



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İYONLAŞTIRICI RADYASYON VE ÇEVRE GÜVENLİĞİ

Bahattin ÇİMEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK Anabilim Dalı

Ocak-2018
KONYA

Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İYONLAŞTIRICI RADYASYON VE ÇEVRE GÜVENLİĞİ

Bahattin ÇİMEN
Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
FİZİK Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Rıza OĞUL

2018,76 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Rıza OĞUL
Prof. Dr. Ömer DERELİ
Doç. Dr. Mehmet ERDOĞAN

İyonlaştırıcı radyasyon, bir atomdan bir elektron koparabilecek düzeyde yeterli enerji taşıyan radyasyon olarak tanımlanır. Başlıca iyonlaştırıcı radyasyonlar, gama ışınları, x-ışınları, alfa, beta, nötron ve elektromanyetik spektrumun yüksek enerji ultraviyole kısmını içeren ışınlardan oluşur. Bununla birlikte, elektromanyetik spektrumun düşük enerji ultraviyole kısmı, görünür bölge ışınları ve görünür lazer ışınlarının tamamı, kızılötesi, mikrodalgalar ve radyo dalgaları iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak bilinir. İyonlaştırıcı radyasyon bölgesi iyi bir şekilde tanımlanmamıştır. Çünkü atomların ve moleküllerin iyonlaşma enerjileri farklı farklıdır. Buna göre 10 eV değeri iyonlaştırıcı olmayan radyasyon enerjisi için anlaşılmış bir üst sınır değerdir. Örneğin, su molekülü için iyonlaştırıcı olmayan radyasyon enerji eşik değeri 33 eV olarak göz önüne alınır. Bu tür radyasyonlar hakkındaki bilgiler, canlılara olan negatif etkilerin ve çevresel tedbirlerin belirlenmesinde önemlidir. İyonlaştırıcı radyasyon görünür bölgede olmadığı için insan duyuları ile dedekte edilemez bu yüzden radyasyon sayaçlarına ihtiyaç duyulur. Bu tezde, iyonlaştırıcı radyasyonun temel özellikleri ve çevreye etkileri incelenecektir. Buna göre, çevre güvenliği açısından alınacak tedbirleri inceleyeceğiz.

Anahtar Kelimeler: Alfa, Beta, Gama, Çevresel güvenliği, Madde ile etkileşim, İyonlaştırıcı radyasyon

ABSTRACT

MS THESIS

Ionizing Radiation and Environmental Safety

Bahattin ÇİMEN
THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN PHYSICS

Advisor: Prof. Dr. Rıza OĞUL
2018, 76 Pages
Jury
Prof. Dr. Rıza OĞUL
Prof. Dr. Ömer DERELİ
Doç. Dr. Mehmet ERDOĞAN

Ionizing radiation is defined as the radiation providing the enough energy to free electrons from the atoms. Ionizing radiation mainly consists of gamma rays, x-rays, alpha, beta, neutron, and higher ultraviolet part of the electromegnetic spectrum. However, the lower ultraviolet part of electromagnetic spectrum, visible light including all laser light, infrared, microwaves and radio waves are said to be non-ionizing radiation. Ionizing radiation region is not well defined. This is because, the atoms and molecules have different ionizing energies. Accordingly, 10 eV is considered as a conventional upper limit to be non-ionizing energy. A suggested threshold energy to ionize a water molecule, for example, is given by 33 eV. Knowledge of these types of radiation is important for the information about the negative effects on living beings, and for the determination of possible environmental precautions. Since the ionizing radiation is invisible we can not detect directly by human senses, therefore, we need radiation detection instruments. In this study, the basic properties of ionized radiation will be investigated in terms of fundamental interactions and environmental effects. Accordingly, we will investigate the measures to be taken with the purpose of reducing these environmental effects, for environmental safety.

Keywords: Alpha, Beta, Gama, Environmental security, Interaction with matter, Ionizing radiation

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi Fizik Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Rıza OĞUL yönetiminde hazırlanarak, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne Yüksek Lisans Tezi olarak sunulmuştur.

Yüksek Lisans tezimi yöneten ve çalışmalarımın her safhasında yardımlarını gördüğüm ve bana her zaman destek olan değerli hocam Sayın Rıza OĞUL'a çok teşekkür ederim. Yine çalışmalarım esnasında büyük desteklerini gördüğüm Doç. Dr. Mehmet ERDOĞAN'a teşekkür ederim.

Tahsil hayatım boyunca bana her yönden destek olan aileme, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bahattin ÇİMEN
KONYA-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....iv

ABSTRACT……..……iv

ÖNSÖZ……vi

İÇİNDEKİLER.....vii

SİMGELER VE KISALTMALAR……x

1.GİRİŞ.....1

2.İYONLAŞTIRICI RADYASYON…...……...2

2.1. Radyasyon……..…...…….……...….2
2.2. Radyasyon Kaynakları…...……...…….…3
2.2.1. Doğal radyasyon kaynakları….....……...….3
2.2.2.Yapay radyasyon kaynakları…….....…….……4
2.3. Radyasyon Çeşitleri…..……...…5
2.3.1. İyonlaştırıcı radyasyonlar.…….…….....……...…6
2.3.1.1. Parçacık radyasyon…….....……...…6
2.3.1.1.1. Alfa parçacık…….....……...7
2.3.1.1.1.1. Alfa parçacıklarının menzili.…….....……8
2.3.1.1.2. Beta parçacıkları…….....……..9
2.3.1.1.2.1. β^- bozunması...…….....…….…...…9
2.3.1.1.2.1.1. Bremsstrahlung (Frenleme Radyasyonu)… .....……11
2.3.1.1.2.1.2. Cerenkov radyasyonu…….....……..……11
2.3.1.1.2.2. β^+ bozunması……..…….....…….....14
2.3.1.1.2.3. Elektron yakalama olayı……...…....……15
2.3.1.1.2.4. Beta parçacıklarının menzil-enerji ilişkisi…..……..……..…15
2.3.1.1.3. Nötron radyasyonu (Işıması)…….....……..……16
2.3.1.1.4. Proton radyasyonu (Işıması)…..…….....……...…17
2.3.1.1.5. Elektron radyasyonu ışıması….....…….18
2.3.1.2. Elektromanyetik radyasyon…...…….....……19
2.3.1.2.1. Gama radyasyonu(Işıması)…..…….....……19
2.3.1.2.2. X ışınları…….....……...……21
2.3.1.2.2.1. Sürekli (Frenleme) x ışınları…...…….....…….……22
2.3.1.2.2.2. Karekteristik x ışınları…….....……22
2.4. Radyasyonun Madde İle Etkileşimi…...……..……25
2.4.1.Yüklü partiküllerin madde ile etkileşimi…...…….....……26
2.4.2.Yüksek enerjili fotonların madde ile etkileşimi….....…….27
2.4.2.1. Fotoelektrik etkisi……..…….....28
2.4.2.2. Compton saçılması…….....……29
2.4.2.3. Çift oluşum……...…….....……...……31

2.4.2.4. Koherent saçılma……..……..……32
2.4.2.5. Fotodisintegrasyon(Fotoayrışma)…….....…….……32
2.5. İyonlaştırıcı Radyasyon Doz Birimleri…..…….....……33
2.5.1. Radyoaktif şiddet (Aktivite) birimi…..…….....……33
2.5.2. Işınlama birimi…..…….....……34
2.5.3. Soğurulmuş doz birimi…….....……34
2.5.4. Doz eşdeğeri birimi(Biyolojik Doz)…….....……35
2.6. Radyasyon Doz Hesabı…….…..…..……37
2.6.1.Ters kare yasası…..…….....……..……38

3.İYONLAŞTIRICI RADYASYONDAN KORUNMAK İÇİN ÇEVRE GÜVENLİĞİ……..……40

3.1. İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunma Kuralları Ve Tarihçesi..…….....……40
3.1.1. Doz eşdeğeri…..…….....……..……42
3.1.2. Etkin doz eşdeğeri…….....……..……43
3.1.3.Yüklenen etkin doz eşdeğeri…..…….....……..……43
3.1.4. Kollektif doz eşdeğeri…….....……..……43
3.2. İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunmak İçin Temel Prensipler…..…..……43
3.3. İyonlaştırıcı Radyasyon Korunmasında Yasal Limitlerin Değerlendirilmesi.....43
3.3.1. Referans seviyesi…..…….....……43
3.3.2. Kayıt seviyesi…….....……..……44
3.3.3. Araştırma seviyesi…….....……..……44
3.3.4. Müdahale seviyesi…..…….....……..……44
3.3.5. Risk ve temel korunma kuralları…..…….....……..……44
3.4. İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunma Standartları……..……44
3.5. Nükleer Tıp Bölümlerinin Planlanması…….....……..……45
3.5.1. Soğuk odalar……..…….....……45
3.5.2. Ilık alanlar…….....……45
3.5.3. Sıcak alanlar…….....……45
3.6. Nükleer Tıp Bölümünde Bazı Alanların Tanımlanması…….....…..……47
3.6.1. Görüntüleme odaları…….....……47
3.6.2. Radyofarmasi veya sıcak laboratuvar…….....……..……47
3.6.2.1. Radyofarmasi odasında radyasyon için çevre güvenliği…….....……47
3.6.3. Bekleme Odası ve Danışma…….....…….……..…48
3.6.4.Yüksek Dozlu I-131 Almış Hastaların Gözetimi…….....……..…..……48
3.6.4.1.Yüksek dozlu I-131 tedavisinde iyonlaştırıcı radyasyon çevre güvenliği.48
3.6.4.1.1. Hemşirenin korunması…….....…..……..……48
3.6.4.1.2. Hastanın korunması…….....……..……49
3.6.5. Radyoassay laboratuvarı(RIA)…….....……49
3.6.6.Sayım odaları…….....…..……..……50
3.6.7.Tiroid uptake odası...…….....……..……50
3.6.8. Rapor odaları…….....……..……50
3.7. Nükleer Tıp Laboratuarında Çalışırken TAEK Tarafından Uyulması İstenilen Kurallar……..……50
3.8. İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunmak İçin Havalandırma…..…..……51
3.9. İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunmak İçin Yalıtım…….....……..……53
3.10. İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunmak İçin X ışınları Odasının Düzenlenmesi.53
3.11. İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunmak İçin Koruyucu Aygıtlar…..…....…..…53
3.11.1. Kurşunlu önlük……..…….....……..……54

3.11.2.Yüz koruyucular…….....…….……55
3.11.3. Boyun koruyucular……...…….……55
3.11.4. Kurşunlu gözlükler…….....…….……55
3.11.5. Kurşunlu eldivenler……..... ….……...……56
3.11.6. Kurşunlu paravan…….…….....……...56
3.11.7. Hamileleri korumak amaçlı kurşunlu koruyucular…....…….……56
3.12. Koruyucu Diğer Araç-Gereçlerle İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunma…..... 57
3.13. İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunmak İçin Cihazların Kullanımında Karanlık Oda Tekniğiyle Sağlanan Güvenlik Önlemleri…….……57
3.14. İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunmak İçin Alan Ve Personel Monitoringi.....58
3.14.1. Alan monitoringi…….....……...……58
3.14.2. Personel monitoringi…..…….....……..……59
3.15. Personel Monitoring İzleme Metodları……...…….……59
3.15.1. Dozimetreler……...…...……...……59
3.15.1.1. Film dozimetreler……...……60
3.15.1.2.Termolüminesans dozimetreler……...…….……..……61
3.15.1.3. Kalem(Cep) dozimetreleri…….....…….……61
3.16. İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunmak İçin Alınması Gereken Temel Önlemler……...……62
3.16.1. Mesafe……...……63
3.16.2. Zırhlama…….……64
3.16.3. Zaman……...…….……65
3.17.İç Radyasyondan Korunma Yöntemleri……...……66
3.18. Radyoaktif Atıklarla İlgili Alınması Gereken Önlemler…….....……67

4.KAYNAK ARAŞTIRMASI 68
4.1. Litaretür özetleri……..…….……68

5.MATERYAL VE YÖNTEM.....72

6.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA,DEĞERLENDİRME.....….....…73

7.KAYNAKLAR 75

8.ÖZGEÇMİŞ 77

SİMGELER VE KISALTMALAR

MMD: Maksimum müsaade edilebilir değer

RBE: Rölative biyolojik etkinlik

ICRU: Uluslararası radyasyon birimleri komitesi

LET: Lineer enerji transferi

KF: Kalite faktörü

SI: Uluslararası birim sisteminde

Ci: Curie

C: Coloumb

MeV: Milyon elektronvolt

A^0: Angström

Bq: Becquerel

GBq: Giga Becguerel

Gy: Gray

P: Proton

e: Elektron

eV: elektronvolt

n: Nötron

Mg: Magnezyum

β: Beta

γ: Gama

α: Alfa

R: Röntgen

Mg: Magnezyum

1. GİRİŞ

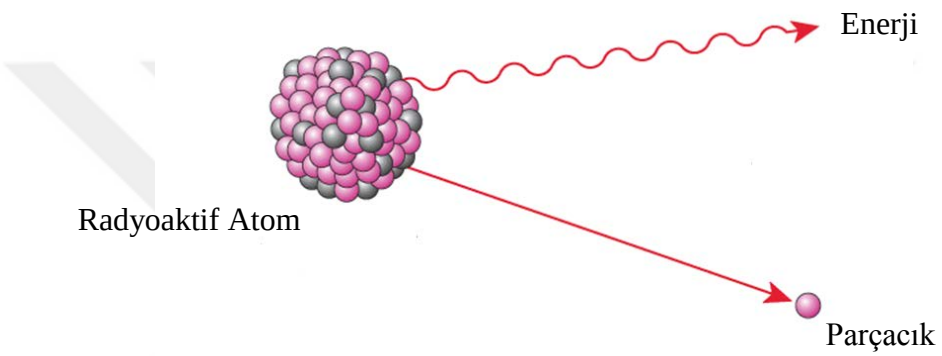
Sağlık insan hayatının vazgeçilmez değerlerinden biridir. Yaşadığımız açık veya kapalı yerlerde devamlı olarak doğal veya yapay radyasyonlardan yayınlanan iyonlaştırıcı radyasyonlara (alfa, beta, gama, x ışınları vb.) maruz kalınmaktadır. Bu da insan sağlığını ciddi şekilde etkileyebilmektedir. Bu çalışmamızda iyonlaştırıcı radyasyonla ilgili alınacak önlemler ve korunmaya yönelik kavramlardan bahsedilmektedir. Uluslararası düzeyde iyonlaştırıcı radyasyonla ilgili ne gibi uygulamalar yapılmaktadır. Yüksek enerjili olan iyonlaştırıcı radyasyonun ne gibi türleri olduğu ve bunların biyolojik etkilerinden bahsedilerek ve ne gibi biyolojik zararlar verebilmektedir. İyonlaşmanın ne derecede olduğu ve niteliği, radyasyonu oluşturan parçacık/ışın sayısına (yoğunluk/şiddet) ve bu parçacıkların (fotonları da kapsayacak şekilde) her birinin enerjilerine bağlıdır. İyonlaştırıcı radyasyonun her biri, madde (insan vücudu da dahil) ile farklı şekilde etkileştiği için bunların her birinin, farklı tipteki malzemelerle durdurulabilmektedir. Bu konularla bağlantılı olarak iyonlaştırıcı radyasyonun insan sağlığında tanı ve tedavi amaçlı kullanılmaktadır. Temel hedeflerden birisi de radyasyondan korunmak için müsaade edilen doz sınırını bilmek ve çalışanlar ile halkın bunun üzerinde doz almasını engellemektir. Bu doz sınırı, prensip olarak, insanı yaşamı boyunca herhangi bir vücut rahatsızlığı ve genetik etki meydana getirmeyecek radyasyon dozu olarak tanımlanır. 1931 yılında, insan vücudunun bir yılda alabileceği maksimum müsaade edilebilir doz olarak 50000 mrem'dir. Belirlenen bu rakam günümüze kadar geliştirilerek, 30 yıllık bir maruz kalma süresi için yaklaşık 5000 mrem/yıl'dır.

Bu çalışmada iyonlaştırıcı radyasyon çeşitlerinin yararları ve zararları hakkında bilgi verilmektedir. Bu radyasyon çeşitlerinin maddeyle etkileşime girdiğinde ne gibi etkilere neden olmakta ve iyonlaştırıcı radyasyondan korunmak için ne gibi önlemler alınmaktadır.

2. İYONLAŞTIRICI RADYSAYON

2.1. Radyasyon

Radyasyon, dalga ya da parçacık şeklinde uzayda enerji yayınlanmasıdır. Yayınlanan bu enerjinin büyüklüğüne ve enerji kaynağına göre sınıflandırılabilen radyasyon türleri de bulunmaktadır. Radyasyon çeşitli şekilde uyarılmış atomlardan yayınlanmaktadır. Bu yayınlama doğal ve yapay yollarla ortaya çıkmaktadır. Bu olay Şekil1.1'de canlandırılmıştır. Bu şekilde de görüldüğü gibi uyarılmış bir atom bir parçacık yayınlarken elektromanyetik dalga ya da bir parçacık olarak radyasyon enerjisi yayar.



Şekil 2. 1. Radyasyon meydana gelişi (Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi, 2014)

Radyasyonun tanımlanmasında üç ana değişken bulunmaktadır.

1. Radyasyon Enerjisi

Radyasyon enerjisi düşük ve yüksek enerjili radyasyon olarak sınıflandırılır. İyonize radyasyon olarak da tanımlanabilen yüksek enerjili radyasyon, atomdan elektron koparabilen dolayısıyla atomu iyonize edebilen radyasyon türlerindendir. Bunların başlıcaları Alfa, Beta, Gama ve X-Işınlarıdır. İyonize olmayan radyasyon yani düşük enerjili radyasyon ise etkileşime girdiği maddenin içindeki atomları enerjisi az olduğu için iyonize edemez ve sadece uyarmakla kalır. Radyo dalgalar, görünür ışık, kızılötesi ışık, mikrodalgalar vb. iyonize olmayan radyasyona örnektir.

2. Radyasyon Türleri

a) Parçacık radyasyonu: alfa, beta, nötron, proton ve daha ağır iyonlar.

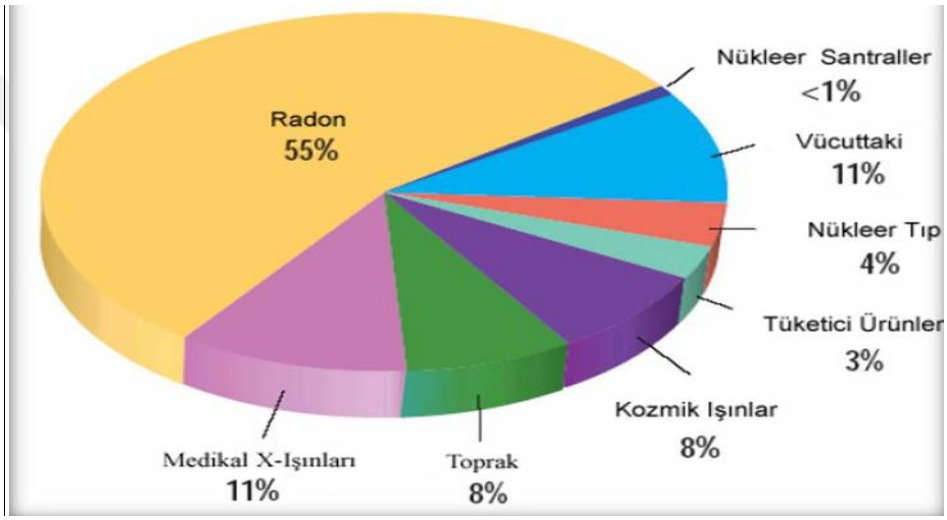
b) Elektromanyetik radyasyon: gama ışımaları, x-ışımaları, morötesi ışımaları, görünür bölge ışımaları, kızılötesi ışımaları, radyo dalgaları.

3. Radyasyon Kaynağı: doğal (doğada bulunan radyoaktif elementler, kozmik ışınlar vb.) ve yapay radyasyon kaynakları (nükleer reaktörlerde ve nükleer reaksiyonlarda ortaya çıkan radyoaktif maddeler).

Bütün radyasyonlarda enerji, elektromanyetik spektrum içinde kütlesiz ve yüksüz fotonlarla taşınabilmektedir. İyonize edici olan elektromanyetik radyasyon çekirdekten yayılıyorsa gama adını, yörüngesinde yayılıyorsa X-ışıması adını almaktadır (Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi, 2014).

2.2. Radyasyon Kaynakları

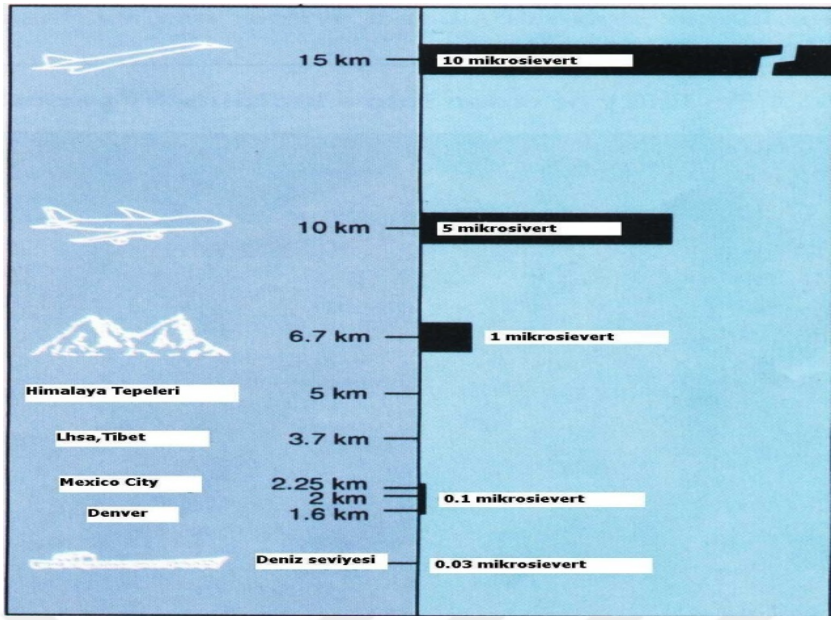
Evrendeki tüm varlıklar, geçmişten günümüze evrenden yayımlanan kozmik ışımalar ve dünyada var olan doğal radyoaktif maddelerden yayımlanan radyasyonla ışınlanarak, tüm canlıların geçmişten günümüze devamlı olarak doğal radyasyonla iç içe yaşamak zorunda kalmıştır. İnsanlar tarafından bunlara ek olarak yapılan yapay radyasyon türlerinin ışımasına da maruz kalıyoruz.



Şekil 2. 2. Radyasyon kaynakları (Seyrek, 2007)

2.2.1. Doğal radyasyon kaynakları

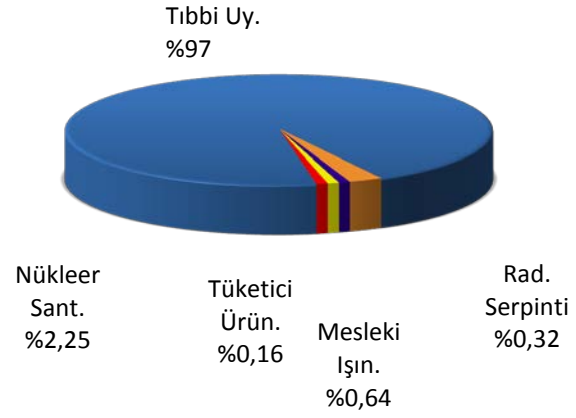
Dünya varoluşundan bu yana olan (giderek daha da azalan) doğal radyoaktif maddelerden ve uzaydan gelen kozmik ışımalardan meydana gelmektedir. Bu ışınların tamamına yakını atmosferi geçmeye çalışırken yakalanırlar. Çok az bir miktarı yer küreye ulaşır. Deniz seviyesinden yükseklere çıkarsak daha çok kozmik ışınlara maruz kalırız. Dünyada kozmik ışınlamadan dolayı aldığımız günlük radyasyon doz ortalaması 0,39 mSv/yıl'dır. Doğada gama ışımalarının da etkisiyle radyoaktif elementlerin yayımladığı topraktan aldığımız radyasyon dozu olarak (dünya ortalaması) 0,46 mSv/yıl'dır. Bir yılda alınan iç radyasyon dozu olarak (dünya ortalaması) 0,23mSV'dır. Sebze, meyve, yiyecek içecek ve havadan aldığımız dozu olarak (dünya ortalaması) yaklaşık 0,25 mSv'dır.



Şekil 2. 3. Kozmik ışınların radyasyon dozunun yüksekliğe göre değişimi (Seyrek, 2007)

3.2.2.Yapay radyasyon kaynakları

Teknolojinin gelişmesiyle bazı radyasyon kaynaklarını yapay yollarla bilim insanları üretmeye başlamıştır. Bu kaynaklar her ne kadar zararlı gibi görünse de insanların işini kolaylaştırıp daha kısa sürede iyi işler yapmamızı sağlamıştır.



Şekil 2. 4. Yapay radyasyon türlerinden maruz kaldığımız küresel radyasyon dozunun oransan değerleri (Taek, 2009)

2.3. Radyasyon Çeşitleri

Çizelge 2. 1. Radyasyon çeşitleri

İyonlaştırıcı Radyasyon	**Parçacık Tipi**
	Hızlı elektronlar , Beta parçacıkları, Alfa parçacıkları, Protonlar, Nötron partikülleri
	Dalga Tipi
	X ışınları, Gama ışınları
İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon	**Dalga Tipi**
	Radyo dalgaları, Mikrodalgalar, Kızılötesi dalgalar, Görülebilir ışık

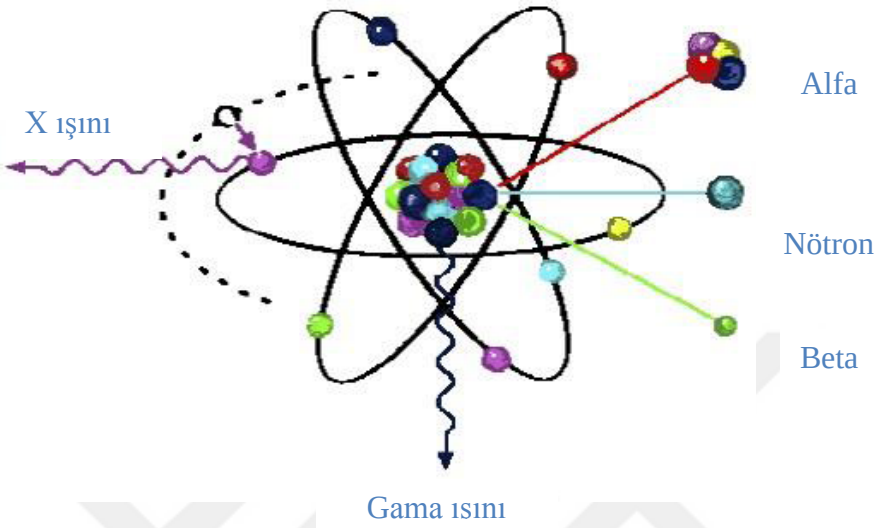
Radyasyon madde üzerinde oluşturdukları etkileşmelere göre iyonlaştırıcı radyasyon veya iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak iki gruba ayrılmaktadır. Enerjisi yüksek ışımaları farklı bir atomla çarpıştırdığımızda o atomun dış yörüngesinde bulunan elektronu sökebiliyorsa, yani bu atomu iyonize edebiliyorsa bunlara **iyonlaştırıcı radyasyon** deniliyor. Bu süreç sonucunda, sökülen elektron ve + yüklü hale dönüşen atom bir iyon-çifti oluşturmuş olur.

Bununla beraber, iyonlaştırıcı radyasyonun değişik türlerinde değişik biyolojik etkileri olduğu görülmüştür, bunlar yüksek derecede biyolojik zararlar verebilmektedir. İyonlaşmanın kalitesi ve derecesi, onların yoğunluğuna ve tanecik sayılarının (fotonlarda içinde olmak üzere) her birinin enerjisiyle ilgilidir. Ne olursa olsun genel olarak şiddeti, takriben 10 elektron volt'tan (eV) daha büyük enerjiye sahip fotonları veya tanecikleri, iyonlaştırabilir olarak kabul edilmektedir. Bu enerjiyi, elektromanyetik dalgalar halinde yayılan yüksek frekanslı X- ışınları, gama ışınları ve ultraviyole ışınlarında bulunmaktadır. Ancak, dünya'nın atmosferi tarafından yüksek enerjili iyonlaştırıcı radyasyonlar soğurulmaktadır.

İyonlaştırıcı radyasyonlar; kozmik ışınları (uzaydan gelen X ve gama ışınları) ya da kozmik radyasyonu, madde ile etkileştiğinde iyon-çifti oluşturarak iyonizasyon

meydana getiren X-ışınlarını ve radyoaktif maddelerden çıkmakta olan beta, alfa, gama, nötron ışınları gibi farklı yapıdaki radyasyonları içermektedir.

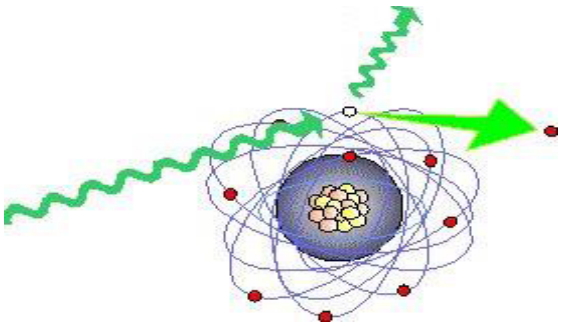
Radyasyonlar atomun çekirdeğinde yayımlanmakta (X-Işınları hariç), ve bunun için bunlara **nükleer radyasyonlar deniliyor** (Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi, 2014).



Şekil 2. 5. İyonlaştırıcı radyasyonların orijini (Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi, 2014)

2.3.1. İyonlaştırıcı radyasyonlar

İyonlaşabilecek düzeydeki moleküllerden veya iyonlaşabilecek atomlardan elektron sökebileceği kadar enerji yüklü olan kuantumlara sahip herhangi bir radyasyon çeşitlerindendir. Elektromanyetik ve parçacık olmak üzere ikiye ayrılır.



Şekil 2. 6. Atomun iyonizasyonu (Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi, 2014)

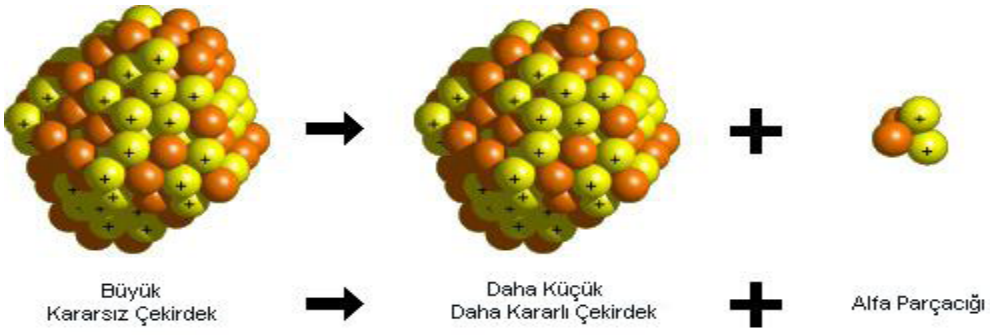
2.3.1.1. Parçacık radyasyon

Alfa (α), beta (β+ ve β-), proton(p), nötronlar (n), elektron(e) ve parçacık şeklinde radyasyonlardır. Taneciklerin sahip oldukları yüksek hızdan dolayı parçacık radyasyonları sahip oldukları kinetik enerji olarak tanımlanmaktadır. Alfa ve beta parçacıklarının iyonlaştırıcı etkilerinin daha büyük olmasına rağmen kütleleri ve elektriksel yüklerinden ötürü, gama ve X ışınlarına nazaran, maddelere daha az nüfuz

ederler. Kütleleri alfa ışınlarının dörtte biri kadar olan nötron ve protonlar ise nükleer parçacıklardır. Farklı nükleer tepkimeler esnasında çekirdekten sökülen proton ve nötronlar insan sağlığını tehdit eden en tehlikeli radyasyonlardan biridir. Elektrik yükü olmadığından özellikle nötron çok derinlere sızma özelliği bulunmaktadır. Bu radyoaktif ışınlarının hareketiyle insan vücuduna ne derece etki ettiği anlaşılmaktadır (Akkor, 2012).

2.3.1.1.1. Alfa parçacıkları

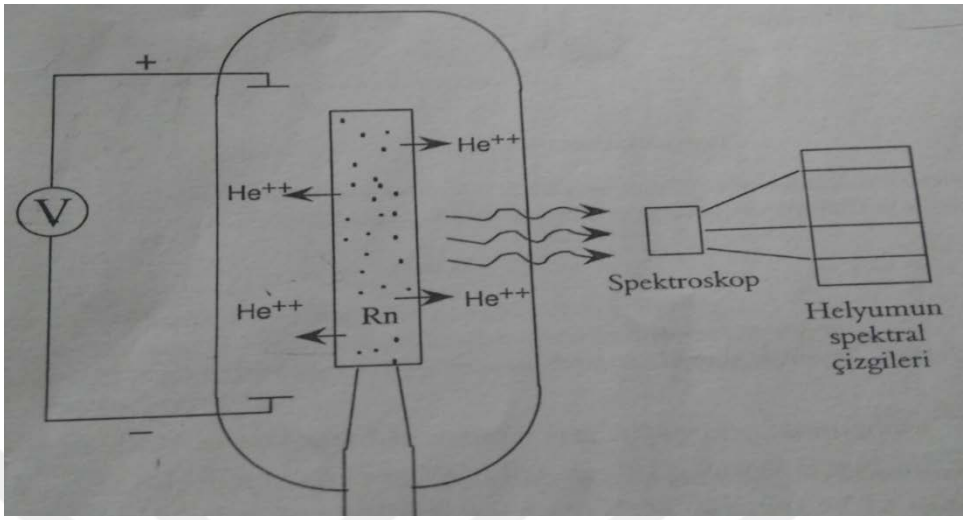
Alfalar atom numaraları yüksek olan (Uranyum, Toryum vb.) elementlerin parçalanmaları sırasında çekirdek tarafından dışarı atılırlar. Bir helyum(He) atomunun çekirdeği olan alfa parçacığı 2 nötron ve 2 protondan oluşmaktadır. Bu parçalanma esnasında çekirdeğin kütle numarası 4 atom numarası 2 azalmaktadır. Elektrik yüklü parçacıklardır ve bir ortama geçerken iyonizasyona neden olurlar. İyonizasyon yetenekleri çok yüksektir. Ancak giricilik özellikleri çok düşük olduğundan bir kağıt parçası veya elimizle durdurabiliriz. Fakat vücuda solunum veya sindirim yoluyla girdiklerinde daha büyük zararlar oluşturabilmektedir. Çıplak deride alfa ışınları biyolojik etki oluşturabilirler. Tanı ve tedavide kullanılmaz. Yükleri fazla olduğundan, etkileşme yolları, çok yoğun iyonize olmuş atom izleri ile belirleniyor. Yol uzunluğunun milimetresi başına aktarılan enerjisi oldukça fazladır ve ulaşabildikleri derinlik mikrometre mertebesindedir; havada ise maksimum uzaklığı sadece birkaç santimetredir.



Şekil 2.7. Alfa bozunumu (Seyrek, 2007)

Bir alfa ışını, radyoaktif bir atomun çekirdeğinden çıktığında, yörünge elektronları yoktur: +2 yüklü bir helyum çekirdeğidir. Ernest Rutherford, alfa parçacığının helyum (He) çekirdeği olduğunu ispatlayan bir deney yaptı. Radonu, çok ince türden yapılmış bir tüpe, tüpü de başka bir tüpün içine koydu. İçteki tüp, radonun yayınladığı alfa taneciklerinin ikinci tüpe geçebilmesine yetecek kadar ince seçilmiştir.

Deneye geçmeden önce tüpün içindeki havası alındı ve Rutherford günler sonra ikinci bölmeye bir elektrik alan uygulayarak, alfa taneciklerinin elektronları alınmış helyum çekirdekleri olduğunu deney üzerinde kanıtlamış oldu.



Şekil 2.8. Alfa parçacığının helyum çekirdeği olduğunu kanıtlayan deney düzeneği (Martin, 2006)

Bu parçalanmada (şekil 1.10) nötron ve proton sayıları farklı konurken, toplam enerjileride korunmalıdır. Parçalanmadan sonra yayımlanan alfa parçacıkları, 4-10 MeV'lik kinetik enerjiye sahiptir. Büyük kütlelerinden dolayı, ürün çekirdek büyük miktarda enerji ile geri tepilir. Bunun, sonucunda, hem +2 değerli alfa parçacığı hem de geri tepilen ürün çekirdek çok kısa mesafede fazla miktarda enerji kaybediyor. Helyum çekirdeğinin yüksek enerjiye sahip olmasına rağmen ağır kütlesi nedeniyle menzili çok kısa mesafelidir. Enerji kaybı ilk olarak iyonizasyon ile meydana geliyor, hızının düşmesiyle iyonizasyon üretme ihtimali artıyor ve hedefteki atomların çevresinde daha çok zaman harcamasına yol açıyor. Hızı azalıp durduğunda, yörünge elektronlarını kaparak nötr bir helyum atomu haline geliyor (Martin, 2006).

2.3.1.1.1.1. Alfa parçacıklarının menzil

Alfa parçacıklar tek enerjiyle yayımlanıyorlar ve her alfa parçacığı, bazı sapmalar hariç, havada ortalama aynı uzaklığa $\bar{R}$ sahip oluyorlar. MeV büyüklüğündeki enerjide olan alfa parçacıklarının menzili hava ortamında santimetre(cm) mertebesinde oluyor.

Menzil ile enerji arasındaki ilişki;

$$R=0.325E^{3/2} \quad (2.1)$$

veya

$$E=2.12R^{\mathbf{2/3}} \quad (2.2)$$

Denklemde ki R, normal durumdaki hava için santimetre (cm) ve E de MeV biriminde tanımlıdır.

Alfa parçacığının havadaki menzili kullanılarak başka ortamdaki menzili Bragg-Kleeman denklemi ile bulunabilir.

$R_m = \frac{\rho_a}{\rho_m} R_a \sqrt{\frac{M}{M_a}}$ (2.3) →→→→Alfa parçacıklarının havadaki menzilinin biliyoruz.

Havanın 1 atm ve 20℃'deki yoğunluğu ve moleküler ağırlığını yerine yazarsak,

$$R_m = 3.2 \times 10^{-4} \times \frac{\sqrt{M}}{\rho_m} R_a \quad (2.4)$$

elde edilir. Bağıntıda;

R_m: ortamdaki menzil

R_a: havadaki menzil

ρ_m: ortam yoğunluğu

M: ortamın atomik ağırlığı

Örnek1: Bir kaynaktan çıkan 4 MeV enerjili alfa parçacıklarını tamamen azaltmak için gerekli olan magnezyumun (ρ= 1,7) kalınlığı nedir?

Çözüm: öncelikle 64 MeV enerjili alfa parçacığının havadaki menzili denklem 1'deki bağıntıdan R=0.325$E^{3/2}$ E= 4 yazarsak R=2.6 cm çıkar. Mg'deki menzil

Mg atomik ağırlığı: 24

Mg yoğunluğu: 1.7

Mg havadaki menzili: 2.6

$R_{Mg} = 3.2 \times 10^{-4} \times \frac{\sqrt{24}}{1.7} \times 2.6$ = 24.128×10^{-4}cm = 24.13μm'dir.

Dokunun kütle durdurma gücü, bileşiminin benzer olması nedeniyle havadaki ile aynı oluyor. Alfa parçacığının dokudaki menzili, havadaki R_a menzili ile yoğunlukları ile belirleyebiliriz.

$R_t = \frac{\rho_a}{\rho_t} R_a$ ile bulunabilir. Bu sonuçları radyasyon korunmada kullanabileceğimiz için çok önemlidir (Martin, 2006).

2.3.1.1.2. Beta parçacıkları

Üç farklı türde beta bozunması vardır. Bunlar: β^-(izobarik) bozunumu, β^+(pozitron) bozunumu ve elektron yakalama olayıdır.

2.3.1.1.2.1. β^- bozunması

Eğer radyonüklidin enerji geçişindeki kararsızlığı çekirdeğindeki nötron fazlalığından oluşuyorsa, çekirdekteki enerji fazlalığını yok etmek için nötronlardan bir tanesini elektron ve proton haline dönüştürürler. Denklem (5). Proton çekirdekte kalırken, hızla atomda bulunan elektron dışarı atılıyor.

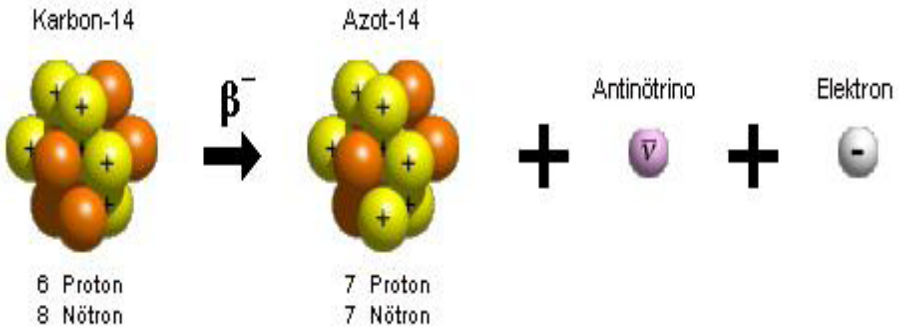
$$n \rightarrow p + e^- + v + \text{enerji} \qquad (2.5)$$

Elektron (e^-) ve nötrino (v) çekirdekte yayımlanır ve kinetik enerji olarak yer değiştirir. Elektron bir beta parçacığıdır. Bazen β^-parçacığı olarakta isimlendirilir. Nötrino kütlesi ve yükü olmayan parçacıktır. β^- bozunması şematiği;

$$_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z+1}^{A}X' + e^- + v$$

(2.6)

X ve x' farklı kimyasal elementlerdir. Kütle numaralarını ifade eden A değişmez. Olay bundan dolayı izobarik bozunmadır. X ve x' olan ürünümüz izobardır.



Şekil 2.9. β^- Bozunumu (Gezer, 2011)

Beta parçacıkları özel aletler ile keşfediliyor ve ölçülüyorlar. Ölçülmeleri nükleer tıp uygulamalarında zor oluyor. Bir kaç mm kalınlıktaki yumuşak doku içinde hapsolurlar. Bundan dolayı vücut dışına yerleştirilen detektörler ile keşfedilmeleri oldukça zor oluyor (Demir, 2000).

Beta parçacığının iyonizayonu ve giriciliği

Beta parçacıkları etkileşime girdikleri atomları eskite, iyonize ya da her ikisini birlikte edebilme yeteneğindedir. İyonizasyon şekilleri alfa parçacığına göre farklı oluyor. Alfa parçacığı orbital elektronunu çeker ve böylelikle iyon çiftini oluşturmuş olur. Beta parçacığında ise, orbital elektronunu iterek iyon çiftini oluşturur.

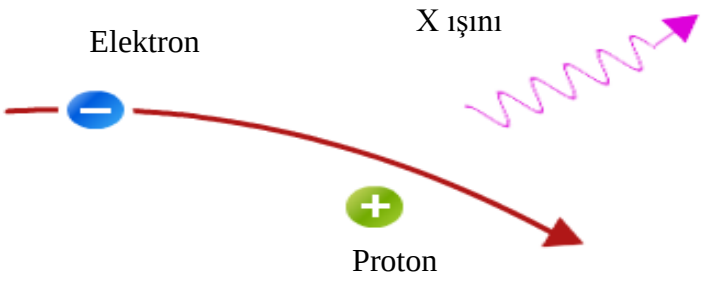
Fırlatılan beta parçacığı yüksek hızından dolayı büyük kinetik enerjiye sahiplerdir. Yörüngesindeki atomlar ile yaptığı çarpışmalarla enerjisi git gide azalır. Alfa parçacıkları ağır kütlelerinden dolayı betadan daha ağır ilerliyorlar. Bu durum

betanın karşılaşmış olduğu atomun bir orbital elektronuyla çekiliyor olmasını artırıyor. Bundan dolayı betaya göre menzilleri kısa oluyor.

Beta parçacıkları iyonizasyon başına yaklaşık 34 Ev enerji kaybediyorlar (alfa parçacıkları da aynı şekilde enerji kaybediyor). Beta parçacığının giriciliği alfaya göre farklı olarak yaklaşık 100 kat daha yüksektir. Gama'ya göre ise giriciliği çok daha az oluyor. Alfa ışınını bir kağıt parçasıyla durdurabilirken aynı enerjili beta ışınını durdurmak için 20 mm kalınlıktaki alüminyum levhalarla veya ince bir plastikle tam olarak durdurulabilmektedir. Beta parçacığının 1MeV enerjiyle dokuya ulaşma uzaklığı 0,42 cm'dir. Beta parçacığı durduğu yerde bile zararlıdır. Durdurulduğu yerde enerjisini bırakarak güçlü iyonizasyon oluştururlar. Kan hastalığının tedavisinde('Polisitemia Vera' denilen) Fosfor-32 tarafından salınan beta ışınlarından yararlanılmaktadır. Ayrıca Prometyum-147 tarafından salınan beta ışınları kan pompası (yapay kalp) denilen aletlerde yararlanılmaktadır (Demir, 2000).

2.3.1.1.2.1.1. Bremsstrahlung (Frenleme Radyasyonu)

Frenleme radyasyonu anlamına gelen bremsstrahlung, elektromanyetik bir radyasyondur. Betalar yüksek hızlarından dolayı, yüksek Z'li gibi soğurucu bir ortamda geçiyorken bremsstrahlung (Frenleme Radyasyonu) üretiyorlar. Saparak çekirdek yakınından geçen elektronlar sapmadan dolayı ivmeleniyorlar ve bremsstrahlung ile enerji kaybediyorlar. Betanın kaybettiği enerjiler bremsstrahlung fotosuna aktardığı enerji kadar oluyor. Beta parçacığı çekirdek yakınından geçerken çekirdeğin pozitif tarafına (protona)doğru çekiliyor. Parçacığın doğrultusunu değiştirerek yavaşlamasına neden olur. Bundan sonra beta parçacığının enerjisi git gide yavaşlayarak kayboluyor. Bu olay gerçekleşirken X ışını salınımıda oluyor (şekil.2.10) (Arslan, 2010).



Şekil 2.10.Yüksek-hızlı elektronla üretilen bremsstrahlung (http://chandra.harvard.edu/index.html, 2014) (Elektron proton çekirdeği yanından geçerken çekim alanına maruz kalarak durdurulur ve yönü değişerek yoluna devam eder. Bu sırada x -ışını olan bremsstrahlung radyasyonu salınıyor.)

Bremsstrahlung oluşturduğu için yüksek Z'li olan kurşun her zaman radyasyon korunumu sağlamıyor. Bremsstrahlung korunumun da kullandımız maddenin türüne göre kaplama yapılarak korunabiliriz.

2.3.1.1.2.1.2. Cerenkov radyasyonu

Cerenkov radyasyonu (Cerenkov ışıması) bilhassa nükleer reaktör çekirdeklerinde oluşan mavi tonlu bir ışıktır. İsmini bunu kanıtlayan bilim insanı Pavel Cerenkov'dan ve ışığın elektromanyetik radyasyon olmasından alıyor. 1958 yılında cerenkov buluşuyla Nobel ödülü almıştır. Nükleer tepkimeler ile etrafında açığa çıkan yüksek hızlı yüklü parçacıkların, reaktör çekirdeğini çevreleyen su ile etkileşime girmesi nedeniyle ortaya çıkıyor. Madde içerisindeki ışık hızının geçtiği başka durumlarda da gözlemlenebiliyor. Peki ışık hızı aşılabiliyor mu? Işık hızı aşılamıyorsa Cerenkov Radyasyonu nasıl oluşabilir?

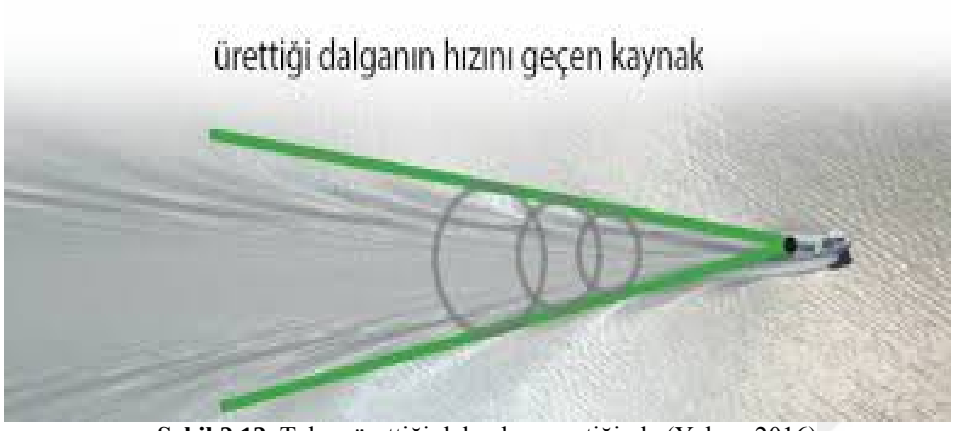
Işık boşlukta 299,8 m/s (saniyede yaklaşık 300,000 kilometre) hızla ilerliyor. Işık hızı c ile ifade edilir ve ışık hızının aşılması imkansızdır. Ancak hava, su, veya içinden geçebildiği daha yoğun maddeler içerisinde ışığın hızı(c) yavaşlıyor. Bu durumda bir maddenin içerisinde ışık(c) hızını aşmamak şartıyla ışıktan daha hızlı giden parçacıklar bulunabiliyor.

Farklı maddesel ortamlarda ses hızı da farklı hızlarda yayılıyor. Sesin havadaki hızı saniyede yaklaşık 340 m oluyor. Ses havada yayılırken 340 m hızı aşamaz ancak bazı özel durumlarda ses hızını aşan parçacıklardan söz ettiğimiz gibi savaş uçakları da ses hızını aşabiliyorlar. 2 boyutluya örnek verecek olursak suya atılan bir cismin etrafında dalgalar oluşuyor. Cismin atıldığı nokta belirli aralıklarla ilerletilirse dalgalarda cismin atıldığı yöne doğru sıkışmaya başlıyor. Cismin atıldığı nokta, cismin oluşturduğu dalganın hızıyla aynı hızda değiştirilirse, dalga bir tarafta sıkışmaya başlar.



Şekil 2.11. Suya bir cisim attığımızda oluşan dalga (Yabaş, 2016)

Dalganın hızı geçtiğinde, hızı geçen kaynak arkasında üçgen bir dalga cephesiyle ilerliyor. Suda ilerlerken teknelerin arkasında üçgen dalgaların oluşmasının sebebi budan dolayıdır.



Şekil 2.12. Tekne ürettiği dalga hızı geçtiğinde (Yabaş, 2016)

Savaş uçakları da ses hızını geçtiklerinde 3 boyutlu üçgen yani devamlı bir dalga oluşturmaya başlıyor.

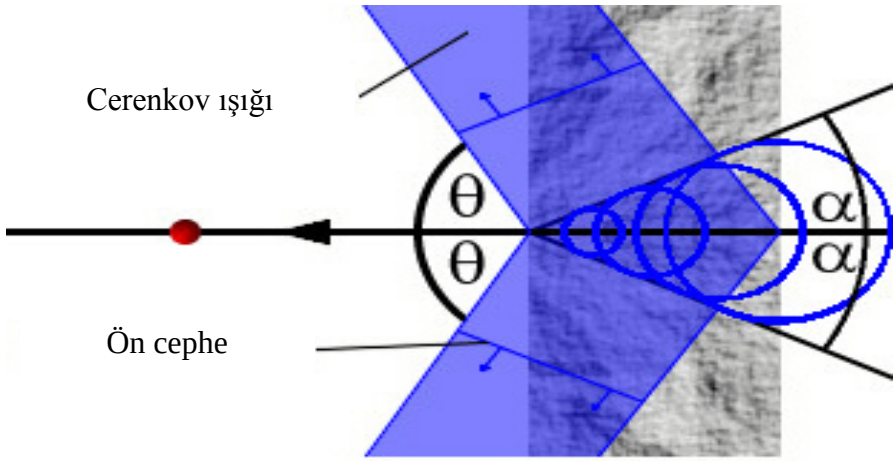


Şekil 2.13. Uçağın ses hızını geçmesi (Yabaş, 2016)

Sıvının içinden ışık hızından daha hızlı giden parçacıklar geçerse, denizdeki teknenin oluşturduğu su dalgası veya ses hızını geçen uçağın meydana getirdiği ses dalgası yerine, elektromanyetik dalga yani ışık oluşuyor.

Cerenkov radyasyonunun meydana gelmesi için ortamın dielektrik ve hızlı parçacıkların yüklü olması gerekiyor. Yüksek hızlı olan beta parçacığının oluşturduğu yapıcı girişim(şekil 16), görünür ışık spektrumunun mor ötesi bölgede fotonları üretiyorlar ve yüksek radyoaktiviteli çeşitli kaynaklardan çıkan mavi ışığa sebep oluyorlar. Cerenkov radyasyonunu nükleer reaktör ve başka yüksek şiddetteki radyasyon kaynakları çevresinde gözlemlemek devasa bi olaydır, fakat iyonizasyon ve bremsstrahlung üretimindekine göre küçük bir enerji kaybından sorumlu oluyorlar. Mavi ışığın gözlendiği nükleer reaktör çekirdeklerinin etrafında su bulunuyor. İki

hidrojen ve bir oksijen atomu içeren su, polar moleküllerden oluştuğu için dielektrik bir madde oluyor. Su nükleer reaktörleri soğutmak, fisyon tepkimelerinden açığa çıkan nötron parçacıklarını hızını azaltmak ve zincirleme nükleer reaksiyonu sürdürmek için kullanılıyor. Fisyon tepkimelerinden aynı zamanda beta parçacıkları, yüksek hızlı elektron veya pozitron açığa çıkıyor. Açığa çıkan bu beta parçacıkları, suda yayılarak Cerenkov radyasyonuna neden oluyor.



Şekil 2.14. Cerenkov radyasyonunun oluşumu için üretilen dalga (erlangen.physicsmasterclasses.org)

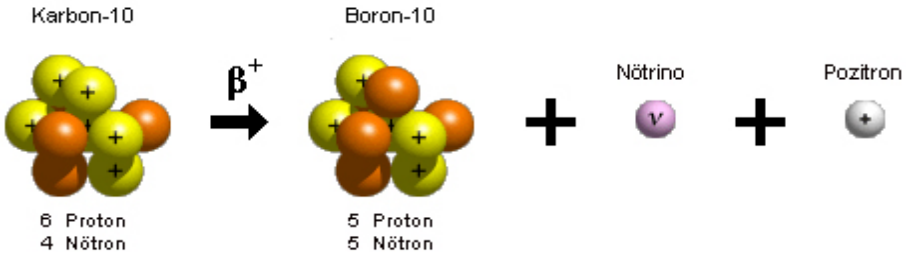
Nükleer reaktörlerde doğal olarak oluşan bu etki, reaktördeki tepkimenin yoğunluğunu veya kullanılmış nükleer yakıt çubuklarının radyoaktivitesini ölçmek için kullanılıyor. Bunun dışında biyomedikal görüntüleme alanında da kullanılması için çeşitli araştırmalar yapılıyor. Astrofizik araştırmalarında Cherenkov radyasyonu bir nevi parçacık dedektörü olarak da kullanılıyor. Gözlemevlerinde Cherenkov etkisinden faydalanarak yüksek enerjili kozmik ışınların atmosfer ile girdiği etkileşimlerden açığa çıkan ve dünya yüzeyine inen parçacıklar tespit edilebiliyor (Yabaş, 2016).

2.3.1.1.2.2. β^+(pozitron ışıması) bozunması

Radyoaktif atomlarda proton sayısı nötron sayısından fazla olduğundan, proton sayılarını azaltmak için çekirdeklerindeki bir protonu nötrona çeviriyorlar.

$$P \rightarrow n + e^+ + \upsilon + \text{enerji} \qquad (2.7)$$

Denklem(7) β^+ (pozitron) ışıması yapan bir atomun, atom numarası 1 azalıyor, kendinden önceki elementin (izobar) atomuna dönüşüyor. Kütle numarası aynı kalıyor. $\beta^+(\text{pozitron})$ taneciği, $\beta^-(\text{beta})$ taneciğinin yük bakımından tam tersi oluyor.



Şekil 2.15. β^+(pozitron) bozunumu (Gezer, 2011)

2.3.1.1.2.3. Elektron yakalama olayı

Bir çekirdek yörünge elektronlarından(K, L) birini yakaladığında ortaya çıkıyor. Proton ile elektron birleşerek nötron ve nötrino haline dönüşüyorlar. Bu bozunma sırasında çekirdeğinden parçacık salınmıyor ancak proton sayısı bir azalıyor. Kütle numarası ise aynı kalıyor. Biten elektron yörüngesine üstteki yörüngelerden başka bir elektron geçiyor ve frenleme (bremmstrahlung) radyasyonu olarak adlandırılan x ışınları yayınlanıyor (Deneysel olarak uygun enerjide gözlemlenebilir). (Gezer, 2011)

$$P + e^- \rightarrow n + \upsilon \qquad (2.8)$$

Örneğin; ${}^{7}_{4}Be$,bir yörünge elektronu(genellikle K tabakasında) ${}^{7}_{3}Li$ yakalar. Bu süreçte elektron yok oluyor ve bir proton çekirdek içinde bir nötrona dönüşerek bir nötrino yayınlıyor:

$${}^{7}_{4}Be + e^- \rightarrow {}^{7}_{3}Li + \upsilon$$

2.3.1.1.2.4. Beta parçacıklarının menzil-enerji ilişkisi

Enerji ile menzil arasında oluşan ilişki için deneysel bilgilerden yararlanarak çeşitli bağıntılar üretilmiştir. MeV derecesindeki enerjilere karşı mg/cm^2 cinsinden R menzili için üretilen eşitlikler: $0.01 \leq E \leq 2.5$ MeV (bu aralıktaki enerji için),

$$R = 412E^{1.265-0.0954 \ln E} \qquad (2.9)$$

Veya R≤1200 mg/cm^2 için ,

$$\ln E = 6.63 - 32376(10.2146 - \ln R)^{1/2} \text{ dir.} \qquad (2.10)$$

Diğer bir deneysel bağıntımız ise, $E \geq 0.6$ MeV'lik beta parçacıkları için Feather kuralımızdır:

$$R = 542E - 133 \qquad (2.11)$$

Düşük enerjili elektronların enerji-menzil hesabında bu bağıntılar kullanılabiliyor. Soğurucu kalınlığına bakılarak ölçülmüş olan beta parçacıklarının sayısındaki üstel azalmayı;

N=$N_o e^{-\mu_{\beta(\rho x)}}$ şeklinde tanımlayabiliriz. (2.12)

N_o : soğurucunun sıfır kalınlık için ölçülen beta parçacıklarının sayısıdır

N: x kalınlığında soğurucu için gözlemlenen sayımdır

μ_β: beta soğurma sayısıdır

ρx: soğurucunun yoğunluğudur

R_β menzilini beta soğurma eğrisinde elde edebilmemiz bazı teknikler vardır: (1) radyasyon taban sayım yerini gösteren yeri ile kesişimi için beta eğrisinin veri kısmının ilerisine uzatma tekniği(2) uyarılmış feather analizi tekniği (3) tam feather analizi tekniğidir. Uzatım tekniği bir yaklaşımdan ibarettir. Ancak çoğu zaman enerjinin veya dolayısıyla beta yayınlayanın kimliğinin belirlenmesinde yeterli oluyor. Uyarılmış feather analizi, tam feather analizinin modelidir ve İyi belirlenmiş R_β gibi standarttan elde edilen soğurma eğrisine dayanıyor (Martin, 2006).

2.3.1.1.3. Nötron radyasyonu(ışını)

Nötronlar hızlarına göre gruplandırılıyor. Nötron ışıması serbest nötronlardan oluşuyor. Bu nötronlar kendi kendilerine ya da uyarılmış nükleer fizyon sırasında yayılabiliyorlar.

Diğer nesne veya materyali radyoaktif yapabilen nötronlar tek tip iyonlaştırıcı radyasyondur. Bu süreç nötron etkinleşmesi olarak isimlendiriliyor ve sağlık, akademik ve endüstriyel alanındaki uygulamalarda radyoaktif kaynaklar oluşturabilmek için kullanılan temel yöntemdir. Hatta oransal olarak düşük hızlı termal nötronlar nötron etkinleşmesine neden oluyor. Yüklü parçacıklar(proton, elektron, nötron gibi) mutlaka aynı şekilde atomda iyonize olmazlar çünkü nötronların yükü sıfırdır (yoktur). Bu onların soğurmaları içerisinden ve sabit olmayan çekirdeklerinden dolayı iyonizasyona sebep oluyorlar. Belli bir kinetik enerjileri olmayan nötronlar bile direkt olmayarak iyonize ediyorlar ve bundan dolayı da çeşitli radyasyon zararları oluşur.

Bunlara ilaveten, yüksek enerjili (hızlı) nötronların bir atomu doğrudan iyonlaştırma özelliğindedir. Yüksek enerjili nötronların atomların çekirdeklerine yaptığı taarruz (saldırı) ve bu atomu molekül dışına attıkları bir mekanizmadan oluşuyor. Ayrıca, çok yüksek enerjili nötronlar nötron radyasyonuna veya düşürme sayesinde iyonlaştırıcı radyasyona sebep olabiliyorlar ve burada nötronlar etkisi üzerinde atom çekirdeği (özellikle hidrojen çekirdeği) yüksek enerjili proton emisyonuna neden olabiliyorlar. Bu olay topunun diğerine çarpması gibi olan nötronun protona enerjisini

aktarması olayını anlatıyor. Bu gibi durumlardan gelen yüklü protonlar ve başka ürünler, direk olarak iyonlaştırıcıdır.

Yüksek enerjili nötronlar yüksek miktarda kat edebilme özelliğine sahiptir ve hava içerisinde çok uzun mesafeler (yüzlerce hatta binlerce metre) ve tipik katılar içerisinde de belirli mesafelerde(birkaç metre) yol alabiliyorlar. Bunlar genelde bir metreden daha az mesafelerde bloke edilmek için konsantre su gibi hidrojen bakımına yüksek korumaya ihtiyaç duyuyorlar. Bir metre derinliğindeki su katmanının efektif koruma olarak kullanıldığı nükleer reaktörler içerisinde tipik bir nötron radyasyonu oluşur. (Aile ve Tüketici Hizmetleri, 2012)

2.3.1.1.4. Proton ışıması

Proton, atom çekirdeğinde bulunan pozitif yüklü atomaltı partiküldür. Atomun ağırlığında hesaba girecek şekilde kütleye sahip oluyorlar. İki yukarı bir aşağı kuarktan oluşuyorlar. Yeryüzündeki bütün protonlar 1,6 x 10^{-19} değerinde pozitif yüke sahip oluyorlar. Bu, atomlardaki çeşitli protonların birbirlerini itmelerini sağlıyor. Ama aradaki çekim, itmeden 100 kez daha kuvvetli olduğu için protonlar birbirlerinden ayrılamıyorlar. Protonun kütlesi elektronunkinden 1836 kez daha büyüktür. Buna karşın, bilinmeyen bir nedenden dolayı elektronun yükü protonunkiyle aynı şekilde: 1,6 x 10^{-19} C'dır. Atom içinde her biri (+1) pozitif elektrik yükü taşıyan taneciğe proton adı verilmektedir. Bu yüke yük birimi deniyor. Protonun yüklü elektronun yüküne eşit fakat ters işaretlisidir. Bir protonun yoğunluğu yaklaşık olarak 4 x 10^{17} Kg/m^3 'tür. Nötr bir atom veya molekülden bir veya daha fazla elektron söküldüğünde geride kalan tanecik, sökülen elektronların toplam eski yüküne eşit oranda artı yük kazanılır. Bir neon atomundan bir elektron söküldüğünde geriye kalan tanecik koparılan elektronların toplam eksi yüküne eşit oranda artı yük kazanılır. Bir neon atomundan bir elektron koparıldığında bir Ne^+ iyonu oluşuyor. Bir elektriksel deşarj tüpünde katot ışınları tüpün içinde yer alan gaz atomlarından ve moleküllerinden elektronların çıkmasına neden oldukları zaman, bu türden pozitif yüklü tanecikler meydana gelmiş oluyor. Bu pozitif yüklü iyonlar negatif yüklü elektroda doğru hareket ediyorlar. Eğer katot delikli bir levhadan yapılmışsa artı yüklü iyonlar bu deliklerden geçiyorlar. Katot ışınlarının elektronları ise zıt yönde hareket ediyorlar.

Pozitif ışınlar adı verilen bu pozitif yüklü iyon demetleri ilk defa 1886'da Eugen Goldstein tarafından keşfedilmiştir. Pozitif ışınların elektrik ve magnetik alanların etkisinde sapmaları ise 1898'de Wilhelm Wien ve 1906'da J.J. Thomson tarafından araştırılıyor. Katot ışınlarının incelenmesinde kullanılan metodun hemen hemen aynısı,

artı yüklü iyonlar için e/m değerlerinin saptanmasında kullanılmıştır. Deşarj tüpünde değişik gazlar kullanıldığı zaman değişik türde artı yüklü iyonlar meydana gelir. Sağlık yönünden proton radyasyonunu kanser, tömür gibi çeşitli sağlık problemlerinin tedavisinde kullanıyoruz. Belli enerjiye sahip ışınları dokuya nüfus ettirdiğimizde engelle karşılaşır ve enerjileri aktarılır. Bu enerji miktarı partiküllerin ağırlığına ve hızına bağlıdır. Konveksiyonel bir ışın 30 MeV değerine ulaşabiliyor. Çünkü kütlesi sıfıra yaklaşmaktadır. Proton ışınları ise 200-230 MeV gibi daha yüksek mertebelere ulaşabiliyor. Proton tedavisi hidrojen atomunun çekirdeğinde bulunan ve proton olarak isimlendirilen pozitif yüklü elementer parçacıklara dayanıyor. Bunlar elektronlardan çok fazla olan belli bir ağırlığa sahiptir. Protonlar, hızları yaklaşık olarak ışık hızının yarısı olacak şekilde hızlandırılıyor. Bu aynı zamanda onların 230 MeV'a kadar ulaşan tömürleri belli (yaklaşık 30 cm) derinliğe kadar etkileyen enerjilerini belirliyor. Proton kuvvetli bir manyetik alan vasıtasıyla dar ışık demetleri biçiminde gönderiliyor ve tömür üzerine transfer ediliyor. Parçacıkların yavaşlaması esnasında dokuda iyonizasyon ile birlikte enerji açığa çıkıyor. Proton enerjisi dokuya transfer edilerek tedavi ediliyor (Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi, 2014)

2.3.1.1.5. Elektron ışıması

Elektron, negatif elektrik yükü olan atom altı bir parçacıktır. e− veya β− sembolleri ile gösteriliyor Elektronlar temel Lepton parçacığının ilk kuşağına aittir ve genellikle temel parçacıklar olarak düşünülüyorlar. Çünkü bileşenleri veya alt-yapıları yoktur. Proton'un kütlesinin yaklaşık olarak 1/1836'sı kadardır. Bütün parçacıklar gibi, elektron da hem parçacık hem de dalga olma özelliği vardır ve böylelikle diğer parçacıklarla çarpışabilir ve ışık gibi kırılabiliyorlar. Elektronun dalga olarak özelliklerini gözlemlemek nötron ve proton gibi parçacıkların bu özelliğini gözlemlemekten daha kolaydır. Çünkü kütlesi azdır ve böylelikle tipik enerjiler için De Broglie dalga boyu daha yüksek oluyor. Elektron çevresindeki elektriksel alanı yönetiyor. Dışsal manyetik alan elektronu saptırır. Elektron hızlandırılmışsa foton haliyle enerjiyi çeker. 1838 yılında İngiliz bilim insanı Richard Laming atomların kimyasal özelliklerini açıklamak için elektron yükünün bölünemez biz özelliğinin kavramını hipotezleştir. İrlandalı fizikçi George Johnstone Stoney 1891 yılında bu yüke elektron adını vermiştir ve J.J.Thomson ve İngiliz fizikçi ise 1897 yılında onu parçacık olarak tanımladılar. Yüksek enerji çarpışmasında ve radyoaktif izotopların beta çözünmesi yoluyla elektron üretilebiliyorlar, örneğin kozmik ışının atmosfere girmesiyle. Elektronun karşıt parçacığı pozitron olarak isimlendiriliyor;

elektronla karşıt sembolün elektriksel ve diğer yüklerini taşıması dışında aynıdır. Bir elektron pozitronla çarpıştığı zaman, iki parçacık da gamma ışını fotonu üreterek tamamen tükenirler. Doğrusal parçacık hızlandırıcılarında üretilen elektron demetleri radyasyon terapisinde tümörlerin tedavisinde kullanılıyor. Elektron terapisi doku bozukluğu tedavisinde kullanılıyor. Parçacık hızlandırıcılarında başka düzenekler içerisinde de kullanılabiliyor.

2.3.1.2. Elektromanyetik radyasyon

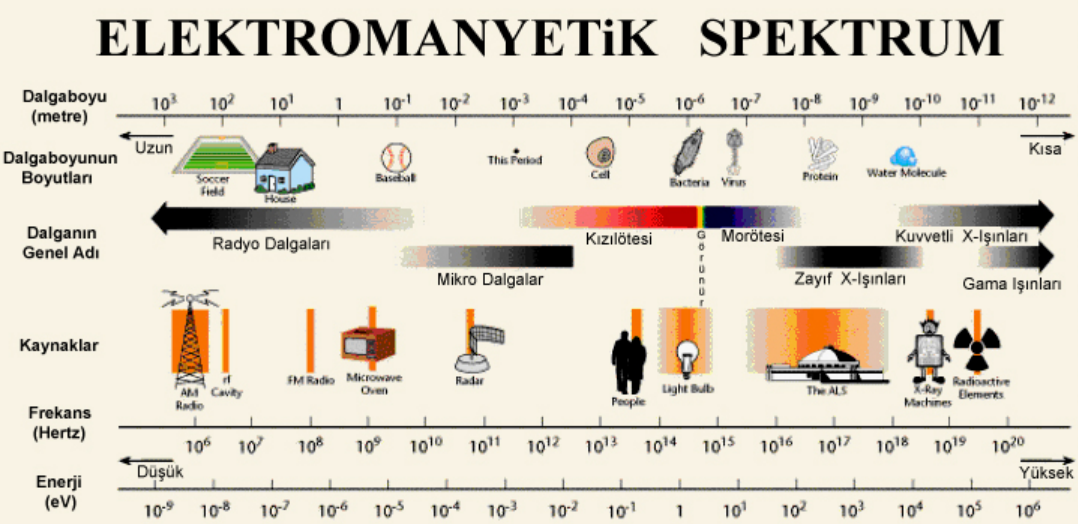
Atomlardan çeşitli şekillerde ortaya çıkan enerji türleri ve bunların yayılma şekilleri "elektromagnetik radyasyon" olarak isimlendiriliyor. İçerisinde X ve γ ışınları radyasyonları, dalga boyları ve frekanslarına göre bir elektromanyetik radyasyon spekturumu oluşturuyorlar. Dalga boyları çok küçük, fakat enerji ve frekansları büyük olan X ve γ ışınları bulunur. En küçük birimine foton diyoruz (elementlerin en küçük birimi atomdur gibi). Kütleleri olmayan fotonlar, boşlukta ışık hızında enerji paketleri şekilde yayılıyor. Yük ve kütlesi olmadığı için partiküler radyasyondan farklı oluyor.

Elektromanyetik radyasyonların ortak özellikleri ise;

- Hızları ışık hızıyla aynıdır.(300.000 km/sn) Bundan dolayı "c" ile gösterilir.
- Boşlukta düz çizgi şeklinde yayılıyorlar.
- Frekanslarıyla doğru orantılı, dalga boylarıyla ters orantılı olacak şekilde geçtikleri ortama enerji aktarırlar.
- Enerjileri; maddeyi geçerken, soğurma ve saçılma nedeniyle azalıyor, boşlukta ise uzaklığın karesiyle ters orantılı olacak şekilde azalıyor.
- Elektrik ve manyetik alanlar birbirine dik salınarak sinüsoidal şekilde yayılım gösteriyor. Elektromanyetik radyasyonların madde ile etkileşimlerini dalga boyları belirliyor (F. Canbaz Tosun 2013).

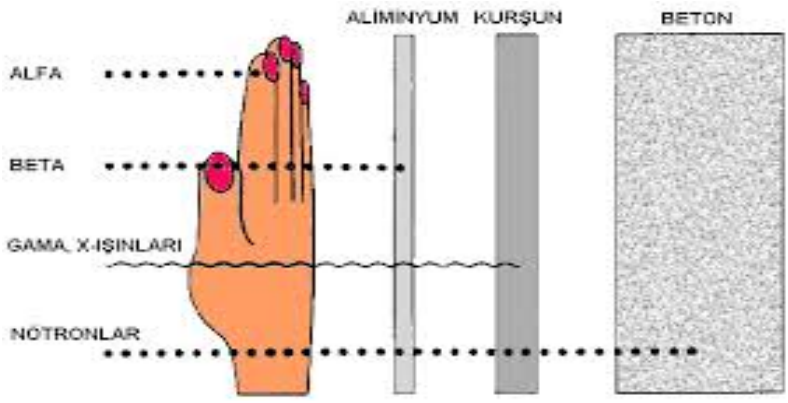
2.3.1.2.1.Gama radyasyonu (ışını)

Fizikçi Paul Villard radyum ile çalışırken gama fotonlarını ilk kez keşfetmiştir. Rutherford ise Villard'ın keşfettiği gama fotonlarına "gama ışınımı" demiştir. Keşfedilen bu ışınlar, atom çekirdeğinin enerji seviyelerindeki farklılıklardan oluşmaktadır. Çekirdek uyarılmış enerji seviyesinden temel enerji seviyesine inerken yayımlanan fotonlara "gama ışını" deniyor. Elektromanyetik spektrumuna bakıldığında en yüksek titreşim sayısına, en düşük dalga boyuna ve en yüksek enerji düzeyinde olduğu görülür (F. Canbaz Tosun 2013).



Şekil 2.16. Elektromanyetik radyasyonun enerji spektrumu (Seyrek, 2007)

Görülen ışık fotonundan 1 milyar kat daha fazla enerjiye düzeyindedir. Gama ışınlarının enerjileri yüksek olduğundan madde içerisinde yol alabiliyorlar. Işık hızı ile yayılıyorlar. Gazları iyonlaştırabilirler. Enerji düzeyleri fazla olduğu için hücrelere zarar verirler. Enerjileri 0,1- 10 MeV arasındadır. Gama ve x ışınlarının iyonizasyon ve giricilik özellikleri aynıdır. Sadece gama çekirdekte yayımlanırken x ışınları yörüngeler arasındaki elektron geçişleri sırasında oluşuyor. Giricilik yetenekleri çok yüksek olduğundan organizmayı delip geçebilirler. İyonlaşmaya sebep olma yetenekleri ise çok daha az oluyor. İyonizayon insan dahil tüm canlılarda meydana gelebilir. Bunun için gerekli önlemler alınmazsa tüm canlılar için zararlı olabilir. İyonizasyon gücünün az olduğundan kalın cisimlerden kolaylıkla geçmesini sağlıyor. Kütlesi ve yükü yoktur, bundan dolayı elektrik ve manyetik alanda sapma göstermiyorlar. Gama ışınları 20 cm kalınlıktaki kurşunu bile delip geçebilirler. Biyolojik etkilerinden dolayı radyoterapide geniş ölçüde yararlanılmaktadır. Ayrıca nükleer tıp alanında SPECT ve PET cihazlarında yapılan radyonükleid taramalarda da gamma ışınları kullanılmaktadır.



Şekil 2.17. Radyasyon çeşitlerinin giricilik özellikleri(Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi, 2014)

2.3.1.2.2. X ışınları

Günümüz görüntüleme tekniğinin temelini oluşturan ve tıp bilimine yeni bir çağ açan x ışınları 1895 yılında alman fizikçi W.C.Röntgen tarafından bulunmuştur. W.C. Röntgen bir Crooks tüpünü indüksiyon bobinine bağlamış ve tüpten yüksek gerilimli elektrik akımı geçirmiş, bunun sonucunda tüpten oldukça uzakta durmakta olan cam bir kavanoz içindeki baryumlu platinsiyanür kristallerinde bir takım pırıltıların oluştuğunu gözlemiş; ilk kez gördüğü bu ışınların o ana kadar bilinmemesinden dolayı "X- ışınları" olarak isimlendirmiştir. Tüpten yüksek gerilimli akım geçtiğinde karşısındaki ekranda parıldamalar oluşturan ışınların farklı cisimleri, farklı derecelerde geçebildiği, kurşun plaklar tarafından ise tutulduğunu gözleyen Röntgen, eliyle tuttuğu kurşun levhaların ekrandaki gölgesini incelerken kendi parmak kemiklerinin gölgelerini de fark ediyor. Bu olaydan sonra, içinde fotoğraf plağı bulunan bir kasetin üzerine karısının elini yerleştirerek parmak kemiklerinin ve yüzüğünü görüntülemiştir. Röntgen, tespitlerini ve bu yöntemle elde ettiği görüntüleri ilk olarak 28 Aralık 1895'te Würtzburg Fiziksel Tıp Demeği'nde sunmuş, bu buluşla birlikte aynı yıl içinde günümüzdekilerle kıyaslanamayacak ölçüde basit ilk röntgen cihazları üretilmeye başlanmıştır. William David Coolidge (1913) geliştirdiği sıcak katodlu Röntgen tüpleri de x ışınlarının elde edilmesinde kullanılabilmektedir.

X ışınları(röntgen) kısa dalga boylu elektromanyetik dalgalardır. X ışını adı verilen bir tüpün içinden bulunan elektron tabancasından çıkan İvmeli yüksek enerjili elektronların metal hedefteki atomlarla çarptırılarak yavaşlamasıyla veya bu çarpışmada atomların iç yörüngelerindeki elektronların elektronik geçişleriyle oluşan kısa dalga boylu elektromanyetik ışınlardır. X ışınlarının dalga boyu 0.1 $A^0 < \lambda <$100 A^0 arasında değişmektedir. Ancak tanısal alanda kullanılanları 0.5 A^0 dalga boyunda oluyorlar.

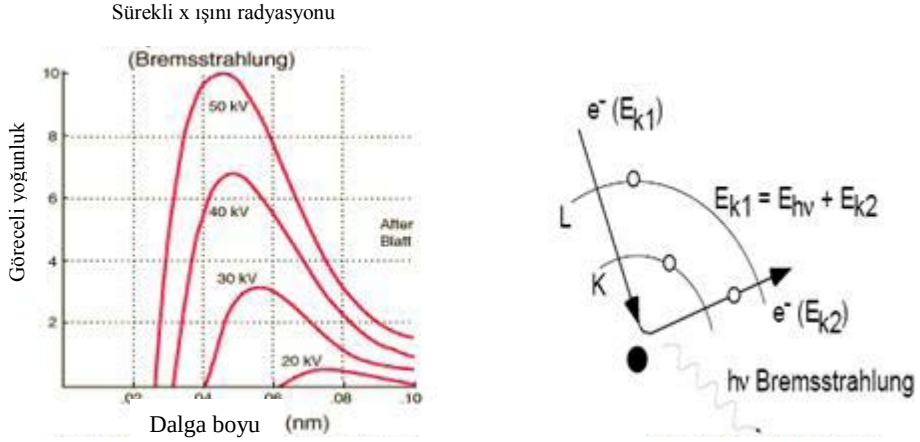
İnsan gözü 3800 -7800 A^0 arasındaki dalga boyundaki ışığı seçebildiğinden X ışınları gözle görülmezler ve merceklerle saptırılamıyorlar. Elektromanyetik elektrik spektrumunda gama ile ultraviyole (morötesi) arasında kalıyorlar (şekil.18.). Girginlik dereceleri fazla(dalga boyları küçük) olan X-ışınına “sert X-ışını”,girginlik dereceleri az (dalga boyları büyük) olan X-ışınına “yumuşak X-ışını” diye 2 gruba ayırırız. Fakat yaklaşık 0,1 A^0 ile 25 A^0 arasındaki bölgeyi klasik X ışınları spektroskopisi kapsıyor. İlk çarpışma esnasında hedefdeki metale çarpan elektronlar durdurulamıyorlar, bu yüzden ardışık birçok çarpışma metal hedef içinde gerçekleşebilir. Beyaz ışınım denilen devamlı spektrum bu çarpışma sonucunda ortaya çıkıyor. Hızlandırılmış olan

elektronların, ağır olan atom çekirdeklerinin yanından geçerken hızlarını azaltarak enerjilerinin büyük bir bölümünü X ışınına çevirmesi ile meydana geliyor (Arslan, 2010).

Etkileşme şekline göre iki tip X ışını elde edilir.

2.3.1.2.2.1. Sürekli (frenleme) x ışınları

Büyük atom numaralı (Tungsten vb.) hızlandırılmış elektronların hedef noktaya çarpıp etkilenmesiyle aniden durdurulmalarından dolayı bu şekildeki x ışınları oluşuyorlar. Coulomb kuvvetinin itme etkisi ile yüksek hızlı sahip elektron hedef çekirdeğinin yakınından geçiyorken, yolu değişebilir ve enerjilerini kaybederler. Bu kaybedilen enerjiler elektromanyetik dalga şeklinde boşluğa yayılıyor. Elektromanyetik dalga kendisine karşılık gelmekte olan elektron ile çekirdeğin çevresinden geçerek aniden saçılır ve de broglie dalga modeline göre farklı bir yönde ivmelenirler. Bunlar neticesinde enerjilerinin birazını veya hepsini kaybetmektedir ve bu kaybedilen enerjiyi elektromanyetik radyasyon olarak yayılıyor. Tungsten hedef içinde elektron bir ya da birden çok bremsstrahlung etkileşimine uğrayarak, enerjilerinin bir kısmını ya da tamamını kaybederler. Hedefe olan elektronların yönüyle fotonun yayılma yönü ilişkilidir. X-ışınları spektrumu bu etkileşmeyle beraber sürekli oluyor. Atom numarasının karesi (Z^2) elektrondaki atom başına enerji yitirme oranına, denktir. Demek ki hedef maddenin Z'si bremstrahlung meydana gelişi ile ilgilidir (Güleç, 2011).

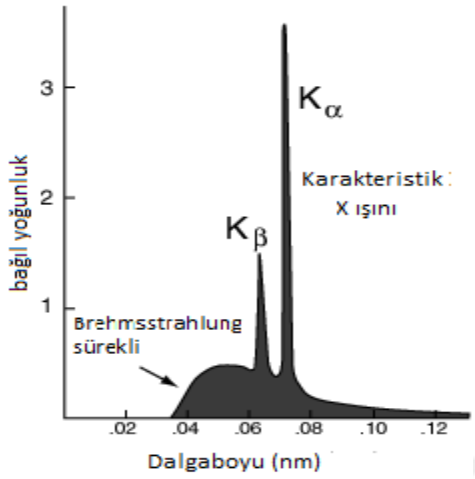


Şekil 2.18. Sürekli X ışını spektrumu ve bremsstrahlung ışınımı (Arslan, 2010).

2.3.1.2.2.2. Karekteristik x ışınları

Hedefteki atoma doğru elektronları gönderdiğimizde, yörüngesindeki elektronlarla etkileşmesi sonucunda, alınan enerjiyle daha üstteki enerji düzeylerine yükselirler. Enerji seviyeleri kararsız durumda olduğunda geri bozunmaya uğradığında

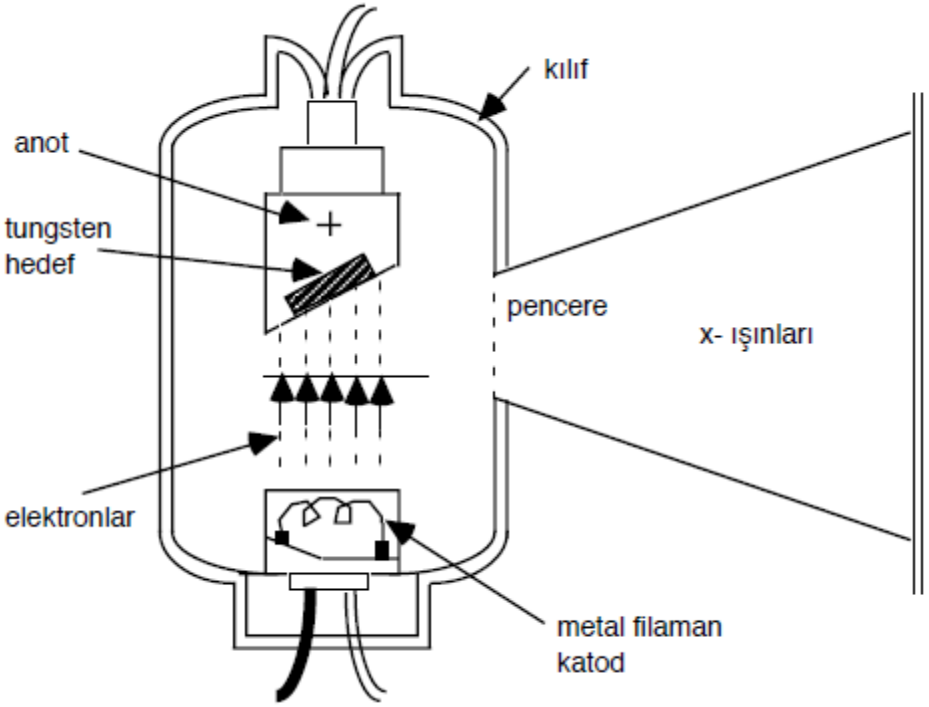
dış tarafa foton yayınlanıyor. Yani karakteristik x-ışınlarına, enerji düzeylerindeki farka eşit olan bu fotonlara deniyor.



Şekil 2.19. Karekteristik x ışını (Arslan, 2010).

Kristal yapısının çözümlemesinde, teknoloji ve bilim alanının da, sağlıkta ise kanserin teşhisi ve tedavisinde olduğu gibi çeşitli alanlarda x ışınları (Röntgen) kullanılıyor. İçersinde bir tungsten tel katot (negatif elektrot) ve kalın bir anodun (pozitif elektrot) bulunduğu havası boşaltılan tüpe x ışını tüpleri denilmektedir. Amaca göre tungsten, krom, bakır, molibden, radyum, skandiyum, gümüş, demir, kobalt gibi metaller kullanılır. Katot, tungsten materyalinden yapılmış ısıtıldığında elektron salan bir flamandır. Anot, kalın bir çubuk ve bu çubuğun sonundaki metal hedeften oluşuyor. Anot ve katot arasına yüksek voltaj uygulandığında katot flamanda elektron yayınlıyor.

Teli ısıtmak (Anodu) ve ısıtılan telden boşta bulunan elektronları hedefe doğru hızlandırmak için başka elektronik devrelerden yararlanılır. Anoda doğru hızlandırılan bu elektronlar hedefe çarpmadan önce yüksek hızlara ulaşır. Yüksek hızlı elektronlar metal hedefe çarptıklarında enerjilerini aktararak bir foton yayımlıyor. Bunun sonucunda cam pencereden x ışını demeti geçiyor (şekil.2.20.). Dalga boylarını, ışınların enerjilerini veya hızlandırıcı potansiyelini belirlerken, ısıtıcı devrede yayınlanmakta olan X ışınlarının şiddetine bakılmalıdır (Arslan, 2010).



Şekil 2.20. X ışını kaynağı (Arslan, 2010).

X Işınlarının Genel Özellikleri

- Dalga boyları 0.1 A^0 - 100 A^0arasındadır.
- Hareketi ışık hızındadır. (c = 3× 10^{10}cm/sn).
- Yüksüz oldukları için manyetik ve elektrik alanlardan etkilenmezler.
- Kırınım, girişim ve kutuplaşma gibi özellikler gösterirler.
- Fluoresans (üzerlerine düştüğü bazı maddelerde ışınlama süresince parıldama meydana getirmesine x ışınlarının fluoresans özelliği deniyor) ve fotografik (x ışını fotografik etkiye sahip olup görülebilen ışık gibi gümüş tuzlarının kararmasına yol açarak tanısal radyolojinin temel kavramlarından birini teşkil eden Röntgen filmlerinin çekimini sağlamaktadır) filmlere etki ederler.



Şekil 2.21. X-Işınlarının Floroskopik Özelliği
(Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi, 2014)



Şekil 2.22. X-Işınlarının Fotografik Özelliği
(Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi, 2014)

- Giricilik özelliği yüksek olduğundan dolayı madde içerisinden kolay şekilde geçebiliyorlar. Madde içerisinden geçerken yollarında saparak saçılmaya uğrarlar. Madde içinde geçerken sekonder (ikincil) radyasyon meydana getiriyorlar. Yüksek atom numaralı maddeler tarafından (kurşun, beton, demir gibi.) absorbe edilmektedirler.
- Biyolojik ve kimyasal hasarlar meydana getirebilmek için maddeyi iyonlaştırırlar. RBE (Rölative biyolojik etkinlik) değeri birdir. Enerjilerini madde içinden geçerken compton, çift oluşumu ve fotoelektrik olayları ile kaybediyorlar.
- Mesafenin karesi ile ters orantılı olarak şiddeti değişiyor.
- Farklı akımlı ve gerilim röntgen aletleriyle sağlayarak, tanı ve tümörlerin tedavisinde düşük enerjili yani 50-500 kV arasındaki x-ışınlarını kullanıyoruz. Günümüzde lineer hızlandırıcılarla elde edilebilmesinde ve derine yerleşmiş tümörlerin tedavisinde 4-25 MV arasındaki yüksek enerjili x ışınlarından yararlanılmaktadır. Bunlara ek olarak x ışınları; teknik malzeme denetiminde, maddenin yapısının tetkikinde (örneğin; kristal düzeni, karmaşık organik maddelerin molekül yapıları), fizik ve kimya deneylerinde de yararlanılmaktadır (Timur, 2012).

2.4. Radyasyonun Madde ile Etkileşimi

Radyasyonun madde ile etkileşimini 2 şekilde inceleriz; bunlar yüklü partiküller ve yüksek enerjili fotonlardan oluşmaktadır. Madde ile direk olarak yüklü partiküller etkileşiyorken, fotonlar ikincil radyasyona daha fazla neden olmaktadır.

2.4.1.Yüklü partiküllerin madde ile etkileşimi

Proton, elektron ve nötronun birleşmesiyle madde oluşmaktadır. Maddeyle farklı parçacıklar farklı şekilde etkileşiyorlar. Yüksek hıza sahip alfa ve beta parçacıkları gibi yüklü ağır parçacıklar madde içersinden geçerken maddenin atom ve molekülleri ile çarpışıp enerjilerini kaybediyorlar. Kaybedilen enerji etkileşim ortamındaki madde tarafından soğruluyor. Bu olayın sonucunda maddenin atom yada moleküllerinde iyonizasyon veya uyarılma olayları oluşuyor. Bundan dolayı yüksek enerjili, yüklü parçacıklar iyonizasyon sınıfına giriyor. Maddenin atom ve molekülleri bu olayları oluşturamayacak kadar düşük enerjili parçacıklar ise atom ve moleküller arasında titreşim yaparak enerjilerini veriyorlar. En önemli yüklü parçacık beta (β^+, β^-) parçacıklarıdır. Her iki parçacığa da elektron olarak isimlendireceğiz. Elektronlar atomdan tamamen sokularak veya uyarılmış durumda olarak çıkmaktadır. Elektronunkinden çok büyük olan gelen parçacığın kütlesi etkileşmenin etkisiyle yolundan sapmadan (hemen hemen hiç) devam eder. Git gide hızını azaltarak duruyor ya da yolunda bulunan çekirdekle çekirdek reaksiyonu gerçekleştirirler. Madde içerisinden kütlesi küçük olan elektronların, geçişi esnasında yaşanan bazı olayların ağır parçacıklar için bir önem arz etmemesine karşın, elektronlar için mühim olmasını sağlıyor. Örnek verilecek olursa; ağır olan bir parçacığı elektron ile etkileşime geçtirdiğimizde enerjisinin az kısmını yitirirken elektronda bu durumun tam tersi oluyor. İlk çıktıklarında enerjileri aynı olan elektronların gittikleri yolların uzunluklarında değişmeler olabiliyor. Elektronlar ağır parçacıklara göre çok daha kolay yollarını değiştirebiliyorlar. Yüklü parçacıklarla etkileşme ortamının atom veya molekülleri arasında elektriksek güçlerin itme veya çekmesine bağlı olarak birbiriyle çarpışırlar. Örneğin; yüklü bir parçacık dış yörüngedeki elektronlardan birine çarparak onu bulunduğu yörüngeden çıkarabilir. Bu olayda çarpışmaya neden olan elektron enerjisini bitirirken yörüngeden çıkan elektron enerji kazanmış ikincil etkileşmelere neden olabilir. Elektronlar coulomb kuvvetine bağlı olarak bir ortamda hareket ederken farklı tekniklerle etkileşirek enerji kaybedebilirler. Bu yöntemler;

- **Atom elektronlarıyla inelastik çarpışma** (iyonlaşma ve uyarılma): İyonlaşma ve uyarılma esnasında enerji kaybı oluyor. Yaşanan bu enerji kaybı foton enerjisi veya uyarılma enerjisi, iyonlaşma gibi değişik şekillerde görülebiliyor.
- **Çekirdekle veya atom elektronlarıyla elastik çarpışma**: Elastik çarpışmada esnasında kinetik enerji yitirilmiş olmaz. Ama çarpışma sonrası belki enerji paylaşımı olabilir.

- **Çekirdek ile inelastik çarpışma (**bremstrahlung): Yüklü parçacık atom çekirdeğinin yakınında geçerken çekirdeğin güçlü pozitif çekim alanı tarafından durdurulabiliyor. Hızlı bir elektronu aniden durdurduğumuzda ivmelidir. Bu şartlarda bremstrahlung (frenleme) radyasyonu oluşuyor. Bremstrahlung radyasyonu elektromanyetik bir radyondur ve durdurulması zordur. Bu şekilde olan enerji kaybı elektronlar için mühimdir. Zira yolları üstünde bulunan çekirdeklerin yakınından geçiyorken daha çok ivmeleniyorlar. Elektronun rastladığı çekirdeğin atom sayısı ve enerjisi ne kadar fazlaysa bu kaynaktan enerji yitirimi o kadar hızlıdır.

Hareketli elektronlar termal enerjiye varana kadar enerjisinde ve elektronlar etraftaki atomlar tarafından tutulana kadar azalmalar olur. Atom numarası büyük olan ortamlarda veya metallerde bremstrahlung yoluyla enerji yitirilmesi daha fazla iken; atom numarası az olan ortamlarda atomun elektronlarıyla etkileşmede iyonlaşmadan dolayı enerji yitirimi daha azdır. Materyallerde atom numarası Z az olan enerji kaybının büyüklüğü, atom numarası yüksek olanlara oranla daha yüksek oluyor. Böyle olmasının nedeni yüksek Z'li materyallerde iyice bağlı elektron sayısı fazlalığından ve büyük Z'li materyallerde gram başına düşen elektron sayısı düşük Z'lilere oranla daha düşük olmasındandır. Belirlenen oran; parçacık yükünün karesi ile orantılı, parçacık kütlesinden ayrı, malzemenin yoğunluğuna bağlı, parçacık hızına bağlı oluyorlar.

Elektronlar x ışını tüpünde hedefe vardığında gerçekleşebilecek olay; elektronu dış yörüngede bulunan bir atomla etkileşime girerek onun elektronundaki enerji seviyesini bir üst seviyeye geçirerek uyarılmasını sağlayabilir. Çok az eV'luk bir enerjiyse dönüşünde ısı enerjisi olarak kendisini göstermektedir. İyonizasyon ya da uyarılmadan dolayı oluşan elektronlar ikincil elektronlar olmaktadır ve az enerjili olduklarında ısı olarak yine kendisini gösterebiliyor. Atomun dış yörüngesindeki elektronu tamamen sökerek iyonlaşma oluşturabilir. İç yörüngede bulunan elektronların sökülmesinde enerjisi daha büyük olan kullanılmaktadır. Kullanılan bu enerji bağlanma enerjisinden daha yüksek veya eşit enerjili olmalısı gerekir. Bir elektron daha iç yörüngelerde bulanan enerji düzeylerine geçerken boşluk doldurmak için ışıma yapmaktadır. Yapılan bu ışıma x ışını fotonudur. Elektron çekirdeğin yakınından giderken pozitif yüklü olan çekirdekle etkileşerek elektromanyetik radyasyon oluşturur ve x ışını fotonu şeklinde kayıp olan elektron enerjisi oluşur. Çekirdeğin çok yanından giderse elektron hızında çok büyük düşüş olur ve elektron hareketsiz duruma gelebilir. Bunun sonucu olarak da sürekli spektrum meydana gelir (Demir, 2000).

2.4.2.Yüksek enerjili fotonların madde ile etkileşimi

Enerjisi yüksek olan fotonlar madde içerisinden geçişi esnasında karmaşık etkileşim içine girerler. Yüklü parçacıklarda bu etkileşimlerden dolayı direk iyonizasyona sebep olmayıp, dolaylı yoldan iyonizasyona neden oluyorlar. Bununla birlikte ihtimali düşükte olsa fotonlar etkileşim ortamındaki bir atomun bir elektronuna çarparak onu atomdan dışarı fırlatmak suretiyle direkt olarak iyonizasyona sebep olabiliyorlar. Atomdan dışarı fırlayan elektron kazandığı kinetik enerji ile ikinci iyonizasyonlara sebep olabiliyor. Bu nedenlerle yüksek enerjili fotonlar ikincil iyonizasyon olarak da bilinirler. Radyasyonun belli bir frekansı için bütün paketlerde taşınan enerji aynıdır ve

$$E = h.v \tag{2.13}$$

gibi ifade edilir.

Fotonlar fizikte elektromanyetik etkileşmeyi sağlayan temel taşıyıcılardır. Fotonlar, içinden geçtikleri maddenin atomları ile yaptıkları karşılıklı etkileşimler sonucunda ortama enerji bırakarak soğurabileceği gibi saçılıma da uğrayabilirler. Fotonlar ile madde arasında dokuz ayrı etkileşime mekanizmasının olduğu biliniyor. Nükleer tıp açısından 5 tanesinden bahsedeceğiz (Akkor, 2012).

- Fotoelektrik Etkisi
- Compton saçılması
- Çift oluşum
- Koherent saçılma
- Fotodisintegrasyon olayı

2.4.2.1. Fotoelektrik etkisi

Yüksek enerjili (K ve L yörüngesinden) bir foton atomun enerjisi düşük olan elektronlardan birine çarptığında enerjilerinin tamamını elektrona aktararak onu yörüngesinden fırlatır. Dışarıya fırlatılan bu elektrona **fotoelektron** denir. Bu olayda fotoelektronun enerjisi, gelen fotonun enerjisi ile elektronun bağlanma enerjisinin farkına eşit oluyor. Gelen fotonun enerjisi elektronların atom çekirdeği etrafındaki enerjilerinden fazla olmadıkça fotoelektron oluşmaz. Gelen fotonun bir iç tabaka elektronuna çarparsa, eğer enerjisi yeterli ise onu da yörüngesinden fırlatabilir. Bu durumun dış tabaka elektronlarına göre oluşma ihtimali daha azdır. Etkileşme atoma bağlı bir elektronla oluşuyor çünkü atomun tamamı momentum korunumu için gereklidir ve bu çoğunlukla iç tabakadaki elektronlardan biriyle oluşuyor. İç tabakaların birinden atılan fotoelektronun yerine üst tabakalardan başka elektronların yerleşmesi ile

karekteristik x ışınları oluşuyor. 0,5 MeV'den daha küçük enerjili fotonların ağır elementler tarafından soğurulmasında bu olay oldukça önemlidir. Atılan elektronun kinetik enerjisi, daima fotoelektrik olayın oluştuğu ortamda soğruluyor. Oluşan karekteristik x ışınlarının soğrulması da muhtemelen aynı ortam içerisinde, başka bir fotoelektrik etkileşimin yayımlanması veya soğrulması sonucu oluşur.

Fotoelektrik olayda;

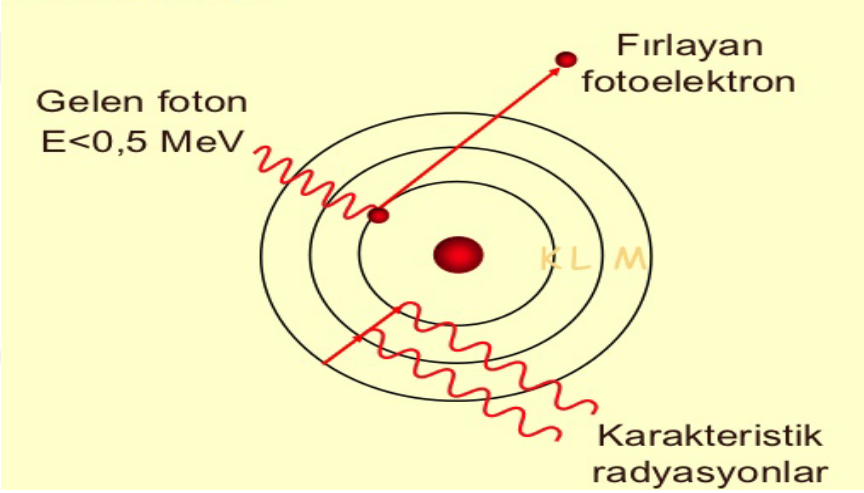
E_{fe}=E_o-K_B Eşitliği vardir (2.14)

Burada;

E_{fe}: Fotoelektronun enerjisi

E_o: Gelen fotonun enerjisi

K_B: Fırlatılan elektronun bağlanma enerjisidir.



Şekil 2.23. Fotoelektrik olay (Onay, 2010)

Fotoelektrik soğurma katsayısı τ, denklemde gösterildiği gibi soğurucu malzemenin atom sayısı Z'nin ve radyasyon enerjisinin bir fonksiyonudur:

$$\tau \cong \text{sabit} \times \frac{Z^5}{E^3} \quad (2.15)$$

Fotoelektrik etkiyi özetleyecek olursak;

- Sadece bağlı elektronlarla oluşuyor çünkü momentumun korunumu için tüm atomun etkileşmeye katılması gerekmektedir.
- Foton enerjisi, yörünge elektronunun bağlanma enerjisinden büyük ve tabakadan fırlatmak için yeterli düzeyde ise etkileşim katsayısı büyük olur.
- Fotonun soğurma katsayısı Z^5 ile doğru ve $(h\upsilon)^3$ ile ters orantılı oluyor.
- Atomun K, L, M, N yörüngelerindeki sıkı bağlı elektronlar ile etkileşir.
- Soğuran materyalin atom numarasına bağlıdır.

- Kemik, kas, yağ gibi farklı atom numaralı materyallerin x ışını soğurması farklıdır.
- 0.5 MeV'den küçük enerjili fotonlarda sık görülür (Martin, 2006).

2.4.2.2. Compton saçılması

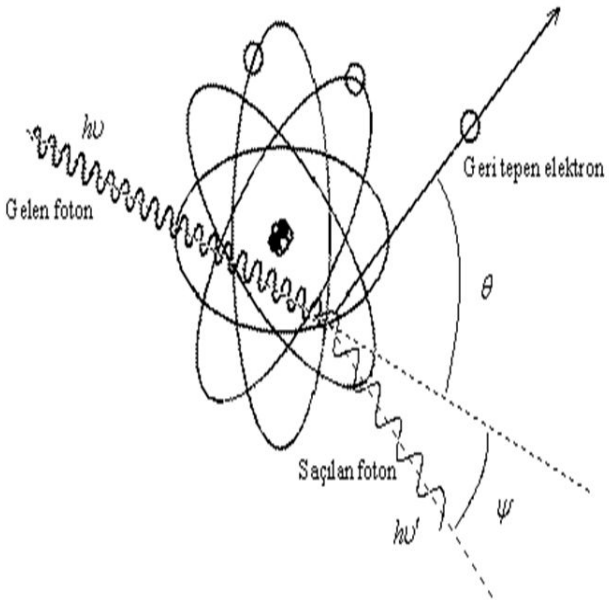
Compton saçılması etkileşimleri özellikle 0.5-1.0 MeV enerjili gama ışınları için önemlidir. Atoma gevşek olarak bağlanmış bir dış yörünge elektronu, enerjisi kendisinden çok daha büyük olan bir fotonla çarpışmasıyla oluşan olaya **compton saçılması** deniyor. Gelen foton enerjisinin bir kısmını çarptığı elektronu yörüngesinden fırlatmak için tüketiyor. Fırlayan elektrona geri tepen elektron deniyor. Çarpışmada hem enerji hem de momentum korunuyor. Elektron kütleli bir parçacık olduğu için fotonun bütün enerjisini soğurması momentumun korunumu gereği mümkün olmuyor. Dolayısıyla foton, enerjisinin bir kısmını elektrona verir, saçılıma uğrayarak yoluna devam eder. Foton ile elektron arasındaki açı fotonun enerjisine göre değişiyor. Gelen foton, saçılan foton ve saçılma açısı arasında;

$E_0 = E_{re} + E_{sç}$ (2.16)

E_0 : gelen fotonun enerjisi

E_{re}: fırlayan elektron

$E_{sç}$: saçılmış fotondur.



Şekil 2.24. Compton saçılması (Demir, 2010)

Gelen fotonun dalgaboyu ile saçılan fotonun dalgaboyu arasındaki fark;

$\Delta\lambda=\lambda_{Eo}-\lambda_{sç}=\frac{h}{m_0 C}(1-\cos\theta)= 0.024264\ (1-\cos\theta)A^0$ (2.17)

İle verilir. Buradaki h/mc Compton dalga boyu olarak isimlendiriliyor. Sayısal değeri ise 2.4264×10^{-10} cm'dir. Elektrona enerji aktarması olması compton etkileşiminin en önemli sonucu oluyor. Compton etkileşim katsayısı, Z ile doğru E ters orantılı olan elektron yoğunluğu;

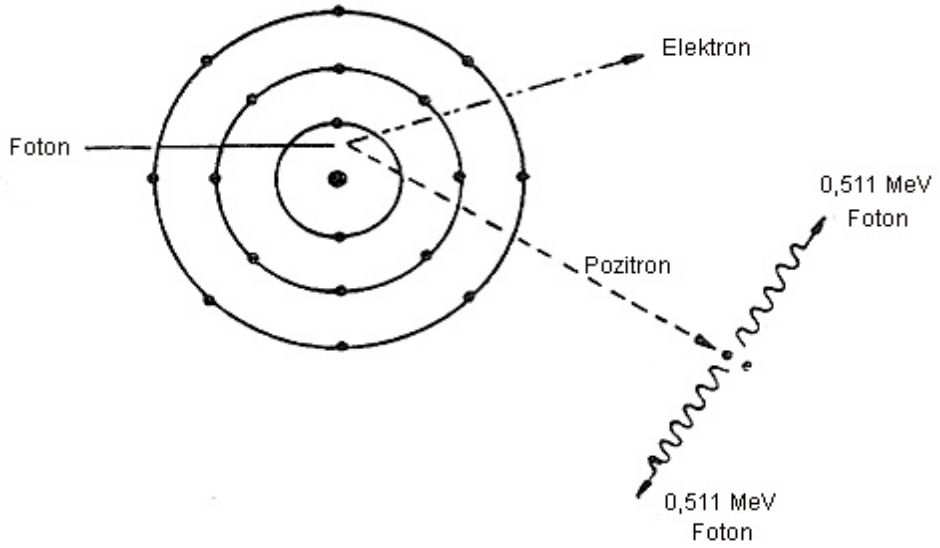
$\sigma \cong$ sabit$\times \frac{Z}{E}$ (2.18)

Compton saçılma etkileşimini özetleyecek olursak;

- Compton etkileşimi bir foton ve bir serbest elektron arasında, geri tepen bir elektron ve enerjisi azalmış saçılan bir foton meydana getirerek oluşuyor.
- Compton olayında enerji ve momentum korunur.
- Foton etkileşme sonucu yok olmuyor (soğurulmaz).
- Enerji denklemine göre $V_{gelen} < V_{saçılan}$'dır. Frekans ile dalga boyu ters orantılı olduğunda $\lambda_{gelen} < \lambda_{saçılan}$ oluyor.
- Çizgisel momentum korunuyor (Gezer, 2011).

2.4.2.3. Çift oluşum

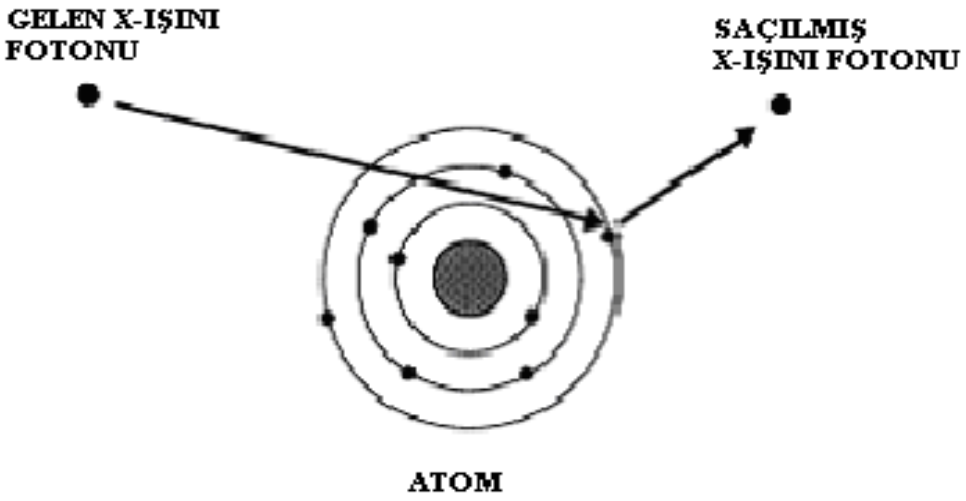
Yüklü parçacığın elektrik alanına enerji yüklü bir foton geldiği zaman çift oluşum gerçekleşiyor. Gerçekleşen olay çoğunlukla bir fotonun atom çekirdeğinin yakınından geçişi esnasında oluşmakla beraber, kimi zamanda fotonun bir elektronun yakınından geçişi sırasında oluşmaktadır. Foton enerjisinin hepsini çift oluşum olayında yitirerek biter. Bu sırada elektron negatif ve pozitif olmak üzere iki adet elektron oluşturuyor. Elektron negatif yüklü olan enerjisini yitirene kadar türlü çarpışmalar yapıyor. Elektron pozitif yükle yüklü ise karşılaştığı ilk atomun bir orbital elektronuna çarparak biter. Gerçekleşen bu olayda aralarında1800 derece açı olan ve enerjileri 511 KeV olan, zıt yönlerde iki tane yok olma fotonu oluşmaktadır. Gelen fotodaki enerji en az 1.022 MeV seviyesinde çift oluşum olayının oluşmuş olur. Pozitron emisyon tomografisinin temelini çift oluşum olayı meydana getirir (Seyrek, 2007).



Şekil 2.25. Çift oluşum (Seyrek, 2007)

2.4.2.4. Koherent saçılma

Rayleigh saçılma veya klasik saçılmada denilmektedir. Bu olay, gelen bir foton bağlı bir elektron üzerine düştüğünde, elektronun atomdan sökülecek kadar enerji alamadığı hallerde meydana geliyor. Atom numarası yüksek olan bir maddenin yakınından enerjisi düşük bir foton geçiyorken maddenin elektronu ile etkileşime girer ve bunun sonucunda elektron ile foton aynı frekansta enerji yayımlarlar. Bu şekilde enerji aynı kalır ve enerji absobre olayı olmaz. Sadece küçük bir açıyla foton saçılmaya uğrar.

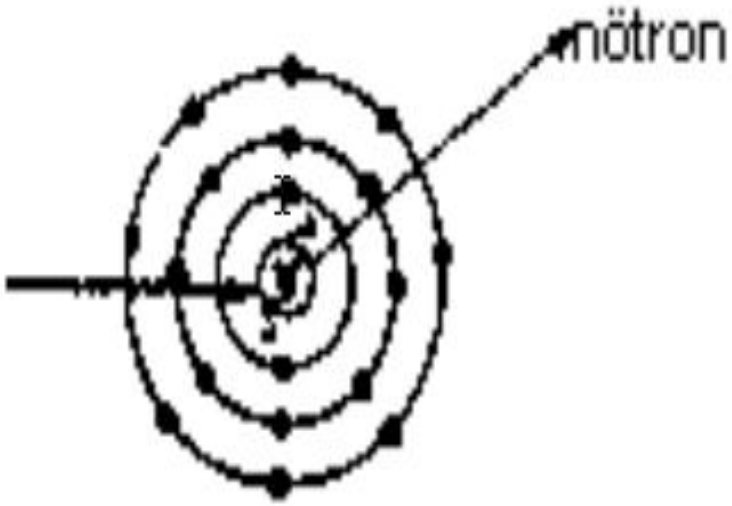


Şekil 2.26. Koherent saçılma (Ulu, 2008)

2.4.2.5.Fotodisintegrasyon (fotoayrışma)

Meydana gelen bu etkileşim atom çekirdeği ile foton arasında oluşmaktadır. Bundan dolayı sadece 10 MeV enerjinin üzerindeki fotonlarda gözlemleniyor. Foton çekirdek tarafından soğuruluyor. Meydana gelen bu etkileşim bir ya da birden çok

nükleonun yayınlanmasına ve nükleer reaksiyonların oluşmasına sebep olabilir. Çoğu defa bu olay çekirdekten nötronların yayınlanmasına sebep olur (Akkor, 2012).



Şekil 2.27. Fotodisintegrasyon olayı (Onay, 2010)

2.5.İyonlaştırıcı Radyasyon Doz Birimleri

Teşhis ve tedavi etmek maksadıyla kullanılmaya başlanmasından dolayı iyonlaştırıcı radyasyonların radyasyon ölçüm değerlerine gereksinim duyulmuş ve radyasyonla ilgili çeşitli birimler geliştirilmiş ve geliştirilmeye de devam etmektedir. İyonlaştırıcı radyasyon doz birimlerini Uluslararası Radyasyon Birimleri komitesi (ICRU) tarafından belirlenmiştir. İyonlaştırıcı radyasyonun madde üzerindeki etkisi, radyasyonun maddede ne kadar iyonizasyon meydana getirdiğine bağlıdır. Etki ise radyasyon tipi ve enerjisiyle ilişkilidir. Ayrıca, radyasyonun giricilik kabiliyeti, iyonizasyon kabiliyeti, fiziksel yarılanma süresi, biyolojik yarılanma süresi, efektif yarılanma süresi radyasyonun neden olacağı etkilerin belirlenmesinde önemlidir. İyonlaştırıcı Radyasyon etkilerini ve aktiviteyi belirlemek amacıyla çeşitli birimler kullanılmaktadır. 1928 yılında ilki bulunan birim Röntgen (R) olarak tanımlanmaktadır, daha sonra diğer birimler geliştirilmiştir. 1986 yılından itibaren, kullandığımız bu radyasyon birimleri geliştirilerek köklü bir değişime gidilmiştir. 1986 yılından beri Uluslar Birim Sistemi (SI) olarak kullanılmaya başlanıyor (Akkor, 2012).

2.5.1.Radyoaktif şiddet (aktivite) birimi

Radyoaktif şiddet birimi curie(Ci)'dir. Aktivite, birim zamandaki radyoaktif madde miktarını göstermektedir. Radyoaktivite şiddetinin geleneksel birimi curie'dir. Radyoaktivitenin şiddeti 1 curie(Ci) olan bir maddede çekirdeğin saniyede $3{,}7\text{x}10^{10}$ parçalanmaya uğraması gerekir. Bilim insanları yalnızca doğal radyoizotopların

bilindiği devirlerde, radyasyon kaynağı olarak kullanılan Radyum'un radyoaktivitesinin 1gr'nın 1 sn'lik ölçümüne 1curie (Ci) denilmektedir ve $3{,}7x10^{10}$ parçalanma/sn değerine karşılık geldiği yapılan ölçümlerde bulunmuştur. SI birimlerinde radyoaktif şiddet birimi becguerel (Bq)'dir. Maddede saniyede 1 çekirdeğin parçalanmasıyla radyoaktivitenin şiddeti 1 Bq olarak ölçülüyor. Birimlerin birbirine dönüşümü 1 Ci= $3{,}7x10^{10}$ Bq=37 GBq (Giga Becquerel) diye gerçekleşiyor. Düşük şiddetlerdeki radyoaktiviteleri tanımlamakta daha çok Bq kullanılmaktadır. Çünkü Ci'ye göre çok daha küçük değerlerdedir. Fakat Bq değeri yüksek şiddetteki radyoaktivitede bol sıfırlı sayıların kullanılmasından dolayı pek tercih edilmemektedir. Nükleer tıp uygulamalarında 1 curie miktarındaki radyoaktif şiddet oldukça büyük miktarlardır. Normal koşullarda 1 Ci $99m_{Tc}$ aktiviteli büyük kapasiteli bir nükleer tıp laboratuvarının günlük ihtiyaçlarını giderebilmektedir. Nükleer tıpta kullanılan aktiviteler büyük çoğunlukla milicurie (mCi) birimleriyle ifade edilebilecek miktarlarda oluyor. Curie ile alt katlar arasında;
(Demir, 2000).

1 mCi=10^{-3} Ci veya 1μCi=10^{-3}mCi şeklindedir.

2.5.2.Işınlama birimi

Işınlamanın birimi röntgendir. X ve gama ışınlarının havayı ışınlama yeteneklerinin bir ölçüsüdür. Normal hava şartları içerisindeki 1 kg havada bulunan $2.58x10^{-4}$C'luk elektrik yükü değerinde, negatif ve pozitif iyonlar oluşturmakta olan gama ve x ışını miktarı olarak tanımlanmaktadır. Röntgen sadece ışınlama birimi olup, foton sayısını ve foton enerjisini vermez. Elektromanyetik radyasyonlar için tanımlanmıştır. Tanımından dolayı röntgen birimi SI'ya uygun düşmediği için daha sonra Coloumb/kilogram (C/kg) olarak yeni bir birim kullanılmaya başlanmıştır. 1 R=2,58X10-4 C/kg hava veya 1 C/kg=3876 R şeklinde birimlerin birbirine dönüşümü mümkündür (Gezer, 2011).

2.5.3.Soğurulmuş doz birimi

Röntgen ve Coloumb birimlerinden hariç radyasyon dozu olarak soğurulan radyasyonun belirlenmesi için de birime gerek duyulmuştur. Soğurulmuş dozun birimi rad'tır. Radyasyona maruz kalan 1 gram materyalde soğurulan edilen 100 erglik ($6{,}2x10^{7}$ MeV) enerjiye 1 rad denir. Herhangi bir radyasyonu ölçebilir. Radyasyonun şiddetini (intensitesini) veya sayısını ölçmez. Son zamanlarda uluslar arası sisteme göre (Systeme International, SI) rad yerine Gray birimi kullanılmaktadır. 1 Gray 1 kg materyal başına soğurulan 1 joule'lük enerjiye eşittir.

1 Gy =1J/kg =10 erg/gr =100 rad'dır.

γ veya X ışınından bir R'lik alan canlı dokunun soğurduğu radyasyon dozu miktarı 0,98 rad, havanın absorbe ettiği radyasyon dozu miktarı ise 0,88 rad'dır. Röntgen'in tanımlanmasında radyasyon türü olarak γ veya X ışınları, ortam olarak ise havanın kullanıldığını özellikle belirtmek gerekir. R birimi bundan dolayı yalnızca γ veya X ışınları ve sadece bu ışınların havadaki iyonlaştırıcı etkilerinde geçerli oluyor. Buradan anlaşılması gereken R birimi için alfa(α) ve beta (β) ışınlarını kullanmayarak radyasyon dozu olarak hava ortamının dışında R birimi geçersizdir. Halbuki radyasyon türleri, rad ve Gy birimlerinin tanımında belirli bir ortamdan bahsedilmediğinden bu iki birim de tüm ortamlarda ve radyasyonun her türlü soğurulma dozu hesabında kullanılabiliyor (Demir, 2000).

2.5.4.Doz eşdeğeri birimi(biyolojik doz)

İyonlaştırıcı radyasyonların biyolojik madde üzerindeki etkisini belirtmek amacıyla kullanılıyor. Farklı birim olarak biyolojik doz birimi canlı dokularda radyasyonun absorbe olma ölçüsünü belirtmek için kullanılıyor. Radyasyonun geçişte bıraktığı enerjiyle biyolojik etki doğru orantılı oluyor. Biyolojik etkilerin derecesi genel olarak radyasyonun yolu boyunca birim mesafede kaybedilen lineer enerji kaybına(LET)'ne bağlıdır. LET arttıkça radyasyonun kısa mesafede kaybettiği enerji artıyor ve buna bağlı olarak biyolojik etki de artıyor. Bundan dolayı canlı doku üzerindeki etkilerini belirlemede kullanılacak radyasyonun doz biriminin bahsedilen bu etmenleri taşıması geriyor. Bahsedilen etmenler, rölatif biyolojik etkinlik (RBE) ya da kalite faktörü (KF) ile tanımlanıyor. Değişik LET değerlerinin etkisi Relatif Biyolojik Etkinlik (RBE) ile hesaplanıyor. RBE farklı radyasyonların oluşturduğu biyolojik etkilerin de farklı olduğunu belirtmek için kullanılmaktadır (Çabuk, 2010).

$$\text{RBE} = \frac{Belirli\ bir\ biyolojik\ etkiyi\ meydana\ getirmek\ için\ 250\ Kv'luk\ x\ ışını\ dozu(rad)}{İlgili\ ışın\ ile\ oluşturalacak\ doz(rad)}$$

RBE genelde tam sayı olmadığından bunun yerine tam sayı olan kalite faktörü(KF) kullanılıyor. LET birimi olarak genelde keV/micrometre kullanılır. Yüksek LET değerlerinde, Sv cinsinden ölçülen eşdeğer doz H, Gy cinsinden ölçülen absorblanan doz D değerinden fazladır ve

$$H = D \times K \qquad (2.19)$$

eşitliği ile verilir. Burada K boyutsuz kalite faktörü $1 < K < 20$ aralığında değerler alır. Böylece 1Sv = 1 Gy/K, çünkü eşdeğer doz H = 1 Sv iken D = 1 Sv/K olur. Bu nedenle, sadece verilen bir hacimdeki toplam enerji değil, aynı zamanda bu enerjinin aktarıldığı miktarı gösteren LET değeri de önemlidir. Böylece absorblanan dozun hangi LET aralığına karşılık geldiği de önemlidir.

Çizelge 2. 2. Çeşitli radyasyon türleri için kalite faktörleri (Çabuk, 2010)

Radyasyon Türü	**Kalite Faktörü**
X ve Gama ışınları	1
Elektronlar ve Beta parçacıkları	1
Nötronlar; enerjileri<10KeV	3
Nötronlar; enerjileri>10KeV	10
Alfa parçacığı	20

Biyolojik dozun geleneksel birimi Röntgen equivalent of man sözcüklerinin baş harflerinden oluşturulmuş rem'dir. Rem 1 röntgenlik X ve gama ışınının meydana getirdiği aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarı oluyor. Rem, rad ile KF faktörü'nün çarpımından oluşmaktadır (Rem=Rad×KF).

SI birim sisteminde rem'in birimi joule/kg'dur. Buna verilen özel isim ise sievert (Sv)'dir. X ışınları, gamma ışınları ve beta ışınları için 1 Gy = 1 Sv'dir.

1 Sv = 100 Rem

1 Rem = 10^{-2} Sv

1 Sv =1 J/kg

Bahsettiğimiz doz birimlerini ve bunların birbirine dönüşümünü daha iyi anlamak için aşağıda çizelge halinde verilmiştir.

Çizelge 2. 3. Radyasyon doz birimleri ve dönüşümleri (Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi, 2014)

Terim	Eski Birim	Yeni Birim	Dönüşüm
Radyoaktivite Şiddet Birimi	Curie (Ci)	Becquerel (Bq)	1 Ci= 3,7x10^{10}Bq 1 Bq= 2,7x10^{-11}Ci
Işınlama Birimi	Röntgen (R)	Coloumb/kilogram (C/kg)	1R=2,58x10^{-14}C/kg 1 C/kg=3876 R
Soğurulan Doz Birimi	Rad (R)	Gray (Gy)	1 Rad = 0,01 Gy 1 Gy = 100 Rad
Biyolojik Doz Birimi	Rem (rem)	Sievert (Sv)	1 Rem = 0,01 Sv 1 Sv = 100 Rem
Radyasyon Şiddeti Birimi	Röntgen / saat (R/s)	Gray / Saniye (Gy/sn)	1 R/s =2,425 Gy/ sn 1μGy/sn=0,4124 R/s

2.6. Radyasyon Doz Hesabı

Radyasyon dozu hesabı için izlenecek yol;

- İlk olarak, yoğunluğunu bildiğimiz bir ortama giren radyasyonun birim alan başına miktarı belirleniyor.
- Daha sonra, enerjisi soğurulan ortamın kütlesi belirleniyor. Parçacıklar için ulaşılan derinlik, fotonlar için ise birim derinlik kullanılıyor.
- Son olarak ise, farklı etkileşim durumları kullanılarak depoladığımız enerjinin miktarını belirliyoruz.

Bu işlemlerde yayımlanan radyasyonların tümünü göz önünde bulundurmalıyız. Soğurucu ortam için kaynak ile hedef arasında düzeltmeler yapılıyor.

Farklı radyasyonlar dokuda farklı derinliklere ulaştığından, radyasyon dozunu yönetmenlikte 3 durum için düzenleniyor;

- Ölü deri tabakasının (7 mg/cm^2'lik veya 70 μm kalınlığı olduğu) tam altında **sığ doz**
- Göz lensinin (kalınlığı 300 mg/cm^2olan) tam altında olan, **göz dozu**
- Yüksek girici radyasyonu (x-ışınları, gama ışınları, nötronlar vb.) göz önünde bulundurarak, 1000 mg/cm^2 kalınlığında veya dokunun 1 cm derinliğinde bulunan, **derin dozu**

Bu derinliklerde soğurulan enerjiyi kesin olarak belirlemek istiyorsak, doku tabakası üzerindeki enerji kaybından dolayı akıdaki azalma için düzeltme gerekmektedir.

Enerji birikimi, radyasyonun tipine, enerjisine ve soğurma ortamına bağlı olduğundan, etkileşme durumları her bir radyasyon türü için ayrı ayrı ele alınıyor (Martin, 2006).

2.6.1.Ters kare yasası

Ters kare kanununa göre ışık kaynağından gelen radyasyon şiddeti diğer bir deyişle birim alandan geçen güç kaynaktan olan mesafenin karesine ters orantılı oluyor. Bu kanunun uygulanması için kaynak tüm yönlerde bir örnek ışık yaymalıdır ve boyutları detektörden olan mesafesiyle kıyaslandığında ihmal edilmelidir. Buna ek olarak kaynak ve ölçümlerin yapıldığı nokta arasındaki ışıkta soğurma ya da yansıtma olmayacaktır.

Kaynak tüm yönler üzerine bir örnek ışık yaydığından yayılan ışık P kaynaktan r mesafesinde bir kürenin yüzeyinin karşısında dağıtılır.

$A=4\pi r^2$

Bu sebeple ışık akısı aşağıda verilen denklemle açıklanıyor:

$$\emptyset_i=\frac{S(\frac{d}{s})f_i}{4\pi r^2} \qquad (2.20)$$

dir, buradaki f yayınlanan her bir radyasyonun dönüşümü başına kesridir. (Martin, 2006).

Örnek. 6.1. 1mCi'lik 137_{Cs} nokta kaynağından 200 cm uzaklıkta, üretilen foton akısı nedir? 500 cm'de nedir?

Çözüm; 137_{Cs} ($T_{1/2}$=30.07 yıl)'nin $137m_{Ba}$ ($T_{1/2}$=2.52 dakika)'ye dönüşümünün $\%85'inde$ 0.662 MeV'lik gama ışınları yayınlanır. Gama akısı,

$$\emptyset(\frac{\gamma}{cm^2}\text{s}) = \frac{1\ mCi\times3.7\times10^7 d/(s\ mCi)\times0.85\gamma/d}{4\pi(200cm)^2}$$

$$=6.5\times 10^1\ \gamma/cm^2\text{s}$$

dır.

500 cm'de,

$$\emptyset\left(\frac{\gamma}{cm^2 s}\right) = \frac{2.5\times10^2 \gamma/cm^2 s \times 200 cm^2}{(500cm)^2}$$

$$=1\times 10^{-4}\ \gamma/cm^2 s$$

olarak bulunuyor.

Örnekte gösterildiği gibi bir nokta kaynaktan yayınlanan radyasyon akısının r^2 ile ters orantılı olduğunu ifade eden "ter kare yasasıdır".

Radyasyon akısı biliyorsak, her kaynaktan yayınlanan radyasyonun ortalama enerjisi, akı ile çarpılarak, enerji akısına dönüştürülebiliyor. Parçacık (betalar, alfalar, nötronlar vb.) yayınlanmasından kaynaklanan enerji akısı, her bir parçacığın ortalama enerjisini kullanarak benzer şekilde hesaplanıyor.

3.İYONLAŞTIRICI RADYASYONDAN KORUNMAK İÇİN ÇEVRE GÜVENLİĞİ

3.1. İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunma Kuralları Ve Tarihçesi

Sanayide, tarımda, tıpta ve bilimde radyasyonun kullanımı ile beraber bilim insanları radyasyondan korunma kuralları geliştirmişlerdir.

1920'lerde radyasyonun kullanımıyla beraber Avrupa ve Amerika'da Ulusal Radyasyon Komiteleri kurulmuştur. İlk olarak 1928'de International Society of Radiology (uluslar arası X- ışınları ve Radyum Korunma Komisyonu) tarafından kurulmuştur. Günümüzde ise, Uluslararası Radyasyon Korunması Komisyonu (ICRP) olarak bu kuruluş çalışmalarını yapmaktadır. Uluslararası bir kuruluş olan ICRP radyasyondan korunmayla ilgili olarak temel ilkeleri ve nicelikleri belirleyip gereken sınırlamaları yaparak ülkelerin yetkili mercilerine tavsiyelerde bulunur. ICRP maksimum müsaade edilebilir radyasyon dozlarını 1928'den beri gündeme getirmektedir. Radyasyon korunmada kurulan diğer kuruluşlarda desteklemektedir. Maksimum müsaade edilebilir doz günün ihtiyaçlarına göre belli aralıklarla değiştirilmektedir. 1925'te X-ışınları ve Radyum Korunması Komisyonu "Tolerans Dozu" kavramını gündeme getirmiştir. (O günün şartlarında Tolerans Dozu; bir şahsın mesleği gereği sürekli veya tekrarlayan aralıklarla kanda değişiklik, deride ve üreme organlarında bir bozulma olmadan alabileceği doz miktarıdır).Tolerans dozu aylık 6 R, günlük ise 600 mR olarak belirlenmiştir.

1936'da teknolojik gelişmelerle günlük tolerans dozu 100 milirem olarak belirlenmiştir.

Teknolojinin sürekli gelişmesinden dolayı yeni nükleer silahların icatların artmasıyla birlikte insan sağlığı üzerindeki riskleri, nükleer enerjinin tıp, endüstri ve diğer alanlarda kullanılmasıyla birlikte radyo biyolojik risklerin daha da artmasıyla birlikte 1942'de yeni tanımlamalar yapmaya gerek duyulmuştur. RBE ve rem alınan kararlar ise şu şekildedir;

- Tolerans dozu günlük olarak 50 mrem olarak belirlenmiş,
- Haftalık olarak alınabilecek müsaade edilebilen doz ise 300 mrem olarak belirlenmiş,
- Derinin (kritik organ) ise 7 mg/cm^2 derinliğe kadar, haftalık müsaade edilen doz 600 mrem olarak belirlenmiş,
- Kan yapıcı organın (en kritik organ olarak görülmüş) ise haftalık müsaade edilebilen dozu 300 mrem olarak belirleniyor,

- 45 yaşından büyükler için bu dozların 2 katı kullanılacağı,
- Eller ve ayaklar için isse haftalık olarak müsaade edilebilen doz ise 1.5 mrem olarak belirleniyor,
- RBE değerlerinin ise;
  - X-ışınları için: 1
  - Termal nötronlar için: 5
  - Hızlı nötronlar için: 10
  - Alfa parçacıkları için: 10

  olarak belirlenmiştir.

1958 yılında ise ICRB tarafından Maksimum Müsaade Edilebilir Dozu (MMD) gelişen teknolojiyle birlikte yeniden tanımlama gereksinimi duyumuştur. Yeni tanımlamayla birlikte MDD: Bedensel veya genetik tehlikesi olma olasılığının yok sayılabilecek kadar küçük olan, uzun bir zaman süresince birikmiş olan doz olarak tanımlamışlardır. Doz sınırlarının yeniden düzenlenmesiyle birlikte, MDD'yi 100 mrem seviyesine çekmişlerdir.

1965 yılında ise ICRB yeni bir bildiri yayınlayarak MMD sınırlarının mümkün olduğu kadar aşağıda tutulmasını tavsiye etmiştir. Çünkü çalışma yapan bilin insanlarının MMD sınırının genetik bozukluğa yol açabileceği kanıtlar olmasıydı. Günümüzde halen bu güncelliğini korumaktadır. Bu yılda yayınlanan raporda MMD iki grup için öneriliyor;

- Radyasyon çalışanları
- Halk

olarak belirlenmiş ve iki grup için belirlenen dozlarını çizelgede göstermektedir.

Çizelge 3. 1. İnsanlar için maksimum müsaade edilebilir doz (Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi, 2014)

		Görevli	**Halk**
Yıllık Etkin Doz		20	1
Yıllık Eşdeğer Doz	Tüm Vücut	50	5
	Tek tek diğer org.	150	15
	El, ayak, cilt	500	50

Çizelge 3. 2. Doz sınırlamaları (Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi, 2014)

İNSAN GRUPLARI		VÜCUT BÖLGESI	Doz Sınır Değeri (Bir Çalışma Yılı -2000saat- Süresinde)	Doz Sınır Değeri (Birbirini takip eden 3 ay içinde)
1.Mesleği gereği radyasyonla çalışanlar	Çalışma Grubu A[1]	Tüm Vücut	50 mSv	25 mSv
		Vücudun bir bölümü	500 mSv	250 mSv
	Çalışma Grubu B[2]	Tüm Vücut	15 mSv	7.5 mSv
		Vücudun bir bölümü	150 m Sv	75 mSv
2.Radyasyondan özellikle korunması gereken insanlar	a)18 yaşın altındakiler	Tüm Vücut	5 mSv	----------
	b)Hamileler	Rahim	----------	5 mSv/ay
3.Kontrol ve gözetim bölgesindekiler		Tüm Vücut	5 mSv	----------
4. Diğer kişiler		Tüm Vücut	1.5 mSv	----------

1965'te ICRB yıllık dozun 5 rem'i geçmemesiyle birlikte 3 aylık birikmiş dozun 3 rem'e olarak belirleyerek bu dozlarda alınmasına karar vermiştir.

Yıllık dozu;

Toplam doz = 5(N-18) (3.1)

Formülüyle hesaplayabiliriz.

Radyasyon çalışanlarının 18 yaşından küçük olmaması gerekmektedir. Bahsedilen doz sınırlarına rağmen zorunlu olmadıkça radyasyon ışımalarından uzak durmak gereklidir. Uzak durmamızı gerektiren bu prensipler günümüzde ALARA olarak biliniyor.

1965'te belli olgunluğa ulaşan kadınlarda gonadal bölgenin 3 aylık dönemde 3 rem'den fazla olmaması gerektiğini söylemiştir. Gebeliği belli olan kadında ise toplam alacağı dozun 1 rem'i geçmemesi gerektiğini söylemiştir.

1994 yılında ise ICRB'nin açıklamalarına göre radyasyon çalışanlarına göre Maksimum Müsaade Edilebilir Dozun (MMD) 2 rem olarak belirlemişlerdir.

1980 yılında bazı kuruluşların (IAEA, ILO, WHO. NEA) ortak kararıyla bazı doz tanımları yapılmıştır;

3.1.1.Doz eşdeğeri (H)

Vücutta birim kütlede soğurulan enerji miktarı ile orantılı katsayı oluyor. Soğurulan doz ile boyutsuz olan radyasyon ağırlık faktörünün çarpımıdır.

H=D.Q.N (3.2)

D:Soğurulan enerji

N:Özelleştirilmiş faktörlerin genel değeridir. Genellikle 1 alınır (Demir, 2000).

3.1.2.Etkin doz eşdeğeri (H_e)

Her bir doku ve organdaki doku ağırlık faktörü, eşdeğer doz, wT ile çarpılarak bu veriler tüm vücut üzerinden toplanıp Etkin doz (E) elde edilir, bunun yapılma nedeni vücudun tüm doku ve organlarındaki eşdeğer dozun sebep olduğu stokastik etkilerin sonucunda oluşan hasarı göstermektir. Vücudun radyasyona maruz bırakılması farklı organ ve dokuların, değişik şiddetlerde ve farklı olasılıklarda hasara sebep olabiliyor.

$E = \Sigma_T \, w_T.H_T$

(3.3)

E = etkin doz

w_T = T doku veya organ için ağırlık faktörü

H_T = T doku veya organdaki eşdeğer doz (Demir, 2000)

3.1.3.Yüklenen etkin doz eşdeğeri($H_{E:50}$)

Vücut içerisine bir tek radyoaktif maddenin alınmasından sonra 50 yıl süresince toplanabilecek etkin doz eşdeğeri diyoruz.

3.1.4. Kollektif doz eşdeğeri(S_e)

Toplumun ışınlanması halinde kullanılan bir değer diyoruz.

3.2. İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunmak İçin Temel Prensipler

- **Gereklilik (Justification):** Radyasyon uygulamasına izin verilebilmesi için net fayda sağlaması gereklidir,yoksa kesinlikle izin verilmez.
- **Etkinlik (Optimizasyon-ALARA):** Mümkün oldukça maruz bırakılan dozları düşük seviyelerde tutmaya özen göstermeliyiz.
- **Kişisel Doz-Risk Sınırları:** İzin verilen doz düzeylerinin alımasına sınır koyulmalıdır (F. Canbaz Tosun 2013).

3.3. İyonlatırıcı Radyasyon Korunmasında Yasal Limitlerin Değerlendirilmesi

Bilim insanları tarafından kabul edilen ve kurumlar tarafından sunulan değerler yasal olarak kabul ediliyor. Yasal limitler günün şartlarına uygun şekilde oluşturuluyor. Yasal limitlerin belirlenmesinde özel durumlar göz önünde bulundurulur. Çalışmanın

kontrolunu sağlamak amaçlı işlevsel limitlerin en kısa dönemde belirlenmesi radyasyon korunması yönünden faydalı olur.

3.3.1.Referans seviyeler: Radyasyon korunma programları doğrultusunda alınan sayısal verilerden, çıkan sonuçların değerlendirilmesinde referans seviyeleri belirlenmiştir. Bu referans değerleri bize limit seviyesi belirtmez. Sadece yaptığımız programda olayı değerlendirmede bize veri olur.

3.3.2.Kayıt seviyesi: Herhangi bir ölçme sonucunda doz eşdeğerinin rutin olarak tutulan değeridir. Belli aralıklarla yapılan kişisel ölçümler için bu kayıt seviyesinin yıllık limitlerin 1/10 olarak belirlenmesi tavsiye edilmiştir. Bu seviyenin altındaki sonuçlar yıllık doz eşdeğeri sonuçlarını göz önünde bulundurduğumuzda 0 olarak alıyoruz.

3.3.3.Araştırma seviyesi: Genel olarak birikmiş doz ölçümleri yerine bir ölçümle alınan sonuçlara göre belirlediğimiz anlık doz seviyesi oluyor. Kişisel limitler, yıllık limitlerin 3/10 olarak tavsiye ediliyor. Araştırma yapılan yerlerde araştırma seviyeleri normalde beklenen sonuçlara dayandırılıyor. Bu alınan ölçümler durumun istenilen seviyede olup olmadığını belirler.

3.3.4.Müdahale seviyesi: Genellikle aniden gelişen olaylarda kullanılan özel seviyelerdir.

Müdahale önceden belirlenen kriterlere göre belirleniyor.

3.3.5.Risk ve temel korunma kuralları: Radyasyon korunma kurallarını tam olarak uygulanması ve güvenirliğini kontrol etmek amaçlı aynı uygulamayı farklı merkezlerde yaparak daha verimli sonuçlar alabiliyoruz. Radyasyon ışınları riskler içerir, fakat hayatı tehlike olacak kadar değildir. Radyasyon işlerinde çalışanların maruz kaldıkları ışınların ölüm riski güvenirli işlerle aynı seviyede olabilmesi için alacakları yıllık doz 50 mSv'i olursa ölüm riskleri aynı seviyede oluyor.

Radyasyonda fayda sağlamayan hiçbir uygulamaya izin verilmemelidir. Bu yüzden radyasyonda fayda-zarar analizi yapmalıyız. Bütün radyasyon ışımalarını mümkün olan en alt düzeyde tutulmasını ALARA prensibi olarak belirleniyor.

Radyasyonda çalışanların normal insanlara göre 10 kat daha fazla ışıma almasına rağmen ALARA prensibini titizlikle uygulamalıdır (Demir, 2000).

3.4. İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunma Standartları

Amerikan ulusal radyasyondan korunma konseyin, 1931 yılında alınan kararla radyasyondan korunmanın sınırlarını yılda bir kişinin vücudunun tamamının alabileceği maksimum müsaade edilebilir doz, 50000 mrem şeklinde belirliyorlar. Günümüze çok

sayıda teknolojik değişimler ve değişikliklere uğrayarak en son 5000 mrem/yıl olarak değiştirilmiştir. Binlerce kişi üzerinden yapılan araştırmalarda radyasyon çalışanlarından az bir kısmının bu rakamın biraz üzerine çıktığı tespit edilmiştir. Radyoloji teknisyenlerinin yapılan çalışmalarda yılda %70'inin 10 mrem'den daha az doz aldığı ve sadece %3'ünün 1000 mrem/yıl doz seviyesini aştığı saptanmıştır. Doz sınırı olan 5000 mrem/yılı yaklaşık olarak 30 yılda kullanılıyor, ayrıca bu doz sınırı çalışanların sağlığını korumaya uygun düzeyde olduğu günümüzde çeşitli kuruluşlarca kabul edilerek uygulanıyor. Bu dozun tüm çalışma hayatı boyunca alınacağı da göz önünün de bulundurulmuş ve tüm radyasyon çalışanları için doz sınırı sabit edilmiştir. Çalışanların haftalık olarak 0.1 Rem'i aşmamasına dikkat edilmelidir. Radyasyon çalışanın18 yaşının altında (öğrenci veya stajer) ise müsaade edilebilir maksimum doz 100 mrem/yıl'dır (Akgül, 2011).

3.5. Nükleer Tıp Bölümlerinin Planlanması

Nükleer tıp bölümlerinde herhangi bir aksaklık yaşanmaması için daha önceden etkin ve güvenli bir planlama yapılması gereklidir. Nükleer tıp bölümü kurulurken olduğu yerdeki ortalama hasta sayısı göz önünde bulundurularak oluşturuluyor. Nükleer tıp bölümleri nelerdir ve ne amaçlı kuruluyor kısa kısa bahsedelim (Megep, 2008).

3.5.1.Soğuk odalar

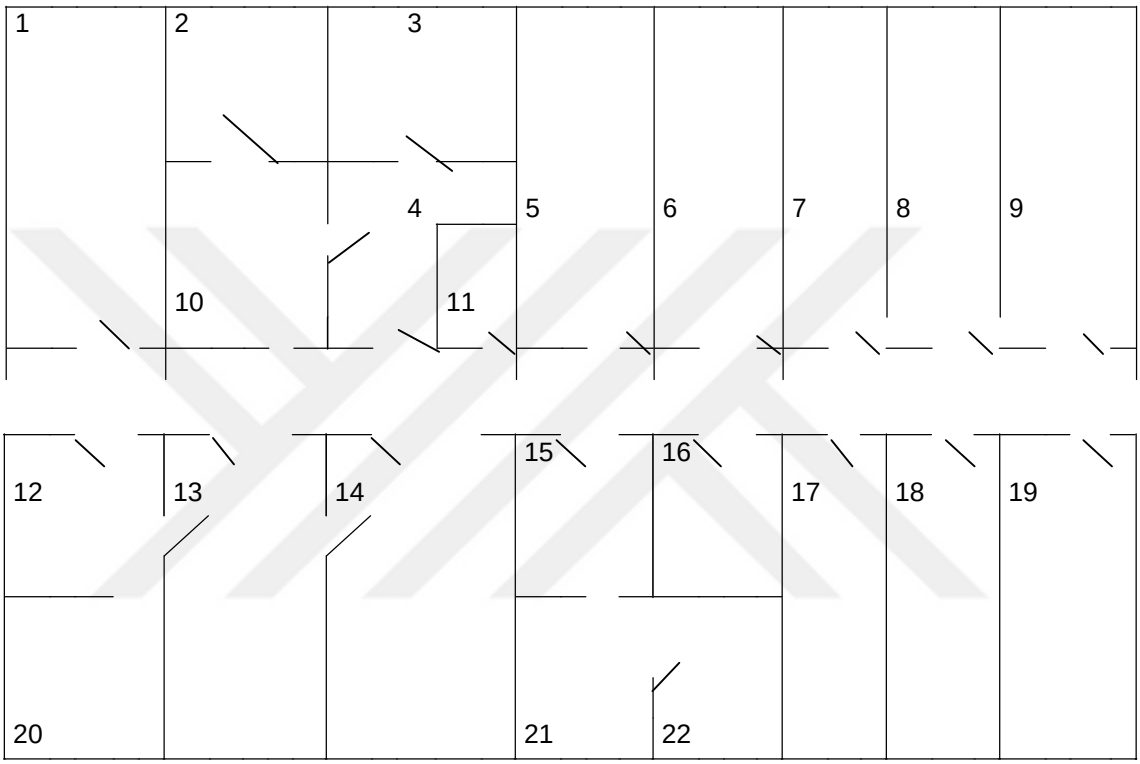
Halka açık olan bu alanlar, hasta bakıcı ve ziyaretçiler gezebiliyorlar. Bu alanlarda danışma, bekleme salonu ve çeşitli ofisler de yer alır, ayrıca bu alanlarda hekim odaları, şef teknisyeni, kontrol odaları ve fizikçiler de bulunur. Hastalardan radyoaktif madde alanlar, radyoaktif madde bulunduran materyal, kaynaklar bu alanı gezemezler. Yıllık birikmiş doz bu alanlarda 100 miliRem'i geçmemelidir. Herhangi bir radyoaktif maddenin hazırlanmasına, depolanmasına ve uygulanmasına bu alanlarda izin verilmez. Işınlama doz düzeyi bu alanlarda minimum düzeyde olmasına dikkat edilmelidir.

3.5.2. Ilık alanlar

Radyoaktivite bulunduran alanlarda çoğunlukla mikroküri(μCi) ve miliküri (mCi) düzeyinde oluşuyor. Günlük kullanımda bu alanlarda miliküri düzeyinde radyoaktivite bulunabiliyor. Örneğin; radyoassay laboratuarı, sayım odaları, tiroid uptake uygulama odası bu bölümler düşük düzeyli radyasyon bulundurduklarından ılık alanların içinde oluyorlar. Yani görüntüleme odaları yüksek seviyeli ılık alanlar grubunun içindedir. Çoğu kez bu alanlarda 0,3 ve 30 miliküri aktivite miktarları ile uygulama yapılıyor.

3.5.3. Sıcak alanlar

Mikroküri değeri az olandan, miliküri değeri az olan aktiviteye kadar içerebiliyor. Radyofarmasötikler sıcak laboratuarlar da hazırlanarak nitelik kontrol testleri gerçekleştiriyor. Aktivite depolama odaları, radyofarmasi laboratuvarları bu gruba giriyor.



Şekil 3. 1. Nükleer tıp bölümü yerleşim planı (Demir, 2000)

Şeklimizi ifade edecek olursa; Sol bölgede soğuk alanlar bulunur ve girişe yakın, sağda bölgede ise ılık ve sıcak alanlar bulunmaktadır. Sayılarla ifade edilen odalar ise;

1: Bekleme odası
2: Dr. Odası
3: Dr. Odası
4: sekreter
5: konferans salonu
6: Akciğer gör.
7: Kalp gör
8: Böbrek gör.
9: Diğer gör.
12: Gama sayacı
13: Radyoassay
14: Tiroid uptake
15: Kontrol
16: Karanlık odalar
17: Ana bilgisayar
18: Atık depolama
19: Sıcak odalar
20: Bilgisayar

10: Resepsiyon 21: Şef teknisyeni

11: Tuvalet 22: Dinlenme odas

3.6. Nükleer Tıp Bölümünde Bazı Alanların Tanımlanması

3.6.1. Görüntüleme (Kamera) odaları

Bu bölümle ilgilenen tekniker hasta giriş çıkışlarını, bölümün temizliğini, ziyaretçilerin kontrolü ile ilgilenmektedir. Nükleer tıp fizikçisi ise nükleer tıp bölümünün radyoaktivite seviyelerinin denetimini, gama kameralar ile diğer görüntüleme cihazlarının kalite kontrolü ve ölçümlerin denetimiyle sorumlu oluyor (Demir, 2000).

3.6.2. Radyofarmasi veya sıcak laboratuvar

Radyofarmasötiklerin hazırlandığı yer olan sıcak oda, temiz oda kabini ve karbon filtresi güçlü çeker ocak bulunması zorunludur. Lavabo, kimyasal temizleme, ve çalışma bankoları için duş yerleri şarttır. Yalnız, radyofarmasi odası birden fazla olan hastanelerde bulunabiliyor.

Radyofarmasi laboratuarında radyofarmasötiklerin üretimi ve otologa bağlı radyofarmasötiklerin üretimi yapılmaktadır. Kullanıma hazır haldeki radyofarmasötikler nükleer tıp ünitesinde bulunan sıcak odada bulunuyor. Kullanılacak tüm radyoaktif maddelerin depolanması, jeneratörlerin süzülmesi, radyofarmasötik jeneratörlerin onayı, kalite kontrollerinin yapılması ve radyofarmasötik preparatlarının hazırlanması, bahsedilen bu prosedürlerin tümünün kayıtları bu yerde tutulmaktadır. Böylesi laboratuvarlar da yüksek düzeyde radyoaktivite bulunuyor (Demir, 2000).

3.6.2.1.Radyofarmasi odasında radyasyon için çevre güvenliği

Radyasyon bulaşımını alanda en alt düzeye indirmek için bir takım çalışma işlemleri yapılmalıdır. Bez mendil yerine**,** kağıt havlu kullanılması zorunludur. Çalışmanın olduğu yere yenilecek ve içilecek herhangi bir şey getirilmemeli, buzdolabında muhafaza edilmeli ve sigara paketinin açılmasına izin verilmemelidir. Laboratuvara girmeden önce derideki herhangi çizik ya da kesikler için gerekli önlemler alınarak üstü kapatılıp muhafaza edilmelidir. Radyasyon bulaşımını düşük seviyede tutmak için duvar, tavan vb. gibi yerleri sık sık dezenfekte etmek gereklidir. “miliCurie” ve “mikroCurie” oluşabilecek yanlışlıkların önüne geçmek için açık şekilde yazılmalıdır. Radyoaktif solüsyonların adı, kimyasal formu, verilme tarihi ve süresi açık şekilde belirtilmelidir. Radyoaktif madde ile uğraşan personelin eldiven takması gereklidir. Radyasyondan korunmak amacıyla kullanılan kıyafetleri bir daha

kullanmamalı ve kullanılan eldivenleri sık sık değiştirmeli, galoş, koruyucu gözlük kullanmaya dikkat etmelidir. Kıyafetler laboratuvardan ayrılırken çıkarılmalıdır. Radyofarmasötik adı ve aktivite ölçüsü radyoaktif madde taşıyıcı kaplar üzerine belirtilmelidir. Yutma olasılığını en alt düzeye indirmek için madde hazırlama esnasında soğurulmuş materyal ya da pipet kullanılmalı ve radyoizotoplarla uğraşırken yemek ve içmek yapılmamalıdır. Gaz salma ve buharlaşma özelliğine sahip olan maddeler için yeter havalanma ortama sahip yerlerde muhafaza edilmeli ve taşınmasına dikkat etmeliyiz. Radyoaktif atıkları muhafaza etmek için gerekli koşulları sağlamalıyız. Gerekli çalışmaları tamamlayan çalışanların ve işlemin yapıldığı yerin radyasyon ölçümleri yapılmalı ve gerekli temizlik işlemleri yapılmalıyız.

3.6.3. Bekleme odası ve danışma

Hastaların giriş çıkışına danışma yeri yakın olmalıdır. İlk başvuruyu hasta danışmaya yapmalıdır. Danışman kontrol odasına hasta isteğini bildiriyor. Bu sayede nükleer tıp işlemleri harekete geçmiş oluyor. Tedavi polikliniğine veya görüntüleme bulunduğu yere danışman görevlileri götürür. Götürülen bu alanlarda radyoaktif madde kesinlikle bulundurulmuyor. Işınlama dozu düzeyinin 2 miliRöntgen/saat'ti geçmemiş olmasına dikkat edilmedir (Demir, 2000).

3.6.4. Yüksek dozlu I-131 almış hastaların gözetim odası

Özel tesisatlı odalarda yüksek doz I-131 uygulaması yapılmalıdır. Ayaktan doz limiti bazı Avrupa ülkelerinde 1100 MBq seviyesindedir. Hastaların kişilerle görüştürülüp taburcu edilebilmesi için; I-131 radyoaktif maddesinden 800 MBq'den fazla verilen hastalar için vücuttaki radyoaktivite düzeyi, 600 MBq'in ve hastadan doz hızı 1 metre uzakta, 30 mikroSievert/saat'in altına ininceye kadar personel tarafından hastaların yalıtılmış özel bir odaya alınarak hastanın özel koşulları değerlendirilir.

3.6.4.1. Yüksek doz I-131 tedavisinde iyonlaştırıcı radyasyon çevre güvenliği

Hastanın ve hemşirenin radyasyon güvenliğinden dolayı radyonüklid tedavi sırasında uyması gereken kaideler vardır.

3.6.4.1.1. Hemşirenin korunması

I-131 temasından dolayı hemşirelerde radyasyona maruz kalabilmektedir. Bunun için alınabilecek önlemler;

- Radyasyondan ışınlanma riskini azaltmak için hastanın bakımı için harcanan zaman sınırlandırılmalıdır.

- Radyasyon korunma memuru radyonüklid uygulanıp radyasyon maruz kalma seviyesini belirlendikten sonra özel hemşirelik işlemleri için ve ziyaretçilere sınırlama için gerekli radyasyon göstergelerini yerleştirmelidir
- Hemşirelerden hamile olanlar bu tedaviyi olan hastaların bakımda görevlendirilmezler.
- Radyasyon güvenliği görevlisinden onay almadan ayda 1'den fazla hastaya bakmamalıdır (radyasyon doz aşımından dolayı).
- Eldiven kullanımına dikkat edilmeli ve elimizi eldiven çıkarmadan önce ve çıkardıktan sonra mutlaka yıkamalıyız.

3.6.4.1.2. Hastanın korunması

- Teşhis ve tedavi için en doğru şey radyoaktif madde uygulanmalıdır.
- Uygulama anında hasta üzerine bulaşma olmamasına özen göstermeliyiz.
- Hastalarında tedavi sırasında radyoaktif madde kullanılan hastaların banyo ve tuvaletleri öbür hastalarla aynı olmamalıdır.
- Radyasyon güvenliği sorumlusu tarafından iyot içirildikten 24 saat sonra hastanın radyasyon doz seviyesine bakılır ve hastanın durumu ona göre belirlenir.
- Tuvalet ihtiyacı giderildikten sonra bol su dökülmesine dikkat edilmelidir.
- Kullanılan araç-gereçler bir defa kullanılmalıdır.
- Radyasyon çalışanlarını korumak ve bulaşma seviyesini daha alt düzeyde tutmak için sık sık temizlenmesine dikkat edilmelidir.
- Hasta üzerinde gerekli tetkikler yapıldıktan sonra çıkına nükleer tıp radyasyon memuru izin verince temizlik görevlileri odada gerekli işlemleri yapar.

3.6.5. Radyoassay laboratuvarı (RLA)

İn-vitro tıbbi tanı metotlarındandır. RIA birçok yerde uygulanabiliyor. Radyoaktiviteden dolayı RLA'dan uzak durulmaya çalışılmasına rağmen ekonomik olmasından dolayı ve yüksek güvenirliği nedeniyle günümüzde de kullanılmaktadır. Antijenlerden bilineni tercih edilerek antikor tayini, veya tam tersi tayin yapabiliyor. Sadece burada antijen-antikor birleşmesinde, enzim aktivitesi yerine radyoaktif madde ile işaretli antiglobulin kullanılır ve radyoaktivite ölçümü yapılarak, sonuç belirlenebilir

Hormon düzeyinin belirlenmesinde, ilaç seviyesinin belirlemesinde kullanılıyor. Bunlar başlıca hepatit antijen veya antikorlardır.

Radyoaktivite doz seviyesi çok aşağıda olmasından dolayı fazladan önleme gerek duyulmamaktır (Demir, 2000).

Bu odada kan alım işlemleri yapılıyor. Bu odada alınmış olan kan örnekleri in-vitro sayıma hazırlanıyor. Hastaların kanı alındıktan sonra nükleer tıp işlemleri için görüntüleme alanına götürülüyor. odada kontrollü olarak, görüntüleme odalarında, özel enjeksiyon odalarında, hastanenin olanaklarına göre hastalara radyofarmasötik enjeksiyonu yapılabilmektedir.

3.6.6. Sayım odaları

Kan örnekleri RLA'da hazır duruma getirilerek gama sayıcında sayılır ve sonuçlar direk olarak bilgisayara aktarılıyor. Veri işlemleri yapıldıktan sonra çıkan sonuçlar raporlanıyor. Radyasyondan görevli tekniker uygulama esnasında oda içinde bulunan buzdolapları, pipetler, gama sayıcı gibi araç gereçlerin çalışması ve güvenliğiyle ilgilenir. Sonuçlar uzman kişiler tarafından alınarak değerlendiriliyor.

3.6.7. Tiroit uptake (guatır hastaları için) odası

Tiroidin işlevselliğinin ölçümünde kullanılan bir uygulamadır. İlk adım olarak tiroit bezi tedavisinde iyot tutulum testi yapılır. Yapılan uygulamada bir hastaya 1-10 mikroküri radyoaktif iyot-131 kullanılarak yapılabiliyor. Radyo iyodu alan hasta 2. Saatte ölçüm için geldikten sonra birde 24. Saatte ölçüme gelir. Dıştan, ölçümler sintilatörlü(probe tipi) gama sayıcı ile yapılır. Sonuçları özel bir kağıtta görevli olan tekniker not alır ve hekim değerlendirmesini yapar (Demir, 2000).

3.6.8. Rapor odası

Hastaların çekimden sonra görüntülerin değerlendirilmesi için geldiği yerdir. Uzman sayısına eşdeğer olarak gerekli araç gereçlerin bulunması ve gerekli donanımların olması lazımdır. Yani bu odanın çalışma şartlarını kolaylaştırıcı donanıma sahip olması gereklidir.

3.7. Nükleer Tıp Laboratuvarında Çalışırken Taek Tarafından Uyulması İstenilen Kurallar

- Laboratuar hakkında gerekli kayıtlar tutulmalıdır. Bu kayıtlar;
- Laboratuarda bulunan radyoaktif maddelerin kayıtları
- Hastaların radyoaktif madde alanların kayıtları
- Radyasyon görevlilerinin dozimetre seviyelerinin gösterildiği kayıtları
- Laboratuardaki araç gereçlerin radyasyon ölçümlerinin kayıt edilmesi
- Alışılmışın dışında olan ve tehlikeli durumların kayıt edilmesi
- Hastaya verilen radyoaktif maddenin çeşidi, miktarı ve tarih kayıtları
- Atık radyoaktif madde kayıtların çeşidi, miktarı ve tarihi kayıtları

- Cihazlarda herhangi bir aksaklığa neden olmaması için bakım, onarım ve ölçüm kalite kontrol kayıtları
- Radyasyon ölçümü ve doz ölçüm makinelerinin ölçüm kayıtları

➢ Radyasyon görevlileri hariç laboratuara giriş-çıkış izin verilmemelidir.
➢ Çalışanların işe başlamadan önce emici kağıtlar konularak radyoaktif madde işlemlerini bunların üzerinde yapmalıdır.
➢ Radyasyondan korunmak için çalışanlar önlük, eldiven vb. koruyucu giysiler giyilmeli laboratuardan çıkarken radyoaktif atık kutusuna koyularak muhafaza edilmelidir.
➢ Radyasyon bulaşmasını engellemek için bulaşan kısım içe gelecek şekilde çıkarılmasına dikkat edilmelidir.
➢ Radyasyon bulaşımını önlemek için temizlik yaparken mendil veya kağıt havlu kullanılır ve iş bitince atık kutusunda muhafaza edilir.
➢ Radyasyon çalışanlarının giydiği elbiseler hiçbir zaman bulunduğu ortamdan çıkarılamaz.
➢ Laboratuar içinde yiyecek, içecek ve kişisel eşyaların bulundurulmaması gerekmektedir.
➢ Ellerde yara varsa bandajlı bile olsa laboratuarda çalışılmamasına özen gösterilmelidir.
➢ Elektrik düğmeleri, musluklar, kapı kolları, telefon ahizelerinde radyasyon bulaşması olmamasına özen gösterilmelidir.
➢ Çalışırken vücuda zararı olabilecek kesici aletler kullanmamaya dikkat edilmelidir.
➢ Kullanılan maddelerin kapakları kolay şekilde açılabilir olmalı ve maddelerin isimlerinin belirtilmesi gereklidir.
➢ Laboratuarda sürekli olarak radyasyon ölçümleri yapılarak korunmak için önlemler alınmalıdır.
➢ Radyasyon ölçüm cihazı devamlı açık durumda bulundurulmalı veya aksi durumlarda alarm ile uyarı veren cihazlar konulmalıdır.
➢ Arada gerekli koruyucu önlemler alınarak radyofarmasötik uygulama yapılmasına dikkat edilmelidir (S. Karaçavuş, 2014).

3.8. İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunmak İçin Havalandırma

Radyoaktif maddelerle çalışılan laboratuarlarda havalandırma sisteminin bulunması şarttır. Toksit gazlar; x ışınlarının havayı iyonlaştırmasından dolayı havada

bulunan oksijen düzeyini devamlı olarak azaltarak oluşmaktadır. İnsanlar üzerinde bunun sonucu olarak da; solunan hava öksürük, gırtlakta yanma ve oksijenin az alınmasına bağlı olarak ise halsizlik ve yorgunluk gibi belirtiler oluşmaktadır. Açık ortamdaki hava kirliliğinin kapalı ortamdakine göre daha az düzeyde olduğunu biliyoruz. Nükleer tıp bölümünün havalandırma sisteminin çok iyi olması lazımdır. Sıcak ve ılık alanların havalandırması merkezi havalandırma sisteminden ayrı iken soğuk alanların havalandırması merkezi sisteme bağlı olabilir. Bu şekilde duman ve radyoaktif gazlar bulunduğu yerden direk olarak dışarı çıkmış olur. Laboratuardaki hava temizlenmiş olurken uçucu maddeler ve radyoaktif gazlar havaya karışmış oluyor. NRC havada bulunan radyoaktif miktarının maksimum seviyede olacak şekilde değerler belirliyor. Radyonüklidler bazılarının kontrollü ve kontrolsüz yerlerde MPC_{air} seviyeleri tabloda sıralanmıştır. Haftalık olarak 40 saat çalışma esas alınarak belirlenmiştir (Taek, 2009).

Çizelge 3. 3. Radyonüklidler bazılarının kontrollü ve kontrolsüz yerlerde MPC_{air} miktarı (Megep, 2008)

Tablo V . Özel tanımlama gerektirmeyen Radyasyon alanlarında kabul edilebilen MPC_{air} düzeyi için maksimum radyoaktivite değerleri

RADYONÜKLİD	AKTİVİTE MİKTARI (mikroCi)
^{3}H, ^{67}Ga, ^{14}C, ^{18}F, ^{51}Cr, ^{99m}Tc, ^{133}Xe, ^{201}Tl	1000
^{33}P, ^{57}Co	100
^{32}P	10
^{60}Co, ^{125}I, ^{131}I	1

Hava akımı 10 veya daha fazla hava akımı süzgeçten geçirilmeden sıcak olan alandakini bulunduğu yerden çıkarılarak, bu şekilde 131 iyot yerlerinde pozitif basınç elde edilmelidir. Çalışanların sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi için, oksijen seviyesi en alt % 19, CO2 seviyesi en çok % 2, 29 °C sıcaklık seviyesini aşmamasına dikkat edilmelidir. CO2 seviyesinin % 4'ün üstüne çıkmaması ve insanlarda sağlık koşullarının yolunda gitmesi için, insanlarda hava solunumunun 500 litre/saat olması gereklidir. Yetişkin birinin soluduğu hava vücut aktivitesi olmadan yaklaşık olarak 0.5 m^3/saat olup, 35 °C solunumdan dolayı oluşan havaya ve nem oranı olarak ise % 95 seviyeye sahiptir. O2 %17, CO2 %4 ve N %79 ortalama olarak bu seviyelerdedir. Biyolojik ve kimyasal radyasyonlarının yayılmasının önüne geçmek için pozitif basıncı içten dış ortama doğru oluşturulmalıdır. Göğüs koruyucunun ve hücre ağırlığını kaldırabilecek

şekilde çeker ocak oluşturulmalıdır. Genel havalandırma sisteminden ayrı olan sıcak odanın havalandırma sistemi direk çıkışa verilmeli ve havanın geri gelişini önleyecek şekilde dışarıya verilmelidir.

3.9. İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunmak İçin Yalıtım

İnsan sağlığını olumsuz yönden etkileyen x ışınının yayımladığı iyonlaştırıcı radyasyonun alınmasına neden olmaktadır. Bu olumsuzlukları önlemek için x ışınıyla çalışılan yerlerde arada koruyucu engeller olmalı yani zırhlama yapılmalıdır. Sıcak olan alanda koruyucu engel olması gerekirken, soğuk ve ılık yerlerde koruyucu engel gerekmez. Radyoaktif maddenin çeşidine göre zırhlama yapılmalıdır.

3.10. İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunmak İçin X-Işını Odasının Düzenlenmesi

- Yerin kurulumunda röntgen üniteleri yapılırken alt kata yapılmalı veya dış kapıya bağlantılı yerlere yapmaya özen gösterilmelidir.
- Ünitenin duvarlarını dolgu tuğla ile yapılmalı ki radyasyon daha az geçirsin.
- Radyasyon fizikçilerinin yardımıyla duvardan radyasyon geçiş hesabı yapılır.
- 1 veya 2 mm kurşun plakalarla duvarlar da kaplanabilir.
- Radyasyonun seviyesine ve çeşidine göre 1,5mm veya 2mm kurşun plakalardan yararlanılır.
- Ünitelerin olduğu yerde iyi koruyucu engelin yanında güzel havalandırma sistemi de gereklidir.
- Havaya x ışınlarının yayılması sonucu toksit gazlar meydana gelmektedir. Oluşan gaz havaya göre daha ağır olmasından dolayı zemin kısmın da çoğalır.
- x-ışını odasındaki biriken toksit gazlara önlem olarak, alt kısımda emici, üst kısımda üfleyici düzenek ile havalandırma yapılmalıdır.
- Teknisyenlerin koruyucu engellerinin 2mm kurşun plakayla kaplanmalıdır.

3.11. İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunmak İçin Koruyucu Aygıtları

Radyasyondan korunmak için genellikle; eldiven, kurşun önlük, paravanlar, boyunluk, gözlük, kurşun camlar ve gonadal koruyucular kullanılıyor. Radyasyonun çeşidine göre aygıtların kalınlıkları 0,25mm, 0,5mm, 1 mm kurşun eşdeğerinde olduklarında korumaktadır. Kullanışı açısından daha kolay olduğu için kurşun önlük olarak genellikle 0,50 mm kalınlığındaki koruyucu önlükler tercih edilir. Bunun üzerindeki (1mm,2mm vb.) önlükler daha iyi korudukları halde oldukça ağır oldukları için pek kullanılmaz. Kurşun önlükler katlanmaması gereklidir çünkü kurşun koruyucunun içinde bulunan kurşun tabakalarının zarar görme riskinden dolayı,

muhafaza edilirken askıya asılmalı olarak bekletilmelidir (Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi, 2014).

3.11.1.Kurşunlu önlük



Radyasyon çalışanları, radyoloji laboratuvarında çalışırken kurşunlu önlük giymelidirler. Kurşunlu önlükler direk x-ışınından değil ikincil (yansıyan) radyasyona karşı bir koruma sağlamak üzere tasarlanır. Uzun süre, giyilebilmeleri için mümkün olduğu kadar hafif olmaları gereklidir. Direk gelen radyasyon ışınından korunmak için ışın kaynağının gücü ve mesafesine göre 0.5mm,1.5mm, 2mm Pb veya daha yüksek koruma sağlayan kurşunlu paravan gibi ürünler kullanılmalıdır (Avcı, 2016)

Şekil 3. 2. Kurşunlu Önlükler (Megep, 2011).

Koruyucu önlüklerin özelliklerini kaybetmemeleri için doğru şekilde asılmalarına, direk güneş ışınları veya ısı yayan radyatör gibi yerlerden uzak muhafaza edilmeleri gerekir.



Şekil 3. 3. Kurşunlu Önlüklerin Korunması (Megep, 2011).

3.11.2.Yüz koruyucular

Işığa karşı saydam özelliği bulunan radyasyondan yüzü korumak amaçlı kullanılan bir koruyucudur.

3.11.3.Boyun koruyucular

Yüksek radyasyonlu yerlerde tiroit bezini korumak amaçlı boynu saran bir koruyucudur.



Şekil 3. 4. Tiroit koruyucu (Megep, 2011).

3.11.4.Kurşunlu gözlükler

Kurşunlu camla yapılmış olan bu gözlükler radyasyonda çalışanların gözlerini korumak amaçlı kullanılmaktadır. Floroskopi (tv donanımlı olmayan) aletlerde yapılan tetkiklerde bu gözlükler kullanılmaktadır. İncelemeye işlemlerine geçmeden (en az 10 dk) önce takılmalıdır.



Şekil 3. 5. Kurşunlu gözlükler (Megep, 2011).

3.11.5. Kurşunlu eldivenler

Floroskopi aletleri ile yapılan tetkiklerde kurşunlu önlüklerle yanında, kurşunlu eldivenler de kullanılmaktadır. Kurşunlu eldivenler, ön, arka ve bileklerde içinde olacak şekilde koruyucu özellikte olmalı ve 150 Kv değerine kadar olan cihazlarda kurşunlu eldivenler en az 0,25 mm kalınlıkta olması gerekmektedir. Kurşunlu eldivenler

katlanmadan muhafaza edilmelidir. Çünkü katlanan yerlerde oluşan çatlaklıklar radyasyonu yeterince soğuramaz ve gerekli korunma sağlayamaz. Bu nedenle çatlamış olan kurşunlu eldivenler radyasyon güvenliği açısından kullanılmamalıdır.

3.11.6.Kurşunlu paravan

Radyoloji departmanında, yapılan radyasyon işlemi sırasında korunmak amaçlı en az 2 m eninde ve 2,25 yüksekliğinde kurşunlu paravan kullanılıyor.

İşlemi yönetilen yer ile tetkik yapılan yer arasında en az 1,5 m aralık bırakılmalıdır. Radyasyon kaynağından çıkan ışınlamadan kendimizi korumaya önem verilmelidir. Radyografi yapıldığı esnada arada mutlaka koruyucu engel kullanılmalı, hastaya yardım gerekli ise yakınlarına gerekli koruma önlemleri yapılarak yardım alınmadır (Akgül, 2011).



Şekil 3. 6. Kurşunlu paravan (Megep, 2011).

3.11.7. Hamileleri korumak amaçlı kurşun koruyucular

Radyasyon çalışanının hamile olduğu durumda yetkili kişilere haber ederek çalışma şartları yeniden düzenlenir. Çalışanın hamile olması çalışmasına engel değildir, sadece daha dikkatli olmalı ve çalışma şartlarını ona göre düzenlemelidir. Bu sayede çocuğun daha az radyasyon dozuna maruz kalması sağlanır ve gerekli doz seviyesinde tutulmuş olur. Çocuk doğduktan sonra emzirme durumunda bulaşma olmaması için radyasyon bulunan yerlerde çalıştırılmamalı, çalışması durumunda ise koruyucu engel kullanmaya özen gösterilmelidir (M. Filik, 2014).



Şekil 3. 7. Kurşunlu koruyucular (Megep, 2011).

3.12.Koruyucu Diğer Araç - Gereçlerle İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunma

İyonlaştırıcı radyasyondan korunmak için laboratuarın da çalışan personel çalışma süresi bittiğinde radyasyonlu yerde durmamalıdır; zira radyasyonlu ortamlarda çalışan kişilerin çalışma süresi dışındaki zamanlarını oksijenli ortamlarda geçirmeye özen göstermelidir. Belirtilen süre aralıklarında çalışanların sağlık kontrollerinden geçirilmeleri gerekmektedir. İç radyasyon oluşturabilecek radyoaktif maddeler için daha önceden yerin durumuna göre özel maskeler ve giysiler verilmelidir.

3.13.İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunmak İçin Cihazların Kullanımında Karanlık Oda Tekniğiyle Sağlanan Güvenlik Önlemleri

Radyasyonda korunmada, diğer korunma önlemleri ile birlikte radyolojik cihazların kullanıma uygun şekilde teknikler çok önemlidir. Cihaz kullanımında bazı almamız gereken önlemler;

- Doz değerlerinin kullanımı
- Işın Alanını Sınırlayıcı Araç-Gerecin Kullanımı
- Radyografide film odak mesafesinin ayarlanması
- İncelenecek vücut bölgesinin x-ışınlarına fluoresan ekranlar üzerine düşürülerek incelenmesi (Radyoskopi Yöntemi)
- Güçlendirici ekran (yüksek hızlı seçilmeli) ile film uyumu
- Film tekrarlarının önlenmesi
- Yerinde radyografi kuralları
- Tarama amaçlı radyografiler
- Uygun Radyolojik inceleme Yönteminin Seçimi
- Cihazların Kalite Güvenlik (Qa) Ve Kalite Kontrol (Qc) Testlerinin Yapılması

3.14. İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunmak İçin Alan ve Personel Monitoringi

Radyasyon güvenliği açısından iyonlaştırıcı radyasyon ve radyoaktif bulaşmanın varlığının ve derecesinin belirlenmesi (monitoring) açısından kullanılıyor. Çalışılan ortamda herhangi bir radyasyon bulaşımının olması durumunda radyasyon seviyesi müsaade edilenin üzerine çıkarsa, monitörün alarmı devreye girerek uyarılmamızı sağlar. Başlıca iki tip monitoring vardır. Birinci olarak alan monitoring, diğeri ise personel monitoringdir. Beraber kullanıldıklarında daha çok fayda sağlamaktadırlar. Alan monitoringi önleyici tedbir alınması yönünden o anki radyasyon şiddetini ölçmektedir. Personel monitoringi ise, bireyler tarafından alınan toplam vücut doz miktarının rutin olarak ölçülmesidir. Radyasyon çalışanlarının, aldıkları radyasyon dozunun seviyesini belirlemek üzere çalışma süresi boyunca dozimetre takmalı ve bu dozimetreler mevzuatta belirtildiği şekilde belirli periyotta ölçülmesine dikkat edilmelidir. Personel monitoringin amacı; radyasyon çalışanlarının maksimum müsaade edilen doz sınırını aşmamaları için sürekli ölçüm yapıp kayıt altına almak ve bu sayede personele radyasyon açıdan sağlığının kontrol altında olduğunu hissettirmek doz miktarını aşanlara ise gerekli koruyucu önlemler sağlayabilinmelidir(Avcı, 2016).

3.14.1. Alan monitoringi

Yukarıda bahsettiğimiz gibi alan monitoringi için belli alandaki radyasyon ışınlama şiddetini o an için ölçmektir. Belli başlı alan monitoringleri ise; yüzey, hava, çevre ve tehlike durumu gibi monitoring çeşitleridir.

Alan monitoringini üç farklı şekilde yapılıyor. Bunlar; sürekli, periyodik ve gerektiği zaman yapılan monitoringlerdir. Kısaca bahsedilecek olursa;

- Sürekli monitoring: Radyasyon tehlikesinin her an gelme ihtimali olan yerlerde uygulanıyor.
- Periyodik monitoring: Sürekli monitoringe göre daha az radyasyon kazalarının yaşandığı yerde periyodik kontroller yapılıyor. Yapılacak olan monitoringinin periyodu kullanılan radyoaktif madde miktarına bağlıdır.
- Gerektiği zaman monitoring: İlk uygulanınan monitoringden sonra o alan için monitoring programları planlanıyor. Teknolojinin gelişmesinden dolayı günün koşullarına göre planlar yenilenmektedir. Gerekli görülen zamanlarda sağlık fizikçileri ölçümler yapmaktadır. Bu monitoringe; dekontaminasyon çalışmaları, radyoaktif atıkların zararsız hale getirilmesi, radyasyon çalışmalarında gelen radyoaktif maddenin açılması işlemleri girmektedir.

3.14.2. Personel monitoringi

Nükleer tıpta çalışanların radyasyon seviyelerini maksimum düzeyinde tutabilmek için, personelin aldığı dozları ölçmek ve kayıt altına alınmasına personel monitoringi deniyor. Ölçülen radyasyon dozları veya ışımaları maksimum müsaade edilen doz (MMD) sınırlarıyla karşılaştırılarak aksi bir durum varsa önlem alınır.

Nükleer tıpta çalışan personelin normal insanlara göre daha fazla ışıma almaktadır. Bunun içinde radyasyon ışımalarından personeli korumak için önlemler alınmalıdır. Personele radyasyondan korunduğu güvencesi verilmelidir. Personelle olan doz çözümsüzlüğünde güvence sağlanmalıdır. Dışarıdan gelen ışımalardaki radyasyonların büyük çoğunluğu gama radyasyonudur. Radyasyon ışınlama şiddetini en aza indirmek için ALARA prensibini uygulamaya özen göstermeliyiz. Radyasyondan korunmak için bir takım araç – gereçler kullanmak gereklidir. Belli başlı kullanılan araç-gereçlerden daha önce bahsetmiştik (sayfa 60, 61, 62, 63). Kullanılan bu araç-gereçler radyasyondan korumaktadır ancak yeterli değildir. Bunun içinde radyasyon çalışanları için monitoring yapılmalıdır. Ayrıca düzenli aralıklarla radyasyonda çalışan tüm personel için vücut monitoringinin yapılmasına özen gösterilmelidir (Avcı, 2016).

3.15. Personel Monitoringinde İzleme Metodları

3.15.1.Dozimetreler

Radyasyonu ölçmek için geliştirilmiş cihazlara, dozimetre denilmektedir. İyonlaşma yapan ışınlarla çalışan personelin, çalışırken hiç olmazsa bir film dozimetresini göğsünde taşıması gereklidir. Bazen vücudun ışına daha fazla maruz kalan bölgelerinde çalışırken dozimetre takılır (bilek, parmaklar gibi).

Dozimetreler, ışınların çeşitli etkilerine göre çalışmaktadır. Radyoloji tanısında, kullanım amaçlarına göre değişen farklı dozimetreler vardır.

- Film Dozimetreleri: Özel koruyucu içine yerleştirilmiş x filmidir. El bileklerine takılıyor.
- TLD Dozimetreleri: Termolüminesans dozimtrelridir. El parmaklarına takılmaktadır.
- Cep Dozimetreleri: Dolma kalem büyüklüğünde olup, iyon odalıdır. El bileğine takılmaktadır.

3.15.1.1.Film dozimetreleri

Bu dozimetreler radyasyon çalışanları tarafından kullanılmaktadır. Film dozimetrelerinde plastik kılıf içine yerleştirilmiş film bulunmaktadır. Filmin üst tarafı farklı soğurucu özellikte ve alüminyum, kalay gibi belli kalınlığı olan maddelerle

muhafaza edilmiştir. Bu maddelerden geçen x-ışınları sayesinde film üzerindeki kararmanın derecesi dansitometre cihazı ile belirlenir ve personelin almış olduğu doz bu sayede bilinir. 1940'lardan beri bu dozimetre personelin kontrolü için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kontroller genelde aylık olarak yapılmaktadır. İşleminden yapıldıktan sonra dozimetre içinde bulunan film değiştirilmelidir. Bu dozimetrelerin teminini ve okunmasını ülkemizde "Atom Enerjisi Kurumu" yürütmektedir. 20 mrem'in düşük olan dozlar bu dozimetrelerle belirlenemez. Oda sıcaklığında ve nemsiz ortamda muhafaza edilmelidir. Çünkü ısı ve nemden etkilenmektedir (Ş. Parlar, 2009).



Şekil 3. 8. Film dozimetreleri (Dirican)

3.15.1.2.Termolüminesans dozimetreler (TLD)

1960'lı yıllarda radyasyonla meydana gelen termolüminesans olayı, personel monitoringinde en çok kullanılan yöntemdir. Bazı maddelerin ısıtıldığında, görülebilir ışık salmasına, termolüminesans denilmektedir. Radyasyon aldıktan sonra ısıtılınca (yaklaşık 2000 C) almış olduğu dozla orantılı şekilde görülebilir ışık yayarlar. Yayılan görülebilir ışık miktarı fotomültiplier tüpleriyle ölçülmektedir. En sık şekilde kullanılan termolüminesan madde lityum floriddir. Yumuşak dokuların atom numarasına yakın olduğundan dolayı lityum floride doku eşdeğeri dozimetre de denilmektedir. Soğurulan enerjiyi radyasyon aldığında lityum florit, ısı uygulamasına kadar depolamaktadır. Isı verilip doz ölçümü yapıldıktan sonra tekrar kullanılabiliyor. Total dozu hesaplanmasında ve personelin takip edilmesinde yararlanılır. Lityum floritin kapladığı alan çok küçük olduğundan dolayı, küçük bir parçaya veya toz şeklinde bir koruyucu

içine yerleştirilir. Vücut boşluklarına girebildiklerinden radyoterapide veya araştırmalarda kullanılabilmektedir. Film dozimetrelerine göre daha duyarlı ve daha uzun kullanılabilir. 5 mrem'e kadar düşük dozlar hesaplanabilmektedir. Parmağa takılan dozimetreler belirli aralıklarla okunur ve maruz kalınan radyasyonu direk olarak belirleyebiliriz (Megep, 2011).



Şekil 3. 9. Termolüminesans dozimetreler (Dirican)

3.15.1.3. Kalem dozimetreler (Cep Dozimetreleri)

Kalem dozimetrelerde havanın içerisindeki boşluğun küçük alanına sıkıştırılmış elektrotlar bulunmaktadır. Radyasyon etkisinden dolayı havayı iyonlaştırırlar. İyonizasyon etkisiyle elektrotlar arasındaki gerilim farkından dolayı elektrotlarda yer değiştirmeler olmaktadır. Elektrotlar alınan radyasyonun derecesine göre yer değiştirmekte ve bu ölçeğe göre hareket etmektedir. Dozimetrenin herhangi bir ucundan ışık verildiğinde öbür ucundan bakıldığında, elektrotun ölçeği üzerindeki seviyesi görülebilmektedir. Okunan değer, bize alınan toplam dozu vermektedir. Dozimetrede bulunan havanın iyonizasyon seviyesi sınıra ulaştığında, dozimetre şarj edilerek sıfırlanmaktadır. 0-200 mR arası dozlar dozimetreler ile hesaplanabilmektedir. Hamile personel kalem dozimetrelerini kullanarak fetus dozunu ne olduğuna bakabilir. Kolay şekilde bozulmasından ve pahalı olmasından dolayı ve günlük olarak okunması gerektiğinden dolayı tanısal radyolojide az kullanılmaktadır. Ayrıca iyonizasyon odaları grubu için de radyoloji cihazlarının çıkış yoğunluğunu ölçmek için üretilmiş cihazlar da vardır (Akgül, 2011).



Şekil 3. 10. Kalem dozimetresi (Megep, 2011).

3.16.İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunmak İçin Alınması Gereken Temel Önlemler

İyonlaştırıcı radyasyonun insanlar için zararlı etkileri bulunmaktadır. Dış radyasyondan korunmak için uluslararası radyasyondan korunmak komitesi tarafından geliştirilmiş bazı kurallar vardır. Belirlenen bu kuralların birlikte uygulanması radyasyonun zararlı etkilerini azaltmaktadır. Bu önlemler mesafe, koruyucu engel (zırhlama) ve süredir.

Noktasal bir gama kaynağının verdiği radyasyon dozunu,

$$D=K.A.t / k\ d^2 \qquad (3.4)$$

ile gösterilmektedir. Burada,

D : Doz(rad veya Gray)

A : Kaynağın aktivitesi(Mci veya MBq)

K : Doz sabiti(birim aktivitenin birim zamanda verdiği doz)

t : Zaman(saat)

k : Koruyucu engel(Zırhlama) faktörü(zırhlama yoksa , k=1 alınır)

d : Mesafe(m)

Denklem (22)'yi incelediğimizde, dış radyasyon etkisiyle maruz kalınan doz miktarının; Aktivite miktarı (A) ve zaman (t) ile doğru orantılı, zırhlama faktörü (k) ve mesafenin karesi (d^2) ile ters orantılı olduğu görülmektedir.

3.16.1. Mesafe (Uzaklık)

Radyasyondan korunmanın en etkin ve ucuz yolu mesafedir. Kaynağa yakın konumdaki hedefe daha çok foton isabet ederken, kaynaktan uzaklaştıkça isabet

eden foton sayısı azalmaktadır. Doğal olarak radyasyon kaynağıyla aramızdaki mesafeyi arttırdıkça daha az radyasyon almış oluruz. Noktasal halde bulunan kaynağa göre mesafeyi açmak demek alınan dozun kare kökü kadar düşmesini sağlamaktadır. Bu kural ters kare yasası (sayfa 43'te bahsetmiştik) olarak bilinmektedir. Ters kare yasasında, radyasyon şiddeti mesafenin karesi ile ters orantılı olarak değişmektedir. Radyasyondan korunmak için mesafe önemli olduğu için radyoloji çalışanları hastalarla direk temasa geçmemelidir. Bunun için görevlendirilen kişinin kurşun koruyucular giymesi gerekmektedir (Avcı, 2016).

Matematiksel olarak ifade edecek olursak;

$$I/ı = d^2/D^2 \quad \text{veya} \quad ID^2 = Id^2 \tag{3.5}$$

Burada;

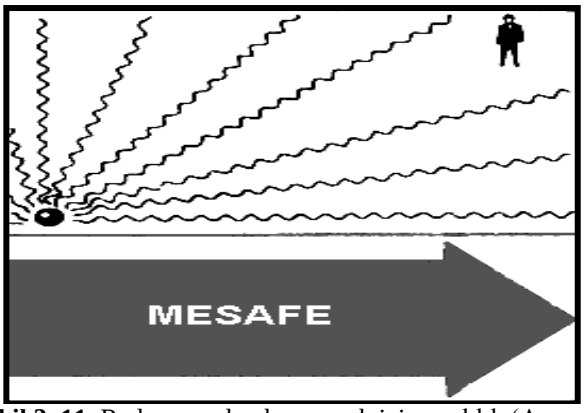
d : Kaynağa yakın mesafe

ı : Kaynağa yakın konumdaki radyasyon şiddeti

D : Kaynağa uzak mesafe

I : Kaynağa uzak konumdaki radyasyon şiddeti

Örneğin: Işınlanma şiddeti 100 mR/saat olan bir radyoaktif kaynağı çıplak el yerine 10 cm'lik bir maşayla tutulduğunda alınan radyasyon şiddetini 100 kat azaltmış olarak alırız.



Şekil 3. 11. Radyasyondan korunmak için uzaklık (Avcı, 2016).

3.16.2. Koruyucu engel (Zırhlama)

Radyasyon korunmasında dikkat edilmesi gerekli bir diğer kural kaynakla vücut arasına koruyucu engel (zırhlama) materyali yerleştirilmelidir. Koruyucu engel (zırhlama) materyalinin seçimi radyasyonun çeşidine ve enerjisine bağlı olarak değişmektedir. Yüksek yoğunluklu maddelerden yapılmış malzemeler özellikle X ve gama ışınlarına karşı etkili bir koruma sağlamaktadır. Uranyum metali, X ve gama

ışınları için en etkili zırhlama malzemesidir. Maliyeti ve koruma özelliği bakımından en yakın değerde olan kurşun, radyasyon korunmada tercih edilmektedir. 1mm kalınlığında kurşun eşdeğeri önlük kullanıldığında 140 KeV enerjili 99 mTc ışınlarına karşı % 96 daha iyi koruma sağlayabilmektedir (Avcı, 2016).

Radyasyonun bir ortamdan geçişi sırasında enerjisi azalmaktadır. Bu azalım madde kalınlığı ile eksponansiyel olarak değişir. Eksponansiyel azalımın matematiksel ifadesi,

$I = Io.e^{-\mu x}$ (-)→ radyasyon şiddetindeki azalma (3.6)

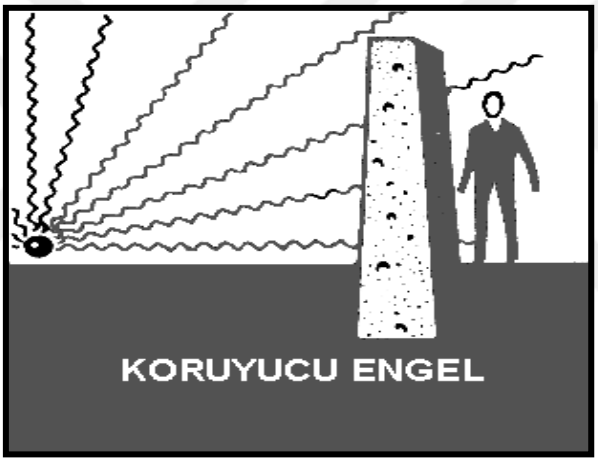
Burada,

Io: gelen radyasyonun şiddeti

I: radyasyonun soğurucu materyalden geçtikten sonraki şiddeti

μı: lineer absorpsiyon katsayısı

E: doğal logaritma tabanı (e=2.718)



Şekil 3. 12. Radyasyondan korunmak için zırhlama (Avcı, 2016).

3.16.3. Zaman (Süre)

Radyasyonda çalışanların çalışmaya başlamadan önce iş planlaması yapması gerekmektedir. Radyasyon çalışmalarında deneme yanılma yoluyla iş yapılmamalıdır. Çünkü daha çok radyasyona maruz kalınmasına neden olur. Buradan anlaşılacağı gibi maruz kalınan radyasyon dozu zaman ile doğru orantılıdır. Çalışma öncesi iyi bir planlama yapmak, işin daha kısa sürede bitirilmesine yardımcı olacağından alınan radyasyon dozunun da azalmasını sağlayacaktır.

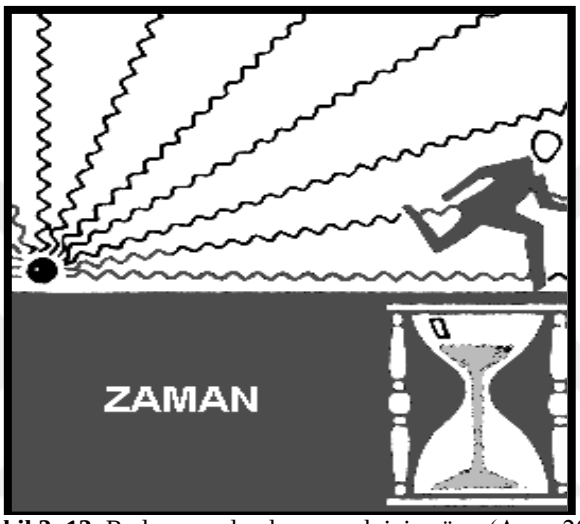
Doz = Doz şiddeti × zaman (3.7)

Radyasyon ışınlamalarının düşük olan ortamlarda çalışma daha uzun süreli olmaktadır. Çalışılan ortamdaki ışınlama seviyesinin bilinmesi ve çalışma süresinin buna göre ayarlanması gereklidir. Uluslararası kuruluşların aldığı karara göre süre

olarak alınabilecek maksimum müsaade edilebilir doz sınırları (MMD); 1 saatte: 1.6 mrem (röntgen karşılığı 1.8 mR/sa), 1 günde 8 mrem, 1 haftada 40mrem, 1ayda 166 mrem, 1 yılda 2000 mrem'dir. Radyasyon çalışanları bu değerlere göre ayarlanmaktadır.

Verilen değerlere baktığımızda radyasyonla çalışılan maksimum ışınlama şiddeti 1 saatte 1.8 mr olması gerekmektedir. Halk için bu değerlerin 1/10'u alınır.

Örneğin; bir ölçüm cihazının 50 mSv/saat'lik radyasyon dozunu gösterdiği bir bölgede durulduğunda maruz kalınacak doz 1 saat 50 mSv, 2 saatte 100 mSv, 3 saatte 150 mSv'dir (Demir, 2000).



Şekil 3. 13. Radyasyondan korunmak için süre (Avcı, 2016).

3.17. İç Radyasyondan Korunma Yöntemleri

Solunum, sindirim veya derideki yara ve çiziklerle vücudumuza giren radyoaktif maddelere iç radyasyon denilmektedir. Radyoaktif maddeler vücuda girdiği andan ışınlama yaparak iç radyasyona maruz kalmamıza neden olur. Radyoaktif madde vücuda girdiğinde yaptığı ışıma tüm vücut doku ve hücrelerine zarar vermektedir. Örneğin, solunum yoluyla vücuda alınan radyoaktif parçacıklar burundan girerek buradan akciğere, mideye ve kana geçerek vücuda çeşitli zararlar verir. Radyoaktif maddelerden solunumla en çok akciğerimiz etkilenmekte, bundan dolayı tehlike durumlarında korumak amaçlı çeşitli koruyucu önlemler alınmalıdır. Çevreye yüksek seviyede radyasyon ışınımı salındığında, görevlinin gerekli olan solunum ekipmanlarını takması ve vücudu koruyucu kıyafetler giyerek radyasyondan korunmalıdır. Radyoaktif maddelerin vücuda solunum yoluyla girmesini önlemek için ağız ve buruna koruyucu aygıtlar takılarak nefes alıp verilmelidir.

Kapalı şekilde tutulmayan yiyecek ve içeceklerin radyasyon ışımasına maruz kalmasıyla sindirim yoluyla vücuda alınacağından, bu yiyecek ve içeceklerin imha

edilmesi gerekmektedir. Bu yiyecekler diğer canlılara da verilmemelidir. Çünkü bu şekilde radyoaktif maddelerin hayvanlara verdiğimizde, daha sonrasından bu hayvanların etini veya sütünü tükettiğimizde insanlara geçebilmektedir.

Bundan dolayı radyoaktif maddenin insanlara geçişini önlemek için radyoaktif yayılım esnasında o bölgede olan hayvanlar toplanıp diğer hayvanlardan ayrı olarak belli bir süre gözetim altında tutulmalı ve bu süre içerisinde ne etini ne de sütünü yararlanmayarak önlem alınmalıdır. Ayrıca radyasyon ışınlamasına maruz kalmış açık su kaynaklarının tarım arazilerinde kullanılmamasına dikkat edilmelidir. Çünkü tarım arazisine ekilen bitkileri tüketirsek sindirim yoluyla insanlara geçmesine neden olur.

Radyasyon çalışanlarının radyasyon ışınına sürekli maruz kalmasından dolayı solunum ve deri yoluyla ışınlamadan korunmak için; bedenlerini örten tulumlar, geçirgen özelliği olmayan PVC ve polietilenden üretilmiş önlükler, eldivenler, lastik botlar ve özel ayakkabılar deriden radyasyon girişini önleyici önlemler almaktadırlar. Radyasyondan korunmak için önlemler alınırken maddenin fiziksel durumuna bakmalıyız. Radyasyon çeşidine göre alınacak önlemlerde değişmektedir. Radyasyon seviyesinin az olduğu yerde bulunan bireyler, solunum aygıtlarıyla solunum yollarını radyasyondan koruyabilmektedir. Vücuda radyasyon almış bireylerin troid bezlerini dört ayda bir kontrol ettirmesi, temiz oksijen ve B grubu vitaminlerinin bolca alması, radyasyonun vücuttan çıkmasına yardımcıdır. Vücudumuzdaki radyoaktif elementlerden dolayı bir yılda aldığımız ortalama iç radyasyon dozu 0.55 mSv seviyelerindedir. Yiyecek, içecek ve teneffüs ettiğimiz havadan dolayı aldığımız ortalama doz seviyesi ise, yaklaşık olarak 0.25 mSv/yıl seviyesindedir. Radyasyonun vücuda girmesini önlemek ve iç radyasyondan korunmak için alınması gereken bazı önlemler; (Aile ve Tüketici Hizmetleri, 2012)

- Çalışma yerlerinin seçimi ve çalışmanın planlanması
- Laboratuvarların havalandırılması
- Çalışma sırasında alınacak önlemler
- Koruyucu giysiler
- Radyoaktif maddelerin depolanması

3.18.İç Radyasyondan Korunmak İçin Radyoaktif Atıklarla İlgili Alınması Gereken Önlemler

- Radyoaktif atıklar tıbbi atık poşetlerine doldurulduktan sonra üzerine radyoizotopun cinsi, ve tarihi yazılarak atık odasına gönderilir.

- Radyoaktif atıklar atık odasında yaklaşık olarak 10 yarı ömür bekledikten sonra yüzey doz ölçümü yapılır.
- TAEK'in belirlemiş olduğu radyasyon dozu seviyesinden düşük hale gelmiş ise tıbbi atık olarak işlem görmesi için onaylanır.
- Radyoaktif madde geçmiş olan araç gereçlerin diğer çöplerden ayrı olarak muhafaza edilmesi ve diğer çöplerden ayrı imha edilmesi gereklidir. Bu kaplar üzerinde DİKKAT! RADYOAKTİF MADDE uyarısı bulunmalıdır.
- Boş şişe, kolon, cam eşya personelin korunması amacıyla özel kaplarda toplanmalıdır.
- Radyoaktif atık deposunun kapısı kilitli olmalıdır.
- Kapıda uyarı işareti bulunmalıdır.
- Uygun zırhlama yapılmalıdır.
- Radyoaktif atıkların kayıtları düzenli tutulmalıdır (Ünak, 2011).

4.KAYNAK ARAŞTIRMASI

4.1.Literatür Özetleri

Ege RGEK (2014) da, (1) radyasyonun ne olduğu, nasıl meydana geldiğini ve tanımında kullanılan enerjisi, türü ve kaynağı hakkında bilgilendirmektedir. (2) İyonlaştırıcı türleri hakkında bilgiler vererek hangi durumlarda canlı organizmaya zarar verdiğinden bahsedilmektedir. İyonlaştırıcı olan veya olmayan hangi türdeki radyasyonları kapsadığından bahsederek, örnekler verilmektedir.(3) İyonlaştırıcı radyasyondan korunmak için koruyucu aygıtlar hakkında bilgilendirmektedir. Radyasyondan korunmak için koruyucu aygıtlarda bulunması gereken özellikler anlatılmaktadır.

H AKKOR (2012) (1) İyonlaştırıcı radyasyon grubundan olan partiküler radyasyonun ne olduğu hakkında bilgi vererek, partiküler radyasyon çeşitleri hakkında kısaca bilgilendirme yaparak hangi radyasyon çeşidinin insan sağlığına zararlı olduğu hakkında bilgilendirmektedir. (2)Yüksek enerjili fotonları madde içerisinden geçerken neler olduğundan bahsetmektedir. Foton ile madde arasında çeşitli etkileşimler olmaktadır. (3)Foton ile atom arasında oluşan fotodisintegrasyon olayından bahsedilmektedir. Nerede gözlendiği, nereye yol açtığını anlatılmaktadır. Şematik olarak da gösteriliyor. (4)İyonlaştırıcı doz birimlerinin ne zaman kim tarafından ilkinin bulunduğunu ve doz birimlerinin oluşma nedeni açıklanmaktadır.

A HANDBOOK (2006) (1) Alfa parçacığı hakkında genel olarak bilgilendirerek rutherfordun alfa parçacıklarının aslında helyum çekirdekleri olduğunu gösterilmektedir. (2) Enerji-Menzil arasındaki ilişkiyi incelemektedir. Alfa parçacığının havadaki menzili kullanılarak başka ortamdaki menzilinin bragg-kleeman ile bulunduğunda bahsedilerek, menzille ilgili örnek çözümler yapılmaktadır. (3)Enerji-Menzil arasındaki ilişkiler için aralarında bazı bağıntılar türetilmektedir. Bu bağıntılardan yola çıkılarak feather kuralı yazılmaktadır. Soğurucu kalınlığına göre ölçülmüş beta parçacıklarının sayısındaki üstel azalmada düz çizgi için denklem verilmektedir. Feather analizinin ne olduğunu anlatmaktadır. Bilinmeyen menzilin hesabında referans olarak kullanıldığında bahsedilmektedir. (4) Foton ile madde arasındaki çeşitli etkileşimlerden biride fotoelektriktir. Fotoelektrik etkinin nasıl olduğu anlatılmaktadır. Soğurma katsayısında bahsedilmektedir. Soğurmanın nasıl oluştuğunu anlatmaktadır. (5) Ters kare yasasıyla neler belirlenmektedir. Radyasyon akısının hesabı verilerek örnekle pekiştirilmektedir.

F GÜZEL (2011) (1) Beta bozunma türlerinden olan β^- bozunmasında radyonükleidin kararsızlığı çekirdekteki 1 nötrondan ise 1 nötron proton ve elektrona dönüştürür. Bunun şematik gösterimidir. (2) Işınlama birimi verilerek hangi ışınların havaya ışınlama kabiliyetinin ölçüsü olmaktadır. (3) Compton saçılmasının nasıl oluştuğu anlatılarak şematik olarak gösteriliyor. Gelen foton ile saçılan foton arasındaki fark anlatılmaktadır. Çarpışmadan önce ve çarpışmadan sonra neler değişiyor.

M DEMİR (2000) (1) β^- bozunmasının 1 nötron, proton ve elektrona dönüşme olayı olmaktadır. β^- şematik olarak gösterilmektedir. Beta ölçümlerinin nerelerde nasıl yapılmakta ve nasıl durdurulabilmektedir. Parçalanma sonucunda neler değişmektedir. (2) Beta parçacığının giriciliği ve iyonizasyonu hakkında bilgilendirilmektedir. Beta parçacığının alfadan farklı olan yönleri vurgulanmaktadır. Bremsstrahlung yani frenleme radyasyonunun partikülün geliş doğrultusunu değiştirerek yavaşlatılması anlamına geldiği şematik olarak göstermektedir. (3) Yüklü ve yüksek hıza sahip olan alfa ve beta partiküllerinde iyonizasyonun nasıl meydana geldiğini yüklü partiküllerin madde ile etkileşme şekillerinden bahsedilmektedir. Yüklü partüllerin zararlarından bahsederek alınması gereken önlemler anlatılmaktadır. (4) Aktiviteden ne olduğu hakkında bilgilendirilmektedir. Radyoaktif madde miktarı gösterilmektedir. Radyoaktif madde miktarı birimin özel ve SI birimleri tanımlanmaktadır. (5) Uluslararası kuruluşların ortak görüşleriyle radyasyondan korunmak için bazı tanımlamalar yapılmaktadır. Doz eşdeğeri tanımının ne için kullanılmaktadır. (6) Uluslararası kuruluşların belirlenmiş oldukları diğer bir tanımla olan etkin doz eşdeğerinin nasıl elde edildiğini ve verdiği zararlardan bahsedilmektedir. (7) Yasal limitler insanları radyasyonun zararlı ışınlarından korumaktadır. Radyasyon korunmasında referans, kayıt, araştırma, müdahale seviyeleri ve riskleriyle temel korunmak kuralları ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. Risk ve korunmanın derecesini arttırmak için neler yapılabilmektedir. (8) Nükleer tıp bölümlerinin yerleşme planının nasıl olması gerektiğini anlatan şekildir. (9) Nükleer tıp bölümünde bazı alanla ilgili bilgiler verilmektedir. Kimlerin sorumlu olduğu, nelerin bulunması gerektiği anlatılmaktadır. (10) İyonlaştırıcı radyasyondan korunmak için temel şartlarımızdan olan zamandır. Radyasyonlu bölgede ne kadar az zaman geçirilirse o kadar iyidir. Radyasyonlu bölgede zamana göre MMD sınırı verilmektedir.

M YABAN (2016) Cherenkov radyasyonunun ne olduğu, nasıl oluştuğu ve kim tarafından bulunmuştur. Işık hızının geçilebilmesi veya geçilemiyorsa cherenkov'un

nasıl oluşmaktadır. Chrenkov radyasyonun oluşabilmesi için beta parçacıklarının suda yayılmaktadır.

T ARSLAN (2010) X ışınlarının kim tarafından nasıl bulunduğu hakkında bilgilendirmektedir. Röntgen'in x ışınını buluşundan sonra yeni gelişmeler oluşmaktadır. Hangi dalga boyları aralığında oluşmaktadır. X ışınlarının özellikleri ve madde ile etkileşimi sonucunda çıkan tanecikler anlatılmaktadır.

A GÜLEÇ (2011) X ışını çeşitlerinden frenleme radyasyonunda elektron demetleri dışarıya foton yaymaktadır. Sürekli enerji spektrumu oluşturan bu fotonların frenleme x ışınıdır.

T ARSLAN (2010) Gönderilen atomun hedef atomla etkileşmesi sonucu bir üst enerjiye çıktığında ve enerji seviyelerinin değiştiğini ve değişen bu enerji seviyelerin arasında fark eşit olan bu fotonlardır. X ışını tüpünün çalışma prensibi hakkında bilgi verilmektedir.

S TİMUR (2012) X ışınlarının özellikleri hakkında bilgi verilmektedir.

E SEYREK (2007) Çift oluşumun nasıl oluştuğu ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. Şekil gösterilmiştir. Çift oluşumun oluşması için gerekli şartlar açıklanmaktadır.

Ö ONAY (2012) Şematik olarak gösterilen fotoelektrik olayda gelen fotonun enerjisi 0.5 MeV'den az olması gerektiği, fırlayan elektron ve karekteristik radyasyonlar gösterilmektedir.

M OĞUZ ULU (2008) Düşük enerjili fotonların bir atomla etkileşmesi sonucu koherent saçılma olayı meydana gelmektedir. Bunu şematik olarak anlatmaktadır.

T ÇABUK (2010) İyonlaştırıcı radyasyonların biyolojik etkileri anlatılmaktadır. Biyolojik doz biriminin neye bağlıdır. RBE nasıl hesaplanmaktadır. Neden RBE yerine kalite faktörünün kullanıldığını ve kalite faktörüne çevirdiğimizde değerler olmaktadır.

F CANBAZTOSUN (2013) Radyasyonda korunmak için dikkat etmemiz gereken kurallar nelerdir.

E AKGÜL (2011) (1) Radyasyondan korunmak için uluslararası kuruluşların belirlemiş olduğu dozların aşılmaması ve belirlenen kurallara uyulması gerekmektedir. (2) Kalem dozimetrelerle ilgili genel bilgiler verilmektedir. Nasıl kullanıldığı ve hangi şartlarda kullanılmaktadır.

MEGEP (2008) Nükleer tıp planı yapılırken nelere dikkat edilmektedir. Radyasyon düzeyine göre belirlenen 3 bölüm açıklanmaktadır. Soğuk, ılık ve sıcak alanda kimler bulunabilir ve bunların neye göre belirlenmektedir.

S KARAÇAVUŞ, M KÖSE (2014) Nükleer tıp laboratuarında çalışırken kendimizi ve çevremizi radyasyondan korumak amaçlı TAEK'in yayınladığı kurallara uymak gereklidir.

TAEK (2009) X ışınları odasını düzenlerken iyi bir havalandırma sistemi olması gerektiğini, olmadığında neler olmaktadır.

M FİLİZ (2014) Hamile olan kişilerde hem üreme organlarını hem de bebeği korumak amaçlı bir takım önlemleri alınmalıdır.

R AVCI (2016) (1) Radyasyonun derecesini belirlemek için monitoring kullanılmaktadır. Personel monitoringin amacının nedir?. Maruz kalınan dozun ne kadar olduğunu anlamak için dozimetre kullanılmaktadır. Işınlama şiddetini en aza indirmek için ALARA prensibinin uygulanması gerekmektedir. (2) İyonlaştırıcı radyasyondan korunmak için alınması gereken önlemlerden olan mesafe ile ilgili bilgilendirmektedir. Radyasyonlu bölgesinden uzak durmak faydalıdır. Ters kare yasasıyla bağlantısı anlatılmaktadır. Alınması gereken diğer bir önlem olan koruyucu engeldir. Hangi ışınlamaya karşı daha etkilidir.

Ş PARLAR, A ERGÜLEN (2009) Radyasyonu ölçmek için geliştirilen film dozimetrelerinin nasıl kullanılmaktadır. Kullanırken alınması gereken önlemlerden bahsedilmektedir.

MEGEP (2011) Termolüminesans dozimetresinin en çok nerede görüldüğü, nasıl oluşmaktadır. Nerelerde kullanıldığı ve hangi şartlarda ölçülebilmektedir.

Aile Ve Tüketici Hizmetleri (2012) İç radyasyon nasıl oluşmaktadır. Vücuda girdiğinde verdiği zararlardan bahsedilmektedir. Alınması gereken önlemler anlatılmaktadır. İnsanlara dolaylı yönlerden etki edebilen iç radyasyondan etkilenmemek için çevremizde alınması gereken önlemlerden bahsedilmektedir.

P ÜNAL (2011) Radyoaktif atıkların çevreye ve insanlara zarar vermemesi için bir takım önlemler sıralanmaktadır.

5.MATERYAL VE YÖNTEM

Radyasyonla ilgili hastanelerin çıkarmış olduğu yayınlardan yararlanıldı. Üniversitelerde radyasyonla ilgili hazırlanan yüksek lisans ve doktora tezleri incelendi. Tez çalışmamda çeşitli üniversitelerde radyasyonla ilgili yayınlanmış olan makaleler kaynak olarak kullanıldı. İngilizce olarak yazılmış olan yabancı kaynakları Türkçeye çevirerek elde etmiş olduğum kaynaklarla karşılaştırarak konuyu daha geniş ve ayrıntılı şekilde anlamamı sağladı .

Kısaca litaretür özetinde verilen çalışmalar kullanılarak derleme çalışması yapılmıştır.

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA, DEĞERLENDİRME

İyonlaştırıcı radyasyon ve korunma yöntemleri hakkında bilgi verilen bu çalışma ile dünyada iyonlaştırıcı radyasyonla ilgili bilimsel yapıda ve uluslararası geçerliliği olan bir sistemin detayları verilerek, ülkemizdeki uygulamaları yönelik bilgiler verilmektedir. İyonlaştırıcı radyasyon çeşitlerinden ve insanlar üzerindeki etkilerinden ve iyonlaştırıcı radyasyon çeşitlerinin tıpta kullanım alanlarından bahsedilmektedir. Radyasyondan korunmak için uluslararası kuruluşların belirlediği temel prensipler ve niceliklerden bahsedilerek, halk ve radyasyon çalışanları için belirlenen maksimum müsaade edilebilir doz (MMD) sınırları incelendi. Belirlenen bu doz sınırları günün şartlarına göre değişebilmektedir. Radyasyon ışımaları insanlar için kötü sonuçlara neden olabilmesinden dolayı radyasyon doz seviyeleri belirlenerek kontrol altında tutulması gereklidir. Alınan bu önlemin amacı insanları radyasyonun kötü sonuçlarından etkilenmemesini ve gelecek neslimizin de istenmeyen radyasyon riskinden korumayı amaçlanmaktadır. Yapılan bu çalışmanın tek amacı radyasyon çalışanlarının ve halkın radyasyonun zararlı etkilerinden korunması ile ilgili sistemin kurulması ve sürekliliğinin sağlanmasıdır. Bunu sağlayabilmek için radyoaktivite/doz ile ilgili gerekli bilgilere sahip olarak, ölçümlerin yapılabilmesini ve ölçüm sonuçlarını değerlendirebilmeyi gerektirmektedir. Radyasyondan korunmak amaçlı nükleer tıp bölümlerinin nasıl planlanması gerektiği gösterilmektedir. Nükleer tıp bölümündeki alanlar ayrıntılı bir şekilde anlatılarak, ne gibi çevresel önlemlere gerek duyulduğu anlatılmaktadır. Nükleer tıp laboratuarında çalışırken radyasyonun etkisini azaltmak için TAEK tarafından belirlenen kurallardan bahsedilmektedir.

Nükleer tıp laboratuarında sağlıklı şekilde çalışılabilmesi için havalandırma sistemi olmalıdır. Havalandırma sisteminin olmaması durumunda radyasyon çalışanlarında çeşitli sağlık problemleri görülebilir. Radyasyondan korunmak için; kurşun önlük, eldiven, gözlük, boyunluk, paravanlar, gonadal koruyucular ve kurşun camlar kullanılması gerekmektedir. Bu koruyu aygıtların kullanım amacından bahsedilmektedir. Radyasyon güvenliği açısından iyonlaştırıcı radyasyon ve radyoaktif bulaşmanın varlığının ve derecesinin belirlenmesinde monitoring kullanılmaktadır. Alan monitoringi önleyici tedbir alınması yönünden o anki radyasyon şiddetini ölçmektedir. Personel monitoringi ise, bireyler tarafından alınan toplam vücut doz miktarının ölçmektedir. Radyasyon görevlileri, maruz kaldıkları radyasyon dozunun miktarını belirlemek üzere çalışma süresi boyunca dozimetre takılması ve bu dozimetrelerin mevzuatta belirtildiği şekilde belirli periyotta ölçülmesi gereklidir. Radyasyondan

korunmak için alınması gereken temel çevresel önlem zırhlama, mesafe ve zaman'dır. Vücudumuza sindirim, solunum ya da derimizdeki yaralar ve çizikler vasıtasıyla giren radyoaktif maddelerin iç radyasyona neden olmaktadır. İç radyasyona neden olan bu ışınların vücudumuza ne gibi zararlar verdiğini, iç radyasyonu önlemek için alınması gereken tedbirleri ve son olarak da radyasyondan korunmak amaçlı radyoaktif atıklarla ilgili ne gibi önlemler gerekmektedir.

4.KAYNAKLAR

Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi, 2014, Radyasyon Güvenliği El Kitabı, İzmir, 4-20.

Seyrek, E., 2007, Radyoizotopların Üretimi ve Radyoterapide Kullanılması,Ankara,6-18

Taek, 2009, http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/184-radyasyonla-birlikte-yasiyoruz/501-dogal-radyasyon-kaynaklari.html [Ziyaret Tarihi: 3 Şubat 2017].

Akkor, H., 2012, IAEA'nın TRS277 ve TRS 398 protokollerine göre farklı enerjileri için soğrulan doz değerlerinin karşılaştırılması, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 3-25.

Martin, J. E., 2006, Physics For Radiation Protection: A Handbook, John Wiley & Sons, 309-336.

Gezer, F., 2011, Fosfojips'in Doğal Radyoaktifliğinin Belirlenmesi, *Çukurova Üniversitesi Fen Fakültesi Enstitüsü,*Adana, 20-28.

Demir, M., 2000, Nükleer Tıp Fiziği, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 15-119.

http://chandra.harvard.edu/index.html, 2014, Introduction and Background: X-Ray Radiation and Spectroscopy [Ziyaret Tarihi: 4 Şubat 2017].

Yabaş, M., 2016, Cerenkov Işıması, https://www.fizikist.com [Ziyaret Tarihi: 3 Şubat 2017].

erlangen.physicsmasterclasses.org, cerenkov-zahler [Ziyaret Tarihi: 4 Şubat 2017].

Arslan, T., 2010, X Işınları ve Kullanım Alanları, *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Orta Öğretim Fen ve Matematik Alanları Eğitimi Bölümü Fizik Eğitim Anabilim Dalı*, Ankara, 5-10.

Güleç, A., 2011, X Işınları ve Kullanım Alanları, http://www.bilimsehri.com/makaleler/xisini.html [Ziyaret Tarihi: 5 Şubat 2017].

Timur, S., 2012, Fizikte Özel Konular, Eğitim Fakültesi Fen Bilgisi Öğretmenliği Ders Kitabı, Ankara, 119-124.

Onay, Ö., 2010, Radyoterapinin Tanımı, Tarihçesi, Amacı, İş Akışı, Radyasyonun Madde ile Etkileşimi ve Kullanımı, http://www.slideshare.net/ [Ziyaret Tarihi: 4 Şubat 2017].

Demir, F., 2010, X Işınları Ders 5, http://slideplayer.biz.tr/slide/3050940/ [Ziyaret Tarihi: 5 Şubat 2017].

Ulu, M. O., 2008, Parçacık Dedektörlerinin Tıpta Kullanımı, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 20-21.

Çabuk, T., 2010, Radyasyon Terapilerinde Çeşitli Radyoizotopların Doz Eşdeğerinin Hesaplanması, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 7-8.

F. Canbaz Tosun , T. Y. O., 2013, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi ,Radyasyon Güvenliği El Kitabı, Samsun, 9-10.

Akgül, E., 2011, Radyoloji, Radyasyon Güvenliği ve Sağlığı, http://slideplayer.biz.tr/slide/2002128/ [Ziyaret Tarihi: 3 Şubat 2017].

Megep, M., 2008, Biyomedikal Cihaz Teknolojileri, Nükleer Tıp Üniteleri, Ankara, 1-20.

S. Karaçavuş, M. K., 2014, Bozok Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Hastanesi Radyasyon Güvenliği El Kitabı, Yozgat, 31-32.

Megep, M., 2011, Radyoloji, Radyasyondan Korunma, Ankara, 4-28.

Avcı, R., 2016, Diyarbakır ilinde Radyoloji Çalışanları Radyasyondan Korunma Durumları ve Sağlık Yakınmaları, Gaziantep, 27-30.

Ş. Parlar, A. E., 2009, Trakya Üniversitesi Hastanesi Radyasyon Güvenliği El Kitabı, Edirne, 47-48.

M. Filik, G. A., 2014, Giresun Prof.Dr. A. İlhan Özdemir Devlet Hastanesi Radyasyon Güvenliği El Kitabı, Giresun, 41-42.

Dirican, B., Radyasyon, Radyasyon Fiziği ve Ölçüm Yöntemleri, http://slideplayer.biz.tr/slide/2960945/ [Ziyaret Tarihi: 6 Şubat 2017].

Aile ve Tüketici Hizmetleri, 2012, Radyasyondan Korunma, 850CK0111, Ankara, 39-40.

Ünak, P., 2011, Radyoaktif Atıklar, http://slideplayer.biz.tr/ [Ziyaret Tarihi: 3 Şubat 2017].

5.ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Bahattin ÇİMEN
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : Birecik/1989
e-mail : bf.cimen16@gmail.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Atatürk Anadolu Lisesi,Birecik,Şanlıurfa	2009
Üniversite	:	Selçuk Üniversitesi,Selçuklu,Konya	2013
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi,Selçuklu,Konya	2018
Doktora	:	-	

YAYINLAR

Bahattin ÇİMEN, Rıza OĞUL and Mehmet ERDOĞAN "İyonlaştırıcı Radyasyon ve Korunma Yöntemleri", Selcuk University Science Faculty Science Magazine, 2017 (**Yüksek Lisans Tezinden**).