

T.C.
SİNOP ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİSİPLİNLERARASI NÜKLEER ENERJİ VE ENERJİ SİSTEMLERİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KUMAŞ KAPLAMASINDA KULLANILAN BAZI MALZEMELERİN GAMA IŞINI
SOĞURMA KATSAYILARININ BELİRLENMESİ

YAZAR
Yusuf DEMİREL

DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ MUSTAFA KEMAL BALKİ

SİNOP – 2019

TEZ KABUL

Yusuf DEMİREL tarafından hazırlanan “Kumaş kaplamasında kullanılan bazı malzemelerin gama ışını soğurma katsayılarının belirlenmesi” başlıklı bu çalışma, 19.07.2019 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak, jürimiz tarafından **YÜKSEK LİSANS tezi** olarak kabul edilmiştir.

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Kemal BALKİ
Sinop Üniversitesi / Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi



Üye

Dr. Öğr. Üyesi Abdulkarim KARABULUT
Sinop Üniversitesi / Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi



Üye

Dr. Öğr. Üyesi Selçuk SELİMLİ
Karabük Üniversitesi / Teknoloji Fakültesi



ETİK BEYANI

Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Yusuf DEMİREL

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	i
SEMBOLLER ve KISALTMALAR.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ.....	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
TEŞEKKÜR.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÖZETLERİ.....	3
2.1. Radyasyonun Tanımlanması ve Çeşitleri	3
2.1.1. Parçacık Radyasyonu	3
2.1.1.1. Beta Parçacık Radyasyonu	3
2.1.1.2. Alfa Parçacık Radyasyonu	4
2.1.1.3. Nötronlar	4
2.1.2. Elektromanyetik Radyasyon	5
2.1.2.1. X(Röntgen) Işınları.....	5
2.1.2.2. Gama Işınları	6
2.1.3. Radyasyon Terimleri ve Enerjileri.....	7
2.1.4. Radyasyonun Yaşamımızdaki Yeri.....	8
2.1.4.1. Radyasyonun Başlıca Kullanım Alanları	8
2.1.4.2. Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri.....	9
2.2. Radyoaktivite.....	13
2.2.2. Radyoaktif Bozunma Yasası	15
2.2.3. Yarı Ömür ve Ortalama Ömür	16
2.3. Bozunma Çeşitleri	18
2.3.1. Alfa Bozunumu	18
2.3.2. Beta bozunması	19
2.3.2.1. β^- bozunması.....	19
2.3.2.2. β^+ bozunması.....	20
2.3.2.3. Elektron Yakalama Olayı	20
2.3.3. Nötron bozunması (veya nükleer bölünme).....	21
2.3.4. Gama Bozunması	22
2.4. Radyasyon Madde Etkileşimi.....	23
2.4.1. Alfa parçacıkların madde ile etkileşimi	24
2.4.2. Beta parçacıklarının madde ile etkileşimi	25

2.4.3. Gama ve X Işınlının Madde ile Etkileşmesi	27
2.4.3.1. Fotoelektrik Olayı.....	30
2.4.3.2. Compton Saçılması.....	32
2.4.3.3. Çift Oluşumu	34
2.4.3.4. Koherent Saçılması.....	36
2.4.4. Nötronların Madde ile Etkileşimi.....	38
2.5. Radyasyondan Korunma	39
2.5.1. Zaman Faktörü	40
2.5.2. Mesafe kuralı (Çalışma Bölgeleri).....	40
2.5.3. Zırhlama kuralı.....	43
2.5.3.1. Zayıflatma Oranı (FN).....	47
2.5.3.2. Yarı Değer Kalınlığı (HVL)	48
2.5.3.3. Onda Bir Değer Kalınlığı (TVL).....	48
2.6. Literatür Özetleri	49
3. MATERYAL ve METOT	55
3.1. Kullanılan Detektör	55
3.1.1. Yüksek Saflıkta Germanyum (HPGe) Detektörü.....	55
3.1.2. Spektroskopi Yükseltici	56
3.1.3. Çok Kanallı Analizör (MCA).....	57
3.1.4. Kurşun Zırhlama	57
3.2. Kumaşların Kaplanması	57
3.2.1. Kaplamada Kullanılan Materyaller	58
3.2.2. Kaplamada Kullanılan Zemin Kumaşların Özellikleri.....	58
3.3. Deneylerin Yapılışı.....	59
3.3.1. Kimyasalların Hazırlanması.....	59
3.3.2. Kullanılan Kumaşın Özellikleri ve Kurutma Şartları.....	60
3.3.3. Kaplama İşlemi	60
3.3.4. Soğurma Ölçümleri	61
4. BULGULAR	69
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	73
6. KAYNAKÇA	75
ÖZGEÇMİŞ	81

SEMBOLLER ve KISALTMALAR

λ	: Bir radyoaktif elementin bozunma sabiti
NA	: Avagadro sabiti
Z	: Atom numarası
A	: Kütle numarası
α	: Alfa taneciği
β	: Beta taneciği
p	: Proton
P	: Bir çekirdeğin proton sayısı
γ	: Gama ısıını
n	: Nötron
N	: Bir çekirdeğin nötron sayısı
X	: Radyasyon pozundaki değişim
Γ	: Kaynağa bağlı gama katsayısı
μ	: Toplam doğrusal zayıflatma katsayısı
μ_m	: Toplam kütlelel zayıflatma katsayısı
keV	: Kilo elektron volt
meV	: Mega elektron volt
ρ	: Yoğunluk
σ	: Compton saçılması kısmi zayıflatma katsayısı
τ	: Fotoelektrik etki kısmi zayıflatma katsayısı
κ	: Çift oluşumu kısmi zayıflatma katsayısı
e	: Elektronun yükü
r_0	: Klasik elektron yarıçapı
h	: Planck sabiti
I_0	: Engel tarafından zayıflatılmamış radyasyon şiddeti
I	: Engel tarafından zayıflatılmış radyasyon şiddeti
σ_a	: Compton saçılması için atom basına tesir kesiti
τ_a	: Fotoelektrik etki için atom basına tesir kesiti
κ_a	: Çift oluşumu için atom basına tesir kesiti
e	: Elektronun yükü
c	: Işık hızı
m_e	: Elektronun durgun hal kütlesi
Pb	: Kurşunun simgesi
Fe	: Demirin simgesi
He	: Helyumun simgesi
K	: Potasyumun simgesi
Br	: Bromun simgesi
DNA	: Deoksiribo Nükleik Asit
DOE	: Enerji Bölümü
ICRU	: Uluslararası Radyasyon Üniteleri ve Ölçümleri Komisyonu
ICRP	: Uluslararası Radyoloji Koruma Komisyonu
NRC	: Ulusal Araştırma Konseyi
UNSCEAR	: Birleşmiş Milletler Atomun Etkilerine İlişkin Bilimsel Komite
ADC	: Dijital çevirici
MCA	: Çok portlu çok kanallı analizör

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Türüne göre radyasyon	3
Şekil 2.2	X ışını tüpünün şematik görünümü	5
Şekil 2.3	Gama ışınlarının elektromanyetik tayftaki yeri	6
Şekil 2.4	Radyasyon Tiplerinin Enerjileri (Tüysüz, 2004)	7
Şekil 2.5	Farklı önlük modelleri	13
Şekil 2.6	N/Z sayısına göre elementlerin kararlılık eğrisi (Jevremoviç, 2009).....	14
Şekil 2.7	Aktifliğin üstel (Lineer çizim) bozunumu (Krane, 1988)	16
Şekil 2.8	Aktifliğin üstel (Yarı logaritmik çizim) bozunumu (Krane, 1988).....	16
Şekil 2.9	Radyoaktif bir numune miktarının zamanla değişimi (Krane, 1998)	18
Şekil 2.10	Alfa bozunumu (Tüysüz, Yorulmaz, Bozkurt, 2004)	19
Şekil 2.11	β^- bozunması (Tüysüz, Yorulmaz, Bozkurt, 2004)	19
Şekil 2.12	β^+ bozunması (Tüysüz, Yorulmaz, Bozkurt, 2004).....	20
Şekil 2.13	^7Be 'un elektron yakalama olayı (Tüysüz, Yorulmaz, Bozkurt, 2004).....	21
Şekil 2.14	Gama bozunum şeması (Togay, 2002; Büyüksulu, 2007)	22
Şekil 2.15	Atomun yüklü bir parçacık ile uyarılması (Şahin, 2013).....	24
Şekil 2.16	Alfa parçacıklarının madde içerisindeki doğrusal hareketleri (Knoll, 2002).....	25
Şekil 2.17	Bremsstrahlung radyasyonu (Şahin, 2013)	26
Şekil 2.18	Alfa ve Beta parçacıklarının menzilleri (Powsner, 2006).....	26
Şekil 2.19	X ışınlarının madde ile etkileşimi	27
Şekil 2.20	Gama ışınının madde içerisinde geçişi	28
Şekil 2.21	Bazı elementlerin lineer zayıflatma katsayıları.....	30
Şekil 2.22	Fotoelektrik olay (Seyrek, 2007)	31
Şekil 2.23	Kullanılan madde kalınlığının fotonların şiddetinin değişimine etkisi (Powsner, 2006).	32
Şekil 2.24	Compton Saçılması (Seyrek, 2007)	32
Şekil 2.25	Çift oluşumu (Lilley, 1991)	34
Şekil 2.26	DeneySEL elektron-pozitron çifti oluşumu (L'Annunziata, 2003).....	35
Şekil 2.27	Elektron-foton sağanağı	36
Şekil 2.28	Koherent saçılma (Kybic, 2006)	36
Şekil 2.29	Thomson ve Rayleigh Saçılması.....	37
Şekil 2.30	Radyasyondan korunmanın üç temel yolu (TAEK, 2010).....	40
Şekil 2.31	Radyasyon Çalışma Bölgeleri.....	42
Şekil 2.32	İyonlaştırıcı radyasyonların gericiliklerinin karşılaştırılması (Arshak, 2006; Martin, 2006)	45
Şekil 2.33	Gelen radyasyonun şiddetinin x kalınlıkla bir engel tarafından azaltılması (Kaplan, 1964)	46
Şekil 3.1	Ölçüm Şeması	55
Şekil 3.2	HpGe n tipi detektörün yapısı	56
Şekil 3.3	Ön yükselticiye gelen sinyalin spektroskopi yükselticideki durumu	57
Şekil 3.4	Silindir üzeri bıçak ile kaplama (kalınlık kaplaması)	60
Şekil 3.5	Kaplama Makinası	61
Şekil 3.6	Kaplama Yapılmış Kumaş Numuneleri	62
Şekil 3.7	KTÜ Fen Fakültesi'nde bulunan soğurma ölçümleri için kullanılan kolimatör	63
Şekil 3.8	Deneme Patları.....	64
Şekil 3.9	Elementlerle katkılanmış pat numuneleri	65

Şekil 3.10 Ametek-Ortec marka HpGe gama dedektör sistemi	65
Şekil 3.11 Soğurma ölçüm düzeneği geometrisi.....	66
Şekil 3.12 Soğurma düzeneği ve numune değiştirme gözü	67
Şekil 3.13 Elektromanyetik radyasyonun azalmasının şematik gösterimi	68
Şekil 4.1 Ba-133'ün 80,1 keV'lik gama piki spektrumu ve analiz ekran görüntüsü.	69
Şekil 4.2 Numunelerin deneysel gama ışını kütle soğurma katsayıları.....	71



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2. 1 Bazı beta radyoizotop kaynakları (Knoll, 2002)	4
Tablo 2. 2 Bazı alfa radyoizotopları (Knoll, 2002)	4
Tablo 2. 3 Bazı nötron kaynakları (Knoll, 2002)	5
Tablo 2. 4 Radyasyon terimleri ve SI birimleri ile özel birimler arasındaki bağlantı (TAEK, 2012)	8
Tablo 2. 5 Radyasyonun tıpta kullanım alanları.....	9
Tablo 2. 6 Müsaade edilen maksimum doz (ICRP)	10
Tablo 2. 7 Radyasyonun genel etkileri (Yılmaz, 2005)	11
Tablo 2. 8 Doz değerine göre somatik belirti ve etkiler (Yılmaz, 2005).....	11
Tablo 2. 9 Vücudumuzun (Organ, Vücut bölümleri) radyasyona hassasiyeti (Yılmaz, 2005) ...	12
Tablo 2. 10 Bazı radyoaktif ürünlerin yarı ömürleri	17
Tablo 2. 11 Nötronların enerjilerine göre sınıflandırılması (L'Annunziata,2003).....	21
Tablo 2. 12 Radyasyon türleri ve bazı etkileşme özellikleri (ICRU, 1971)	24
Tablo 2. 13 Fotoelektrik, Rayleigh saçılması, Compton olayı ve çift oluşum etkileşimleri	38
Tablo 2. 14 İzotopların bazı kaynaklar için doz hızı sabitleri (DIN 54 115 Kısım 1).....	43
Tablo 2. 15 X ışını cihazının sabit gerilimde farklı enerjilere göre doz hızı sabitleri (DIN 54 113, Kısım 3).....	43
Tablo 2. 16 Bazı kaynaklar için kurşun yarı değer kalınlıkları (TAEK).....	47
Tablo 2. 17 Bazı elementlerin yarı değer kalınlıkları (DIN 54 115, Kısım 1)	48
Tablo 2. 18 Beton ve kurşunun farklı ışınım kaynakları için onda bir değer kalınlıkları (DIN 54 115)	49
Tablo 3. 1 Sayım yapılacak tablet numunelerinin bazı fiziki ve kimyasal özellikleri.....	64
Tablo 3. 2 Kaynak bilgileri	67
Tablo 4. 1 Numunelerin deneysel gama ışını kütle soğurma katsayıları (cm ² /g).....	71

ÖZET

KUMAŞ KAPLAMASINDA KULLANILAN BAZI MALZEMELERİN GAMA IŞINI SOĞURMA KATSAYILARININ BELİRLENMESİ

Bu çalışma kapsamında insanların gama ışınlarının zararlı etkilerinden koruyabilmek veya en az düzeye indirebilmek için kurşuna alternatif olabilecek yeni malzemelerin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç için tekstilde baskı ya da kaplama işlemlerinde kullanılan malzemelerden bazıları tedarik edilmiş ve gama ışığı soğurma katsayıları deneysel olarak belirlenmiştir. Toplam yedi adet ürünün incelendiği bu çalışmanın ilk aşamasında belirlenen kimyasallarla yaklaşık 1 mm kalınlığında kumaş yüzeylerine kaplama yapılarak ölçümler yapılmıştır. Ölçüm yapılan kimyasallardan dört tanesinin zırhlama özelliğine sahip olmadığı, üç tanesinin ise gama ışını durdurma gücü olduğu belirlenmiştir. Çalışmanın devamında ise belirlenen üç kimyasal ile daha kalın yüzeyler elde edilip ikinci ölçümler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, kaynak olarak Cs^{137} , Cd^{109} , Co^{57} , Co^{60} , Mn^{54} , Ba^{133} ve Na^{22} kullanılmış olup, her bir numune için ölçümler yapılmıştır. Daha sonra elde edilen veriler Beer Lambert Yasası kullanılarak analiz edilmiş ve gama ışını soğurma katsayıları belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda, Pigmacolor Glitter Silver Paste ve Pigmacolor Metalic Paste ile oluşturulmuş tabletlerin 0-200 keV aralığında soğurma gücünün etkin olduğu tespit edilmiştir. Nükleer tıp birimlerinde gerçekleştirilen görüntüleme süreçlerinde yaygın bir biçimde Tc-99m ve Tl-201 gibi gama ışını enerjisi ~120-140 keV aralığında radyoizotoplar kullanılmaktadır. Bu bağlamda bu iki kimyasalın bu birimlerde zırhlı malzemesi olarak kullanılabileceğini öngörülmektedir.

Anahtar kelimeler: Radyasyon, kumaş, zırhlama, gama ışını, soğurma katsayısı.

ABSTRACT

DETERMINATION OF GAMMA-RAY ABSORPTION COEFFICIENTS OF SOME MATERIALS USED IN FABRIC COATING

In this study, it is aimed to investigate new materials that can be an alternative to lead in order to protect or minimize the harmful effects of gamma radiation. For this purpose, some of the materials used printing or coating processes in textile are provided, and gamma light absorption coefficients are determined experimentally. In the first stage of this study, which examined a total of seven products, measurements were made by coating the fabric surfaces with a thickness of about 1 mm with the specified chemicals. It was determined that four of the measured chemicals were not armored and three of them were gamma ray stopping power. In the continuation of the study, thicker surfaces were obtained with three chemicals determined and second measurements were performed. Cs137, Cd109, Co57, Co60, Mn54, Ba133 and Na22 were used as the source and measurements were made for each sample. Then, the data obtained were analyzed using Beer Lambert's Law, and the gamma-ray absorption coefficients were determined.

As a result of the study, it was determined that the absorption power of the tablets formed with Pigmacolor Glitter Silver Paste and Pigmacolor Metallic Paste was effective in the 0-200 keV range. In the imaging processes performed in nuclear medicine units, radioisotopes with gamma-ray energy $\sim 120\text{-}140$ keV ranges are commonly used such as Tc-99m and Tl-201. In this context, it is foreseen that these two chemicals can be used as armor material in these units.

Key words: Radiation, fabric, armor, gamma-ray, absorption coefficient.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Kemal BALKİ'ye, sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Fikrin oluşmasında, ölçümlerin yapılmasında ve görüntü işleme konusunda yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Tuncay BAYRAM'a, laboratuvar cihaz kalibrasyonlarının yapılmasında tecrübeleriyle yol gösteren Doç. Dr. Erhan CENGİZ'e, deneylerin yapılması esnasında değerli vaktini ayıran Şevki ŞENTÜRK'e ve tez yazımı aşamasında verdiği tavsiyelerden dolayı Dr. Öğr. Üyesi Alev ERENLER'e ayrı ayrı teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme de sonsuz teşekkürler ederim

Bu çalışma Sinop Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığının 2323-YL-10 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Yusuf DEMİREL
SİNOP 2019

1. GİRİŞ

Modern ve refah yaşam şartları sağlayabilmenin önemli unsurlarından bilim, teknoloji ve sanayideki gelişmelerin en önemli aktörü olan enerji ihtiyacı son yıllarda insanoğlunun olmazsa olmazları arasında en üst sıralara yerleşmiştir. Enerji ihtiyacının artışı ile birlikte ülkemiz ve diğer dünya ülkeleri bu ihtiyacı karşılayabilmek için birincil enerji kaynaklarına alternatif olarak, farklı enerji kaynaklarına yönelmeye başlamışlardır. Bu ihtiyacı karşılayabilmek amacıyla, şu an itibariyle dünya genelinde Birleşmiş Milletler bünyesinde faaliyet gösteren Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'nın (IAEA) 19/06/2019 tarihli verilerine göre dünyada aktif nükleer reaktör sayısı 457'dir. Aktif nükleer reaktör sayısında liderliği 99 reaktör ile ABD yapmaktadır. İkinci sırada olan Fransa'nın aktif nükleer reaktör sayısı 58'dir. Üçüncü sırada olan Çin Halk Cumhuriyeti'nin aktif nükleer reaktör sayısı 46'dır. Japonya'da 42; Rusya Federasyonu'nda 37; Güney Kore'de 24; Hindistan'da 22; Kanada'da 19; Ukrayna'da 15 ve Birleşik Krallık 'ta 15 aktif nükleer reaktör vardır. İhtiyacın sürekli artması nedeniyle 18 ülkede 59 nükleer reaktör yapımı devam etmektedir. 2017 yılı verilerine göre dünya elektrik üretiminin yaklaşık %11'i nükleer santrallerden sağlanmıştır.

Dünyada bilimsel araştırma, tıp, tarım ve endüstrideki ihtiyaçları karşılamak üzere yaklaşık üç binden fazla nükleer tesis bulunmaktadır. Bu durumun bir sonucu olarak günlük hayatın hemen her alanında gerek doğal yollardan gerekse teknolojik faaliyetler neticesinde sürekli olarak doğal veya yapay radyasyona maruz kalmaktayız. Özellikle X-ışınlarının William Röntgen tarafından 1895 yılında keşfinden sonra atom ve çekirdek üzerine yapılan çalışmalar ile ortaya çıkan bilgiler radyasyon kullanımını gerek sağlık ve gerekse endüstri gibi alanlarda insanlığın hizmetine sunmuştur. Teknolojik gelişmelerin çok hızlı yaşandığı dünyamızda radyasyondan tam anlamıyla uzaklaşmak mümkün olmadığından pratik olarak radyasyondan korunma yöntemleri geliştirilerek bazı uluslararası standartlar ortaya çıkarılmıştır.

Radyasyondan korunmanın üç temel kuralı zaman, mesafe ve zırhlamadır. Özellikle yüksek aktiviteli radyasyon kaynakları ile çalışan kişilerin sürekli aldıkları dozların izlenmesi gerekmektedir. Radyasyondan korunmada temel ilke mümkün olan en düşük doz alacak şekilde düzenlemeler yapmaktır. Bu nedenle radyoloji ve nükleer tıp gibi sağlık amaçlı radyasyon kullanımının gerçekleştirildiği birimlerde çalışanların doz takibinin yapılmasının yanı sıra zırhlama büyük önem taşımaktadır. Bu alanlarda çalışanlar radyasyon koruyucu önlük, gözlük, eldiven ve troid koruyucu boyunluk gibi tekstil malzemeleri kullanmaktadırlar. Bu zırh malzemeleri genellikle kurşun katkılı olup kullanım açısından pek ergonomik

olmayan ürünlerdir. Korunmanın yanı sıra daha rahat çalışabilmek için, kurşuna alternatif daha ergonomik malzeme arayışları sürmektedir. Bu bağlamda literatürde kurşuna alternatif olarak geliştirilen baritli kumaş tasarımı, bor aplike edilmiş kumaşlar, sodyum pentaborat içerikli tasarımlar bulunmaktadır. Ancak bu çalışmalar belirli miktarda radyasyon önleyici özelliğe sahip olmakla birlikte kurşuna alternatif olabilecek düzeyde yüksek radyasyon soğurma gücüne sahip değildirler. Bu nedenle alternatif arayışları halen devam etmektedir. Bu noktada uygulama alanına bağlı olarak bazı özel durumlar dikkate alınarak yeni radyasyon koruyucu malzemelerde tasarlamak mümkün olabilir.

Bu çalışmada canlı dokularda tahribat oranı yüksek iyonize edici radyasyon türü olan ve korunması diğer türlerine göre daha zor olan gama ışınlarına odaklanılmaktadır. Bu bağlamda gama ışınları açısından yüksek soğurma gücüne sahip ve kumaşa uygulanabilir kaplama malzemeleri üzerinde çalışılmıştır. Sağlık sektöründe kullanılan radyoizotoplar kaçınılmaz olarak gama ışını yayınlamakta ve bu işlemlerle uğraşan kişilerde radyasyon maruziyetine sebep olmaktadır. Ayrıca bazı teşhis süreçleri vardır ki hastaya radyoaktif madde enjekte edilerek hastanın metabolizması izlenir. Özellikle tıbbi nükleer görüntüleme uygulamalarında yaygın bir biçimde Tc-99m ve Tl-201 gibi gama ışını enerjisi ~120-140 keV aralığında radyoizotoplar kullanılmaktadır. Bu enerji aralığında gama ışını soğurma gücü etkin olan malzemeler tercih edilebilir. Bu süreçlerde hastanın kendisi gama ışını kaynağı olduğundan bu hasta ile ilgilenen sağlık personelinin sıfır radyasyona maruz kalması mümkün değildir. Alınan radyasyon dozu miktarını azaltmak için sıklıkla kurşun katkılı tekstil ürünü uzun yelekler giyerler. Çalışma alanlarına bağlı olarak eldiven, gözlük vb. radyasyon koruyucu ürünlerde kullanılmaktadırlar. Kurşun katkılı bu ürünler kullanımları sırasında ergonomi sorunu teşkil ettiğinden farklı malzeme ve teknikler kullanılarak da radyasyon koruyucu zırh üretme çabaları da bulunmaktadır.

Bu bağlamda kumaş kaplamasında kullanılan bazı malzemelerin gama ışını soğurma katsayılarının belirlenmesi üzerine çalışma yapılmıştır. Böylece ergonomi problemi oluşturmayan ve birçok radyasyon koruyucu olarak geliştirilen üründe kullanılacak malzeme üretimi hedeflenmektedir.

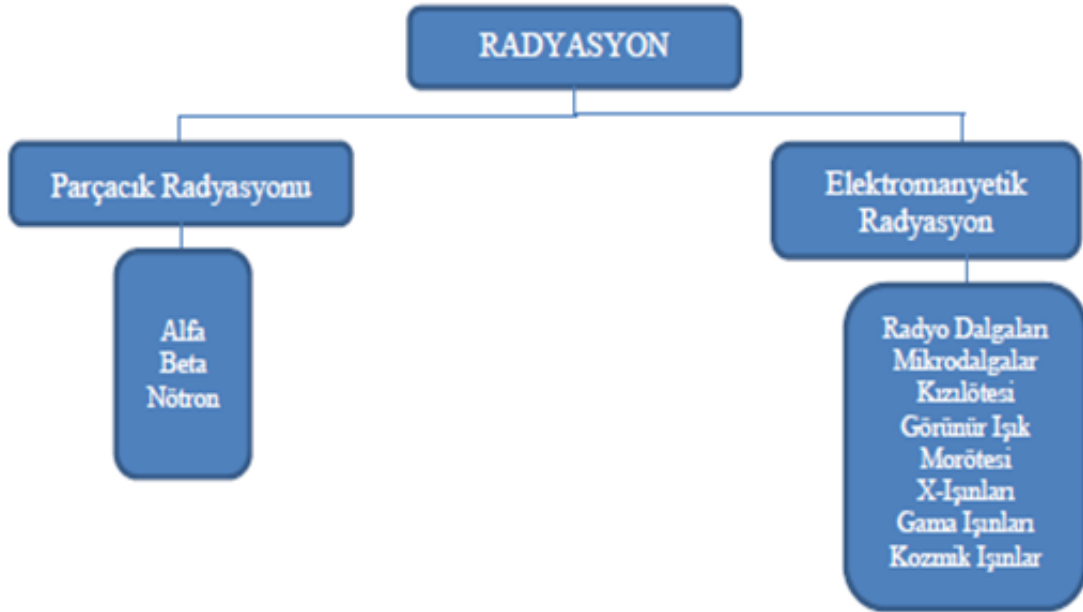
2. GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÖZETLERİ

2.1. Radyasyonun Tanımlanması ve Çeşitleri

Radyasyon, parçacık formunda veya elektromanyetik dalgalar biçimindeki enerjinin aktarılması ya da iletimi olarak tanımlanabilir (Tuğrul, 2012). Radyoaktivite ise kararsız olan bir elementin iç dönüşümler geçirerek kararlı hale geçmesi ve farklı bir elemente dönüşmesi olarak ifade edilmektedir. Bu durum çekirdek için ayırt edici fiziksel bir özelliktir. Doğada bulunan atom çekirdeklerinin bazıları kararlı, bazıları da kararsızdır. Alfa, beta ve gamma gibi kararsız olan çekirdekler yüksek enerjili parçacıklar açığa çıkararak kararlı hale gelirler (Tuğrul, 2012).

Radyasyonun sınıflandırılması;

- ✓ Kaynağına göre radyasyon (doğal kaynaklı ve yapay kaynaklı)
- ✓ Enerjisine göre radyasyon (yüksek enerjili ve düşük enerjili)
- ✓ Türüne göre radyasyon (parçacık ve elektromanyetik)



Şekil 0.1 Türüne göre radyasyon

2.1.1. Parçacık Radyasyonu

2.1.1.1. Beta Parçacık Radyasyonu

Beta ışınları da bir atom çekirdeğin parçalanması ve sonrasında 1 elektron veya 1 pozitron oluşmaktadır. Çekirdeğin içindeki 1 nötron 1 protona dönüşürse elektron, 1 proton 1 nötrona dönüşürse pozitron oluşmaktadır. Beta parçacığının yükü alfa parçacığının yarısı kadardır.

Giricilikleri alfa parçacığına göre daha fazladır. Bazı beta radyoizotop kaynakları Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2. 1 Bazı beta radyoizotop kaynakları (Knoll, 2002)

Kaynak	Yarı ömür	Kinetik enerji (MeV)
³ H	12,26 y	0,0186
¹⁴ C	5730y	0,156
³² P	14,28y	1,710
³³ P	24,4 d	0,248
³⁵ S	87,9 d	0,167
³⁶ Cl	3,08x10 ⁵	0,714
⁴⁵ Ca	165 d	0,252
⁶³ Ni	92 y	0,067
⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y	27,7 y/64h	0,546/2,27
⁹⁹ Tc	2,12x10 ⁵ y	0,292
¹⁴⁷ Pm	2,62 y	0,224
²⁰⁴ Tl	3,81 y	0,766

2.1.1.2. Alfa Parçacık Radyasyonu

Alfa parçacıkları, atom çekirdeğinin parçalanması sonucunda helyum çekirdeklerinin meydana gelmesi durumu olarak ifade edilmektedir. Belli bir kütleye ve enerjiye sahiptir. Madde ile etkileşimlerinde enerjilerini çok kısa zamanda kaybederler. Bu nedenle giricilikleri çok düşüktür. Bazı alfa radyoizotopları Tablo 2.2’de gösterilmektedir.

Tablo 2. 2 Bazı alfa radyoizotopları (Knoll, 2002)

Kaynak	Yarı ömür	Kinetik enerji (MeV)	Yüzdesi
¹⁴⁸ Gd	93 y	3,182787	100
²³² Th	1,4x10 ¹⁰ y	4,012	77
²³⁸ U	4,5x10 ⁹ y	4,196	77
²³⁵ U	7,1x10 ⁸ y	4,598	56
²³⁶ U	2,4x10 ⁷ y	4,494	74
²³⁰ Th	7,7x10 ⁴ y	4,6875	76.3
²³⁴ U	2,5x10 ⁵ y	4,7739	72
²⁵³ Am	7,4x10 ³ y	5,2754	87,4

2.1.1.3. Nötronlar

Yüksüz olan nötronlar hidrojen dışında ki her atomun çekirdeğinde mevcut olan çekirdeklerdir. 2,65 yıl yarı ömürlü ²⁵²Cf; tıp, endüstri ve güvenlik uygulamalarında kullanılan

doğal olarak nötron yayını yapan düşük maliyetli bir nötron kaynağıdır. Nötronlar belli kütlesi olmadığı için madde ile etkileşimlerinde Coulomb etkisi gözlenmez, giricilikleri ve aldıkları yol en fazla olan parçacık radyasyonu olmaktadır. Bazı ikili sistemler tasarlanarak nötron kaynakları oluşturulabilmektedir (Tablo 2.3).

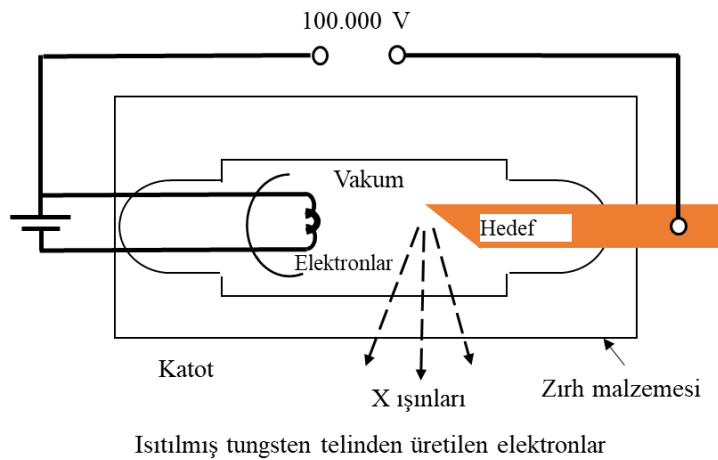
Tablo 2. 3 Bazı nötron kaynakları (Knoll, 2002)

Kaynak	Yarı ömür	Kinetik enerji (MeV)	10 ⁶ α için Nötron Kazancı		% de Kazanç E _n <1,5 MeV	
			Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel
²³⁹ Pu/Be	24000y	5,14	65	57	11	9-33
²¹⁰ Po/Be	138d	5,30	73	69	13	12
²³⁸ Pu/Be	87,4y	5,48	79	-	-	-
²⁴¹ Am/Be	433y	5,48	82	70	14	15-23
²⁴⁴ Cm/Be	18y	5,79	100	-	18	29
²⁴² Cm/Be	162d	6,10	118	106	22	26
²²⁶ Ra/Be	1602y	Çoklu	502	-	26	33-38
²²⁷ Ac/Be	21,6y	Çoklu	702	-	28	38

2.1.2. Elektromanyetik Radyasyon

2.1.2.1. X(Röntgen) Işınları

X (Röntgen) ışınları elektromanyetik dalga şeklindedir. Alman fizik profesörü Wilhelm Conrad Röntgen tarafından 8 Kasım 1895 tarihinde keşfedilmiştir. Röntgen araştırmaları esnasında keşfettiği fakat ne olduğunu tam olarak izah edemediği ve anlayamadığı için bilinmeyen ışın anlamına gelen “x ışını” adını vermiştir (Çelik, 2012). Şekil 2.2’de x ışın tüpü gösterilmiştir.



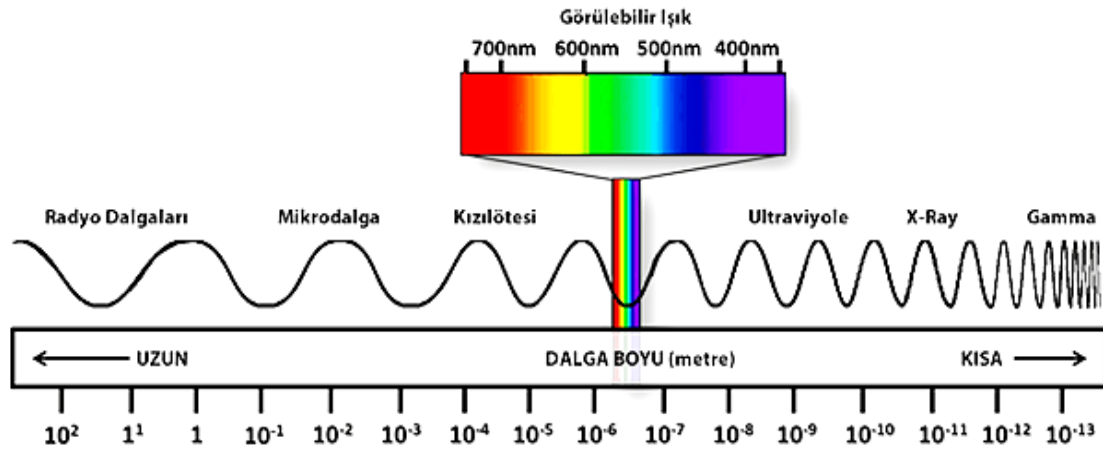
Şekil 0.2 X ışını tüpünün şematik görünümü

Uyarılmış bir atomdaki elektronların temel enerji seviyesine geçerken, ortaya çıkardığı fazlalık enerjiyi dışarı bırakması olayına x ışını salınımı denilir. Bir tüp içerisinde katottan yayılan elektronlara on binlerce voltluk potansiyel uygulayarak hızlandırılıp hedefte ki anoda çarptırılması sonucunda durdurulması ve durdurulan elektronların enerji kaybetmesi olarak da tanımlanabilir.

2.1.2.2. Gama Işınları

Gama ışınları 1900 yılında radyum elementi üzerine çalışan Fransız fizikçi Paul Villard tarafından keşfedilmiştir. Gama ışınlarının kütlesi ve yükü olmayan elektromanyetik radyasyon olduğu E. Rutherford ve P. Andrea tarafından kanıtlanmıştır. Yükleri olmadığından elektrik ve manyetik alanlardan etkilenmezler. Gama radyasyonlarıyla x ışınları köken olarak birbirlerinden farklıdır. X ışınları elektronik, γ ışınları ise nükleer menşelidir ve Şekil 2.3’de görüldüğü gibi elektromanyetik tayfın en yüksek frekanslı bölgesindedir.

Gama ışınımı çekirdeklerin kendi iç etkileşmeleri sonucu ortaya çıkan bir enerji salınımıdır. Kararlı olmayan veya nükleer tepkimeler sonrası fazla enerji taşıyan çekirdeklerin kararlı hale geçebilmeleri için gerekli olan radyoaktif salınımlardan birisidir. Gama ışını elektromanyetik dalga olup diğer iyi bilinen elektromanyetik ışıma tiplerine göre çok yüksek enerjilidirler. KeV mertebesinde MeV mertebesine kadar uzanan geniş bir aralıkta enerjiye sahip olabilirler. Giriciliği en yüksek olan radyoaktif ışıma türüdür. İyonize edebilme özelliğinden dolayı da canlı dokularda ciddi deformasyon ve hasarlara sebep olabilmektedir.



Şekil 0.3 Gama ışınlarının elektromanyetik tayftaki yeri

Gama ışını madde ile temel olarak üç farklı yolla etkileşir. Bunlar Compton etkileşmesi, fotoelektrik olay ve çift oluşumdur. Bu etkileşimler ilerleyen konular içerisinde verilecektir. Gama ışınlarının madde içerisine nüfuz etme kabiliyetleri çok fazladır. Bu yetenekleri

nedeniyle gama ışınlarının zırhlanmasında kurşun bloklar kullanılmaktadır. Bir engelle etkileşen gama radyasyonun şiddeti üstel bir fonksiyona uyacak şekilde azalma gösterir. Yüksüz olan gama ışınları elektrik alana veya manyetik alana girdiklerinde sapma göstermezler.

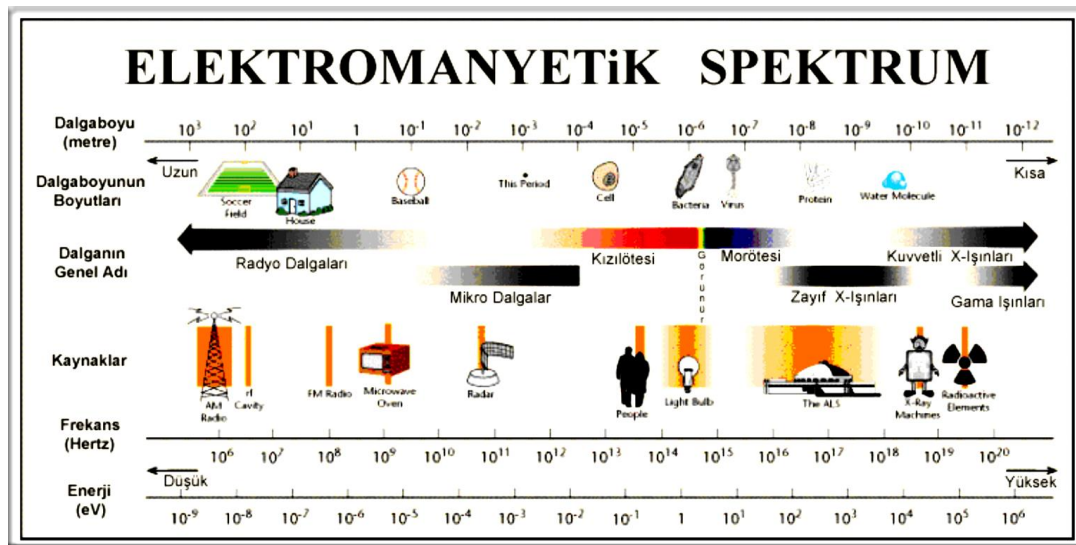
Kararsız çekirdeklerin bozunma süreçlerinin hemen hemen hepsinde α ve β ışınları gözlenir. Ancak bu bozunmalar ürün çekirdeğinin genellikle uyarılmış halde kaldığı bozunmalardır. Ürün çekirdekleri kademeli olarak ya da tek basamakta γ radyasyonu salarak daha az enerjili bir seviyeye veya taban durumuna inmektedirler. γ bozunmaları izomerik geçişlerdir ve 10^{-9} saniyeden kısa zamanda gerçekleşir. Açığa çıkan gamaların enerjileri

$$E_{\gamma} = h_2 v_2 - h_1 v_1 = E_2 - E_1 \quad (2.1)$$

denklemleri ile hesaplanabilmektedir. Bir alfa veya beta bozunması sonucu uyarılmış halde kalan çekirdeğe nükleer izomer; bu çekirdeğin gama ışınmasıyla kararlı hale geçmesine de izomerik geçiş denir. İzomerik geçişte ana çekirdeğin atom ve kütle numarası değişmemektedir (Noz ve Maguire, 2007).

2.1.3. Radyasyon Terimleri ve Enerjileri

Aşağıdaki Tablo 2.4’de radyasyon terimlerinin isimleri, kullanılan eski birimleri ve SI birim sistemindeki mevcut birimleri ile dönüşüm seviyeleri özetlenmiştir. Ayrıca, Şekil 2.4’de elektromanyetik spektrumda radyasyon tipleri ve onların enerji değerleri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 0.4 Radyasyon Tiplerinin Enerjileri (Tüysüz, 2004)

Tablo 2. 4 Radyasyon terimleri ve SI birimleri ile özel birimler arasındaki bağlantı (TAEK, 2012)

Terim	Eski Birimi	Yeni (SI Birimi)	Dönüşüm
Aktivite (A)	Curie(Ci); 3,7.10 ¹⁰ parçalanma /saniye	Becquerel(Bq); 1 parçalanma / saniye	1Ci=3,7.10 ¹⁰ Bq 1Ci=37GBq
Enerji Dozu (D) (Soğrulma)	Doz(D): Absorbe olan enerji/Maddenin kütlesi Rad(Radiation Absorbed Dose); ışınlanan maddenin 1 kg'ında 10 ⁻² Joule'lük enerji soğurulması meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır(1 rad=1 erg/g).	Gray (Gy); Radyasyon alan maddenin bir kilogramına, bir Joule enerji veren ışıma miktarına bir Gray denir. (1Gy=1 J/kg)	1rad= 0,01 J/kg 1rad=0,01 Gy
İşinlanma Dozu (X)	İşinlanma Dozu(X): Aynı işaretli yüklerin toplamı/Havanın kütlesi Röntgen (R); normal hava şartlarında (0°C ve 760 mm Hg basıncı) havanın 1kg'ında 2,58x10 ⁻⁴ Coulomb'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan x veya radyasyonu miktarıdır. (R=1 esu / cm ³ hava)	Coulomb/kilogram (C/kg); normal hava şartların da havanın 1 kg'ında 1 Coulomb'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan X veya radyasyonu miktarıdır. 1R=2,58x10 ⁻⁴ C/kg.hava	1C/kg=3876 1R=2,58x10 ⁻⁴ C/kg.hava
Personel Eşdeğer Dozu (H)	Doz eşdeğeri(rem): Soğrulan doz birimi(rad) x Kalite faktörü rem=D(rad)x(W _R)	Sievert (Sv): Grey cinsinden soğrulan doz, biyolojik etkiyi hesaba katıp bir faktörle çarpılması ile elde edilir. Sv= (Gy)x(W _R)	1Sv=100 rem 1rem=0,01 Sv

(W_R, Radyasyon ağırlık faktörü. Farklı radyasyonların biyolojik etkilerindeki farklılıkları hesaba katmak ve aynı zamanda radyasyondan korunma hesaplarını basitleştirmek için kullanılır)

2.1.4. Radyasyonun Yaşantımızdaki Yeri

Gelişen teknoloji ile enerjiden savunmaya, tarımdan sağlığa kimi zaman yararlı kimi zaman zararlı etkileri bulunan radyasyon hayatın her kademesinde yer bulmaktadır. Günlük hayatımızda bazen doğal yollarla oluşan, bazen de insanlar tarafından üretilen (yapay) radyoaktif etkilere maruz kalırız. Her geçen yıl bu etkileşim katlanarak artmaktadır. Radyolojik yöntemlerin sağladığı yararlar, bu uygulamalardan vazgeçmeyi mümkün kılmamaktadır. Burada önemli olan alınan radyasyonu en aza indirmeye çalışmaktır.

2.1.4.1. Radyasyonun Başlıca Kullanım Alanları

Radyasyonun tıp alanında en eski olan ve her geçen gün geliştirilen röntgen ışının olarak ta bilinen x ışınları hastalık teşhisinde kullanılmaktadır. Tıp alanında bu dala “Radyoloji” adı verilmektedir. Hastalık teşhislerinde her yıl milyonlarca kişi x ışınları sayesinde muayene

edilmektedir (SEYREK, 2007). Tablo 2.5’de sağlık alanında kullanılan radyasyon çeşitleri ve kullanılan radyasyon kaynakları gösterilmiştir.

Bu bağlamda Nükleer tıp, insan vücudunda bulunan organlar veya dokuların faaliyetleriyle ilgili faaliyetler gerçekleştirmek üzere teşhis ve tedavide bazı radyoizotoplar veya radyonüklitlerin kullanıldığı alandır. Tanısal amaçlı nükleer tıp uygulamalarında kullanılan gama kameralar yardımıyla hastalık teşhis edilirken, hastalar farklı dozlar uygulandığı için maruz kaldığı radyasyon değişiklik göstermektedir.

Radyoterapi, kanserli hücreleri radyasyonla tedavi etme yöntemi olarak ifade edilebilir. Yüksek enerjiye sahip “x” veya “gama” ışınları ile kanserli hücrelerin tahribi amaçlanmaktadır. Tıp alanında radyasyonun diğer kullanım alanı da tıbbi malzemelerin sterilizasyon işleimidir.

Tablo 2. 5 Radyasyonun tıpta kullanım alanları

Tıbbi Uygulamalar		
Radyoloji	Radyoterapi	Nükleer Tıp
X-Işını	Co-60	I-123, I-125, I-131
	Ir-192	Tc-99m,
	LINAC (X- ışını, elektron)	Tl-201,
		Ga-67
		Mo-99
		P-32
		In-111

2.1.4.2. Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

Radyasyon insanoğlunun yaradılışından günümüze değin etkisi olan, 1900’lü yıllarda x ışınlarının keşfedilmesi ile tanımlanan önemli tehlikelerden birisidir. Yüksek radyoaktiviteye maruz kalma yorgunluk, sağ dökülmesi, mide bulantısı, ağız ve boğazda yaralar, kusma, kan kaybı, ishal ve enerji kaybı gibi belirtilere sebep olur. Vücudun tümünün radyasyona maruz kalmasıyla birlikte ilk belirtiler 5-10 dakika içerisinde ortaya çıkar.

1895 yılında Röntgen’in x ışını çalışmalarında radyasyon yanığı olaylarına rastlanmıştır. Ayrıca, Becquerel cebinde taşıdığı bir radyum numunesinin etkisi ile kendi kendine zarar vermiştir. Kısa bir süre içerisinde radyasyondan korunmanın zaruri olduğu herkesçe anlaşılmıştır. 1905 yıllarında birçok tıp dergisinde aşırı derecede radyasyon dozunun kansere neden olduğu yayınlanan onlarca bilimsel makaleyle ispatlanmaya çalışılmıştır. Birçok işçi radyasyon sebebiyle deri kanser olmuş ve kanserin yayılmasını engelleyebilmek için

organlarını kaybetmişlerdir. Ayrıca, bazı radyologlar bile deri kanserinden ölmüştür. Herman Müller 1920 yılının sonlarında böcekler üzerinde yaptığı araştırmalar sonucunda genetik bozukluklara da radyasyonun etken olduğunu ortaya koymuştur. Bu başarısıyla da Nobel barış ödülü kazanmıştır. Günümüzde yüksek radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileriyle ilgili olarak sayısız araştırmalar yapılmış olup, ortaya çıkabilecek hasarlar hakkında önemli bilgilere ulaşılabilmektedir (Göksel, 1973; Şeker ve Çerezci, 1997).

Radyasyona maruz kalan beyin, sinir dokuları ve bütün kas dokuları dışındaki diğer tüm yapıya etki etmektedir. Doku veya organların vücutta üstlendikleri faaliyet radyasyon duyarlılıklarıyla doğrudan ilişkilidir. Şöyle ki, radyasyonun meydana getireceği etki ve hasar sonrasında ilgili doku veya organın faaliyetlerini (hormon ve enzim salgılanma düzenini değiştirir) değiştirebileceği gibi ölümüne de neden olabilir. Bunun sonucunda radyasyon etkisinde kalmayan diğer organ ve dokuların fonksiyonlarının artması veya azalmasına neden olabilir. Böylelikle büyüme dengesi etkilenir ve tümörlerin oluşmasını tetikler. Eğer ışınlama esnasında tamir olunamayan hasar meydana gelirse, doku ölümü ortaya çıkabilir.

Radyasyona maruz kalarak hasara uğramış bir doku, şayet tamamen tahrip olmamışsa, ışınlama işlemiyle iyileşme süreci başlayacaktır. Bu esnada dokudaki normal hücrelerin fonksiyonları geçici olarak duracak ve ölen hücreleri yenilemek üzere hücreler hızla çoğalacaklardır. Bundan dolayı vücudun diğer bölgelerinde bu esnada ihtiyaç duyulan hücreler yetersiz kalmaktadır (Gençay, 1994; Algüneş, 2002; Güngör 1991).

Radyasyonun insana zarar vermemesi için müsaade edilen maksimum doz (Tablo 2.6) bir insanda ömür boyunca hiçbir önemli vücut arazı (sonradan ve tesadüfen ortaya çıkan, ansızın baş gösteren hastalık) ve bir genetik etki meydana getirmesi beklenmeyen iyonlaştırıcı radyasyon dozu şeklinde tarif edilmektedir (Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu).

Tablo 2. 6 Müsaade edilen maksimum doz (ICRP)

		Görevli	Halk
	Göz	150 mSv	15 mSv
Yıllık	Cilt	500 mSv	50 mSv
Eşdeğer Doz	Kol	500 mSv	50 mSv
	Bacak	500 mSv	50 mSv
Yıllık Etkin Doz		20 mSv	1 mSv

Radyasyon uygulama işlemlerinde hedef stokastik etkilerin meydana gelme olasılıklarını kabul edilebilir düzeyde sınırlamak ve doku hasarına sebep olan deterministik etkileri önlemektir (Tablo 2.7). Ayrıca, Tablo 2.8’de uygulanan doz değerine göre görülen somatik

etkiler özetlenmiştir. Vücudumuzun (Organ, Vücut bölümleri) radyasyona hassasiyet değerleri ise Tablo 2.9 da belirtilmiştir.

Tablo 2. 7 Radyasyonun genel etkileri (Yılmaz, 2005)

	Somatik	Genetik
İlk Belirtiler	Kan hücrelerinde azalma Cilt Yanıkları Saç dökülmesi, ölüm Lösemi	Gelişme çağındaki yapı bozuklukları
Sonraki Etkiler	Kanser Hayat süresinin kısalması (yaşlılık belirtileri)	Diğer kuşaklara(torunlara) etki

Tablo 2. 8 Doz değerine göre somatik belirti ve etkiler (Yılmaz, 2005)

Vücut Bölgesi	Doz Değeri Mili Sievert (mSv)	Belirti ve Etkiler
Bütün Vücut	0-500	Gözlenebilir hasar yok
	500-2000	Radyasyon hastalığı 1 (Bulantı, kusma, halsizlik, kanda değişimler)
	2000-4500	Radyasyon hastalığı 2 (30-60 gün sonra %50'den az ölüm olasılığı, tedavi gereklidir)
	4500-6000	Radyasyon hastalığı 3 (30 gün sonra %50 ölüm olasılığı, tedavi gereklidir)
	6000'den fazla	Radyasyon hastalığı 4-5 (30 gün sonra %100 ölüm olasılığı, tedavi gereklidir)
Vücudun Bir Kısmı	200	Saç dökülmesi
	3000	1.derece yanık
	10000	2.derece yanık
	50000	3.derece yanık
	300-600	Geçici kısırlık (3 hafta)
	6000	Sürekli kısırlık
	1700	Geçici kısırlık (3 hafta)
	3000	Sürekli kısırlık
	-----	Göze perde inmesi (Katarakt)

Radyasyonun insan sağlığına zarar vermemesi için;

- Gerekliklik (Justification): Faydalı olmayan radyasyon uygulamalarına izin verilmemelidir
- Etkinlik (Optimizasyon-ALARA): Uygulanacak radyasyon dozları asgari ölçüde tutulmalıdır.
- Kişisel Doz-Risk Sınırları: Doz sınırlaması yapılmalıdır.

Tablo 2. 9 Vücudumuzun (Organ, Vücut bölümleri) radyasyona hassasiyeti (Yılmaz, 2005)

Radyasyon Hassasiyeti	Vücut Bölümleri	İlk (hafif) Etki Dozu, Sievert (Sv)	Ağır Hasar Dozu, Sievert (Sv)
Yüksek	Lenf Damarları Dokular Lenf Düğümleri Dalak	0,25-0,5	4-8
Yüksek	İlik Kan Hücreleri	0,5-1	5
Yüksek	Hayalar	0,5	3-4
Yüksek	Yumurtalıklar	0,5	3,5-4
Yüksek	Deri	0,25	0,25-3
Orta	Mukoza	3	8,5-18
Az	Sinir Sistemi Ciğer	1-40	30-60

Radyasyona maruz kalınan dozu düşürmek için alınması gereken tedbirler aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Radyasyon koruyucu olarak en çok gözlük, kurşun önlük, boyunluk, eldiven, paravanlar ve kurşun camlar kullanılmaktadır (Şekil 2.5),
- Koruyucu olarak kullanacak önleyicinin kalınlıkları 0,25-0,5-1 mm kalınlığındaki kurşun eşdeğeri olarak belirlenmiştir,
- Kurşun önlük olarak pratikte en çok 0,50 mm önlükler kullanılmaktadır,
- 1 mm önlüklerin koruma kabiliyetleri daha etkilidir ancak çok ağır olduklarında kullanma zorluğu vardır,
- Eğer koruyucu olarak kurşun önlük tercih edilecekse kesinlikle önlükler katlanmamalıdır. Çünkü kullanılan plakaların çatlama ve çatlaklardan radyasyona maruz kalma riski ortaya çıkmaktadır,
- Plastik malzemeler içerisine kurşun tozu ilave edilerek 0,3 ile 0,5 mm kalınlıklardaki kurşun eşdeğerinde koruyucu önlükler tasarlanmalıdır (Yılmaz, 2005).

Şekil 2.5’de gösterilen farklı önlük modelleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

- Panço önlük: Baş üzerinden geçirilerek giyilir ve bel hizasından her iki yanlardan bağlanarak tutturulurlar.
- Bel yükü azaltılmış önlük: Yük bele zarar vermesin diye bir kemerle ağırlığı kalçaya taşıyan önlüktür.
- Kırık tabakalı önlük: Anjiyo çekimi sırasında yüksek doz ortamı olacağından 0,5 mm kalınlığında kurşun eşdeğerine sahip önlük tercih edilmelidir. Bu eşdeğerde ki

kurşun önlüğün ağırlığı sorun olacağı için arkasında açıklık olacak şekilde tasarlanır veya kurşun eşdeğeri 0,25 mm elde edilebilecek önlük kullanılmalıdır.

- Paçalı önlük: Bu önlük etek ve bluz olarak iki parçadan oluşur.

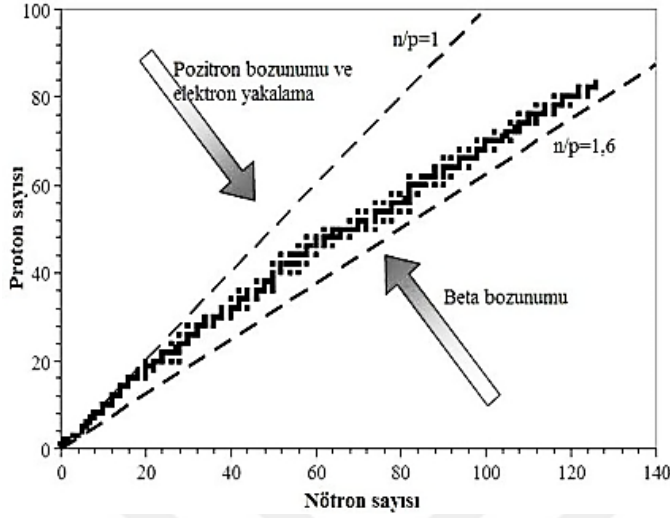


Şekil 0.5 Farklı önlük modelleri

2.2. Radyoaktivite

Radyoaktivite, kararsız çekirdeğin bazı ışımlar yaparak veya parçacıklar yayınlamaya kararlı hale geçmesi durumudur. Bu esnada farklı bir elemente dönüşüm söz konusudur. H. Becquerel tarafından keşfedilen (1896 yılı) radyoaktivite, ayırt edici fiziksel bir özelliktir. 1911 yılında Rutherford'ın çekirdekli atom teorisi (atomun büyük kısmı boşluklardan oluşmakta ve merkezinde yoğun çekirdek bulunur) ile bu alandaki çalışmalar hız kazanmıştır. Radyoaktif bozunmanın kendisi tamamıyla istatistiksel bir süreçtir. Mevcut olan atom çekirdeklerinin bazıları kararlı, bazıları da kararsızdır. Kararsız olanlar alfa, beta ve gamma ışımları yaparak enerjilerini düşürürler. Bu sayede daha kararlı pozisyona geçerler. Atomun çekirdeğinde bulunan proton ve nötronların oluşturduğu yapıya nükleon denir. Nükleonlar çekirdek içerisinde bir arada bulunduklarından bazı etkileşmeler de bulunurlar. Bu etkileşimlerin en güçlüsü protonlar arasındaki elektromanyetik etkileşmelerdir. Bunun dışında radyoaktiviteyi ortaya çıkaran zayıf etkileşmeler ve ihmal edilebilir olan kütle çekim etkileşiminden de bahsedilebilir. Kararlılık bazı çekirdeklere özgüdür ve nötron sayısının proton sayısına oranlanması sonucu bulunan değere bağlıdır. Çekirdeklerin pek çoğunun nötron sayısı proton sayısından büyüktür. Çekirdek kararlılığı ise $N \cong Z$ civarında sağlanır (Şekil 2.6). $Z > 80$ olan tüm çekirdekler bir radyoaktif izotopa sahip olurken, $Z \geq 83$ olan tüm

çekirdekler radyoaktiftir. $^{209}_{82}\text{Bi}$, atom numarası en büyük kararlı (radyoaktif olmayan) elementtir (Krane, 1998).



Şekil 0.6 N/Z sayısına göre elementlerin kararlılık eğrisi (Jevremoviç, 2009)

Doğada 260 adet yapay, 40 adet doğal kararlı çekirdek mevcuttur. Proton ve nötron sayıları çift olan 162 tanesi çift-çift çekirdek, geri kalan 112 çekirdek ise tek tek ve kararlıdır (53 tanesinde N çift Z tek, 53'ünde Z tek N çift, 4'ünde N ve Z tek). Radyoaktif çekirdeklerin tamamı radyoaktif bozunma yasasına tabidirler (elementin türü ve yaydıkları radyasyonlardan bağımsız olarak). N_0 çekirdeklerin başlangıçtaki sayısı, t zaman sonraki mevcut çekirdek sayısı N ve λ (zaman-1) birim zaman başına bozunma ihtimali anlamına gelen bozunma sabiti olmak üzere, denklem 2.2 ile verilmektedir (Krane, 1998).

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.2)$$

2.2.1. Bozunma Sabiti (λ)

Bozunma hızı(λ) ısı, basınç ve kimyasal olaylardan etkilenmez. λ 'nın birimi zaman⁻¹'dir. Yani ortalama olarak 1 saniyede atomların %1'i bozunmaya uğruyor ise $\lambda = 0,01$ saniye⁻¹ demektir. Örneğin 100 atomu bulunan bir çekirdeğin λ 'sı 0,1 ise; 1 s sonra 90 atom, 1 s daha sonra 81 atom kalır. Sıfıra doğru yaklaşan bu sayı hiçbir zaman tam sıfır olmamaktadır. Bozunma yasasına göre, radyoaktif çekirdeğin yaşı ne olursa olsun bozunma olasılığı λ sabittir. İçinde N kadar radyoaktif atom bulunan bir örnekte t zamanı boyunca ortalama bozunma hızı $-\lambda N$ 'dir (Denklem 2.3) (Krane, 1998).

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N \quad (2.3)$$

eşitlikte ki eksi işareti atom sayısının zamana karşı azaldığını belirtmek içindir.

2.2.2. Radyoaktif Bozunma Yasası

Radyoaktif bozunma belli bir zamana bağlı kalmadan, diğer bir tabirle geliş güzel gerçekleşir. Yani radyoaktif bir numunenin ne zaman bozunacağını bilmek imkânsızdır. Bazı özellikler, istatistik ve olasılık kuramları yardımıyla bulunabilir. Çekirdekler topluluğunun zamana göre üstel olarak bağlı bir yasaya uyarak bozundukları gözlenmiştir. Bu bozunma radyoaktif çekirdeğin birim zamanda bozunma olasılığının incelenmesi ile açıklanmaya çalışılmaktadır (Krane, 1998).

Radyoaktif çekirdeğin birim zamanda ki bozunma sayısına, o çekirdeğin bozunma hızı veya aktivitesi denir. Herhangi bir t anında, N sayıda radyoaktif çekirdeğin sonsuz küçük $d(t)$ zaman aralığı içindeki değişim miktarı (dışarıdan çekirdek ilave edilmemek şartıyla) aşağıdaki formülle hesaplanır (Krane, 1998).

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t) \quad (2.4)$$

bozunan çekirdek sayısı başlangıçtaki N sayısı ile orantılı olacaktır. Zaman geçtikçe N sayıdaki radyoaktif atomlar azalmaya devam eder. Denklem 2.4'teki denklemin çözümlenmesiyle üstel radyoaktif bozunma yasasına ulaşılır.

$$\frac{dN(t)}{N(t)} \Rightarrow \int \frac{dN(t)}{N(t)} = \int -\lambda dt \rightarrow \ln N = -\lambda t + C \text{ buradan;}$$

$$t = 0 \text{ anında } N = N_0 \rightarrow N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (2.5)$$

Burada;

$N(t)$: t zaman sonundaki çekirdek sayısı

N_0 : Başlangıçtaki çekirdek sayısı

$e^{-\lambda t}$: t zamanı sonunda kalan radyoaktif atom fraksiyonudur (bozunma faktörü, DF)

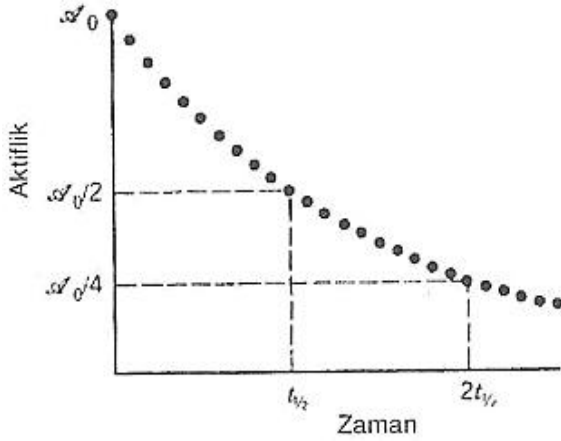
λ : radyoaktif bozunma sabitini (s^{-1})

Denkleminin her iki tarafı λ ile çarpılır ve ifade düzenlenirse;

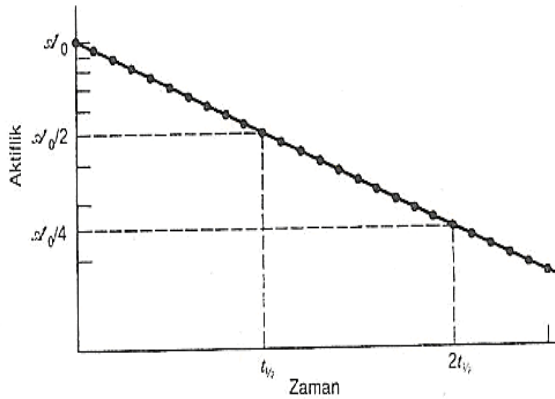
$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (2.6)$$

eşitliği elde edilir.

Denklem 2.6'ya bozunma hızı denklemi ya da aktifliği denir. A ile gösterilir ve birimi bozunma/saniye'dir. Şekil 2.7'de aktifliğin azalışının üstel ve Şekil 2.8'de ise yarı logaritmik olarak azalışı gösterilmiştir.



Şekil 0.7 Aktifliğin üstel (Lineer çizim) bozunumu (Krane, 1988)



Şekil 0.8 Aktifliğin üstel (Yarı logaritmik çizim) bozunumu (Krane, 1988)

Bozunma radyoaktif elementlerin karakteristik bir özelliğidir, yani ona özgüdür. Bozunma sabiti (λ), bir radyoaktif çekirdeğin birim zamandaki parçalanma olasılığıdır ve her bir çekirdeğin farklı bir bozunma sabiti vardır. Örnek olarak; Radonun bozunma sabiti $\lambda=0,0075/\text{saat} = 0,000125/\text{dakika}$ dır. Bozunma sabiti küçük olan elementler yavaş, büyük olan elementler ise hızlı bozunur (Krane, 1998).

2.2.3. Yarı Ömür ve Ortalama Ömür

Herhangi bir numunedeki çekirdeklerin tamamının bozunması için teorik olarak sonsuz zaman geçmesi gerekmektedir (Şekil 2.9). Bu durum $t \rightarrow \infty$ için $N(t) = 0$ şeklinde ifade edebilir. Yarı ömür, radyoaktif bir elementin çekirdek sayısının başlangıçtaki yarısına

inmesi için geçen zaman olarak tanımlanabilir. $t_{1/2}$ şeklinde gösterilebilir. Kimyasal ve fiziksel etkilerle değişmeyen bir özelliktir (Krane, 1998).

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (2.7)$$

Ortalama ömür (τ), bir çekirdeğin bozununcaya kadar geçirdiği ortalama süre şeklinde tanımlanabilir. t süresi içinde bozunmadan kalan çekirdeklerin sayısı $N(t)$ 'dir ve t ile $t+dt$ aralığında bozunanların sayısı $|dN/dt|dt$ 'dir. Bu durumda ortalama ömür,

$$\tau = \frac{\int_0^{\infty} t |dN/dt| dt}{\int_0^{\infty} |dN/dt| dt} \quad (2.8)$$

dır. Paydada ki terim toplam bozunma sayısıdır. İntegral alınırsa, $\tau = \left(\frac{1}{\lambda}\right)$ ya da $\tau = 1,443 t_{1/2}$ bulunur. $t=\tau$ anında radyoaktiflik $1/e=0,36788$ oranında azalır. Buradan bozunma kanununu denklem 2.9 denkleminde λ yerine $\frac{0,693}{t_{1/2}}$ yazarak yeniden tanımlayabiliriz (Krane, 1998).

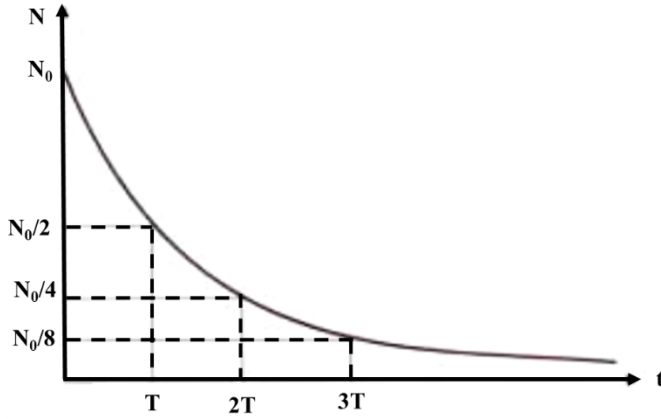
$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\frac{0,693}{t_{1/2}} t} \quad (2.9)$$

Doğada bilinen dört doğal radyoaktif serinin yarı ömrü aşağıdaki Tablo 2.10'da listelenmiştir.

Tablo 2. 10 Bazı radyoaktif ürünlerin yarı ömürleri

Seri	Ana çekirdek	$t_{1/2}$ yıl	Kararlı	Çekirdek
Thorium	^{232}Th	$1,4 \cdot 10^{10}$	^{208}Pb	$4n$
Neptinium	^{237}Np	$2,1 \cdot 10^6$	^{209}Bi	$4n+1$
Uranium	^{238}U	$4,5 \cdot 10^9$	^{206}Pb	$4n+2$
Actinium	^{235}U	$7,0 \cdot 10^8$	^{207}Pb	$4n+3$

Neptinium serisi ömrü bittiği için bugün ölçülemiyor, üretimi suni olarak gerçekleştirilmektedir ($A= 4n+s$ serileri, n : tamsayı, $s= 0,1,2,3, \dots$). En kısa yarı ömürlü çekirdek 10^{-21} s ile ^4_2He , en uzun yarı ömürlü çekirdek ise 1017 yıl ile ^{204}Pb 'dir. Atmosferde sürekli olarak ^{14}C β bozunumu ile ^{14}N oluşur ($t_{1/2}=5730$ y) ve bu bozunma ile yaş belirlemesi yapılır. ^{238}U ve ^{232}Th elementlerinin yaşları dünyanın yaşına yakındır (Krane, 1998). Şekil 2.9'da radyoaktif bir numune miktarının zamanla değişimi verilmiştir.



Şekil 0.9 Radyoaktif bir numune miktarının zamanla değişimi (Krane, 1998)

2.3. Bozunma Çeşitleri

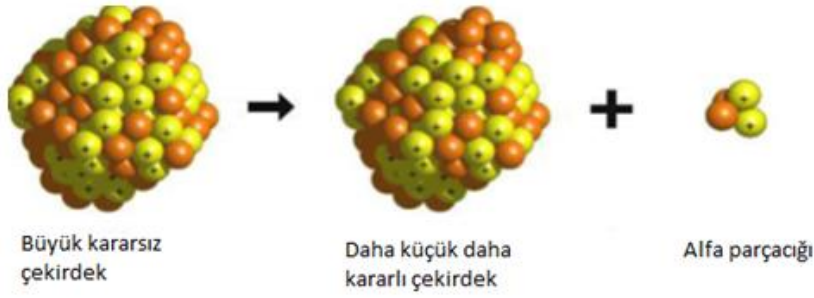
Radyoaktif çekirdeklerde üç şekilde bozunuma gerçekleşebilir. Kararsız bir çekirdek olan α , β yayarak daha kararlı bir çekirdeğe dönüşebileceği gibi, gama (γ) bozunumu ile de uyarılmış bir durumdan taban duruma da geçebilir.

2.3.1. Alfa Bozunumu

Alfa (α) parçacıkları 1903 yılında Rutherford tarafından radyum elementinin bozunması esnasında ortaya çıkan taneciklerin elektrik alanı ve manyetik alanlardaki sapmalardan yararlanılarak tespit edilmiştir. Alfa bozunumu klasik fizik yasalarının açıklayamadığı bir olgudur. Ortaya çıkan α taneciklerinin enerjileri, Coulomb duvarını aşamayacak büyüklüktedir. Bu sorun 1928 yılında kuantum elemesi fikrini ortaya atan Gamow, Gurney ve Condon tarafından çözülmüştür. α taneciklerinin potansiyel duvarını aşabilmesi için duvarla defalarca etkileşmesi gerekmektedir. Bu yalnızca bir ihtimaldir. (Krane, 1988).

Alfa bozunmasının fiziksel sebebi Coulomb itme kuvvetidir. Atom numarası 83' ten büyük olan elementler, kararlı bir çekirdek yapısına ulaşmak amacı ile ilk önce alfa bozunmasına uğrarlar (Şekil 2.10). Yüksek Z sayılarında çekirdekteki nükleer bağlanma kuvveti A sayısı ile değişirken, itici Coulomb kuvveti Z^2 ile değişir. α taneciği iki proton ve iki nötrondan oluşan pozitif yüklü bir ${}^4_2\text{He}$ çekirdeğidir. Denklem 2.10 bir çekirdeğin alfa parçacığı yayınlanması ile çekirdek 2 proton ve 2 nötronunu kaybeder (Krane, 1988).





Şekil 0.10 Alfa bozunumu (Tüysüz, Yorulmaz, Bozkurt, 2004)

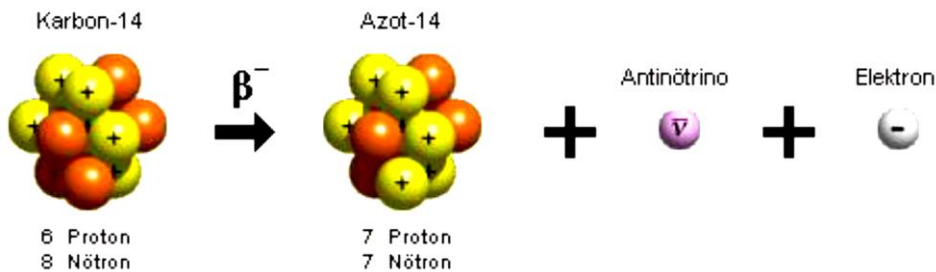
2.3.2. Beta bozunması

Beta (β) bozunmaları izobarik bozunmalardır. Sistemde bulunan ana çekirdek ile yavru çekirdeğin kütle numarası birbirine eşittir. Fakat bozunmanın türüne bağlı olarak ana çekirdeğin atom numarası değişmektedir. Negatron (β^-) bozunması ise 1 artar; pozitron (β^+) bozunması veya elektron yakalama olayı ise 1 azalır (Annunziata, 2003).

2.3.2.1. β^- bozunması

Nötron fazlalığından dolayı çekirdekte kararsızlık durumu varsa, enerji fazlalığını ortadan kaldırmak için nötronlardan bir tanesi proton ve elektrona dönüşür (Denklem 2.11). Olayın neticesinde elektron çekirdekten dışarı fırlatılırken, proton dışarı atılmaz. Fırlatılan yüksek hızlı elektrona beta parçacığı (veya negatron) adı verilir (Şekil 2.11). Kütle sayısında değişiklik meydana gelmeyecektir (Tüysüz, Yorulmaz, Bozkurt, 2004).

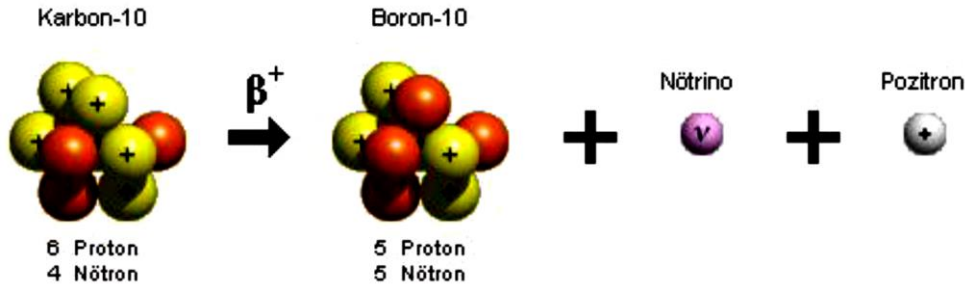
$${}_Z^AX_N \rightarrow {}_{Z+1}^AY_{N-1} + e^- + \bar{\nu}_e + Q_{\beta^-} \quad (2.11)$$



Şekil 0.11 β^- bozunması (Tüysüz, Yorulmaz, Bozkurt, 2004)

2.3.2.2. β^+ bozunması

Atomun kararsızlığının sebebi nötron azlığı veya proton fazlalığından kaynaklanıyorsa protonlardan biri nötron ve pozitrona (pozitif yüklü elektron) dönüşmektedir (Denklem 2.12). Bu bozunma da ise elektron yerine pozitron çekirdekten dışarı atılırken, nötron çekirdekte kalır (Şekil 2.12). Bunun sonucunda atom numarası bir azalır (proton atılması nedeniyle) ve izobar atom (bir önceki elementin atomu) meydana gelir. Kütle sayısı sabit kalır (Tüysüz, Yorulmaz, Bozkurt, 2004).



Şekil 0.12 β^+ bozunması (Tüysüz, Yorulmaz, Bozkurt, 2004)

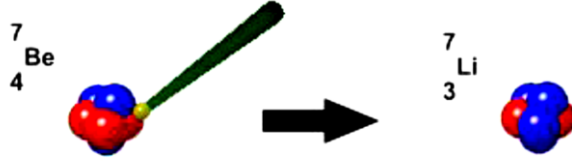
2.3.2.3. Elektron Yakalama Olayı

Kararsızlık çekirdekteki proton sayısının fazla olmasından ötürü ise atomun K, L yörüngelerinde dolanan elektronlardan biri çekirdek tarafından yakalanır. Yakalana elektron, bir proton ile birleşir, bu birleşmenin sonucunda nötron ve nötrino meydana gelir (Beiser, 1972). Bu bozunumda çekirdekten herhangi bir parçacık salınımı meydana gelmez. Proton sayısı azalır, fakat kütle numarası aynı kalır (Denklem 2.13-2.14). Yörüngelerde atılan elektrondan boşalan yere başka bir elektron yerleşir. Olay sonucunda Bremsstrahlung (frenleme) radyasyonu adı verilen x ışınları yayınlanır. Şekil 2.13’de örnek bir elektron yakalama olayı resmedilmiştir.



Elektron yakalama ise;





Şekil 0.13 ^7Be 'un elektron yakalama olayı (Tüysüz, Yorulmaz, Bozkurt, 2004)

2.3.3. Nötron bozunması (veya nükleer bölünme)

Nötron(n), kütlesi proton kütlesine yakın olmasına (≈ 1 akb) rağmen yüksüz olmasından dolayı atomun en son keşfedilen bileşenidir. 1932 yılında J. Chadwick tarafından keşfedilmiştir. Çekirdek dışında kararlı değildir ve 15 dakikalık ömre sahiptir. α ve β ışımlarına nazaran çok daha az sayıda çekirdek doğal bozunma yoluyla salınır. Nötron bozunmasına uğrayan çekirdekler yapılarını iki şekilde değiştirmektedirler. Bunlar gecikmeli nötron bozunumu yoluyla dönüşüm ve kendiliğinden fisyonudur. Bu süreçte elementin türü değişmez, ancak atom o elementin farklı bir izotopuna dönüşür. Ana çekirdek alfa veya beta bozunmasına uğradıktan sonra ara basamakta kararsız bir yavru çekirdek oluşur ki bu da nihai yavru çekirdeğin genellikle γ ışıması yapacak olan kararsız bir izotopudur ve bu kararsız çekirdek de nötron salarak nihai yavru çekirdeği oluşturur. Örnek olarak bir fisyon ürünü olan Br^{87} 'un Kr^{87} 'a dönüşmesi verilebilir.

Tablo 2. 11 Nötronların enerjilerine göre sınıflandırılması (L'Annunziata,2003)

Sınıflandırma adı	Nötron enerjisi
Soğuk	10^{-3} eV
Yavaş (termal)	$10^{-3} - 0,4$ eV
Epitermal	$0,4 - 100$ eV
Orta dereceli	100 eV - 200 eV
Hızlı	200 eV - 10 MeV
Görelî	≥ 10 MeV

Kendiliğinden fisyon olayı çok fazla enerjisi olan bazı az sayıdaki ağır çekirdeklerin kendilerini daha küçük çekirdeklere ayırması olayıdır. Bozunma sonucunda ana çekirdeğin türüne göre 2 ile 4 adet nötron salınabilir. α veya β bozunmaları da sürece dahil olabilir. Örnek olarak U^{235} ve Cf^{252} verilebilir (Martin, 2006). Literatürde nötron radyasyonlarının sınıflandırılmasına dair az da olsa farklılık gösteren yaklaşımlar vardır. Ancak genel bir sınıflandırma Tablo 2.11'deki gibidir (Krane, 1988; Annunziata, 2003).

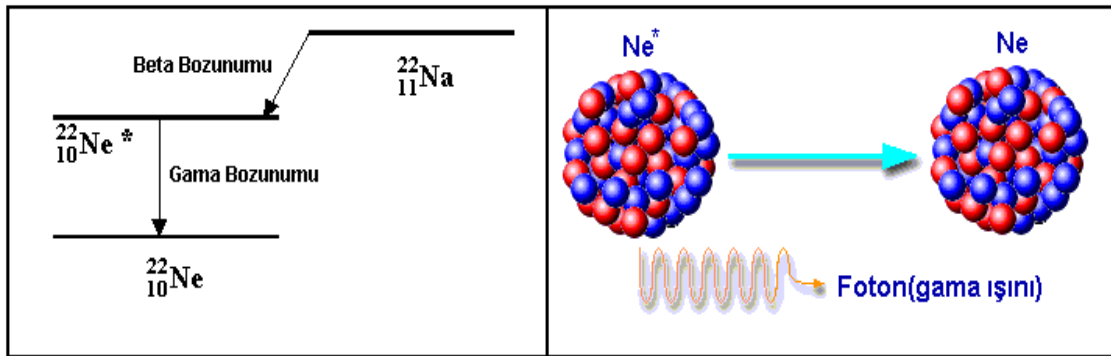
2.3.4. Gama Bozunması

Nükleit bozunma veya enerji fazlalığı nedeniyle radyasyon yayınlanması sonrasında çekirdek çoğu zaman temel enerji seviyesine (kararlı durum) geçiş yapamaz. Yarı kararlılık adı verilen durum ortaya çıkmaktadır. Yani çekirdek olması gereken düzey üzerinde bir enerjiye sahip olacaktır. Fazladan kalan bu uyarılma enerjisi, elektromanyetik özelliğe sahip bir gama radyasyonu şeklinde hızlıca yayımlanacaktır. (Noz ve Maguire, 2007).

Gama ışınları atom çekirdeği kaynaklı ışınlardır. Çekirdekteki fazla enerji çevreye elektromanyetik dalga şeklinde salınır. Bu gama ışınları 0,1- 10 MeV enerji aralığında olup çekirdek durumları arasındaki enerji farkı mertebesinde yer almaktadır. Denklem 2.15 görüldüğü gibi gama ışıması sürdüren bir çekirdekte atomun ve onun numarası değişikliğe uğramaz (Noz ve Maguire, 2007). Gama bozunması;



Yükleri olmadığından elektrik ve manyetik alanlardan etkilenmezler. Bunun sonucunda madde içine nüfuz etme kabiliyetleri alfa ve beta parçacıklarına göre çok daha fazla olmasına karşın iyonlaşmaya sebep olma etkileri ise daha azdır. Bunların birkaç santimetre kalınlığındaki kurşun tuğlalarla ve sadece belli bir kısmı durdurulabilir. Şiddeti, madde içerisinden geçerken üstel bir fonksiyonla hesaplanabilecek şekilde azalır. Yükleri olmadığından elektrik ve manyetik alanda sapma göstermezler (Toprak, 2001).



Şekil 0.14 Gama bozunum şeması (Togay, 2002; Büyüksulu, 2007)

Şekil 2.14'de Na'nın beta bozunumu sonucu Ne (neon)'nin uyarılmış haline dönüşmesi ve uyarılmış halde bulunan Ne çekirdeğinin gama bozunumu ile temel enerji seviyesine düşerken yayınladığı gama ışınının şematik diyagramları gösterilmiştir (Togay, 2002; Büyüksulu, 2007).

2.4. Radyasyon Madde Etkileşimi

Radyasyon madde etkileşimi; radyasyonun algılanması, ölçülmesi, zırhlaması, radyasyon güvenliği ve radyasyonun biyolojik etkilerinin incelenmesi olaylarını kapsayan bir ifadedir. Madde ile etkileşen radyasyon malzemedeki birtakım değişikliklere sebep olduğu gibi, kendi enerjisinde de değişim meydana gelecektir. Bir demet radyasyon ışını herhangi bir maddeye etkileştiğinde 3 durum ortaya çıkar. Radyasyonun bir kısmı saçılabilir, bir kısmı tamamen emilebilir, bir kısmı da hiçbir etkileşim olmadan malzemenin içinden geçebilir. Radyasyon ışını parçacıklara çarpar veya durdurulur ya da saçılır. Etkileşme mekanizması parçacığın türüne ve enerjisine bağlıdır. Ayrıca, ortamda bulunan atomunun yapısına da (yoğunluğu, proton sayısı, yüklü olup olmadığı v.b.) bağlı olarak değişmektedir (Knoll, 2000).

Bir parçacık maddenin içinden geçerken iki farklı şekilde enerji kaybedebilir. Birincisi; parçacık malzeme ile birçok etkileşim girerek neredeyse sürekli olarak enerji kaybeder, enerji kaybı kademelidir. İkincisinde ise, parçacık bir tek çarpışmada bütün enerjisini kaybeder, enerji kaybı anidir. Örneğin; foton etkileşimleri "ya hep ya hiç" türü iken, yüklü parçacıklar malzeme içinden geçerken kademeli enerji kaybı ile karakterize edilir.

Yüklü parçacıklarının (alfa ve beta ışınları) madde ile etkileşimleri, gelen parçacığın sahip olduğu elektrik yüklerinin malzeme elektronları ile yapacakları Coulomb etkileşimi sonucunda oluşacaktır. Yüksüz parçacıkların madde ile etkileşimleri, yüklü parçacıkların aksine elektrik yükleri bulunmadığı için Coulomb kuvvetleri ile gerçekleşmemektedir. Bu sebeple yüksüz parçacık olan fotonların (x ve gama ışınları) ve nötronların madde ile etkileşimlerinin ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir. Elektromanyetik radyasyonlar birçok olayda gama ve x ışınları gibi parçacıklara benzer davranışlar gösterirler. Bu nedenden dolayı çok küçük enerji paketleri anlamına gelen foton adı verilmiştir. Belli bir frekans için gelen radyasyon paketlerinin taşıyacağı enerji denklem 2.16 ile ifade edilir (Krane, 1998)

$$E = h \cdot \nu \quad (2.16)$$

Kütlesiz ve yüksüz olmaları nedeniyle, bu niceliklere sahip olan alfa, beta, proton ve diğer yüklü iyon radyasyonlarına nazaran çok daha giricidirler (Tablo 2.12). Çünkü elektromanyetik alanlardaki kuvvetlerden dolayı sapmazlar. Bununla birlikte elektromanyetik kuvvetin taşıyıcısı da fotonlardır.

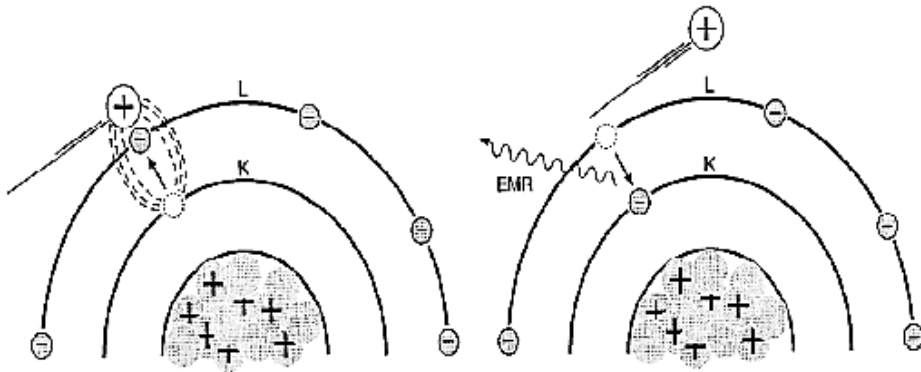
Tablo 2. 12 Radyasyon türleri ve bazı etkileşme özellikleri (ICRU, 1971)

	α	β^- ve β^+	n	X- Işınları	γ -Işınları
Yük	+2	+1 ve -1	0	0	0
İyonizasyon	Doğrudan	Doğrudan	Dolaylı	Dolaylı	Dolaylı
Kütle (akb)	4,00277	0,000548	1,008665	-	-
Hız (cm/s)	$6,94 \times 10^8$	$2,82 \times 10^{10}$	$1,38 \times 10^9$	$2,99 \times 10^{10}$	$2,99 \times 10^{10}$
Enerji (MeV)	3-10	0-3	0-10	$10^{-4} - 10^{-1}$	$10^{-5} - 10$
Havada menzil (cm)	0-10	0- 10^3	0- 10^5	$10^2 - 10^3$	$1 - 10^4$
Suda menzil (cm)	$20 - 125 \times 10^8$	<1	0-100	$10^{-3} - 1$	10^{-3}

2.4.1. Alfa parçacıklarının madde ile etkileşimi

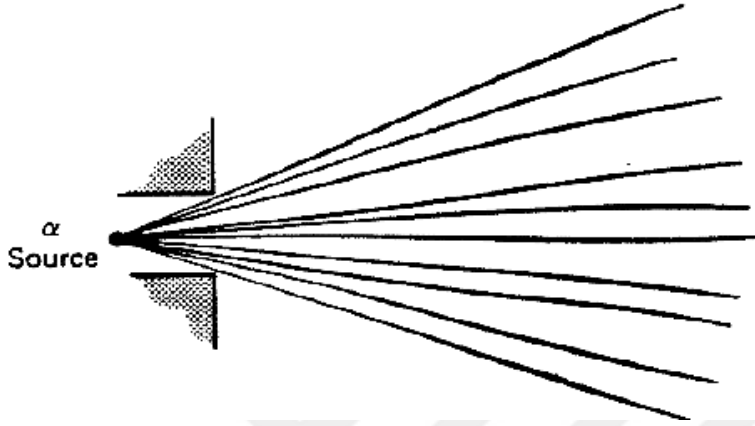
Ağır yüklü alfa parçacıklarının malzeme ile etkileşimleri, parçacığın kendi yükleri ile soğurucu atomların yörünge elektronları arasında oluşan Coulomb kuvveti arasında gerçekleşmektedir. Parçacıkların enerji kaybı madde içerisinde ilerlerken gerçekleşen inelastik çarpışmalar sonucunda olacaktır. Çarpışmalar esnasında ilerleyen parçacığın enerjisi yeterli büyüklükte ise, kinetik enerjisi yolu üzerindeki atomlara aktaracak ve onları iyonlaştıracaktır (Tuğrul, 2012).

Yüklü parçacıklar soğurucu bir ortama girdiklerinde ortam elektronları ile etkileşmekte ve enerjisinin önemli bir kısmını kaybetmektedir. Bu etkileşimler sonucunda, girilen ortamdaki elektron uyarılıp bir üst enerji seviyesine çıkabileceği gibi, elektronu atomdan tamamen kopararak iyonizasyon da gerçekleşebilir. Uyarılan atom daha sonra, foton ışını yayınlamaya başlayarak fazla enerjisini kaybetmekte ve daha düşük enerji seviyesine veya taban durumuna dönmektedir (Şekil 2.15).

**Şekil 0.15** Atomun yüklü bir parçacık ile uyarılması (Şahin, 2013)

Alfa parçacıklar madde içerisinde ilerlerken yol boyunca yavaşlamaktadırlar. Parçacıkların enerji kaybındaki azalmaya bağlı olarak kinetik enerjisinde de değişikliğe meydana gelecektir.

Ağır yüklü parçacıkların madde ile etkileşme süreçleri boyunca izledikleri yol doğrusal olmaktadır. Çarpışmalar sonucunda oluşan etkileşimler ile çokça saptırılmamakta ve bu etkileşimler her yönde eş zamanlı olarak gerçekleşmektedir. Bu nedenden dolayıdır ki, yüklü parçacıklar etkileştikleri soğurucu madde içinde aldıkları yol ile temsil edilebilmektedirler (Knoll, 2000). Alınan yol, ağır ve yüklü parçacıkların malzeme içinde duruncaya kadar kat edebileceği mesafe olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.16’ de alfa parçacıklarının madde içindeki hareketleri gösterilmiştir (Knoll, 2002).

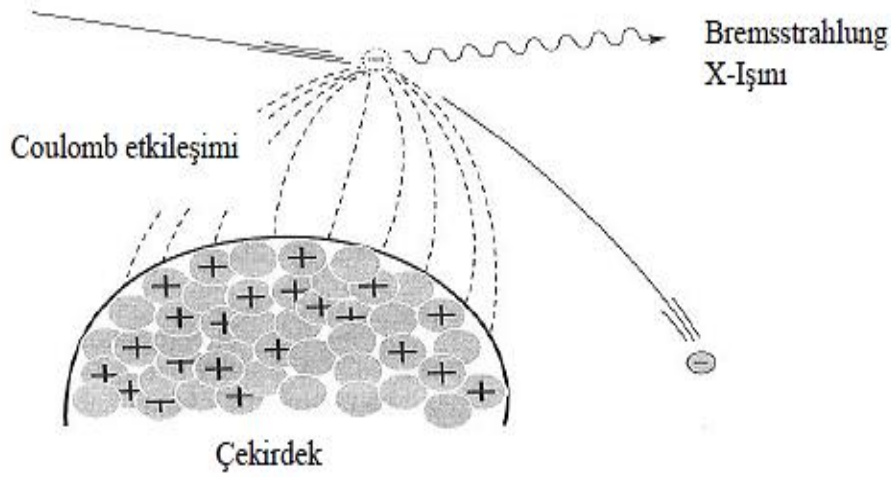


Şekil 0.16 Alfa parçacıklarının madde içerisindeki doğrusal hareketleri (Knoll, 2002)

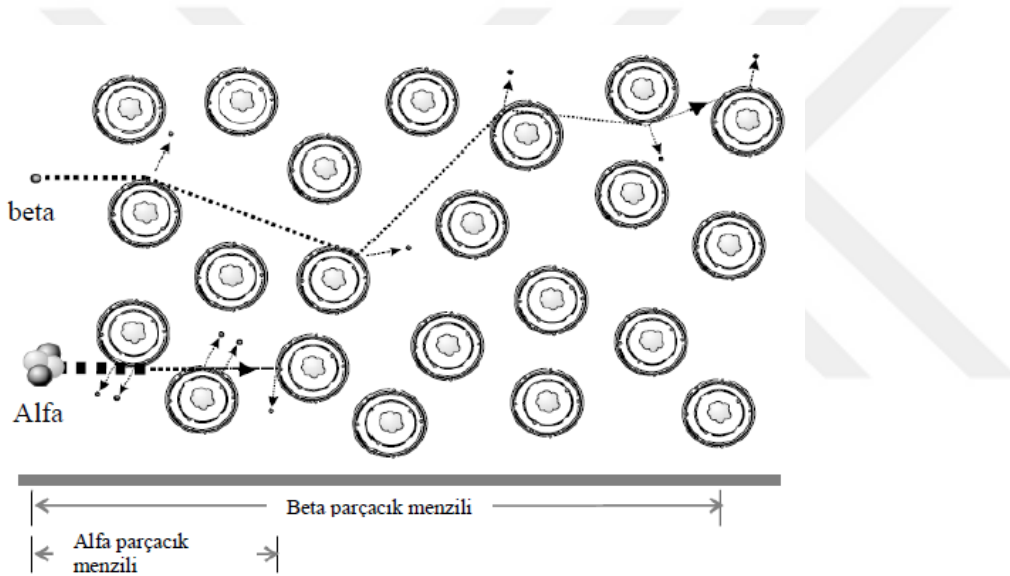
2.4.2. Beta parçacıklarının madde ile etkileşimi

Yüklü ve hafif olan beta parçacıkların, madde ile etkileşimleri iyonlaşarak gerçekleşebileceği gibi, bunların yanı sıra ortamdaki çekirdeklerin elektrik alanları kaynaklı olacaktır. Beta parçacıkları ile ağır yüklü parçacıkları karşılaştırdığımızda, beta parçacıklar hafif olduklarından dolayı hızları daha yüksek olacaktır ve bir çekirdeğin kapsamı alanından geçerken enerji kaybına uğrayabilirler. Bu enerji Bremsstrahlung (frenleme) radyasyonu şeklinde görülmektedir (Şekil 2.17). Sonuç olarak radyasyon elektronun ivmelenmesinden dolayı ortaya çıkmaktadır (Knoll, 2002).

Beta parçacıklar enerjilerinin büyük bir kısmını ortamın yörünge elektronları ile yaptıkları çarpışmayla kaybetmektedirler. Elektronun ortamdaki atomun elektronları ile esnek olmayan çarpışma sonrası saçılmayı Moller Saçılması, ortamdaki atomun pozitronları ile meydana gelen esnek olmayan çarpışma ile saçılmasını Bhabha Saçılması olarak tarif edilmektedir. Bu saçılmalar sonucunda beta parçacıklarının izledikleri yol, alfalar gibi ağır yüklü parçacıkların izledikleri düz yolun aksine, zikzaklı olabilmektedir. Bu sebeple, beta parçacıklar alfa parçacıklarının yollarına göre daha fazla yol alabileceklerdir (Şekil 2.18).



Şekil 0.17 Bremsstrahlung radyasyonu (Şahin, 2013)



Şekil 0.18 Alfa ve Beta parçacıklarının menzilleri (Powsner, 2006)

Yüksek enerjili elektron veya pozitron, çekirdek alanından geçerken bremsstrahlung radyasyonu yayınlamaktadır. Bremsstrahlung olayının frekansı maddenin atom numarasının karesiyle doğru, beta parçacığının kütlesiyle ters orantılı olacak şekilde artışı olarak hesaplanabilir. Bu sebeple beta radyasyonunun zırhlama hesabı yapılacaksa; atom numarası düşük malzemelerin kullanılması daha doğru tercih olacaktır. Bremsstrahlung olayının önemi, 1 MeV 'in üzerinde enerjili beta parçacıkları için daha fazla önem arz edecektir (Das ve Ferbel, 2003).

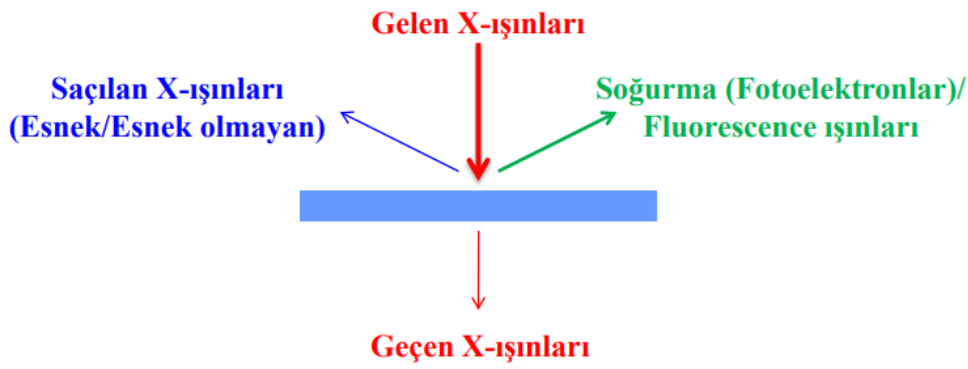
2.4.3. Gama ve X Işınlarnn Madde ile Etkileşmesi

Yüksüz parçacıkların madde ile etkileşimi ile fotonlar ve nötronlar kastedilmektedir. Bu bağlamda foton madde iletişimini ya da nötron madde etkileşimini kendi içlerinde değerlendirmek gerekmektedir. Elektromanyetik radyasyonların madde ile etkileşimlerini esas olarak enerjileri belirlemektedir. Enerjinin büyüklüğüne göre 3 farklı etkileşim öne çıkmaktadır. Buna göre gelen ışının enerjisi:

Düşük ise; atomun tümüyle,

Orta ise; yörünge negatif elektronlarıyla,

Yüksek ise; çekirdek ile etkileşir.



Şekil 0.19 X ışınlarının madde ile etkileşimi

Maddeden geçen, saçılan ve soğrulan x ışınların oranı, gelen x ışınlarının enerjisine, malzeme kalınlığına ve cinsine bağlıdır (Şekil 2.19). Bu etkileşimler sonucu 2 durum ortaya çıkacaktır. Gelen x ışınları malzeme tarafından absorbe edilerek tamamen kaybolabilir veya yönleri değişerek saçılma uğrarlar. X ışınları 10^{-9} ile 10^{-10} m dalga boyları arasında ise atom ve subatomik parçacıklarla etkileşir. X ışını enerjisinin etkileşmelere etkisi;

Düşük enerjili x ışınları (Soft X-rays): Enerjileri 2 keV 'den az ise;

- Esnek saçılma (Koherent) 1%'den az.
- Esnek olmayan saçılma (İnkoherent) ihmal edilebilir.
- Fotoelektrik soğurma baskın.

Yüksek enerjili x-ışınları (Hard X-rays): Enerjileri 2 keV 'den yüksek.

- Saçılma çok daha önemli hale geliyor. Çünkü gelen X-ışınlarının enerjisi arttıkça; soğurma tesir kesiti, saçılma tesir kesitinden daha fazla azalıyor.
- Yüksek enerjili X-ışınlarının dalga boyları atom boyutlarına yakın olduğu için, kırınım deneylerinde kullanılırlar.

Gama ışınları, çekirdek kaynaklı ve elektromanyetik dalga tabiatında olan ışınlardır. Gama ışını α veya β ışınması sonrasında ki kararsızlık ve enerji seviyesi farklılığı sonucunda elektromanyetik dalga halinde yayınlanır. Gama ışınları, elektromanyetik spektrumdaki en kısa dalga boylu ve en yüksek enerjili elektromanyetik radyasyonlardır.

- Gama ışınlarının enerjisi β ışınlarından daha yüksektir,
- Elektrik ve manyetik alanda sapmaya uğramazlar ve yüksüzdürler,
- Difüzyon yeteneği en fazladır,
- İyonlaştırma yeteneği en az olandır,
- Havada birkaç yüz metre yol alabilirler,
- Korunmak (=yavaşlatmak) için birkaç cm kalınlıkta kurşun tuğlalar veya 1 m kalınlıkta beton duvar gerekir.

Gama ışınlarının soğrulması: ince bir demet şeklinde kolime edilmiş gama ışınları, değişik kalınlıklarda soğurucu bir madde içinden geçtikten sonra bir dedektör üzerine düşürüldüğü zaman exponansiyel olan bir azalma gözlenecektir. I şiddetindeki gamma ışını demetinin dx kalınlığındaki madde tabakasına nüfuz etmesi durumunda; şiddetteki değişme, gelen demetin şiddeti ve madde kalınlığı ile doğru orantılı olacaktır. I şiddetiyle dx kalınlığındaki madde üzerine dik olarak gelen foton demetinin şiddetindeki dI değişimi;

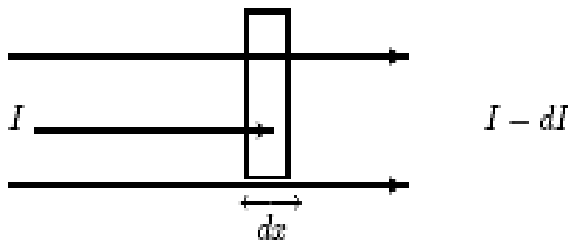
$$\frac{dI}{dx} = -\mu \cdot I \quad (2.17)$$

Burada;

μ : gama ışınlarının enerjisine ve maddenin cinsine bağlı olan lineer soğurma katsayısını,

I : x kalınlığını geçen gama ışınlarının şiddetini,

I_0 : başlangıçta gelen gama ışınının şiddetini ifade etmektedir.



Şekil 0.20 Gama ışınının madde içerisinden geçişi

Madde içerisinde ilerleyen gama ışının şiddeti denklem 2.18' de gösterildiği gibi eksponansiyel bir dağılım göstererek değişmektedir. (-) işareti şiddetin artan kalınlık ile azaldığını gösterir (Bilge ve Tuğrul, 1990).

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.18)$$

Her bir etkileşim demet içinde bir miktar gama fotonunu, belli bir ihtimaliyet dâhilinde gerçekleşen soğurma veya saçılma şeklinde dedektöre gitmesini engelleyecektir. Bu ihtimaliyetlerin her birinin toplamı, birim kalınlık başına toplam soğrulma ihtimaliyetini verir ve lineer soğurma katsayısı olarak tanımlanır

Dört çeşit soğurma katsayısı bulunur. Bunlar;

Birim kalınlık başına soğurulmayı veren Lineer soğurma katsayısı (μ);

$$\mu = \frac{\ln(I_0/I(x))}{x} \quad cm^{-1} \quad (2.19)$$

Birim kütle başına soğrulma ise kütle soğurma katsayısı (μ_m) ile ifade edilir ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad cm^2/gr \quad (2.20)$$

Diğer soğurma katsayısı ise mol başına düşen soğurmayı veren molar soğurma katsayısıdır (μ_{mol});

$$\mu_{mol} = \mu_m \cdot A \quad cm^2/mol \quad (2.21)$$

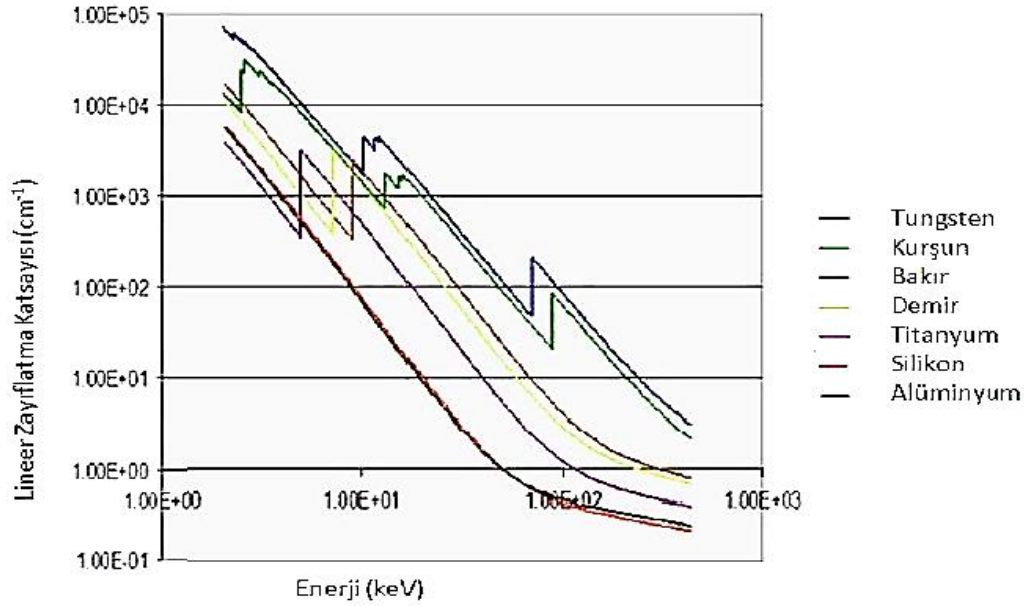
Atomik soğurma katsayısı (μ_a), atom başına soğurmayı olarak ifade edilir. Kütle soğurma katsayısı ile bir tek atomun kütlelerinin çarpımına eşittir. Birim hacimdeki atom sayısı n olmak üzere (Jaeger, 1965; Hubbell, 1982);

$$\mu_a = \mu/n \quad (2.22)$$

Toplam zayıflatma katsayısı μ , fotoelektrik etki kısmi zayıflatma katsayısı (τ), compton saçılması kısmi zayıflatma katsayısı (σ), çift oluşumu kısmi zayıflatma katsayısı (κ) katsayılarının toplamına eşittir.

$$\mu = \tau + \sigma + \kappa \quad (2.23)$$

Gama ışınlarının zırhlamasında kullanılan atom numarası yüksek olan bazı elementler Şekil 2.21’de gösterilmiştir. Ekonomik nedenlerden dolayı en çok beton ve kurşun kullanılmaktadır (Bilge ve Tuğrul, 1990).



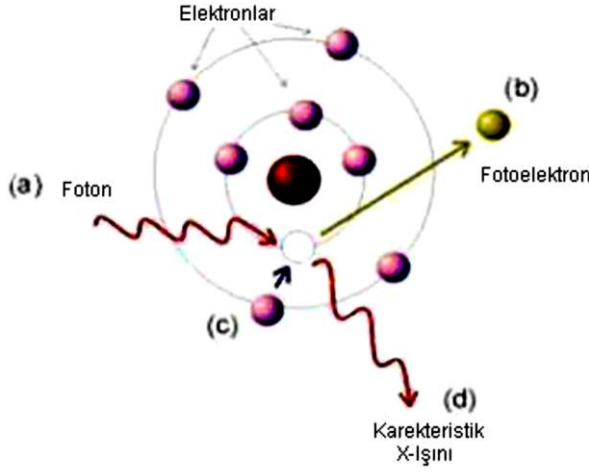
Şekil 0.21 Bazı elementlerin lineer zayıflatma katsayıları

Fotonun soğurucu bir malzeme vasıtasıyla zayıflatılması 5 etkileşme ile meydana gelir. Bunlardan birincisi; foton ile çekirdek arasında ki fotodisintegrasyon (foto ayrışma, foto bozunma) reaksiyonu olarak adlandırılır. Enerji düzeyleri 10 meV üzerinde olan x ışınları maddenin atom çekirdeği ile etkileşime girer ve bu etkileşim sonrasında foton çekirdek tarafından absorbe edilir (radyoloji için önemsizdir). Diğer 4 ü ise;

- Fotoelektrik olayı
- Compton Saçılması
- Çift oluşumu
- Koherent Saçılma

2.4.3.1. Fotoelektrik Olayı

Fotoelektrik etkileşme, $h\nu$ enerjili bir fotonun enerjisinin tamamını atomun K veya L kabuklarındaki bir elektrona aktararak onu koparması olayıdır. Elektron yeterince kinetik enerjiye sahipse, enerjisini aktardığı elektronu pozitif yüklü çekirdeğin bağlamayı sağlayan kuvvetinden kurtararak atomdan fırlatılan elektrona fotoelektron denir (Şekil 2.22). Meydana gelen boşluk dış yörüngedeki başka bir elektron tarafından doldurulur. Bunun sonucunda elektronla birlikte x ışını da yayınlanır.

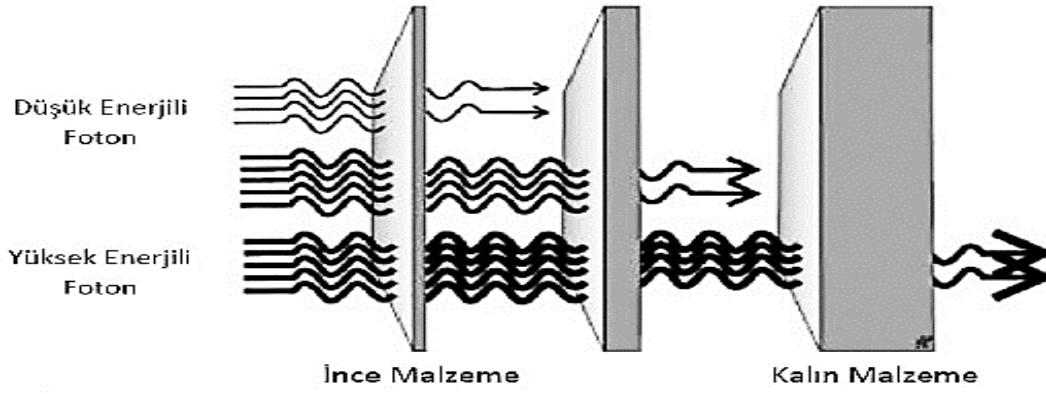


Şekil 0.22 Fotoelektrik olay (Seyrek, 2007)

Çekirdek etrafındaki kabukları içten dışa K, L, M şeklinde kabul ederek düşündüğümüzde fotoelektrik etkileşmenin tamamının K kabuğundan ötürü meydana geldiğini söyleyebiliriz. Şöyle ki, kurşun gibi ağır çekirdekler de bu etkileşmelerin %80'i K kabuğunda gerçekleşirken, alüminyum gibi hafif çekirdeklerde neredeyse tamamı gerçekleşir (Shultis ve Faw, 2002). Bu nedenden dolayı K kabuğu için hesaplanan tesir kesitinin 1,25 katı, fotoelektrik etkileşmenin toplam atomik tesir kesiti (veya atom başına tesir kesiti) olarak kabul edilir (Price, vd., 1957). Fotonun enerjisinin belirli bir kısmı elektron tarafından soğurulur ve bağlanma enerjisini yenmek için kullanılır. Arta kalan enerji, elektronun kinetik enerjisi olur. Elektronunu kaybeden atom uyarılmış olur ve böylelikle momentum korunur. Foto elektronların kinetik enerjisi (T_e), gelen gama ışınının enerjisinden (E_γ), elektronu uyarmak için gerekli olan enerjinin (E_b) çıkarılması ile hesaplanabilir.

$$T_e = E_\gamma - E_b \quad (2.25)$$

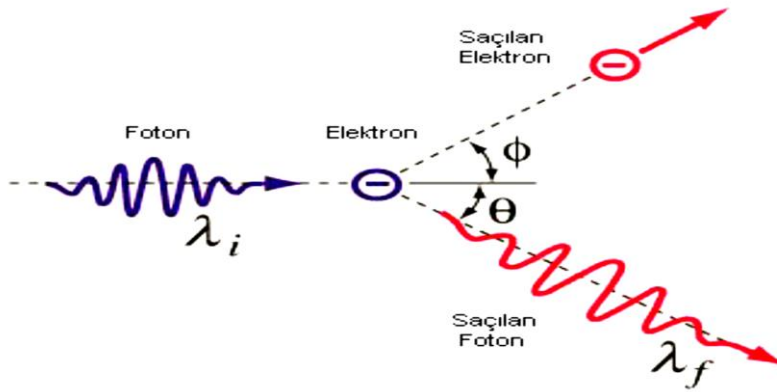
Bu etkileşme mekanizması yüksek atom numaralı atomlar için oldukça önemlidir. Bu etkileşmeler fotonların iki önemli özelliklerini açıklar. Bunlardan birincisi fotonların madde içerisinde yüklü parçacıklarla karşılaştırıldığında daha uzun mesafelere penetrasyonu, ikincisi ise belli bir kalınlıktaki malzemeyi geçince fotonların enerjilerinde bir azalma meydana gelmemesi, sadece şiddetinde azalmanın olmasıdır (Powsner, 2006).



Şekil 0.23 Kullanılan madde kalınlığının fotonların şiddetinin değişimine etkisi (Powsner, 2006).

2.4.3.2. Compton Saçılması

Foton madde etkileşmesinde en iyi anlaşılan mekanizmalardan birisi Compton saçılmasıdır. Compton saçılması gama ışınlarıyla soğurucu atomun çok zayıf bağlı elektronu arasında gerçekleşen bir etkileşim türüdür. Compton saçılmasında gelen foton, elektronla etkileştikten sonra (elektrona belli bir oranda enerji transfer edilir) geliş yönünden θ açısı kadar saçılır. Bu fotonun serbest bir elektronda esnek saçılması olayıdır. Eğer fotonun enerjisi elektronun bağlanma enerjisinden yüksek ise, bağlanma enerjisi göz ardı edilip elektronun serbest olduğu düşünülür. Gelen foton atomik bağlanma enerjisinin önemli olduğu enerjiye (100 keV altı) sahipse bu olay gerçekleşemez (Seyrek, 2007).



Şekil 0.24 Compton Saçılması (Seyrek, 2007)

Serbest bir elektron üzerine h plank sabiti, ν ışığın frekansı ve c ışığın hızı olmak üzere $h\nu$ enerjili, $h\nu/c$ momentumlu foton düştüğünde, foton θ açısı altında daha düşük frekansta saçılmakta ve p momentumuna sahip elektron ϕ açısında ortamdan yayınlanmaktadır (Şekil 2.24). Fotonun saçılma açısı fotondan elektrona aktarılan enerji miktarına bağlıdır.

Compton saçılması, E enerjili bir fotonun durgun bir elektron tarafından saçılması ile gerçekleşen bir etkileşimdir. Etkileşim sonucunda foton, enerjisinin bir kısmını kaybeder ve m_e kütleli elektron geliş doğrultusu ile 0-180°'lik bir açı ile saçılır. E enerjisi ile gelip elektron tarafından E' enerjisi ile saçılan foton için toplam rölativistik enerjinin ve lineer momentumun korunumu bağıntıları kullanılarak E' enerjisi (Bilge ve Tuğrul, 1990).

$$E' = \frac{E}{1 + \left(\frac{E}{m_e c^2}\right)(1 - \cos^2 \theta)} \quad (2.26)$$

olarak hesaplanır.

Foton taşıma hesapları enerjiye değil, gelen ve saçılan fotonun dalga boyuna bağlı olarak elde edilen eşitlikler ile yapılır. Eşitliklerde bir katsayı olarak karşımıza çıkan $h\nu/m_e c^2$ ifadesi “Compton dalga boyu” olarak adlandırılır. Compton denklemi dalga boyları cinsinden düzenlenirse;

$$\lambda' = \lambda + (1 - \cos \theta) \quad (2.27)$$

eşitliğine ulaşırız. Burada;

λ : gelen fotonun dalga boyu,

λ' : saçılan fotonun dalga boyu nu belirtmektedir.

Fotonu saçan elektron uyarılmış olur ve bir kinetik enerjisi vardır. Bunu da hesaba katarsak;

$$\frac{m_e c^2}{T} = \lambda \left(1 + \frac{\lambda}{1 - \cos \theta}\right) \quad (2.28)$$

θ açısı ile saçılan fotonun ve ϕ açısı ile (gelen fotonun geliş doğrultusu ile yaptığı açılar) saçılan elektronun saçılma açıları arasında;

$$\cot \phi = (1 + \lambda^{-1}) \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (2.29)$$

$\theta = \pi$ veya $\phi = 0$ iken foton tarafından elektrona maksimum enerji aktarılır. Enerji ve momentum korunumu kanunları, Compton saçılması olayına uygulanarak, enerji transferi ve saçılma açısı ifadeleri;

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \gamma(1 - \cos \theta)} \text{ burada } \gamma = \frac{h\nu}{m_e c^2} \quad (2.30)$$

olarak elde edilmektedir. Burada, $h\nu'$ saçılan fotonun enerjisi, $m_e c^2$ ise elektronun durgun kütle enerjisidir (0,511 meV). Küçük θ saçılma açılarında, saçılan elektrona transfer edilen

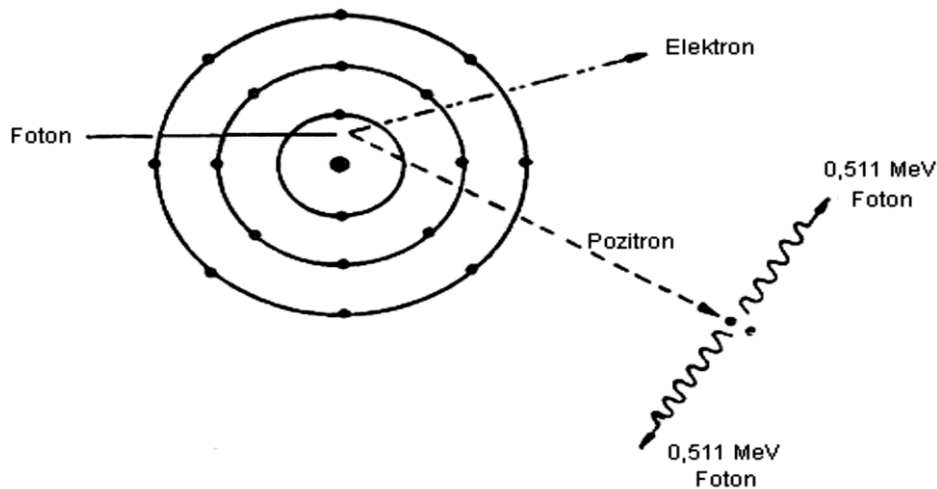
enerji değeri de küçük olacaktır. Eşitlikten de anlaşılacağı üzere saçılan fotonun maksimum enerji değeri, θ açısının 90 derece olduğu durumda 0,511 meV olabilecektir. Kinetik enerji; (Bilge ve Tuğrul, 1990).

$$K_e = hv - hv' = hv \frac{\gamma(1 - \cos \theta)}{1 + \gamma(1 - \cos \theta)} \quad (2.31)$$

denklemleriyle hesaplanacaktır.

2.4.3.3. Çift Oluşumu

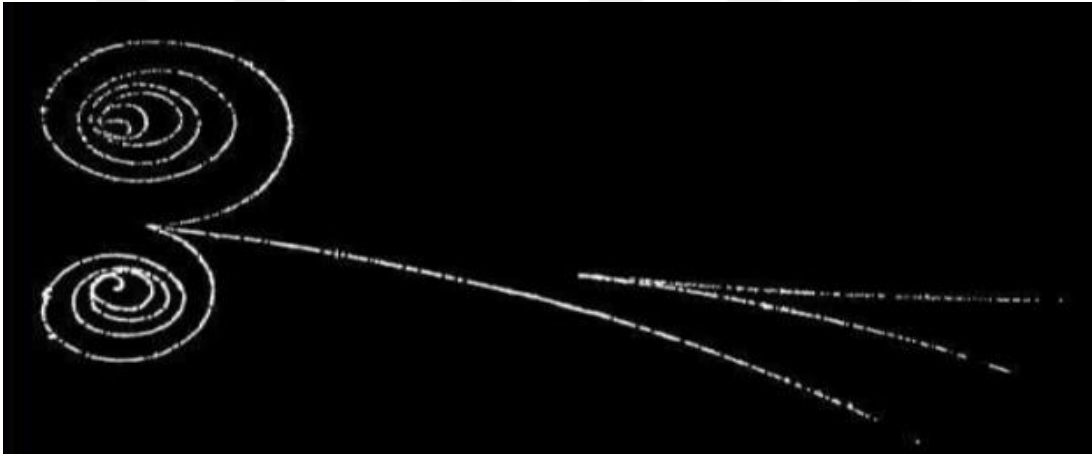
Çift oluşumu, yeterli enerjiye sahip fotonun madde tarafından soğurulması ve zıt elektrik yüklü parçacıklar meydana getirmesi olayıdır. Gelen foton elektron-pozitron çiftine dönüşür. Etkileşim momentum korunumunu gerçekleştirebilmek için, üçüncü bir cismin varlığında meydana gelir (L'Annunziata, 2003). Çok yüksek enerjilerde (>100 MeV), elektron-pozitron çifti tesir kesiti azalır. Pozitron kinetik enerjisinin çoğunu kaybettikten sonra bir elektron yakalayarak pozitronyum diye adlandırılan hidrojen benzeri bir atom meydana getirir. Hidrojen atomunun aksine pozitronyum atomu kararsızdır ve 10^{-10} sn yarı ömre sahiptir. Dolayısıyla, pozitronyum atomu bozunarak iki foton meydana getirir. Bu yok olma işlemi zıt yönlü eşit enerjili iki foton meydana getirir. Fotonların her biri enerji momentum korunumunu sağlamak için 0,511 MeV'lik enerjiye sahip olmalıdır. Dolayısıyla çift oluşumunun gerçekleşebilmesi için en az 1,02 MeV enerjili ($2m_0c^2$) bir foton gerekir. Bu enerjiye karşılık gelen en büyük foton dalga boyu 1000 fm'dir (Çelik, 2010).



Şekil 0.25 Çift oluşumu (Lilley, 1991)

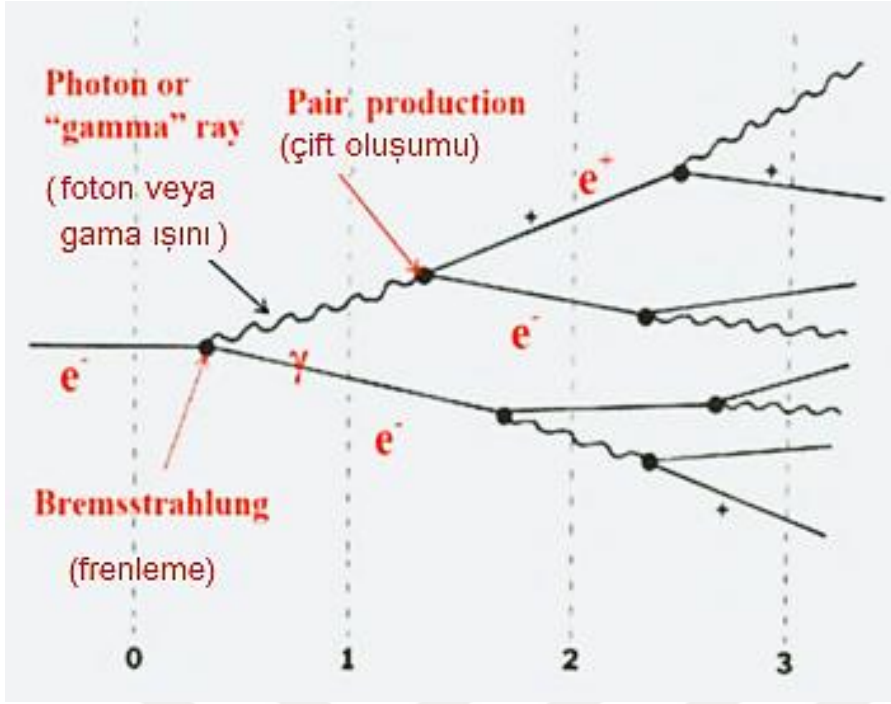
Bir çift oluşumunda;

- Gelen foton çekirdeğin Coulomb alanıyla etkileşir ve enerjisi elektron-pozitron üretimine harcanır (Şekil 2.26).
- Gelen yüksek enerjili bir foton iki elektron kütesinden yani 1,022 meV'den büyükse, bir çekirdeğin elektromanyetik alanıyla etkileştiğinde biri artı diğeri eksi yüklü olmak üzere iki elektrona dönüşebilir ve çift üretimi olabilir.
- Çift oluşumda gamanın enerjisinden elektron çiftlerinin durgun kütle enerjilerinin çıkarılmasıyla kalan enerji iki yük arasında paylaşılır.
- Bu yük asla eşit olarak paylaşılmaz. Pozitron negatrondan 0,0075 Z kadar fazla kinetik enerji kazanır.
- Çift oluşum etkileşme katsayısı: $K \approx \text{sabit} \times Z^2 (E - 1,022)$ (Görür, 2006).



Şekil 0.26 Deneyisel elektron-pozitron çifti oluşumu (L'Annunziata, 2003)

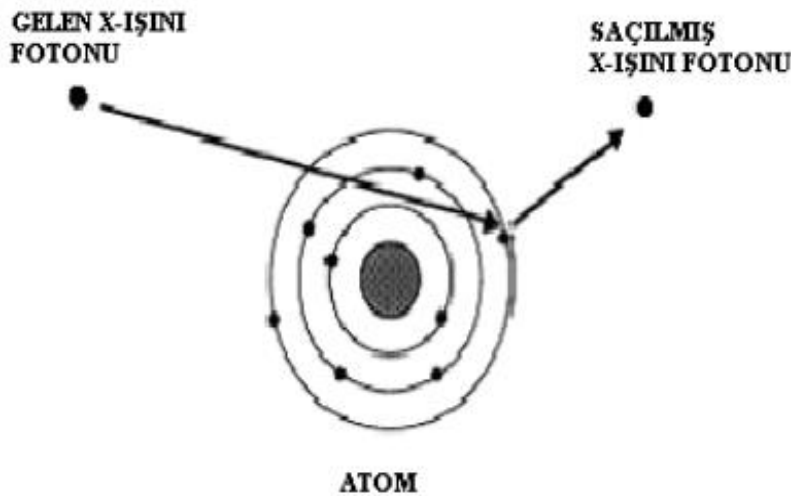
Elektronlar tarafından Bremsstrahlung(frenleme) yayınlanması ve yüksek enerjili çift oluşumun fotonları ile birleştirilmiş etkisinin en iyi sonuçlarında biri elektron foton sağanağının oluşumudur. Yüksek enerjili bir foton madde içerisinde daha sonra enerjik bremsstrahlung foton yayınlayan elektron pozitron çiftine dönüştürülür. Bremsstrahlung foton daha sonra tekrar elektron-pozitron çiftine dönüştürülür ve böyle devam eder. Sonuçta foton, elektron pozitron sağanağı meydana gelir. Bu olay elektron pozitron çiftinin enerjisi kritik enerjinin altına düşene kadar devam eder. Bu durumda enerjilerini atomik çarpışmaya kaybederler (Şekil 2.27).



Şekil 0.27 Elektron-foton sağanağı

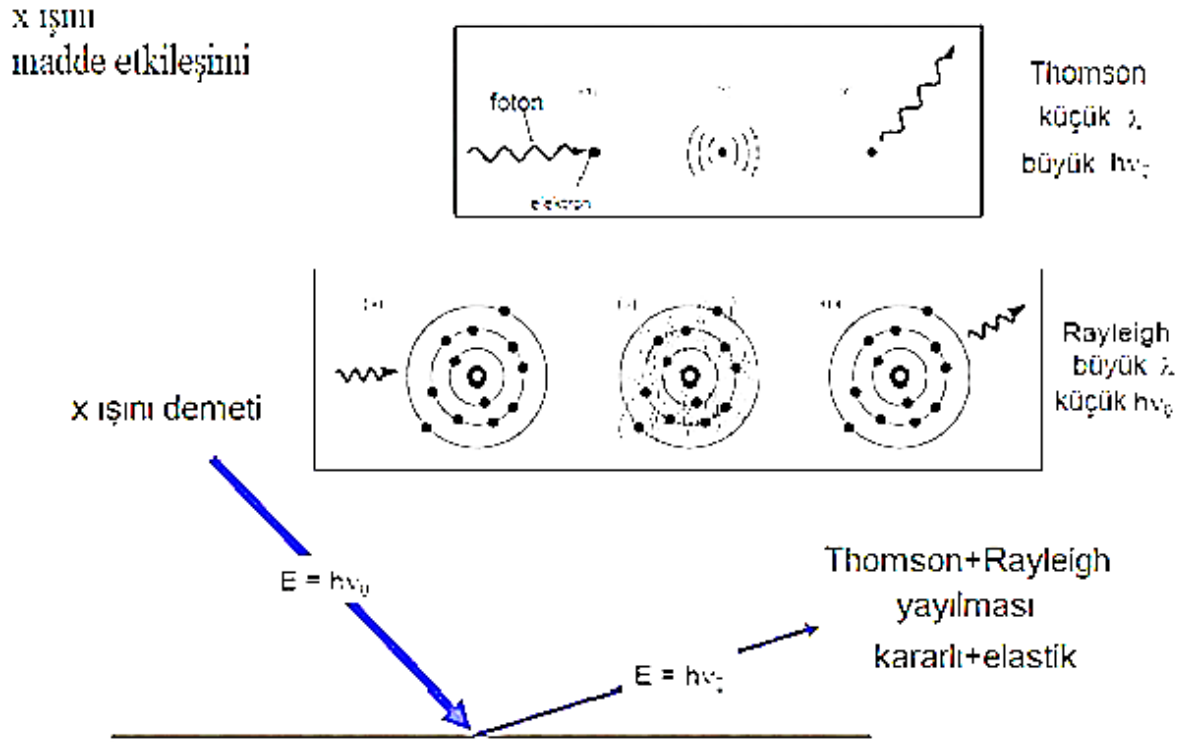
2.4.3.4. Koherent Saçılması

Gelen foton ile saçılan fotonun enerjilerinin birbirine çok yakın olması ve düşük enerjili fotonların bir atomla etkileşimleri sonrasında saçılmaya uğraması olayına koherent saçılma denir (Şekil 2.28). Koherent saçılma; Nükleer Rezonans, Rayleigh ve Thomson saçılması olarak gruplandırılabilir. Düşük foton enerjilerinde ve yüksek atom numaralı ağır elementlerde daha çok meydana gelmektedir. Madde içerisine giren fotonlar, maddenin çekirdeğiyle etkileşene kadar ilerlemeye devam eder (Kybic, 2006).



Şekil 0.28 Koherent saçılma (Kybic, 2006)

Fotonun serbest bir elektron tarafından esnek saçılmasıdır. Düşük enerjilerde, Thomson saçılmasının tesir kesiti ortamın atom numarası ile lineer değişmektedir. Küçük momentum transferlerinde, atom içindeki tüm elektronlardan saçılan x ışınlarının genlikleri koherent olarak toplanır. Bu şekildeki saçılmaya Rayleigh saçılması denir ve tesir kesiti Z^2 ile orantılıdır (Şekil 2.29).



Şekil 0.29 Thomson ve Rayleigh Saçılması

Her iki saçılmada ortama enerji transferi olmayacaktır. Atomlar ne uyarılır nede iyonize olur, sadece atomların yönü değişir. Rölativistik enerjilerde, Thomson ve Rayleigh saçılmaları çok küçüktür (Şekil 2.29). Gama ışınının madde ile etkileşimi Tablo 2.13’de özetlenmiştir.

Tablo 2. 13 Fotoelektrik, Rayleigh saçılması, Compton olayı ve çift oluşum etkileşimleri

	Fotoelektrik etki	Rayleigh saçılması	Compton etkisi	Çift oluşumu
Foton etkileşimi	Bütün atom ile	Bağlı elektronlar ile	Serbest elektronlar ile	Nükleer Coulomb alanı ile
Foton etkileşim türü	Foton yok olması	Foton saçılması	Foton saçılması	Foton yok olması
Enerji bağımlılığı	$\frac{1}{h\nu^2}$	$\frac{1}{h\nu^2}$	Enerji arttıkça azalır	Enerji arttıkça artar
Eşik değeri	yok	Yok	yok	$2m_e c^2$
Lineer azalım katsayısı	τ	σ_R	σ_c	κ
Açığa çıkan parçacık	Fotoelektron	Yok	Kompton(geri tepme elektronu)	Elektron-pozitron çifti
Atomik katsayısının Z ile ilişkisi	$\tau \propto Z^4$	$\sigma_R \propto Z^2$	$\sigma_c \propto Z$	$\kappa \propto Z^2$
Kütle katsayısının Z ile ilişkisi	$\frac{\tau}{\rho} \propto Z^2$	$\frac{\sigma_R}{\rho} \propto Z$	Bağımsız	$\frac{\kappa}{\rho} \propto Z$
Transfer edilen ortalama enerji	$h\nu - P_k \omega_k E_b(K)$	0	$(\overline{E_k})_{tr}^{CE}$	$h\nu - 2m_e c^2$
Sonraki etkiler	Karakteristik x-ışını Auger etkisi	Yok	Karakteristik x-ışını Auger etkisi	Anhilasyon radyasyonu
Su için anlamlı enerji bölgesi	<20 keV	<20 keV	20 keV – 10 Mev	>10 MeV

2.4.4. Nötronların Madde ile Etkileşimi

Yüksüz parçacıklar olan nötronlar çekirdeğe en az 10^{-13} cm kadar yaklaşılması durumunda çekirdek ile nükleer kuvvetler arasında etkileşim meydana gelecektir. Nötronların meydana getirdiği radyasyonun sayabilmek için nötron atom etkileşmesi sonucu yüklü parçacıklar oluşturulmalıdır. Nötronların oluşturduğu radyasyon düşük enerjilerde bile yüksek verimlilikle sayılabilmektedir. Nötronların zırhlamasında gelen nötronların enerjilerini çarpışmayla aktardığından proton sayısı fazla olan elementler kullanılmalıdır (Seyrek, 2007).

Gama ısınları için zayıflatma katsayısını veren denklem 2.32’de μ yerine, “ Σ tot” ifadesi yazılırsa denklem 2.33 elde edilmektedir.

$$N = N_0 e^{-\mu x} \quad (2.32)$$

$$N = N_0 e^{-\Sigma_{tot} x} \quad (2.33)$$

Burada “ Σ_{tot} ” nötronların makroskopik tesir kesiti toplamı olarak ifade edilmektedir.

Nötronlar bir malzeme içerisinde etkileşmeden birkaç santimetre yol alabilirler ve soğurucu malzemenin çekirdeği ile etkileşirler. Etkileşim sonucunda, bir veya daha fazla ikincil radyasyon oluşumuna sebep olabilir ya da doğrultusu veya enerjisi değişebilir. Oluşan ikincil radyasyonların bazıları ağır yüklü parçacıklardır. Bu parçacıklar nötronun neden olduğu nükleer reaksiyonlar sonucu veya etkileşimler sonucu soğurucu maddenin enerji kazanan kendi çekirdeğidir. Nötronların atom çekirdeği ile etkileşimleri başlıca iki grupta toplanabilir.

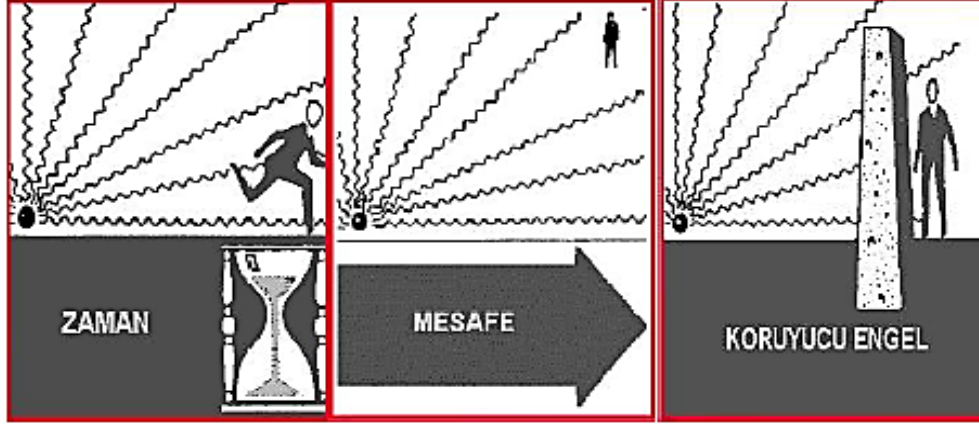
Bunlar;

- Saçılma Etkileşimleri (Elastik saçılma, elastik olmayan saçılma)
- Soğurma Etkileşimleri (Nötron Soğrulması, Nötron Etkileşimi,
- Yavaş Nötron Etkileşimi, Hızlı Nötron Etkileşimi)

2.5. Radyasyondan Korunma

Nükleer teknolojinin uygulama alanını hızla genişletmesi, radyasyondan korunma ihtiyacının ve yöntemlerinin gelişme ihtiyacının önemini daha da artırmıştır. Bu teknolojinin en önemlilerinden birisi nükleer reaktörlerdir. Reaktörlerde güç üretiminde uranyum elementi kullanılması, meydana gelen fisyon tepkimeleri sonucunda bol miktarda nötron oluşmakta, ayrıca alfa, beta ve gama radyasyonları yayılmaktadır. Üretim sonrasında oluşan radyoaktif atıkların aktivitelerinin makul seviyelere inmesini beklemek için dikkatli bir şekilde saklanması gerekmektedir. Diğer yandan fiziğin parçacıklar düzeyindeki gizemlerini araştırmak için kurulmuş olan hızlandırıcı merkezlerinde yapılan çarpışma deneylerinde yine x ışınları, gama ışınları, yüksek enerjili kütleli tanecikler ve çekirdek altı tanecikler açığa çıkmaktadır (Kılınçarslan, 2004).

Radyasyon maruz kalma süresine, şiddetine ve maruz kalınan vücut bölgesine bağlı olarak, hücreyi parçalayabilir ve zarar verebilir. İnsanların radyasyondan etkilenmesinin biyolojik zararları olduğu bilindiği için maruz kalınacak dozun sadece izin verilen seviyelerin altında kalması yeterli olmayıp, olabildiği kadar düşük tutulmalı ve bunun için gerekli her türlü tedbir alınmalıdır. Şekil 2.30’dan da anlaşılabilceği gibi, radyasyondan zaman, mesafe ve zırhlama yöntemlerinden bir veya birkaçı kullanılarak korunulmalıdır (Kılınçarslan, 2004).



Şekil 0.30 Radyasyondan korunmanın üç temel yolu (TAEK, 2010)

2.5.1. Zaman Faktörü

Radyasyondan korunmanın ilk ve en basit kuralıdır. ALARA (As Low As Reasonably Achievable) ilkesine göre radyoaktif kaynaklar kullanılarak yapılan uygulamalar mümkün olan en kısa zamanda tamamlanmalıdır (ICRP, 1997). A aktivitesine sahip bir kaynağın kendisinden r mesafedeki doz hızı (ΔX) ve Γ spesifik gama ışını sabiti olmak üzere; denklem 2.34 ile verilir (Krane, 1988).

$$\Delta X = \Gamma \frac{A}{r^2} \Delta t \quad (2.34)$$

Buna göre emilen doz zamanla doğru orantılıdır. Radyasyonla yapılan çalışmalarda belirli sürede alınan doz; doz hızı ile zamanın çarpımıdır (Denklem 2.35). Bu denklemden anlaşılabileceği gibi az doz alabilmek için mümkün mertebe radyasyon alanında az süre kalınmalıdır. Çalışanın radyasyon ortamında kalacağı sürenin ayarlanabilmesi için doz hızının önceden bilinmesi gerekmektedir. Hastanın göreceği zararı da azaltmak için, pozlama süreleri mümkün olduğunca kısa tutulmalı ve gereksiz ışınlamalardan (tekrar çekimlerinden) kaçınılmalıdır (Balsak, 2014).

$$Doz = Doz \text{ hızı} \times Zaman \quad (2.35)$$

2.5.2. Mesafe kuralı (Çalışma Bölgeleri)

Bir radyasyon ortamının şiddeti kaynaktan uzaklaştıkça azalır. Herhangi bir küresel dalga cephesinin yüzeyindeki ışınların yoğunluğu, kaynağın A_0 şiddeti ile doğru orantılıdır. “r”

yarıçaplı bir kürenin merkezinde saniyede n adet foton yayınlayan bir nokta kaynak varsa, kürenin yüzeyindeki akı;

$$F = n \cdot 4 \cdot \pi \cdot r^2 \text{ (foton} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}) \quad (2.36)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Kaynağın boyutlarının kaynakla söz konusu nokta arasındaki uzaklık ile karşılaştırıldığında ihmal edilecek kadar küçük olması yani kaynağın nokta kaynak olması halinde geçerlidir (Demir, 2009).

“r” mesafedeki radyasyon şiddeti A olmak üzere, r yarıçaplı bir kürenin merkezinde saniyede n adet foton yayınlayan bir nokta kaynak varsa; kürenin yüzeyindeki akı kaynaktan olan uzaklığın karesiyle ters orantılıdır (Eaves, 1964). Radyoaktif kaynaktan uzaklaştıkça ışıınım şiddeti uzaklığın karesi oranında azalır (Uzaklık iki katına çıktığında ışıınım şiddeti dört kat azalır), (Eaves, 1964).

$$A\alpha = \frac{A_0}{4\pi r^2} \quad (2.37)$$

$$\frac{J_1}{J_2} = (r_2)^2 / (r_1)^2 \quad (2.38)$$

Burada;

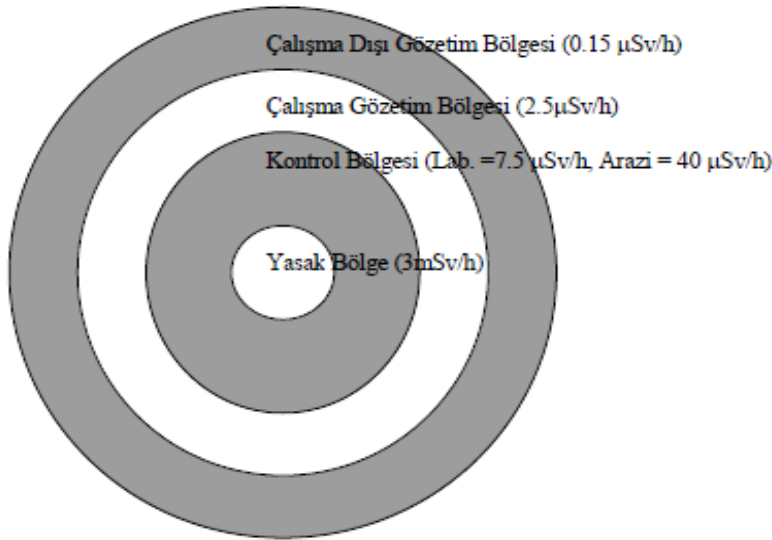
J_1 = Birinci uzaklıktaki doz hızı,

J_2 = İkinci uzaklıktaki doz hızı,

r_1 = Birinci uzaklık,

r_2 = İkinci uzaklığı ifade etmektedir.

Alman radyasyondan korunma kurallarına göre Şekil 2.31'de çalışma bölgeleri ve bu bölgelerdeki maksimum doz gösterilmiştir. Bu bölgeler sırasıyla, yasak bölge, kontrol bölgesi, çalışma gözetim bölgesi ve çalışma dışı gözetim bölgesidir



Şekil 0.31 Radyasyon Çalışma Bölgeleri

Doz hızı 3mSv/h'lik olan bu bölge *yasak bölgedir* (A). Ancak herhangi bir kaza durumunda özel cihaz ve giysili yetkili kişiler dışında hiç kimse giremez. *Kontrol bölgesi* (B) ise doz hızı 7,5 µSv/h'lik (laboratuvar koşulları) ve 40 µSv/h'lik (arazi koşulları) bölgeyi belirtir. B bölgesi radyasyon uyarı işaretleri (şeritleri) ile belirlenmeli ve bu bölgeye film çeken personel dışında hiç kimse girmemelidir. *Çalışma gözetim bölgesi* (C) radyoaktif kaynağın kontrol panolarının olduğu, yani doz hızı 2,5 µSv/h'lik bölgeyi belirtir. Bu bölgede de film çeken personel dışında hiç kimsenin olmaması gerekmektedir (HDM Kalite Kontrol Teknolojileri). Son bölge ise çalışma dışı gözetim bölgesidir (D). Bu bölgede doz hızı 0,15 µSv/h'lik değerdedir. Çalışma bölgelerinin yerleri, kaynağa olan uzaklığa, kaynak cinsine, gama ışını kaynağı ise aktivitesine, X-ışını cihazı ise akım değeri ve kV değerine bağlıdır. Ayrıca zırhlamanın yapılıp yapılmamasına da bağlıdır. Çalışma bölgelerinin ışıınım kaynağından uzaklıkları, doz hızı ölçer cihazıyla ölçülerek saptanabildiği gibi, doz hızı sabiti formülü ile de teorik olarak saptanabilir.

Belirli bir gama kaynağının ışıınım şiddeti 1 Gbq'lık bir aktivite için, 1 metre uzaklıktaki doz hızıyla belirlenir. Buna doz hızı sabiti denir. X-ışınları cihazları ışıınım şiddeti (doz hızı sabiti) ise, 1 mA'lık tüp akımı için, 1 metre uzaklıktaki doz hızıyla belirlenir (HDM Kalite Kontrol Teknolojileri). Tablo 2.14'te izotopların doz hızı sabitleri, Tablo 2.15'te ise x ışını cihazının sabit gerilimde farklı enerjilere göre doz hızı sabitleri gösterilmektedir.

Gama Kaynağı için;

$$\Gamma_{\text{gama}} = \frac{\text{Doz Hızı} \times (\text{uzaklık})^2}{\text{Aktivite}} = \frac{j \times (a)^2}{A} = \frac{\frac{Sv}{h} \times m^2}{Gbq} = \frac{Sv \times m^2}{h \times Gbq} \quad (2.39)$$

X ışınları için;

$$\Gamma_{\text{X ışını}} = \frac{\text{Doz Hızı} \times (\text{uzaklık})^2}{\text{Tüp Akımı}} = \frac{j \times (a)^2}{mA} = \frac{\frac{Sv}{h} \times m^2}{mA} = \frac{Sv \times m^2}{h \times mA} \quad (2.40)$$

Tablo 2. 14 İzotopların bazı kaynaklar için doz hızı sabitleri (DIN 54 115 Kısım 1)

İzotop	Co-60	Ir-192	Tm-170	Se-75	Yb-169
Doz hızı sabiti, Γ_{gama} $\frac{Sv \times m^2}{h \times Gbq}$	0,35	0,13	0,00079	0,05	0,049

Tablo 2. 15 X ışını cihazının sabit gerilimde farklı enerjilere göre doz hızı sabitleri (DIN 54 113, Kısım 3)

İzotop	60	100	150	200	250	300	350	400
Doz hızı sabiti, $\Gamma_{\text{X-ışını}}$ $\frac{Sv \times m^2}{h \times mA}$	0,3	2	6,5	13	20	30	40	50

2.5.3. Zırhlama kuralı

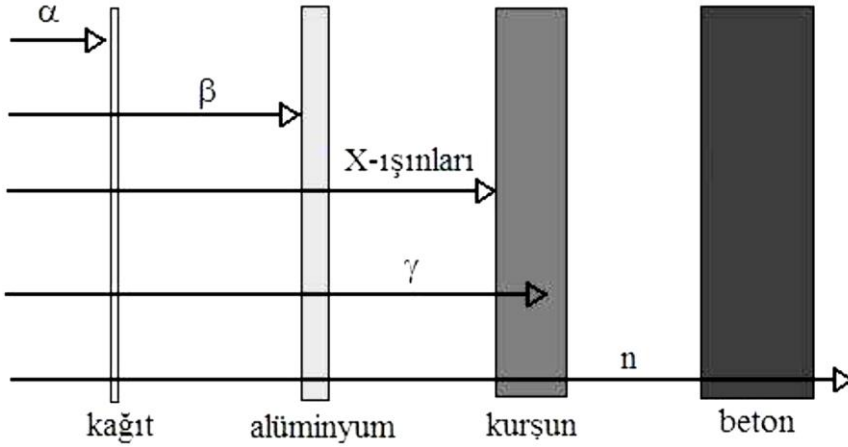
Radyasyon kaynağı ile radyasyon kaynağından yayımlanan ışınlardan korunması amaçlanan sistem (canlı ya da cansız) arasına engel koyarak radyasyonun etkilerini yok etme veya makul düzeylere indirme işlemine zırhlama denir. Zırhlamanın temel amacını, maruz kalınacak radyasyonun dolaylı veya doğrudan yollarla etkileşerek enerjisinin tamamını ya da bir kısmını kaybetmelerini sağlamak için kaynak ile aramıza engel koyulması şeklinde ifade edebiliriz. Bu amaçla kullanılacak zırhlama malzemesi seçiminde radyasyonların türü önemlidir. Çünkü

nükleer radyasyonların maddeyle etkileşme mekanizmaları sahip oldukları yüke, kütleye ve enerjilerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu durumda yapılması gereken zırhlamada kullanılacak malzemenin ilgili radyasyon ile etkileşime girecek özellikte ve yoğunlukta olmasıdır (Lowenthal ve Airey, 2001; Akkurt, vd., 2005a).

Zırhlama malzemelerinin yoğunluğu ne kadar fazla ise x ve gama ışınlarını zırhlama özelliği o kadar artar. Zırhlama; cihazın zırhlanması ve cihazın bulunduğu odanın zırhlanması olarak iki farklı şekilde yapılır. Cihazın zırhlanması kolimatörlerin kullanılması ve dış koruyucu bölmelerinin takviyesi ile yapılır. Zırhlama hesaplamaların yapılmasında malzemelerin belirli radyasyonlara karşı gösterdikleri yarı tabaka kalınlığının ölçülen değerleri kullanılarak yapılır (Arshak, 2006; Martin, 2006).

Radyasyonun şekline göre zırhlama işlemi farklılaşmaktadır. İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar maddeyle etkileşirler ancak onun elektronik yapısında bir değişikliğe neden olmazlar. Çünkü etkileştikleri madde atomlarını (veya moleküllerini) iyonlaştıracak kadar yüksek enerjili değildirler. Görünür ışık, kızılötesi ve yakın morötesi ışınlar, mikro dalgalar ve radyo dalgaları bu kapsamdadır. Bu tür elektromanyetik radyasyonlar iyonlaşmaya neden olmalarına rağmen madde atomlarının uyarılmasını sağlayabilirler. Atom üst enerji seviyesine çıkar ve taban durumuna dönmek için aldığı enerjiyi geri verir. Bu radyasyon turunu zırhlamak daha kolaydır, çünkü düşük enerjilerinden dolayı girici değildirler (Akyıldırım,2011).

İyonlaştırıcı radyasyonlar ise x ışınları ve uzak morötesi haricinde tamamı nükleer radyasyon sınıfında olup madde atomlarından (veya moleküllerinden) elektron kopararak iyonlaşmaya neden olacak kadar yüksek enerjilere sahiptirler. Böylece atom net bir yüke sahip olur. Atom ve kopan elektron iyon çifti oluşturur. İyonlaşma esnasında radyasyon etkileştiği maddenin yapısına bağlı olarak enerji kaybeder. Bir atomu iyonlaştırmak için gerekli en küçük enerji birkaç eV ile helyumu bir kez iyonlaştırmak için gerekli 24,6 eV aralığında olabilir (Podgorsak, 2010). Zırhlanması zor ve önemli olan radyasyon türleri iyonlaştırıcı radyasyonlardır. Alfa, beta, nötron ve gama ışınları bu sınıfta yer alır ve bu radyasyon türlerinin madde içerisindeki giricilikleri Şekil 2.32’de gösterilmiştir. Aynı enerjili iyonlaştırıcı radyasyonların madde içerisine giricilik kabiliyetleri karşılaştırıldığında en tehlikeli radyasyon türlerinin gama ışınları ve nötronlar olduğunu söyleyebilir (Akyıldırım,2011).



Şekil 0.32 İyonlaştırıcı radyasyonların giriciliklerinin karşılaştırılması (Arshak, 2006; Martin, 2006)

Burada ilginç olan nokta, zırh maddesiyle radyasyonun atomik düzeydeki etkileşmelerinin radyasyonun türüne ve enerjisine bağlı olmasına rağmen radyasyonun zayıflatılması amacıyla önüne konulan bir engelin radyasyonun başlangıçtaki I_0 şiddetini $I < I_0$ olacak şekilde radyasyonun türünden ve cinsinden bağımsız olacak şekilde aynı üstel yasaya uyarak zayıflatmasıdır. Literatürde bu yasaya Beer-Lambert Yasası denir (Eaves, 1964; Goswami ve Chaudhuri, 1973; Mumdar, vd. 1991). Buna göre zırh sebebiyle radyasyon şiddetinin değişimi başlangıçtaki şiddetle ve zırh kalınlığıyla doğru orantılı, fakat azalma gösterdiği için de zıt işaretlidir (Jaeger vd., 1968; Bashter, 1997; Akkurt, vd., 2005a).

$$dI \propto -I dx \quad (2.41)$$

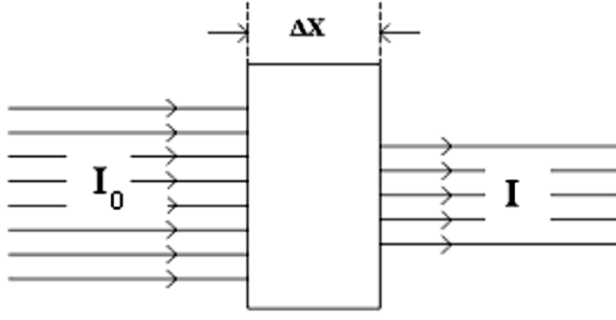
Şekil 2.33’de, I_0 şiddetinde paralel bir gama radyasyon demeti, Δx kalınlığındaki bir soğurucuda ΔI kadar azalırsa bu azalma;

$$\Delta I = -\mu \cdot I \cdot \Delta x \quad (2.42)$$

bağıntısı ile verilir ve bu eşitliğin integrali alınır,

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.43)$$

elde edilir. Denklem 2.43’deki μ katsayısı (cm^{-1}) toplam doğrusal zayıflatma (veya soğurma) katsayısı olarak adlandırılır ve radyasyonun maddenin atomlarıyla birim uzunluk başına etkileşme ihtimali olarak tanımlanır. Maddelerin zırhlama özelliklerinin tespitinde zayıflatma katsayılarının bilinmesi önemlidir (Jaeger vd., 1968; Bashter, 1997; Akkurt, vd., 2005a).



Şekil 0.33 Gelen radyasyonun şiddetinin x kalınlıkla bir engel tarafından azaltılması (Kaplan, 1964)

Radyasyondan korunmada zikredilen ilk iki kural tabii ki önemli kurallardır. Özellikle kaynak aktivitesinin, gücünün küçük olduğu ve yer sıkıntısının olmadığı durumlarda daha etkilidirler. Ancak uygulamada en etkili yöntem olarak karşımıza zırhlama kuralı çıkmaktadır. Günümüz nükleer teknolojisinin kullanıldığı tesisler düşünüldüğünde mesafe ve zaman kurallarının uygulanması yeterli sonuç vermeyecektir. Çünkü çoğu durumda kaynak aktivitesi ve gücü yüksektir, bununla birlikte tesislerin kurulu olduğu alanlar sınırlıdır. Örneğin; nükleer güç reaktörlerinde kullanılan yakıtın ve atıklarının aktiviteleri oldukça tehlikeli boyutlardadır ve pek çok kişi vakitlerini tehlikeli sınırlar içerisinde geçirmektedir. Reaktörler dışında, tıp, bilimsel araştırma, tarım ve endüstri gibi alanlarda da gerek ihtiyaçları gidermek gerekse tedavi amacıyla maruz kalan canlı sayısı oldukça fazladır. İnsan vücuduna sayısız zararı olan radyoaktif ışınlardan korunmak son derece önemlidir. Sınırlı alanda ve yüksek aktiviteli alanlarda çalışan insanların sağlıklarını korumak amacıyla radyasyon tesirinin makul seviyelere indirilmesi en önemli ilkedir. Bu iki şekilde yapılabilmektedir. Birincisi radyasyon kaynağının zırhlaması, ikincisi ise maruziyet altında kalan kişilerin radyasyon ışınlarını absorbe edebilen koruyucu kıyafetlerin giyilmesiyle sağlamaktır (Duran, 2007).

Koruyucu giysiler kişinin zararlı maddelere, kötü çevre koşullarına maruz kalma riskini önlemek ve bu riskten korunmasını sağlamak ve/veya bu riski azaltmak için giyilen giysilerdir (Duran, 2007). Koruyucu kıyafetlerin insan sağlığı ve güvenliğini koruma özelliğinin yanı sıra kıyafetin konforu da önemlidir. Çalışanın görevini tam verimlilikle yerine getirebilmesi için yeterli konfora sahip olmalıdır. Aksi takdirde beklenen performans sağlanamaz. Dünyada çok sayıda iş yerinde çalışanların sağlıklarının ve güvenliklerinin tehlikede olması nedeniyle koruyucu elbise kullanılmasını zorunlu kılan uluslararası ve yerel yasal düzenlemeler sıklaştırılmıştır.

Tablo 2. 16 Bazı kaynaklar için kurşun yarı değer kalınlıkları (TAEK)

Kaynak	Yarılma süresi	Radyasyon	Gama enerjisi MeV	Gama sabiti mikroSvh/MBq	Kurşun yarıdeğer kalınlığı -cm
Ra-226	1620 yıl	Alfa, beta, gama	0,2-2,4	0,213	1,1
Cs-137	30 yıl	Beta, gama	0,662	0,081	0,6
Am-241	432 yıl	Alfa, gama	0,059	0,003	0,01
Co-60	5,27 yıl	Beta, gama	1,17-1,33	0,351	1,1
Ir192	74 gün	Beta, gama	0,13-1,06	0,13	0,3
U, Th	Milyar yıl	Alfa, beta, gama	0,1-2	-	-
Pu	24000 yıl	Alfa, gama	0,05	-	-

Koruyucu elbise kullanımını gerektiren sektörlerde koruyucu giysilerin kullanılması yönünde bilinç artmaktadır. Daha önce bahsedilen unsurla birlikte, dünyadaki mevcut savaşlar ve sürekli savaş tehlikesinin varlığı, insan sağlığını tehlikeye düşürecek çalışma alanları, koruyucu elbise kullanımını gerektiren sektör ve iş kollarındaki gelişmeler, ağır iklim şartları gibi faktörler sektöre olan talebi belirleyen en önemli faktörlerdir.

Zırh kıyafetleri günümüzde genel olarak kurşun plakalardan üretilmekte olduğu için çok ağır olmakta ve kullanımda zorluk çekildiğinden dolayı tercih edilmemektedir (Tablo 2.16). Ancak belirtildiği gibi radyasyon, insan sağlığına ve gen yapısına ciddi zararlar vererek kısa ve uzun vadede olumsuzluklara neden olmaktadır. Bu olumsuzlukları minimum seviyeye indirmek için zırh kıyafeti giymek gerekmektedir (TAEK).

2.5.3.1. Zayıflatma Oranı (FN)

Her radyoaktif ışınım içerisinde geçtiği malzemenin kalınlığına, cinsine ve enerjisine bağlı olarak zayıflar. Malzemeden geçen ışınım şiddetinin malzemeye gelen ışınım şiddetine oranına zayıflatma oranı denir ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır (HDM Kalite Kontrol Teknolojileri).

$$F_N = J_0/J \quad (2.44)$$

Burada;

J_0 = gelen ışının doz hızı,

J = malzemeden geçen ışının doz hızını belirtmektedir.

2.5.3.2. Yarı Değer Kalınlığı (HVL)

Geçen ışınım şiddetini malzemeye gelen ışınım şiddetinin yarısına düşürebilmek için gereken malzeme kalınlığıdır (HDM Kalite Kontrol Teknolojileri). Bazı elementlerin yarı değer kalınlık değerleri Tablo 2.17’de gösterilmiştir.

$$J = J_0/2^n \quad (2.45)$$

Burada;

J_0 = gelen ışının doz hızı,

J = malzemeden geçen ışının doz hızı,

n = yarı değer kalınlığı sayısı ($n=1,2,3,.....$)

Tablo 2. 17 Bazı elementlerin yarı değer kalınlıkları (DIN 54 115, Kısım 1)

Malzeme Cinsi	Yarı değer kalınlığı (HVL), mm			
	Co 60	Ir 192	Yb 169	Tm 170
Alüminyum	70	50	27	20
Beton	70	50	27	---
Çelik	24	14	9	5
Kurşun	13	3	0,8	0,6
Tungsten	10	2,5	---	0,09
Uranyum	6	2,3	---	0,035

2.5.3.3. Onda Bir Değer Kalınlığı (TVL)

Geçen ışınım şiddetini malzemeye gelen ışınım şiddetinin onda birine düşürebilmek için gereken malzeme kalınlığıdır (Tablo 2.18).

$$J = J_0/10^n \quad (2.46)$$

Burada;

J_0 = gelen ışının doz hızı,

J = malzemeden geçen ışının doz hızı,

n = yarı değer kalınlığı sayısını ($n=1,2,3,...$) belirtmektedir.

Tablo 2. 18 Beton ve kurşunun farklı ışınlam kaynakları için onda bir değer kalınlıkları (DIN 54 115)

Malzeme Cinsi	Onda bir değer kalınlığı (HVL), mm					
	100 kV	250 kV	400 kV	Ir 192	Co 60	Cs 137
Beton	55	90	100	142	220	169
Kurşun	0,9	3	8	20	40	23

2.6. Literatür Özetleri

Radyasyondan korunmak için zaman, mesafe ve zırhlama (engelleme) yöntemlerinden bir ya da birkaçı kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden en etkilisi radyasyon zırhlamasıdır. Bu tez konusu gama ışınlarının etkilerinin yok edilmesi, en azından güvenli sınırlara düşürülebilmesi ile ilgili literatür bilgileri taranmıştır. Yapılan çalışmaların bazıları;

Kobayashivediğ (1997), çalışmasında tungsten alaşımlarının gama radyasyonu karşısında ki zırhlama kabiliyetini, dolayısıyla gama zayıflatma özelliklerini araştırmıştır. Kaynak olarak Ba^{133} ve Cs^{137} 'yi kullanmıştır. Tungstenin bakırla meydana getirdiği alaşımın incelediği malzemeler içerisinde en iyi zırhlama performansına sahip olduğunu tespit etmiştir. Elde ettiği sonuçları Monte-Carlo simülasyon programı ile karşılaştırarak deney sonuçları ile teorik hesaplamaların birbiriyle uyumluluğunu teyit etmiştir.

Choi ve ark. (2007), taban metali demir olan, korozyona karşı daha dayanıklı olması ve nötron, gama radyasyonu absorpsiyon kapasitesinin yüksek olması için tungsten, Al-bor karpit, borat, paslanmaz çelik, Ni, Cr, Mo, Gd alaşımlarını içeren kompozit zırh malzemesi geliştirmişlerdir. Bu çalışmada araştırmacılar yoğunluğu 2,5 g/cc olan Al-Li metal alaşımının nötron ve gamaları iyi soğurduğu, yoğunluğu 7,5g/cc olan Fe-Gd-B partikül kristal alaşımının gamaları mükemmel ve nötronları iyi soğurduğunu ölçümlerle göstermişlerdir. Buldukları zırh malzemesinin nükleer tıpta ve nükleer atıkların depolanmasında kullanılabileceğini önermişlerdir.

Kharita ve ark. (2008), altı farklı beton numunesinin gama ve nötron kaynakları kullanılması durumunda zırhlama kabiliyetlerini araştırmışlardır. Cs^{137} ve Co^{60} ile gama ışıması, Am/Be bileşiği ile nötron ışımasının etkilerini incelemişlerdir. Her bir numunenin lineer zayıflatma katsayılarını ve yarı-değer kalınlıklarını hesaplayıp, zırhlama özelliklerini birbirleriyle kıyaslamışlardır.

A. Çalık ve ark. (2009), çalışmalarında bor madeninin ve borla kaplanmış çelik yapıların radyasyon durdurma kabiliyetlerini incelemişlerdir. Birçok araştırmacı gibi onlarda

çalışmalarının güvenilirliğini göstermek amacıyla XCOM bilgisayar programı ile teorik soğurma katsayısını hesaplayıp uyumluluğunu karşılaştırmışlardır. Cs-37 kaynağı için 0,662, 1,17 MeV ve Co-60 gama kaynağı için 1,332 MeV için sayım yapılmıştır. Sonuçta görülmüştür ki, orta enerji düzeylerinde borlamanın zayıflatma katsayısına arttırdığı olduğu açıkça görülmüştür. Borlamanın tek başına iyi sonuçlar verdiğine fakat pahalılığından dolayı ancak çelik gibi daha ucuz malzemeleri kaplayarak kullanılabileceğine dikkat çekilmiştir. Kaplama yapılan çelik numunelerle de oldukça iyi sonuçlar elde edilmesinin bor için yeni bir kullanım alanı olabileceği vurgulanmıştır.

T. Molla (2011), yüksek lisans tezinde barit madeninin radyasyon tutuculuk özelliğinden yararlanmak amacıyla alpaka ve yangına dayanıklı ithal kumaş üzerine kaplama yaparak radyasyon zırhlamasında kullanılıp kullanılamayacağını araştırmıştır. Kaynak olarak Co-60 kaynağı kullanılmıştır. Çalışma da sağlık alanında çalışan veya tedavi amaçlı radyasyona maruz kalan insanların kurşun metali dışında bir alternatif koruyucu kullanabilmesi amaçlanmıştır. Kumaşların dijital röntgen filmleri çekilerek bilgisayar ortamında görüntü izleme analizleri yapılarak elde edilen sonuçların, Co-60 radyasyon kaynağıyla tutuculuk oranlarının hesaplanması sonucu ile elde edilen sonuçlarla tutarlı olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak baritle sıvanan kumaşların radyasyon tutuculukları ölçülmüş, kumaş katsayısı arttıkça tutuculuk oranının da arttığı gözlenmiştir.

H. Çetin (2011), yüksek lisans tezinde elementlerin tek tek zırhlama özelliğini ölçmek yerine kalay, antimon, bizmut ve tungstenden oluşan ettiği karışımı, %50-70-80-85 oranlarında polimer malzeme ile karıştırarak zırh yüzeyini elde etmiştir. Malzeme kalınlıkları 0,95 – 1,49 mm civarındadır. Ölçümler dijital radyografi cihazları ile birincil x ışını altında 50-125 keV enerji aralığında yaparak, 0,25 mm ve 0,5 mm kalınlığındaki Pb ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak malzemelerden bir tanesi hariç diğerlerinde 0,25 mm Pb yüzeyinden daha iyi sonuçlar elde edilmiş, fakat 0,5 mm Pb kalınlığında ki zırhlama kabiliyetine erişilememiştir. Yapılan ölçümlerin güvenilirliği, bu elementlerle oluşturulan karışımın grafiği (30-150 keV aralığında) XCOM ile elde edilmiş ve kurşunun grafiği ile karşılaştırılmış olup, iki grafiğin birbirine oldukça yakın olduğu gözlenmiştir.

B. Büyük (2013), doktora tezinde saf bor karbür (B_4C), bor karbür/silisyum karbür (B_4C/SiC), titanyum diborür (TiB_2), katkılı bor karbür/silisyum karbür ve bor karbür/titanyum diborür bileşiklerinin kompozitleriyle elde ettiği 27 adet numune ile çalışmalar yapmıştır. Kaynak olarak C^{137} , Co^{60} ve Pu/Be Nötron Howitzer kullanılmıştır. Her bir numunenin lineer zayıflatma katsayılarını, YDK ve ODK değerlerini hesaplamıştır. Deneyler yapılmadan önce

XCOM bilgisayar programı kullanılarak numunelerin lineer zayıflatma katsayıları, yarı değer kalınlık ve onda bir değer kalınlık teorik değerleri hesaplanmıştır. Bulunan teorik ve deneysel kütle zayıflatma katsayılarının birbirine uyumluluğunun teyit ederek, deneylerin güvenilirliği (deneysel sonuçlar ile XCOM sonuçları arasındaki fark %10 altında olması durumu) kanıtlanmaya çalışılmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda; kurşunun YDK değeri ile Tungsten karbür-kobalt (WC-Co) kompozit malzemenin YDK değerlerinin olduğu görülmüş ve dolayısı ile kompozit malzemenin kurşuna benzer zırhlama kabiliyetinde olduğu belirlenmiştir. TiB₂ parçacık boyutunun azaltılması, TiB₂ katkılı bor karbür-silisyum karbürün nötron radyasyon zırhlama kabiliyetini arttırmaktadır. Nötron ve gama zırhlaması gerekliliğinde Tungsten diborür önerilmiştir. Ayrıca hegzagonal bor nitrür (hBN) malzemeler YDK değerlerinde gama ve nötron için en iyi sonuçlar ölçülmüştür. Nötron Howitzer nötron kaynağına ilişkin YDK değerlerinin karşılaştırıldığında ise saf Tungsten malzeme le en iyi sonuçlar elde edilmiştir. B. Büyük çalışmalarını hem geniş kapsamlı tutmuş hem de oldukça ayrıntılı olarak açıklamıştır. Zırhlama literatürüne çok faydalı katkılar sunmuştur.

N.Ç. Bezir ve ark. (2013), çalışmalarında Ce katkılanarak elde edilen TO₂ ince filmlerin gama ışınlarını soğurma özelliklerini araştırmışlardır. Gama kaynağı olarak Cs³⁷ ve Co⁶⁰ kullanılmıştır. Ölçümler ise Na(Tl) dedektörü kullanılmış olup, zayıflatma katsayılarını Beer-Lambert denklemi ile, pik alanları MAESTRO-32 yazılımı ile hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda TO₂ ile kaplanmış cam numunelerinin soğurma katsayısının normal cama göre oldukça arttığı, Ce ile katkılamanın soğurmayı daha da arttırdığı tespit edilmiştir. Enerji artışının soğurma katsayısını azalttığı ve beklenenin aksine film kalınlığı artışının soğurmaya fazla bir katkı sağlamadığı ancak, yoğunluk artışının soğurmayı olumlu etkilediği ayrıca belirtilmiştir.

H. Melis Soylu (2014), yüksek lisans tezinde radyasyon zırhlamasında Polimer tungsten bileşik kompozitlerin etkinliğini test etmiştir. Bu çalışmada malzemeler disk şeklinde tasarlanmıştır. Aynı kalınlıkta kurşun, WC ve EVA diskleri hazırlanmıştır. Kurşun diskin ağırlığının diğerlerinden 3 kat daha ağır olduğu yapılan tartımlar sonucu belirlenmiştir. Bu çalışmada amaç; yapısında tungsten karbür tozları ve polimer bulunduran yüksek yoğunluklu, ince ve şekil alabilir yapıda yeni bir malzeme üretilmesidir. Farklı oranlarda ve kalınlıklarda diskler hazırlanıp Am-241, Cs-137 ve I-131 gama kaynakları kullanılarak, Geiger Müller dedektörü ile ölçümler yapılmış olup, en iyi durduruculuğun 2 mm kalınlığında %70 oranında tungsten karbür içeren diskle sağlandığı saptanmıştır.

G. Çevikbaş (2014), yüksek lisans tezinde diğer çalışmalardan farklı olarak tasarladığı malzemenin gama, beta ve nötron radyasyonları karşısında ki davranışları incelemiştir. Zırh malzemesi olarak 2135 °C erime noktasına sahip magnezyum alüminat (spinel) ve kütlece %0, %5, %10 oranlarında ki alüminyum titanat içeren özel kompozit malzemeler dikdörtgenler prizması şeklinde tasarlanarak kullanılmıştır. Malzemeler yaklaşık 0,45cm, 0,88 cm ve 1,35 cm kalınlıktadır. Gama kaynağı olarak tek enerji piki olan Cs-137 (0,662 Mev) ve iki enerji piki olan Co-60 (1,25 Mev), beta kaynağı olarak yüksek enerjili Sr-90 ve nötron kaynağı Pu-Be Nötron Howitzer kullanılmıştır. Her kaynak için uygun dedektör kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda sıfır katkı ile %5 ve %10 katkılama zırhlamayı çok az etkilemiş olup, kalınlığın etkisi ise beklendiği gibi daha yüksek olmuştur. Ayrıca malzemelerin Cs-137 kaynağından yayınlanan ışınları, Co-60 kaynağına göre daha fazla tuttuğu ölçülmüştür. Bu durumda Cs-137'nin düşük enerjili olması nedeniyle beklenti doğrultusundadır. En etkin zayıflatma etkisi eğrisi beta radyasyonu, onu gama radyasyonu, en az zayıflatma etkisi ise nötron radyasyonunda meydana gelmiştir.

B. Büyük ve B. A. Tuğrul (2014), çalışmalarında hacimce %2 ve %4 Titanyum diborür (TiB_2) katkılı Bor karbür (B_4C)-Silisyum karbür (SiC) kompozit malzemeler ile TiB_2 katkısı yapılmamış olan B_4C - SiC kompozit malzemeler kullanılmıştır (Malzeme içindeki B_4C/SiC oranı hacimce 6/4). Elde edilen 3 adet malzeme için deneysel kütle zayıflatma katsayıları ve yarı değer kalınlıkları (YDK) hesaplanmıştır. Ayrıca, XCOM bilgisayar programı kullanılarak hesaplanan teorik kütle zayıflatma katsayıları ile karşılaştırılmıştır. Gama kaynağı Co-60 kullanılmış olup 1,17, 1,33 ve ortalama 1,25 meV için sayımlar yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında deneysel verilerle teorik (XCOM) sonuçların uyumluluğu, malzeme safsızlığının ve üretim şartlarının kütle zayıflatma katsayı hesaplamasında önemli olduğu, B_4C - SiC kompozit malzemelere TiB_2 katkısının radyasyon zırhlama kabiliyetlerini artırdığı ve TiB_2 katkılı B_4C - SiC kompozit malzemelerde TiB_2 oranının artırılmasının da radyasyon zırhlama kabiliyetlerini artırdığı sonuçlarını elde etmişlerdir.

O. Baykara (2014), Fırat Ü. Bitlis Eren Ü., Selçuk Ü. ve Kocaeli üniversiteleri ile ABD'nin Maine Üniversitesinin ortaklığında, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'nun (TEAK) desteğiyle yürütülen “Nano Parçacık Katkılı Polimer Tabanlı Nanokompozit Materyallerin Üretilmesi ve Geliştirilmesi Projesi” çalışmasında nanobor ve plastikten üretilecek malzemenin şu ana kadar kullanılan zırhlama materyallerine alternatif olacağı öngörülmektedir. Nanobor maddeyi pet şişe yapımında kullanılan plastik malzemeyle harmanlayarak kompozit malzeme oluşturulacaktır. Çalışma özgün bir çalışmadır. Kompozit malzemenin gama ve nötron radyasyonları için aynı

anda zırlama özelliğine sahip olacağı beklenmektedir. Çalışmanın yaklaşık 3 yıllık bir süre sonunda bitirilmesi planlanmaktadır.

S. Emikönel (2015), yüksek lisans tezinde terikoton (Polyester/viskon karışımı), %100 pamuk ve pamuk/polyester karışımından dokunmuş kumaşların barit ve Tubicoat CRO kimyasallarının farklı oranlarda karıştırılarak hazırlanan kimyasal ile kaplanması, kaplanan kumaşların gama radyasyon kaynakları için lineer zayıflatma katsayılarını araştırmıştır. ^{22}Na , ^{54}Mn , ^{60}Co ve ^{137}Cs gibi radyoaktif kaynakları kullanılmış olup, ölçümler NaI(Tl) detektörüyle yapılmıştır. Çalışmada barit madeni kumaşa nüfus ettirilerek kurşuna alternatif radyasyon zırh kıyafeti üretilmesi amaçlanmıştır. 511 keV ve 835 keV’de %60 barit oranında kaplanmış pamuklu kumaşın en iyi soğurmaya sahip olduğu, 662 keV’de %60 pamuk-pes 1275 keV’de %50 pamuk-pes ve 1173 keV’de %40 terikoton kumaşın en yüksek soğurmaya sahip olduğu tespit edilmiştir.

Reza Bagheri ve ark. (2016), MCNP-4C kodunu, XCOM programını ve mevcut deneysel verileri kullanarak baryum-bizmut-borosilikat camların şeffaf koruyucu malzemelerle gama ışını koruma çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Baryum-bizmut-borosilikat camları ekranlama açısından gama ışını koruma açısından iyi özellikleri sahiptir. Çalışmalar 662 keV, 1173 keV ve 1332 keV enerjiler için yapılmış olup, kütle zayıflatma katsayıları, etkin atom numarası ve elektron yoğunlukları belirlenmiştir. Elde edilen deneysel veriler ile MCNP-4C kodunu ve XCOM program teorik sonuçlarının birbirine uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, bizmutun cam yapının dengelenmesine katkıda bulunduğu ve kimyasal dayanıklılığı arttırdığı belirlenmiştir. Ayrıca, bizmut ve baryum yüksek atom sayıları nedeniyle gama ışını koruma özelliklerini arttırmıştır.

İ. R. Agool ve ark. (2017), çalışmalarında enerji depolama, salma uygulaması ve gama ışınları koruma çalışmaları için zirkonyum oksit nanoparçacıklarına sahip yeni polimer harman nanoparçacık nanokompozitlerinin (PVA-PEG-PVP) türleri incelenmişlerdir. Nanokompozit filmler ve çözeltiler, döküm yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır. ZrO konsantrasyonları farklı nanokompozit numuneler için gama ışınları zayıflatma özellikleri araştırılmıştır. Gama ışını kaynağı olarak Cs-137 , dedektör olarak ise Geiger sayacı kullanılmıştır. Çalışmaların sonucunda ZrO ile gama radyasyonu için zayıflatma katsayıları artmıştır.

M. Ç. Ersundu ve ark. (2017), çalışmalarında $\text{K}_2\text{O-WO}_3\text{-TeO}_2$ camlarında fiziksel, yapısal özelliklerin ve koruma parametrelerinin değiştirilerek gama ışını koruma durumu hesaplanmıştır. Uygulamalar da kullanılan cam, geleneksel eriyik söndürme tekniği ile sentezlenmiştir. Kütle zayıflama katsayıları, yarı değer kalınlıkları, etkili atom sayısı ve

elektron yoğunluğunu hesaplamak için Win XCom programı kullanılmıştır. Çalışmaların sonucunda hazırlanan camların koruyucu malzemeler olarak kullanılma potansiyeli olduğu tespit edilmiştir.

Daniel R. McAlister (2018), çalışmasında gama radyasyonunun zayıflatılması veya kalkanlanması için ortak koruyucu malzemelerin gama ışını zayıflama özellikleri incelenmiştir. Yaygın olarak kullanılan koruyucu malzemeler için zayıflama verilerini, Ulusal Standartlar Enstitüsü (NIST) XCOM zayıflama katsayıları veri tabanı ve Sağlık Fiziği ve Radyolojik Sağlık gibi kaynaklardan almıştır. Araştırmalar sonucunda bizmut, tungsten, demir, su, çelik, parafin ve polietilen malzemeler inceleme için uygun görülmüştür. Düşük gama enerjileri için (<500 keV), bizmut ve tungsten kurşun gibi yüksek koruma sağlamıştır. 800-1400 keV arasında demir ve alüminyum gama enerjileri aynı zayıflama özelliklerine sahip bir koruma sağlamıştır. Ölçümlerde yüksek saflıkta bir germanyum detektörü (HpGe) kullanılmıştır. Seçilen elementleri polimer içerisine süspanse ederek; T-Flex® W (kütle %88), T-Flex® Bi (kütle %85), T-Flex® Fe (kütle %69) ve T-Flex® 50 (kütle %39 W ve %39 Fe) süspanسیونlarını hazırlamışlardır (McAlister silikon ve su içeren polimere T-Flex ismini vermektedir). Sonuç olarak, gama radyasyonunun zayıflaması, geniş bir malzeme yelpazesi kullanılarak elde etmiştir. Bu sayede fiziksel, kimyasal ve mali kısıtları göz önünde bulundurarak, en uygun koruma türünü geliştirmek için kaynakların daha iyi uygulanmasına olanak sağlayacaktır.

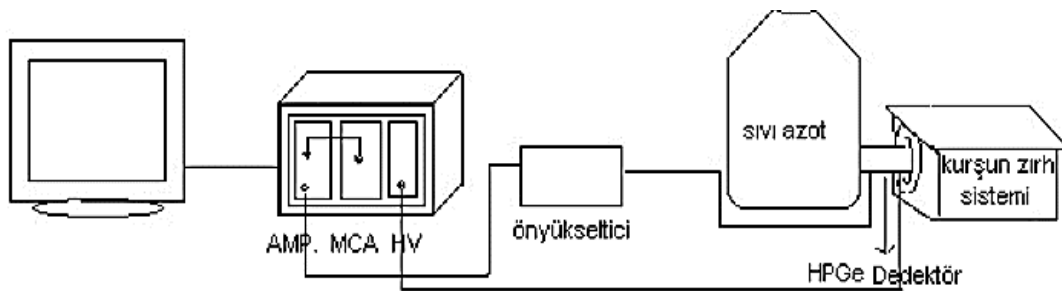
Parminder Kaurbir ve ark (2018), çalışmalarında baryum ve bizmutun iyi gama radyasyon kamuflej özelliklerinden yararlanarak, baryum ile modifiye edilmiş bizmut borat cam sistemin geliştirerek gama ışını koruma özellikleri incelemişlerdir. Deneyle için; ağırlıkça %65 Bi₂O₃, %2-10 BaO ve %25-35 B₂O₃ oranlarında karıştırılarak 6 farklı kompozisyon hazırlanmıştır. Ağır metal baryumunun içeriğindeki artışı ile kütle zayıflama katsayısı arttığı ve BaO'nun bizmut borat cam sisteminin radyasyon koruma özelliklerini geliştirdiği belirlenmiştir.

Xu, Yun Chuan ve ark. (2018), Bi₂WO₆ kristallerini Ce ile katkılayarak düşük enerjili gama ışımlarına karşı koruma özelliklerini geliştirmeye yönelik çalışmalar yapmışlardır. Katkılama işlemi için kolay bir sentetik yöntem geliştirmişlerdir. Çalışmada yapılmak istenen kurşun olmadan koruyucu özellikleri olan ve giyilebilir ürünler elde edebilmektir. Sonuç olarak Ce katkılamanın gama ışını koruma performansını arttırdığı, %10 oranının üzerinde ise azalmanın ortaya çıktığı gözlenmiştir.

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Kullanılan Detektör

Genel olarak radyasyon ölçüm cihazları yani detektörler birbirine benzeyen prensiplerle çalışırlar. Kaynaktan detektöre gelen genliği mV düzeyinde olan elektriksel sinyaller, önce bir sinyal artırıcıdan geçirilerek (Spektroskopik Amplifier) belli bir seviyeye çıkarılır yani güçlendirilirler. Güçlendirilen sinyal örneksel (analog) ADC'ye sahip MCA yardımıyla bilgisayara aktarılarak spektrumlar çizdirilir ve spektrumların değerlendirilmesi Genie2000 programı kullanılarak yapılır (Şekil 3.1).

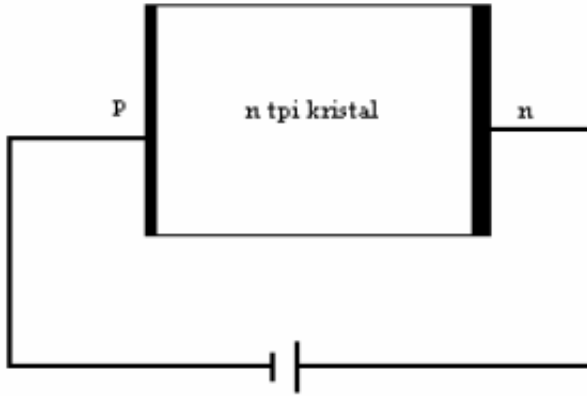


Şekil 0.34 Ölçüm Şeması

3.1.1. Yüksek Safılıkta Germanyum (HPGe) Detektörü

Normal germanyum kristallerinde safsızlık oranı 10^{13} atom/cm³ iken 1986 yılında yüksek saflıktaki germanyum kristallerinde bu oran 10^{10} atom/cm³ değerine ulaşmıştır. Böylece Li katkısı ile daha az safsızlıkta elde edilen Ge (Li) yarı iletken detektörlerinde, Li katkısı yapılmadan daha yüksek saflıkta germanyum kristalleri oluşturulmuştur. Bu durumda yüksek saflıkta germanyum kristallerinden yapılan yarı iletken detektörlerin tüketim bölgesindeki daha büyük artışlar elde edilmiştir. Ayrıca, Li katkısının kalkmasıyla da bu yarı iletken detektörleri sürekli soğutmaya gerek kalmamaktadır, sadece kullanıldıkları süre içerisinde soğuk tutulmaları yeterlidir.

Bu tip detektörlerin yapımı şu şekildedir: n tipi (Şekil 3.2) ya da p tipi bir kristalin uç kısımlarına n alıcı kontak ve p verici kontakların yerleştirilmesiyle elde edilir. n alıcı kontak oluşturulurken n tipi kristalin sağ tarafına Li katkısı yapılırken, p tipi kontak oluşturmak için boron katkısı, kristalin sol tarafına yapılır. p kontak ucuna ⁻ uç ve n kontak ucuna ⁺ uç gelecek şekilde ters voltaj uygulanır, böylece n tipi kristalin tamamı tüketim bölgesinden meydana gelir.

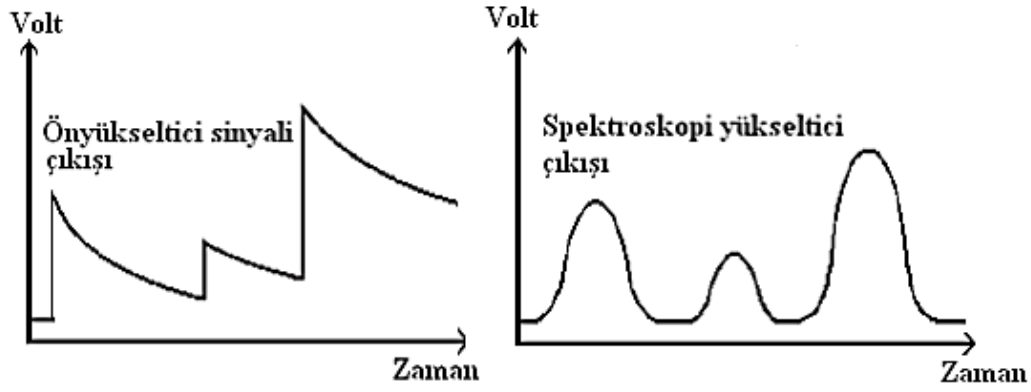


Şekil 0.35 HpGe n tipi detektörün yapısı

Aynı şekilde p tipi kristalin sağ tarafına p tipi kontak ve sol tarafına n tipi kontak eklenebilmektedir. Böylece p tipi yüksek saflıkta bir detektör elde edilmiş olur. Yüksek saflıktaki germanyum detektörlerini en önemli özellikleri diğer detektörlere göre daha yüksek enerji çözünürlüğüne sahip olmalarıdır. Ayrıca, normal bir germanyumda bir elektron değişikliği oluşturabilmek için verilmesi gereken eşik voltajı, normal yarı iletken detektörlere göre oldukça düşüktür. Bu durum daha düşük enerjili gama ışınlarının ölçülmesinin yanında, sayım kapasitesinin artmasını da sağlamaktadır. Yüksek saflıkta germanyum detektörleri gama ışını ölçümünde en fazla kullanılan detektördür. Detektörün yapımında Li katkısının olmaması sayesinde sürekli olarak soğutma ihtiyacı ortadan kalkmıştır.

3.1.2. Spektroskopi Yükseltici

Yükseltici ön yükselticinin algıladığı sinyali 10 volt değerine kadar yükseltir (Şekil 3.3). Sinyalin genliği ile yükselticinin arttırma değeri arasında lineer bir ilişki vardır. Spektroskopi yükselticisinin kullanılmasında ki amaç, ölçülmek istenilen enerji aralığındaki sinyalleri güçlendirip Analog dijital çeviricinin kabul ettiği 0 ile 10 volt aralığında bir değere taşımaktır. Yükseltilecek değerin lineer olması radyasyon enerjisi ile puls yüksekliğinin orantılı olmasını sağlayacaktır (Şekil 3.3).



Şekil 0.36 Ön yükselticiye gelen sinyalin spektroskopi yükselticideki durumu

3.1.3. Çok Kanallı Analizör (MCA)

Analog dijital çeviriciden elde edilen dijital sinyaller çok kanallı analizör tarafından alınırlar. Çok kanallı analizörün esas görevi, detektörden gelen darbeleri, yüksekliklerine (her darbe=bir sayım kabul ederek) göre ilgili kanala yerleştirip hafızaya kayıt yaparak, belirli bir zaman aralığında her bir enerji değerine denk gelen toplam sayım miktarını elde etmektir (spektrum). Yatay eksen kanal sayısını (enerji), spektrumdaki piklerin merkezi kaynaktan yayınlanan radyasyonların enerjilerini ve yükseklikleri, daha doğrusu alanları kaynağın rölatif aktivitesini verir.

3.1.4. Kurşun Zırhlama

Detektör kurşun zırh içine yerleştirilmiştir. Bunun amacı detektörün dış radyasyondan (doğal uranyum, toryum ve bozunum ürünleri, radyoaktif potasyum) etkilenmesini önlemektir. Kurşunun kendisi ya da diğer yapı malzemeleri düşük miktarda uranyum ve radyoaktif kurşun içerir. Üniversitemizde bulunan ve çalışmada kullandığımız germanyum detektör silindir şeklindeki kurşun zırh içine yerleştirilmiştir.

3.2. Kumaşların Kaplanması

Dokuma, örme veya dokusuz yüzey şeklinde üretilen kumaşların ön yüzünü ya da ön/arka yüzeyini viskozitesi artırılmış, kıvamlı maddeler ile kaplayarak elde edilen yüzeylere kaplama kumaşlar adı verilir. Kaplama kumaşların görünümünü değiştirmek, fiziksel özelliklerini geliştirmek, üzerine kaplanan filmle kullanım avantajlarını arttırmak amacıyla uygulanmaktadır. Başlangıçta kaplama kumaşlar hava şartlarından korunmak amacıyla

üretilmiştir. Kimya sektöründe ki gelişmeler, kauçuk ve polimer maddelerin bulunuşu daha gelişmiş özellikleri olan ve farklı kullanım alanlarına hitap eden ürünler elde edilmeye başlanmıştır (Öner, 2009).

Tekstil kaplamacılığı sayesinde kumaşın kendisinde olmayan fakat polimerde var olan özellikler kazandırılır. Örneğin; su geçirmezlik, su iticilik, hava geçirmezlik, yağ iticilik vb. Bu amaç doğrultusunda polimerler, köpük ve filmler kullanılır. Laminasyonla ise farklı özelliklere sahip kumaşlar birbirine yapıştırılır.

3.2.1. Kaplamada Kullanılan Materyaller

Kaplama, kumaşa normal terbiye işlemleriyle kazandırılmayan özel efektler sağlayabilmek için uygulanan bir işlemdir. İstenilen efekte göre sıvı, hamur veya toz halde bulunan kimyasallar toz, pasta veya köpük formunda kumaşa aktararak kumaş üzerinde bir film tabakası oluşturulmaktadır. Kaplama tekniklerinin ve kaplama materyalinin (sıvı, pat, köpük) olası varyasyonları, tekstil maddelerinin aşağıda belirtilen çeşitli uygulama amaçları için mümkün modifikasyonları ile hemen hemen sınırsız bir alan oluşturmaktadır (Kut ve Güneşoğlu, 2005)

Zeminde kullanılan kumaşlar son üründe, kopma, yırtılma ve uzama gibi özellikleri sağlarken; kaplama maddesi, gözeneklilik, kumaşın kimyasal ve çevresel etkilerden korunması ve bazı durumlarda görünüm iyileştirmesi sağlamaktadır. Tekstil materyalinden beklenen su geçirmezlik, ısı yalıtım, estetik görünüm gibi bazı özellikler kumaşların polimer ile kaplanmasıyla sağlanabilmektedir (Yıldırım, Aydın, Köstem ve Güçer, 2005).

3.2.2. Kaplamada Kullanılan Zemin Kumaşların Özellikleri

Kaplama işlemi iplik, dokusuz yüzey kumaşlara, dokuma ve örme kumaşlara uygulanabilmektedir (Kaplan ve Koç, 2007).

Kaplama işleminin düzgün ve kaliteli yapılabilmesi için seçilen kumaştan beklenen özellikler;

- Temiz, düzgün, pürüzsüz yüzey ve sık bir yapı,
- Dayanıklı olması,
- Boyutsal stabilitesinin olması,
- Asit ve kimyasallara karşı dayanıklı olması,
- Adhezyon ve düşük maliyettir.

3.3. Deneylerin Yapılışı

Bu çalışma kapsamında tekstil piyasasında yaygınca kullanılan ana pat adı verilen kaplama patı içerisine, farklı elementler ihtiva eden patlar katkılanarak elde edilen karışımların gama ışının kütle soğurma katsayılarının deneysel olarak belirlenmesi hedeflenmiştir. Böylece arzu edilen radyasyon kütle soğurma katsayısına sahip malzeme üretme olanağının deneysel olarak araştırılmıştır.

3.3.1. Kimyasalların Hazırlanması

Kimyasal maddenin elyafa bağlanmasını sağlayan, içerisinde binder, kıvamlaştırıcı ve diğer yardımcı maddelerden oluşmuş hazır kütleye pat denir. Kaplama için kullanılacak patın belirli bir viskoziteye sahip olması gerekmektedir. İstenen viskozite kıvamlaştırıcı adı verilen kimyasal ile ayarlanmıştır.

Ana Pat Reçetesi:

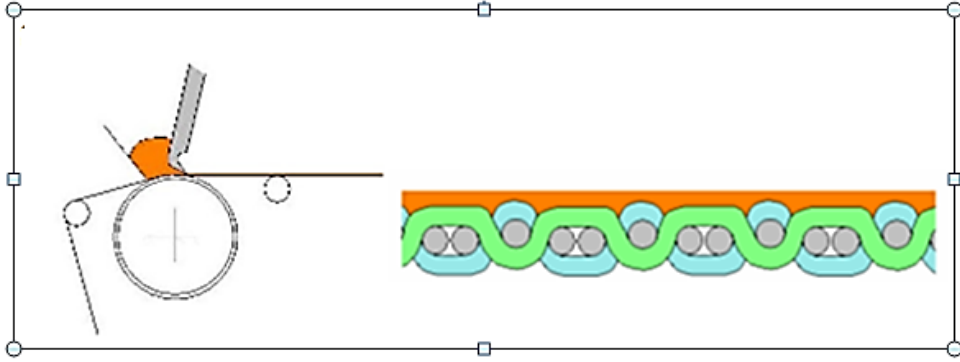
Su	: 820 gr
Binder	: 160 gr (Bersa Kimya)
<u>Kıvamlaştırıcı</u>	<u>: 10-20 gr (Bersa Kimya)</u>
Toplam	: 1000 gr

Çalışmanın ilk kısmında radyasyon zırlamasında kullanılmak üzere, tekstil piyasasında yaygınca kullanılan hazır kaplama patlarından 7 tanesi seçilmiştir. Seçilen patlarla ilgili bilgiler aşağıdaki listede verilmiştir.

1. Pigmacolor Flok Patı (Kemiteks Kimya),
2. Pigmacolor Fosfor Patı (Kemiteks Kimya),
3. Pigmacolor Metalic Paste (Kemiteks Kimya),
4. Pigmacolor White PW (Kemiteks Kimya),
5. Pigmacolor Pigmapearl (Kemiteks Kimya),
6. Pigmacolor Glitter Silver Paste (Kemiteks Kimya),
7. Tubicoat CRO Patı (CHT Kimya)

Her bir numune ana pat ile 2:3 oranında karıştırılarak kaplama patı hazırlanmıştır. Hazırlanan patlarla kumaş üzerine yaklaşık 1 mm kalınlığında yüzeyler oluşturulmuştur. Kimyasalların kumaşa aktarılmasında bilinen en eski yöntemlerden biri olan bıçaklı kaplama (rakleli)

kaplama tekniği kullanılmıştır (şekil 3.4). Bu teknik ile kalınlığın en fazla arttırılabildiği tekniktir.



şekil 0.37 Silindir zeri bıçak ile kaplama (kalınlık kaplaması)

3.3.2. Kullanılan Kumaşın zellikleri ve Kurutma şartları

Zırhlama kimyasalını kaplamak için ağırlığı 250 g/m² olan, bezayağı örgüsü %50 polyester %50 pamuk ile dokunmuş kumaş kullanılmıştır. Kumaş 50 cm'lik 8 parçaya ayrılmıştır. Hazırlanan kumaş parçalarından 7 numune kaplama patı ile kaplanmıştır. Kumaş üzerinde ki kaplama kalınlığının 1mm civarı olması hedeflenmiştir. Bunu elde etmek için 3 kat sürme işlemi yapılmıştır. Kaplama işlemi tamamlanan numuneler kurutma veya fikse makinesinde fiksaj işlemine tabi tutulmuştur. Kurutma işlemi 150°C de 45 saniye, fiksaj işlemi ise 160°C de 60 saniye süreyle yapılmıştır. Hazırlanan numuneler yapılacak testler öncesinde 20°C sıcaklık ve %65 nem ortamında 24 saat bekletilerek kondisyonlama işlemine tabii tutulmuştur.

3.3.3. Kaplama İşlemi

Kaplama alışmaları Gerze Meslek Yüksekokulu Tekstil Teknolojisi Programı laboratuvarlarında mevcut olan, laboratuvar tipi kaplama & ramz makinesinde gerçekleştirilmiştir (şekil 3.5).



Şekil 0.38 Kaplama Makinası

3.3.4. Soğurma Ölçümleri

Kaplama yapılan kumaşların soğurma ölçümleri Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü Nükleer Fizik Laboratuvarında bulunan yüksek çözünürlüklü HpGe detektör yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Kaplama yapılmamış 7 adet kumaş numunelerinden hangilerinin zırlama özelliğine sahip olduğu belirlenmiştir. Kaplama numunelerin karışım oranları:

Numune 1: Kaplama yapılmamış kumaş

Numune 2: 200 gr Pigmacolor Flok Patı + 300 gr ana pat (Karışım oranı= 2:3)

Numune 3: 200 gr Pigmacolor Fosfor Patı + 300 gr ana pat (Karışım oranı= 2:3)

Numune 4: 200 gr Metalic Paste + 300 gr ana pat (Karışım oranı= 2:3)

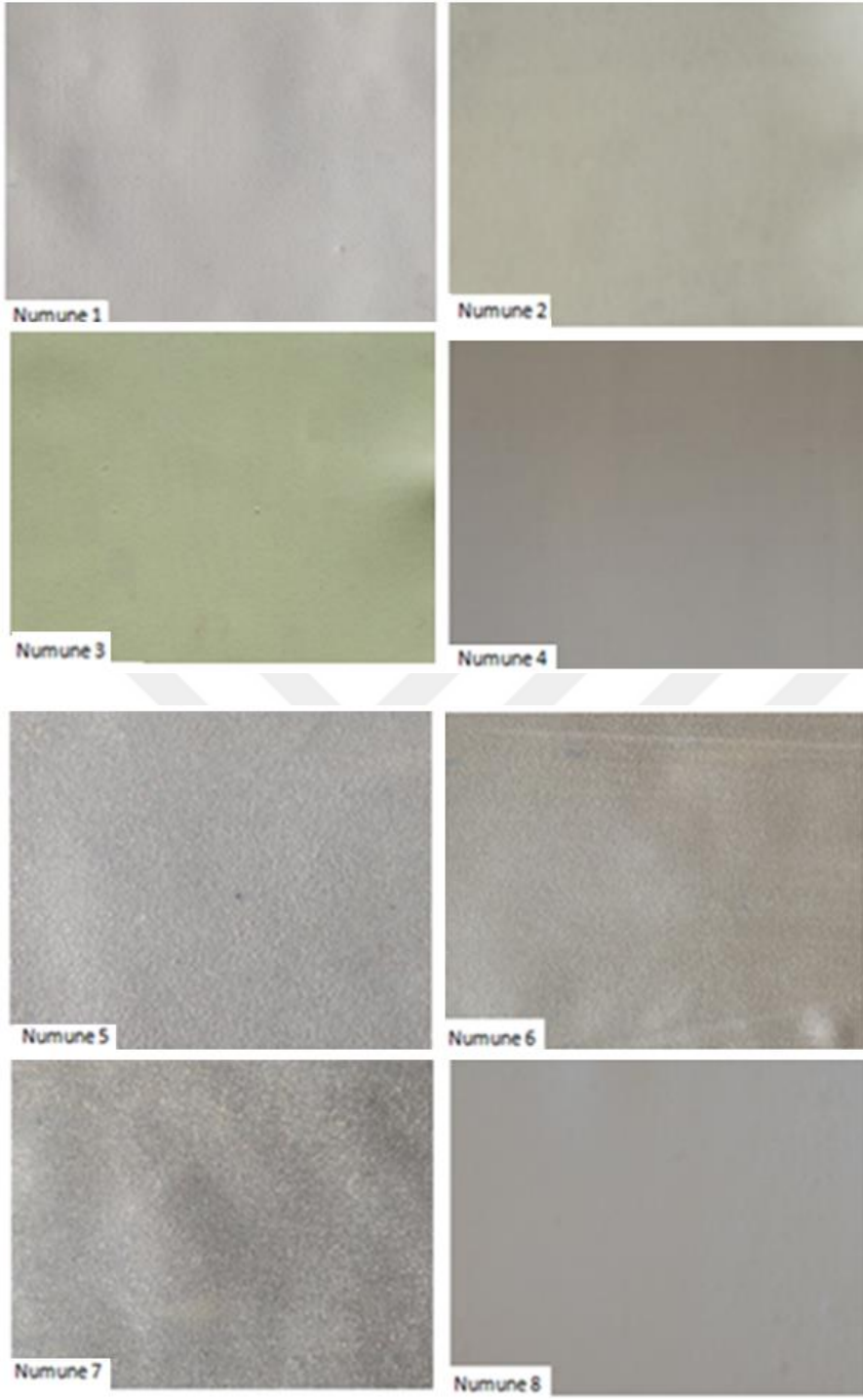
Numune 5: 200 gr Pigmacolor White PW + 300 gr ana pat (Karışım oranı= 2:3)

Numune 6: 200 gr Pigmacolor Pigmapearl + 300 gr ana pat (Karışım oranı= 2:3)

Numune 7: 200 gr Pigmacolor Glitter Silver Paste+ 300 gr ana pat (Karışım oranı= 2:3)

Numune 8: 200 gr Tubicoat CRO Patı + 300 gr ana pat (Karışım oranı= 2:3)

Kaplama yapılmış kumaş numunelerinin fotoğrafları Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 0.39 Kaplama Yapılmış Kumaş Numuneleri

Numunelerin gama ışını kütle soğurma katsayılarının belirlenebilmesi için kullanılan kolimatör Şekil 3.7'da gösterilmiştir.



Şekil 0.40 KTÜ Fen Fakültesi'nde bulunan soğurma ölçümleri için kullanılan kolimatör

Önce kaplanmamış kumaşın sonra, kaplama yapılmış 7 adet numunenin kütle soğurma katsayıları belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan ölçümler sonrasında numunelerin bazılarının zırlama özelliğine sahip olmadığı, bazılarının ise bu özelliğe sahip olduğu belirlenmiştir. Şöyle ki, numunelerin 3 tanesinin zırlama yeteneğinin kayda değer miktarda olduğu tespit edilmiştir. Bunlar, Pigmacolor Glitter Silver Paste (Kemiteks), Pigmacolor Metalic Paste (Kemiteks) ve Tubicoat CRO (CHT) ile kaplanmış numunelerdir. Üç pat numunesinin gama ışını durdurma kabiliyeti beklenenden daha düşük seviyede kalmıştır. Elde edilen sonuçların düşük olma sebebinin kaplama yüzey kalınlığının yeterli kalınlıkta olmamasından veya katkılanan kimyasal oranının düşük olmasından kaynaklandığı öngörülmüştür. Bu sebepten dolayı ana pata ilave edilen kaplama kimyasalının oranı arttırılır ve daha kalın yüzeyler oluşturursa zırlama kabiliyetinin artacağı, dolayısıyla gama soğurma katsayılarının yükseleceği öngörülmüştür.

Bu öngörü doğrultusunda ikinci kez ölçüm yapılacak numunelerin tablet (dikdörtgenler prizması) şeklinde tasarlanarak hazırlanmasına karar verilmiştir, Şekil 3.9.

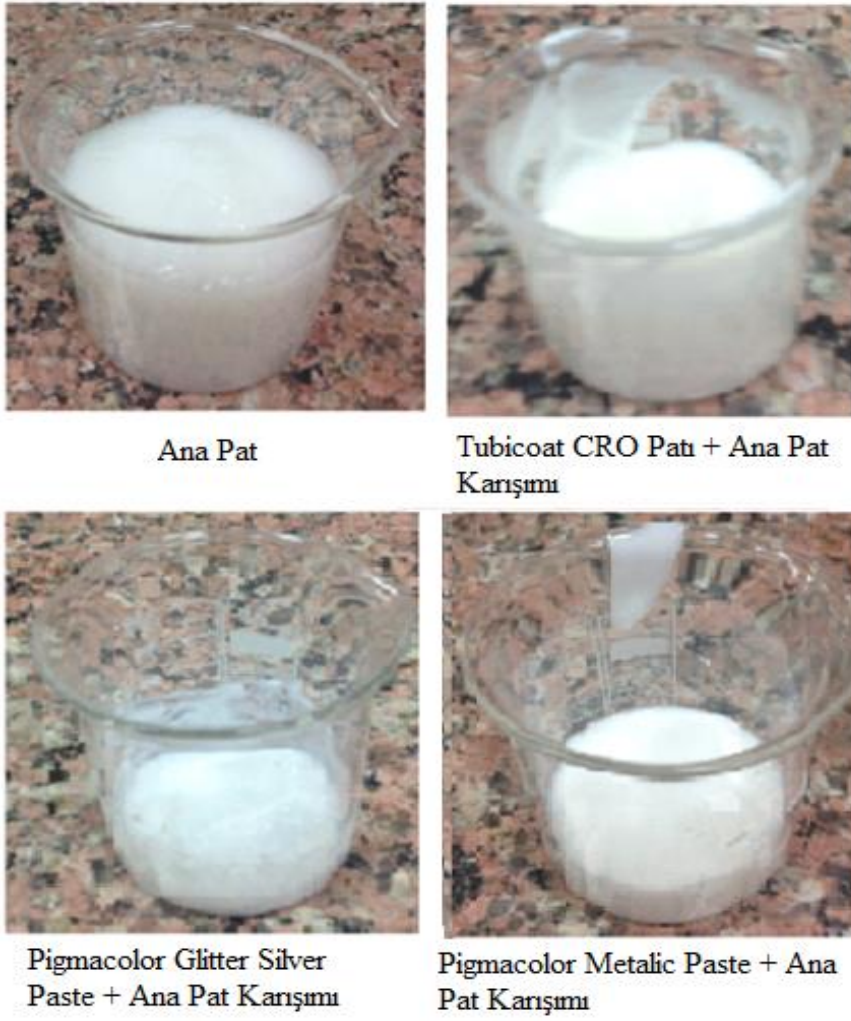
Tablet haline getirilerek sayımı yapılan numunelerin karışım oranları;

Numune 1: 400 g Tubicoat CRO Patı + 200 g Ana Pat (Karışım oranı= 2:1)

Numune 2: 300 g Pigmacolor Glitter Silver Paste+ 300 g Ana Pat (Karışım oranı= 1:1)

Numune 3: 200 g Pigmacolor Metalic Paste + 200 g Ana Pat (Karışım oranı= 1:1)

Numune 4: 400 g Pigmacolor Metalic Paste (%100, malzeme direkt kullanılmıştır).



Şekil 0.41 Deneme Patları

Patlar önce yukarıda oranları belirtilen miktarlarda karıştırılıp Şekil 3.8’de görüldüğü gibi hazırlanmıştır.

Tablo 3. 1 Sayım yapılacak tablet numunelerinin bazı fiziki ve kimyasal özellikleri

Numune Adı	En (cm)	Boy (cm)	Kalınlık (cm)	Ağırlık (g)	Hacim (cm ³)	Yoğunluk (g/cm ³)
Tubicoat CRO Patı + Ana Pat Karışımı	1,62	2,4	0,422	2,38	1,64	1,45
Pigmacolor Glitter Silver Paste+ Ana Pat Karışımı	1,92	3,25	0,253	2,46	1,58	1,56
Pigmacolor Metalic Paste + Ana Pat Karışımı	1,66	2,42	0,396	2,78	1,59	1,75
Metalic Paste (%100)	1,72	2,65	0,404	2,64	1,84	1,43

Daha sonra hazırlana patlar silindir şeklindeki kalıpların içerisine konularak etüvde 150°C de 120 dakika kurutulduktan sonra 24 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir. Kurutma ve bekletme esnasında numuneler düz bir yüzeyle bastırılıp sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kurutulmuş numuneler dikdörtgenler prizma şeklinde kesilmiştir (Şekil 3.9). Kesilen numunelerin boyutları kumpas, kütlesi ise hassas terazi yardımı ile ölçülmüştür. Kesilen numunelerin ebat ve kütle bilgileri Tablo 3.1’de verilmiştir.



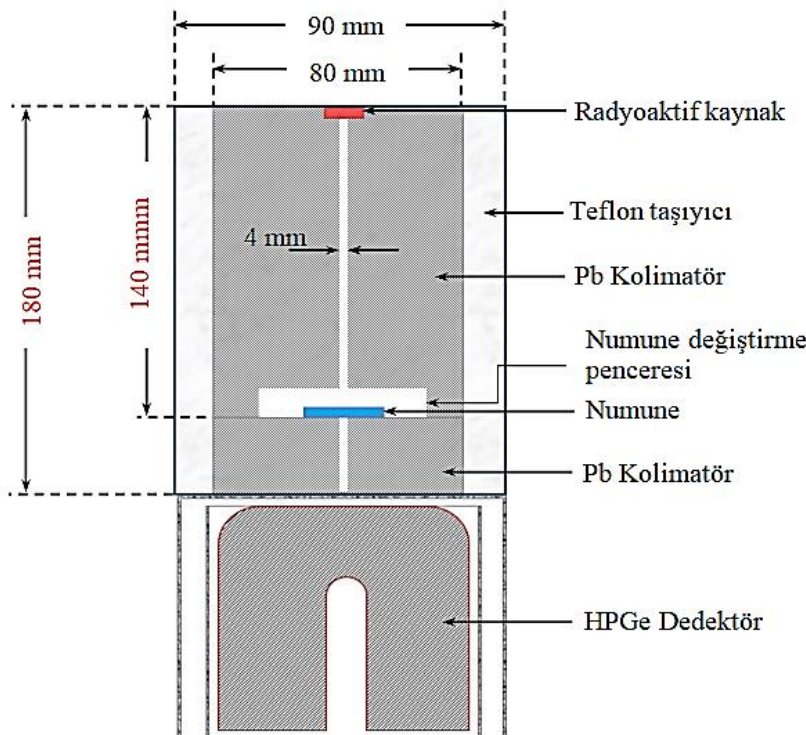
Şekil 0.42 Elementlerle katkılanmış pat numuneleri



Şekil 0.43 Ametek-Ortec marka HpGe gama dedektör sistemi

Tablet şeklinde kesilen numunelerin gama ışını soğurma katsayılarının belirlenebilmesi için Ametek-Ortec marka yüksek çözünürlüklü HpGe (1,33 MeV de 1,70 keV çözünürlük elde edilmiştir) detektör kullanılmıştır (Şekil 3.10).

Bu deney geometrisi kaynak, soğurucu, kolimatör ve detektör sisteminden oluşmaktadır. Soğurma çalışmalarını yaparken numune değişimleri sırasında sistem geometrisindeki değişiklikler (kaynak konumundan kaynaklanabilecek) ölçüm sonuçlarını önemli şekilde etkilemektedir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için sistem üzerinde özel bir pencere açılarak numune değiştirme işlemleri gerçekleştirilebilecek ve Şekil 3.11’de gösterilen düzenek kullanılmıştır.



Şekil 0.44 Soğurma ölçüm düzenneği geometrisi

Ölçümlerde Tablo 3.2’de bilgileri verilen 7 gama kaynağı kullanılmıştır. Önce her bir kaynak için boş (detektör ile kaynak arasında malzeme konulmadan yapılan) sayım yapılmıştır. Daha sonra detektör ile kaynak arasına ilgili malzeme konularak sayım tekrarlanmıştır. Kaynağın gama enerji piki ilk ve son durum için belirlenerek buradan deneysel soğurma katsayısı belirlenmiştir. Her bir sayım 5000 saniye süreli gerçekleştirilmiştir.

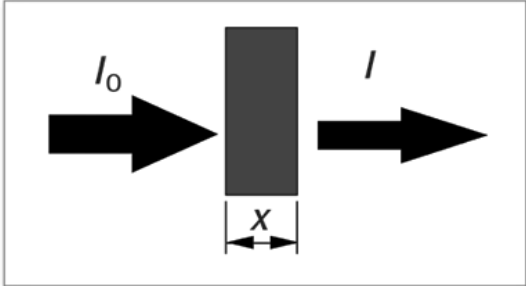
Tablo 3. 2 Kaynak bilgileri

1.01.2015		Ölçüm süresi(s)	Kat sayı	t _{1/2} (yıl)	t _{1/2} (s)	$\lambda = 0,693/t_{1/2}$	$e^{\lambda t}$	A ₀ (Mci)	A(Mci)
Cs-137	805	69.552.000	0,693	30	946.080.000	7,32496e ⁻¹⁰	0,9503294	1,101	1,0463
Cd-109	805	69.552.000	0,693	1,2410959	39.139.200	1,7706e ⁻⁰⁸	0,2918574	0,914	0,2668
Co-57	805	69.552.000	0,693	0,739726	23.328.000	2,97068e ⁻⁰⁸	0,1266704	1,066	0,135
Co-60	805	69.552.000	0,693	5,26	165.879.360	4,17773e ⁻⁰⁹	0,7478373	1,12	0,8376
Mn-54	805	69.552.000	0,693	0,830137	26.179.200	2,64714e ⁻⁰⁸	0,1586367	1,038	0,1647
Ba-133	805	69.552.000	0,693	10,51	331.443.360	2,09085e ⁻⁰⁹	0,8646563	0,9901	0,8561
Na-22	805	69.552.000	0,693	2,6	81.993.600	8,45188e ⁻⁰⁹	0,5555231	1,011	0,5616

Bu çalışmada malzemelerin soğurma ölçümleri ~80 ile 1332 keV enerji aralığında gerçekleştirilmiştir. Bunun için Ba-133 (80,1 keV ve 356 keV), Co-57 (134 keV), Cs-137 (661,7 keV), Mn-54 (834,86 keV), Cd-109 (88 keV), Na-22 (1274) ve Co-60 (1173 keV ve 1332 keV) radyoaktif kaynaklar kullanılmıştır. Arka plan ışımasının etkisinin ortadan kaldırılması için sayımlar numune yokken (boş) ve numune varken gerçekleştirilmiştir. Bu sayımlar Gamma Vision programı ile gerçekleştirilmiş olup yine enerji pik analizleri aynı program yardımı ile belirlenmiştir.

**Şekil 0.45** Soğurma düzeneği ve numune değiştirme gözü

Aşağıda verilen Şekil 3.13’de görüldüğü gibi I_0 şiddetli monokromatik bir γ -ışını demeti, x (cm) kalınlığına ve ρ (g/cm³) yoğunluğuna sahip bir madde ile etkileştiği zaman çıkan ışının şiddetinde bir azalma meydana gelir.



Şekil 0.46 Elektromanyetik radyasyonun azalmasının şematik gösterimi

Maddeyi geçen demetin şiddeti

$$I = I_0 e^{-\left(\frac{\mu}{\rho}\right)\rho x} \quad (3.1)$$

bağıntısı ile verilmektedir ve bu bağıntı Lambert-Beer kanunu olarak bilinir. Bu kanun birim kalınlıktaki maddeyi geçen elektromanyetik radyasyon demetinin şiddetindeki azalmanın soğurucu materyalin kalınlığıyla üstel olarak azalacağını gösterir. Burada, I_0 gelen ışının şiddeti, I geçen ışının şiddeti, (μ/ρ) kütle soğurma katsayısı ve x ise maddenin kalınlığıdır. Denklem 3.1'den kütle soğurma katsayısı çekilirse;

$$\frac{\mu}{\rho} = -\frac{1}{\rho x} \ln \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (3.2)$$

Kütle soğurma katsayısı bileşikler, çözeltiler ve karışımlar için bileşenlerinin değerlerinden hesaplanabilir. Bu durumda toplam soğurma katsayısı (μ/ρ) , bileşiği oluşturan elementlerin soğurma katsayılarının ağırlıklı ortalamalarıdır. Toplam kütle soğurma katsayısı, hedefin ağırlık kesirleri $W_1, W_2, \dots$ ise, bunlara karşılık $\mu_1/\rho_1, \mu_2/\rho_2, \dots$ hesaplanıp toplanmasıyla bulunur (Denklem 3.3).

$$\mu/\rho = W_1(\mu_1/\rho_1) + W_2(\mu_2/\rho_2) + \dots \quad (3.3)$$

Toplam soğurma katsayıları hesaplanırken, fotoelektrik soğurma katsayısı, saçılma soğurma katsayısı ve çift oluşum katsayısından ötürü oluşan gama ışını şiddetindeki azalmalar dikkate alınmalıdır.

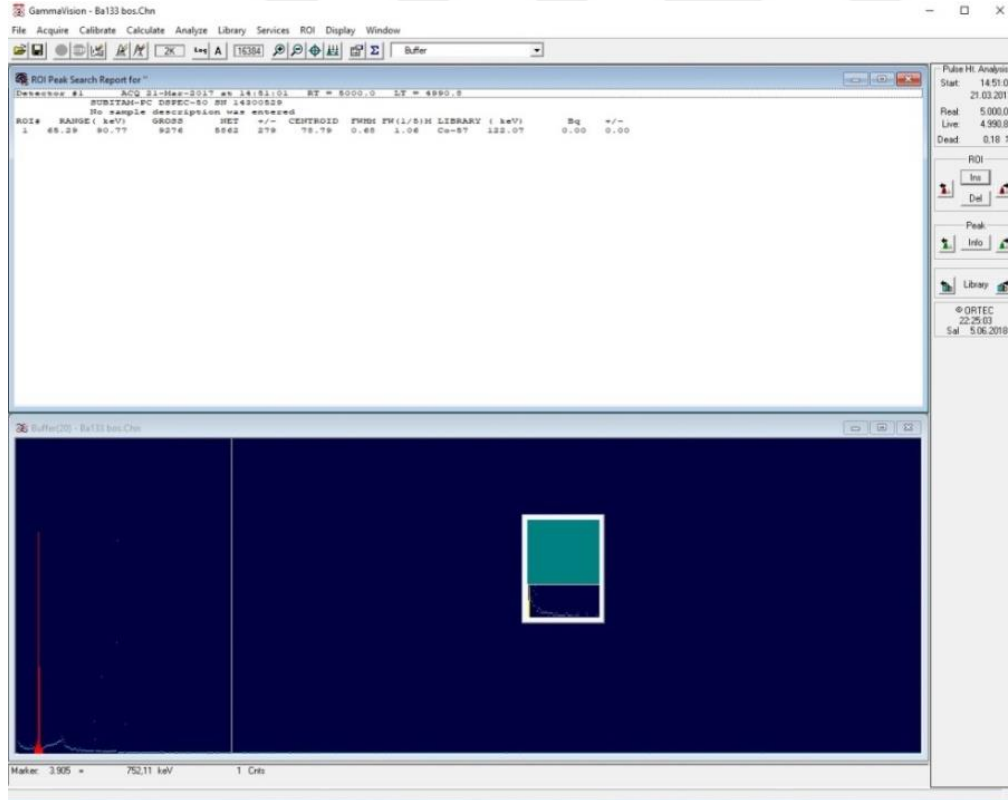
$$\mu/\rho = (\tau/\rho) + (\sigma/\rho) + (\pi/\rho) \quad (3.4)$$

toplam kütle soğurma katsayısı (μ/ρ) , fotoelektrik soğurma katsayısı (τ/ρ) , saçılma soğurma katsayısı (σ/ρ) ve çift oluşum katsayısını (π/ρ) ifade etmektedir.

4. BULGULAR

Bu tez çalışması kapsamında, kumaş kaplamasında kullanılan bazı malzemelerin gama ışını kütle soğurma katsayılarının (μ/ρ) belirlenmesi konusu araştırılmıştır. Çalışma genel olarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada daha önce bilgileri verilen, piyasada uzun süredir kullanılan ve halen kullanılmaya devam eden 7 adet kaplama kimyasalı seçilmiştir. Bu kimyasallar kumaş üzerine kaplanıp, kaplanmış numunelerin kütle soğurma katsayıları belirlenmeye çalışılmıştır. Dört kimyasal ile elde edilen sonuçlar beklenenin çok altında olduğu için, ikinci aşama da üç kimyasal ile devam edilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında Pigmacolor Glitter Silver Paste(Kemiteks), Pigmacolor Metalic Paste(Kemiteks) ve Tubicoat CRO(CHT) kimyasalları üzerinde yoğunlaşmıştır. Ana pat, Pigmacolor Glitter Silver Paste(Kemiteks), Pigmacolor Metalic Paste(Kemiteks) ve Tubicoat CRO(CHT) ile katkılanarak üç farklı kaplama patı oluşturulmuştur. Pigmacolor Metalic Paste kimyasalı ile herhangi bir katkılama yapılmadan ölçüm yapılacak 4. seçenek oluşturulmuştur. Elde edilen patlar kurutulup, prizma şeklinde yapılar elde edilmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 0.47 Ba-133'ün 80,1 keV'lik gama piki spektrumu ve analiz ekran görüntüsü.

Şekil 4.1'de Ba-133 radyoaktif kaynağı kullanılarak bu kaynaktan çıkan 80,1 keV'lik gama ışınlarının spektrum piki ve bu pikin Gamma Vision programı kullanılarak analizi

aşamasından bir ekran görüntüsü gösterilmektedir. Bu işlem Ba-133 (356 keV), Co-57 (134 keV), Cs-137 (661,7 keV), Mn-54 (834,86 keV), Cd-109 (88 keV), Na-22 (1274) ve Co-60 (1173 keV ve 1332 keV) radyoaktif kaynakları için de tekrarlanmıştır.

Tubicoat CRO & ana pat (2:1 oranında), Pigmacolor Glitter Silver Paste & ana pat (1:1 oranında), Pigmacolor Metalic Paste & ana pat (1:1 oranında) ve %100 Pigmacolor Metalic Paste (ana pat ilavesiz) olarak karışımlar hazırlanarak gama ışını soğurma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde önce soğurucu numune geometri üzerine yerleştirilmeden radyoaktif kaynaktan çıkan gama ışınlarının şiddetleri (I_0) belirlenmiştir. Daha sonra soğurucu numuneler geometriye yerleştirilerek radyoaktif kaynaktan çıkan gama ışınları soğurucu numunelerin üzerine düşürüldü ve geçen gama ışınlarının şiddetleri (I) belirlendi.

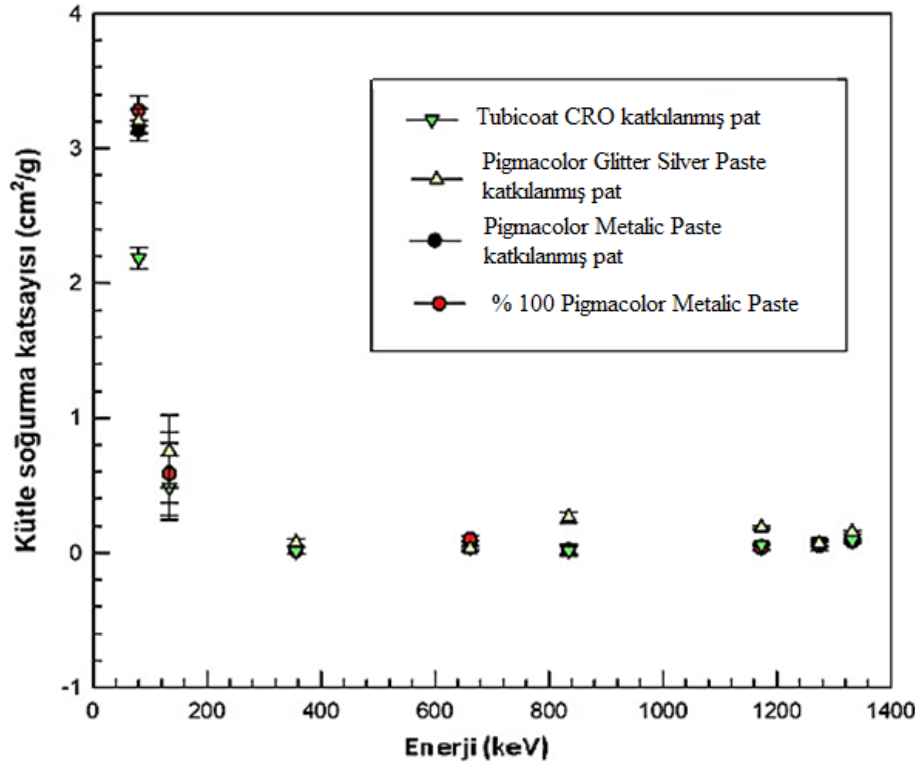
$$A = \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) \quad (4.1)$$

Elde edilen veriler Beer-Lambert yasasını kullanarak analiz edilmiş ve bu numuneler için gama ışını kütle soğurma katsayıları belirlenmiştir (Denklem 4.2).

$$\frac{\mu}{\rho} = -\frac{1}{\mu\rho} \cdot A \quad (4.2)$$

Detektör sayımları ve sayım sonrası pik analizleri için Gamma Vision programı kullanılmıştır. Sonuçlar gama ışını enerjisinin bir fonksiyonu olarak Şekil 4.2’de karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

Malzemelerde gama ışını enerjisi arttıkça kütle soğurma katsayılarının hızlı bir şekilde azaldığı iyi bilinmektedir. Bu durum bu çalışmada da ortaya çıkmış olup numuneye katkılanan malzemelerin cinsinden bağımsız olarak 300 keV’lik enerjiden sonra kütle soğurma katsayılarının hızlıca sıfır değerine yaklaştığı görülmektedir (Şekil 4.2). Şekil 4.2’den ~300 keV’e kadar olan gama enerjileri için ana pata Pigmacolor Glitter Silver Paste ve Pigmacolor Metalic Paste katkılamanın soğurmayı artırdığı ancak, Tubicoat CRO eklenmesinin ise azalttığı görülmüştür. 80,1 keV enerjide %100 Pigmacolor Metalic Paste’nin kütle soğurma katsayısının, ana pat Pigmacolor Metalic Paste karışımına göre %4 daha yüksek olduğu ölçülmüştür. Fakat enerji 134 keV olduğunda %100 Pigmacolor Metalic Paste ile elde edilen sonuçların, Pigmacolor Metalic Paste’nin katkılanarak elde edilenlerle birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.2 grafiğinin oluşturulduğu veriler, Tablo 4.1’de özetlenmektedir.



Şekil 0.48 Numunelerin deneysel gama ışını kütle soğurma katsayıları

Tablo 4. 1 Numunelerin deneysel gama ışını kütle soğurma katsayıları (cm²/g)

Numuneler				
Enerji (keV)	Tubicoat CRO	Glitter Silver Paste	Metalic Paste	%100 Metalic Paste
80,1	2,184	3,200	3,129	3,282
134	0,484	0,753	0,590	0,585
560	0,014	0,075	0,016	0,023
661,7	0,042	0,030	0,073	0,104
834,86	0,017	0,265	0,023	0,022
1173	0,061	0,187	0,044	0,035
1274	0,081	0,069	0,059	0,051
1332	0,094	0,154	0,082	0,099

Daha önce vurgulandığı gibi (Tablo 2.5) nükleer tıp birimlerinde gerçekleştirilen görüntüleme süreçlerinde yaygın bir biçimde Tc-99m ve Tl-201 gibi gama ışını enerjisi ~120-140 keV aralığında radyoizotoplar kullanılmaktadır. Bu iki malzemenin belirtilen enerji aralığında gama ışını kütle soğurma gücünün etkin olduğunu söylenebilir. Bu sonuç doğrultusunda adı geçen kimyasallar ile kurşuna alternatif daha ergonomik olan zırh malzemelerinin üretilmesi söz konusu olabilecektir. Üretilen malzemelerin görüntüleme süreçlerinde

alışan sağlık teknikerlerinin radyasyondan korunma amaçlı kullandıkları kıyafetlerin yapımında kullanılması uygun olacağı öngörülmektedir.



5. SONUÇ ve ÖNERİLER

İnsanoğlu, teknolojiadaki hızlı ve kontrolsüz gelişmelerin bir sonucu olarak, doğal radyasyon kaynaklarından alınandan çok daha fazla radyoaktif ışına maruz kalmaktadır. Radyasyonun zararlarından korunmak için uygulanabilecek en önemli yöntem zırhlamadır. Sağlık alanında teşhis ve tedavi yöntemleri sırasında kullanılan radyasyona en fazla maruz kalan insanlar şüphesiz sağlık çalışanlarıdır. Radyoaktif ışınları en iyi absorbe edebilen elementin kurşun olması nedeniyle, günümüzde sağlık çalışanları kurşun plakalardan oluşan zırh kıyafetleri kullanılmaktadır. Ancak bir ağır metal olan kurşun elementinin doğaya verdiği zararlar göz ardı edilemeyecek kadar fazladır. Önlük ağırlığının (4-5 kg arası) fazla olması nedeniyle birçok sağlık çalışanı kurşun plakalardan oluşan koruyucu zırh kıyafetlerini kullanmakta güçlükler yaşamaktadır.

Kumaş kaplamasında yaygın olarak kullanılan bazı malzemelerin farklı enerjilerdeki gama ışını kütle soğurma katsayılarının deneysel olarak belirlenerek, buradan hareketle uygulanabilir kalınlık için gama ışını soğurma etkinliği hesaplanmıştır. Belirlenen alternatif malzemelerin radyasyon tutuculuk özelliğinden yola çıkılarak kurşuna alternatif olabilecek zırhların kullanılabileceği ortaya konulmaya çalışılmıştır. Sonuçlara göre;

- Pigmacolor Glitter Silver Paste ve Pigmacolor Metalic Paste ile tasarlanacak koruyucu zırh kıyafetleri sağlık personeline hafifliğinden dolayı kullanım kolaylığı sağlayarak, kurşun önlüklerin dezavantajlarından kurtaracağı düşünülmektedir.
- Üretilcek ürün ile radyasyon zırhlama da kullanılan kurşunun ağırlığından kaynaklanan kullanım zorlukları ve toksik etkileri ortadan kaldırılacaktır. Ayrıca, radyasyon zırhlama için kurşuna alternatif, yeni, ucuz ve kurşundan hafif olan farklı bir malzemeye yönelim amaçlanmakta ve böylece Türk tekstil sektörünün rekabet gücünün artırılmasına katkıda bulunacağı öngörülmektedir.
- Çalışmanın nükleer teknoloji bilimine katkı sağlayacak bir potansiyeli olmakla birlikte ekonomik etkilerinin de olacağı tahmin edilmektedir. Bu durum fiyat kıyaslamasıyla daha iyi anlaşılacaktır. Kalınlığı=0,5 mm, eni=60 cm, boyu=90 cm olan radyasyon koruyucu kurşun önlüğün ağırlığı ise yaklaşık 4,4 kg, piyasa fiyatı ise 800-1200 TL civarındadır. Buna karşılık Pigmacolor Glitter Silver Paste ile oluşturulmuş 0,25 cm kalınlığında 60 cm x 90 cm ölçüsünde bir plakanın ağırlığı 3 kg, fiyatı ise 40 TL civarındadır. 0,4 cm kalınlığında 60 cm x 90 cm ölçüsünde ki Pigmacolor Metalic Paste plakanın ağırlığı 3,75 kg, fiyatı ise 70 TL civarındadır. Görüldüğü gibi kurşunun fiyatı, üzerinde çalışılan malzemelerin fiyatlarının 15-20 katı daha yüksektir.

- Ölçüleri verilen 3 kg'lık Pigmacolor Glitter Silver Paste plaka elde edebilmek için yaklaşık 3 kg ana pat + 3 kg Pigmacolor Glitter Silver Paste kullanılması gerekmektedir (miktarlar maksimum değer olarak verilmiştir). Aynı şekilde 3,75 kg'lık Pigmacolor Metalic Paste plaka için, 3,75 kg Pigmacolor Metalic Paste + 3,75 kg ana pat gerekmektedir. Yukarıda verilen fiyatlar belirtilen ağırlıklara göre hesaplanmıştır.
- Nükleer bilim açısından yüksek soğurma gücüne sahip elementlerin belirlenerek radyasyon koruyucu tekstil malzemeleri kapsamında bu çalışma literatüre yeni bir bakış açısı kazandıracaktır. Ayrıca, geliştirilmesi hedeflenen alternatif radyasyon koruyucu malzeme ile daha ergonomik koruyucu zırhlar üretilebilir. Çünkü hem ana pat hem de kullanılan malzemeler oldukça esneme kabiliyetine sahip kimyasallardır. Bu sayede üretilen plakalarla, vücut şekline uygun olarak tasarımlar geliştirilebilir.

6. KAYNAKÇA

- AKKURT, İ. 2009. Radyasyon Ölçüm Teknikleri ve Korunma. <https://docplayer.biz.tr/5947146-Doc-dr-iskender-akkurt.html>, (erişim tarihi 05.02.2017)
- AKKURT, İ., MAVİ, B., AKKURT, A., BAŞYİĞİT, C., KILINÇARSLAN, Ş., and YALIM, H.A., 2005. Study on Z dependence of partial and total mass attenuation coefficients, Journal of Quantative Spectroscopy and Radiative Transfer. Kantitatif Spektroskopi ve Radyasyon Transferi Dergisi, Kasım, Cilt 94, Sayı 3-4, s. 379-385.
- AKYILDIRIM H. 2011. Ağır Betonların Nükleer Radyasyon Zırhlama Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 108 s.
- Anonim, 2016. <http://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/tab3.html>
- BAKKAL, S. 2012. Kilis İli Toprak Örneklerinde ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ve ^{137}Cs Radyoaktivite Konsantrasyonlarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı, Kilis, 69 s.
- BALSAK, H. 2014. Radyoloji Çalışanlarının Tanı Amaçlı Kullanılan Radyasyonun, Zararlı Etkileri Hakkında Bilgi, Tutum Ve Davranışları, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 118 s.
- BAYKAL, S. 2007. Yeni Tip Gama Dedektörleri ve İz Sürme Tekniği. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Ankara, 90 s.
- BAŞYİĞİT, C., KAÇAR, A., 2006. Bazı Yapı Malzemelerinin Radyasyon Tutuculuk Özellikleri. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10-2, (2006)-307-310
- BULUT, Y. 2010. Kaplamalı Giysilik Kumaşların Mekanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 110 s.
- BULUT, Y., SÜLAR, V., 2008. Kaplama Veya Laminasyon Teknikleri İle Üretilen Kumaşların Genel Özellikleri Ve Performans Testleri. Tekstil ve Mühendis Dergisi Cilt: 15, Sayı: 70-71, S.5-16
- BOZKURT, A. 2012. Nükleer Fizik II Bölüm 12. Radyasyonun Madde ile Etkileşimi. Harran Üniversitesi, Ders Notları, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Şanlıurfa, 27 s.
- BÜYÜK, B. 2013. Tungsten, Titanyum, Bor İçeren Bazı Malzemelerin Gama Ve Nötron Radyasyonu Karşısındaki Davranışının İncelenmesi, Xcom Bilgisayar Programı İle İrdelenmesi Ve Yeni Bir Radyasyon Zırh Malzeme Önerisi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı Enerji Bilim ve Teknoloji Programı, İstanbul. 242 s.
- BÜYÜK, B., TUĞRUL, A. B., 2015. Tib_2 Katkılı $\text{B}_4\text{C-SiC}$ Kompozit Malzemelerin Co-60 Gama Radyoizotop Kaynağı Karşısındaki Davranışlarının İncelenmesi, Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 21(1), 24-29.

- ÇİRELİ, A., KUTLU, B., 2004. Plasma Technology in Textile Processing. 3. Indo-Czech Tekstil Araştırma Konferansı, Haziran, Çek Cumhuriyeti-Liberec'te
- COŞKUN, Ö. 2011. İyonize Radyasyonun Biyolojik Etkileri, Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Bilimler Dergisi 2011 cilt 1 (sayı 2) 13-17 s.
- ÇAKIR, T. İ. Radyasyonun Madde İle Etkileşimi, <https://www.slideserve.com/zeki/radyasyonun-madde-le-etk-le-m>, Taek, Sarayköy Nükleer Araştırma Ve Eğitim Merkezi, (02.04.2017).
- ÇALIK A., AKKURT İ., AKYILDIRIM, H., 2009. Borun Radyasyon Zırh Malzemesi Olarak Kullanılmasının Araştırılması. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs, Karabük
- ÇELİK, D. E. 2014. Sıvıların Radyasyon Dozuna Duyarlılıkları. Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Tokat, 66 s.
- Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Biyomekanik Anabilim Dalı, İzmir, 77 s.
- ÇEVİKBAŞ G. 2014. Alüminyum Titanat/Spinel'in Radyasyon Karşısındaki Davranışının İncelenmesi Ve Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı Radyasyon Bilim Ve Teknoloji Programı, İstanbul. 99 s.
- DAŞDAĞ, S. 2010. İyonlaştırıcı Radyasyonlar Ve Kanser, Dicle Tıp Dergisi, Diyarbakır Dicle Tıp Dergisi / Dicle Medical Journal Cilt / Vol 37, No 2, 177-185.
- DEMİRKURT, A. 2014. Bor Aplike Edilmiş Kumaşların Elektromanyetik Ekranlama Etkinliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 141s.
- EMİNÖKEL, S. 2015. Barit Kaplanmış Bazı Kumaş Türlerinin Radyasyon Soğurma Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 85 s.
- ERTAŞ. H. 2014. Kurşun Madeni Atıklarının Radyasyon Zırhlama Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane, 90 s.
- EVCİN, A. 2006. Kaplama Teknikleri Ders Notları, Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi.
- FUNG, W. 2002. Coated and Laminated Textiles”, CRC Press, Woodhead Publishing Limited, England, 416 s.
- DAŞDAĞ, S. 2010, İyonlaştırıcı Radyasyonlar ve Kanser, Dicle Tıp Dergisi, Cilt / Vol 37, No 2, 177-185 (21.05.2010)
- DİLEK, F., GÖKHARMAN D., AYDIN, S., KOŞAR, N. P., 2016. Radyasyon Güvenliğinde Mesleki Olarak Bilmemiz Gerekenler. Ankara Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Radyoloji Anabilim Dalı, SDÜ Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt 7-Sayı 2.

- GEZER, F. 2011. Fosfojips'in Doğal Radyoaktifliğinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 89 s.
- GIOVANNA R. ve diğerleri, 2016. Composite chitosan/alginate hydrogel for controlled release of deferoxamine: A system to potentially treat iron dysregulation diseases, Carbohydrate Polymers, 136, 1338-1347
- GÖK. C. 2010. Uranyum ve Toryumun Adsorbsiyonu için Aljinat Biyopolimerlerinin Hazırlanması ve Çeşitli Uygulama Alanlarının İncelenmesi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 164 s.
- GÖKHARMAN, E.D., AYDIN, S., KOŞAR, P. N., 2016. Radyasyon Güvenliğinde Mesleki Olarak Bilmemiz Gerekenler, SDÜ Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt 7 / Sayı 2
- GÖREN, E. 2011. İçme Sularında Tritiyum Aktivitesinin Belirlenmesi Yüksek Lisans Tezi Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Adana, 88 s.
- GÜNAY, E. 2010. İnsan Saçının Nötron Aktivasyon Analizi Yöntemi İle Kalitatif Ve Kantitatif Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 71 s.
- HIZARCI, S. Radyasyon Kaynakları ve Radyasyondan Korunma, TAEK, <https://docplayer.biz.tr/1363465-Radyasyon-kaynaklari-ve-radyasyondan-korunma.html>
- KAÇAR, A. 2006. Yapılarda Radyasyon Kalkanı Olarak Kullanılan Barit Agregalı Ağır Beton Elemanların Zırh Kalınlık Hesaplarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 72 s.
- KAPLAN, E., KOÇ, E., 2007. Kumaş Kaplama Teknikleri ve Kaplanmış Kumaş Özelliklerinin İncelenmesi, II. Tekstil Teknolojileri ve Tekstil Makineleri Kongresi, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Gaziantep, 1-11.
- KESER, F. 2017. Kaplama Tekniği İle Üretilen Kumaşlar. Ders Tekstil, <https://www.derstekstil.name.tr/component/k2/item/533-kaplama-teknigi-ile-uretilen-kumaslar.html>, (02.07.2017).
- KILINÇARSLAN, Ş. 2005. Barit Agregalı Ağır Betonların Radyasyon Zırhlamasındaki Özellikleri ve Optimal Karışımlarının Araştırılması. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 118 s.
- KILINÇASLAN, Ş., BAŞYİĞİT, C., AKKURT, İ., 2007. Barit Agregalı Ağır Betonların Radyasyon Zırhlama Amacıyla Kullanılmasının Araştırılması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 22, No 2, s.393-399.

- KIPÇAK, S. A. 2009. Bazı Bor Bileşiklerinin Nötron Zırhlanmasında Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 159 s.
- KORKUT, T., KORKUT H., KARABULUT A., BUDAK G., 2011. A New Radiation Shielding Material, Amethyst Ore, Annals of Nuclear Energy, 38: 56-59.
- KRANE, K. S. 2006. Nükleer Fizik I&II, (Çev. Ed. Başar Şarer), Palme Yayıncılık, II. Baskı, Ankara, 402 s.
- KUŞ, K. 2012. Radyasyonun Biyolojik Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü, Trabzon, 28 s.
- KUT, D., GÜNEŞOĞLU, C., 2005. Poliakrilat Kaplanmış Kumaşların Performans Özelliklerinin Karşılaştırılması”, Tekstil Maraton, 15, Sayı:80.
- KÜHBECK, D., ve diğerleri, 2015. Evaluation of the nitroaldol reaction in the presence of metal ion-crosslinked alginates, New Journal of Chemistry, 39, 2306-2315.
- MAHLTİG, B., HAUF, H., BÖTTCHER, H., (2005), “Functionalisation of textiles by inorganic sol-gel coatings”, Journal of Materials Chemistry, 15, 4385-4398.
- MAITY, S., SINGHA, K., DEBNATH, P., SINGHA, M., 2013. Textiles in Electromagnetic Radiation Protection, Journal of Safety Engineering 2, 11-19.
- Millî Eğitim Bakanlığı, 2011. Radyasyonun Zararlı Etkileri http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Radyasyonun%20Zararlı%20Etkileri.pdf Ankara, (05.04.2017).
- MOLLA, T. 2011. Radyasyon Zırhlamasında kullanılacak Baritli Kumaş Üretimi ve Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 73 s.
- MURRAY, R. L., HOLBERT, K. E., Nuclear Energy, 2015, Elsevier.
- MÜJDE, A.S. 2012. Türkiye’de Kullanımdaki Bazı Tekstil Ürünlerinin Radyasyon Azaltma Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ağrı, 66 s.
- ÖZDEMİR, F. 2013. Konya’nın Termal Sularında 222rn Konsantrasyonu Değişimlerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Konya, 70 s.
- Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, 2011, International Atomic Energy Agency.
- ROSATO, D.V., ROSATO, D.V., ROSATO, M.V., 2004. “Plastic Product Material and Process Selection Handbook”, Elsevier.

- SCHILK, R., 2002. Yüksek Değerli ve Modern Tekstillerin Anahtarı Olarak Tekstil Kaplamaları, I. Uluslararası Teknik Tekstiller Kongresi, İzmir.
- SEN A.K., DAMEWOOD, J., 2001. Coated Textiles: Principles and Applications. Illustrated edition, CRC Press, (<https://doi.org/10.1201/9781420053463>), Boca Raton, 264 s.
- SEYREK, E. 2007. Radyoizotopların Üretimi Ve Radyoterapide Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fizik Eğitimi Anabilim Dalı, 64 s
- ŞEVİK, M. 2014. Milli İmkânlarla Sentezlenen Ve Karakterize edilen Nanopartiküler "Sodyumpentaborat" Kullanılarak Üretilen Materyallerin Radyasyon Önleyici Performanslarının Nötron, gama ve x-Işını Araştırması, Tübitak Projesi.
- TOPRAK, D. 2006. Polisakkaritlerin Gama Işınları İle Bozunma Mekanizmasının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 133 s.
- TURHAN, A. 2008. Borlamanın Paslanmaz Çeliğin Radyasyon Zırhlama Özelliğine Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 83s.
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği, <http://www.taek.gov.tr/tr/belgeler-formlar/mevzuat/yonetmelikler/radyasyon-guvenligi/radyasyon-guvenligi-yonetmeli>
- TÜYSÜZ, M. Z. 2004. Co-60 Teleterapi Kaynağı için Monte Carlo Yöntemiyle Uygun Zırh Tasarımı. Bitirme Ödevi, Harran Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, Şanlıurfa, 39 s.
- TUNÇEL, N. 2014. Radyasyon Fiziğine Giriş, Akdeniz Üniversitesi
- QIANMİN M. ve QIANMING W., 2015. Lanthanide induced formation of novel luminescent alginate hydrogels and detection features, Carbohydrate Polymers, 133 s.
- ULU M. O., POLATÖZ A., 2008. Parçacık Detektörlerinin Tıpta Kullanımı. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Adana, Cilt:19-1 143.
- YALÇIN Ş. L. Parçacıklar ve radyasyonun madde ile etkileşmesi, aves.istanbul.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=1&USER=40350, İstanbul, 28 s.
- YILDIRIM, H. 2011. Ağır Betonların Nükleer Radasyon Zırhlama Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 108 s.
- YILDIRIM, K., AYDIN, N., KÖSTEM, A.M., GÜÇER, Ş., 2005. Poliüretan Kaplamalı Tekstil Yüzeylerinde Ortaya Çıkan Sorunlar ve Çözüm Önerileri, II. Uluslararası Teknik Tekstiller Kongresi, İstanbul.
- YILMAZ, E. 2005. Radyasyondan Korunma, HDM Kalite Kontrol Teknolojileri Hizmetleri Ltd. <http://ankalite.com.tr/wp-content/uploads/2016/11/07-RADYASkorunMA.doc.pdf>, (06.05.2018).

Zuguchi M. Usefulness of non-lead aprons in radiation protection for physicians performing interventional procedures. Radiation Protection Dosimetry (2008), Vol. 131, No. 4, pp. 531–534.

<http://advancedtextilesource.com/2014/04/radiation-protective-textiles-for-earth-and-beyond/> [16 Mart 2016].

<https://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/html/xcom1.html> (2 Haziran 2018).

<http://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/tab3.html> (16 Mart 2018).

<https://nukleer.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Dunyada-Nukleer-Guc-Santralleri> (10.06.2019).



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	: Yusuf DEMİREL
Doğum Tarihi ve Yeri	: Bafra
Yabancı Dili	: Almanca
E-posta	: ydemirel@sinop.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

<u>Derece</u>	<u>Alan</u>	<u>Okul/Üniversite</u>	<u>Mezuniyet Yılı</u>
Lisans	Tekstil Mühendisliği	Ege Üniversitesi	1995
Lisans	Fizik Bölümü	19 Mayıs Üniversitesi	2012
Lisans	Matematik Bölümü	19 Mayıs Üniversitesi	2013

İŞ TECRÜBESİ

<u>Yıl</u>	<u>Firma/Kurum</u>	<u>Görevi</u>
2012	Gerze Meslek Yüksekokulu	Öğretim Görevlisi
2007	Öztek Stampı Tekstil A.Ş.	Baskı şefi
2006	Sanko Tekstil A.Ş.	Baskı Md. Yrd.
2004	İzmir Basma Fabrikası	Baskı şefi
2003	Ağaoğlu Tekstil	İşletme Md. Yrd.
2002	Küçükler Tekstil	Planlama Md.
1995	İzmir Basma Fabrikası	Apri Şefi

Proje

.	BAP Projesi “Gama Işını Soğurma Gücü Yüksek Tekstil Kaplama Malzemesi Geliştirme” (araştırmacı)
---	---