

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**RADYASYON ZIRHLANMASINDA POLİMER-
TUNGSTEN BİLEŞİK KOMPOZİTLERİN
ETKİNLİĞİNİN TEST EDİLMESİ**

Hale Melis SOYLU

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fatma YURT LAMBRECHT

Biyomedikal Teknolojiler Anabilim Dalı

**Bilim Dalı Kodu:
Sunuş Tarihi:12/06/2014**

Bornova – İzmir

2014

Hale Melis SOYLU tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan “Radyasyon Zırhlamasında Polimer-Tungsten Bileşik Kompozitlerin Etkinliğinin Test Edilmesi” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesinin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 12.06.2014 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Fatma YURT LAMBRECHT

Raportör Üye : Doç. Dr. Murat PEHLİVAN

Üye : Doç. Dr. Berkay CAMGÖZ

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “RADYASYON ZIRHLANMASINDA POLİMER-TUNGSTEN BİLEŞİK KOMPOZİTLERİN ETKİNLİĞİNİN TEST EDİLMESİ” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

27 / 05 /2014

Hale Melis SOYLU

ÖZET**RADYASYON ZIRHLANMASINDA POLİMER-TUNGSTEN
BİLEŞİK KOMPOZİTLERİN ETKİNLİĞİNİN TEST EDİLMESİ**

SOYLU, H. Melis

Yüksek Lisans Tezi, Biyomedikal Teknolojiler Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fatma YURT LAMBRECHT

Haziran 2014, 37 sayfa

Radyasyon daima doğada var olan ve birlikte yaşadığımız bir olgudur. Radyasyondan korunma üç temel prensibe dayanır. Bunlar zaman, mesafe ve zırhlamadır. Zaman ve mesafe radyasyonla çalışan personelin ve hastaların kendi kendilerine ya da birbirlerinin yardımıyla alabilecekleri önlemlerdir. Fakat zırhlama, personelin ve hastanın çevresindeki imkanlar dahilinde kullanacağı materyale bağlıdır. Bu materyalin ince, kolay şekil alabilen, dayanıklı ve toksik açıdan çevreye ya da kullanıcıya bir zarar sağlamaması, kullanım kolaylığı ve kullanıcıların konforu açısından büyük önem taşır.

Bugüne kadar zırhlama materyali olarak genellikle kurşun kullanılmıştır. Nükleer tıpta, radyoloji kliniklerinde, üniversitelerde kısacası insan sağlığına zararlı olabilecek radyasyonun kullanıldığı her yerde kurşundan yapılmış yelekler, bloklar, camlar, kaplar kullanılmaktadır. Radyasyondan korunmak için kullanılan kurşundan yapılmış materyaller çalışanlar için hem çok kalın hem de çok ağır olduğundan koruyucu malzemelerin kullanılmaması gibi ihmalkârlıklara sebep olabilir. Bu ihmalkârlıklar kişinin sağlığı ve yaşam kalitesi açısından birçok risk ve tehdit oluşturmaktadır. Bu olumsuzluklar, zırhlama alanında farklı malzemeler üretilip kullanılması ile ilgili araştırmaların yoğunluk kazanmasına sebep olmuştur.

Bu araştırmada yüksek yoğunluklu, ince ve şekil alabilir bir formda, yapısında tungsten karbür tozları ve polimer bulunduran yeni bir malzemenin üretilmesi hedeflenmiştir.

Polimere %50, %60, %70, oranlarında tungsten karbür bileşikleri karıştırılarak 50 mm çapında 1 mm ve 2 mm kalınlıklarında diskler elde edilip bu disklerin ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{131}I gama kaynaklarına karşı durduruculuğu Geiger-Müllerdedektörü kullanılarak test edilmiştir. Çalışma sonucunda durduruculuğu en iyi olan oran saptanmıştır. 2 mm kalınlıkta %70 oranında tungsten karbür içeren diskin ^{137}Cs kaynağı karşısında en yüksek zırlama verimine ulaştığı görülmüştür.

Anahtar sözcükler: Gama radyasyonu, zırlama, tungsten karbür, polimer, kurşunsuz

ABSTRACT**TESTING OF EFFICIENCY OF POLYMER - TUNGSTEN
COMPOUND COMPOSITES IN GAMMA RADIATION
SHIELDING**

MSc, Department of Biomedical Technologies

Supervisor: Prof. Dr. Fatma YURT LAMBRECHT

June 2014, 37 pages

Radiation is a fact that always exists in nature and the thing we have been lived with. Protection of radiation depends on three basic principle. These are time, distance and shielding. Time and distance are preventions which is taken by patients and staff in radiation area on their own or with the help of each other. But shielding depends on material that is used within bounds of possibilities around patients and staff. Being thin, flexible, durable, environmental friendly and non-toxic material is important for ease of use and comfort of uses.

Lead is generally used as a shielding material by this time. The materials are made of lead like vests, blocks, pane of glasses and containers are used in nuclear medicine, radiology clinics and universities. The materials including lead for radiation protection could cause negligences because of their thicknesses and weightness. These negligences generate quite a few risk and threat for health and life quality of a person. These negations cause associated researches about uses different materials for shielding.

The aim of this study is to product a new material that includes polymer and tungsten carbide powder in its structure, which should has high density and its form should be slim and elastic.

Discs were manufactured by mixing polymer material and 50%, 60%, 70% tungsten carbide. Their diameters are 50 mm and 1 mm, 2 mm thickness. Absorption characteristics of these disks against to gamma sources (^{241}Am , ^{137}Cs , ^{131}I) were measured with Geiger-Müller dedector. Evaluation result of data, optimum % shielding effect of disc was determined in the metal ratio of disks.

The disc has 2 mm thickness and contain 70% tungsten carbide reached. It is observed that the highest shielding efficiency against source of ^{137}Cs .

Key words: Gamma radiation, shielding, tungsten carbide, polymer, lead-free

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve tecrübeleri ile bana ışık tutan, yol gösteren ve tez çalışmalarım süresince göstermiş olduğu destek, sabır ve hoşgörüsü için çok değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Fatma YURT LAMBRECHT'e,

Nükleer Bilimler Enstitüsü laboratuvarlarında her türlü çalışma imkanını sağlayan Enstitüsü Müdürü Sayın Prof. Dr. Perihan ÜNAK'a

Tez çalışmam boyunca bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyerek tezime bir çok katkı sağlayan Ege Üniversitesi Fizik Bölümü'nden Sayın Prof. Dr. Saim SELVİ'ye,

Çalışmalarım süresince malzeme analizleri için her türlü imkanı sağlayan ve yardımlarını esirgemeyen Mersin Üniversitesi, İleri Teknoloji Eğitim, Araştırma ve Uygulama Merkezi'nden Sayın Doç. Dr. Kasım OCAKOĞLU'na ve Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden Mehmet Genç'er'e,

Çalışmalarım sırasında manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen her zaman yanımda olan Ulaş GÜRER'e ve öğrenci arkadaşlarıma,

Yaşamım boyunca eğitimim için her türlü fedakarlığı yapan, bana olan inancı ve güveniyle her zaman arkamda olan ve sonsuz destek sağlayan sevgili AİLEME,

Teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xx
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1 Radyasyon	3
2.2 Radyasyon Kaynakları	4
2.2.1 Doğal radyasyon kaynakları	5
2.2.2 Yapay radyasyon kaynakları	5
2.3 Bozunum Türleri	6
2.3.1 Alfa bozunumu	6
2.3.2 Beta bozunumu	6
2.3.3 Gama bozunumu	7
2.4 Gama Radyasyonunun Madde ile Etkileşim	8
2.4.1 Fotoelektrik olay	9

İÇİNDEKİLER (devam)

2.4.2 Compton saçılması.....	9
2.4.3 Çift oluşumu.....	10
2.5 Radyasyonun Biyolojik Etkileri.....	11
2.6 Radyasyondan Korunma	12
2.7 Radyasyondan Korunma Yöntemleri.....	13
2.7.1 Zaman.....	13
2.7.2 Mesafe	13
2.7.3 Zırhlama	14
2.8 Polimerler.....	14
2.9 Etilen Vinil Asetat.....	15
2.10 Tungsten Karbür	17
3. MATERYAL VE YÖNTEM	18
3.1 Kullanılan cihaz ve kimyasallar	18
3.1.1 Kullanılan kimyasallar	18
3.1.2 Kullanılan cihazlar	18
3.2 Polimer Kompozit Disklerin Hazırlanması.....	18
3.3 Gama Dedeksiyonu	20
4. BULGULAR.....	22

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5. TARTIŞMA.....	30
6. SONUÇ.....	32
7. ÖNERİLER.....	33
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	34
ÖZGEÇMİŞ.....	37
EKLER	

ŞEKİLLER DİZİNİŞekil Sayfa

2.1 Radyasyonun iyonlaştırıcı özelliğine göre sınıflandırılması	3
2.2 Radyasyonun dalga ve parçacık özelliğine göre sınıflandırılması	4
2.3 Radyasyon kaynaklarının yüzdesel dağılımı	5
2.4 Elektromanyetik spektrum.....	8
2.5 Fotoelektrik olay	9
2.6 Compton saçılması.....	10
2.7 Alfa, beta ve gama parçacıkların madde içerisindeki aldıkları yollar	14
2.8 EVA'nın polimerizasyon şeması	16
2.9 Tungsten karbür moleküler yapısı	17
3.1 a) Microcompounder, b) Microcompounder'in kovan yapısı.....	19
3.2 a) Tungsten karbür - EVA kompozit disk, b) Saf EVA disk	20
3.3 a) Deney düzeneği b) Dedektör penceresi c) Diskin dedektör penceresine yerleştirilmesi d) Gama kaynağı	21
4.1 % 50 oranında WC içeren kompozit disk SEM görüntüsü.....	22
4.2 % 60 oranında WC içeren kompozit disk SEM görüntüsü.....	23
4.3 % 70 oranında WC içeren kompozit disk SEM görüntüsü.....	23
4.4 ¹³⁷ Cs için WC oranlarına göre zırhlama verimi grafiği	24

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

ŞekilSayfa

4.5 ¹³¹ I için WC oranlarına göre zırlama verimi grafiği	26
4.6 ²⁴¹ Am için WC oranlarına göre zırlama verimi grafiği.....	28

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge Sayfa

4.1 Hazırlanan disklerin Shore-D sertlikleri	22
4.2 ¹³⁷ Cs nokta kaynağına maruz bırakılan disklerin verimleri	24
4.3 ¹³⁷ Cs nokta kaynağına maruz bırakılan disklerin verimleri	24
4.4 ¹³⁷ Cs için WC oranlarına göre zırhlama verimi grafiği	25
4.5 ¹³¹ I nokta kaynağına maruz bırakılan disklerin verimleri	25
4.6 ¹³¹ I nokta kaynağına maruz bırakılan disklerin verimleri	26
4.7 ¹³¹ I nokta kaynağına maruz bırakılan disklerin verimleri	27
4.8 ²⁴¹ Am nokta kaynağına maruz bırakılan disklerin verimleri	27
4.9 ²⁴¹ Am nokta kaynağına maruz bırakılan disklerin verimleri	28
4.10 ²⁴¹ Am nokta kaynağına maruz bırakılan disklerin lineer soğurma katsayıları	29

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
Gy	Gray
Ci	Curie
Bq	Becquerel
R	Röntgen
rad	Radiation absorbed dose
rem	Roentgen equivalent man
Sv	Sievert
μ/ρ	Kütle soğurma katsayısı
 <u>Kısaltmalar</u>	
EVA	Etilen vinil asetat
WC	Tungsten karbür
GM	Geiger-Müller
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
ALARA	As Low As Reasonable Achievable
MC	Monte Carlo
SEBS	Stiren-bütadien-stiren

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

DNA	Deoksiribonükleik asit
MNCP	Monte Carlo N-particle transport code
ICRP	International System of Radiological Protection
IAEA	International Atomic Energy Agency

1.GİRİŞ

Yaşamımızda radyasyonun kullanımı ve etkileri çok önemli bir yer tutar. Günlük hayatta iyonlaştırıcı radyasyonlara maruz kalınması sağlık açısından ölümcül bir risk oluşturabilir. Bu da radyasyonun zarar verici etkilerinden korunmak için çözüm yolları aranmasına neden olmuştur.

Radyasyondan korunma üç temel prensibe dayanır. Bunlar zaman, mesafe ve zırhlama. Radyasyon üretebilen bir cihaz ya da radyoaktif bir kaynağın bulunduğu ortamda ne kadar az zaman geçirilirse o kadar az doza maruz kalınır. Radyoaktif kaynak veya radyasyon üreten bir cihazın ışınlama sırasında kaynağa olan mesafe ne kadar fazla ise o kadar az doza maruz kalınır. Radyasyon kaynağı ile kişi arasında uygun bir engel olması durumunda da radyasyona daha az maruz kalınır. Bu da radyasyona karşı zırhlama etkisini gösterir.

İyonlaştırıcı radyasyonun, zararlı etkilerinin yanı sıra kullanım alanlarına göre birçok yararlı etkileri de vardır. Yararları en çok, tıp alanında hastalıkların teşhisinde ve tedavisinde kullanılırken görülebilir. Radyolojide görüntüleme amaçlı X-ışınlarının kullanıldığı görüldüğü gibi nükleer tıpta da radyoizotopların yaydıkları gama ışınları kullanılarak sintigrafi yöntemi ile ve radyofarmasötiklerle bazı tümörlü doku görüntüleme ya da çeşitli radyonüklidler kullanılarak bazı kanser türlerinin tedavi edildiği görülmektedir.

Radyasyonun bu kadar yoğun bir şekilde hayatın içinde olması, insan güvenliği açısından korunma önlemleri alınmasını gerektirir. Zırhlama bu açıdan çok önemlidir. Geçmişten günümüze kadar zırhlama materyali olarak yüksek soğurma yeteneğinden dolayı kurşun kullanılmaktadır. Yüksek dozda radyasyonun bulunduğu odaların duvarları, kalın kurşun bloklarla kaplanmakta, radyoaktif elementler ağır ve kalın kurşun kaplarda saklanmaktadır. Radyoloji ve nükleer tıp çalışanları radyasyona maruz kalmamak için hala kalın kurşun önlükler giymektedirler. Bunlar çalışanların hareket kabiliyetini kısıtlamakta ve çok ağır oldukları için koruyucu malzemelerin kullanılmaması gibi ihmalkârlıklara sebep olmaktadır. Ayrıca kurşun toksik etkisinden dolayı insan sağlığı için tehlikeleri olan bir elementtir. Bu olumsuzluklar, zırhlama alanında

farklı malzemeler üretilip kullanılması ile ilgili araştırmaların yoğunluk kazanmasına sebep olmuştur. Böyle dezavantajları olan bir materyale alternatif olabilecek malzemelerin başta kurşun oranını azaltarak daha sonrada kurşun kullanılmayarak üretilmesi hedeflenmiştir. Bu malzemeler arasında polimer kompozitlerin toksik etki yaratmamlarından dolayı bu tür malzemelere ilgi artmıştır.

Yue ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada kurşunun yerine tungsten ve hidrojenize edilmiş (stiren butadien – stiren) SEBS kopolimerinin kullanılmasıyla yeni bir materyal elde edilmiştir. Monte Carlo metodu kullanılarak çalışmışlardır. Teorik olarak yapılan bu çalışma sonunda tungsten ile polimerlerin karıştırılarak hazırlanan kompozitlerin istenilen zırhlama materyali fikrinin olabileceği desteklenmiştir.

Ivanova ve arkadaşlarının çalışmasında ise radyoterapide radyasyondan korunma amaçlı yüksek yoğunluklu polimer-metal kompozitler kullanılmıştır. Bu kompozitlerin hazırlanmasında tungsten tozu ve polimer karıştırılarak yüksek yoğunluğa ve dūřuk X-ışını geçirgenliğine ulaşılmıştır.

Bu araştırmada ise yüksek yoğunlukta, ince ve şekil alabilir bir formda, yapısında tungsten karbür içeren polimer kompozit yeni bir malzemenin üretilmesi hedeflenmiştir. Polimere ilave edilen tungsten karbür %50, %60, %70 oranlarında karıştırılmış ve elde edilen diskler gama ışıması yapan ²⁴¹Am, ¹³⁷Cs ve ¹³¹I radyoizotopları kullanılarak, bu malzemelerin zırhlama kabiliyetleri test edilip en iyi sonucu elde edeceğimiz oran ve malzeme kalınlığı saptanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

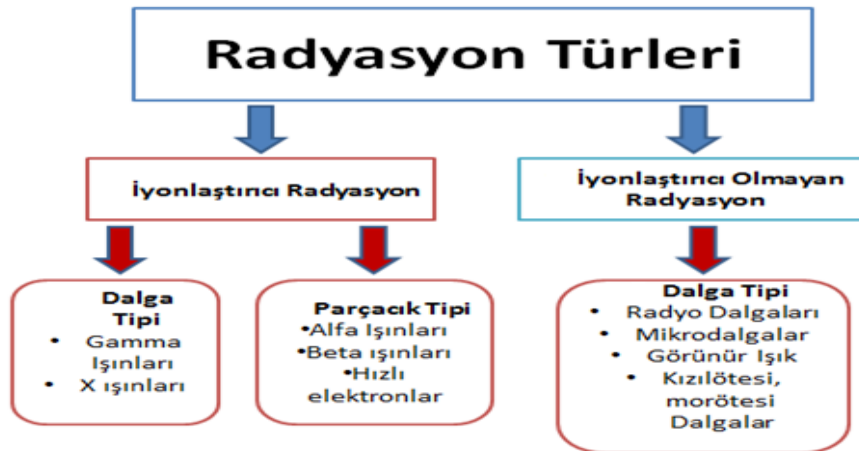
2.1 Radyasyon

Atom içerisinde proton ve nötron oranı dengesiz olduğunda ortaya kararsız bir atom çıkar. Kararsız atomlar da etrafına çeşitli ışınlar yaparak kararlı hale geçmeye çalışırlar. Bunu yaparken yaydıkları ışınlara radyasyon denir. Radyasyon, dalga, parçacık veya foton olarak adlandırılan enerji paketleri ile yayılır. Daima doğada var olan ve birlikte yaşadığımız bir olgudur. Radyo ve televizyon iletişimini sağlayan radyo-dalgaları, tıpta, endüstride kullanılan X-ışınları, γ -ışınları ve kozmik ışınlar günlük hayatta maruz kalınan radyasyon çeşitleridir.

Radyasyon, boşlukta ve madde içerisinde hareket edebilen enerji olarak düşünülebilir. Yayınlayan kaynağın özelliğine bağlı olarak bu enerji, parçacıklar veya elektromanyetik dalgalar tarafından taşınabilir. Radyasyonu tanımlamada üç ana parametre kullanılır.

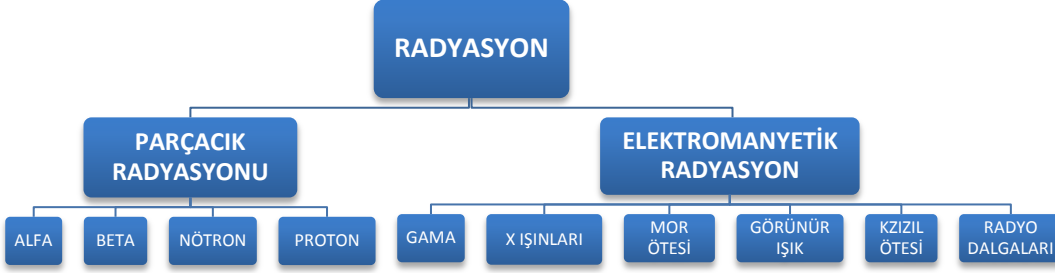
- ✓ *Enerji* (Düşük ve yüksek enerjili radyasyon)
- ✓ *Tür* (Parçacık radyasyonu ve elektromanyetik radyasyon)
- ✓ *Kaynak* (Doğal ve yapay radyasyon kaynakları)

Radyasyon iyonlaştırıcı özelliğine göre iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak ikiye ayrılır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Radyasyonun iyonlaştırıcı özelliğine göre sınıflandırılması.

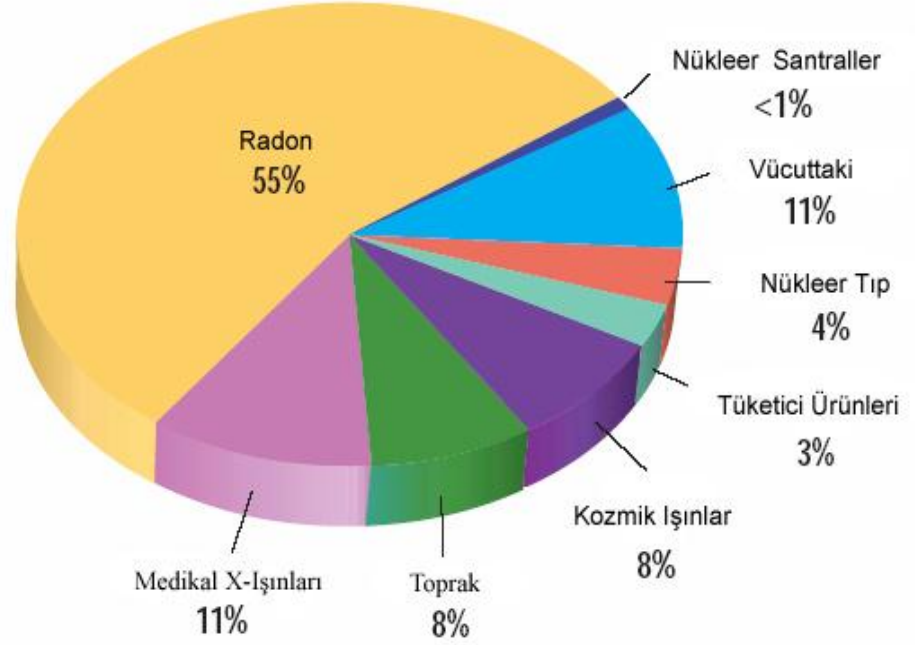
Ayrıca dalga ve parçacık özelliğine göre bakıldığında da parçacık radyasyonu ve elektromanyetik radyasyon olarak iki gruba ayırmamız mümkündür (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Radyasyonun dalga ve parçacık özelliğine göre sınıflandırılması.

2.2 Radyasyon Kaynakları

İnsanoğlu varoluşundan bu yana sürekli olarak radyasyonla iç içe yaşamak zorunda kalmıştır. Dünyanın oluşumuyla birlikte doğada yerini alan çok uzun ömürlü (milyarlarca yıl) radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. Geçtiğimiz yüzyılda bu doğal düzey, nükleer bomba denemeleri ve bazı teknolojik ürünlerin kullanımı ile bir hayli artış göstermiştir. Maruz kalınan doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirleyen birçok neden vardır. Yaşanılan yer, bu yerin toprak yapısı, barınılan binalarda kullanılan malzemeler, mevsimler, kutuplara olan uzaklık ve hava şartları bu nedenlerden bazılarıdır. Yağmur, kar, alçak basınç, yüksek basınç ve rüzgar yönü gibi etkenler de doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirler (TAEK, 2013). Radyasyon kaynakları, doğal ve yapay olmak üzere, iki gruba ayrılır.



Şekil 2.3 Radyasyon kaynaklarının yüzdesel dağılımı.

2.2.1 Doğal radyasyon kaynakları

Doğal radyasyonun bir kısmını uzaydan gelen kozmik ışınlar oluşturur. Bu ışınların büyük bir kısmı dünya atmosferinden geçmeye çalışırken tutulurlar. Sadece küçük bir miktarı yerküreye ulaşır. Bir başka doğal radyasyon kaynağı olan fosil yakıtlar, doğal ve uzun ömürlü radyoaktif elementler içerir. Bu tür elementler yakıt içinde iken bir radyasyon tehlikesi yaratmasalar da yakıtlar yakıldığında atmosfere yayılırlar. Doğal radyasyon düzeyini arttıran en önemli sebeplerden biri de yer kabuğunda yaygın bir şekilde bulunan radyoaktif radyum elementinin (^{226}Ra) bozunması sırasında salınan radon gazıdır. Bu gaz teneffüs edildiğinde akciğerlere geçici olarak yerleşip tüm dokuların radyasyona maruz kalmasına sebep olabilir (TAEK, 2013).

2.2.2 Yapay radyasyon kaynakları

Tıbbi, zirai ve endüstriyel amaçla kullanılan X ışınları ve yapay radyoizotoplar, nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler, çok az da olsa nükleer güç üretiminden salınan radyonüklidler ile bazı

tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler bilinen başlıca yapay radyasyon kaynaklarıdır (TAEK, 2013).

2.3 Bozunum Türleri

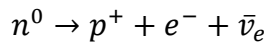
2.3.1 Alfa bozunumu

Alfa bozunumu, atomun alfa parçacığı salarak fazla enerjisinden kurtulmasıdır. Alfa saçılması radyoaktif salınımıdır. Salınım durumunda atom numarası 2, kütle numarası ise 4 azalır. Rutherford alfa parçacığının gerçekte He çekirdeği olduğunu göstermiştir. Bu bozunumda proton ve nötron sayıları ayrı ayrı korunur. Ayrıca toplam enerji de korunmalıdır.

2.3.2 Beta bozunumu

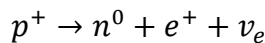
Beta bozunumunun üç farklı türü vardır. Bunlar:

- β^- bozunumu: Eğer bir radyonüklidin kararsızlığı çekirdekdeki nötron fazlalığından ileri geliyorsa, çekirdeğindeki enerji fazlalığını gidermek için nötronlardan birini proton ve elektron haline dönüştürür. Proton çekirdekte kalırken, elektron hızla atomdan dışarı atılır. Bu olay aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.



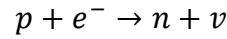
Bu yüksek hızlı elektrona beta parçacığı adı verilir. Bu şekilde beta emisyonu yapan radyonüklidin atom numarası bir artar ve kendinden bir sonraki elementin izobar atomuna dönüşür. Bu bozunuma sırasında kütle sayısı değişmediğinden izobarik bozunma adı verilmiştir (Tüysüz vd., 2004).

- $^+\beta$ bozunumu: Atomun kararsızlığı proton fazlalığından veya nötron azlığından ileri geliyorsa protonlardan biri nötron ve pozitif yüklü elektrona (pozitrona) dönüşür. $^+\beta$ bozunumu aşağıdaki denklemle ifade edilir.



Nötron çekirdekte kalır, pozitron dışarı fırlatılır. Böylece pozitron yayımlayan radyonüklidin proton sayısı (atom numarası) bir eksilerek kendinden bir önceki elementin (izobar) atomuna dönüşür, ancak kütle sayısı değişmez (Tüysüz vd., 2004).

- Elektron Yakalama Olayı: Çekirdek proton fazlalığından dolayı kararsız ise atomun çekirdeğe yakın (K, L) yörüngelerine yakın elektronlarından biri çekirdek tarafından yakalanır. Elektronla bir proton birleşerek nötron ve nötrino haline dönüşür. Bu bozunumda çekirdekten parçacık salınmaz ancak pozitron bozunmasında olduğu gibi proton sayısı bir eksilir. Kütle numarası ise aynı kalır. Bu olayda boşalan elektron yörüngesine üst yörüngelerdeki başka bir elektron geçer ve bremmstrahlung (frenleme) radyasyonu adı verilen X ışınları yayınlanır (Tüysüz vd., 2004).



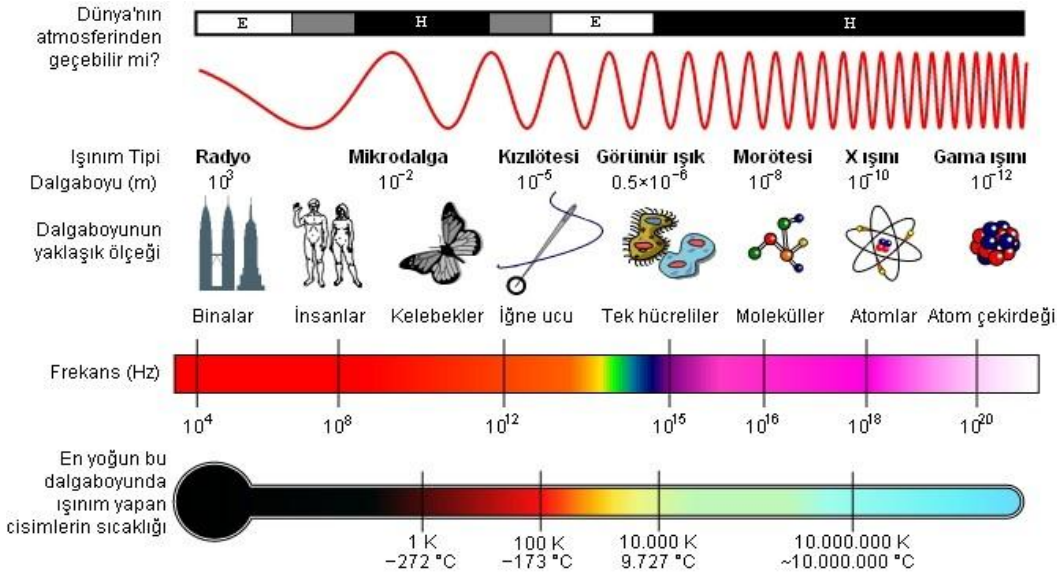
2.3.3 Gama bozunumu

Radyoaktif bozunum (alfa veya beta) yapmış veya bir nükleer reaksiyondan sonra ortaya çıkan ürün çekirdek, genellikle, uyarılmış enerji seviyesinde kalır. Bu durumdaki çekirdek ikinci bir bozunum ile bir foton yayınlamaya daha düşük enerji seviyesine ve sonunda taban enerji seviyesine düşer. Bu şekilde, çekirdeğin uyarılmış enerji seviyesinden temel enerji seviyesine düşerken yayınladığı fotonlara *gama ışını* denir.

Gama ışınlarının enerjileri tipik olarak 0,1 - 10 MeV arasında olup çekirdek durumları arasındaki enerji farkı mertebesinde ve bu 10^4 ile 100 fm dalga boyu aralığına karşılık gelir. Gama ışınları elektromanyetik spektrumun en kısa dalga boylu ve en fazla enerjili olanlarıdır, kütleleri yoktur ve yüksüzdürler dolayısı ile elektrik ve manyetik alanda saptırılamazlar, yüksek enerjilerinden dolayı madde içerisinde yol alabilirler, ışık hızı ile yayılırlar ve gazları iyonlaştırıcı özellikleri vardır.

Gama yayınlanmasının yarı ömrü diğer bozunumlara göre çok kısadır. Genellikle 10^{-9} saniyeden daha küçüktür. Ancak, saat hatta gün mertebesinde yarı ömürlü gama yayınlanması da vardır. ^{99m}Tc ve ^{131}I bunlara örnektir (Tüysüz vd., 2004).

Gama ışınlarının elektromanyetik spektrumdaki yeri Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Elektromanyetik spektrum.

2.4 Gama Radyasyonunun Madde ile Etkileşimi

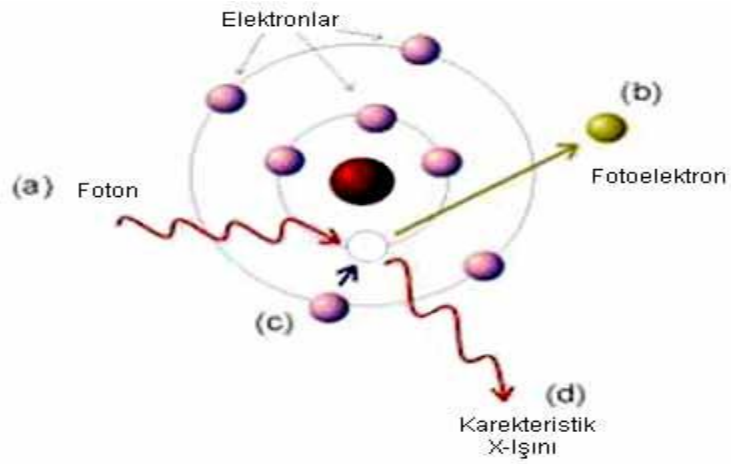
Fotonlar, madde içinden geçerken ortamın atomları ile rasgele yaptıkları karşılıklı etkileşimler sonucunda ya ortama enerji bırakarak absorblanırlar ya da saçılmaya uğrarlar. Gama ışını madde ile üç şekilde etkileşir: Bunlar, fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşumu olaylarıdır.

2.4.1 Fotoelektrik olay

Düşük enerjili bir foton genellikle içinden geçtiği ortamdaki atomların K veya L yörüngesindeki bir elektrona bütün enerjisini vererek onu pozitif yüklü çekirdeğin bağlayıcı kuvvetinden kurtarır. Dışarıya fırlatılan bu elektrona fotoelektron denir. Enerji ve momentumun korunumu için bu olay bir çekirdek içerisinde olmalıdır. Elektronun kinetik enerjisi, fotonun enerjisi ile elektronun bağlanma enerjisinin farkına eşittir:

$$T_E = E_\gamma - B_e$$

Ancak, elektronun bağlanma enerjisi ihmal edilecek kadar küçüktür. Bu sebepten elektronun kinetik enerjisi, fotonun enerjisine yaklaşık olarak eşittir. Fotoelektrik soğurma olasılığı, soğurucu atomun Z sayısı ile doğru, gelen fotonun enerjisi ile ters orantılıdır. Fotoelektrik soğurma olasılığı, düşük enerjili ($E_\gamma < 100$ MeV) fotonlar için son derece önemlidir.

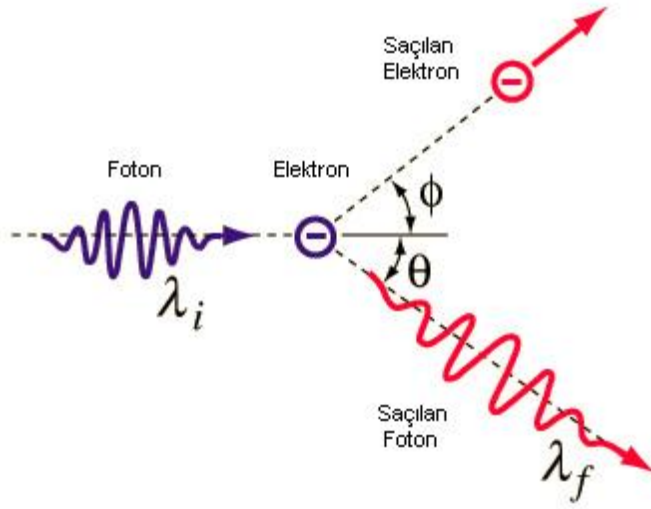


Şekil 2.5 Fotoelektrik olay.

2.4.2 Compton saçılması

Gama ışını fotonlarının, atomun dış yörüngesindeki zayıf bağlı elektron ile yaptığı esnek çarpışma sonucu meydana gelen olaya Compton saçılması denir.

Orta enerjili gama fotonlarında görülen bu çarpışma sonucunda enerji ve momentum korunur. Gelen fotonun enerjisinin bir kısmı elektrona kinetik enerji olarak verilir, geri kalan enerjisi ile foton geliş açısından saparak yoluna devam eder. Meydana gelen yüksek enerjili elektrona Compton elektronu denir. Compton elektronu malzeme içinde iyonizasyon meydana getirerek absorblanır. Enerjisi azalan gama fotonu ise, diğer bir Compton saçılması yapabileceği gibi fotoelektrik olay ile de absorblanabilir.



Şekil 2.6 Compton saçılması.

2.4.3 Çift oluşumu

Eğer, fotonun enerjisi belli bir eşik enerjisini aşarsa ve bu foton atom çekirdeğinin çok yakınından geçerse, kütlesi olmayan fotonun enerjisinden çekirdek yakınında aynı anda biri negatif yüklü elektron diğeri pozitif yüklü pozitron olmak üzere iki parçacık oluşur ve fotonun kendisi yok olur. Bu eşik enerjisi iki elektronun durgun kütle enerjisine ek olarak çekirdeğe transfer edilen geri tepme enerjisi ile verilir. Enerji ve momentum korunumundan bu eşik enerjisi,

$$E \geq 2m_e c^2 + \frac{2m_e^2 c^2}{m_N}$$

olarak hesaplanabilir. Burada m_N çekirdeğin kütesidir. $m_N \gg m_e$ olduğundan etkin eşik enerjisi yaklaşık olarak;

$$E \geq 2m_e c^2$$

kabul edilir. Bu işlemde de momentum korunumu için ağır bir atomun varlığı gereklidir, fakat atoma verilen geri tepme enerjisi ilk denklemdaki diğer terimle karşılaştırıldığında ihmal edilebilir düzeyde olduğu görülmektedir. Pozitron enerjisinin büyük bir kısmını tükettikten sonra, bir elektron ile birleşerek yok olur ve bu yok olma sırasında, 511 keV'lik iki gama ışını yayınlanır. Bu fotonlara, yok olma (anihilasyon) fotonu denir. Bu işlem için $2mc^2$ veya 1,022 MeV'lik bir eşik enerjinin gerekli olduğu açıktır. Genelde çift oluşumu sadece yüksek enerjili fotonlar için önem kazanmaktadır. Özellikle 5 MeV 'in üstündeki enerjiler için baskın hale gelmektedir.

Bununla birlikte eğer elektron-pozitron çifti oluşumu elektronun Coulomb alanında oluyorsa eşik enerjisi,

$$E \geq 4m_e c^2$$

olur (Hubble, 1969).

2.5 Radyasyonunun Biyolojik Etkileri

Uzayda çok yüksek hızlarla hareket eden ışınlar kolaylıkla insan vücuduna nüfuz edebilir ve vücudu oluşturan hücrelere hasar verebilirler. Ayrıca, bu ışınların hücrelerin kimyasal yapılarını değiştirmeleri de mümkündür. Özellikle yüklü parçacıklar, saniyenin binde biri gibi çok kısa süre içinde hücre moleküllerini parçalayıp iyonlarına ayrıştırabilirler. Bununla birlikte, etrafta bulunan diğer hücreleri de fizyolojik görevlerini yapamaz duruma getirebilirler. Bütün bunların sonucunda radyasyona maruz kalan bir hücre ya ölür ya da işlevini yitirir. Aslında az sayıda hücrenin ölmesi önemli değildir. Çünkü normal hayatta yıpranan hücrelerin ölümü ve yerlerine yenilerin doğması doğaldır. Ancak yüksek radyasyon sonucu çok sayıda hücrenin aniden ölmesi veya normal çalışmasının bozulması canlılığın sağlığını önemli ölçüde etkileyen bir olaydır.

Kemik iliği, dalak, kan ve üreme hücreleri gibi hayati önemi fazla olan dokularda radyasyonun etkisi daha erken görülür. Çünkü bu hücreler daha çabuk çoğaldığından bir hücredeki hasar, sakat doğan yeni hücrelerle çığ gibi büyür. Bu ise uzun bir zaman dilimi içerisinde her an bir tümör olarak sonuçlanabilir. Radyasyonun kanserojen etkisi bu şekilde ortaya çıkmaktadır. En büyük tehlike ise hücre çekirdeği içindeki DNA'nın bozulmasıdır. DNA'lardan oluşan kromozomların yapılarının değişmesi, taşıdığı sırların kaybolması ve yeni genetik yapıları hücreler haline dönüşmesi sonucunda ebeveyne benzemeyen yeni bir genotip ortaya çıkar. Bu farklılaşmaya mutasyon adı verilir. Eğer bu durum, bireyin üreme hücrelerinde gerçekleşirse radyasyondan kaynaklanan bu değişiklik gelecek nesillere de aktarılır.

Yüksek dozda radyasyona maruz kalmış bireylerde görülebilecek başlıca hastalıklar şunlardır: Kanda ve kan yapan organlarda tahribat (anemi, lösemi), ciltte ateş yanığını andıran yaralar, gözde katarakt, kısırlık, kanser ve kalıtsal bozukluklardır.

Bir insan vücudunun, kısa bir süre belirli bir radyasyon dozuna maruz kalması sonucu görülebilecek rahatsızlıklar ise kişiden kişiye değişebilir. Radyasyon dozundaki artışa göre yorgunluk, iştahsızlık, halsizlik, bulantı ve kusma, ateş, saç dökülmesi, ishal gibi şikayetler görülebilir. Bu nedenle radyasyondan korunmanın önemi ortaya çıkmaktadır.

2.6 Radyasyondan Korunma

Radyasyon korunmada ICRP'nin 60 numaralı raporunda ve IAEA'nın "Temel Güvenlik Standartları" ismi altında yayımladığı BSS-115 numaralı yayınında radyasyon korunması ile ilgili üç temel ilke önerilmiştir.

□

- * *Gereklilik (Justification)*: Uygulamanın zararlı etkileri göz önünde bulundurularak net bir fayda sağlamayan hiç bir radyasyon uygulamasına izin verilmemelidir.

- * *Optimizasyon (ALARA= As Low As Reasonable Achievable):* Gerekliliği onaylanmış uygulamalarda ekonomik ve sosyal faktörler göz önünde bulundurularak bütün radyasyon işinlamalarında mümkün olan en düşük dozun alınması sağlanmalıdır.
- * *Doz Sınırları:* Kişilerin ve gelecek nesillerin kabul edilemeyecek bir risk altına girmesini engelleyecek olan yaptırımdır. Bu, bir kişinin alabileceği etkin eşdeğer dozun kesin bir şekilde sınırlandırılmasını gerektirir. Bu sınırlar, optimizasyon ilkesini yerine getirmek koşuluyla zorunlu yaptırımlar olup, maliyet gözetmeksizin uygulanacak değerlerdir. Doz kısıtlamaları, kanser ve kalıtsal hasarlar gibi olasılığa bağlı etkilerin ortaya çıkışını kontrol altına almak için belirlenmiştir.

2.7 Radyasyondan Korunma Yöntemleri

ALARA prensibi gereği radyasyonun biyolojik zararlarına karşı alınacak ilk önlem mümkün olan en düşük radyasyon dozu ile çalışmaktır. Buna ek olarak radyasyondan korunmada en etkili üç temel yöntem daha önce de bahsedildiği gibi zaman, mesafe ve zırhlamadır.

2.7.1 Zaman

Radyoaktif kaynağın veya radyasyon kaynağının yakınında ne kadar az zaman geçirilirse o kadar az doza maruz kalınır. Radyasyon uygulamalarında alınan doz, doz hızı ile zamanın çarpımıdır.

$$\text{Doz} = (\text{Doz Şiddeti}) \times (\text{Zaman})$$

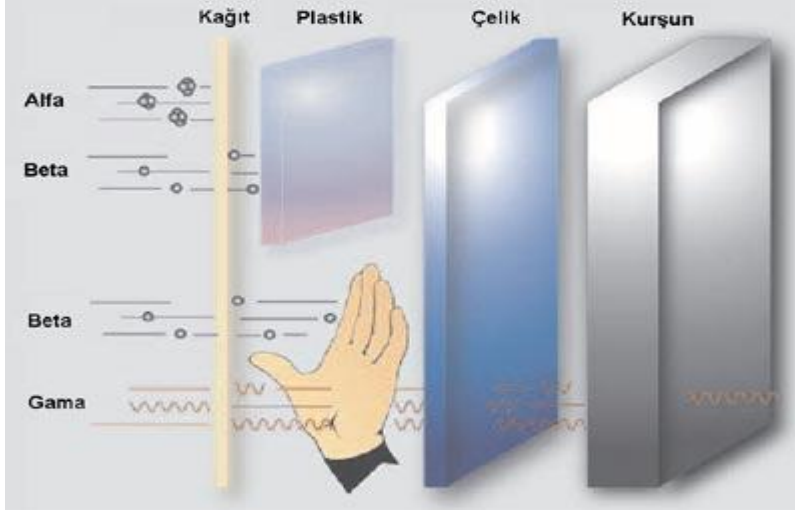
2.7.2 Mesafe

Radyasyon kaynağından uzaklaşarak, maruz kalınabilecek doz miktarı azaltılabilir. Radyasyon kaynağından uzaklaştıkça radyasyonun şiddeti azalır. Doz hızı mesafenin karesi ile ters orantılı olarak azalır.

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \text{ veya } I_1 \times d_2^2 = I_2 \times d_1^2$$

2.7.3 Zırlama

Zırlama, radyasyon kaynağının şiddetini zayıflatmak için radyasyon kaynağı ile kişi arasında, uygun bir koruyucu engelin yerleştirilmesi işlemidir. Yüksek yoğunluklu maddelerden yapılmış malzemeler özellikle X ve gama ışınlarına karşı etkili bir korunma sağlarlar. Zırlamada kullanılan maddenin yoğunluğu arttıkça, gereksinilen kalınlık azalmaktadır. Zırlama işleminde yoğunluğu yüksek metaller kullanıldığından, uygulamalar esnasında ağırlık ve hareket kısıtlamaları gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu sorunlar yüksek yoğunluklu metallerin, polimerler gibi daha hafif ve elastik özellikli olan malzemeler ile kompozitler oluşturularak kullanılması ile çözülebilir.



Şekil 2.7 Alfa, beta ve gama parçacıklarının madde içerisindeki aldıkları yollar.

2.8 Polimerler

Polimerler monomer adı verilen küçük moleküllerin ardarda dizilmesi ile oluşan uzun zincirli yapılardır. Tek bir polimer zincirinde binlerce ya da milyonlarca monomer bulunur. Polimer zincirini oluşturan monomerlerin özellikleri ve zincirlerin birbirleri ile olan etkileşimleri polimer malzeme özelliklerinde belirleyici olmaktadır. Genelde polimer denince ilk akla organik polimerler gelmesine rağmen inorganik polimerler de oldukça yaygındır. (Okay, 2007)

Fiziksel özelliklerine göre polimerler plastikler, fiberler ve elastomerler olarak üçe ayrılır. Plastikler, termoplastikler ve termosetler olarak ikiye ayrılır.

Termoplastikler, lineer veya dallanmış dev moleküllerden yani makromoleküllerden oluşmuşlardır. Termoplastiklerde, makromoleküller arasında kimyasal bağ bulunmaz. Bu bağların bulunmaması termoplastiklerin tekrar tekrar işlenebilmesine imkân sağlamaktadır. Aynı zamanda termoplastikler kimyasal çözücülerde çözülebilmektedir. Termoplastiklere örnek olarak polietilen, polistren ve polipropilen verilebilir.

Termosetler, oda sıcaklığında sıvı halde bulunurlar. Geçirdikleri çeşitli kimyasal işlemlerden sonra katı hal alabilirler. Isıtıldıklarında sertleşirler. Termosetlere örnek olarak polyester, epoksi ve PVC verilebilir.

Fiberler, uzun veya kısa kıymıklar halinde kuvvetli ve dayanıklı maddelerdir; polimerik veya inorganik (cam yünü gibi) esaslı olabilir. Kompozitlerde kuvvetlendirici olarak uzun veya kısa fiberler kullanılabilir. Polimerik fiberlerin kristallik dereceleri yüksek elastikliği düşüktür. Polimerlerin gerdirilerek zincirlerin aynı yönde ve birbirlerine çok yakın düzenlenip yönlendirilmesi ile elde edilirler. Sentetik fiberler özellikle tekstil sanayinde kullanılmaktadır.

Elastomerler, termosetler gibi çapraz bağlı bir yapıya sahiptirler ve uzun zincirli yapıdadırlar. Çapraz bağlı olmaları sebebiyle elastik davranış gösterirler ve oda sıcaklığında orijinal boylarının iki katından daha fazla uzatılabilir, serbest bırakıldıklarında ise tekrar ilk boylarına dönebilirler (Heinisch, 1966). En çok bilinen elastomer kauçuktur.

2.9 Etilen Vinil Asetat (EVA)

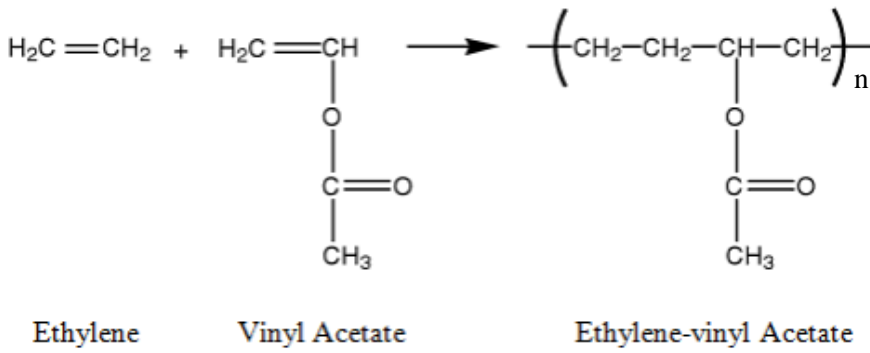
Etilen vinil asetat endüstride yaygın olarak kullanılan vinil asetat içerikli bir kopolimerdir ve özellikleri yapısındaki vinil asetat miktarına göre değişir. Vinil asetat miktarı arttıkça sertliği ve kristalleşme kabiliyeti azalmaktadır. Sertliğin azalmasına bağlı olarak ortaya çıkan esnek yapı özellikle sert polimerlerin

toklaştırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kristalleşme kabiliyetinin azalmasıyla da düşük uygulama sıcaklıklarına dayanım özellikleri artar.

EVA yapısındaki vinil –asetat miktarına göre yapısal özellikler gösterir. Örneğin %7-8 oranındaki düşük vinil asetat içeren EVA kopolimerleri değişmiş polietilenler gibi davranır. %15-20 gibi daha yüksek vinil-asetat içeriklerinde komonomerler iç plastikleştirici gibi davranırlar. Elde edilen darbe dayanım artışı, EVA türüne (vinil-asetat oranına), kullanılan EVA miktarına ve işleme koşullarına bağlıdır. Özellikle poliolefin grubunda yer alan polimerlerde oldukça fazla kullanılırlar.

Vinil-asetat içeriği %10'un altında olan EVA polimerleri ambalaj malzemesi olarak kullanılır. Bunun yanı sıra laminantları buzdolabı torbalarının ağız kısımları, elastomerik esnek filmler, ağır yük taşımaya uygun torbalarda, kapı ve pencere çerçevesinde köpük izolasyonu gibi yapı ürünlerinde, yiyecek paketlemede, otomotiv parçalarında ve bahçe aletlerinde kullanılır.

Bu araştırmada kullanılan EVA'nın içeriğinde ağırlıkça %19 oranında VA vardır. Yoğunluğu ise $0,94 \text{ g/cm}^3$ 'tür.



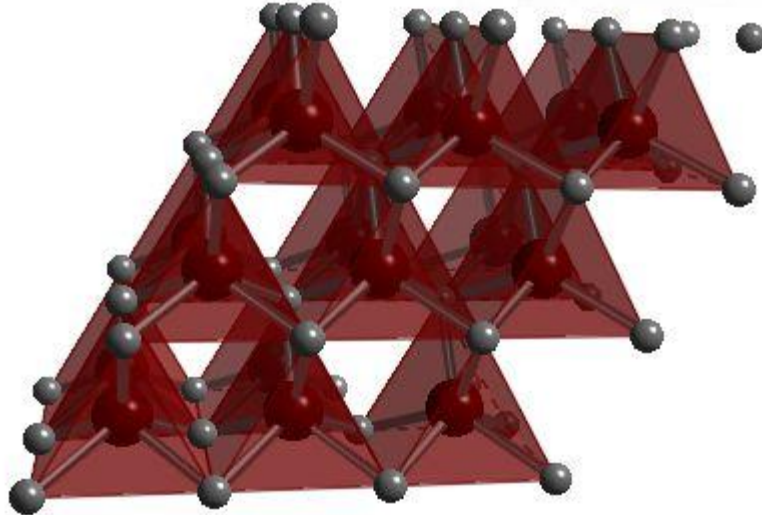
Şekil 2.8 EVA'nın polimerizasyon şeması.

2.10 Tungsten Karbür (WC)

Tungsten karbür, karbon ve tungsten atomlarının 1400°C ila 2000°C sıcaklıkları arasında reaksiyona girmesi ile meydana gelir. Tungsten karbürün en temel şekli ince toz halindedir fakat presleme ve sinterleme yöntemleriyle istenilen forma getirilebilirler. Bu işlem ince toz taneciklerinin belirli bir basınca maruz bırakılması (presleme) ve ardından ısı işlemlerle (sinterleme) tanecikler arası bir bağ oluşturulması yöntemleriyle gerçekleştirilir. Yoğunluğu 15,63 g/cm³, erime sıcaklığı 2870°C 'dir.

Tungstenin karbon ile elde edilen bileşiği tungsten karbür, tungsten elementine göre daha yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Sahip olduğu yüksek sertlik, yüksek aşınma direnci ve yüksek termal iletkenlik gibi özelliklerinden dolayı mühendislik uygulamalarında sıkça kullanılan bir malzemedir (Ecke, 2005).

Sertliği ve sıcaklığa dayanıklılığı, metal sanayinde önemi büyük olan, kesme aletlerinin, imalatında kullanılmasının en önemli nedenidir. Bu sektörde sert metallerin kesilmesi ve işlenmesi esnasında ortaya çıkan, yüksek sıcaklık ve dirençlere karşı koyabilen bir madde olan tungsten karbür, ayrıca silah sanayi başta olmak üzere pek çok sektörde de kullanılan önemli bir malzemedir.



Şekil 2.9 Tungsten karbür moleküler yapısı.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Kullanılan Cihaz ve Kimyasallar

3.1.1 Kullanılan kimyasallar

- * Tungsten Karbür (Sigma-Aldrich)
- * Extrudable EVA Resin (DuPont)
- * ¹³⁷Cs nokta kaynağı
- * ²⁴¹Am nokta kaynağı
- * ¹³¹I kaynağı (Şifa Üniversitesi Tıp Fakültesi Nükleer Tıp A.D.)

3.1.2 Kullanılan cihazlar

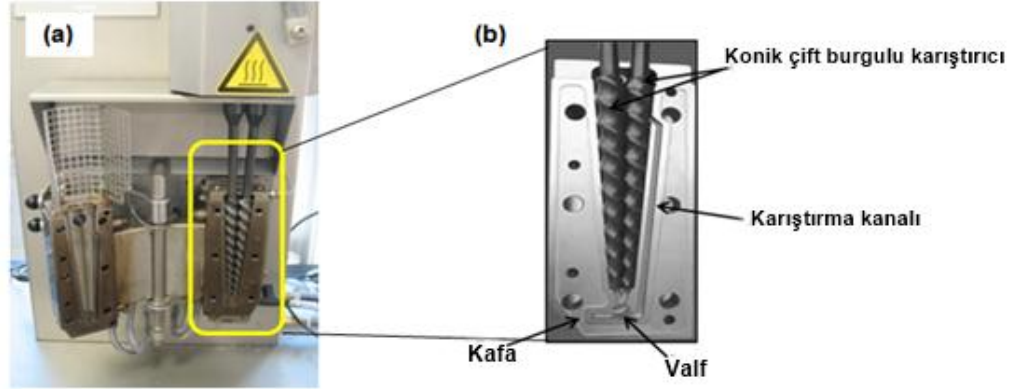
- * DSM Xplore Microcompounder cihazı, (Kocaeli Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü)
- * Geiger Müller Dedektörü (E.Ü. Nükleer Bilimler Enstitüsü, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı)
- * LX-D Analog Shoremetre (Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü)

3.2 Polimer Kompozit Disklerin Hazırlanması

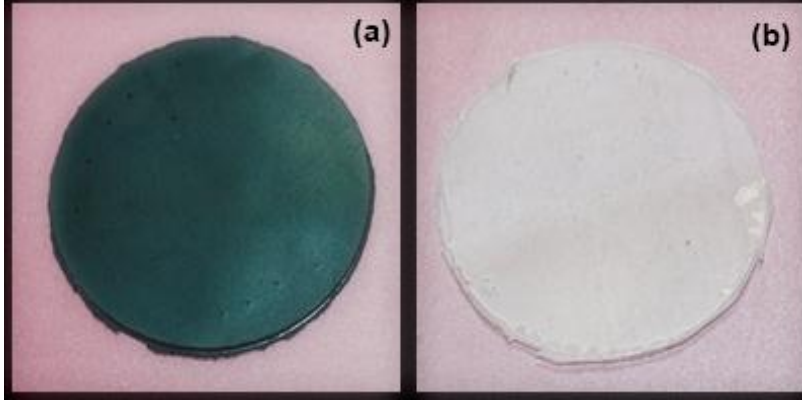
Deneylerde kullanılan polimer kompozit diskler Kocaeli Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü Plastik ve Kauçuk Teknolojisi Laboratuvarı tarafından mikro-compounder adlı cihazda üretilmiştir. Mikro-compounder cihazı dikey konumlandırılmış konik, çift burgulu bir ekstrüderdir. Toplam kovan hacmi 15 cm³'tür. Hem kesikli, hem de sürekli olarak işletilebilmektedir. Kesikli işletildiğinde 15 cm³ hacmindeki eriyik bir geri döngü kanalı yardımıyla sürekli olarak vidalar üzerinde devrettirilir (Şekil 3.1-b).

Karışım arzulanan süre sonunda bir vana yardımıyla kafaya yönlendirilebilir. Harmanların hazırlanması sırasında mikro-harmanlayıcıyla beslenen polimer/dolgu maddesi karışımları, belirlenen alıkonma süresi boyunca belirlenen vida hızında (rpm) ve belirlenen kovan sıcaklığında karıştırılır. Bu aşamada termo-oksidatif bozunmanın en aza indirilmesi için kovan argon gazı ile süpürülür.

Kullanılan EVA/Tungsten karbür kompozitleri 15 ml DSM Xplore Microcompounder cihazı ile karıştırılarak hazırlanmıştır. Harmanlama işlemi 120°C’de 100 rpm vida hızında 2 dakika boyunca gerçekleştirilmiştir. Harmanlama işlemi tamamlandıktan sonra ekstrüderin kafa kısmından eriyik halde alınan karışım pelletler halinde kesilmiştir. Ardından karışımların yoğunlukları belirlendikten sonra belirlenen miktarlardaki örnekler 120 °C’de sıcak pres ile 5 cm çapında ve 1 mm kalınlığında örnekler elde edebilmek için preslenmiştir. Elde edilen disklerden tungsten karbür katkılı EVA ve saf EVA disk örnekleri Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. a) Microcompounder, b) Microcompounder’ın kovan yapısı.



Şekil 3.2 a)Tungsten karbür - EVA kompozit disk, b) Saf EVA disk.

3.3 Gama Dedeksiyonu

Yapılan araştırmada, hazırlanan EVA/Tungsten karbür kompozit disklerinin gama radyasyon zırlama etkinlikleri gama yayınlayan radyoizotoplar kullanılarak incelenmiştir. Bu işlem, Geiger Müller dedektörü ile ölçümler yapılarak gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak hazırlanan polimer metal kompozit diskler GM dedektörünün penceresine yerleştirildi (Şekil 3.3-c). ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{131}I kaynakları ise dedektörden sırasıyla 2, 6 ve 10 cm uzaklıklara konularak her bir izotop için 300'er saniyelik sayımlar alındı. Alınan sayımlar sonucunda Lambert-Beer yasasından yararlanılarak malzemenin lineer soğurma katsayıları hesaplandı. %50, %60 ve %70'lik disklerin zırlama etkinliği boş sayımlar ile kıyaslanarak yüzdesel olarak hesaplandı. Lambert-Beer yasası aşağıda gösterildiği gibidir.

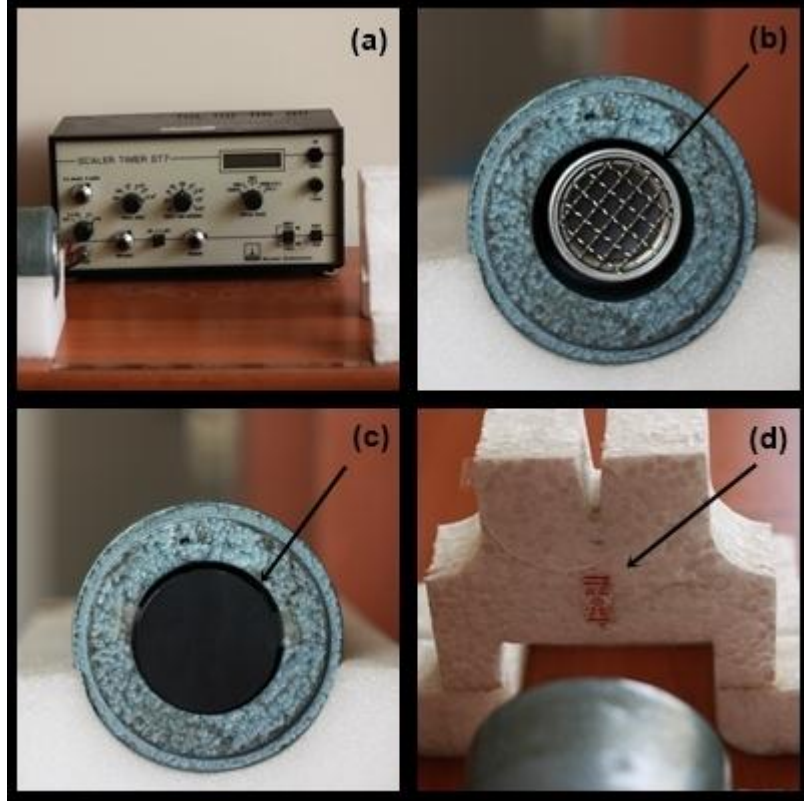
$$I = I_0 \times e^{-\mu x}$$

I_0 : Başlangıçtaki radyasyon şiddeti

I : Malzemede ilerledikten sonraki radyasyon şiddeti

μ : Malzemeye ait lineer soğurma katsayısı

x : Soğurucu malzemenin kalınlığı



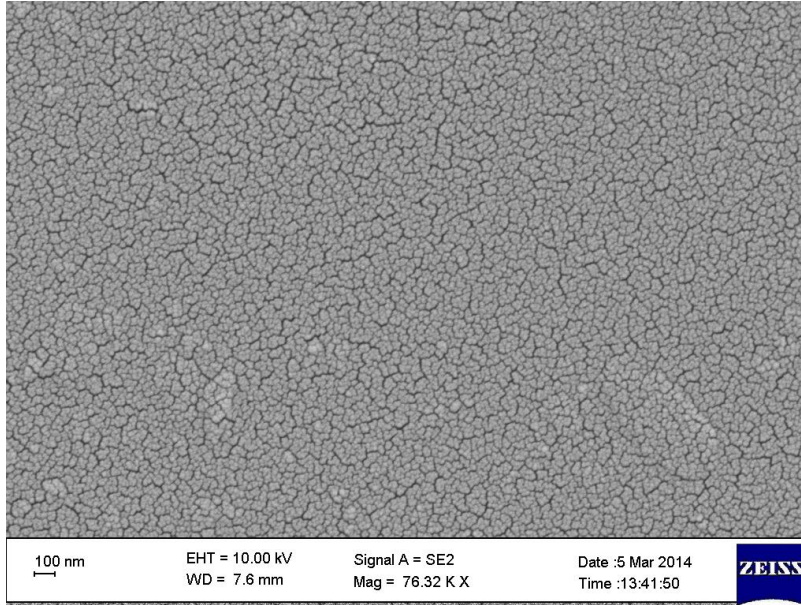
Şekil 3.3 a) Deneş düzeneği b) Dedektör penceresi c) Diskin dedektör penceresine yerleştirilmiş hali d) Gama kaynağı

4. BULGULAR

Yapılan çalışmada, hazırlanan EVA/Tungsten karbür kompozit disklerinin sertlik deneyleri Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde yapılmış olup elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1 de verilmiştir. Gama radyasyon zırlama etkinlikleri gama yayınlayan radyoizotoplar kullanılarak incelenmiştir. Bu işlem, Geiger Müller dedektörü ile ölçümler yapılarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.1 Hazırlanan disklerin Shore-D sertlikleri.

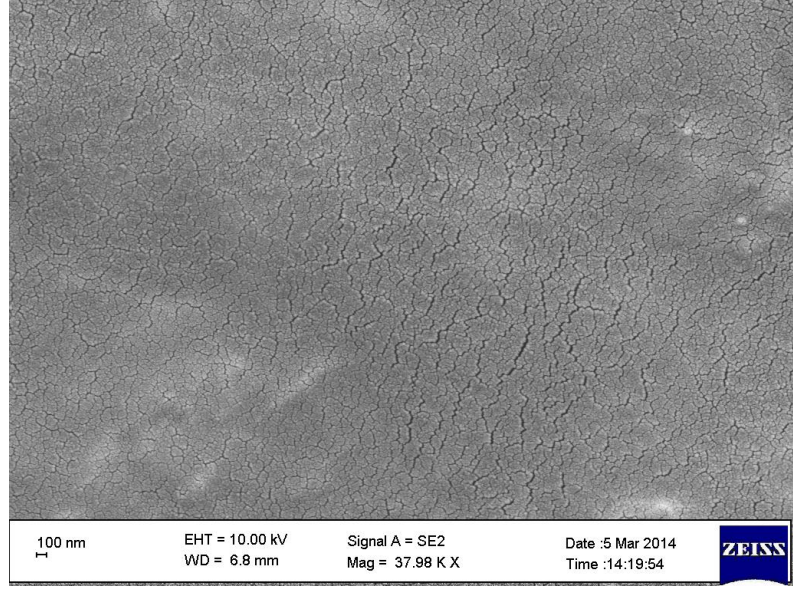
MALZEME	SERTLİK (SHORE-D)
EVA	27
EVA + %50 WC	29
EVA + %60 WC	31
EVA + %70 WC	32



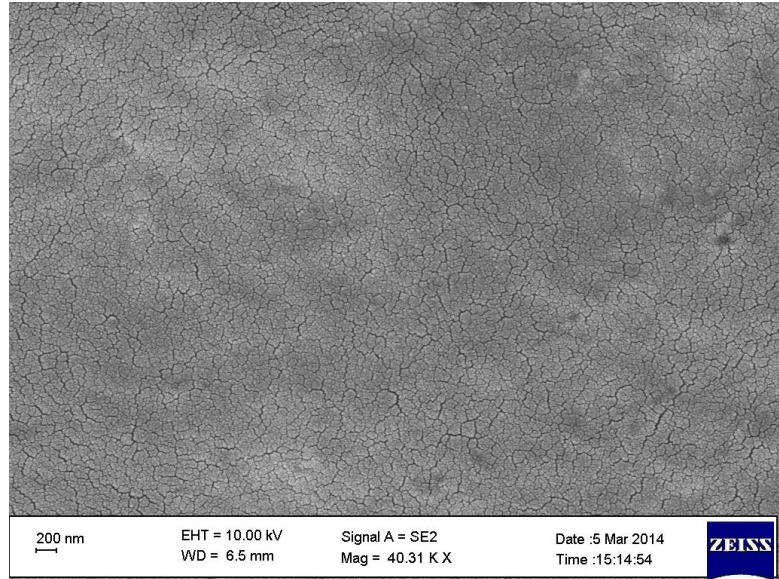
Şekil 4.1 %50 oranında WC içeren kompozit diskin SEM görüntüsü.

Polimer içine karıştırılan metal tozlarının homojen bir şekilde dağılması, yapılacak ölçümlerin doğruluğu açısından önemlidir. Hazırlanan disklerin homojenliğini görmek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile görüntüler

alınmıştır. Şekil 4.1’de %50, Şekil 4.2’de %60 ve Şekil 4.3’te %70 oranında WC içeren disklerin SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.2 %60 oranında WC içeren kompozit diskin SEM görüntüsü.



Şekil 4.3 %70 oranında WC içeren kompozit diskin SEM görüntüsü.

Çizelge 4.2 ^{137}Cs nokta kaynağına maruz bırakılan disklerin zırhlama etkinlikleri (%).

^{137}Cs			
Diskler (1 mm)	Mesafeler		
	2 cm	6 cm	10 cm
EVA	2,5 ± 0,1	1,9 ± 0,1	2,3 ± 0,4
%50	84,9 ± 0,1	84,8 ± 0,1	85,8 ± 0,1
%60	86,4 ± 0,7	85,2 ± 0,3	86,7 ± 0,2
%70	86,9 ± 0,1	85,4 ± 0,3	86,6 ± 0,1
Kurşun	84,5 ± 0,3	85,9 ± 0,4	81,0 ± 0,3

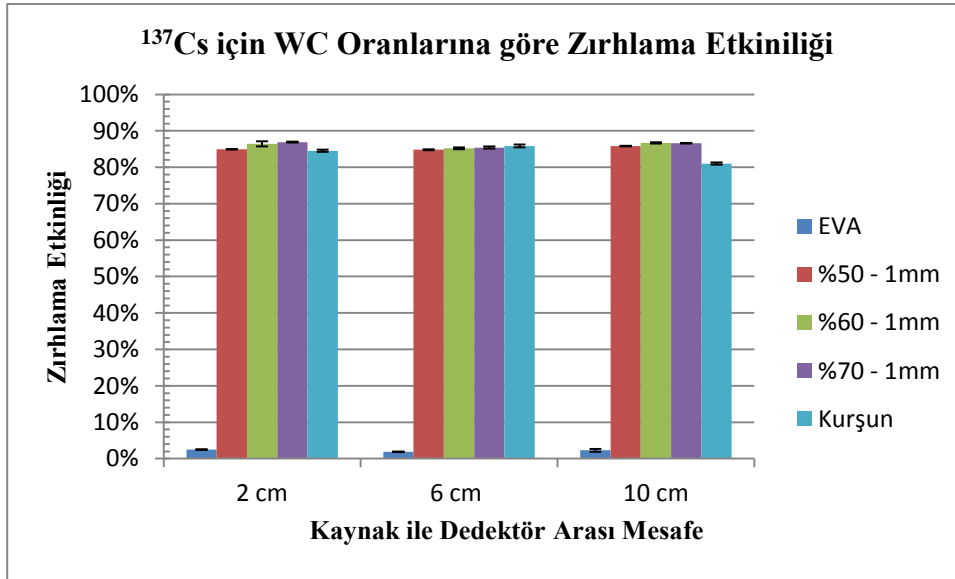
% Verim ± Standart Sapma

Geiger Müller dedektöründe yapılan sayımlar sonucunda, disklerin gama salınımı yapan radyoizotoplara göre radyasyon zırhlama etkinliği yüzdeleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir

Çizelge 4.3 ^{137}Cs nokta kaynağına maruz bırakılan disklerin zırhlama etkinlikleri (%).

^{137}Cs			
Diskler (2 mm)	Mesafeler		
	2 cm	6 cm	10 cm
%60	93,1 ± 0,2	92,2 ± 0,1	90,3 ± 0,2
%70	93,3 ± 0,2	92,5 ± 0,4	90,8 ± 0,4
Kurşun	84,9 ± 0,1	85,7 ± 0,3	81,5 ± 0,5

% Verim ± Standart Sapma

Şekil 4.4 ^{137}Cs için WC oranlarına göre zırhlama etkinliği grafiği.

Çizelge 4.4 ^{137}Cs için WC oranlarına göre zırhlama etkinliği.

^{137}Cs (662 keV)			
$\mu(\text{cm}^{-1})$	Mesafeler		
	2 cm	6 cm	10 cm
EVA	0,25	0,19	0,23
%50 – 1 mm	18,90	18,84	19,53
%60 – 1 mm	19,99	19,09	20,14
%70 – 1 mm	20,29	19,24	20,06
%60 – 2 mm	26,69	25,56	23,38
%70 – 2 mm	26,97	25,87	23,82

Çizelge 4.2'e bakıldığında, ^{137}Cs kaynağı ile dedektör arası mesafenin 2 cm olduğu ve %70 oranında tungsten karbür içeren diskin kullanıldığı ölçümlerde en iyi zırhlama verimi elde edilmiştir. Çizelge 4.3'de ise %60 ve %70 oranlarında metal içeren 2 mm kalınlığındaki disklerin zırhlama verimleri görülmektedir. Burada da %60'lık ve %70'lik disklerin üzerlerine gelen radyasyonun %93'ünü durdurduğu ve bu verimin iki disk içinde hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Buradan materyale dönüştürme aşamasında daha ekonomik olması açısından ağırlıkça %60 oranında tungsten karbür kullanılmasının daha uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Şekil 4.4 deki grafiğe bakıldığında dedektör ile kaynak arası mesafe arttırıldığında zırhlama verimi düşmüştür.

Çizelge 4.5 ^{131}I nokta kaynağına maruz bırakılan disklerin zırhlama etkinlikleri (%).

^{131}I			
Diskler (1 mm)	Mesafeler		
	2 cm	6 cm	10 cm
EVA	$3,9 \pm 0,5$	$3,0 \pm 0,5$	$2,2 \pm 0,8$
%50	$80,2 \pm 0,3$	$75,2 \pm 2,7$	$69,5 \pm 1,2$
%60	$81,5 \pm 0,3$	$77,8 \pm 0,6$	$69,5 \pm 1,5$
%70	$81,0 \pm 0,3$	$77,5 \pm 1,7$	$66,3 \pm 2,1$
Kurşun	$45,6 \pm 0,3$	$42,3 \pm 1,2$	$38,9 \pm 1,3$

% Verim \pm Standart Sapma

Çizelge 4.4'de Lambert-Beer yasasından yararlanılarak yapılan ölçümlerin sonuçları kullanılarak malzemelerin lineer soğurma katsayıları hesaplanmıştır. Kaynak ile dedektör arasındaki mesafe değiştiğinde de lineer soğurma

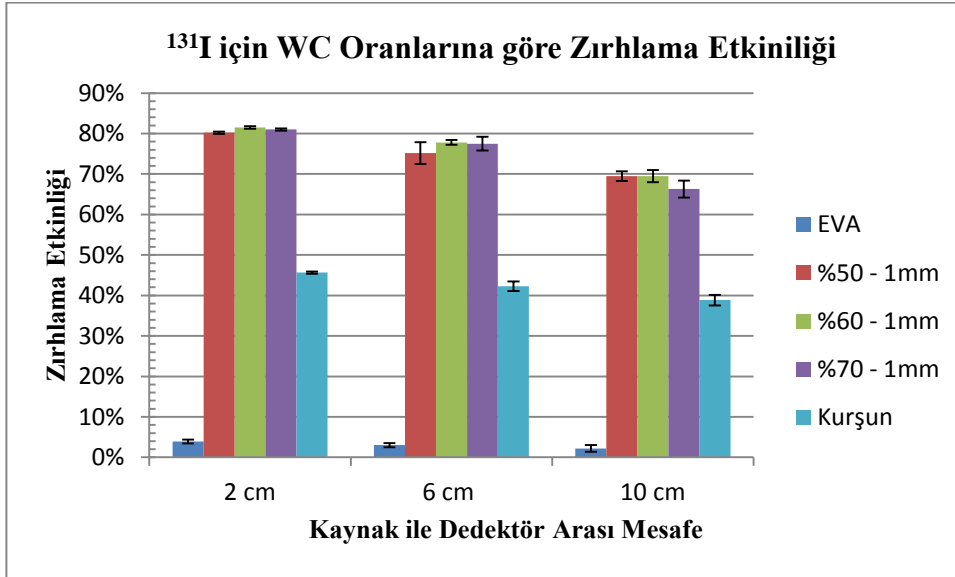
katsayılarının yakın olması beklenmektedir. Çizelgede de görüldüğü gibi farklı mesafeler için deneysel sonuçlara dayanarak hesaplanan lineer soğurma katsayıları birbirine çok yakın çıkmıştır.

Çizelge 4.6 ^{131}I nokta kaynağına maruz bırakılan disklerin zırhlama etkinlikleri (%).

^{131}I			
Diskler (2 mm)	Mesafeler		
	2 cm	6 cm	10 cm
%60 – 2 mm	87,3 ± 0,9	83,2 ± 1,0	71,8 ± 0,8
%70 – 2 mm	87,2 ± 0,2	83,6 ± 0,6	75,0 ± 3,7
Kurşun – 2mm	54,6 ± 0,1	49,9 ± 0,6	47,4 ± 0,3

% Verim ± Standart Sapma

Çizelge 4.5'e bakıldığında, %60 ve %70 oranında tungsten karbür içeren disklerle yapılan ölçümlerde, sapma değerlerini de göz önünde bulundurduğumuzda elde edilen zırhlama verimlerinin çok yakın olduğu gözlemlenmiştir. Zırhlama verimlerinin yakın çıkması, kullanılan tungsten karbürün ağırlıkça %70 yerine %60 oranında kullanılmasıyla daha ekonomik bir zırhlama elde edilebileceği ve azalan ağırlıkla daha rahat bir kullanım oluşturacağını ortaya çıkarmıştır.



Şekil 4.5 ^{131}I için WC oranlarına göre zırhlama etkinliği grafiği.

Kaynak ile dedektör arasındaki mesafe arttırıldığında verimde düşme görülmüş verimlere bakıldığında ise yine birbirine yakın çıkmıştır. Ancak sapma değerlerine dikkat edildiğinde verimler arasında farklılıklar olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.6’te gösterilen 2 mm kalınlığındaki disklerin zırhlama verimlerinin, Çizelge 4.5’te gösterilen 1 mm’lik disklerinkine oranla daha yüksek çıkması kalınlığın artması ile zırhlamanın daha iyi bir hale gelebileceğini ortaya koymuştur.

Çizelge 4.7 ¹³¹I nokta kaynağına maruz bırakılan disklerin zırhlama etkinlikleri.

¹³¹I (364 keV)			
$\mu(\text{cm}^{-1})$	Mesafeler		
	2 cm	6 cm	10 cm
EVA	0,40	0,30	0,22
%50 – 1 mm	16,87	13,94	11,87
%60 – 1 mm	16,19	15,05	11,87
%70 – 1 mm	16,61	14,92	10,88
%60 – 2 mm	40,97	37,65	34,00
%70 – 2 mm	40,91	37,89	35,19

Çizelge 4.7’da enerjisi yaklaşık 364 keV olan ¹³¹I kaynağına tabii tutulan malzemelerin deneysel ölçümlerine dayanarak hesaplanan lineer soğurma katsayıları verilmekte ve değerler incelendiğinde kaynak detektörden 2 cm uzaktayken farklı oranlardaki 1 mm kalınlığındaki disklerin lineer soğurma katsayılarının birbirine çok yakın çıktığı görülmektedir.

Çizelge 4.8 ²⁴¹Am nokta kaynağına maruz bırakılan disklerin zırhlama etkinlikleri.

²⁴¹Am			
Diskler (1 mm)	Mesafeler		
	2 cm	6 cm	10 cm
EVA	4,8 ± 0,4	2,7 ± 3,7	6,4 ± 3,6
%50	55,0 ± 0,6	45,8 ± 0,6	51,1 ± 1,2
%60	56,2 ± 0,6	50,7 ± 0,4	50,2 ± 1,2
%70	64,7 ± 1,5	58,2 ± 2,9	56,4 ± 0,9
Kurşun	93,6 ± 0,2	91,4 ± 0,1	86,9 ± 1,4

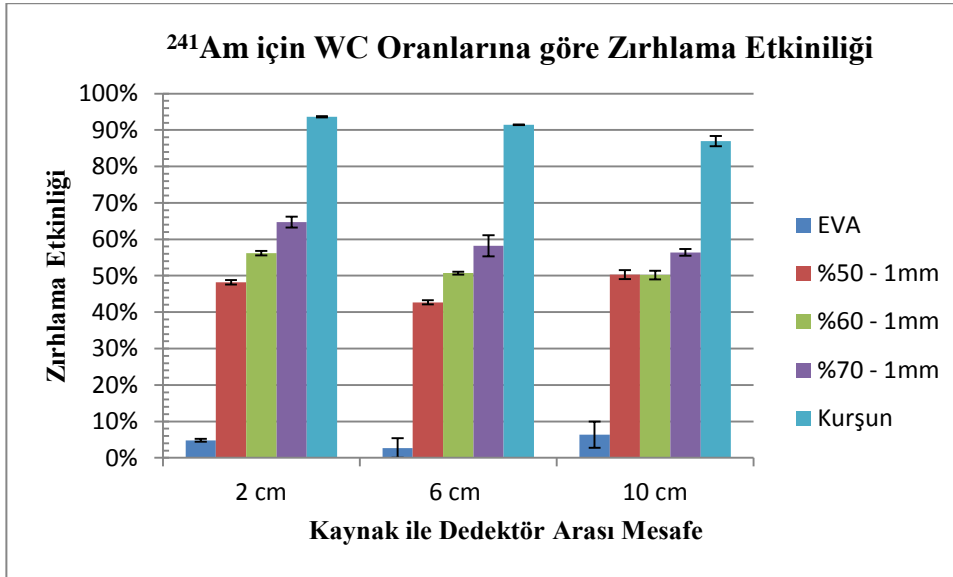
% Verim ± Standart Sapma

Çizelge 4.9 ^{241}Am Am nokta kaynağına maruz bırakılan disklerin zırlama etkinlikleri (%).

^{241}Am			
Diskler (2 mm)	Mesafeler		
	2 cm	6 cm	10 cm
%60	67,5 ± 0,2	66,0 ± 0,3	51,4 ± 5,8
%70	68,9 ± 0,3	66,7 ± 0,8	55,8 ± 2,5
Kurşun	97,7 ± 0,1	93,1 ± 0,4	86,6 ± 2,2

% Verim ± Standart Sapma

^{241}Am nokta kaynağı ile yaptığımız deneylerde zırlama etkinliğinin düştüğünü görmekteyiz (Çizelge 4.9). Düşük enerjili ^{241}Am 'da radyasyon zırlama etkinliğinin yüksek enerjili ^{137}Cs ve ^{131}I kaynaklarındaki zırlama etkinliğine göre daha düşük olması, düşük enerjili gamaların metaller ile etkileşimi sonucunda oluşan ikincil ışımların yüksek enerjili gamalara göre daha fazla gerçekleşmesinden ve yüksek enerjili gamaların madde ile etkileşiminde gözlenen olayların azalması, düşük enerjiler için bunun tam tersi olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 4.6 ^{241}Am Am için WC oranlarına göre zırlama etkinliği grafiği.

Çizelge 4.10 ^{241}Am nokta kaynağına maruz bırakılan disklerin lineer soğurma katsayıları.

^{241}Am (60 keV)			
μ (cm^{-1})	Mesafeler		
	2 cm	6 cm	10 cm
EVA	0,49	0,27	0,66
%50 - 1mm	6,58	5,57	6,99
%60 - 1mm	8,26	7,07	6,97
%70 - 1mm	10,41	8,72	8,30
%60 - 2mm	29,89	28,11	22,43
%70 - 2mm	33,90	31,11	27,29

5. TARTIŞMA

Bugüne kadar radyasyon zırhlamasıyla ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların büyük bir çoğunluğunda kurşun ve kurşun bileşikleri kullanılmıştır. Bunların dışında farklı metal tozları karıştırılarak elde edilen karışımlar ile polimerler de kullanılmıştır. Genel olarak X ışınları, elektromanyetik interferans ya da nötron zırhlaması üzerine çalışmalar yapılmıştır.

McAlister tez çalışmasında T-Flex ismini verdiği silikon ve su içeren polimere çeşitli oranlarda tungsten ve demir tozları karıştırarak gama radyasyonunu zırhlama amaçlı kompozit malzemeler üretmiştir. Bu malzemeleri ^{133}Ba (355.99 keV), ^{85}Sr (513.99 keV), ^{137}Cs (661.66 keV), ^{60}Co (1173.23 ve 1332.50 keV) ve ^{152}Eu (40.18, 121.77, 344.29, 778.92, 964.11, 1085.89, 1112.08, ve 1408.00 keV) gama kaynaklarına tabii tutarak radyasyon zırhlama potansiyellerini ölçmüştür. Ölçüm işlemini Yüksek Safılıkta Germanyum Dedektörü (HP-Ge) ile yapmıştır. Malzemelerin kütle soğurma katsayılarını deneysel olarak Lambert-Beer yasasından yararlanarak hesaplayıp, teorik olarak ta X-COM veritabanı ile hesaplamış ve teorik sonuçlar ile deneysel sonuçları karşılaştırmıştır (McAlister, 2012).

Yue ve arkadaşları radyoterapide kullanılabilir kurşun içermeyen yeni bir malzeme üretmek amacıyla yaptıkları çalışmada, sırasıyla %75, %80, %85 oranlarında tungsten ile hidrojenle doyurulmuş stiren- bütadien- stiren (SEBS) kopolimerini karıştırarak kompozit malzemeler elde etmiştir. Farklı oranda tungsten içeren malzemelerin zırhlama kabiliyetleri Monte Carlo metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Enerji aralığı olarak radyoterapide en çok tercih edilen 9 ve 12 MeV denenmiştir. 0.3 ile 2.7 cm aralığında değişen malzeme kalınlıkları için zırhlama verimi hesaplandığında %85 oranında tungsten içeren, 0,9 cm kalınlığında malzeme 12 Mev enerji altında en yüksek verimi göstermiştir. Buna ek olarak Yue, SEBS polimerinin içeriğindeki C ve H atomlarının bremsstrahlung etkisini düşürdüğünü de saptamıştır (Yue, 2009).

Eder bir çalışmasında kurşuna alternatif olarak kalay, bizmut, tungsten ile çalışmış, bu metalleri farklı oranlarda polimer ile karıştırıp elde edilen malzemenin X-ışınlarını soğurma kabiliyetini test etmiştir. Polimer malzemeyi sadece metalleri tutucu ve belirli bir hacim içerisinde homojen dağılabilmelerini sağlayabileceği için tercih etmiştir. Deney esnasında tüp voltajı 60-125 keV aralığında seçilmiştir. Sonuçlara bakıldığında 60 keV’de soğurma yeteneği %97,2 iken 150 keV’de %69,7’ye düştüğü gözlemlenmiştir (Eder, 2006).

Hu ve arkadaşları yaptıkları araştırmada (MCNP) koduna sahip Monte Carlo simülasyonu ile nötron ve gama ışınlarını zırhlamada kullanılacak sıkıştırılmış ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı bir malzeme üretmişlerdir. Polimer ve nano TiO_2 ’den oluşan malzemenin zırhlama potansiyeli ^{252}Cf nötron kaynağı ve ^{60}Co gama kaynağı ile test edilmiştir. Deney sonuçlarına göre üretilen malzemenin nükleer bilimler ve uygulamalarında oldukça kullanışlı olacağı sonucuna varmışlardır (Hu, 2008)

Araştırmamızda ise malzememiz; tungsten karbür tozlarının, elastomer türü bir polimer olan etilen vinil asetat ile karıştırılmasıyla elde edilmiştir. Tungsten karbür, yoğunluğunun yüksek olması sebebiyle üzerine gelen gama radyasyonunu durdurmada etkili olacağından, etilen vinil asetat ise hem malzemeye esneklik katıp istenilen şekle getirilebilmesini sağlayacağından hem de gama radyasyonun metale çarpması sonucu ortaya çıkacak ikincil ışınları zırhlamada etkili olacağından tercih edilmiştir. Ek-1’de de görülebileceği gibi tungsten atomunun düşük enerjilerde yüksek enerjilere göre daha fazla saçılmaya uğraması sebebiyle malzemenin yüksek enerjili gama kaynaklarına karşı olan zırhlama kabiliyetinin iyi olduğu saptanmıştır (Hubble, 1969).

6. SONUÇ

WC – EVA kompozit disklerin Shore D sertlik testi ile malzemenin yumuşak, esnek ve kolay şekil alabilecek yapıda olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen disklerin metal dağılımının homojen olduğu SEM görüntülerinde görülmektedir.

Yapılan ölçümler sonucunda malzeme içeriğindeki metal oranı arttıkça genel olarak zırlama kabiliyetlerinin de arttığı görülmüştür. Aynı şekilde kalınlıklarının arttırmanın da zırlama verimini yükselttiği doğrulanmıştır. Radyoizotopların enerjileri arttıkça malzemenin zırlama veriminin de arttığı görülmektedir.

Malzemelerin lineer soğurma katsayıları da Lambert-Beer yasasından yararlanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda deneysel veriler kullanılmıştır. Radyasyon kaynağı değiştirilmeden 2, 6 ve 10 cm için yapılan ölçümlerde mesafenin değişmesine rağmen lineer soğurma katsayısının değişmediği gözlemlenmiştir. Bu veriler de yapılan deneylerin tutarlılığını ortaya koymuştur.

Araştırmada kullandığımız kompozit disklerle aynı kalınlıktaki kurşun diskler kullanarak yaptığımız ölçümlerde zırlama etkinliklerinin birbirine yakın çıktığı görülmüştür. Aynı zamanda bu malzemelerin ağırlıkları da ölçülüp kıyaslanmış ve WC kompozit disklerin ağırlığının kurşun disklerin ağırlığından yaklaşık olarak %70 daha az olduğu sonucuna varılmıştır.

7. ÖNERİLER

Elde edilen WC – EVA disklerin esnek ve kolay şekil alabilir formda olması sebebiyle malzemenin materyal haline dönüştürülmesi için çalışmalar yapılabileceği önerilmektedir. Radyasyon ile çalışılan alanlarda kişisel koruyucuların üretiminde kullanılabilecek bir malzeme olabileceği düşünülmektedir.

Aynı kalınlık ve çaptaki kurşun ve üretilen kompozit disklerin ağırlıkları kıyaslandığında, kurşunun, kompozit diskten yaklaşık olarak 3 kat daha ağır olduğu gözlemlenmiştir. Zırlama etkinliklerinin yakın çıkması da göz önüne alındığında çok daha hafif olan, tungsten karbür EVA kompozit malzemenin radyasyon zırlaması alanında kullanılması önerilmektedir. Böylece kişisel koruyucuların, daha hafif ve esnek olması sağlanacak, kullanılma oranlarını arttırarak daha güvenli çalışma koşullarının sağlanmasına yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Bhattacharya, A.**, 2000, Radiation and industrial polymers, Prog. Poly. Sci, 25, 371-401pp.
- Bootjomchai, Cherdsak, et al.** 2012, "Gamma-ray shielding and structural properties of barium–bismuth–borosilicate glasses." Radiation Physics and Chemistry, 81.7:785-790pp.
- Ecke , G., Gubisch, M., Knedlik, C., Krischok, S., Liu, Y., Schaefer, J.A., and Spiess, L.**, 2005, Tribological characteristics of WC_{1-x}, W₂C and WC tungsten carbide films, Tribology and Interface Engineering Series, 48:409-417pp.
- Eder H.** 2006, Lead-free radiation protection material comprising at least two layers with different shielding characteristics, United States Patent Application Publication; No: US 2006/0151750 A1.
- Eder H.** 2009, Lightweight radiation protection material for a large energy application range, United States Patent Application Publication; No: US 2009/0230334 A1.
- Finnerty M, Brennan PC.** 2005, Protective aprons in imaging departments: manufacturer stated lead equivalence values require validation, Eur Radiol, 15:1477-1484pp.
- Friedrich, K.** 1993, Tribology of polymer composites, Advanced Composites, 93,11p.
- G. Nelson, D. Reilly,** 1991, Gamma-Ray Interactions with Matter, in Passive Nondestructive Analysis of Nuclear Materials, Los Alamos National Laboratory, NUREG/CR-5550, LA-UR-90-732 27-42pp.
- Hu, Huasi, et al.** 2008, "Study on Composite Material for Shielding Mixed Neutron and-Rays." Nuclear Science, IEEE Transactions on 55.4:2376-2384pp.
- Hubbell J.H.** 1969, Photon Cross Sections, Attenuation Coefficients and Energy Absorption Coefficients From 10 keV to 100 GeV, NSRDS-NBS(U-S), 29p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kahya, S.** 1985, Yüksek Aktiviteli Bir Nokta Gama Kaynağının Zırhlama Problemleri, Yüksek lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 41s.
- Karadayı, A.** 1995, Bazı Maddelerin Gama Işını Soğurma Katsayılarının ölçümü ve Starcam 4000İ Gama Kamerası ile SPECT Görüntü Çalışmaları, Yüksek lisans Tezi, On dokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 100s.
- Kirko, V.I. Basgan** 2007, New Composite Materials For Rardiation Protection, Journal of processing Technology, 181, 222-224pp.
- Luo, X., Chung, D.D.L.** 1999, Electromagnetic Interference Shielding Using Continuous Carbon-Fiber Carbon-Matrix and Polymer Matrix Composites, Composites, 30, 227-231pp.
- McAlister, D.R.** 2012, Gamma Ray Attenuation Properties of Common Shielding Materials, University Lane Lisle USA.
- Najafi, E., Shin, K.** 2005, Radiation resistant polymer-carbon nanotube nanocomposite thin films, Colloids and Surfaces A:Physicochem. Eng. Aspects, 257-258, 333-337pp.
- Nambiar, S., Yeow J.T.W.** 2012, Polymer-Composite Materials for Radiation Protection, ACS Appl. Mater. Interfaces, 4, 5717-5726pp.
- Okay O.** 2007, "Polimerik Malzemelerin Bugünü ve Yarını" İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 80626 Maslak, İstanbul.
- Schmid, E., Panzer, W., Schlattl, H., Eder, H.** 2012, Emission of flourescent x-radiation from non-lead based shielding materials of protective clothing:a radiobiological problem? Journal of Radiological Protection 32, 129-139pp.
- TAEK**, 2013, <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/r05.htm> (Erişim tarihi: 13.12.2013)

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Topyıldız, S. Ö.** 2006, Gama Işını Dedektör Simülasyonu ve Gama Kaynağının Yerinin Belirlenmesi, Yüksek lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 65s.
- Tüysüz M.Z, Yorulmaz N, Bozkurt A.** 2004, Co-60 Radyoterapi Kaynağı İçin Monte Carlo Yöntemiyle Uygun Zırh Tasarımı, Türk Fizik Derneği, 22p.
- Yue, K., Luo, W., Dong, X., Wang, C., Wu, G., Jiang, M., Zha, Y.** 2009, A New Lead-Free Radiation Shielding Material For Radiotherapy, Radiation Protection Dosimetry 4, 256-260pp.
- Zuguchi M, Chida K, Taura M, Inaba Yet al.** 2008, Usefulness of non-lead aprons in radiation protection for physicians performing interventional procedures, Radiation Protection Dosimetry, 131:531-534pp.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Hale Melis SOYLU

Doğum Yeri: Burhaniye / TÜRKİYE

Doğum Tarihi: 22.01.1989

Öğrenim Durumu:

Lisans: Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü
(2007 – 2011)

Yüksek Lisans: Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyomedikal
Teknolojiler Anabilim Dalı (2012 -)

Yayın Listesi:

Poster Sunumlar

1. Ersöz, O.A., Soylu H. M., Yurt Lambrecht F., Ocakoğlu K., Synthesis, radiolabeling and bioevaluation of an imidazolium TFSI salt, XIX. International BIOMED Symposium, P 68, 12-15 November, 2013, Kusadası Turkey.
2. Soylu H. M., Radyoterapide Kullanılan Cihazlar, *AREGE*, 2013, İzmir Türkiye.

EKLER

Ek 1 Farklı Enerjilerdeki Fotonlara Karşı Tungstenin Lineer Soğurma Katsayıları

Ek 2 Farklı Enerjilerdeki Fotonlara Karşı Karbonun Lineer Soğurma Katsayıları

Ek-1

Table 3.-21. TUNGSTEN, Z = 74

Photon energy	Scattering		Photo-electric	Pair production		Total		Total		
	With coherent	Without coherent		Nuclear field	Electron field	With coherent	Without coherent	With coherent	Without coherent	
MeV	b/atom	b/atom	b/atom	b/atom	b/atom	b/atom	b/atom	cm ² /g	cm ² /g	
L _α	1.00-02	1.38+03	4.74+01	2.78+04			2.92+04	2.78+04	9.55+01	9.12+01
	1.02-02	1.35+03	4.74+01	2.63+04			2.77+04	2.64+04	9.07+01	8.64+01
	1.02-02	1.35+03	4.74+01	7.04+04			7.18+04	7.05+04	2.35+02	2.31+02
	1.15-02	1.20+03	4.71+01	5.06+04			5.17+04	5.06+04	1.70+02	1.66+02
	1.15-02	1.20+03	4.71+01	7.05+04			7.17+04	7.05+04	2.35+02	2.31+02
	1.21-02	1.14+03	4.70+01	6.17+04			6.29+04	6.18+04	2.06+02	2.02+02
L ₂	1.21-02	1.14+03	4.70+01	7.45+04			7.56+04	7.45+04	2.48+02	2.44+02
	1.50-02	8.99+02	4.65+01	4.25+04			4.34+04	4.25+04	1.42+02	1.39+02
	2.00-02	6.39+02	4.57+01	1.98+04			2.05+04	1.99+04	6.70+01	6.51+01
L ₁	3.00-02	3.88+02	4.42+01	6.62+03			7.01+03	6.67+03	2.30+01	2.18+01
	4.00-02	2.65+02	4.28+01	3.00+03			3.26+03	3.04+03	1.07+01	9.97+00
	5.00-02	1.96+02	4.16+01	1.61+03			1.80+03	1.65+03	5.91+00	5.40+00
	6.00-02	1.54+02	4.04+01	9.61+02			1.12+03	1.00+03	3.65+00	3.28+00
	6.95-02	1.28+02	3.93+01	6.32+02			7.60+02	6.71+02	2.49+00	2.20+00
	6.95-02	1.28+02	3.93+01	3.33+03			3.46+03	3.37+03	1.13+01	1.10+01
	8.00-02	1.07+02	3.83+01	2.30+03			2.41+03	2.34+03	7.89+00	7.66+00
	1.00-01	8.13+01	3.65+01	1.27+03			1.35+03	1.31+03	4.43+00	4.29+00
	1.50-01	5.38+01	3.28+01	4.26+02			4.80+02	4.59+02	1.57+00	1.50+00
	2.00-01	4.20+01	3.01+01	1.95+02			2.37+02	2.25+02	7.77-01	7.38-01
K	3.00-01	3.15+01	2.62+01	6.60+01			9.75+01	9.22+01	3.20-01	3.02-01
	4.00-01	2.65+01	2.34+01	3.14+01			5.79+01	5.48+01	1.90-01	1.80-01
	5.00-01	2.34+01	2.14+01	1.81+01			4.15+01	3.95+01	1.36-01	1.29-01
	6.00-01	2.12+01	1.98+01	1.17+01			3.29+01	3.15+01	1.08-01	1.03-01
	8.00-01	1.82+01	1.74+01	6.20+00			2.44+01	2.36+01	7.99-02	7.73-02
	1.00+00	1.61+01	1.56+01	3.88+00			2.00+01	1.95+01	6.54-02	6.39-02
	1.50+00	1.30+01	1.27+01	1.77+00	4.28-01		1.52+01	1.49+01	4.97-02	4.88-02
	2.00+00	1.09+01	1.08+01	1.06+00	1.32+00		1.33+01	1.32+01	4.37-02	4.34-02
	3.00+00	8.57+00	8.53+00	5.58-01	3.15+00	2.98-03	1.23+01	1.22+01	4.02-02	4.01-02
	4.00+00	7.16+00	7.12+00	3.62-01	4.67+00	1.22-02	1.22+01	1.22+01	4.00-02	3.98-02
5.00+00	6.17+00	6.15+00	2.68-01	5.96+00	2.40-02	1.24+01	1.24+01	4.07-02	4.06-02	
6.00+00	5.45+00	5.43+00	2.08-01	7.02+00	3.69-02	1.27+01	1.27+01	4.16-02	4.16-02	
8.00+00	4.45+00	4.44+00	1.44-01	8.76+00	6.32-02	1.34+01	1.34+01	4.39-02	4.39-02	
1.00+01	3.80+00	3.78+00	1.10-01	1.02+01	8.64-02	1.42+01	1.41+01	4.64-02	4.63-02	
1.50+01		2.80+00	6.88-02	1.30+01	1.34-01		1.60+01		5.24-02	
2.00+01		2.25+00	4.97-02	1.51+01	1.69-01		1.76+01		5.77-02	
3.00+01		1.64+00	3.20-02	1.82+01	2.19-01		2.01+01		6.59-02	
4.00+01		1.30+00	2.36-02	2.03+01	2.55-01		2.19+01		7.16-02	
5.00+01		1.09+00	1.87-02	2.18+01	2.83-01		2.32+01		7.60-02	
6.00+01		9.35-01	1.55-02	2.30+01	3.05-01		2.42+01		7.94-02	
8.00+01		7.38-01	1.15-02	2.47+01	3.38-01		2.58+01		8.45-02	
1.00+02		6.13-01	9.20-03	2.59+01	3.62-01		2.69+01		8.81-02	
1.50+02		4.36-01		2.78+01	4.02-01		2.87+01		9.39-02	
2.00+02		3.42-01		2.90+01	4.27-01		2.98+01		9.76-02	
3.00+02		2.42-01		3.03+01	4.59-01		3.11+01		1.02-01	
4.00+02		1.90-01		3.11+01	4.80-01		3.18+01		1.04-01	
5.00+02		1.57-01		3.16+01	4.94-01		3.23+01		1.06-01	
6.00+02		1.34-01		3.20+01	5.04-01		3.26+01		1.07-01	
8.00+02		1.05-01		3.24+01	5.18-01		3.31+01		1.08-01	
1.00+03		8.64-02		3.27+01	5.27-01		3.34+01		1.09-01	
1.50+03		6.04-02		3.32+01	5.40-01		3.38+01		1.11-01	
2.00+03		4.67-02		3.34+01	5.48-01		3.40+01		1.11-01	
3.00+03		3.25-02		3.37+01	5.56-01		3.43+01		1.12-01	
4.00+03		2.51-02		3.38+01	5.60-01		3.44+01		1.13-01	
5.00+03		2.05-02		3.39+01	5.63-01		3.45+01		1.13-01	
6.00+03		1.74-02		3.40+01	5.65-01		3.45+01		1.13-01	
8.00+03		1.34-02		3.40+01	5.68-01		3.46+01		1.13-01	
1.00+04		1.09-02		3.41+01	5.70-01		3.47+01		1.14-01	
1.50+04		7.56-03		3.41+01	5.72-01		3.47+01		1.14-01	
2.00+04		5.81-03		3.42+01	5.73-01		3.48+01		1.14-01	
3.00+04		4.01-03		3.42+01	5.75-01		3.48+01		1.14-01	
4.00+04		3.08-03		3.42+01	5.76-01		3.48+01		1.14-01	
5.00+04		2.51-03		3.43+01	5.76-01		3.48+01		1.14-01	
6.00+04		2.12-03		3.43+01	5.76-01		3.48+01		1.14-01	
8.00+04		1.62-03		3.43+01	5.77-01		3.48+01		1.14-01	
1.00+05		1.32-03		3.43+01	5.77-01		3.48+01		1.14-01	

(b/atom) x .003276 = cm²/g

Ek-2

Table 3.-4. CARBON, Z=6

Photon energy	Scattering		Photo-electric	Pair production		Total		Total	
	With coherent	Without coherent		Nuclear field	Electron field	With coherent	Without coherent	With coherent	Without coherent
MeV	b/atom	b/atom	b/atom	b/atom	b/atom	b/atom	b/atom	cm ² /g	cm ² /g
1.00-02	6.11+00	3.84+00	3.93+01			4.54+01	4.31+01	2.28+00	2.17+00
1.50-02	5.06+00	3.77+00	1.06+01			1.57+01	1.44+01	7.87-01	7.22-01
2.00-02	4.53+00	3.71+00	4.01+00			8.54+00	7.72+00	4.29-01	3.88-01
3.00-02	4.00+00	3.58+00	9.99-01			5.00+00	4.58+00	2.51-01	2.30-01
4.00-02	3.73+00	3.47+00	3.79-01			4.10+00	3.85+00	2.06-01	1.93-01
5.00-02	3.54+00	3.37+00	1.93-01			3.73+00	3.56+00	1.87-01	1.79-01
6.00-02	3.39+00	3.27+00	1.15-01			3.51+00	3.39+00	1.76-01	1.70-01
8.00-02	3.17+00	3.10+00	4.50-02			3.21+00	3.15+00	1.61-01	1.58-01
1.00-01	3.00+00	2.96+00	2.16-02			3.02+00	2.98+00	1.52-01	1.50-01
1.50-01	2.69+00	2.66+00	5.75-03			2.69+00	2.67+00	1.35-01	1.34-01
2.00-01	2.45+00	2.44+00	2.29-03			2.45+00	2.44+00	1.23-01	1.23-01
3.00-01	2.13+00	2.12+00	6.46-04			2.13+00	2.12+00	1.07-01	1.07-01
4.00-01	1.90+00	1.90+00	2.77-04			1.91+00	1.90+00	9.57-02	9.55-02
5.00-01		1.74+00	1.49-04				1.74+00		8.72-02
6.00-01		1.61+00	9.27-05				1.61+00		8.07-02
8.00-01		1.41+00	4.68-05				1.41+00		7.09-02
1.00+00		1.27+00	2.89-05				1.27+00		6.37-02
1.50+00		1.03+00	1.35-05	1.60-03			1.03+00		5.19-02
2.00+00		8.79-01	8.61-06	6.40-03			8.86-01		4.45-02
3.00+00		6.92-01	4.82-06	1.84-02	2.41-04		7.11-01		3.57-02
4.00+00		5.77-01	3.29-06	2.98-02	9.91-04		6.08-01		3.05-02
5.00+00		4.98-01	2.52-06	4.00-02	1.95-03		5.40-01		2.71-02
6.00+00		4.40-01	2.01-06	4.90-02	3.00-03		4.93-01		2.47-02
8.00+00		3.60-01	1.44-06	6.42-02	5.12-03		4.30-01		2.16-02
1.00+01		3.07-01	1.12-06	7.66-02	7.01-03		3.90-01		1.96-02
1.50+01		2.27-01		1.00-01	1.09-02		3.38-01		1.70-02
2.00+01		1.82-01		1.17-01	1.40-02		3.14-01		1.58-02
3.00+01		1.33-01		1.41-01	1.87-02		2.93-01		1.47-02
4.00+01		1.05-01		1.58-01	2.21-02		2.86-01		1.44-02
5.00+01		8.80-02		1.71-01	2.48-02		2.84-01		1.42-02
6.00+01		7.59-02		1.81-01	2.71-02		2.84-01		1.43-02
8.00+01		5.98-02		1.96-01	3.06-02		2.86-01		1.44-02
1.00+02		4.97-02		2.07-01	3.31-02		2.90-01		1.46-02
1.50+02		3.54-02		2.26-01	3.76-02		2.99-01		1.50-02
2.00+02		2.77-02		2.37-01	4.06-02		3.06-01		1.53-02
3.00+02		1.96-02		2.51-01	4.46-02		3.16-01		1.59-02
4.00+02		1.54-02		2.60-01	4.72-02		3.22-01		1.62-02
5.00+02		1.27-02		2.65-01	4.91-02		3.27-01		1.64-02
6.00+02		1.09-02		2.69-01	5.05-02		3.31-01		1.66-02
8.00+02		8.52-03		2.75-01	5.26-02		3.36-01		1.69-02
1.00+03		7.01-03		2.78-01	5.40-02		3.40-01		1.71-02
1.50+03		4.89-03		2.84-01	5.64-02		3.45-01		1.73-02
2.00+03		3.79-03		2.87-01	5.79-02		3.48-01		1.75-02
3.00+03		2.64-03		2.90-01	5.98-02		3.52-01		1.77-02
4.00+03		2.03-03		2.92-01	6.08-02		3.54-01		1.78-02
5.00+03		1.66-03		2.93-01	6.15-02		3.56-01		1.79-02
6.00+03		1.41-03		2.93-01	6.20-02		3.57-01		1.79-02
8.00+03		1.09-03		2.94-01	6.26-02		3.58-01		1.80-02
1.00+04		8.87-04		2.95-01	6.30-02		3.59-01		1.80-02
1.50+04		6.13-04		2.96-01	6.36-02		3.60-01		1.81-02
2.00+04		4.71-04		2.96-01	6.40-02		3.61-01		1.81-02
3.00+04		3.25-04		2.97-01	6.43-02		3.62-01		1.82-02
4.00+04		2.49-04		2.97-01	6.45-02		3.62-01		1.82-02
5.00+04		2.03-04		2.97-01	6.46-02		3.62-01		1.82-02
6.00+04		1.72-04		2.97-01	6.47-02		3.62-01		1.82-02
8.00+04		1.32-04		2.98-01	6.48-02		3.63-01		1.82-02
1.00+05		1.07-04		2.98-01	6.49-02		3.63-01		1.82-02

(b/atom) x .050240 = cm²/g