,5 (Am-241) ait lineer zayıflatma katsayısı kıyaslama grafiği



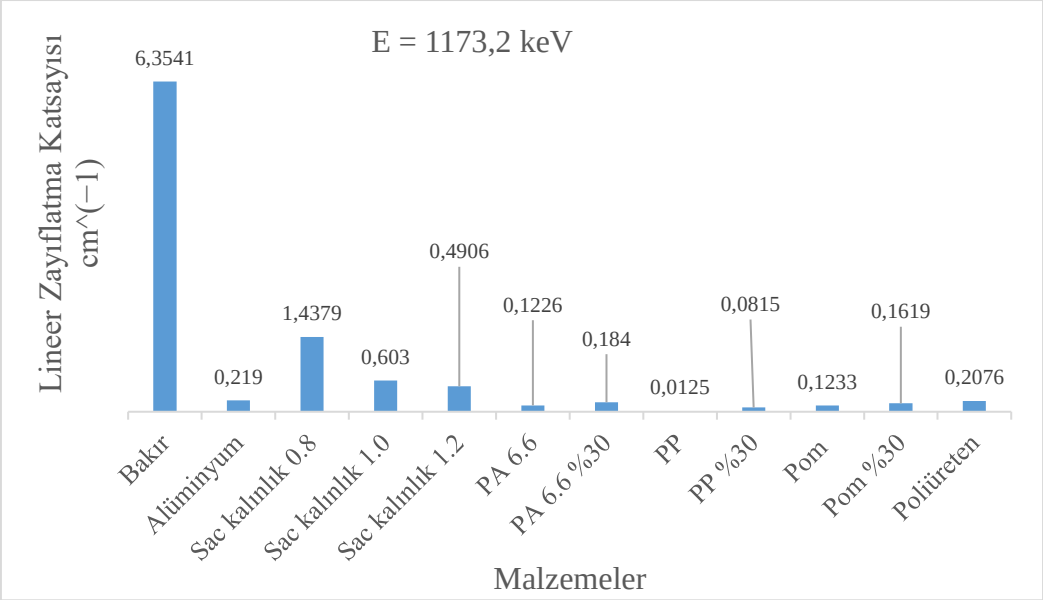
Şekil 3.32. Enerji 661,6 (Cs-137) ait lineer zayıflatma katsayısı kıyaslama grafiği



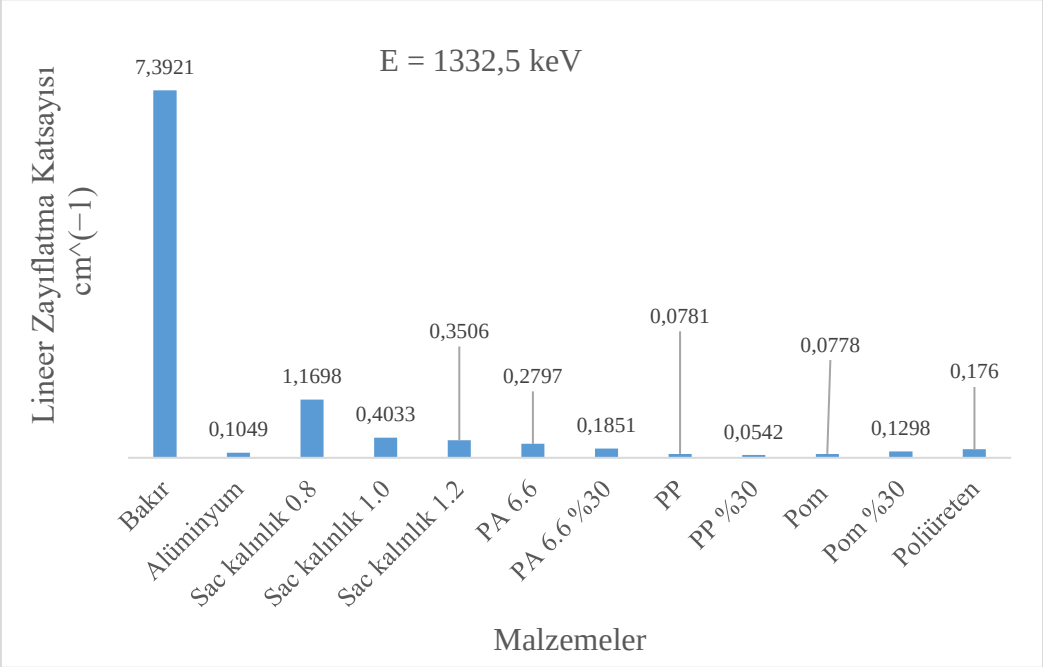
Şekil 3.33. Enerji 511 (Na-22) ait lineer zayıflatma katsayısı kıyaslama grafiği



Şekil 3.34. Enerji 1274,5 (Na-22) ait lineer zayıflatma katsayısı kıyaslama grafiği

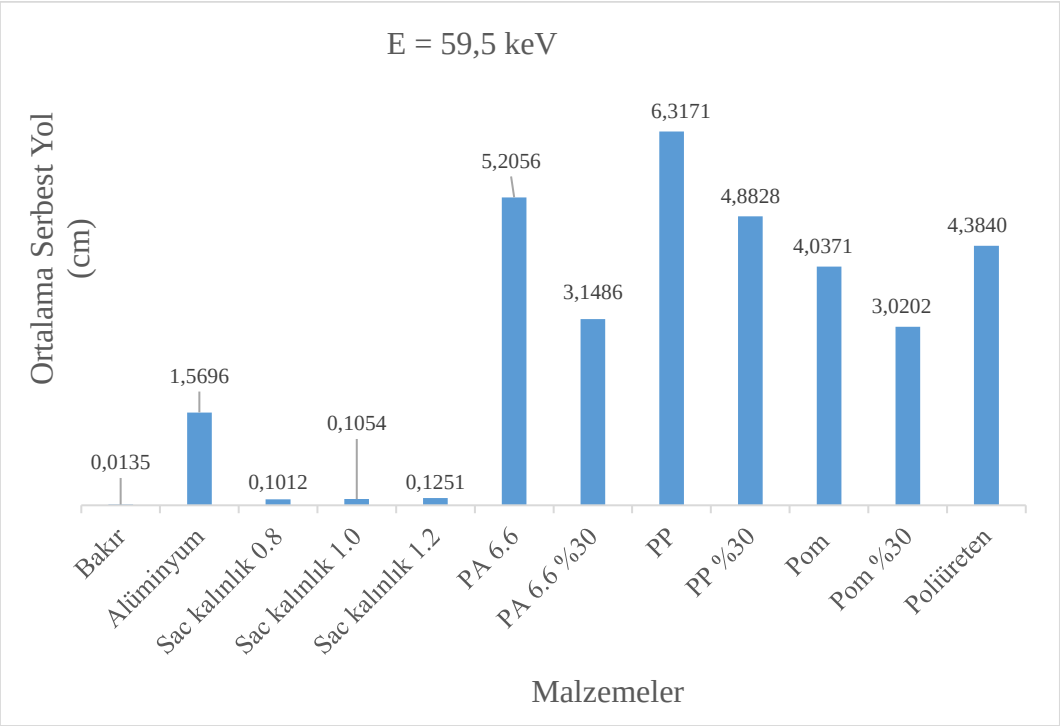


Şekil 3.35. Enerji 1173,2 (Co-60) ait lineer zayıflatma katsayısı kıyaslama grafiği

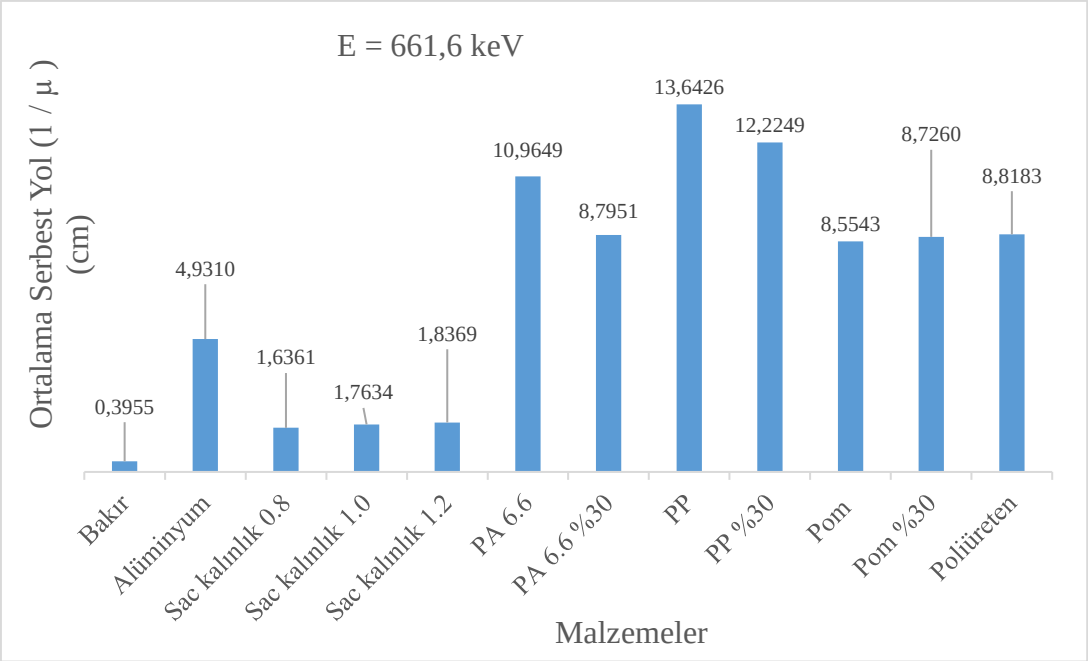


Şekil 3.36. Enerji 1332,5 (Co-60) ait lineer zayıflatma katsayısı kıyaslama grafiği

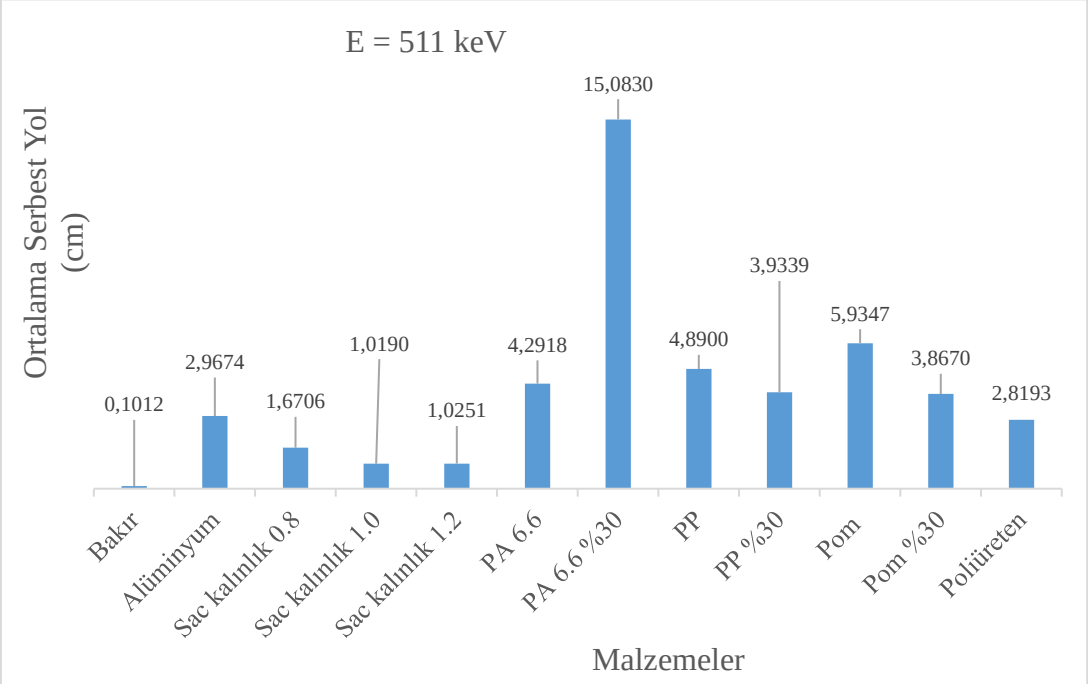
Tez kapsamında üretilen tüm malzemelerin, çalışılan enerjilerdeki gama ışınlarının ortalama serbest yol verileri karşılaştırmalı olarak Şekil 3.37, 3.38, 3.39, 3.40, 3.41 ve 3.42'de oluşturulan grafiklerde verilmiştir.



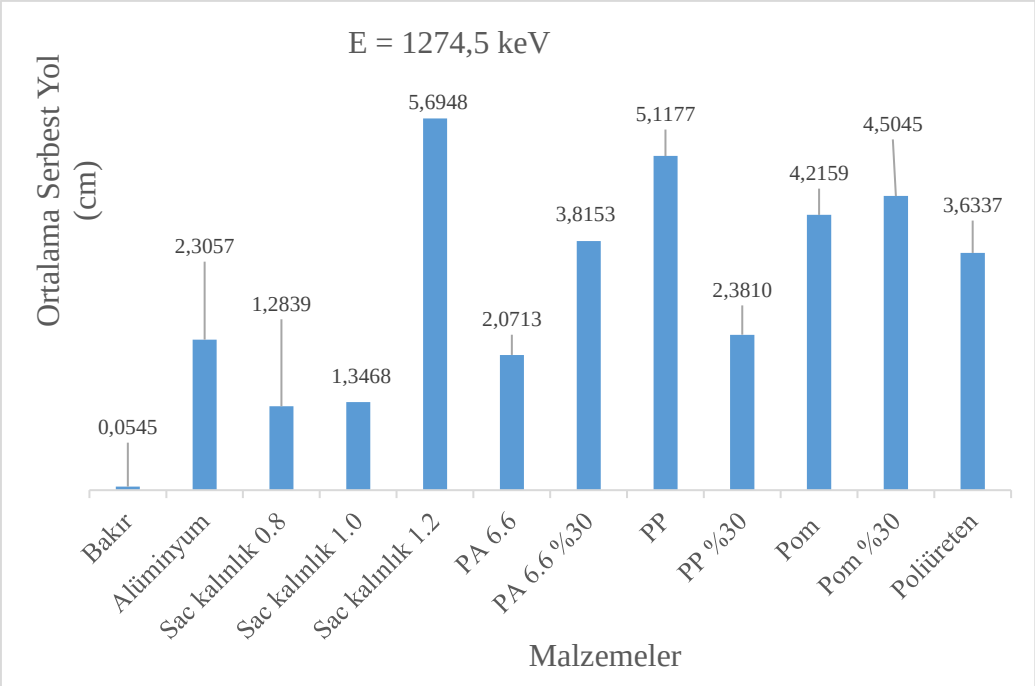
Şekil 3.37. Enerji 59,5 (Am-241) ait ortalama serbest yol kıyaslama grafiği



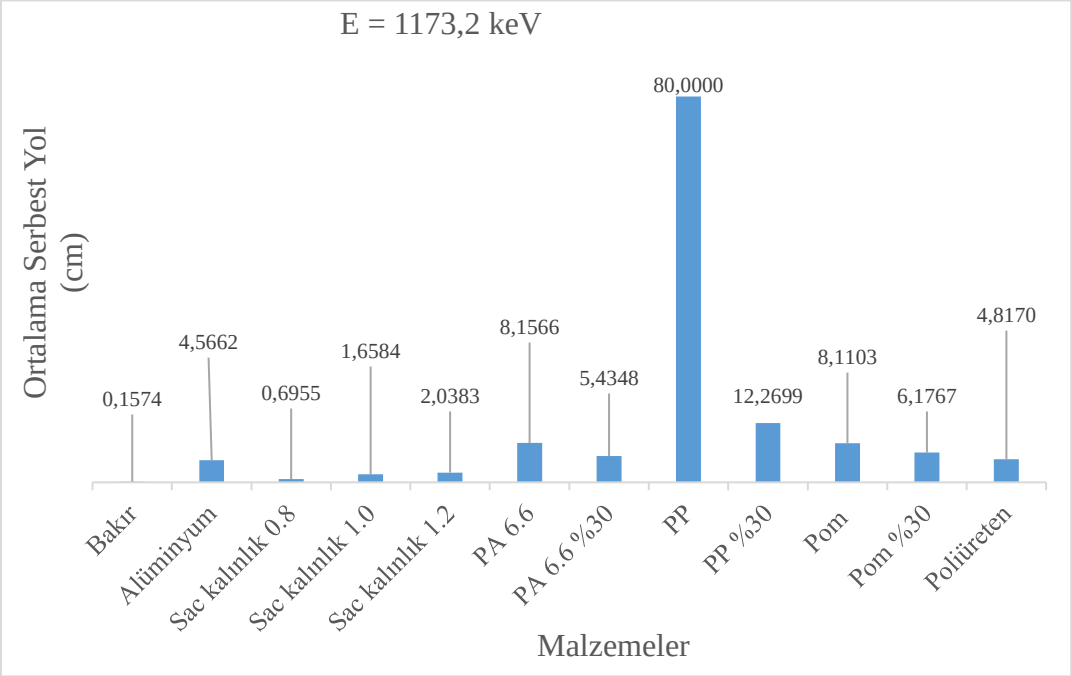
Şekil 3.38. Enerji 661,6 (Cs-137) ait ortalama serbest yol kıyaslama grafiği



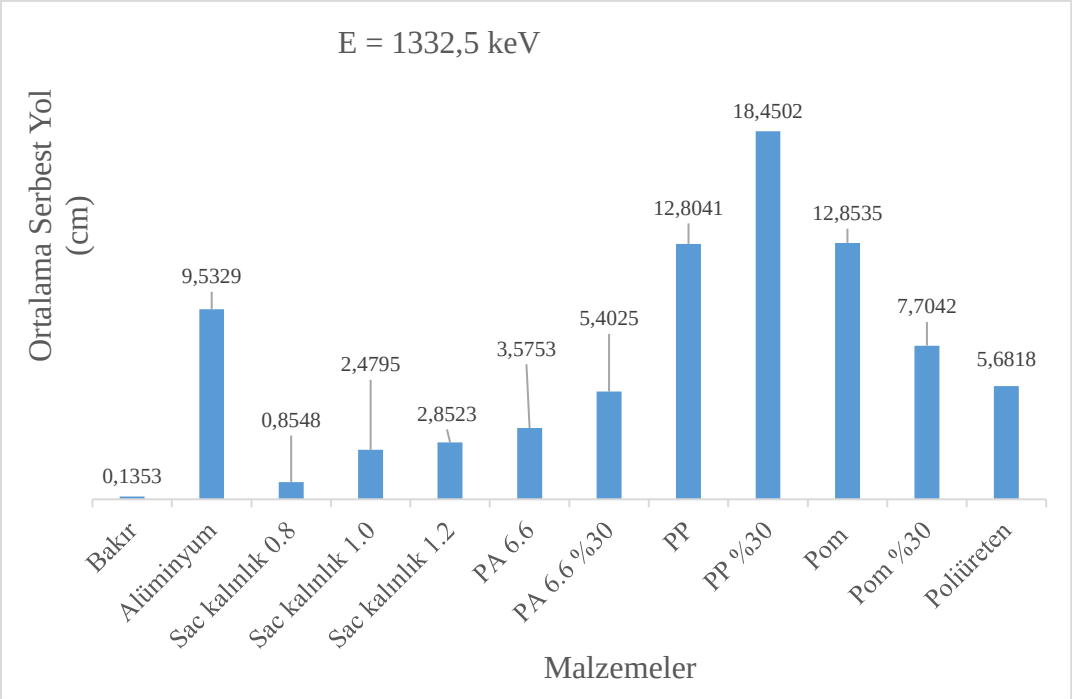
Şekil 3.39. Enerji 511 (Na-22) ait ortalama serbest yol kıyaslama grafiği



Şekil 3.40. Enerji 1274,5 (Na-22) ait ortalama serbest yol kıyaslama grafiği

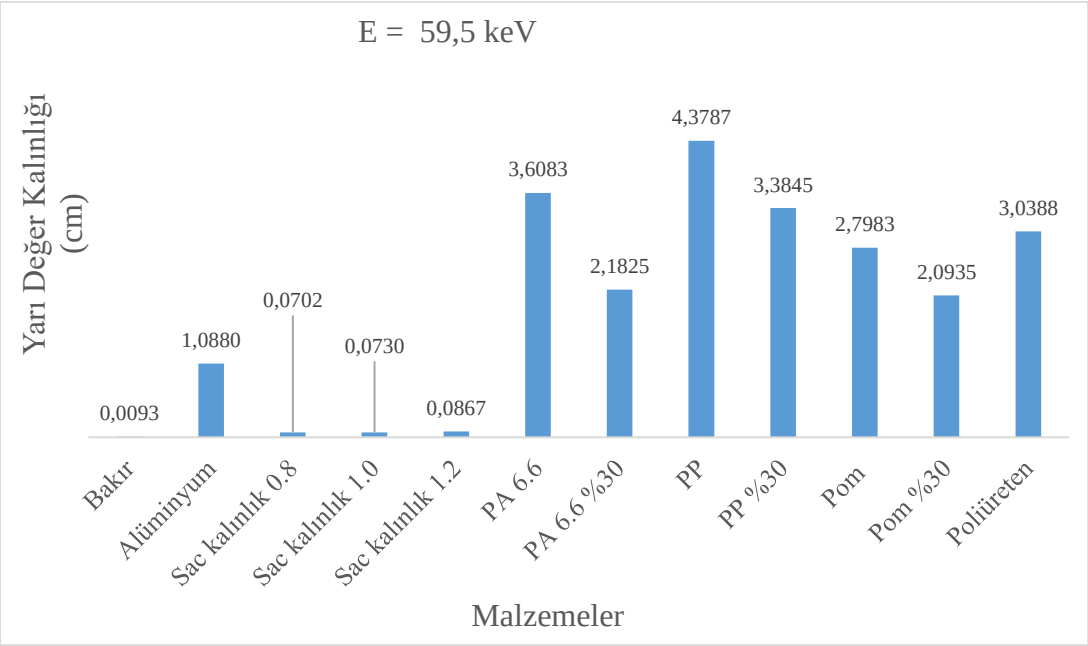


Şekil 3.41. Enerji 1173,2 (Co-60) ait ortalama serbest yol kıyaslama grafiği

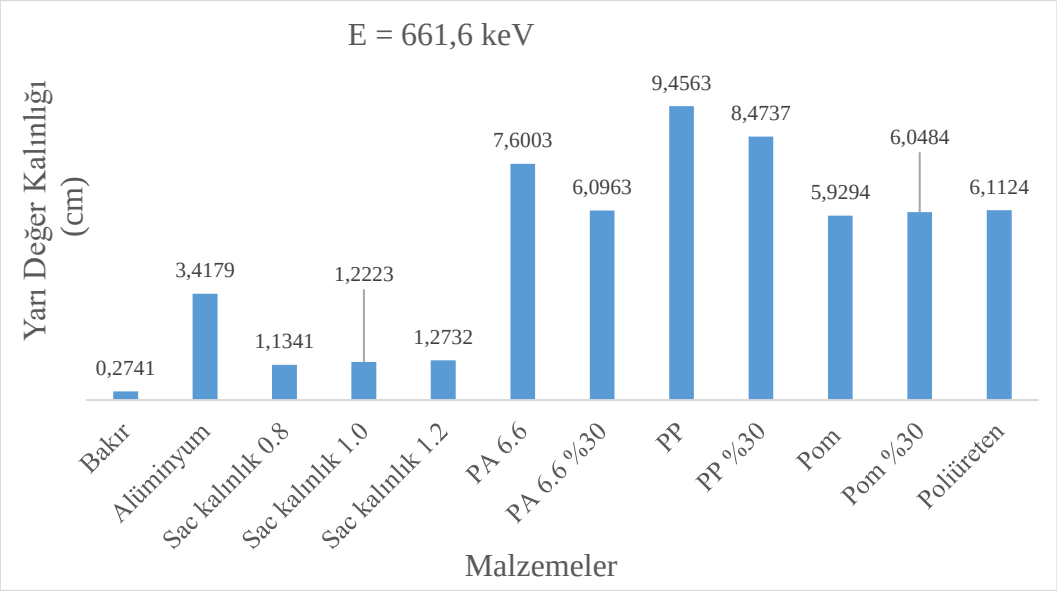


Şekil 3.42. Enerji 1332,5 (Co-60) ait ortalama serbest yol kıyaslama grafiği

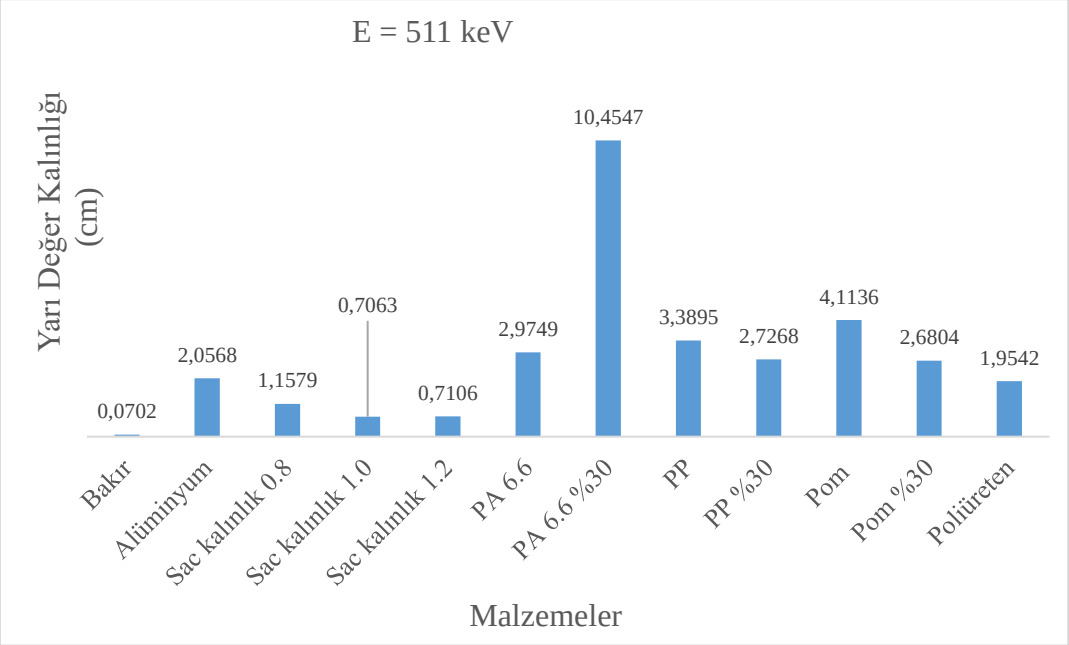
Çalışılan enerji değerlerindeki gama ışınlarının şiddetini yarıya indirmek için kullanılan malzemelerin, gerekli kalınlık değerleri karşılaştırmalı olarak şekil 3.43, 3.44, 3.45, 3.46, 3.47 ve 3.48'de oluşturulan grafiklerde verilmiştir.



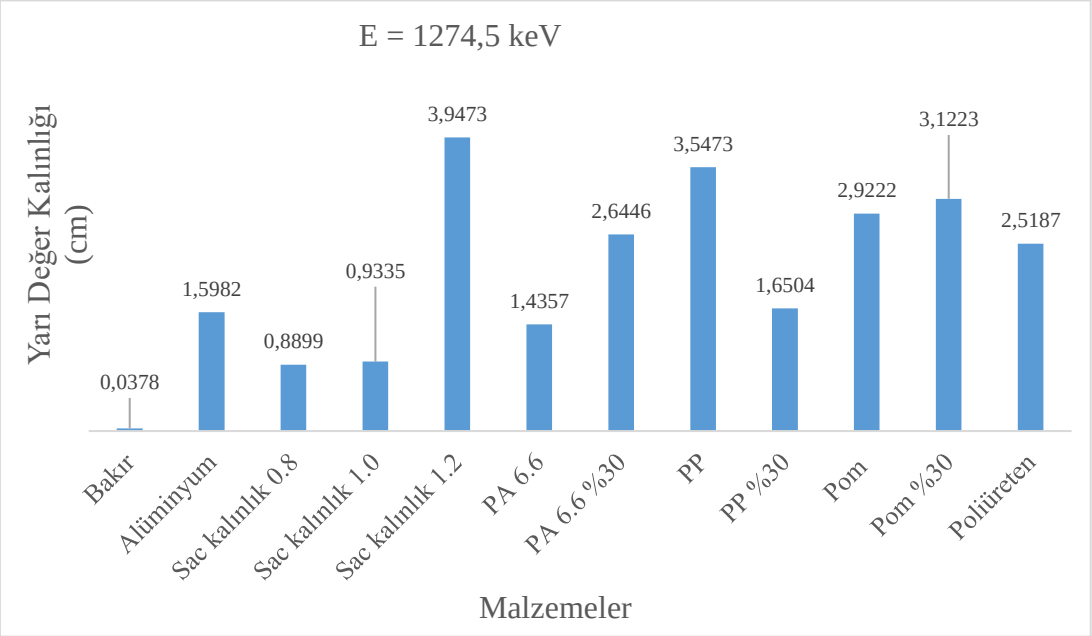
Şekil 3.43. Enerji 59,5 (Am-241) ait yarı değer kalınlığı kıyaslama grafiği



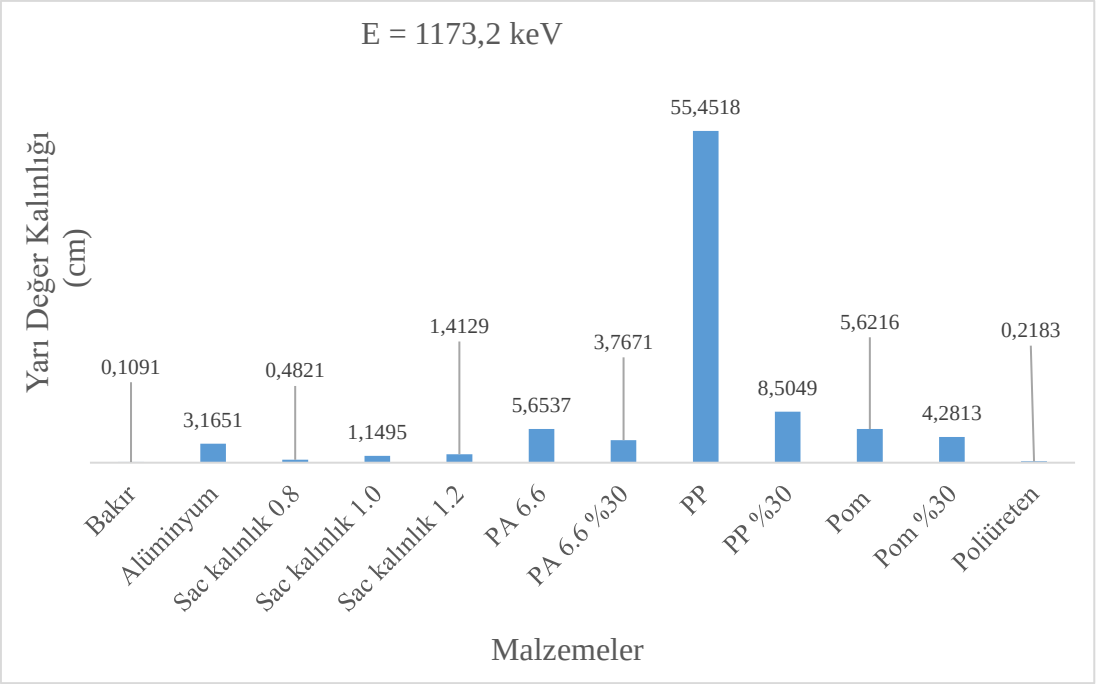
Şekil 3.44. Enerji 661,6 (Cs-137) ait yarı değer kalınlığı kıyaslama grafiği



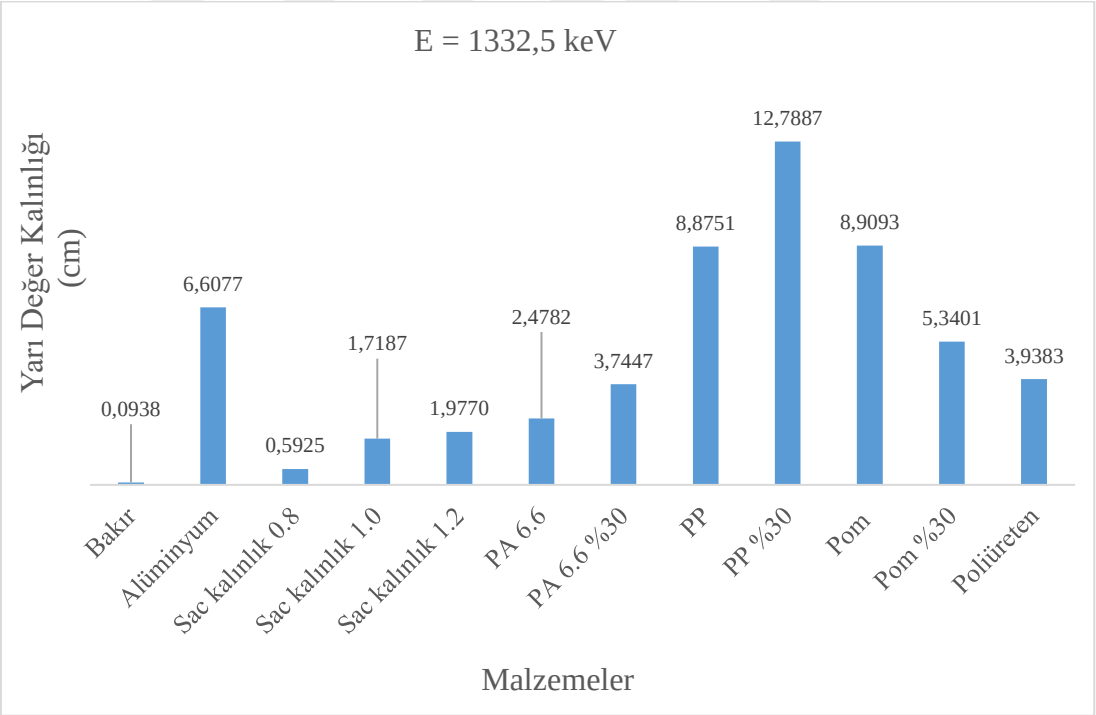
Şekil 3.45. Enerji 511 (Na-22) ait yarı değer kalınlığı kıyaslama grafiği



Şekil 3.46. Enerji 1274,5 (Na-22) ait yarı değer kalınlığı kıyaslama grafiği

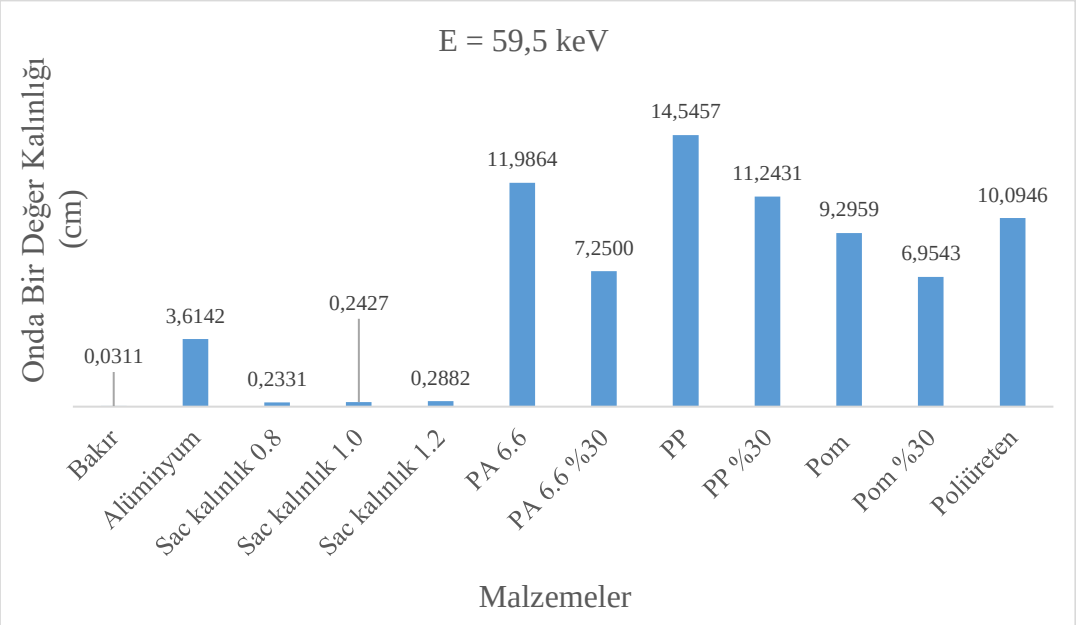


Şekil 3.47. Enerji 1173,2 (Co-60) ait yarı değer kalınlığı kıyaslama grafiği

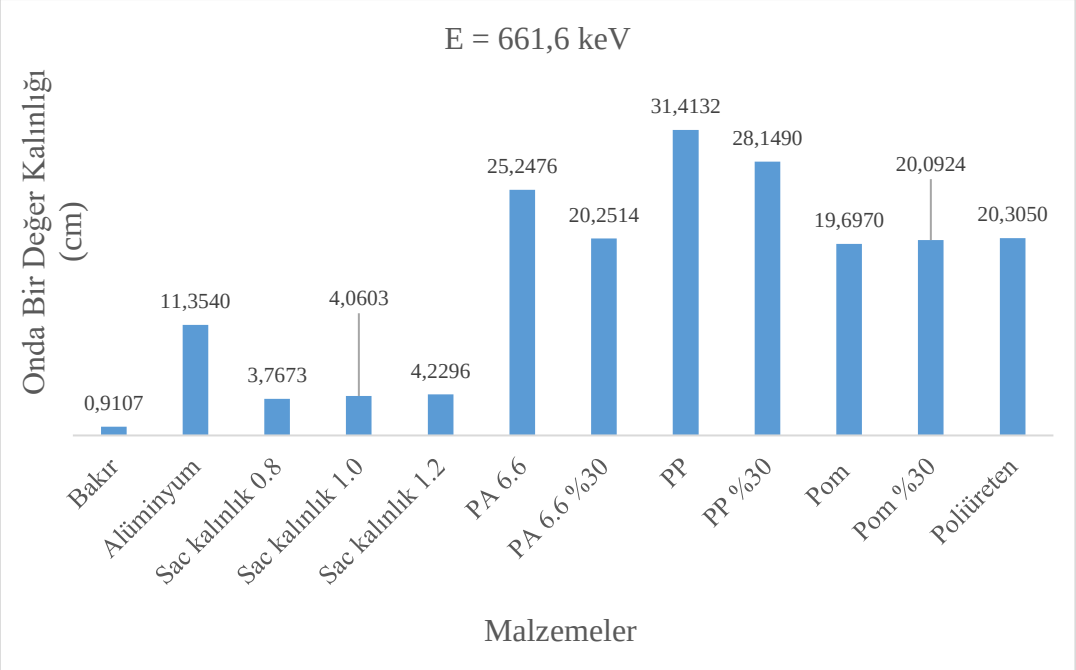


Şekil 3.48. Enerji 1332,5 (Co-60) ait yarı değer kalınlığı kıyaslama grafiği

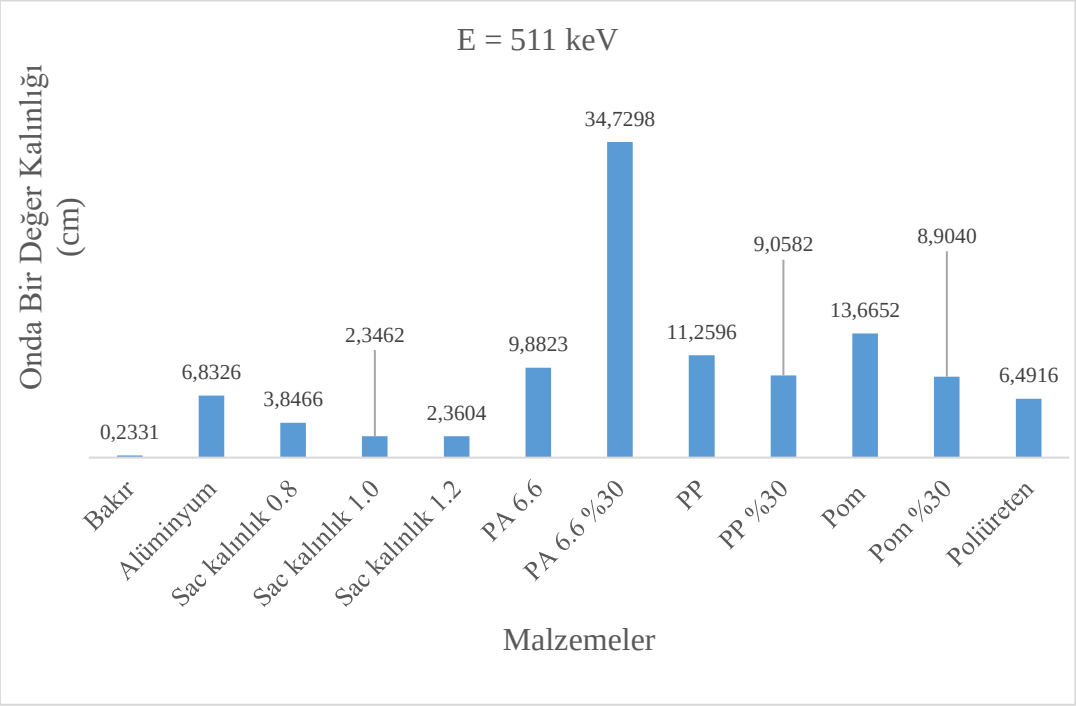
Çalışılan enerjilerdeki gama ışınlarının şiddetini onda birine indirmek için kullanılan malzemelerin, gerekli kalınlık değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 3.49, 3.50, 3.51, 3.52, 3.53. ve 3.54'de oluşturulan grafiklerde verilmiştir.



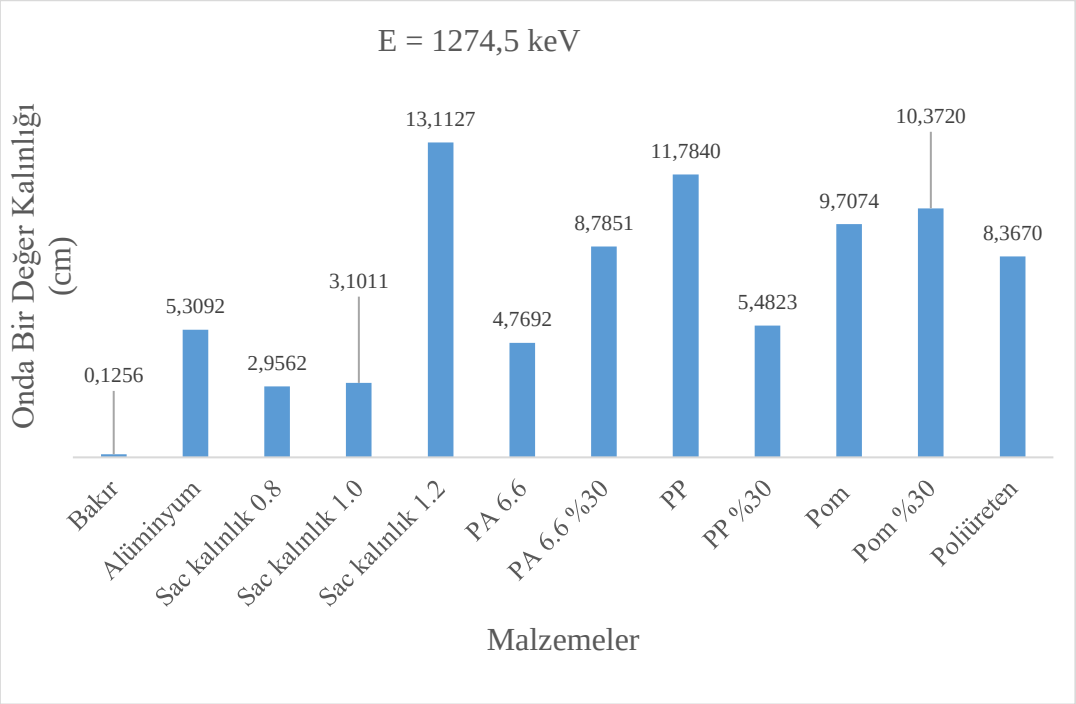
Şekil 3.49. Enerji 59,5 (Am-241) ait onda bir değer kalınlığı kıyaslama grafiği



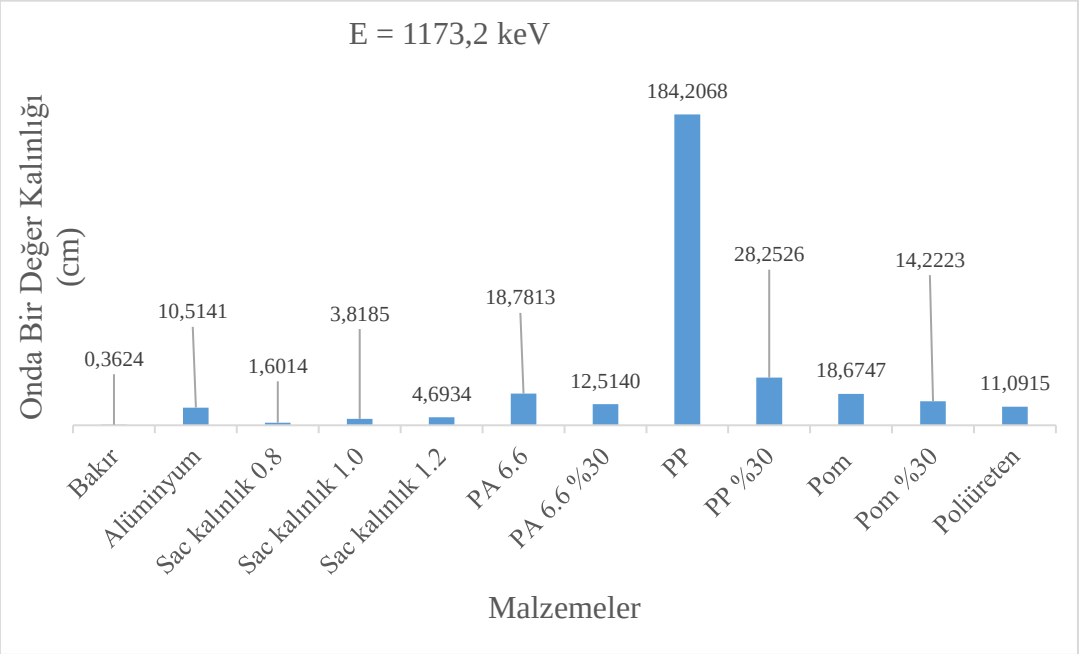
Şekil 3.50. Enerji 661,6 (Cs-137) ait onda bir değer kalınlığı kıyaslama grafiği



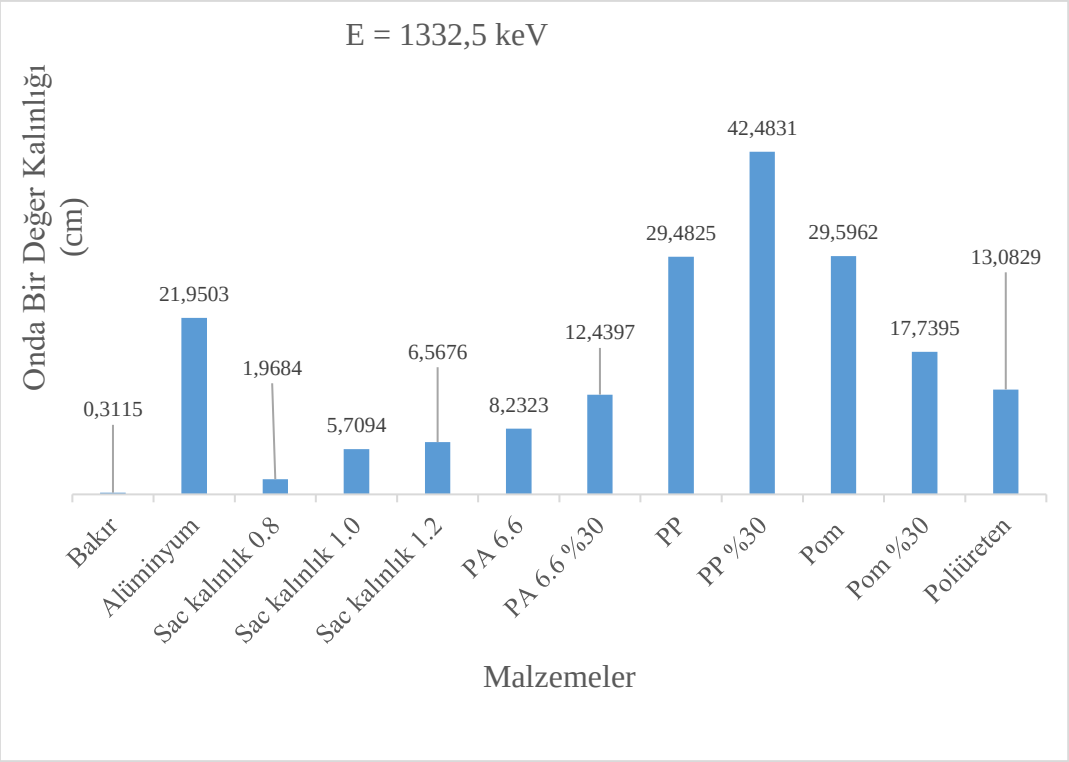
Şekil 3.51. Enerji 511 (Na-22) ait onda bir değer kalınlığı kıyaslama grafiği



Şekil 3.52. Enerji 1274,5 (Na-22) ait onda bir değer kalınlığı kıyaslama grafiği



Şekil 3.53. Enerji 1173,2 (Co-60) ait onda bir değer kalınlığı kıyaslama grafiği



Şekil 3.54. Enerji 1332,5 (Co-60) ait onda bir değer kalınlığı kıyaslama grafiği

Yüksek lisans tez çalışması kapsamında farklı malzemelerin gama ışınına karşı davranışlarının incelenmesi ve irdelenmesine yönelik olarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Farklı radyasyon türleri bulunmaktadır ve bu radyasyon türlerinden korunmada zırhlama malzemelerinin araştırılması ve incelenmesi büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, malzeme giriciliği yüksek olan gama ışınlarıyla çalışılmış ve malzemelerin gama ışınlarına karşı davranışlarının incelenmesi ve gama geçiş tekniği kullanılarak radyasyon zırhlaması hakkında değerlendirmeler yapılmıştır. Dört farklı gama radyoizotop kaynak (Cs-137, Am-241, Na-22 ve Co-60) ile çalışılmıştır.

Soğurucu malzeme olarak kompozit, alüminyum, bakır ve sac malzemelerle çalışılmıştır. Bu çalışmada amaç, nükleer teknolojide zırhlama önemli bir konu olduğu için, çeşitli enerjilerdeki gama ışınlarının zırhlanmasında kullanılabilecek malzemelerin araştırmasına katkı sağlamaktır.

Son dönemlerde, gama zırhlamasına ilişkin günümüze kadar yaygın kullanılan ve hali hazırda kullanılmaya devam eden kurşunun toksik etkisi ve yaratabileceği çevre sorunları ile ilişkili olarak kullanılmaması konusu gündeme gelmiş bulunmaktadır. Bu sebepten AB'nin direktifleri arasında yer alan ve bazı zararlı maddelerin kullanımının teknolojide kısıtlayan RoHS uygulamaları içerisinde kurşun da yer almakta olup, kurşun kullanımının terk edilmesine çalışılmaktadır. Bu bağlamda, yüksek lisans tez çalışmamda, gama radyasyon zırhlama alanında kullanılan kurşun malzemelere alternatif olabilecek kompozit, alüminyum, bakır ve sac malzemeler ile çalışılıp çalışılamayacağı incelenmiştir.

Bu yüksek lisans tezinde çalışılan ve Şekil 3.1'de toplu halde verilen malzemelerin her birinin gama ışını olarak incelenmiştir. Deneylerde kullanılan kompozit malzemeler Bursa ilindeki bir firma aracılığıyla uygun proses parametreleri ve koşulları ile bu tez için özgün olarak üretilmiş ve kullanılmıştır. Bu nedenle çalışılan kompozit ve sac malzemeler için deneylerimiz ilk olma özelliğini taşımaktadır. Üretilen malzemelerin kendi içerisinde hepsinin aynı üretim ve hammadde lotunda olmasına dikkat edilmiş ve

üretimden kaynaklı oluşabilecek radyasyon zırhlanma konusunda oluşabilecek negatif etkiler en aza indirilmeye çalışılmıştır.

Lineer zayıflatma katsayısı verileri kullanılarak her enerji değeri için hesaplanan ortalama serbest yol değerlerine ait grafikler Şekil 3.37, 3.38, 3.39, 3.40, 3.41 ve 3.42'de; yarı değer kalınlığına ait grafikler Şekil 3.43, 3.44, 3.45, 3.46, 3.47 ve 3.48'de; onda bir değer kalınlığına ait grafikler Şekil 3.49, 3.50, 3.51, 3.52, 3.53 ve 3.54'te gösterilmiştir.

E = 59,5 keV enerjili gama ışınları için, çalışılan on iki malzeme arasında lineer zayıflatma katsayısı verileri değerlendirildiğinde en iyi zırhlama özelliğine sahip olan malzeme 74,134 cm^{-1} lineer zayıflatma katsayısı değeri ile Bakır çıkmıştır. Bakırdan sonraki en iyi zırh malzemesi 9,8775 cm^{-1} lineer zayıflatma katsayısı değeri ile 0,8 mm kalınlığındaki sac numunesi olmuştur. Bu enerji değerindeki üçüncü zırh malzemesi 9,4893 cm^{-1} lineer zayıflatma katsayısı değeri ile 1,0 mm kalınlındaki sac numunesi olmuştur. Aynı enerji değerinde ortalama serbest yol için hesaplanan numune değerleri sırasıyla 0,0135 cm, 0,1012 cm ve 0,1054 cm çıkmıştır. Yarı değer kalınlığının sonuç sıralaması 0,0093 cm, 0,0702 cm ve 0,0730 cm, Onda bir değer kalınlığı hesaplaması sonucu değer sıralaması 0,0311 cm, 0,2331 cm ve 0,2427 cm bulunmuştur. Ayrıca, 59,5 keV enerjili gama ışınlarının kompozit malzemelerdeki lineer zayıflatma katsayıları kendi aralarında değerlendirilmiştir. Yedi kompozit malzeme arasında bu enerjiye sahip gama ışınları için en iyi zırhlama malzemesi Polioksimetilen % 30 olmuştur. İkinci sırada en iyi kompozit zırh malzemesi olarak Polyamid 6.6 %30 çıkmıştır. İlk üç malzeme değerlendirmesinde üçüncü olan zırhlama malzemesi Polioksimetilen olmuştur. Çıkan sonuçlar ortalama serbest yol, yarı değer kalınlığı ve onda bir değer kalınlığı numune sonuçları ile aynıdır.

E = 661,6 keV enerjili gama ışınları için, çalışılan on iki malzeme arasında lineer zayıflatma katsayısı verileri değerlendirildiğinde en iyi zırhlama özelliğine sahip olan malzeme 2,5285 cm^{-1} lineer zayıflatma katsayısı değeri ile Bakır çıkmıştır. Bakırdan sonraki en iyi zırh malzemesi 0,6112 cm^{-1} lineer zayıflatma katsayısı değeri ile 0,8 mm kalınlığındaki sac numunesi olmuştur. Bu enerji değerindeki üçüncü zırh malzemesi

0,5671 cm^{-1} lineer zayıflatma katsayısı değeri ile 1,0 mm kalınlındaki sac numunesi olmuştur. Aynı enerji değerinde ortalama serbest yol için hesaplanan numune değerleri sırasıyla 0,3955 cm, 1,6361 cm ve 1,7634 cm çıkmıştır. Yarı değer kalınlığının sonuç sıralaması 0,2741 cm, 1,1341 cm ve 1,2223 cm, Onda bir değer kalınlığı hesaplaması sonucu değer sıralaması 0,3955 cm, 1,6361 cm ve 1,7634 cm bulunmuştur. Ayrıca, 661,6 keV enerjili gama ışınlarının kompozit malzemelerdeki lineer zayıflatma katsayıları kendi aralarında değerlendirilmiştir. Yedi kompozit malzeme arasında bu enerjiye sahip gama ışınları için en iyi zırhlama malzemesi Polioksimetilen olmuştur. İkinci sırada en iyi kompozit zırh malzemesi olarak Polioksimetilen % 30 çıkmıştır. İlk üç malzeme değerlendirmesinde üçüncü olan zırhlama malzemesi Polyamid 6.6 %30 olmuştur. Çıkan sonuçlar ortalama serbest yol, yarı değer kalınlığı ve onda bir değer kalınlığı numune sonuçları ile aynıdır.

E = 511 keV enerjili gama ışınları için, çalışılan on iki malzeme arasında lineer zayıflatma katsayısı verileri değerlendirildiğinde en iyi zırhlama özelliğine sahip olan malzeme 9,8781 cm^{-1} lineer zayıflatma katsayısı değeri ile Bakır çıkmıştır. Bakırdan sonraki en iyi zırh malzemesi 0,9814 cm^{-1} lineer zayıflatma katsayısı değeri ile 1,0 mm kalınlığındaki sac numunesi olmuştur. Bu enerji değerindeki üçüncü zırh malzemesi 0,9755 cm^{-1} lineer zayıflatma katsayısı değeri ile 1,2 mm kalınlındaki sac numunesi olmuştur. Aynı enerji değerinde ortalama serbest yol için hesaplanan numune değerleri sırasıyla 0,1012 cm, 1,0190 cm ve 1,0251 cm çıkmıştır. Yarı değer kalınlığının sonuç sıralaması 0,0702 cm, 0,7063 cm ve 0,7106 cm; Onda bir değer kalınlığı hesaplaması sonucu değer sıralaması 0,2331 cm, 2,3462 cm ve 2,3604 cm bulunmuştur. Ayrıca, 511 keV enerjili gama ışınlarının kompozit malzemelerdeki lineer zayıflatma katsayıları kendi aralarında değerlendirilmiştir. Yedi kompozit malzeme arasında bu enerjiye sahip gama ışınları için en iyi zırhlama malzemesi Poliüretan olmuştur. İkinci sırada en iyi kompozit zırh malzemesi olarak Polioksimetilen %30 çıkmıştır. İlk üç malzeme değerlendirmesinde üçüncü olan zırhlama malzemesi Polipropilen % 30 olmuştur. Çıkan sonuçlar ortalama serbest yol, yarı değer kalınlığı ve onda bir değer kalınlığı numune sonuçları ile aynıdır.

E = 1274,5 keV enerjili gama ışınları için, çalışılan on iki malzeme arasında lineer zayıflatma katsayısı verileri değerlendirildiğinde en iyi zırhlama özelliğine sahip olan malzeme 18,333 cm^{-1} lineer zayıflatma katsayısı değeri ile Bakır çıkmıştır. Bakırdan sonraki en iyi zırh malzemesi 0,7789 cm^{-1} lineer zayıflatma katsayısı değeri ile 0,8 mm kalınlığındaki sac numunesi olmuştur. Bu enerji değerindeki üçüncü zırh malzemesi 0,7425 cm^{-1} lineer zayıflatma katsayısı değeri ile 1,0 mm kalınlındaki sac numunesi olmuştur. Aynı enerji değerinde ortalama serbest yol için hesaplanan numune değerleri sırasıyla 0,0545 cm, 1,2839 cm ve 1,3468 cm çıkmıştır. Yarı değer kalınlığının sonuç sıralaması 0,0378 cm, 0,8899 cm ve 0,9335 cm; Onda bir değer kalınlığı hesaplaması sonucu değer sıralaması 0,3115 cm, 1,9684 cm ve 5,7094 cm bulunmuştur. Ayrıca, 1274,5 keV enerjili gama ışınlarının kompozit malzemelerdeki lineer zayıflatma katsayıları kendi aralarında değerlendirilmiştir. Yedi kompozit malzeme arasında bu enerjiye sahip gama ışınları için en iyi zırhlama malzemesi Polyamid 6.6 olmuştur. İkinci sırada en iyi kompozit zırh malzemesi olarak Polipropilen % 30 çıkmıştır. İlk üç malzeme değerlendirmesinde üçüncü olan zırhlama malzemesi Poliüretan olmuştur. Çıkan sonuçlar ortalama serbest yol, yarı değer kalınlığı ve onda bir değer kalınlığı numune sonuçları ile aynıdır.

E = 1173,2 keV enerjili gama ışınları için, çalışılan on iki malzeme arasında lineer zayıflatma katsayısı verileri değerlendirildiğinde en iyi zırhlama özelliğine sahip olan malzeme 6,3541 cm^{-1} lineer zayıflatma katsayısı değeri ile Bakır çıkmıştır. Bakırdan sonraki en iyi zırh malzemesi 1,4379 cm^{-1} lineer zayıflatma katsayısı değeri ile 0,8 mm kalınlığındaki sac numunesi olmuştur. Bu enerji değerindeki üçüncü zırh malzemesi 0,603 cm^{-1} lineer zayıflatma katsayısı değeri ile 1,0 mm kalınlındaki sac numunesi olmuştur. Aynı enerji değerinde ortalama serbest yol için hesaplanan numune değerleri sırasıyla 0,1574 cm, 0,6955 cm ve 1,6584 cm çıkmıştır. Yarı değer kalınlığının sonuç sıralaması 0,1091 cm, 0,4821 cm ve 1,1495 cm; Onda bir değer kalınlığı hesaplaması sonucu değer sıralaması 0,3624 cm, 1,6014 cm ve 3,8185 cm bulunmuştur. Ayrıca, 1173,2 keV enerjili gama ışınlarının kompozit malzemelerdeki lineer zayıflatma katsayıları kendi aralarında değerlendirilmiştir. Yedi kompozit malzeme arasında bu enerjiye sahip gama ışınları için en iyi zırhlama malzemesi Poliüretan olmuştur. İkinci

sırada en iyi kompozit zırh malzemesi olarak Polyamid 6.6 % 30 çıkmıştır. İlk üç malzeme değerlendirmesinde üçüncü olan zırhlama malzemesi Polioksimetilen %30 olmuştur. Çıkan sonuçlar ortalama serbest yol, yarı değer kalınlığı ve onda bir değer kalınlığı numune sonuçları ile aynıdır.

E = 1332,5 keV enerjili gama ışınları için, çalışılan on iki malzeme arasında lineer zayıflatma katsayısı verileri değerlendirildiğinde en iyi zırhlama özelliğine sahip olan malzeme 7,3921 cm^{-1} lineer zayıflatma katsayısı değeri ile Bakır çıkmıştır. Bakırdan sonraki en iyi zırh malzemesi 1,1698 cm^{-1} lineer zayıflatma katsayısı değeri ile 0,8 mm kalınlığındaki sac numunesi olmuştur. Bu enerji değerindeki üçüncü zırh malzemesi 0,4033 cm^{-1} lineer zayıflatma katsayısı değeri ile 1,0 mm kalınlındaki sac numunesi olmuştur. Aynı enerji değerinde ortalama serbest yol için hesaplanan numune değerleri sırasıyla 0,1353 cm, 0,8548 cm ve 2,4795 cm çıkmıştır. Yarı değer kalınlığının sonuç sıralaması 0,0938 cm, 0,5925 cm ve 1,7187 cm; Onda bir değer kalınlığı hesaplaması sonucu değer sıralaması 0,3115 cm, 1,9684 cm ve 5,7094 cm bulunmuştur. Ayrıca, 1332,5 keV enerjili gama ışınlarının kompozit malzemelerdeki lineer zayıflatma katsayıları kendi aralarında değerlendirilmiştir. Yedi kompozit malzeme arasında bu enerjiye sahip gama ışınları için en iyi zırhlama malzemesi Polyamid 6.6 olmuştur. İkinci sırada en iyi kompozit zırh malzemesi olarak Polyamid 6.6 % 30 çıkmıştır. İlk üç malzeme değerlendirmesinde üçüncü olan zırhlama malzemesi Poliüretan olmuştur. Çıkan sonuçlar ortalama serbest yol, yarı değer kalınlığı ve onda bir değer kalınlığı numune sonuçları ile aynıdır.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Radyasyon ile ölçme tekniklerinden biri olan gama transmisyon tekniği, gama ışınlarının maddeye nüfuz edebilme ve malzemeyi kat edebilme özelliğine dayanmaktadır. Bu teknik, kaynaktan çıkan radyasyonun malzemeyi kat ederek geçen miktarının ölçülmesi esasına dayanır. Yapılan çalışmalar sonucunda, gama transmisyon tekniği ile tayin edilen lineer zayıflatma katsayıları birbirleriyle kıyaslandığında aynı enerji değeri aralığında bazı malzemelerin birbirleri yerine kullanılabilir oldukları görülmüştür.

Yani, 661,6 keV enerjide Tablo 3.14.'teki veriler karşılaştırıldığında Poliüretanın lineer zayıflatma katsayısı değeri 0,1134 cm^{-1}, Poliamid 6.6 %30'un lineer zayıflatma katsayısı değeri 0,1137cm^{-1}, Polioksimetilen %30'un lineer zayıflatma katsayısı değeri 0,1146 cm^{-1} ve bu enerjide son olarak Polioksimetilenin lineer zayıflatma katsayısı değeri 0,1169 cm^{-1} çıkmıştır. Elde edilen verilerden de anlaşılabileceği üzerine 661,6 keV enerji aralığında bu dört malzemenin birbirleri yerine kullanılabilir olduğu görülmüştür.

511 keV enerjide Tablo 3.14'teki veriler karşılaştırıldığında Polipropilen %30'un lineer zayıflatma katsayısı değeri 0,2542 cm^{-1} ve Polioksimetilen %30'un lineer zayıflatma katsayısı değeri 0,2586 cm^{-1} çıkmıştır. Elde edilen verilerden de anlaşılabileceği üzerine 511 keV enerji aralığında bu iki malzemenin birbirleri yerine kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür. Ayrıca 511 keV enerjide Sac 1,0 numunesinin lineer zayıflatma katsayısı değeri 0,9814 cm^{-1} ve Sac 1,2 numunesinin lineer zayıflatma katsayısı değeri 0,9755 cm^{-1} çıkmıştır. Bu iki malzemenin de sonuçlarına bakıldığında aradaki farkın 0,0059 cm^{-1} olması dolayısıyla birbirleri yerinde kullanılmasında bir sakınca olmayacağı öngörülmüştür.

1173,2 keV enerjide Tablo 3.14'teki veriler karşılaştırıldığında Polyamid 6.6'nın lineer zayıflatma katsayısı değeri 0,1226 cm^{-1} ve Polioksimetilenin lineer zayıflatma katsayısı değeri 0,1233 cm^{-1} çıkmıştı. Elde edilen verilerden de anlaşılabileceği üzerine 1173,2 keV enerji aralığında bu iki malzemenin birbirleri yerine kullanılabileceği görülmüştür.

1332,5 keV enerjide Tablo 3.14'teki veriler karşılaştırıldığında Polipropilen lineer zayıflatma katsayısı değeri 0,0781 cm^{-1} ve Polioksimetilenin lineer zayıflatma katsayısı değeri 0,0778 cm^{-1} çıkmıştır. Elde edilen verilerden de anlaşılabileceği üzerine 1332,5 keV enerji aralığında bu iki malzemenin birbirleri yerine kullanılmasının mümkün olduğu görülmüştür

Yapılan çalışma sonuçları incelendiğinde 59,5 keV ve 1274,5 keV enerjilerinde çalışılan malzemelerin lineer zayıflatma katsayı değerleri farklı çıkmıştır ve birbirleri yerine kullanılabilir malzeme analizi yapılamamıştır.

Gama ışını enerji değerleri ve doğruların eğimlerinden çıkan sonuçlar ile oluşturulan Lineer zayıflatma katsayıları Çizelge 3.14'te verilmiştir. Çizelge 3.14'teki verilerden yararlanarak ayrı ayrı enerji grafikleri çizilmiş ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir (Şekil 3.31- Şekil 3.32- Şekil 3.33- Şekil 3.34 - Şekil 3.35 - Şekil 3.36). Bu değerlendirme sonucuna göre her enerji değerinde tek tek en iyi zırhlama malzemeleri bulunmuştur. Lineer zayıflatma katsayısı, ortalama serbest yol, yarı değer kalınlığı ve onda bir değer kalınlığı için yapılan hesaplama ve değerlendirmelerin sonuçları incelendiğinde on iki malzeme arasında Bakır en iyi zırh malzemesi olduğu belirlenmiştir. 511 keV enerji dışında lineer zayıflatma katsayısı grafiklerinde zırh malzemesi sıralaması Bakır, 0,8 mm Sac numunesi ve 1,0 mm sac numunesi şeklinde olmuştur. Sadece 511 kev enerjide sıralama Bakır, 1,0 mm sac numunesi ve 1,2 mm sac numunesi olarak değişmiştir. Yine lineer zayıflatma katsayısı grafikleri değerlendirmesinde kompozit malzemeler üzerinde değerlendirme yapıldığında polioksimetilen, poliüretan ve poliamid 66 malzemelerin genel olarak kendi aralarında ilk üçe girdiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

Baltacıoğlu, N. (1995). *Gama geçirgenliği ile yoğunluk tayini,* (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.

Büyük B., Tuğrul A.B. (2009). "Gama Transmisyon Tekniği ile Cs-137 Gama Radyoizotop Kaynağı Kullanılarak Farklı Metaller için Kalınlık Tayini" *X. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi*, Cilt 1, 49-58

Büyük, B. (2013). *Volfram, titanyum, bor içeren bazı malzemelerin gama ve nötron radyasyonu karşısındaki davranışının incelenmesi, X-com bilgisayar programı ile irdelenmesi ve yeni bir radyasyon zırh malzeme önerisi*, (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.

Büyük B., Tuğrul A. B. (2014*).* An Investigation on Gamma Attenuation Behaviour of Titanium diboride Reinforced Boron Carbide-Silicon carbide Composites. *Radiation Physics and Chemistry*. Vol. 97, No. 9, 2014, s. 354-359

Choo V.K.S. (1990). *Fundamentals of Composite Materials*. Knowen Academic Press Inc. Delaware, ABD.

Croft S. (2006). Observations on the experimental determination of mass attenuation coefficients. *Annals of Nuclear Energy*,33 (2006) 466–471

Demir M. (2008). *Nükleer Tıp Fiziği ve Klinik Uygulamaları*, İ.Ü. Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Nükleer Tıp Anabilim Dalı.

Doğan B. (2015). *Yapı malzemelerinin gama radyasyonu karşısındaki davranışının incelenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), İTÜ Enerji Enstitüsü, İstanbul

Durmaz H. (2002). *Radyasyon Zırhlaması Amacıyla Karbonlu Yapı Çeliklerinin Değerlendirilmesi,* (Yüksek Lisans Tezi), İTÜ Enerji Enstitüsü, İstanbul

Etheringon H. (1955). *Nuclear Engineering Handbook.*

Gardner R.P., Ely R.L. (1967). *Radioisotopes Measurement Applications in Engineering*. Reinhold Publishing Company, New York

Gong, P., Ni, M., Chai, H., Chen, F., Tang, X. (2018). Preparation and characteristics of a flexible neutron and gamma ray shielding and radiation-resistand material reinforced by benzophenone. *Nuclear engineering and technology* 50, 470-477.

Göksel A.S. (1973). *Radyasyonların Biyolojik Etkileri ve Radyasyon Korunması*.

Güngör, A., Akbay, İ. K., Yaşar, D., Özdemir, T. (2018). *Flexible X/Gamma ray shielding composite material of EPDM rubber with bismuth trioxide: Mechanical, thermal investigations and attenuation tests*. Progress in nuclear energy 106, 262-269.

Han I., Demir L. (2009). *Determination of mass attenuation coefficients, effective atomic and electron numbers for Cr, Fe and Ni alloys at different energies* Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 267(2009)3–8

Han I., Demir L., Sahin M. (2009). *Determination of mass attenuation coefficients, effective atomic and electron numbers for some natural minerals* Radiation Physics and Chemistry 78 (2009) 760–764

Kaçar, A., (2006). *Borlamanın paslanmaz çeliğin radyasyon zırhlama özelliğine etkisinin araştırılması,* (Yüksek lisans Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Kahya, S., (1985). *Yüksek Aktiviteli Bir Nokta Gama Kaynağının Zırhlama Problemleri*, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kharita M.H., Alnassar M., Yousef S., (2010). *Review on the addition of boron compounds to radiation shielding concrete.* Progress in Nuclear Energy, 1-5

Kharita M.H., Takeyeddin M., Alnassar M., Yousef S. (2008). *Development of special radiation shielding concretes using natural local materials and evaluation of their shielding characteristics.* Progress in Nuclear Energy, 50, 33-36

Knoll G.F., (2002). *Radiation Detection and Measurement*. University of Michigan

Kobayashi S., Hosoda N., Takashima R., (1997). *Tungsten alloys as radiation protection materials*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 390(1997), 426-430

Krane, K. (2001). *Nükleer Fizik* 1.Cilt. Ankara: Palme.

L'Annunziata M.F. (2000) "*Handbook of Radioactivity Analysis*" 2nd Ed

L'Annunziata M.F. (2003). *Handbook of Radioactivity Analysis*. Elsevier Science, 2nd Ed, ABD.

Lawrie J.J., Mostert F.J., König P.J., Werneyer K.D. (2010). *The Use of the Gamma-Ray Absorption Technique as a Quality Control Procedure in the Manufacture of Powder Metal Shaped Charge Liners.* Journal of Applied Mechanics, Vol.77, 051701-1

Martin, J.E., (2013). *Physics for Radiation Protection*, CA.: Wiley-VCH.

Medhat M.E. (2009). *Gamma-ray attenuation coefficients of some building materials available in Egypt* Annals of Nuclear Energy 36 (2009) 849–852

Özyurt, O., (2015). *Türkiye'de üretilen granitlerin gama ve nötronları zayıflatma özelliklerinin incelenmesi,* (Yüksek lisans tezi), İTÜ, Enerji Enstitüsü, İstanbul.

Poltabtim, W., Wimolmala, E., Saenboonruang, K. (2018). *Properties of lead-free gamma-ray shielding materials from metal oxide/EPDM*

Ragheb M., (2006), *Attenuation of gamma radiation* http://mragheb.com/NPRE%20441%20Principles%20of%2

Seyrek, E. (2007). *Radyoizotopların Üretimi ve Radyoterapide Kullanılması*, Gazi Üniversitesi, Ankara.

Shik, N. A., Gholamzadeh, L. (2018). *X-ray shielding performance of the EPVC composite with micro- or nanoparticles of WO3, PbO or Bi2O3*. Applied radiation and isotopes 139, 61-65.

Shultis J. K., Faw R.E., (2000). *Radiation Shielding*.

Singh N., Kanwar Jit Singh, Kulwant Singh, Harvinder Singh (2004*). Comparative study of lead borate and bismuth lead borate glass systems as gamma-radiation shielding materials*. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 225 (2004) 305–309

Sönmez M. (2009). *Polimer matrisli kompozitlerin endüstri ürünleri tasarımında önemi ve geleceği: Türkiye'den dört örnek firma üzerine bir inceleme*, (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Şahin Y., (2006). *Kompozit Malzemelere Giriş*. Seçkin Yayıncılık, ISBN 975 02 0328 3, Ankara

Tuğrul, A.B., Demir, E., Yılmaz, O., Sultan, S., Öveçoğlu, M.L., Büyük, B. (2016). An investigation on the mass attenuation coefficients of W VC C and W VC TiC C composites for gamma radioisotopes. *Acta Physica Polonica A, 129* (4), 727-727, doi: 10.12693/AphysPolA.129.724

Turner J. E., (2007). *Atoms, Radiation and Radiation Protection*. CA. Wiley-VCH.

Yaren H, Karayılanoğlu T. *Radyasyon ve insan sağlığı üzerine etkileri*. TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni, 2005;4: 199-208.

Url-1<https://avesis.istanbul.edu.tr/resume/downloadfile/latife.sahin?key=caaeb480-5009-42f7-b671-32c3794112a5)

Url-2 < https://fizikozetx.blogspot.com/2016/04/x-isinlari-olusumu-bu-sn-x-sn-tupu-ad_13.html

Url-3 <*http:// http://www.acikbilim.com*

Url-4 < http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Compton_scattering-de.svg

Url-5 < http://electrons.wikidot.com/pair-production-and-annihilation