

**T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RADYASYONUN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİ VE TIPTA UYGULAMA ALANLARI**

**Niğmet KÖKLÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI
Konya, 2006**

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi
RADYASYONUN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİ VE TIPTA UYGULAMA ALANLARI

Niğmet KÖKLÜ
Selçuk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı
Danışman : Yrd. Doç. Dr. Nuretdin EREN
2006, 74 Sayfa

Anahtar Kelimeler : Radyasyon, İnsan Sağlığı, Tıpta Kullanım Alanları

Radyasyon, dalga, parçacık veya foton olarak adlandırılan enerji paketleri ile yayılan enerjidir. Radyasyon, daima doğada var olan ve birlikte yaşadığımız bir olgudur. Radyo ve televizyon iletişimini olanaklı kılan radyo dalgaları; tıpta, endüstride kullanılan x-ışınları; güneş ışınları; günlük hayatımızda alışkın olduğumuz radyasyon çeşitleridir.

İyonlaştırıcı radyasyonun canlı sistemler üzerine olan etkisinin araştırılması için iki sebep vardır Birincisi, fiziksel bir faktör olan radyasyon ile yaşayan hücre arasındaki ilgiyi, yani birbirleri üzerine olan karşılıklı etkilerini öğrenmenin, bize, hücrenin çalışması, strüktürü ve davranışı hakkında bir bilgi vereceğini ümit etmemizdir. İkinci sebep, kanserle ilgilidir. İyonlaştırıcı radyasyon bazen kanser tedavisinde kullanılır.

En basit tanımıyla nükleer tıp hastalıkların tanı ve tedavisinde radyoaktif maddelerin kullanımınıdır. Tıpta radyasyon, temel olarak teşhis ve tedavi amaçlı olarak kullanılmaktadır. Tedavide amaç hedef tümörün yok edilmesi ki genellikle kanser hücrelerinden bahsedilir. Bu yöntemde belirlenen bir bölgeye yüksek dozda radyoaktivite uygulanarak hücrelerin dejenerasyonu sağlanır. Teşhis yöntemi olarak ise en yaygın radyasyon kullanımı X ışınlarıdır.

Nükleer teknolojinin hızla gelişmesi radyasyonun tıpta kullanılması üzerine yapılan yoğun araştırma ve geliştirilme çalışmaları nükleer tıbbın kurulmasına neden olmuştur.

Son yıllarda gerek gelişmiş ülkelerde gerekse Türkiye’de gerçekleştirilen çalışmalar radyasyonun tıp için vazgeçilmez bir unsur olduğunu göstermiştir. Bilim adamları 70 yıldan fazla bir süredir, radyasyonun bu tıp etkileri üzerinde çalışmaktadır.

Bu tezde öncelikle radyasyonla ilgili temel bilgiler anlatılmış daha sonrada radyasyonun insan sağlığına etkisi üzerinde durulmuştur. Bu bilgiler ışığında radyasyonun tıpta nerelerde kullanıldığından bahsedilmiştir ve bu konuda. bilgi verilmeye çalışılmıştır. Ayrıca Konya S. Ü. Meram Tıp Fakültesi’nden radyasyon kullanılarak yapılan tetkikler hakkında bilgi alınmıştır. Çalışmanın son bölümü olarak bu veriler hakkında gerekli yorumlar yapılmıştır.

ABSTRACT
MS Thesis
EFFECTS OF RADIATION ON HUMAN HEALTH
AND ITS APPLICATION FIELDS IN MEDICAL

Niğmet KÖKLÜ
Selçuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics
Supervisor : Assoc. Prof. Nuretdin EREN
2006, 74 Pages

Keywords: Radiation, Human Health, Application Fields in Medicine

Radiation is a kind of energy spreaded by wave, particle or photon. Radiation always exists in the nature with us. Radio waves used in radio and television communication, x-rays used in medicine and industry and sun lights are the types of radiation that we used to in our daily life.

There are two reasons for investigating effects of ionized radiation on the living system. Firstly, we hope that learning the relation between radiation that is a physical factor and cell or cross effect of each other will give us some information about cell working principle, structure and behaviour. The second reason is related with cancer. Sometimes, ionized radiation can be used in cancer treatment.

The most basic definition of nuclear medicine is the usage of radiation in the diagnosis and treatment of illness. Using radiation in medicine has some aims like diagnosis and treatment of the illness. The target in treatment is to destroy or terminate tumour that is diseased or cancer cell. In this method, degeneration of the diseased cell is brought about by applying high dose radioactivity to predetermined region. The most commonly used diagnosis method that is depends on radiation is the usage of X rays.

The reasons of foundation of nuclear medicine are rapid development of nuclear technology and researches, investigations and development studies on the usage of radiation in medicine.

Recently, studies in both developed country and Turkey have shown that radiation is a vital component for medicine. Scientists have been working these kinds of effects of radiation in medicine for 70 years.

In this dissertation thesis, the basic information about the radiation is explained and then effect of radiation on human being health is stressed. Under this theoretical framework, where the radiation used in medical is mentioned and some information is given about this subjects. More, some information about scrutiny that is executed by using radiation in Selcuk University Meram Medicine Faculty is presented. Last but not least, required comment on this data is presented as final part of the study.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER	x
TABLolar	xi
1. GİRİŞ	1
2. TEMEL BİLGİLER	2
2.1. Atom	3
2.2. İzotop	3
2.3. İyonizasyon	4
2.4. Radyoaktiflik	4
2.5. Yarı Ömür Belirlenmesi	5
2.6. Radyasyon Dozu ve Doz Hızı Birimleri	6
2.7. Radyasyon Çeşitleri	7
2.7.1. Alfa Parçacıkları.....	8
2.7.2. Beta Parçacıkları.....	8
2.7.3. X Işınları.....	9
2.7.4. Gama Işınları.....	10
2.7.5. Nötronlar.....	11
2.8. Radyasyon Dozu	11
2.8.1. Yüksek Doz.....	12
2.8.2. Düşük Doz.....	12
2.8.3. Güvenli Dozlar.....	13
2.9. Radyasyon Kaynakları	14
2.9.1. Doğal Radyasyon Kaynakları.....	15
2.9.2. Yapay Radyasyon Kaynakları.....	17

	<u>Sayfa</u>
2.10. Radyasyonun Bulaşma Yolları.....	19
2.10.1. Havada Radyasyon.....	19
.....2.10.1.1. Havada doğal radyasyon.....	19
.....2.10.1.2. Havada radyasyon kazalarından doğan suni radyasyon.....	20
2.10.2. Suda Radyasyon.....	20
2.10.3. Besinlerde Radyasyon.....	21
3. RADYASYONUN ETKİLERİ.....	22
3.1. Radyasyonun Olumlu Etkileri.....	22
3.2. Radyasyonun Olumsuz Etkileri.....	23
3.3. Farklı Radyoaktif Çekirdeklerin Biyolojik Etkileri.....	25
3.4. İyonlaştırıcı Radyasyonların Somatik Etkileri.....	26
3.4.1. Erken Etkiler (Akut Işınlanma Etkileri)	27
3.4.2. Gecikmiş Etkiler (Kronik Işınlanma Etkileri)	28
3.5. Radyoaktif Maddelerin Etkileri.....	30
3.6. Radyasyonların Genetik Etkileri.....	32
3.7. Radyasyonların İnsanlar Üzerindeki Genetik Etkileri.....	33
4. RADYASYONUN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ.....	35
4.1. Radyasyonun Hücre ile Etkileşmesi.....	37
4.2. İyonlaştırıcı Radyasyonların Hücre Üzerindeki Etkisi.....	38
4.3. Organlar ve Dokular Üzerindeki Radyasyon Etkileri.....	41
5. NÜKLEER TIP.....	44
5.1. Nükleer Tıpta Sıklıkla Kullanılan Terminolojik Kavramlar.....	45
5.2. Radyasyonun Tıpta Kullanım Alanları.....	45
5.2.1. Nörolojik Uygulamalar.....	45
5.2.2. Onkolojik Uygulamalar.....	45
5.2.3. Ortopedik Uygulamalar.....	46
5.2.4. Böbrek Uygulamaları.....	46
5.2.5. Kalp Uygulamaları.....	46

	<u>Sayfa</u>
5.2.6. Akciğer Uygulamaları.....	46
5.2.7. Diğer Uygulamalar.....	46
6. NÜKLEER TIPTA İNCELEME YÖNTEMLERİ.....	47
6.1. X - Işını.....	47
6.1.1. X-Işınlarının Tanıda Kullanımını Sağlayan Özellikleri.....	49
6.1.1.1. Penetrasyon Özelliği.....	49
6.1.1.2. Fotografik Etkisi.....	49
6.1.1.3. Floresans Etkisi.....	49
6.2. Diyagnostik Radyoloji.....	50
6.2.1. Röntgen.....	52
6.2.2. Girişimsel Radyoloji.....	53
6.3. İnceleme Yöntemleri.....	54
6.3.1. Radyografi.....	54
6.3.1.1. Tomografi.....	54
6.3.1.2. Anjiyografi.....	55
6.3.1.3. Floroskopi.....	55
6.3.1.4. Mamografi.....	56
6.3.2. Radyoskopi.....	57
6.4. Dijital Röntgen.....	57
6.4.1. Bilgisayarlı (“Computed”) Radyografi.....	58
6.5. Bilgisayarlı Tomografi (BT).....	58
7. KONYA SELÇUK ÜNİVERSİTESİ MERAM TIP FAKÜLTESİNDE RADYASYON KULLANILARAK YAPILAN TETKİKLERİN ARAŞTIRILMASI.....	60
8. RADYASYONLARLA ÇALIŞMADA TIBBİ MUAYENELER VE TEDAVİ.....	65
8.1. Yardımcı Tıbbi Personelin Görevleri.....	65
8.1.1. İşe Başlama Öncesi Tıbbi Muayeneleri.....	65

	<u>Sayfa</u>
8.1.2. Kişinin Geçmiş Sağlık Durumu.....	66
8.1.3. Tıbbi Muayeneler.....	67
8.1.4. Rutin Tıbbi Kontrol Muayeneleri.....	68
9. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	70
10. KAYNAKLAR.....	71

SEKİLLER

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Atom.....	3
Şekil 2.2 İzotop Atomları.....	3
Şekil 2.3 İyonizasyon.....	4
Şekil 2.4 Alfa Bozunumu.....	8
Şekil 2.5 Beta Işınımı.....	9
Şekil 2.6 X Işını Tüpü.....	10
Şekil 2.7 Gama Işınımı.....	10
Şekil 2.8 İyonlaştırıcı Radyasyonların Giriciliği.....	11
Şekil 2.9 Kozmik Işınlardan Bir Saatte Alınan Radyasyon Dozunun Yüksekliği Göre Değişimi.....	16
Şekil 2.10 Radon Gazının Evlerimize Giriş Yolları.....	17
Şekil 2.11 Doğal Radyasyon Kaynaklarından Maruz Kalınan Küresel Radyasyon Dozlarının Oransal Değerleri.....	17
Şekil 2.12 Yapay Radyasyon Kaynaklarından Maruz Kalınan Küresel Radyasyon Dozunun Oransal Değerleri.....	18
Şekil 2.13 Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynaklarının Küresel Radyasyon Dozuna Oransal Katkıları.....	18
Şekil 4.1 Hücre.....	38
Şekil 4.2 Radyasyon Hücre Etkileşmesi.....	38
Şekil 4.3. Hücrelerde Radyasyonun Etkisi.....	39
Şekil 4.4 Normal ve Radyasyondan Etkilenmiş Hücrelerde Hücre Bölünmesi.....	40
Şekil 4.5 İnsan Vücudunun Radyasyona Hassas Bölgeleri.....	41
Şekil 4.6 Çeşitli Organların Vücuttaki Durumları.....	42
Şekil 6.1- 1896 Yılında Kullanılan İlk Röntgen Cihazlarından Biri.....	48
Şekil 6.2- X - Işını Tüpü.....	48
Şekil 6.3- İlk Görüntüleme Örneği.....	48
Şekil 7.1. Radyasyon Kullanılarak Yapılan Tetkiklerin Dağılımı.....	62

TABLolar

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1 Güvenli Doz Sınırları.....	13
Tablo 2.2 Radyasyon Kaynaklarına Göre Dağılımı.....	19
Tablo 4.1 Radyasyona Karşı Organların Duyarlılıkları.....	41
Tablo 7.1 2004 Yılıının İlk 6 Ayında Radyasyonun Kullanıldığı Tetkiklerin Sayısal Verileri.....	60
Tablo 7.2. 2004 Yılıının Son 6 Ayında Radyasyonun Kullanıldığı Tetkiklerin Sayısal Verileri.....	61
Tablo 7.3. 2005 Yılıının ilk 6 Ayında Radyasyonun Kullanıldığı Tetkiklerin Sayısal Verileri.....	61
Tablo 7.4. 2004 2005 Yıllarında Radyasyonun Kullanıldığı Tetkiklerin Toplam Sayıları.....	62
Tablo 7.5. Radyasyonun Kullanıldığı Tetkikler.....	62

1. GİRİŞ

Radyasyon sözcüğü madde içine nüfuz edebilen ışınlar, yani girici ışınlar anlamında kullanılmıştır. Cinsleri ve kaynakları farklı olan ışınların yegane ortak yönü maddeye, bu arada insan vücuduna nüfuz edebilmeleridir. Çeşitli radyasyonların giricilikleri farklıdır. Fakat belli bir radyasyon türü için giricilik enerji ile ilgili bir özelliktir. Düşük enerjili ışınlar, örneğin görünür ışık girici değildir. Fakat x-ışını ve gama ışını, özellikleri görünür ışıkla tamamen aynı olmakla beraber, giricilik yönüyle ondan ayrılırlar; zira enerjileri yüksek dalga boyları kısadır. Radyasyonlar madde içine nüfuz edip cismi oluşturan atomları iyonlaştırması veya iyonlaştırmaması itibariyle iki sınıfta incelenir. Bunlar: iyonlaştırmayan radyasyon (Elektromanyetik Radyasyonlar) ve iyonlaştırıcı radyasyon (Nötron, proton, alfa, beta tanecikleri, x ışınları ve gama ışınları) olarak bilinir (Mısır 2001).

Dünyada doğal olarak bulunan radyasyonun kaynağı, uzaydan gelen, yeryüzünde sulara, karada ve havada bulunan radyoaktif elementlerden yayılan ışınlardır. Dolayısıyla insanlar yaşamları boyunca düşük dozda radyasyona maruz kalmaktadır.

2. TEMEL BİLGİLER

"Radyasyon" çok geniş kapsamlı bir kelime olmasına, ışık ve radyo dalgalarını da içine almasına rağmen çoğunlukla "iyonlayıcı" radyasyon anlamında kullanılır. İyonlayıcı radyasyon, çarptığı maddede yüklü parçacıklar (iyonlar) meydana getirebilen radyasyon demektir. Alfa, beta, gama radyasyonları, x ışınları ve nötronlar gibi çeşitli iyonlayıcı radyasyonlar vardır. Bunların hepsi farklı özelliklere sahiptir. Bu çeşit radyasyonları yayınlayan atomlara radyoaktif atom denir.

Radyasyonun bazı türleri insan vücuduna girerek hücreleri oluşturan madde içerisinde etkinliği oldukça yüksek, elektrikle yüklü atomlar, moleküller (iyonlar) ve serbest elektronlar oluşturabilirler. Bu "iyonlayıcı" radyasyon, çok küçük miktarlarda alındığı zaman "düşük seviyeli radyasyon" olarak isimlendirilir. Düşük seviyeli radyasyonunun örnekleri çoktur (Algüneş 2002, Şeker 2000).

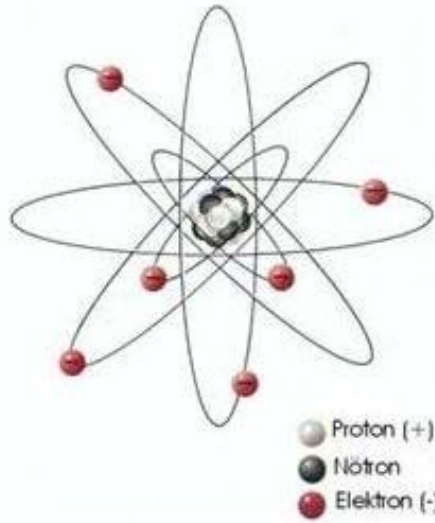
İnsanlar sürekli olarak doğal radyasyona maruz kalmışlardır. İnsan vücudu güneşten ve uzaydan gelen radyasyonlarla, (yerkabuğunda, oluşturulan yapılarda, yiyeceklerde ve içilen suda) doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerle ışınlanmaktadır. Solunum yaptığımız havada radyoaktif gazlar vardır. Vücudumuzun kendisi de radyoaktiftir. Bu doğal radyasyonun seviyesi bölgeden bölgeye büyük değişiklik gösterir.

Doğal radyasyon kaynaklarına ek olarak insanlar kendi yaptıkları radyasyon kaynaklarıyla da ışınlara maruz kalırlar. Tıbbi amaçla kullanılan x ışınları ve diğer radyasyon çeşitleri, nükleer patlama denemelerinden gelen nükleer yağış ve nükleer güç üretiminden salınan radyoaktif maddeler bu radyasyonlara örnek teşkil eder. 1890'ların sonlarında x-ışınlarının kullanılmaya başlamasıyla, bunu takip eden 10 yıl içinde bunların kullanışı ve kontrolüne bağlı olarak hem faydalı hem de zararlı olabileceği anlaşılmış ve korunma ölçümleri zorunlu hale gelmiştir. Daha sonraki yıllarda da bu ölçümlerin diğer radyasyon çeşitleri içinde uygulanması gerçeği ortaya çıkmıştır (Göksel 1973, Güngör 1981).

2.1 Atom

Canlı veya cansız tüm varlıklar atomlardan oluşurlar. Yetişkin bir insan vücudunu, yaklaşık 4×10^{27} oksijen, karbon, hidrojen, nitrojen, fosfor, potasyum, ve diğer elementlerin atomlarının oluşturduğu bir paket gibi düşünebiliriz .

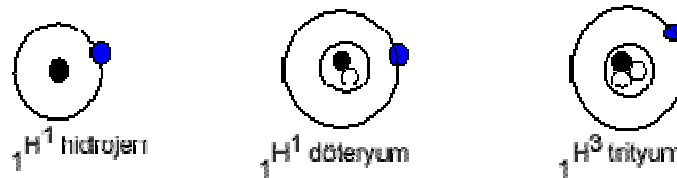
Bir elementin tüm kimyasal özelliklerine sahip en küçük parçası olan atom; proton, nötron ve elektronlardan oluşur (Şekil 2.1). Çapı, yaklaşık olarak 10^{-10} metre olan atomun belli bir kütlesi vardır ve bu kütlenin neredeyse tamamı, kendi hacminin yaklaşık olarak 10^{15} de biri kadar hacime sahip çekirdeğinde yoğunlaşmıştır.



Şekil 2.1 Atom

2.2 İzotop

Proton sayıları aynı, ancak nötron sayıları farklı olan atom çekirdeklerine izotop denir. Bir elementin farklı sayılarda izotopları olabilir. Bu izotoplar, nötron sayıları farklı olduğundan, farklı kütle numaralarına sahiptirler. Örneğin, Hidrojen elementinin 3 izotopu vardır (Şekil 2.2).

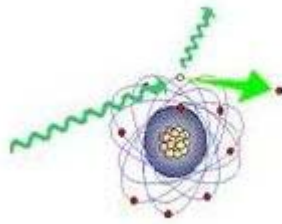


Şekil 2.2 İzotop Atomları

Bir elementin bütün izotopları aynı kimyasal özellikleri gösterir. Ancak fiziksel özellikleri farklıdır.

2.3 İyonizasyon

Herhangi bir nedenden dolayı atomdan bir elektron kopartılması veya atoma bir elektron bağlanması sonucunda atomun yük dengesi bozulur (Şekil 2.3). Bu olaylara iyonizasyon, iyonizasyon sonucu oluşan atoma iyon denir (Güleç 1995).



Şekil 2.3 İyonizasyon

2.4 Radyoaktiflik

Doğada mevcut elementlerin atomlarının bir kısmı kararlı diğer bir kısmı ise kararsız çekirdeklere sahiptirler. Kararlı bir çekirdekte, çoğu durumda nötron sayısı (N) proton sayısından (Z) biraz daha yüksek ve N/Z oranı yaklaşık olarak 1,50 civarındadır. Kararlı bir çekirdekte, proton ve nötronlar birbirlerine nükleer kuvvetlerle o kadar sıkı bağlıdır ki hiçbir parçacık çekirdek dışına kaçamaz. Bu durumda, çekirdek dengede kalacaktır. Ancak, çekirdek dengede değilse yani kararsız ise, fazla bir enerjiye sahip olacak ve parçacıkları bir arada kalamayacaktır. Kısa bir süre içinde veya daha uzun bir süre sonra bu fazla enerjisini boşaltacaktır. En basit çekirdek olan Hidrojen (H) çekirdeğinin dışındaki tüm çekirdekler nötron ve protonlardan oluşmuştur. N/Z oranı hafif izotoplarda 1 iken, ağır çekirdeklere doğru gidildikçe bu oran artmaktadır. Bu oran arttıkça çekirdeklerin artık kararlı olmadığı bir yere ulaşılır. En ağır kararlı çekirdek bir bizmut izotopudur (Bi-207). Daha ağır çekirdekler sahip oldukları fazla enerjiden dolayı kararsızdırlar. Böyle çekirdeklere

radioaktif çekirdek veya radyoizotop adı verilir. Bunlar fazla enerjilerinden kurtulmaya ve kararlı duruma geçmeye çalışırlar. Bu olaya radyoaktivite veya radyoaktif parçalanma denir. Radyoaktivite kontrol edilemeyen bir olaydır. Herhangi bir şekilde müdahale edilip yavaşlatılamaz veya durdurulamaz. Üstel bir fonksiyon şeklindeki zayıflayan bir tempo ile azalarak kendiliğinden tükeninceye kadar devam eder. Radyoaktivite olayı doğal ve yapay olarak iki farklı şekilde meydana gelebilir. Doğada mevcut bulunan kararsız elementler kararlı yapıya geçmeye çalışırken, hiçbir dış müdahale olmadan, sahip oldukları fazla enerjilerini çekirdeklerinden dışarı salarlar. Böyle elementlere doğal radyoaktif elementler, bunların enerji salma olayına da doğal radyoaktivite denir. Doğada kararlı olarak bulunan izotoplar da yapay yollarla kararsız (radyoaktif) hale getirilebilirler. Radyoaktif hale gelen çekirdek parçalanmaya uğrar. Bu olay yapay radyoaktivite olarak adlandırılır (Gençay 1994, Şeker 2000).

2.5 Yarı Ömür Belirlenmesi

Kısa yarı-ömürlerinin tayini: Yarı ömürleri kısa olan radyoizotopların yarı ömürleri deneysel olarak kolayca bulunur. Dedektöre gelen saymalar zamanın fonksiyonu olarak çizilirse doğrunun eğimi λ 'yı verir $t_{1/2}$ belirlenir.

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \longrightarrow \ln N = \ln N_0 - \lambda t$$

Çok uzun yarı-ömürlerin tayini: Verilen bir numunedeki radyoaktif atomların sayısı N biliniyorsa, saniyedeki parçalanma hızı deneysel olarak ölçülür ve λ hesaplanır. Buna göre,

$$A = \left| \frac{dN}{dt} = \lambda N \right|$$

Bu metod yarı ömrü 10^{10} yıl daha fazla olan izotoplara uygulanır.

Eğer, iki izotop daimi denge durumunda ise $\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2$ eşitliğinde λ_1 , N_1 ve N_2 bilinir ve λ_2 hesaplanır. Örneğin radyumun bilinen yarı ömründen Uranyumunki hesaplanır (OĞUL & EREN, 1996).

2.6. Radyasyon Dozu ve Doz Hızı Birimleri

Radyoaktif maddede bir tek atomun (çekirdeğin) birim zamanda ışıma yapma olasılığı λ ile gösterilir. Buna göre bir numunede N tane çekirdek varsa bu numune birim zamanda λN tane ışıma (bozunma) yapar ve bu büyüklüğe aktiflik denir. Bazen de radyoaktif ışıma altındaki canlı veya cansız maddelerin aldığı ışıma miktarı ölçülür. Bunun için maddenin aldığı toplam ışımaya doz, birim kütlenin birim zamanda aldığı toplam ışıma miktarına da doz hızı denir. Bu soğurulan ışıma miktarları sağlık fiziğinde enerji birimleri ile açıklanır. Buna göre kullanılan aktiflik, doz, doz hızı birimleri aşağıdaki gibi tanımlanır (OĞUL & EREN, 1996).

Aktiflik Birimleri:

1. Curie : Bir gram Radiumun bir saniyede yapmış olduğu ışıma sayısıdır ve 3.7×10^{10} parç/sn (Becquerel) olarak verilir. Radium için yarılanma süresi 1620 yıl olduğuna göre:

$$A = \lambda N = \frac{0.693}{t_{1/2}} \cdot \frac{N_0}{226} = \frac{0.963 \times 6.02 \times 10^{23}}{1620 \times 365 \times 24 \times 3600 \times 226} = 3.7 \times 10^{10} (Bq)$$

2. Rutherford : Saniyede 10^6 parçalanma yapan numunenin aktifliği olarak tanımlanır. Buna göre 1 Curie= 3.7×10^4 Rutherford'dur.

3. Becquerel: Bir saniyedeki bir ışımaya 1 Becquerel denir. Böylece 1 Bq=1parç/sn ifadesi yazılabilir.

Doz ve Doz Hızı Birimleri: Maddenin soğurduğu toplam ışımanın enerji cinsinden değeri doz olarak tanımlanır. Doz hızı birimleri ise aşağıdaki gibidir.

1 RAD: 1 gramlık maddeye 100 erg'lik enerji aktaran radyasyon miktarıdır.

1 REM: 1 gramlık canlı dokuya 1 Rad'lık radyasyon bırakan radyasyon miktarıdır.

1 RONTGEN: Birim hacimdeki havada ($D=0.001293 \text{ gr/cm}^3$) 1 esb'lik iyon çifti üreten gama ışınlarının (veya x ışınlarının) sayısıdır (OĞUL & EREN, 1996).

2.7. Radyasyon Çeşitleri

Radyasyonu ortamda yol alan enerji olarak tanımlamak mümkündür. Bu tanım kapsamında doğal ya da yapay radyoaktif çekirdeklerin kararlı yapıya geçebilmek için dışarı saldıkları hızlı parçacıklar ve elektromanyetik dalga şeklinde taşınan fazla enerjileri de “radyasyon” olarak adlandırılır.

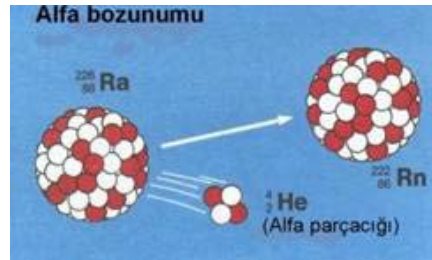
Radyasyonu temel olarak iki şekilde sınıflandırabiliriz. Bunlar “parçacık” ve “dalga” tipi radyasyonlardır. Parçacık radyasyonu; belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden minik parçacıkları ifade eder. Bunlar hızla giden mermilere benzerler, ancak gözle görülemeyecek kadar küçüktürler. Dalga tipi radyasyon; belli bir enerjiye sahip ancak kütsüz radyasyon çeşididir. Bunlar, titreşim yaparak ilerleyen elektrik ve manyetik enerji dalgaları gibidir. Görünür ışık dalga tipi radyasyonun bir çeşididir. Bütün dalga tipi radyasyonlar ışık hızıyla (3×10^8 m/saniye) hareket ederler.

Gözlerimizin fark edebileceği en yüksek enerjili ışık mor renkli ışıktır. Radyasyonun enerjisi arttıkça ışık rengi mor renk ötesine gider ve morötesi olarak adlandırılır. Morötesi ışığı göremez veya hissedemeyiz, ancak ortamda mevcuttur ve eğer şiddeti büyükse ciltte bırakacağı güneş yanığına benzer yanık izleri ile varlığı hissedilir. Parçacık ve dalga tipi radyasyonları da yine iki gruba ayırmamız mümkündür. Bunlar, “iyonlaştırıcı” ve “iyonlaştırıcı olmayan” radyasyonlardır.

Buraya kadar radyasyon kavramını genel olarak anlatmaya çalıştık. Ancak, bundan sonra konumuz gereği radyasyon kelimesini kullanacağımız her yerde “iyonlaştırıcı radyasyon”u kastedeceğiz. İyonlaştırıcı radyasyon, çarptığı maddede yüklü parçacıklar (iyonlar) oluşturabilen radyasyon demektir. İyon meydana gelmesi yani iyonizasyon olayı herhangi bir maddede meydana gelebileceği gibi insanlar dahil tüm canlılarda da oluşabilir. O halde iyonlaştırıcı radyasyonlar, önlem alınmadığı takdirde tüm canlılar için zararlı olabilecek radyasyon çeşitleridir. Başlıca beş iyonlaştırıcı radyasyon çeşidi vardır. Bunlar, Alfa parçacıkları, Beta parçacıkları, X ışınları, Gama ışınları ve Nötronlardır (Göksel 1973, Güngör 1991).

2.7.1 Alfa Parçacıkları

Alfa parçacığı iki proton ve iki nötrondan oluşmuş bir helyum (${}^4_2\text{He}$) çekirdeğidir ve pozitif yüklüdür. α işaretiyle sembolize edilirler. Çekirdeğin, alfa çıkararak parçalanması olayı atom numarası büyük izotoplarda görülür ve genellikle doğal radyoaktif atomlarda rastlanır. Alfa parçacıklarını çok küçük kalınlıklardaki maddelerle (örneğin ince bir kağıt tabaka ile) durdurmak mümkündür. Bunun sebebi, diğer radyasyon çeşitlerine göre sahip oldukları nispeten büyük elektrik yükleridir. Sahip oldukları bu elektrik yükü, alfa parçacıklarının herhangi bir madde içerisinden geçerken yolları üzerinde yoğun bir iyonlaşma meydana getirmelerine ve bu yüzden de enerjilerini çabucak kaybetmelerine yol açar. Enerjilerini bu şekilde çabucak kaybeden alfa parçacıklarının erişme uzaklıkları da dolayısıyla çok kısadır. Bu yüzden de normal olarak dış radyasyon tehlikesi yaratmazlar. Ancak, mide, solunum ve yaralar vasıtasıyla vücuda girdiklerinde tehlikeli olabilirler (Oyar 1998, http://www.taek.gov.tr/taek/rsgd/egitim/cnaem_brosur.html).



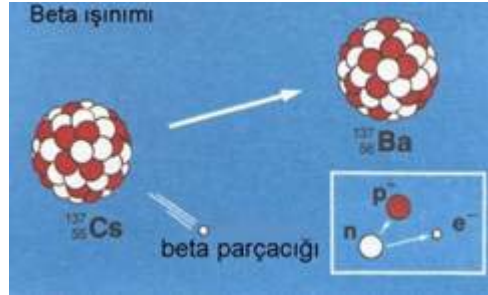
Şekil 2.4 Alfa Bozunumu

2.7.2 Beta Parçacıkları

Çekirdekteki enerji fazlalığı çekirdek civarında, $E = mc^2$ eşitliğiyle açıklanabilen, bir kütle oluşturur. Bu kütle çekirdekteki fazla yükü alır ve dışarıya bir beta ışını olarak çıkar. Bunlar pozitif veya negatif yüklü elektronlardır. Pozitif yüklü elektronlar " β^+ " ile, negatif yüklü iyonlar ise " β^- " işaretiyle sembolize edilirler. Çekirdekteki enerji fazlalığı proton fazlalığından meydana geliyorsa β^+ , nötron fazlalığından meydana geliyorsa β^- çıkar.

Beta parçacıkları da alfa parçacıkları gibi belli bir yük ve kütleye sahip olduklarından madde içerisinden geçerken yolları üzerinde iyonlaşmaya sebep olurlar. Ancak bu iyonlaşma, alfa parçacıklarının oluşturduğu iyonlaşmadan daha

azdır. Çünkü bu parçacıklar alfa parçacıklarına göre daha hafif ve yüz kere daha giricidirler. Yine de bunlardan korunmak için ince alüminyum levhadan yapılmış bir zırh malzemesi yeterlidir (Oyar 1998, <http://www.taek.gov.tr/taek/rsgd/egitim.html>).



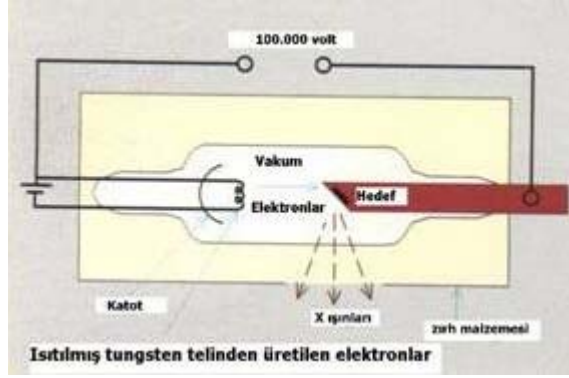
Şekil 2.5 Beta Işınımı

2.7.3. X Işınları

Röntgen ışınları da denilen x ışınları, görünür ışık dalgaları ve mor ötesi ışınları gibi dalga şeklindedir. Bir atoma dışarıdan gelen veya gönderilen yüksek enerjili elektronlar o atomun ilk halkalarından elektronlar koparırlar. Atomdan kopan bu elektronun yerine daha yüksek seviyelerden (üst halkalardan) elektronlar atlayarak kopan elektronun yerindeki boşluğu doldururlar. Bu sırada ortaya çıkan enerji fazlalığı x ışını şeklinde dışarı salınır.

Çekirdek içerisinde bulunan protonlardan bir tanesi hareketi esnasında atomun ilk halkalarındaki elektronu yakalar ve nötrleşir. Yakalanan bu elektronun halkasındaki boşalan yere diğer bir halkadan bir elektron atlamasıyla x ışını meydana gelebilir (Oyar 1998, <http://www.taek.gov.tr/taek/rsgd/egitim.html>).

Bunların dışında da x ışını yapay olarak, röntgen tüplerinde de elde edilir. Şekil 2.6'da görüldüğü gibi, tüp içerisinde ısıtılmış katottan yayılan elektronlar, onbinlerce voltluk gerilimle hızlandırılarak karşıdaki hedef anota çarptırılır. Bu çarpışma sonucu elektronlar durdurulurken elektronların kaybettiği enerji x ışınları olarak yayınlanır. Bu olaya Bremsstrahlung (Frenleme ışını) olayı, çıkan x ışınlarının oluşturduğu sürekli spektruma da Bremsstrahlung adı verilir (Oyar 1998, http://www.taek.gov.tr/taek/rsgd/egitim/cnaem_brosur.html).

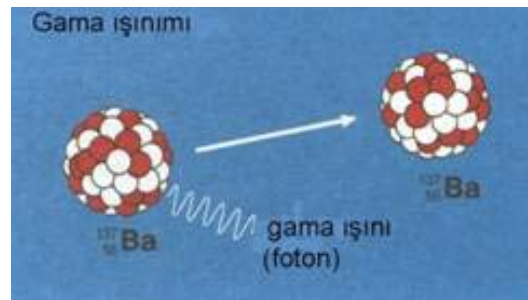


Şekil 2.6 X Işını Tüpü

2.7.4 Gama Işınları

Gama ışınlarının kaynağı atomun çekirdeğidir. Bu ışınlar atom çekirdeğinin enerji seviyelerindeki farklılıklardan meydana gelir. Çekirdek bir alfa veya bir beta parçacığı çıkarttıktan sonra genellikle kararlı bir durumda olmaz. Fazla kalan çekirdek enerjisi bir elektromanyetik radyasyon halinde yayınlanır. Gama ışınları, beta ışınlarından daha yüksek enerjili ve dolayısıyla daha girici (nüfuz edici) ışınlardır. γ ile sembolize edilirler.

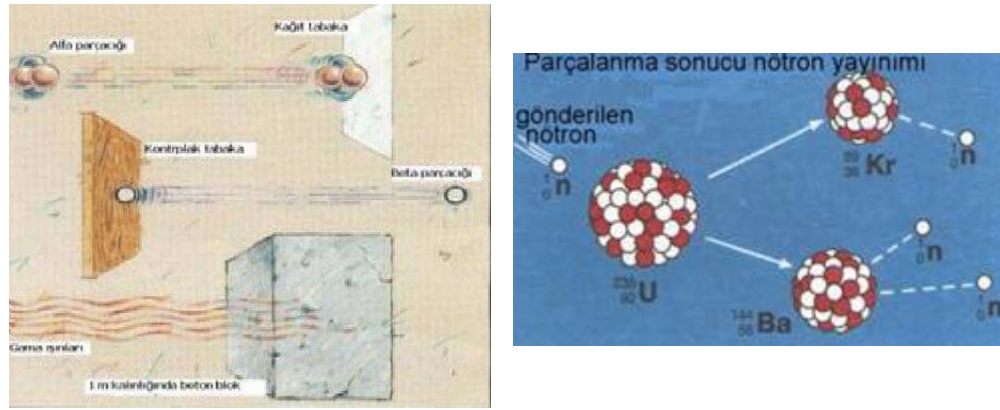
Gama ve x ışınlarının, alfa ve beta parçacıklarına göre madde içine nüfuz etme kabiliyetleri çok daha fazla, iyonlaşmaya sebep olma etkileri ise çok daha azdır. Ancak birkaç santimetre kalınlığındaki kurşun tuğlalarla ve sadece belli bir kısmı durdurulabilir. Madde içerisinden geçerken üstel bir fonksiyon şeklinde bir şiddet azalmasına uğrarlar. Yüksüz olduklarından elektrik ve manyetik alanda sapma göstermezler (Mısır 2001, Oyar 1998).



Şekil 2.7 Gama Işınımı

2.7.5 Nötronlar

Nötronlar yüksüz parçacıklardır. Bu özelliklerinden dolayı herhangi bir madde içerisine kolaylıkla nüfuz edebilirler. Doğrudan bir iyonlaşmaya sebep olmazlar. Ancak atomlarla etkileşimleri, iyonlaşmaya neden olan alfa, beta, gama veya x ışınlarının ortaya çıkmasına neden olabilir. Nötronlar sadece kalın beton, su veya parafin kütleleriyle durdurulabilirler. (Mısır 2001, Oyar 1998).



Şekil 2.8 İyonlaştırıcı Radyasyonların Giriciliği

2.8. Radyasyon Dozu

Doz, herhangi bir maddenin belli bir zaman içerisinde kullanılan veya tüketilen miktarı demektir. Radyasyon dozu ise hedef kütle tarafından, belli bir sürede, soğurulan veya alınan radyasyon miktarıdır. Bütün zararlı maddeler, genellikle, vücutta birtakım biyolojik hasarlara neden olurlar. Bu hasarların büyüklüğü ise o maddenin cinsinin yanısıra, vücuda alınış şekli, süresi ve miktarına bağlı olarak değişir. Örneğin, günlük yaşantısında belli bir miktarda alkol tüketen bir kişiyi düşünelim. Günde bir bardak alkol alan bu kişi ile bir şişe alkol tüketen aynı kişide, vücutta oluşacak zararlar farklı olacaktır. Yine aynı şekilde, bu miktarın tüketim hızı yani ne kadar zamanda tüketildiği de zararın büyüklüğünü belirleyici bir etkidir. Tüketim hızı arttıkça meydana gelecek zarar da buna paralel olarak büyüyecektir. Bunların yanı sıra, yaşam boyunca tüketilen toplam miktar da

oluşabilecek zararı belirleyen önemli bir unsur olacaktır. Gerekli önlemler alınmadığı takdirde, belli bir sürede belli bir miktarın (kabul edilebilir sınırların) üzerinde radyasyon enerjisi soğuran yani radyasyon dozu alan canlılarda da bazı zararlı etkilerin meydana gelmesi kaçınılmazdır. Bu etkinin büyüklüğü ise ancak yukarıdaki örnekte de anlatıldığı gibi, radyasyon çeşidi, soğuruluş hızı ve soğurulan radyasyonun miktarı bilindiği zaman mümkündür. Bütün bu faktörler bilindiğinde radyasyonun insan sağlığı veya diğer canlı ve cansız varlıklar üzerinde bırakacağı etki kolayca belirlenebilir (Güenakan Akın 1996, Güngör 1991, Şeker 1997).

2.8.1. Yüksek Doz

Beyin ve merkezi sinir sistemi; yüksek dozda radyasyona maruz kaldığında cinnet, çırpınma ve birkaç saat ya da gün içinde ölüm gerçekleşir. Göz merceği, radyasyona karşı savunmasızdır. Hücreleri ölürken saydamlığını kaybeder ve görme bozukluğu yapan katarakt hastalığı oluşur. Şiddetli radyasyon hastalığı, kusma, dış etlerinde kanama ve ağız ülseri yapar. İç kanama ve kan damarlarındaki tahribat, deride kırmızı noktalar olarak ortaya çıkar. Sindirim sistemi, radyasyona maruz kaldıktan birkaç saat sonra mide bulantısı ve kusma başlar. Bağırsak cidarının enfeksiyonu haftalar sonra ölüm getirir. Özellikle hamileliğin başlangıcında ana rahminde merkezi sinir sistemi oluşurken radyasyona maruz kalan ceninde beyin tahribatı yapar ya da bebeği sakatlar. Yumurtalık ve testislerdeki şiddetli tahribat, üreme bozukluklarına yol açar. Bedenin kan üreticisi olan kemik iliğinin tahribatı, oldukça zararlıdır. Bedenin enfeksiyonlar ve kanamalar karşısındaki direncini kırar (Güenakan Akın 1996, Güngör 1991, Şeker 1997).

2.8.2. Düşük Doz

“Yüksek dozlar”, hızla öldürür ya da şiddetli tahribata yol açar. Hemen öldürmeyen “düşük dozlar” ise yıllar sonra ölüm getirecek kanserleri ve diğer hastalıkları başlatır. Radyasyonun bugünün teknolojisi ve tıp biliminin olanaklarıyla belgelenemeyen daha birçok zararı vardır (Güngör 1991, Şeker 1997).

2.8.3. Güvenli Dozlar

Radyasyonun vücutun güvenle kaldırabileceği dozları olmalıdır. Çünkü radyasyon doğada vardır ve ondan kaçınmak mümkün değildir. Küçük radyasyon dozları vücutun öz savunma mekanizması tarafından tamir edilebilmektedir. Yıllık 190 milirem doğal radyasyon dozuna rağmen sağlıklı yaşam mümkün olabilmektedir.

1934 yılında Zürih'de yapılan 4. Uluslararası Radyoloji Kongresinde güvenli radyasyon dozu olarak günde 200 milirem (haftada 1 rem) sınırı konmuştur. Amerika Birleşik Devletleri bunu fazla bulmuş ve kendi ülkesinde söz konusu sınırın yarısını uygulamıştır. 1937 yılında Şikago'da toplanan Uluslararası Kongre 200 mrem/gün sınırının muhafazasına karar vermiştir.

Orijinal belgelerde kullanılan doz birimi raddır. Fakat o günlerde söz konusu olan radyasyon türü sadece x ışını olduğuna göre rem ve rad birimlerinin eşdeğer anlamda kullanılabileceği bilinmektedir.

2. Dünya Harbinden sonra, 1951 yılında, Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu sınırı yarıya, yani 100 mrem/gün (ve 0,3 rem/hafta) düzeyine indirmeyi kabul etmiş ve 1955 yılında Kopenhag'da toplanan kongre bu kararı onaylamıştır. 1958 Ekiminde sınır daha da indirilerek 5 rem/yıl olarak şimdiki değere ulaşılmıştır. Buna göre hesaplandığında radyasyonla sürekli çalışanlar için haftalık doz 100 milirem, günlük doz 20 milirem olmaktadır. Böylece harpten öncesine oranla doz sınırın on kat aşağı çekilmiştir (Güvenakan Akın 1996, Güngör 1991, Şeker 1997).

Harpten sonra getirilen ikinci bir yenilik de radyasyon işçileriyle, halkın alabileceği güvenli doz sınırlarını ayırmak olmuştur. Yukarıda söylenen sınırlar radyasyonla çalışmayı kendine meslek edinmiş kişiler içindir. Halk için doz sınırı onların 10 kat altında tutulmuştur. Böylece toplum bireyleri için doz sınır harpten öncesinin yüz kat altına çekilmiş bulunmaktadır. Güvenli radyasyon dozu sınırları en son şekliyle Tablo-2.1'dedir.

	Yılda rem	Günde mrem
Radyasyon İşçisi Vatandaş	5	20
	0,5	2

Tablo 2.1 Güvenli Doz Sınırları

Alınan bu sınırlar bütün vücudun radyasyona maruz kalması durumundadır. Vücudun yalnız bir bölümünün veya yalnız bir organın radyasyona maruz kalması halinde sınır daha yüksek olabilir. Örneğin, el ve ayak gibi vücut uzantıları için güvenli doz sınırı yılda 75 rem'dir (Güenenakan Akın 1996, Güngör 1991, Şeker 1997).

2.9. Radyasyon Kaynakları

İnsanoğlu varoluşundan bu yana sürekli olarak radyasyonla iç içe yaşamak zorunda kalmıştır. Dünyanın oluşumuyla birlikte tabiatta yerini alan çok uzun ömürlü (milyarlarca yıl) radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. Geçtiğimiz yüzyılda bu doğal düzey, nükleer bomba denemeleri ve bazı teknolojik ürünlerin kullanımı ile bir hayli artış göstermiştir. Maruz kalınan doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirleyen bir çok neden vardır. Yaşanılan yer, bu yerin toprak yapısı, barınılan binalarda kullanılan malzemeler, mevsimler, kutuplara olan uzaklık ve hava şartları bu nedenlerden bazılarıdır. Yağmur, kar, alçak basınç, yüksek basınç ve rüzgar yönü gibi etkenler de doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirler. Radyasyon kaynaklarını, doğal ve yapay olmak üzere, iki sınıfa ayırabiliriz (Gençay 1994, http://www.taek.gov.tr/taek/rsgd/egitim/cnaem_brosur.html).

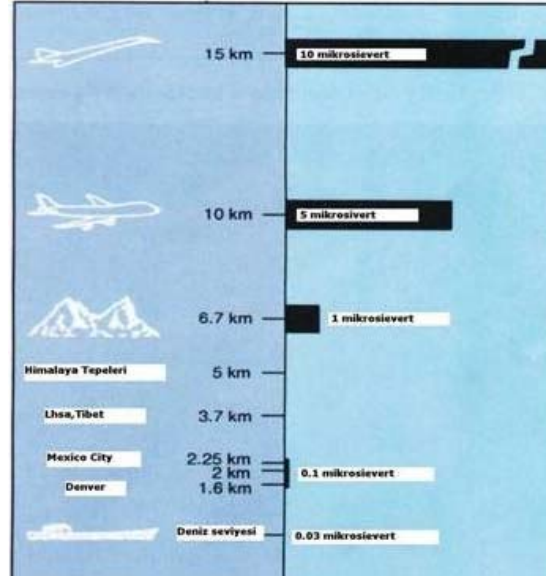
Doğal Radyasyon, insanların katkısı olmaksızın oluşan radyasyonlardır. Dış ve iç kaynaklı olabilirler. Dış kaynaklı olanlar kozmik radyasyon ve yeryüzündeki kayalar ve toprakların yapısında bulunan radyoaktif elementlerin yaydığı radyasyonlardır. İç kaynaklı olan ise canlıların vücudunda doğal olarak bulunan potasyum-40, karbon-14, radyum-226 gibi radyoaktif izotopların yaydığı radyasyondur. Bütün canlıların etkisi altında olduğu bu radyasyona çevre radyasyonu (background radyasyonu) adı verilmektedir. Nerede yaşadığımızı, toprağın bileşimine, içinde yaşadığımız binaların yapı malzemelerine, mevsimlere, yüksekliklere ve bir dereceye kadar da hava koşullarına bağlı olarak bu radyasyon seviyeleri değişebilmektedir.

Yapay Radyasyon, insan aktiviteleri sonucu çevreye ilave olan radyoaktif maddeler nedeniyle oluşur. Son yüzyılda silah testleri ve nükleer güç tesisleri gibi aktivitelerle doğal radyasyon düzeylerinde artışlar olmuştur. Radyasyonun barışçıl amaçlı kullanımı ise bugün hayatımızın hemen her alanında işimizi kolaylaştırmaktadır. Doğal kaynaklı çevre radyasyonu herkesi etkilediği halde, yapay radyasyonlar belli zamanlarda ve ilgili kişileri etkiler (meslekleri gereği veya teşhis ve tedavi amaçlı, vb). Yapay radyasyonlar bugün bir çok alanda kullanılmaktadır (Gençay 1994, http://www.taek.gov.tr/taek/rsgd/egitim/cnaem_brosur.html).

2.9.1 Doğal Radyasyon Kaynakları

Doğal radyasyonun bir kısmını uzaydan gelen kozmik ışınlar oluşturur. Bu ışınların büyük bir kısmı dünya atmosferinden geçmeye çalışırken tutulurlar. Sadece küçük bir miktarı yerküreye ulaşır. Bir dağın tepesinde veya havada yol alan bir uçakta bulunan bir kişi, deniz seviyesinde bulunan bir kişiden çok daha fazla kozmik ışına maruz kalır. Bu yüzden bir pilot, uçuş süresi boyunca, deniz seviyesinde çalışan bir kişinin maruz kaldığı doğal radyasyon düzeyinden yaklaşık 20 kat daha fazla bir radyasyon dozuna maruz kalır. Günlük yaşantımızda, kozmik ışınlar nedeniyle maruz kaldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.39 mSv / yıl'dır.

Fosil yakıtlar doğal ve uzun ömürlü radyoaktif elementler içerirler. Bu tür elementler yakıt içinde iken bir radyasyon tehlikesi yaratmazlar. Ancak fosil yakıtlar yakıldıklarında bu elementler atmosfere yayılır ve daha sonra toprağa dönerek doğal radyasyon düzeyinde az da olsa bir artışa neden olur. Doğada mevcut kısa ömürlü radyoaktif elementlerin yaydığı gama ışınlarının da katkısıyla topraktan maruz kaldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.46 mSv/yıl'dır (Gençay 1994, Şeker 1997, http://www.taek.gov.tr/taek/rsgd/egitim/cnaem_brosur.html).



Şekil 2.9 Kozmik Işınlardan Bir Saatte Alınan Radyasyon Dozunun Yüksekliği Göre Değişimi

Vücudumuzda bulunan radyoaktif elementlerden (özellikle Potasyum-40 radyoaktif elementinden) dolayı da belli bir radyasyon dozuna maruz kalırız. Bir yıl boyunca bu şekilde maruz kaldığımız iç (dahili) radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.23 mSv kadardır.

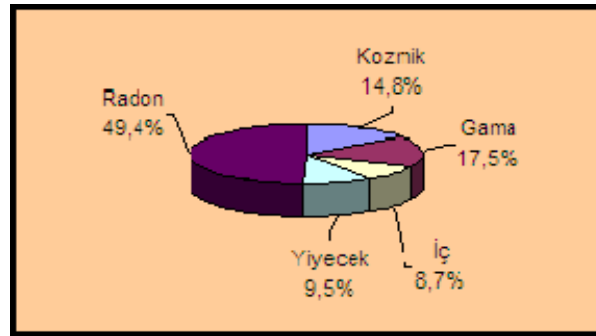
Yiyecek, içecek ve teneffüs ettiğimiz havadan maruz kaldığımız dozun dünya ortaması yaklaşık 0.25 mSv/yıl'dır. Özellikle kabuklu yiyecekler daha fazla radyoaktif madde içerirler ve bu ürünleri fazla miktarda tüketen insanlar bu ortalamanın üzerinde bir radyasyon dozu alırlar.

Doğal radyasyon düzeyini arttıran en önemli sebeplerden biri, yer kabuğunda yaygın bir şekilde bulunan radyoaktif radyum elementinin (Ra^{226}) bozunması sırasında salınan "radon gazı"dır. Bu bozunma sırasında oluşan diğer radyoaktif maddeler toprak içerisinde kalırken maalesef radon toprak yüzeyine doğru yükselir. Eğer bu gaz, yayılmalar sonucu seyrelirse herhangi bir sorun oluşturmaz. Ancak, radon gazının yayıldığı yüzey üzerinde bulunan evlerde iyi bir havalandırma sisteminin olması gerekir. Böyle bir havalandırma yoksa radon gazı evin içinde dışarıdakinden yüz kat hatta bin kat daha fazla olacaktır. Bu gaz teneffüs edildiği takdirde akciğerlere geçici olarak yerleşip tüm dokuların radyasyona maruz kalmasına neden olabilir (Gençay 1994, Şeker 1997, http://www.taek.gov.tr/taek/rsgd/egitim/cnaem_brosur.html).



Şekil 2.10 Radon Gazının Evlerimize Giriş Yolları

Radon gazından dolayı dünya genelinde maruz kalınan ortalama doz 1.3 mSv/yıl'dır . Radon gazı hariç doğal radyasyonun sağlık üzerinde zararlı bir etkisi görülmez. Şekil 2.11'de doğal radyasyon kaynaklarının doğal radyasyon seviyesine katkıları oransal olarak gösterilmektedir (Gençay 1994, Şeker 1997).



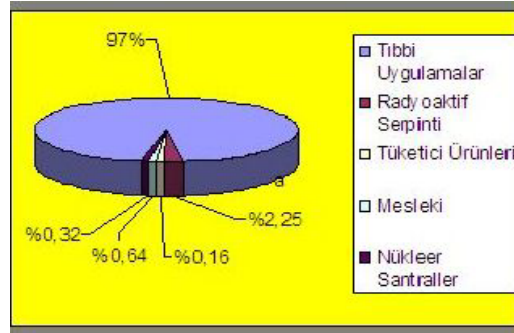
Şekil 2.11 Doğal Radyasyon Kaynaklarından Maruz Kalınan Küresel Radyasyon Dozlarının Oransal Değerleri.

2.9.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

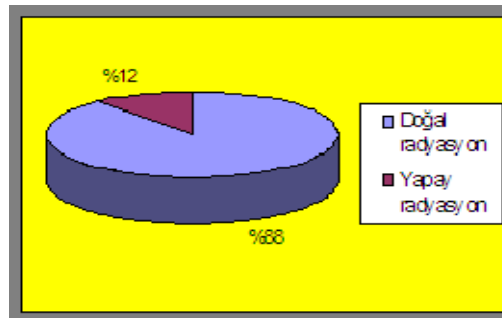
Gelişmiş endüstriyel ekonomilerin ve yüksek yaşam standartlarının, doğada mevcut olmayan bazı radyasyon kaynakları kullanılmadan süreklilik gösterebileceğini düşünmek şimdilik pek mümkün gözükmemektedir. İşte bu yüzden insanoğlu, teknolojik gelişiminin gereği olarak, bazı radyasyon kaynaklarını yapay yollarla üretme ihtiyacı duymuştur. Bu kaynaklar, bir çok işin daha iyi, daha kolay, daha çabuk, daha ucuz ve daha basit yapılmasına olanak sağlar. Bazı durumlarda ise

alternatifleri yok gibidir. Yapay radyasyon kaynakları da tıpkı doğal radyasyon kaynakları gibi belli miktarlarda radyasyon dozuna maruz kalınmasına neden olurlar. Ancak bu doz miktarı, talebe bağlı olarak artsa da, doğal kaynaklardan alınan doza göre çok daha düşüktür. Doğal radyasyon kaynaklarının aksine tamamen kontrol altında olmaları da maruz kalınacak doz miktarı açısından önemli bir özelliktir.

Tıbbi, zirai ve endüstriyel amaçla kullanılan X ışınları ve yapay radyoaktif maddeler, nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler, çok az da olsa nükleer güç üretiminden salınan radyoaktif maddeler ile bazı tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler bilinen başlıca yapay radyasyon kaynaklarıdır (Göksel 1973, Keskin 2004).



Şekil 2.12 Yapay Radyasyon Kaynaklarından Maruz Kalınan Küresel Radyasyon Dozunun Oransal Değerleri



Şekil 2.13 Doğal Ve Yapay Radyasyon Kaynaklarının Küresel Radyasyon Dozuna Oransal Katkıları.

Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozunun dünya ortalaması 2.7 mSv/yıl'dır. Bu dozun, radyasyon kaynaklarına göre dağılımı ise aşağıdaki gibidir (Göksel 1973, Keskin 2004).

Kozmik	0.39 mSv
Gama	0.46 mSv
İç	0.23 mSv
Radon	1.30 mSv
Tıbbi	0.30 mSv
Serpinti	0.007 mSv
Mesleki	0.002 mSv
Atıklar	0.001 mSv
Tüketici Ürünleri	0.0005 mSv

Tablo 2.2 Radyasyon Kaynaklarına Göre Dağılımı

2.10. Radyasyonun Bulaşma Yolları

Çağımızda radyasyon kaynağı nükleer deneyler, nükleer santrallerdeki kazalar ve teknik hatalardan doğmaktadır.

2.10.1. Havada Radyasyon

Havada iki tür radyasyonu bilmek gerekir.

2.10.1.1. Havada doğal radyasyon

Havada normal dozda radyoaktif karbon ve çok az dozda radon bulunmaktadır. Çağımızda önemli bir mesele: Özellikle kıtalar arası uçakla yolculuklarda atmosferin yüksek katlarından alınan kozmik ışınlardır.

Normalde insanlar yılda 30 milirem kozmik radyasyon alır. Bu doz, yüksek yerde oturanlar için 100 milireme kadar çıkabilir. Bir insan uçakla Ankara'dan

Newyork'a gittiği zaman, fazladan 15 milirem ışın alır. Beton evde; oturanlar ahşap evde oturanlara göre iki kat radyasyon alır (Daşdağ 1990, Özden 1990).

2.10.1.2. Havada radyasyon kazalarından doğan suni radyasyon

Nükleer santral kazalarında ilk radyasyon havaya çıkar. Radyoaktif kripton, etrafında bir bulut oluşturur. O bulut, rüzgârın etkisiyle yer değiştirdikçe radyasyonu çevreye yayar. Bu açıdan radyasyonun yayılması tamamen meteorolojik şartlara tâbidir.

Nükleer bir savaştan, yada kazadan sonra bulutlaşma aralıklarla devam edebilir. Şu halde, böyle durumlarda yağmurlar fevkalâde tehlikelidir. Ancak zaman içinde havadan gelen bu radyasyon, atmosfer yüksekliğine çıkarak, daha uzaklara yayılarak gider ve tesiri de zayıflar.

Hiroşima ve Nagazaki bombalarından sonra, çevrede ve bütün dünyada ciddi bir araştırma yapılamadığı için atmosferin bu nükleer etkileri nasıl kaybettiğini yada nerelere taşıdığını iyi bilemiyoruz (Daşdağ 1990, Özden 1990).

2.10.2. Suda Radyasyon:

Nükleer tehlikenin en büyüğü radyoaktif izotopların suya geçmesidir. Bir yandan radyoaktif yağmur, bir yandan çevredeki suya radyoaktivitenin geçmesi önemli bir durumdur..

Radyasyon kazalarında önemli bir mesele radyoaktif izotopların toprağın derinlerine sızma özelliğidir. Buna çayn (chine) olayı denir. Bu yoldan radyasyon yeraltı sularına, oradan nehirlere yansır. Radyasyon kazalarında en önemli mesele; acilen çevre sularında tespitin yapılması ve uzaktan su getirilmesi meselesidir. Çünkü suya intikal eden radyasyon, doğrudan bitkilere geçerek, radyasyonun bir anlamda devamına neden olur.

Radyasyon bulaşan bölgenin suyu, yalnız içilme açısından değil, tarım ürünleri açısından da fevkalâde tehlikelidir (Daşdağ 1990, Özden 1990).

2.10.3.Besinlerde Radyasyon

Besinlerde doğal radyasyon bulunmaktadır. Besinlerde belli radyasyon sınırları tespit edilmiştir. Bu miktarlar en zararsız sınır olarak, kilogramda olmak üzere 2000 becquereldir. Çünkü bu miktar radyasyonlu besinleri bir yıl boyunca yesek dahi sağlık için zararsız doz olan 500 miliremi aşmamaktadır.

Bir nükleer kaza yada savaşta en çok hangi besinler etkilenecektir?

- 1) Süt.
- 2) Kekik, çay, maydanoz gibi yeşil bitkiler.
- 3) Eğer o bölgede varsa, nehir balıkları, (Büyük denize radyasyon bulaşsa dahi ileri derecede sulanacağından balıklara yansımaz.)
- 4) Çeşitli tahıl ürünleri (Daşdağ 1990, Özden 1990).

3. RADYASYONUN ETKİLERİ

3.1 Radyasyonun Olumlu Etkileri

Radyasyon bir moleküle isabet edince; onun, ilk ve önemli etkisi molekülün dış yüzündeki elektronları saptırmasıdır. Bu etki, fizik tanımı ile, molekülü iyonlaştırma faaliyetidir. Bu faaliyet havada ilk etkisini yaparak havayı iyonlar. İyonlanmış hava elektriksel bir nitelik kazanır. Elektriklenme havayı ılımlı bir dengeye ulaştırırsa sakınca doğmaz. Fazla olursa, bir tarz lodos etkisi yapar; yani baş ağrısı, sinirlilik gibi. Bu etkiyi çok masum radyasyonlarda örneğin çok yakından televizyon seyretmede bile fark edebiliriz. Röntgen laboratuvarlarında bu etki şüphesiz daha fazladır. Havadaki bu iyonlaşma, zararsız sınırdaki çok hafif radyasyonun sonucudur (Dörter Keskin 1998, Göksel 1973).

Asıl radyasyonun biyolojik etkisi ise hücrenin canlı hayatına müdahalesidir. Radyasyon, hücre ve dokulardaki iyonlaşmayı, su üzerinde meydana getirince, dolaylı bir kimyasal işlemle dokularda oksijeni artırır. Dokularda oksijen artması masum dozlarda olunca, hücre faaliyetlerinde hızlanma meydana gelir. Oksijen artması belli sınırları geçerse olay tersine döner. Hücre çevresindeki enzimler fazla oksijen nedeniyle faaliyetten yoksun kalır. Hücrede ölüme kadar giden hadiseler meydana gelir.

Uygulamada kaplıcaların bütün kronik hastalıklara iyi gelmesi, hücre çevresinde ılımlı oksijen birikimi yaparak canlandırma etkisine dayanır.

Aşırı radyasyonun, yakıcı etkisi dahil, tüm olumsuz yanları ise artan oksidasyonun kötü tesirini temsil eder.

Radyasyonun ikinci biyolojik etkisi DNA helezonları üzerindedir. Hayatın temel program üniteleri olan DNA molekülleri, hücre içinde helezon şeklinde geometrik dizileri temsil eder. Bu tertip çok nazik bir elektromanyetik dengedir. Çok sert ve devamlı ışınlar bu helezonları kopartır. Eğer kopma ciddi bir bölgeden, ise hücre ölür. Fakat daha tehlikelisi, bu helezonların ölüm getirmeyen yaralar almasıdır. Bu kez sakat hücre motifi ortaya çıkar (Dörter Keskin 1998, Göksel 1973).

Kanser tedavisinde hücreleri öldürecek şiddette radyasyon kullanılır. Bazı bilim adamları, kaplıca tedavilerinde, hasta ve yıpranmış hücrelerin ölümünü de ışının olumlu etkisi saymaktadır.

Özellikle sertleşmiş, kireçlenmiş hücrelerin (kronik romatizma) radyasyonun hafif etkisiyle kaplıcalarda iyileşmesi, ışınların iyonlaştırıcı etkisiyle birlikte yıpranmış hücrelerin ölmesi esasına dayanmaktadır. Bu verdiğimiz kaba bilgilere rağmen tabiatta çeşitli doğal radyoaktivitenin hayata verdiği canlılık henüz tam çözüme kavuşmuş değildir.

Son yapılan araştırmalar, mikropların radyasyona çok dayanıklı, yine bitkilerin bu etkiye aynı şekilde dayanıklı olduklarını göstermektedir.

Radyasyonun olumsuz etkileri, konuya çok daha önemli izahlar getirecektir. Radyasyonun olumlu etkilerine son verirken önemli bir noktaya değinmek istiyorum: Güneşten gelen ultraviyole ışınlarında fizik anlamda bir radyasyon olduğu halde, biz pratik anlamda radyasyonu incelerken hep gama ışınını söz konusu ediyoruz. İşte, ultraviyoleyi, bu nüans içinde bölerek tanıtmak isterim. Güneşin bize kadar ulaşan ultraviyolesi ılımlı miktarda olunca, hormon salgılarını güçlendirir; vitaminleri, enzimlere bağlar (kemik sağlığı) ve dolayısıyla hayatı güçlendirir.

İşte kaplıcaların etkisi de ultraviyolenin bu olumlu hücrelerini daha güçlü olarak kabul etmektedir. Ultraviyolenin önemli bir etkisi de mikropları öldürmesidir. Mikroplar radyasyona dayanıklı olmasına rağmen, ultraviyoleye dayanıksızdır (Dörter Keskin 1998, Göksel 1973).

3.2. Radyasyonun Olumsuz Etkileri

Radyasyonun olumsuz etkileri deyince iki önemli faktörü çok iyi bilmeliyiz. Radyasyonun etkisinin zararlı olması iki şarta bağlıdır:

- 1-Işının gücü.
- 2-Işının etki süresi.

Bir ışın ne kadar sert ve güçlü olursa olsun, eğer çok kısa süre etki yapmışsa çok tehlikeli olmaz. Aksine gücü çok olmayan bir ışın uzun süre etki yapmışsa çok

tehlikeli olabilir. Tıpkı güneşte kalma olayı gibi, asıl olan süredir. Şimdi bu anahtarın ışığı altında radyasyonun olumsuz etkilerini inceleyelim.

Vücudun her organ ve hücresi ışına karşı aynı hassasiyette değildir. Genel olarak devamlı faaliyet halinde ve de üreme halinde olan hücreler ışına karşı çok duyarlıdır. Bu nedenlerle olumsuz etkiler hep bu faaliyet halindeki kıymetli dokular üzerinedir (Şeker 1997, Şeker 2000).

Radyasyonun en kötü etkisi kemik iliğinedir. Devamlı hücre yapan kemik iliği, ışınlara karşı çok hassastır. Az miktardaki ışın; örneğin güneş ve kaplıca, kemik iliğini aktive edip güçlendirir. Bu yüzden güneş ve kaplıca, kansızlığın en iyi ilacıdır. Fakat radyasyon belli sınırları aşınca ciddi tehlikeler başlar. Işın şiddet ve süresine göre en hafif etki kansızlık ve savunma hücrelerinde güçsüzlüktür. Sonra sıra ilik ile kemik iliğinde "aplazı" dediğimiz iflas olayları meydana gelir ki; sonu ölümdür. Üçüncü bir etki ise kan kanseridir. Kemik iliğinde ağır olmayan olumsuz bir etki, en az bir milyon becquerel gücünde bir kaynağın ortalama süredeki tesirinden doğar. Bu etki kansızlık ve savunma hücreleri güçsüzlüğünün kaynağıdır (Şeker 1997, Şeker 2000).

Genellikle radyasyon sızıntıları, fazla röntgen ışınına maruz kalmak bu tarz etkiler yaratır. Daha ileri radyasyon ise; genelde bir milyar becquerel enerjili radyasyon kemik iliğinde aplaz, yani yok olma meydana getirir; sonuç ölümdür. Bu tarz ışınlanma ancak büyük nükleer kazalarda ve nükleer savaşlarda söz konusudur.

Radyasyonun en bariz etkisi deri üzerinedir. Yanıklarla başlayan etkiler, iyileşmeyen yaralara kadar dramatik şekil bozuklukları bu etkiler arasındadır. Radyasyon daha az miktarda alınınca, derideki yağ bezlerini öldürür ve deri kurur, çeşitli çirkinliklere yol açar. Önemli bir etki de kıllar üzerinedir. Orta derecedeki radyasyon, saçlar başta olmak üzere kılları döker. Işın çoksa bu durumda kıllar yeniden çıkmaz.

Genelde radyasyonun olumsuz etkileri daima çok, çalışan ve gelişmiş hücreler üzerinedir. Bu etkiler, böbreklerde yıkım yaparak ölüm getirebilir. Bağırsakları tahrip ederek ishaller; daha ağır radyasyon da bağırsakların delinmesine kadar gidebilir (Şeker 1997, Şeker 2000).

3.3. Farklı Radyoaktif Çekirdeklerin Biyolojik Etkileri

Belli bir radyoaktif madde, radyasyon gücü açısından "**becquerel**" ile ifade edilir. Bu madde vücutta ne kadar kalıyorsa o kadar ışın emiliyor demektir. Bu da "**rem**" ile ifade edilir (Göksel 1973, Güleç 1995).

Radyoaktif maddenin en önemli tehlikesi vücutta kalma süresindedir. Farklı radyoaktif maddeler vücutta muhtelif sürelerde kalır. Bazı radyoaktif maddeler metal yapıları açısından vücutta temel görev taşırlar. Bunlar İnsan vücudunda 15-20 gün kalır, sonra atılır. Demir ve iyot gibi, bu maddelerin radyoaktif cinsleri de böylece vücutta 15-20 gün kalır.

Bazı radyoaktif maddeler ise vücutta temel görev maddeleri özelliği taşımaz. Bunlar vücuttan genellikle 24 saat içinde atılır. İndium, teknisyum, kripton, sezyum, baryum, cer gibi, bunların da radyoaktif cinsleri vücutta fazla kalmaz hemen atılır.

Daha önce de değindiğimiz gibi bunlar arasında tehlikeli olan kemiklerde tutulan kalsiyum ve stronsiyumdur. Bunlar insan vücudunda çok uzun süre kalır. Elbette radyoaktif cinsler de uzun süre kalacaktır (Göksel 1973, Güleç 1995).

Radyasyon bulaşmalarında bu iki maddenin radyoaktif çekirdekleri suya karışarak büyük tehlike yaratır.

Bir maddeye radyasyon bulaşmışsa bunu değerlendirmenin yolu ne olmalıdır?

1) Radyasyonun becquerel cinsinden şiddeti nedir? Genelde bu şiddet bir milyon becquerel olmadıkça ciddi bir problem ifade etmez.

2) Radyasyonu yapan izotopun cinsi, vücutta kalacağı süre, bilimsel tanımıyla biyolojik ömrü; eğer bir radyasyon kaynağı vücudun temel maddesi olan bir metal çekirdeğinden oluşmuşsa, bu madde uzun süre bizi iç dünyamızdan ışınlayacak demektir. İyot ve demir gibi (Göksel 1973, Güleç 1995, Güneakan Akın 1996).

3) Radyasyon kaynağı olan radyoaktif maddenin yarı ömrü; yani radyasyonun ne kadar süre etkin olduğunu: Meselâ iyotta 8 gün, sezyumda 25 sene gibi.

4) Radyasyon kaynağı olan izotopun bulunduğu buluşma maddesinden bize intikal tarzı ve miktarı: Meselâ fındık söz konusu ise bu miktar kg. başına aynen alınıyor demektir. Aynı zamanda bu maddenin ne kadar süre alınacağı, rem açısından göz önüne alınmalıdır (Göksel 1973, Güleç 1995, Güneakan Akın 1996).

3.4. İyonlaştırıcı Radyasyonların Somatik Etkileri

İyonlaştırıcı radyasyonların somatik etkileri radyasyona maruz kalan kişinin ömür süresi içinde ortaya çıkan etkilerdir. Somatik etkilerin cinsi ve önemi birçok faktörlere bağlı olup bunlar içinde en önemlileri:

- (1) Maruz kalınan toplam radyasyon dozu.
- (2) Radyasyon dozunun alındığı zaman süresi ve
- (3) Radyasyonlara maruz kalan vücut kısmı ve alanı'dır.

Gerçekten radyasyonların bir bütün olarak organizmaya etkileri incelendiği zaman bu etkilerin örneğin insan vücudunun tümünün veya sadece bir kısmının ışınlanmasına bağlı olarak değiştiği görülür. Ayrıca vücudun sadece bir kısmı ışınladığı takdirde bu kısmın vücutta bulunduğu bölgenin ve alanının büyüklüğü, meydana gelecek etkiler bakımından büyük önem taşır. Belirli bir radyasyon dozuna maruz kalan kısım vücudun tümü ise meydana gelecek etki en büyük; aynı doza maruz kalan kısım sadece cildin ve kasların küçük bir hacmi ise etki en küçük olacaktır. Ayrıca radyasyon hasarı için tamir olayı meydana geldiğinden, radyasyon etkisi belirli bir dozun verilmiş süresine bağlıdır. Genel olarak, bir radyasyon dozu uzun bir zaman süresine yayılmış olarak verildiği takdirde, aynı dozun kısa süreli bir tek doz olarak verilmesinden daha az etkin olacaktır (Göksel 1973).

Radyasyon etkileri hakkında bir çok şeyler bilinmesine ve hatta belli bir biyolojik etkiyi meydana getirecek doz seviyeleri esas itibariyle bilinmesine rağmen bu radyasyon seviyelerinin kesinlikle tayin edilmemesi için bir çok neden vardır. Her şeyden önce insanlar çok heterojen bir tür olup, kişilerin diğer bütün uyarıcı etkilere olduğu gibi radyasyona karşı tepkileri de çok değişiktir. İnsanlar üzerinde geniş ölçüde tehlikeli deneyler yapılamayacağı açık olduğuna göre insanlar üzerindeki radyasyon etkilerine ait bütün direkt bilgilerimiz tedavi amacıyla yapılan ışınlamalarla, ya tehlikesiz seviyede veya tehlikesi tam olarak anlaşılmadan önce kontrolsüz olarak maruz kalınan mesleki ışınlamalardan elde edilmiştir. Birinci halde hastalar sağlık bakımından kötü bir durumda, ikinci halde ise alınan doz kesin olarak bilinmeyip, çoğunlukla tahmine dayanır. İyi dozimetri koşulları altında kontrollü

deneyler ancak hayvanlar üzerinde yapılabilir ve bilgilerimizin çoğu bu gibi deneylerden elde edilmektedir (Göksel 1973, Şeker 2000).

Radyasyonun hücre ile etkileşmesi sonucunda kromozomda meydana gelen hasarlar bir takım biyolojik etkilerin oluşmasına yol açarlar. Bu etkiler, bedensel ve kalıtsal etkilerdir. Işınlanan kişinin kendi bedeninde meydana gelebilecek hasarlar bedensel etkiler, kendisinden sonraki nesillerde çıkabilecek hasarlar ise kalıtsal etkiler olarak adlandırılır. Bedensel ve kalıtsal etkiler de erken ve gecikmiş etkiler olarak iki farklı kategoride incelenebilir. Erken etkiler, kısa bir süre içinde ve bir defada yüksek dozlara maruz kalınması sonucunda kısa bir zaman aralığı içerisinde ortaya çıkabilecek hasarlardır. Gecikmiş etkiler ise uzunca bir süre aralıklı olarak düşük dozlara maruz kalınması sonucu ortaya çıkarlar. Erken etkiler akut ışınlanma etkileri, gecikmiş etkiler ise kronik ışınlanma etkileri olarak da adlandırılırlar (Şeker 2000).

3.4.1 Erken etkiler (Akut ışınlanma etkileri)

Vücudun belli bir bölgesi, tamamı veya büyük bir kısmı kısa bir zaman dilimi içerisinde büyük miktarlarda radyasyon dozuna maruz kaldığında ortaya çıkabilecek hasarlar kişiden kişiye değişmekle birlikte genel olarak birkaç gün veya birkaç hafta içerisinde şiddetli hasarlar, hastalıklar ve hatta ölüm meydana gelebilir.

Akut ışınlanmalar olarak adlandırılan bu tip ışınlanmalar, genellikle, bir kaza sonucu meydana gelen istem dışı ışınlanmalardır. Kazaların ana nedeni, radyasyon kaynaklarının kaybedilmesi, çalınması veya başka bir yolla kontrol dışı kalmaları olarak gözlemlenmektedir. İstatistikler, dünya genelinde 1945 ile 1997 yılları arasında, araştırma, tıp, nükleer ve diğer endüstriyel alanlarda radyasyon çalışanlarının yanı sıra halktan kişileri de kapsayan 140'ı ölümcül (28'i Çernobil kurbanı) olmak üzere yüzlerce kişinin yaralandığı 137 radyasyon kazası meydana geldiğini göstermektedir. Radyasyon güvenliği uygulamalarındaki önemli gelişmelere rağmen insanlara zarar verebilecek bu tür kazalar ne yazık ki halen meydana gelebilmektedir (Göksel 1973).

Belirtileri, radyasyon alımını takip eden günler hatta saatler içerisinde ortaya çıkan etkilerdir. Radyasyonun akut dönem etkileri olarak da adlandırılır. Bunlar arasında en erken tanımlananlar kanın şekilli elemanları ile üreme hücrelerinde görülen ve

radasyon alımını takip eden günler içersinde ortaya çıkan değışikliklerdir. Işınlanmanın erken etkisi olarak,kanın şekilli elemanlarından lökositlerde azalma tespit edilirken, periferik yaymada lenfositlerde oranca artış, granüositlerde ise azalma dikkati çekmektedir. Ancak bu tür bir hematolojik depresyonun saptanabilmesi için asgari 25rem(0,25Sv) tüm vücut ışınlaması gerekmektedir. Eritrositlerde ki azalma ise lökositlere oranla daha sonra ortaya çıkmakta ve tespit edildiğinde radasyon hasarının daha ağır olduğunu kanıtlamaktadır (Göksel 1973).

Üreme hücreleri içinde ışınlanmaya en hassas olanı spermatogoniumlardır. Bu hücrelerde radasyona bağlı azalım ekspojürdan sonraki saatler içinde gerçekleşmektedir. 1 Sv (100rem) ani radasyon dozu erkekte sperm,kadında ise yumurta üretimini yavaşlatmakta olup 0,25Sv ani doz seviyesinden itibaren üreme hücrelerindeki değışikler laboratuvar bazında tespit edilebilmektedir. Bu seviyelerdeki ışınlama dozlarında oluşan değışiklikler genellikle kısa bir süre içersinde normale dönerken 4Sv(rem) ve üzerindeki dozlardaki ışınlamalarda kısırlık mutlakdır.

Deri, kan ve üreme hücrelerine nispeten radasyona daha az duyarlıdır. Cilt üzerinde ışınlamaya bağlı gelişen kızarıklıklar şeklinde tanımlanan eriten,radasyona maruz kaldıktan sonra1-3 hafta içersinde ortaya çıkmaktadır. Eritemin ortaya çıkış süresi ve derecesi radasyonun şiddeti ve radasyona maruz kalan alanın genişliğine göre değışiklik göstermektedir. Maruz kalınan radasyon dozu yükseldikçe cildin daha derin tabakalarının etkilenmesine bağlı olarak ülserasyon ve nekrozlar gelişmektedir.

3.4.2 Gecikmiş etkiler (Kronik ışınlanma etkileri)

Akut ışınlanma etkileri her ne kadar yukarıda anlatıldığı gibi ürkütücü gözükse de bunlara neden olan ve genellikle bir kaza sonucu meydana gelen yüksek dozlu ışınlanmaların nadiren görülmesi sevindiricidir. Radasyona en fazla maruz kalan kişiler olan radasyon çalışanlarının kontrollü olarak aldıkları düşük dozların bu tür etkileri yoktur. Ancak, bu kişilerin uzunca bir süre içinde aralıklı olarak düşük dozlara maruz kalması yani kronik olarak ışınlanması sonucu meydana gelebilecek etkiler yıllar sonra ortaya çıkabilir. Bunun sebebi ise, doz düşük dahi olsa tekrarlanan ışınlamalarda organizmanın bir sonraki ışınlamaya kadar hasarı onaramaması ve hasarın gittikçe artmasıdır (Daşdağ 1990, Algüneş 2002).

Kronik olarak ışınlanan kişilerde, yıllar sonra, katarakt ve kanser vakaları görülebileceği gibi doğal ömür sürelerinde de bir kısalma söz konusu olabilir. Ayrıca, bu kişilerin kendilerinden sonraki nesillerinde kalıtsal bozukluklara rastlanabilir. Göz merceğinin, uzun yıllar boyunca yıllık olarak 0.1 Sv'in üzerinde bir doza maruz kalması gözde fark edilebilir bir opasite (saydamlık kaybı) oluşumuna neden olabilirken bu doz 0.15 Sv'in üzerine çıktığında katarakt meydana gelebilir.

Hayvanlar üzerinde yapılan deneyler, radyasyonun yaşlanmayı hızlandığını ve buna bağlı olarak da doğal yaşam süresinde belli bir kısalmanın söz konusu olabileceğini ortaya koymaktadır. Bu deney sonuçlarının insanlara ekstrapole edilmesiyle yapılan çalışmalar, bu etkinin insanlar için de doğru olduğunu göstermektedir (Göksel 1973).

Birçok bilim adamı, ne kadar az olduğunu önemsemeksizin, radyasyon ışınlamalarının kanser riski taşıdığını kabul eder. Bir kişi kansere yakalandıktan sonra bunun nedeninin ne olduğunu anlamak bugün için imkansızdır. Radyasyonun sebep olduğu kanseri, başka bir etmenin sebep olduğu kanserden ayırt etmek mümkün değildir. Bu yüzden, radyasyonun sebep olduğu kanserle ilgili çalışmalar, ortalama doğal radyasyon seviyesinden çok daha fazla bir doza maruz kaldıkları tespit edilmiş kanserli hasta grupları üzerinde sürdürülmektedir. Kişisel olarak maruz kaldıkları dozlar aşağı yukarı tahmin edilebilen bu gruplardan elde edilen verilerle bir risk tahmini yapmak mümkün olabilmektedir. Sözü edilen bu gruplar, atom bombasından sağ kalanları, tıbbi ışınlamaya maruz kalan hastaları, mesleği gereği ışınlananları, çevreye yayılan atıklardan etkilenenleri ve çok yüksek rakımlarda yaşayanları kapsamaktadır (Daşdağ 1990, Algüneş 2002).

Vücudun bazı bölgeleri diğerlerine nazaran daha meyilli olsa da, radyasyon hemen hemen her doku ve organda kansere yol açabilir. Atom bombasından sağ kalanlar üzerinde yapılan ortalama ömür çalışmaları mide, kalın bağırsak, karaciğer, akciğer, göğüs, dişi üreme bezi ve mesane kanserleri kadar tüm katı tümörler için de radyasyonun istatistiki olarak kayda değer etkilerini ortaya koyarak kanser vakaları ile ölüm oranlarının benzer olduğunu göstermektedir. Vaka verileri, aynı zamanda, iyi huylu deri ve tiroid kanserleri için de aşırı radyasyon riskleriyle ilgili bazı kanıtlar sunmaktadır. Bu çalışmada rektum, safra kesesi, pankreas, gırtlak, rahim, prostat bezi, böbrek veya böbrek pelvisi kanserleriyle ilgili vaka veya ölüm oranları için

istatistiki olarak kayda değer riskler görülmemektedir. Çalışmada, bir çok lösemi çeşidi için radyasyon ilişkisi dikkat çekmektedir.

Cinsiyetten dolayı tümör oluşum riskindeki farklılıklar çok büyük olmasa ve vücut bölgelerine göre değişse de tümörlerin çoğu için mutlak risk kadınlarda erkeklerden daha yüksektir. Işınlanma yaşı daha genç olan kişilerin kansere yakalanma riskleri kendilerinden yaşlılara göre daha yüksektir. Yine de bu risk vücut bölgesine göre değişiklikler gösterir (Daşdağ 1990, Algüneş 2002).

Birleşmiş Milletlerin radyasyonun etkileriyle ilgili çalışmalar yapan bir kuruluşu olan United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileriyle ilgili mevcut verilere dayanarak radyasyon kaynaklı kanser için bazı risk tahminleri üretmiştir. Bu tahminlere göre, 1 Sv'lik (düşük LET değerli) akut doza maruz kalmış her yaştan ve her cinsiyetten insanların oluşturduğu bir grup için, kanserden dolayı ölüm riskinin erkeklerde %9 kadınlarda %13 olduğu öne sürülmektedir. Kronik ışınlanmalar için bu tahminler, %50 oranında azaltılabilmektedir. Işınlanan çocuklar için kanser riski, tüm yaşlarda ışınlananlar için yapılan tahminlerin iki katıdır. Lösemi için yaşam boyu risk tahminleri daha az değişkendir. 1 Sv'lik akut doz sonrası her iki cinsiyet için lösemiden dolayı ölüm riski %1 olarak alınabilmektedir. Akut dozlarda, 1 Sv'ten 0.1 Sv'e 10 katlık bir azalma riskte 20 katlık bir azalmaya neden olmaktadır. Çocuklarda özel öneme sahip radyasyon kaynaklı bir kanser türü de tiroid bezi kanseridir. Işınlanma yaşının artmasıyla tiroid kanserine yakalanma riskinin azaldığına dair güçlü bulgular vardır, ve 15 yaşın altındaki çocuklar için bu risk yetişkinlere göre çok daha fazladır. Çocuk grupları arasında, 0-5 yaşındakiler 10-14 yaşındakilere göre 5 kat daha duyarlıdır (Daşdağ 1990, Algüneş 2002).

3.5. Radyoaktif Maddelerin Etkileri

Dış radyasyon kaynaklarından alınan radyasyon dozları dışında insan vücudunun bütünü veya bir kısmı inhalasyon veya ciltteki açık yaralar ve bereler yoluyla vücuda girerek kan dolaşımına karışan radyonüklidler tarafından içten ışınlanabilir. Bu radyonüklidler, vücut sıvılarından çözünebildikleri takdirde

absorblanarak izotopu oldukları kimyasal elemanın vücutta izlediği metabolik yola benzer bir yol izleyeceklerdir, örneğin trityum (H-3), oksit yani trityumlu su halinde vücuda girecek olursa vücuttaki su ile karışarak hızla bütün vücuda dağılır. Na-24 radyoizotopu da sodyumun kendisi vücutta hemen hemen bütün dokuların bileşiminde bulunduğundan hızla vücuda yayılacaktır. Bu çeşit radyoaktif maddeler, dış radyasyon kaynakları gibi bütün vücudu ışınlarlar. Aradaki fark, dış radyasyon kaynağından uzaklaşmak suretiyle vücudun ışınlanmasını önlemenin mümkün olmasına karşıt, iç kaynakların vücudu ışınlanmasını önlemenin böyle bir yoldan mümkün olamayışındadır. İç ışınlama ya radyoaktif maddenin bozulma yoluyla önemsiz bir miktara inmesi veya metabolik yollardan vücuttan tamamen atılmasına kadar devam edecektir (Oyar 1998, Özden 1990).

Kalsiyum, stronsiyum ve baryum gibi toprak alkali metallerinin radyoaktif izotopları daha selektif olup insan vücuduna girdikleri zaman kemiklere giderek orada yerleşirler. Bunların yayınladıkları beta parçacıklarının kemik dokusu içindeki erişme uzaklıkları fazla olmadığından meydana getirecekleri radyasyon etkileri azalır. Baryum ve plütonyum gibi ağır metaller de kemiklere giderler. Kemiklerde yerleşen radyonüklidlerin biyolojik etkileri hakkındaki bilgilerimizin çoğu, 1. Dünya Savaşı sırasında fosforlu saat minelerini radyumlu boya ile boyayan bir işçi grubunun maruz kaldığı radyasyon hasarından gelmektedir. Bu işçi kızlar saat mineleri üzerindeki fosforlu rakamları boyamak için fırçalarını radyumlu boyaya batırdıktan sonra dudaklarıyla sivriyorlardı. Böylece bir çoğu ağız yoluyla önemli miktarlarda radyum absorblanmışlardı. İşçi kızlardan bir çoğu bu yüzden hastalanarak ölmüştür. Sağ kalan bir kaç kişinin vücutlarında birikmiş radyum miktarı ölçülerek, etkileri incelenebilmiştir (Oyar 1998, Özden 1990).

Diğer bazı radyonüklidler ise vücudun nisbeten küçük bir kısmında lokalize olarak büyük konsantrasyonlar meydana getirebilirler. Örneğin iyot, vücuda alındığı takdirde yaklaşık olarak (%20'si tiroide giderek ağırlığı sadece 20 gram olan bu küçük organda toplanmaktadır. İşte bu toplanmadan yararlanarak tiroid fonksiyonlarının teşhiste iyodun radyoaktif bir izotopu olan I- 131 kullanılır. I-131 ayrıca tiroid hastalıklarını tedavi amacıyla daha yüksek aktivitelere de kullanıldığı gibi diğer bazı organlarda konsantre olabilen bazı radyonüklidler aynı amaçlarla kullanılabilirler.

Vücut sıvılarında çözülmeyen veya az miktarda çözülebilen radyoaktif maddeler ise vücuda girdikleri takdirde akciğerleri ve sindirim organlarını vücuttan atılmaya kadar ışınlayacaklardır. Sindirim organlarının bazı kısımları radyasyonlara karşı oldukça duyarlı olduğundan gerek dış radyasyon kaynaklarından ve gerekse içlerinden geçen radyoaktif maddelerin yayınladıkları ışınlardan etkilenecek harab olabilirler. Radyasyon dozu yeteri kadar büyük ise bağırsak duvarlarının tahribi besin maddelerinin absorblanmasını önleyecek kadar ciddi olabilir (Oyar 1998, Özden 1990).

3.6. Radyasyonların Genetik Etkileri

Orta büyüklükte radyasyon dozları tarafından hücrelerde meydana getirilen kaba değişiklikler dışında çok küçük radyasyon dozlarıyla meydana getirilebilen nispeten küçük değişiklikler vardır ki bunlar hücrenin yaşama ve bölünme olanaklarını etkilemedikleri halde üreme hücreleri bakımından büyük önem taşırlar. Bu etkiler hücreden meydana gelecek olan bireyin özelliklerinden sorumlu olan kromozomlar veya genler üzerindeki değişikliklerdir.

Önceden belirtildiği gibi, üreme hücreleri dışında kalan, insan hücrelerinin her biri 46 kromozom ihtiva eder. Her kromozomda ise binlerce gen olduğu zannedilmektedir. Üreme hücrelerinin her birinde 23 kromozom olduğundan döllenmiş yumurta hücresi (zigot) yarısı babadan ve yarısı anadan gelmek üzere yine 46 kromozom taşıyacaktır. Gerek genlerin kişisel tabiatları ve gerekse kromozom içindeki düzenlenişlerinin ana ve babadan geçen özellikler (karakteristikler) üzerinde etkileri vardır. Aralarında radyasyonun da bulunduğu çeşitli etkenlerin etkisi altında bu genlerden birinin yapısı değiştirilebilir veya kromozom ipliği bir veya daha fazla yerde kırılabilir. Birinci durumda gen'de yani hücrenin genetik materyalini oluşturan moleküllerde bir değişiklik meydana gelir ki buna “gen mutasyonu” adı verilir. İkinci durumda ise üç ayrı sonuç meydana gelebilir (Güngör 1991, Önen 1993):

(1) Kırılan kromozom parçaları kırılmadan önceki şekilde yeniden birleşecek ve hiç bir değişiklik görülmeyecektir;

(2) Kırılan parçalar yeniden birleşemeyecek ve hücre ölecektir;

(3) Kırılan kromozom parçaları aslında olduğundan başka bir şekilde birleşerek “yeni bir kromozom düzenlemesi” meydana getireceklerdir. Hücre yaşadığı sürece meydana gelmiş olan herhangi bir mutasyon veya kromozom yeniden düzenlenerek bölünme yoluyla yavru hücrelere geçecek ve bütün yeni kuşaklar, değişikliğe uğramış hücrenin tamamen aynı birer kopyası olacaktır

Gerek kromozom kırılması ve gerekse mutasyonun, son derece küçük bir radyasyon dozu ve belki yerine isabet ettiği takdirde bir tek foton tarafından meydana getirilebileceği muhtemel gözükmemektedir. Bununla birlikte böyle bir olayın meydana geliş ihtimali alınan doza bağlı olup, deneyle doğrulanabilen sınırlar içinde, alınan toplam radyasyon dozu ve ışınlanan hücrelerin sayısı ile doğru orantılı olduğu anlaşılmaktadır. Mutasyonlar için radyasyon dozunun bir defada veya birden fazla dozlar halinde, uzun veya kısa bir zaman süresinde verilmesi ve hatta çok veya az sayıda bireyler üzerine yayılmasının bu orantıyı etkilemediği görülmüştür. Bir mutasyonun meydana geliş ihtimali belirleyen faktör sadece hücrenin aldığı toplam radyasyon dozudur (Güngör 1991, Önen 1993).

3.7. Radyasyonların İnsanlar Üzerindeki Genetik Etkileri

Genetik, bir türün üremesine neden olan etkileri inceleyen bilim dalıdır, insanların saç ve göz rengi gibi ana ve babalarından aldıkları özellikler genler tarafından kontrol edilir. Genler, her çiftin belirli bir özellik meydana getirdiği çiftler halinde bulunur. Meiosis denilen özel hücre bölünmesiyle erkek ve kadınlarda oluşan sperm ve ovum (yumurta hücresi) ana hücrelerindeki gen sayısının sadece yarısını ihtiva eder. Döllenmede spermin genleri ile ovumun genleri, meydana gelecek yavrunun özelliklerini belirleyecek gen çiftleri halinde birleşirler.

Gen çiftlerinin çoğunda, bir gen belirli bir özelliği belirlemekte diğerine hakim olur. Buna tipik bir örnek göz rengini belirleyen genlerin birleşmesidir. Anne ve babanın birinden koyu renkli göz meydana getiren bir gen ile diğerinden mavi göz rengi meydana getiren bir genin birleşmesi hemen hemen her zaman koyu göz renkli bir çocuk doğması sonucunu verir. Çünkü koyu göz rengi gen'i dominant (hakim), mavi göz rengi gen'i ise resesif (çekingen) dir (Güngör 1991, Önen 1993).

Radyasyon, genleri, gerek dominant ve gerekse resesif özellikleri anne ve babalarınınkinden değişik olacak şekilde etkileyebilir. Meydana gelen değişiklik ilk kuşakta (jenerasyon'da) ortaya çıkıyorsa, bu genel olarak dominant bir gendeki mutasyondan ileri gelir. Resesif genlerde meydana gelen mutasyonlar, biri anneden diğeri babadan gelmek üzere, çiftler halinde birleşinceye kadar gizli kalırlar. Mutasyonların çoğunluğu resesif genlerde meydana geldiğinden, ilk kuşakta ortaya çıkmaları ihtimali azdır.

Meydana gelen mutasyonların %99 kadarı istenmeyen değişikliklerdir. İnsanlarda çocuk düşümü, ölü doğum veya anormalliklere sebep olurlar. Mutasyonlar bir insanda normal olarak % 2 oranında meydana gelmektedir. Böylece her yeni doğan çocuğun yeni bir mutasyon taşıması ihtimali 1/50'dir. Kronik veya akut olarak 20 röntgenlik bir radyasyon dozu bu ihtimaliyeti % 2.5'a ve takriben 80 röntgenlik bir doz ise %4'e yani normal mutasyon oranının iki katına çıkarır.

Radyasyonlar kromozom mutasyonları da meydana getirir. Kromozomlar genlerden meydana gelen zincirler olup, radyasyon etkisiyle bu zincir bir veya daha fazla yerinden kırılabilir. Kırılan kromozom parçaları, büyük gen gruplarının yer değiştirmesine sebep olacak bir şekilde yeniden birleşebilirler. Normal kromozomların, radyasyon etkisiyle değişikliğe uğramış kromozomlarla çift teşkil etmesi ihtimali az olduğundan döllenmiş yumurta bölünmeyecek ve döl meydana gelmeyecektir. Üreme organlarının ışınlanması ile bir çocuğa hamile kalınması arasında en az 8 aylık bir süre bulunmalıdır. Bu süre, ışınlanmadan sonra mevcut gen mutasyonlarından, nispeten daha az sayıda mutasyonu ihtiva eden yeni cinsiyet hücrelerinin oluşumuna fırsat verecektir (Güngör 1991, Önen 1993).

4. RADYASYONUN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Radyasyonun insan sağlığı üzerinde yaratabileceği zararlı etkiler uzun zamandır bilinmektedir. Bu etkiler radyasyon yanıkları, radyasyon hastalıkları, doğal ömür süresinin kısalması, kanser ve kalıtsal bozukluklardır. Hatta, çok büyük miktarlarda radyasyon dozuna maruz kalınması halinde ani ölümlere bile rastlamak mümkündür.

Bilim adamları 70 yıldan fazla bir süredir, radyasyonun bu tip etkileri üzerinde çalışmaktadır. Tıbbi ve endüstriyel uygulamalardan, radyasyon kazalarından ve Hiroşima ile Nagazaki'ye atılan atom bombalarından maruz kalınan radyasyonun etkileri aralıksız bir şekilde araştırılmaktadır. Bunların yanısıra, denek olarak kullanılan hayvanlar üzerindeki radyasyon etkileriyle ilgili çalışmalar da devam etmektedir. Radyasyon yanığı olaylarına ilk kez, 1895 yılında Röntgen'in X ışınını bulduğunu açıkladığı ilk ay içerisinde rastlanmaya başlanmıştır. Doğal radyoaktiviteyle çalışan ilk araştırmacılarda da bu tür etkiler görülmüştür. Örneğin Becquerel, cebinde taşıdığı bir radyum numunesiyle kendi kendini yakmış, Marie ve Pierre Curie radyumla yaptıkları çalışmalar esnasında ciddi şekilde cilt yanıklarına maruz kalmışlardır. Bu çalışmaların başlamasını takip eden iki üç yıl içerisinde ise radyasyondan korunmak gerektiği artık yaygın bir şekilde anlaşılmıştır. Bu konuda uyarılan radyasyon çalışanlarının bazıları gerekli önlemleri almışlarsa da önlem almayanlar da olmuş ve sonuç olarak da bu kişiler ciddi radyasyon yanıklarına maruz kalmışlardır (Göksel 1973, Şeker 1997).

1905 yılına gelindiğinde artık aşırı derecede radyasyon dozunun kansere de neden olduğu bir çok tıp dergisinde yayımlanan onlarca bilimsel makaleyle ispatlanmaya başlanmıştır. O tarihlerde elleri defalarca radyasyona maruz kalan bir çok işçi ölümcül deri kanserine yakalanmış, kanserin yayılmasını önlemek için 100'den fazla kişinin organları kesilmiş ve bir çok radyolog ise bu tip deri kanserinden ölmüştür. Bay ve bayan Curie'lerin her ikisinin ölümlerine, belki de radyasyonun sebep olduğu, kan kanseri neden olmuştur.

1920'lerin sonuna gelindiğinde, böcekler üzerinde yapılan araştırma sonuçları radyasyonun genetik bozukluklara da neden olduğunu ortaya koymaktaydı. Bu gerçeği ortaya çıkaran Herman Müller daha sonra Nobel barış ödülü kazanmıştır.

Radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileriyle ilgili olarak son yüz yıldır yapılan sayısız araştırmalar sonucunda, her ne kadar yüksek şiddetli ışınlanmaların yaratabileceği hasarlar hakkında önemli bilgilere ulaşılabilmif olunsa da düşük şiddetli ışınlanmalar için aynı Őeyi söylemek ne yazık ki Şu an için pek mümkün görünmemektedir (Göksel 1973, Şeker 2000).

İnsan vücudundaki çeşitli doku ve organları meydana getiren hücreler Őekilleri ve özellikleri bakımından birbirinden farklı oldukları gibi radyasyon etkilerine karşı gösterdikleri tepkiler de farklıdır. Hücrelerin radyasyon etkilerine karşı duyarlılık yani radyosensitiviteleri bakımından bu farklar Bergonie ve Tribondeau kanunu ile ifade olunabilir. Bu kanuna göre: « bir dokunun radyasyon duyarlığı (radyosensitivitesi) çoğalma kabiliyeti ile doğru, farklılaşma derecesi ile ters orantılıdır» Başka bir deyişle «çoğalma bakımından en aktif hücreler ile tam olarak olgunlaşmamış hücreler radyasyon etkilerinden en fazla zarar göreceklerdir» Bergonie-Tribondeau kanunu 1906 yılında formüle edilmiştir. O zamandan beri bu alanda yapılan araştırmalar radyosensitivite üzerinde aşağıdaki faktörlerin de önemli olduğunu ortaya çıkmıştır(Göksel 1973, Şeker 2000).:

(1) Hücre bölünmesinin içinde bulunduğu safha: Hücreler bölünmelerinin bazı safhalarında radyasyonlara karşı çok daha duyarlıdır.

(2) Hücre aktivitesi: Bir hücrenin metabolik aktivitesi fazla olduğu oranda radyasyon etkilerine karşı direnci azalmaktadır. Kan yapan dokular ve gonadiar gibi bağımsız hücreler meydana getiren dokularda hem aktif hem de istirahat halinde hücreler bulunur. İstirahat halindeki hücreler, radyasyon etkilerine karşı aktif hücrelerden daha az duyarlı olup ışınlanmadan sonra çoğalma kabiliyetlerini korurlar (Göksel 1973, Şeker 1997).

(3) Hücrenin kan ve besin ikmali: Genel olarak az beslenen hücrelerin radyasyon duyarlığı daha azdır.

Bütün bu faktörlerin göz önüne alınmasıyla hücreler azalan radyasyon duyarlığı sırasında olmak üzere aşağıdaki gibi sıralanabilir:

(1) Lenfositler: Dalak, lenf bezleri, v.b. gibi lenfatik dokular tarafından yapılan beyaz kan hücreleri olup çoğunlukla radyasyon hasarının bir göstergesi olarak kullanılırlar.

(2) Granülositler: Kemik iliğinden türeyen beyaz kan hücreleri olup vücudu bakteri enfeksiyonuna karşı korurlar.

(3) Bazal Hücreler: Gonadiar, kemik iliği, cilt, sindirim yolu hücreleri gibi daha karmaşık ve özelleşmiş hücrelerin atalarıdır.

(4) Akciğer Alveol hücreleri: Havadan oksijeni absorblayıp, kandaki karbon dioksiti serbest hale geçiren hücrelerdir.

(5) Safra Kanalı Hücreleri

(6) Böbreklerin Tübül Hücreleri

(7) Endotel Hücreleri: Kalp ve kan damarları gibi vücudun kapalı boşluklarının iç yüzeylerini kaplayan hücrelerdir.

(8) Bağ Dokusu Hücreleri: Vücut organlarını ve diğer özel dokuları taşıyan dokuların yapıldığı hücrelerdir.

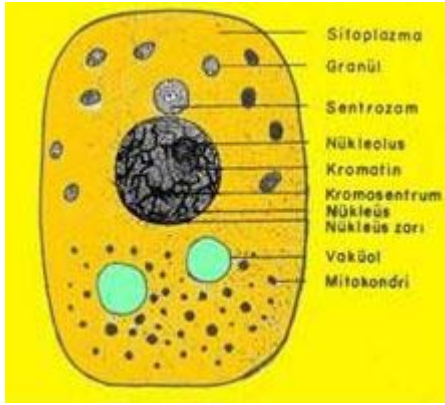
(9) Kas Hücreleri

(10) Kemik Hücreleri

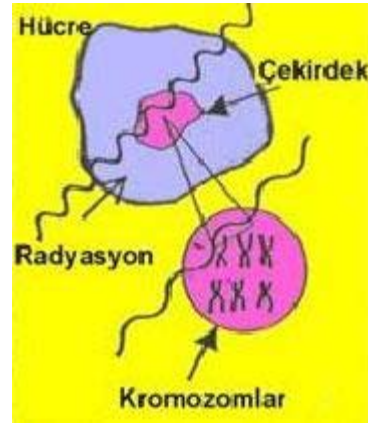
(11) Sinir hücreleri

4.1. Radyasyonun Hücre ile Etkileşmesi

Bilindiği gibi, tüm canlılar organlardan, organlar dokulardan ve dokularda biyolojik sistemin temel yapı taşı olan “hücre”lerden meydana gelir. Hücre, kabaca, bir çekirdek, bu çekirdeği çevreleyen jelsi yapıdaki stoplazma ve en dışta bunları saran bir zardan oluşur. Çekirdeğin içerisinde hücre davranışlarıyla ilgili şifre bilgileri içeren ve görevi bunları bir sonraki nesillere değiştirmeden taşımak olan “kromozom”lar bulunur. Kromozomlar ise histon denilen proteinler ile DNA zincirlerinden oluşur. Hücrenin yapı ve işlevleri DNA tarafından kontrol edilir (Daşdağ 1990, Güngör 1991).



Şekil 4.1 Hücre



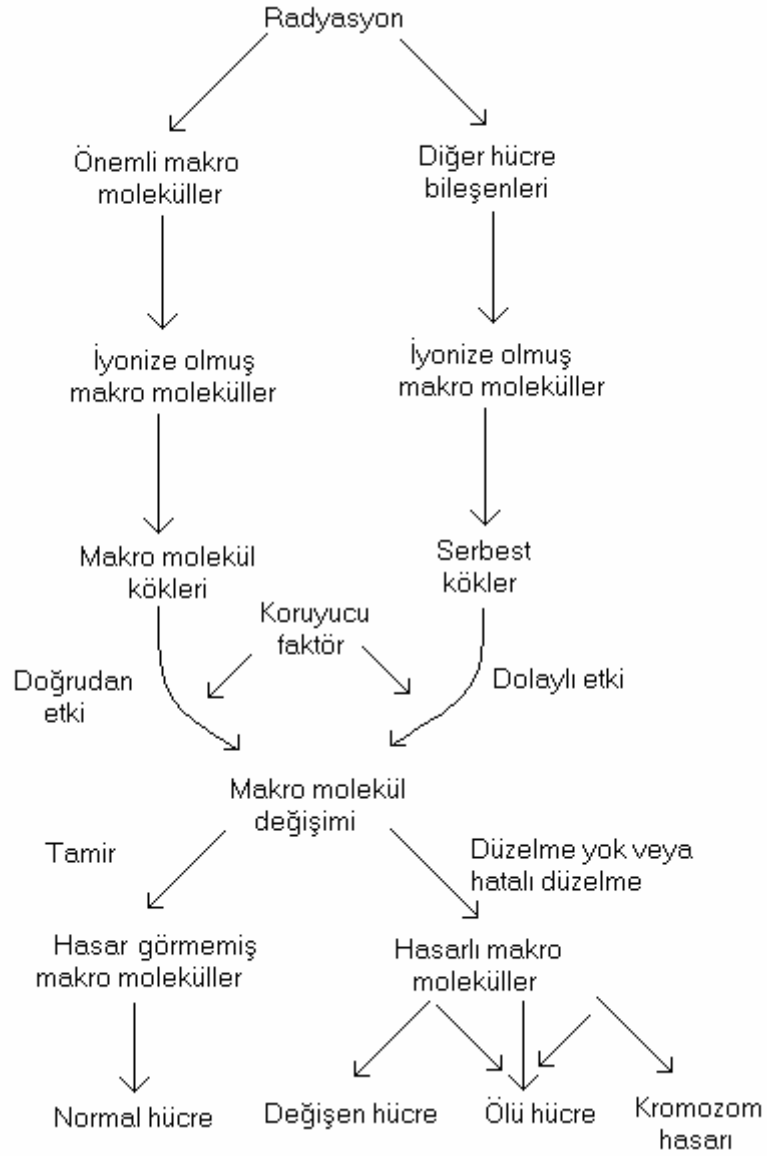
Şekil 4.2 Radyasyon Hücre Etkileşmesi

İyonlaştırıcı radyasyonun bir canlıda biyolojik bir hasar yaratabilmesi için radyasyon enerjisinin hücre tarafından soğurulması gerekir. Bu soğurma sonucu hedef moleküllerde iyonlaşma ve uyarılmalar meydana gelir. Daha sonra ortaya çıkabilecek biyolojik hasarların başlatıcı olayları olan bu iyonlaşmalar, hücrenin genetik bilgilerini taşıyan DNA zincirlerinde kırılmalara ve hücre içerisinde kimyasal toksinlerin üremesine neden olabilir. Kırılmaların hemen ardından bir onarım faaliyeti başlar. Hasar çok büyük değilse DNA da meydana gelen kırılmalar onarılabilir. Ancak bu onarım esnasında da hatalar oluşabilir, yanlış şifre ve bilgiler içeren kromozomlar meydana gelebilir (Daşdağ 1990, Güngör 1991).

4.2. İyonlaştırıcı Radyasyonların Hücre Üzerindeki Etkisi

Radyasyonlar canlı vücudunu hava akımlarıyla, beslenmeyle veya absorpsiyonla etkileyebilir. Bünyede, radyasyonlar normal hücre faaliyetlerine son derece ciddi zararlar verir. Radyasyonların hücrelere verdiği zararlar.

1. Fiziksel
2. Kimyasal
3. Metabolik



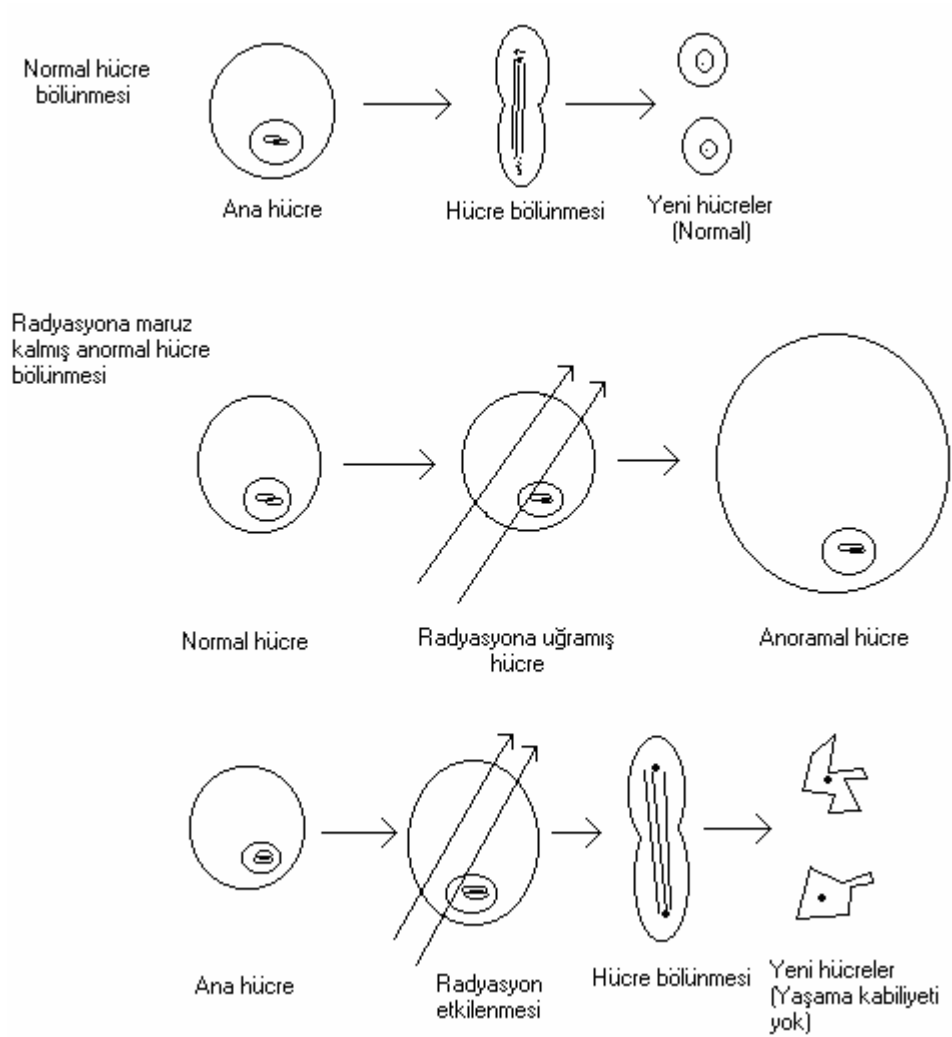
Şekil 4.3. Hücrelerde Radyasyonun Etkisi

Fiziksel kademe, enerji absorpsiyon süreci olarak düşünülür ve çok hızlı gerçekleşir (10^{13} sn).

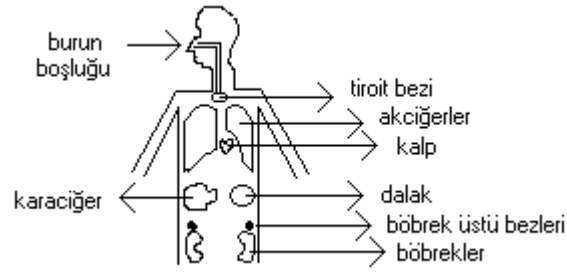
Kimyasal kademe, aktivite olmuş moleküllerin diğerleri ile ve normal hücrelerle reaksiyon periyotlarını içine alır. Saniyenin milyonda biri kadar kısa sürede cereyan eder ve kimyasal denge kuruluncaya kadar devam eder.

Metabolik kademede, hücrelerde biyokimyasal değişme söz konusudur (Daşdağ 1990, Güngör 1991).

Radyasyon, atomların yapısını veya elektrik yükünü değiştirdiğinden, moleküllerin bağ mekanizmaları bozulur. Bu parçalardan yeni ve farklı moleküller meydana gelebilir. Büyüme ve bölünme gibi hücre faaliyetleri enzimler tarafından kontrol edildiğinden, hücre hayatı radyasyondan tamamen etkilenir. Radyasyon hücrelerin erken yada geç bölünmesine veyahut da hiç bölünmemesine sebep olur. Aynı zamanda yeni hücreler normal olmayan büyüme hızına sahip olabilir ve bölünme özelliğini kaybeder.



Şekil 4.4 Normal Ve Radyasyondan Etkilenmiş Hücrelerde Hücre Bölünmesi



Şekil 4.5 İnsan Vücudunun Radyasyona Hassas Bölgeleri

4.3. Organlar ve Dokular Üzerindeki Radyasyon Etkileri

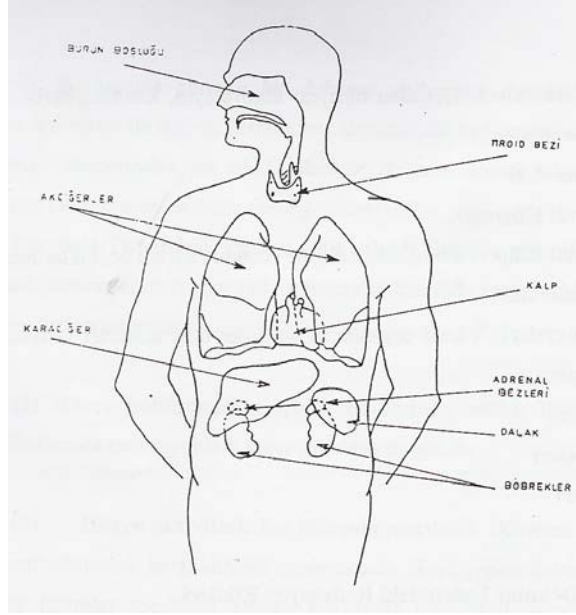
Radyasyon hasarlarına karşı tepkiler, ışınlanan organ ve dokuların radyasyon duyarlılıklarıyla bu organ ve dokuların vücutta gördükleri fonksiyonlara bağlıdır. Beyin dahil olmak üzere bütün sinir dokusu ve kalp dahil bütün kas dokusu genel olarak radyasyona karşı duyarlı değildirler. Bu dokulara öldürücü dozlar verilmesinden sonra ufak hemorajiler (kanamalar) dışında önemli bir etki görülmemiştir (Gençay 1994, Algüneş 2002, Güngör 1991).

Duyarlılar	Daha Duyarlılar	Çok Duyarlılar
Beyin	Cilt	Kemik İliği
Lenf Dokusu	Safra Kesesi	Tiroit Bezi
Karaciğer	Dalak	Akciğer
Pankreas	Böbrek	Göğüs
İnce Bağırsak	Kemik	Mide
Yumurtalık		Kalın Bağırsak

Tablo 4.1 Radyasyona Karşı Organların Duyarlılıkları

Bir doku veya organ üzerindeki radyasyon hasarı dokunun veya organın meydana getirdiği ürünlerin (hormonlar, özel hücreler, enzimler, v.b.) artmasına veya azalmasına, dokunun veya organın büyümesinde aksaklıklara veya ölümüne sebep olabilir. Doku veya organ ürünlerinde meydana gelecek artma veya azalmalar, radyasyona maruz kalmayan diğer doku ve organların faaliyetlerinin artması veya azalmasına sebep olabilir. Büyümedeki aksaklıklar hücre bölünmesini kontrol eden

faktörlerin değişmesinden ileri gelmekte ve tümörlerin oluşmasına sebep olmaktadır. Doku ölümü ise, ışınlama sırasında meydana gelen tamir olunamayan hasardan ileri gelmektedir (Gençay 1994, Algüneş 2002, Güngör 1991).



Şekil 4.6 Çeşitli Organların Vücuttaki Durumları

Radyasyon etkisiyle hasara uğrayan bir doku, eğer tamamen tahrip olmamış ise, ışınlamadan sonra tamir olayı başlayacaktır. Tamir olayı esnasında normal hücre fonksiyonları geçici olarak duracak ve ölen hücreleri yenilemek üzere hücreler hızla çoğalacaklardır. Bu nedenle tamir olayı devam ederken vücudun diğer kısımları vücut için hayati öneme sahip bazı doku ürünlerinden mahrum kalabilirler. Böylece radyasyon hastalığının tedavisinde, özellikle vücudun hayati ihtiyacı olup o sırada vücut tarafından yapılamayan maddelerin sağlanması göz önünde tutulmalıdır. Radyasyonların insan vücudu üzerindeki etkilerinin incelenmesi aşağıdaki sırada olmak üzere organ ve doku gruplarının zarar gördüklerini göstermektedir (Gençay 1994, Algüneş 2002, Güngör 1991).

(Şekil 4.6):

- (1) Kan ve kemik iliği,
- (2) Lenfatik sistem (dalak ve diğer lenfatik dokular),
- (3) Cilt ve kıl folikülleri
- (4) Sindirim yolu,
- (5) Adrenal bezleri,
- (6) Tiroid bezi,
- (7) Akciğerler,
- (8) İdrar yolları,
- (9) Karaciğer ve safra kesesi,
- (10) Kemikler,
- (11) Gözler,
- (12) Üreme organları.

5. NÜKLEER TIP

En basit tanımıyla nükleer tıp hastalıkların tanı ve tedavisinde radyoaktif maddelerin kullanımınıdır.

Halen ülkemizde üniversitelerde, büyük illerin devlet ve sigorta hastaneleri ile bazı özel merkezlerde hizmet veren nükleer tıp bölümlerinde hemen her organ sistemiyle ilgili hastalıklarda fonksiyon (işlev) görüntülemesi yapılmaktadır. Bu merkezlerde yapılan tanısal tetkikler tiroid, kemik, kalp, böbrek ve diğer birçok organın ve hastalığın sintigrafik görüntülenmesi olup aynı zamanda tiroid hastalıkları başta olmak üzere bazı tümör ve enflamatuvar hastalıkların tedavisinde yapılmaktadır. Nükleer tıp tarihçesi 1800'lü yılların başında İngiliz kimyager John Dalton'un atom teorisini ortaya atmasına, Alman Wilhelm Konrad Roentgen'in 1895'de X ışınlarını bulmasına, 1928'de Amerika'da Ernest Lawrence'ın siklotronu yapmasına kadar uzanmaktadır. Nükleer tıp gelişimindeki en önemli adım 1934 yılında Marie Curie'nin yapay radyoaktiviteyi keşfetmesidir. Ancak birçok tarihçi nükleer tıbbın gerçek başlangıcı olarak radyoaktif iyodun toksik guatr (zehirli guatr) tedavisinde kullanılmaya başlandığı 1940'lı yılları göstermektedir (Tuncel 1993, <http://www.marmara-nukleer.com.tr/ntip.php?page=ntip&sp=nedir>).

Halen nükleer tıp görüntülemelerinde en sık kullanılan radyoaktif madde olan teknesyum yapay olarak 1937 yılında üretilmiş, 1965 yılından sonrada ticari üretim, dağıtım ve kullanımı başlamıştır. Takip eden yıllarda karaciğer-dalak, ve beyin görüntülemesinde kullanılan ajanlar bulunarak nükleer tıp günümüze kadar süren hızlı gelişmesine başlamıştır.

Nükleer tıp alanında ilk uzmanlar 1972 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde yetişmeye başlamıştır.

Nükleer Tıp bir organ, doku veya kemikteki fonksiyon bozukluğuna dayanan tıbbi problemin belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Sintigrafi olarak bilinen Nükleer Tıp testleri güvenli ve ağrısızdır.

Nükleer Tıp testinde düşük miktarda radyoaktif madde vücuda enjeksiyon, ağız yolu veya solunum yolu ile verilmektedir. Vücudun değişik bölümleri için değişik radyoaktif izleyiciler kullanılmaktadır. Radyoaktif maddenin miktarı hastanın en düşük radyasyon dozu alacağı şekilde dikkatle seçilir. "GAMMA Kamera" ismi

verilen özel bir alet kullanılarak görüntüler alınır. Kamera, görüntülenen organ içindeki radyoaktif maddeyi görüntüler ve bu bilgileri bir bilgisayar ekranına veya filme kaydeder.

5.1. Nükleer Tıpta Sıklıkla Kullanılan Terminolojik Kavramlar

Sintigrafi: Nükleer tıpta yapılan işleme verilen isimdir,

Radyofarmasötik: Nükleer tıpta hastalara çeşitli yollarla verilebilen (enjeksiyon veya ağızdan) çok düşük miktar radyoaktivite ve buna bağlanan kimyasal ilaçlardan oluşan maddelere denilir.

Planar Yöntem: Nükleer tıpta çekilen filmler eğer tek düzlemde ve 2 yönde çekiliyorsa planar yöntem denir.

SPECT: Filmi alınacak organın çevresinden 180 veya 360 derecelik açı boyunca görüntüler alınır. Çekim sonucunda bilgisayar yardımıyla ham görüntüler işlemden geçirilir. Bu yöntemde çekilen organlar 3 boyutlu olarak incelenir.

PET: Burada kullanılan radyoaktivite pozitron yayan ışınlardır. Diğer kısımları SPECT gibidir (<http://www.marmara-nukleer.com.tr/ntip.php?page=ntip&sp=nedir>).

5.2. Radyasyonun Tıpta Kullanım Alanları

5.2.1. Nörolojik uygulamalar

- Bazı felç hastalıklarında felç tanısının konulmasında
- Bunama tanısında
- Beyin - boyun damar ameliyatlarının değerlendirilmesi için
- Ameliyatı planlanan epilepsi (sara) hastalarında

5.2.2. Onkolojik uygulamalar

- Bazı tümörlerin yerinin gösterilmesi
- Tümörlerin evrenmesi
- Tümörlerde sıçrama olup olmadığının değerlendirilmesi
- Kanseri kemiklerdeki ağrının tedavisi

5.2.3. Ortopedik uygulamalar

- Gizli kırıkların gösterilmesi
- Kemik enfeksiyonları

5.2.4. Böbrek uygulamaları

- İdrar yollarında tıkanıklıkların gösterilmesi
- Böbreklere idrar kaçıışı olup olmadığının araştırılması
- Böbrek enfeksiyonlarının araştırılması

5.2.5. Kalp Uygulamaları

- Koroner arter hastalıklarının tanısı
- By-pass cerrahisi olanların değerlendirilmesi
- Bazı hipertansiyon hastalarında hastalığın nedeninin araştırılması için
- Böbrek transplantasyonlarında hastaların takibi

5.2.6. Akciğer uygulamaları

- Pulmoner emboli (akciğerlerde kan pıhtılaşması) tanısı

5.2.7. Diğer Uygulamalar

- Guatr hastalıkları
- Çeşitli yemek borusu ve mide hastalıkları
- Safra kesesi hastalıkları
- Barsak kanamaları
- Gizli enfeksiyon şüphesi
- Lenf yollarının incelenmesi
- Göz yaşı yollarının incelenmesi
- Tükrük bezlerinin fonksiyonlarının incelenmesi
- Vücuttaki gizli enfeksiyonların araştırılması (http://www.baskent-ank.edu.tr/tani_tedavi_goruntuleme/girisimsel_rad.htm).

6. NÜKLEER TIPTA İNCELEME YÖNTEMLERİ

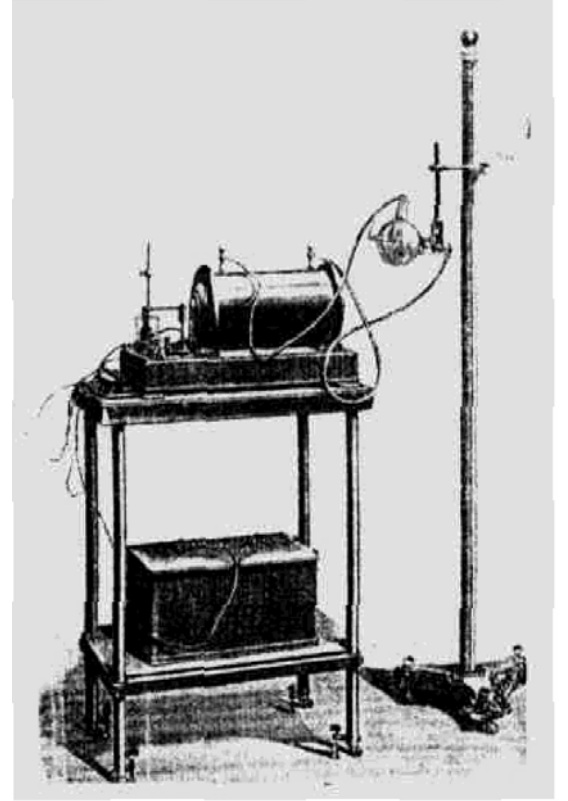
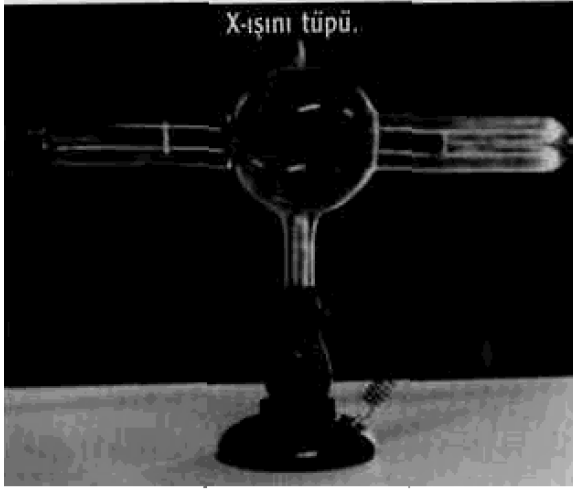
6.1. X - Işını

Günümüz görüntüleme yöntemlerinin temelini oluşturan ve tıp biliminde yeni bir çağ açan x-ışınları. 1895 yılında Alman Fizik Profesörü Wilhelm Conrad Röntgen tarafından keşfedilmiştir. W. C. Röntgen 1845 yılında Almanya'nın Köln şehri yakınlarındaki Remscheid'te doğmuştur. Yirmi yaşında Zürih'teki Eidgenössische Teknik Yüksek Okulu'na kabul edilmiş, burada termodinamiğin babası sayılan Clausius ve Prof. Kundt'un fizik derslerine katılmıştır. 1868 yılında bu okuldan Makine Mühendisliği diploması alan Röntgen, 1874'te Strasbourg Kalser Wilhelm Üniversitesi'ne geçerek Doçent, 1879'da ise Glessen Hessian Üniversitesi'ne atanarak Fizik Profesörü olmuştur. 1888 yılında Würzburg Üniversitesi'ne geçen Röntgen, x-ışınlarını 8 Kasım 1895'te bu Üniversitede çalışırken bulmuştur. O tarihte Röntgen; bir Crooks tüpünü indüksiyon bobinine bağlayarak, tüpten yüksek gerilimli elektrik akımı geçirdiğinde, tüpten oldukça uzakta durmakta olan cam bir kavanoz içindeki baryumlu platinsiyanür kristallerinde bir takım pırıltıların oluştuğunu gözlemiş; bu tür pırıltılara neden olan ışınlar, o ana kadar bilinmemesinden dolayı "**X-ışınları**" adını vermiştir. Tüpten yüksek gerilimli akım geçirildiğinde karşısındaki ekranda parıldamalar oluşturan ışınların değişik cisimleri, farklı derecelerde geçebildiği, kurşun plaklar tarafından ise tutulduğunu gözleyen Röntgen, eliyle tuttuğu kurşun levhaların ekrandaki gölgesini incelerken kendi parmak kemiklerinin gölgelerini de fark etti. Bu olay üzerine, içinde fotoğraf plağı bulunan bir kasetin üzerine karısının elini yerleştirerek parmak kemiklerinin ve yüzüğünün görüntüsünü elde etmiştir. Röntgen, tespitlerini ve bu yöntemle elde ettiği görüntüleri ilk olarak 28 Aralık 1895'te Würzburg Fiziksel Tıp Derneği'nde sunmuş, bu buluşla birlikte aynı yıl içinde günümüzdekilerle kıyaslanamayacak ölçüde basit ilk röntgen cihazları imal edilmeye başlanmıştır (Algüneş 2002).

1901 yılında ilk kez verilmeye başlanan Nobel Fizik Ödülüne de layık görülen W. C. Röntgen 1923 yılında 78 yaşındayken ölmüştür.

Röntgen'in x-ışınlarını keşfi, bilim çevresinde çok büyük yankılar uyandırırken yeni gelişmelere de önderlik etmiştir.

Bu buluştan çok kısa bir zaman sonra H. Antonie Becquerel x-ışınları üzerinde çalışırken uranyumun radyoaktifliğini; Curie'ler ise radyum elementini keşfederek "Radyoloji" adında yeni bir bilimin doğuşunu gerçekleştirmişlerdir.



Şekil 6.1- 1896 Yılında Kullanılan İlk Röntgen Cihazlarından Biri (Sağ Üste).
Şekil 6.2- X - Işını Tüpü (Sol Üstte).
Şekil 6.3- İlk Görüntüleme Örneği (Sol Altta).

6.1.1. X-Işınlarnn Tanıda Kullanımını Sağlayan Özellikleri

X-ışını diyagnostik radyolojide penetrasyon özelliği, fotografik ve fluoresans etkileri nedeniyle kullanılır (Algüneş 2002).

6.1.1.1. Penetrasyon özelliği

Madde ile karşılaşan x-ışınlarından bir kısmı absorbe olur. Geriye kalan bölümü maddeyi geçer (penetrasyon). İnsan vücudu değişik atom ağırlığında ve değişik kalınlıkta dokulardan yapıldığından, x-ışınını değişik oranlarda absorbe eder. Dolayısıyla absorpsiyon formülüne ($Ab=h.\lambda^3 z^4.t.k$) göre penetre olan ışın miktarı da farklı olacaktır.

Sonuçta röntgen filmi üzerine değişik oranlarda ışın düşürerek görüntü ortaya çıkar. Absorpsiyon-penetrasyon farklılıklarına göre bu görüntü, siyahtan (film üzerine gelen ışın fazla) beyaza (film üzerine gelen ışın az) kadar değişen gri tonlardan oluşur (Oyar 1998, Tuncel 1993).

6.1.1.2. Fotografik etkisi

Görülen ışık ve ultraviyolede olduğu gibi X-ışını da fotoğraf filmi üzerindeki Gümüş Bromürü ($AgBr$) etkileyerek görüntü oluşumuna neden olur. Bu özelliğinden yararlanılarak radyografi yapılır (Algüneş 2002).

6.1.1.3. Fluoresans etkisi

X-ışını bazı maddelere çarptığında fluoresan ve fosforesan olayları meydana gelir. Bu olaylar sonucunda ultraviyole ışığı ortaya çıkar. Fluoresan özelliğinden faydalanılarak radyoskopi ve radyografi yapılır. Çinko kadmiyum sülfid kristalleri sürülmüş bir ekran üzerine hastadan geçen X-ışını düşürülürse fluoresan bir görüntü oluşur (radyoskopi). Kalsiyum tungstad kristalleri sürülmüş ekranlara X-ışını düşürülürse ultraviyole yayar. Bu özellikten, radyografide ışının fotografik etkisini arttırmak amacıyla yararlanılır (Algüneş 2002).

6.2. Diyagnostik Radyoloji

Kapsamları ve uygulamaları tümüyle farklı olan tanı ve tedavi, kısa sürede ayrı disiplinler haline gelmiş ve Radyolojinin tanı ile ilgili dalına Diyagnostik Radyoloji, tedavi ile ilgili dalına ise Radyoterapi adı verilmiştir. Kullandıkları enerjilerin benzer fiziksel ve biyolojik etkilere sahip olmaları nedeni ile başlangıçta bir başlık altında toplanmış bu iki dal arasında uygulamada hiçbir ilişki yoktur. Kanser tedavisinin temel yöntemlerinden biri olan radyoterapi, dünyada olduğu gibi ülkemizde de Radyasyon Onkolojisi adı ile ayrı bir anabilim dalıdır. Radyoterapinin Radyasyon Onkolojisi adı altında ayrı bir uzmanlık dalı olmasıyla, Radyoloji sözcüğü artık radyolojinin tanı dalının karşılığı olarak kullanılmaktadır (Oyar 1998, Tuncel 1993).

Diyagnostik radyoloji radyolojinin tanı dalına verilen isimdir. Kapsamı, radyan enerjinin ve radyoaktif maddelerin tanı alanında kullanılmasıdır. Radyodiyagnozis, Radyolojik tanı, Tanısal Radyoloji sözcükleri de aynı anlamı taşır. Temel yöntemi röntgendir. Daha sonra değişik enerji türlerinin kullanıldığı farklı fizik prensiplerine dayanan yöntemler gelişmiştir. Bunlardan günümüzde daha çok Radyonüklid Görüntüleme (RG) adı ile anılan sintigrafi 1950 yılların başında kliniğe giren bir radyolojik tanı yöntemidir. Dünyada çoğunlukla radyolojinin bir alt dalı olarak görev yapan radyonüklid görüntüleme ülkemizde, bazı ülkelerde olduğu gibi Nükleer Tıp adı altında ayrı bir ana bilim dalıdır. Ses dalgalarının kullanıldığı bir tanı yöntemi olan Ultrasonografi (US) ise 1970'li yılların başında yavaş yavaş kliniğe girmeye başlamıştır. X-ışınlarının bilgisayar teknolojisiyle birleşmesiyle radyolojide bir devrim yaşanmış ve 1972 yılında Bilgisayarlı Tomografi (BT) aygıtlarının kliniğe girmesiyle görüntülerin bilgisayarlarla oluşturulduğu yeni bir dönem başlamıştır. Bu dönemin en önemli ürünlerinden biride görüntü oluşturmada radyo frekans enerjisi ve manyetizmanın kullanıldığı Manyetik Rezonans Görüntüleme (MR)'dir. BT ve MR'de görüntüler bilgisayarlarla oluşturulur. US ve RG' de bilgisayarların görüntü oluşturmada önemli işlevleri vardır. Bilgisayar teknolojisinin röntgende kullanılması ile de görüntülerin tümüyle dijital olarak elde edildiği Dijital Röntgen geliştirilmiştir (Oyar 1998, Tuncel 1993, Güleç 1995).

Bu nedenle görüntülerin Gümüş Bromür emilsiyonu sürünmüş röntgen filmleri üzerinde olduğu klasik yöntemimiz olan röntgene, Konvansiyonel röntgen adı da verilir.

Röntgen dışında kalan diyagnostik radyoloji yöntemleri başlangıçta İngilizce 'imaging' sözcüğünün çevrisi olabilecek Görüntüleme başlığı altında toplanmıştır. Görüntüleme, sözcük anlamı olarak organ ve dokuların bir resim şeklinde gösterilmesidir. Bu açıdan bakıldığında röntgenin görüntülemenin temel tanı yöntemi olması gerekir.

Yeni yöntemlerin olağanüstü performanslarına, başlangıç heyecanıyla verilmiş bir ayrıcalık gibi görünen görüntüleme adı, belki dikkati çekmesi yönünden yararlı olmuştur. Gerçekten yeni yöntemler yalnız diyagnostik radyolojinin değil tanının boyutlarını da çarpıcı bir biçimde değiştirmiş ve tıpta yeni ufuklar açmıştır. Ancak tüm bu ilerlemeler röntgenin temel tanı yöntemi olma gerçeğini değiştirmez. Ayrıca yeni yöntemler yüksek veriler taşıyıcılar da diyagnostik radyoloji kurallarına ve birbirlerine sıkı sıkıya bağlıdır; bu nedenle taşıdıkları bilgilerin nitelik ve niceliklerine bakılmaksızın bir bütünü, diyagnostik radyolojiyi, oluşturan temel yöntemler olarak değerlendirmelidirler (Oyar 1998, Tuncel 1993, Güleç 1995).

Geliştirilmiş radyolojik yöntemlerle lezyonların ve ona ulaşacak yolların çok iyi görüntülenmesi ile birlikte, iğne ve kateter teknolojisindeki daha az travmatize edici yöndeki gelişmeler, insan vücuduna tanı ve tedavi amacına dönük bir çok ince cerrahi girişimin uygulandığı yeni bir radyolojik dalın doğmasına yol açtı.

Girişimsel radyoloji adı verilen bu dalda radyolojik yöntemlerin kılavuzluğunda organizmaya tanı amacıyla biyopsi, tedavi amacıyla abse drenajı, damar darlıklarını genişletilmeleri ve embolizasyon gibi uygulamalar yapılır.

Diyagnostik radyoloji yöntemlerinde görüntüler, bir kısmı iyonizan olan, değişik radyan enerjiler aracılığıyla oluşturulur. Bunlardan başka, başlıca memenin incelendiği termografi ve transillüminasyon yöntemlerinde ise sırasıyla kızıl ötesi ve görülebilir bir ışık kullanılır. Bu yöntemler dar kullanım alanları ve tartışmalı diyagnostik değerleri nedeniyle fazla önem taşımazlar (Oyar 1998, Tuncel 1993, Güleç 1995).

Konvansiyonel röntgende hastayı geçen x ışınları doğrudan Gümüş Bromür emülsiyonu taşıyan röntgen filmi üzerine düşülerek fotografik bir görüntü(gümüş bromür görüntüsü) elde edilir. Diğer yöntemlerde ise genellikle bilgisayar yardımı ile katot ışın tüplerinde oluşan görüntülerin fotoğrafları çekilir. Gümüş Bromür görüntüsü analog bu görüntüler ise dijitaldir. Kullanılan radyan enerjinin x-ışını olduğu radyolojik yöntemleri aşağıdaki gibi açıklayabiliriz.

6.2.1. Röntgen

Kullanılan radyan enerji x-ışını (Röntgen ışını)dır. Yöntemde incelenen vücut bölgesinden x-ışını geçirilir. Vücudu geçen X-ışınları geçtikleri bu yapıların atom ağırlıkları, yoğunlukları ve kalınlıklarına göre farklı oranlardadır. Bu farklılıklar konvansiyonel röntgene röntgen filmi ile; dijital röntgende ise röntgen filmi yerine konan dedektörlerle saptanarak görüntü oluşturulur. Bu nedenle konvansiyonel röntgende görüntü analog, diğerinde dijitaldir (Oyar 1998, Tuncel 1993).

İncelenen bölgenin iki boyutlu görüntüsünü veren röntgen, bir projeksiyon yöntemidir. Bu nedenle incelenen bölgedeki oluşumlar üst üste düşerek (Süper pozisyon) değerlendirmeyi zorlaştırır. Konvansiyonel röntgende elde edilen görüntü, zorunlu obje-film mesafesi nedeni ile ortaya çıkan magnifikasyon göz önüne alınmazsa, incelenen bölgenin orijinal boyutundadır. Aynı şekilde bir projeksiyon olayı dijital röntgende ise görüntü bilgisayarlarla oluşturulduğu için istenilen boyutta elde edilebilir. Kullanılan enerjinin vücudu geçerek görüntü oluşturması nedeni ile röntgende temel prensip transmisyondur.

En eski radyolojik tanı yöntemi olan röntgen, temel tanı yöntemi olma özelliğini hala korumaktadır. Doğal kontrastla çevrelenmiş kemikler ve akciğerlerin incelenmesinde olduğu kadar; meme, sindirim borusu ve üriner sistemin incelenmesinde de ilk ve temel tanı yöntemi konumundadır. Röntgen aygıtlarının her yerde bulunabilmesi, göreceli ucuzluğu ve geniş bir alanı kesintisiz görüntüleyerek anatomik oriyantasyonu sağlaması nedeni ile röntgen, hemen her zaman klinikte ilk istenen radyolojik tanı yöntemi olmaktadır.

Röntgenin en önemli uygulama alanlarından birisi anjiyografidir. Bu yöntemle damarlara ait darlık, anevrizma, arteriovenöz, malformasyon gibi anormallikler saptanabildiği gibi anormal damarlanmanın gösterilebilmesi ile malignite tanısı konabilir veya lezyonun damarlanmasına ait operasyonu kolaylaştırıcı bilgiler elde edilebilir.

Dijital röntgenin çözümlene gücü şimdilik konvansiyonel röntgenden yüksek değildir; ancak kontrast rezolüsyonu daha yüksektir. Yöntemin temel kullanımı dijital substraksiyon eklenerek yapılan anjiyografidir (Güleç 1995).

Dijital Subtraksiyon Anjiyografisinde (DSA) İV yolla verilen kontrast madde ile aorta ve ana dalları gösterilebilir. İntraarteriyel şeklinin ise konvansiyonel anjiyografiye göre, küçük kateter ve az kontrast madde kullanılarak hastanın daha az travmatize edilmesi ve daha az ışın alınması gibi üstünlükleri vardır. Röntgen filmini ortadan kaldırması nedeniyle uzun vadede analog anjiyografiden daha ekonomiktir.

Dijital röntgenin en önemli özelliği radyoloji departmanlarının dijitalizasyonu gibi bir olanak yaratmasıdır.

6.2.2. Girişimsel Radyoloji

Yeni radyolojik yöntemlerle lezyonların ve ona ulaşılabilecek yolların çok iyi görüntülenmesi ile birlikte, iğne ve kateter teknolojisindeki gelişmeler, girişimsel radyoloji adı verilen, organizmaya tanı ve tedavi amacıyla ince cerrahi girişimlerin uygulandığı bir bilim dalının doğmasına neden oldu. Girişimsel radyolojide diyagnostik radyoloji yöntemlerinin kılavuzluğunda tanı amacıyla biyopsi; tedavi amacıyla ise dekompresyon, drenaj, taş çıkartılması, dilatasyon ve embolizasyon gibi girişimler yapılır.

Girişimsel radyoloji tıbbın her alanında gittikçe daha yaygın olarak uygulanmaktadır. Yöntem birçok olguda cerrahiye ve dolayısıyla genel anesteziyi ortadan kaldırır. Operasyonun riskli olduğu durumlarda, cerrahinin hastanın genel durumu düzeldikten sonra yapılmasını sağlar. Bir çok olguda kanamayı azaltıp tümör boyutunu küçülterek cerrahiye kolaylaştırır. Yöntemin operasyonu ortadan kaldırması ve hastanın hastanede kalma süresini kısaltması çok önemli ekonomik yararlar sağlar. Bu özellikleri ile girişimsel radyoloji, görüntüleme yöntemlerindeki gelişme

ile birlikte radyolojiye yeni boyutlar kazandırmış ve onu modern tıbbın en hızlı gelişen dalı haline getirmiştir (Oyar 1998, Tuncel 1993).

6.3. İnceleme Yöntemleri

6.3.1. Radyografi

Bu yöntemde hastayı geçen x-ışınları bir röntgen filmi üzerine düşürülerek görüntü elde edilir. Üzerinde görüntü oluşmuş röntgen filmine radyogram veya doğru bir deyimle röntgenogram denir.

Radyografi ya incelenecek bölgeden doğrudan x ışını geçirerek (düz radyografi) veya incelenecek yapının içine veya çevresine kontrast madde verdikten sonra x-ışını geçirerek (kontrastlı radyografi) yapılabilir. Düz radyografi de örnek olarak el, ayak gibi ekstremiteler incelenmeleri görülebilir.

Sindirim borusunun, safra yollarının, üriner sisteminin ve damarların röntgenolojik incelemeleri de kontrastlı radyografi örnekleridir. Radyografinin değişik amaçlar için kullanılan, değişik tekniklerinin bir çok şekli vardır (Oyar 1998, Tuncel 1993).

6.3.1.1. Tomografi

Radyografide kullanılan önemli bir tanı yöntemidir. Röntgenogramlarda x-ışını kaynağı ile film arasındaki objenin tüm kalınlığı tek plan üzerinde iki boyutlu olarak görülür. Dolayısıyla organizmanın değişik düzeylerdeki yapıların görüntüleri üst üste düşer (süperimpozisyon, süper pozisyon). Tomografide bu süperimpozisyon kaldırılarak istenen vücut kesiti incelenebilir. Bu amaçla incelenmesi istenen düzey merkez alınarak birbirine bağlanan tüp ve kaset, karşıt yönlerde hareket ettirilir. Böylece merkezlenen düzeydeki görüntü net olarak film üzerinde belirirken, alt ve üst düzeydeki yapılar film üzerinde farklı yerlere düşeceğinden bulanıklaşarak görünmez hale gelir. Sık olarak kullanılan bu yöntem "lineer" (çizgisel) tomografi adı verilir. X-ışını kaynağı, kaset ve hatta objeyi değişik şekillerde hareket ettirerek bir çok tomografi yöntemi geliştirilmiştir. BT, MR,

SPECT ve US gibi diğer kesit görüntü alan yöntemlerden ayırmak için bu yönleme konvansiyonel tomografi adı verilir (Oyar 1998, Tuncel 1993).

6.3.1.2. Anjiografi

Anjiografi vücut damarlarının görüntülenmesi demektir. Damar içine damarların görünür hale gelmesini sağlayan ve kontrast madde olarak tanımlanan ilaç verilerek, özel röntgen cihazları yardımıyla DSA adı verilen filmler elde edilir. Anjiografi sayesinde organları besleyen damarlar görüntülenerek damar hastalıkları veya bu damarlardan beslenen organlara ait tanı koydurucu bilgiler edinilir. Ayrıca elde edilen bilgiler doğrultusunda anjiografi tedavi amaçlı olarak da kullanılır. Anjioplasti (Balonla daralmış damarları açma) bunun klasik bir örneğidir. Bu sayede cerrahi tedavi gerektiren birçok hastalık, cerrahi ve genel anestezinin riskleri olmaksızın tedavi imkanı bulmaktadır (Özker 1997, Oyar 1998, Özalpan 1973).

Anjiografi işlemleri:

- Kol ve bacak damarlarının görüntülenmesi
- Karın içi organ damarlarının görüntülenmesi
- Beyin damarlarının görüntülenmesi
- Akciğer damarlarının görüntülenmesi
- Kalp damarlarının görüntülenmesi

6.3.1.3. Floroskopi

Floroskopi radyolojinin en eski ve en temel bölümlerinden biridir. Günümüzde de, oldukça yaygın olarak sindirim sistemi, idrar yolları, kadın üreme organları ve vücudun daha bir çok bölümünün incelenmesinde kullanılmaktadır.

Floroskopi, x-ışını kullanılarak çekilir. Normal filmlerde görülemeyen yapılar kontrast madde denilen ilaçlarla boyanarak görünür hale getirilir. Kontrast maddeler, baryum ve iyot gibi radyoopak maddeler içeren ilaçlardır. Kontrast maddeler, uygulanacak incelemenin türüne göre, hastaya iştirilerek, lavman yapılarak, idrar sondası yoluyla veya enjeksiyonla verilir. Kontrast madde verilmesini takiben, incelenen organ doktor tarafından ekranda izlenerek çeşitli pozisyonlarda filmler çekilir (Özker 1997, Oyar 1998, Özalpan 1973).

Hasta, inceleme sırasında az miktarda radyasyon alır. Ancak bu tetkiklerin faydası, az miktardaki radyasyonun zararlarının yanında çok fazladır. Çekimi yapan doktor ve teknisyenler, radyasyona her gün maruz kalmamak için koruyucu bir bölmenin arkasında oturarak veya kurşun önlük giyerek kendilerini korurlar.

Çekim öncesinde hastalar, tüm kıyafetlerini ve metal takılarını çıkararak bir hastane önlüğü giyerler. Hamilelik olasılığı veya ilaç alerjisi olan hastalar, tetkik öncesinde incelemeyi yapan doktoru haberdar etmelidir.

Çekimden sonra filmler doktorlar tarafından incelenerek, tetkiki isteyen doktora verilmek üzere, bir rapor yazılır. Floroskopi ile en sık incelenen organlar şunlardır:

- Kolon bağırsak(kalın bağırsak) filmi
- Üst sindirim (yemek borusu-mide-on iki parmak bağırsağı) incelemesi
- İnce bağırsak filmi
- İdrar yolları(mesane ve idrar yolları) incelemesi
- Kadın üreme organlarının incelenmesi

6.3.1.4. Mamografi

Mamografi meme dokusunun röntgen ışınlarıyla görüntülenmesidir. Genel amaçlı radyoloji tüplerinde değişiklikler yapılarak, hastanın daha az radyasyon alması sağlanmıştır. Kullanılan cihaza bağlı olarak otururken veya yatarken memenin değişik yönlerden görüntüleri alınır. Çekim esnasında memenin komprese edilmesine bağlı rahatsızlık hissi oluşabilir (Özker 1997, Oyar 1998, Özalpan 1973).

6.3.2. Radyoskopi

Fluoroskopi adı da verilir. Bu yöntemle hasta x ışını kaynağı ile floresan ekran arasındadır. Hastayı geçen x ışınları bu ekran üzerine bir görüntü (imaj) oluştururlar. Bu görüntünün izlenebilmesi için gözün karanlığa uyumu gereklidir. Görüntünün aydınlıkta görülmesini sağlayan görüntü kuvvetlendirici (imaj intensifayr) aygıtlar geliştirilmiştir. Görüntü kuvvetlendiriciler daha az x ışını kullanılmasını sağlayarak hastanın ve hekimin aldığı ışın dozunu azaltırlar. Bu aygıtlar aracılığıyla görüntü ya doğrudan bir aynada ya da kapalı devre bir televizyon ekranında izlenebilir. Fluoroskopik incelemede diyafragma gibi hareketli organlar izlenerek tanıya varılabilir. Ayrıca mide-duodenumun incelenmesinde olduğu gibi izlenen bölümün radyografisi de yapılabilir (Özker 1997, Özalpan 1973).

Ülkemizde verem savaşında başarı ile uygulanan ve mikrofilm olarak bilinen fotofluorografi yöntemi fluoroskopi ekranında oluşan görüntünün fotoğrafının çekilmesidir. Görüntü kuvvetlendiricilere bir film alma aygıtı bağlanarak organların hareketlerinin kaydedilmesine ise sineradyografi adı verilir. En sık anjiokardiografide ve yutma fonksiyonlarının izlenmesinde kullanılır.

6.4. Dijital Röntgen

Dijital sözcüğü ayrı, münferit ve sayısal'ı, analog sözcüğü ise devamlılığı anlatır. Bu durumda akla doğal olarak neden dijital radyografi sorusu gelir. Bu sorunun iki cevabı vardır (Özker 1997, Oyar 1998, Özalpan 1973):

Birincisi, dijital görüntü aynen BT de olduğu gibi elde edildikten sonra işlenebilir. Yani bir dijital göğüs radyogramında yalnız akciğer alanları değil, göğüs yumuşak dokuları, kemik yapılar, mediasten, trakea gibi oluşumlar gri skalanın pencere genişliği ve seviyesi değiştirilerek belirgin hale getirilebilir. Böylece röntgenogramın değişmezliği dezavantajı ortadan kaldırılmış olur.

İkincisi, ne kadar geniş yer ve ekip olursa olsun röntgenogramları arşivlemek ve gerektiğinde kolayca bulmak mümkün değildir. Dijital sistemde ise arşiv sorunu yoktur ve görüntü istendiği anda hastaya ait diğer bilgilerle birlikte monitörlerden izlenebilir. Daha da önemlisi bilgisayar bağlantısı olan her hastane veya sağlık

merkezinde anında iletilip gerekirse konsültasyon yapılabilir. Böylece yer, zaman ve film tasarrufu sağlanarak radyoloji departmanlarının harcamalarını önemli ölçüde azaltır.

6.4.1. Bilgisayarlı (“Computed”) Radyografi

Alan dedektör yönteminin kullanıldığı diğer bir işlemdir. Üzerine ağır metallerin fosfor tuzu sürülmüş görüntü plakları kullanılır. Laser taraması ile görüntü plağı üzerindeki veriler elektrik sinyallerine çevrilir. Bu elektrik sinyalleri dijitalize edilerek işlenmek üzere bilgisayara gönderilir. İşlenen bu bilgiler laser ışını ile bir film üzerine taşınır ve dijital radyografi elde edilir. Bu sistemle elde edilen görüntülerdeki bilginin ve rezolüsyonun konvansiyonel radyografiye eşit olduğu bildirilmektedir. Dijital olduğu için görüntünün manüple edilebilmesi (gri skalanın değiştirilebilmesi) ve hastanın daha az doz alması yöntemin üstünlükleridir (Özker 1997, Oyar 1998).

6.5. Bilgisayarlı Tomografi (BT)

Bilgisayarlı Tomografi (BT) ile vücudun kesit şeklinde görüntüleri elde edilir. Kesit olmaları nedeniyle bu görüntülerde organ ve dokular süper pozisyonlardan kurtulmuştur. Yöntemde x ışını çok iyi kolime edildiği (sınırlandırıldığı) için saçılma minimale indirilmiş dolayısıyla doku yoğunluğu farklılıkları daha belirgin hale gelmiştir.

Yöntem vücudun ince bir kesitinden geçen x ışınlarının zayıflamalarının dedektörlerle ölçülerek, bilgisayar yardımıyla görüntü oluşturulması temeline dayanır. Kesit yapması, ödem, hemoraji gibi röntgende ayrılamayan yumuşak doku yoğunluklarını ayırması yanında, bütün organ ve dokuları ayırım yapmadan görüntüleyebilmesi yöntemin üstünlüğüdür. Dijital olması nedeniyle toplanan verilerden, ilgilenilen yapıları daha iyi gösteren değişik düzlemlerde görüntüler oluşturulabilir (Özker 1997, Oyar 1998).

BT'nin teorisi Amerikalı Fizik profesörü A. M. Cormak tarafından geliştirilmiştir. İngiliz Fizikçi Dr. G. N. Hounsfield'in 1972 yılında tanı alanına soktuğu ve x-ışınının keşfinden bu yana radyolojideki en büyük ilerleme olarak kabul edilen bu yöntem, iki bilim adamına da tıp dalında 1979 Nobel ödülünü kazandırmıştır.

Yöntem ilk olarak beyinin incelenmesinde kullanılmış ve adına Komputerize Aksiyal Tomografi (CAT) denilmiştir. Ülkemizde ilk defa 1975 yılında Hacettepe Üniversitesi'nde uygulanmaya başlanan bu yönteme Bilgisayarlı Beyin Tomografisi (BBT) adı verilmiştir. tüm vücudu inceleyebilen aygıtların geliştirilmesiyle yöntemin adı Tüm Vücut BT (Whole Body" CT) veya daha yaygın kullanımıyla Bilgisayarlı Tomografi (BT) (Computerised Tomografi olmuştur) (Özker 1997, Oyar 1998).

7. KONYA SELÇUK ÜNİVERSİTESİ MERAM TIP FAKÜLTESİNDE RADYASYON KULLANILARAK YAPILAN TETKİKLERİN ARAŞTIRILMASI

Radyolojinin tıbbın en hızlı ilerleyen dalı olduğu söylenebilir. Hızlı gelişmeyle birlikte bir çok yeni kavram karşımıza çıkmaya başlamıştır. Ülkemizde gerekse Konya ilimizde gerçekleştirilen çalışmalar radyasyonun tıp için vazgeçilmez bir unsur olduğunu göstermektedir. Bu bölüme kadar öncelikle radyasyonla ilgili temel bilgiler anlatılmış daha sonrada radyasyonun insan sağlığına etkisi üzerinde durulmuştur. Bu bilgiler ışığında radyasyonun tıpta nerelerde kullanıldığından bahsedilmiş ve bu konuda. bilgi verilmeye çalışılmıştır. Ayrıca Konya S. Ü. Meram Tıp Fakültesi'nden radyasyon kullanılarak yapılan tetkikler hakkında bilgi alınmıştır. Bu bilgiler ışığında tablolar ve grafik oluşturulmuş aynı zamanda da yorumlanmıştır.

2004	İlk 6 Aylık Bilgiler					
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Röntgen1	3914	4292	6608	5859	5336	6001
Röntgen2	76	61	134	90	88	85
Röntgen3	2595	2041	2632	2463	2429	2611
M.R.	1071	934	1088	1021	1059	927
B.B.T.	0	0	0	0	0	0
Mamografi	176	170	143	12	0	0
Anjio	31	24	39	29	40	55
Acil Röntgen	3672	3180	3876	4245	4231	4479
Skopi	62	61	85	82	71	85
Renkli Doppler	163	180	275	281	251	236
Spiral CT.	1155	998	1415	1261	1342	1179
Digital Röntgen	49	33	71	63	64	75
Nükleer Tıp	353	309	421	402	448	433
Toplam	13317	12283	16787	15808	15359	16166

* **Röntgen 1** : Bel, bel üstü, kalça, omurga, karın, boyun, el bilek, kol, dirsek, üst kol, ayak bileği, diz, diz altı, sinüzüt, kafa, kafatası, kulak, çene eklemi, kulak.

* **Röntgen 2 (IVP)** : İlaçlı Böbrek filmi.

* **Röntgen 3** : Akciğer, kalp, omuz.

* **Digital Röntgen** : Mide, ince bağırsak.

Tablo 7.1. 2004 Yılı'nın İlk 6 Ayında Radyasyonun Kullanıldığı Tetkiklerin Sayısal Verileri

Tüm veriler Selçuk Üniversitesi Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nden alınmıştır. Tıp Fakültesinde 1,5 yıl boyunca radyasyon ve türevleri kullanılarak 284830 tetkik yapılmıştır.

2004	Son 6 Aylık Bilgiler					
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Röntgen1	5864	5885	6212	4725	4325	6024
Röntgen2	98	79	88	75	54	110
Röntgen3	2413	2120	2569	2061	1826	2695
M.R.	995	968	902	892	923	1189
B.B.T.	0	0	0	0	0	0
Mamografi	0	0	0	0	73	538
Anjio	14	25	49	27	32	57
Acil Röntgen	4895	5147	4646	4383	3922	4223
Skopi	79	68	86	76	52	90
Renkli Doppler	238	264	249	226	202	279
Spiral CT.	1403	1004	1325	1511	1250	1646
Digital Röntgen	68	66	67	62	40	51
Nükleer Tıp	475	399	415	358	276	422
Toplam	16542	16025	16608	14396	12975	17324

Tablo 7.2. 2004 Yılı'nın Son 6 Ayında Radyasyonun Kullanıldığı Tetkiklerin Sayısal Verileri

2005	İlk 6 Aylık Bilgiler					
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Röntgen1	5102	4103	6372	5859	5336	6473
Röntgen2	60	61	112	90	88	56
Röntgen3	2411	2089	3240	2463	2429	3237
M.R.	1092	1061	1243	1021	1059	1131
B.B.T.	0	126	743	0	0	0
Mamografi	384	443	634	12	0	539
Anjio	24	39	62	29	40	54
Acil Röntgen	4678	4765	5556	4145	4231	4871
Skopi	133	97	117	82	71	119
Renkli Doppler	236	272	330	281	251	261
Spiral CT.	1487	1348	1359	1261	1342	1776
Digital Röntgen	51	81	92	63	64	67
Nükleer Tıp	338	367	476	402	423	430
Toplam	15996	14852	20336	15708	15334	19014

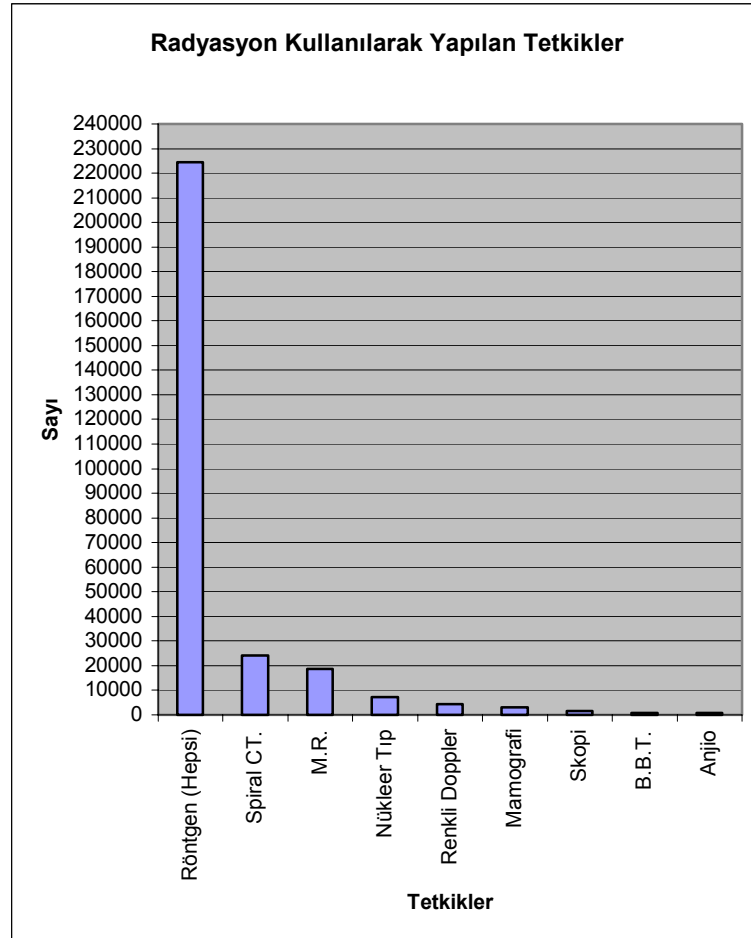
Tablo 7.3. 2005 Yılı'nın ilk 6 Ayında Radyasyonun Kullanıldığı Tetkiklerin Sayısal Verileri

2004 İlk 6 Aylık Toplam:	89720
2004 Son 6 Aylık Toplam:	93870
2005 İlk 6 Aylık Toplam:	101240
Genel Toplam:	284830

Tablo 7.4. 2004 2005 Yıllarında Radyasyonun Kullanıldığı Tetkiklerin Toplam Sayıları

Röntgen (Hepsi)	224391
Ultrason	36205
Spiral CT.	24062
M.R.	18576
Nükleer Tıp	7147
Renkli Doppler	4475
Mamografi	3124
Skopi	1516
B.B.T.	869
Anjio	670

Tablo 7.5. Radyasyonun Kullanıldığı Tetkikler



Şekil 7.1. Radyasyon Kullanılarak Yapılan Tetkiklerin Dağılımı

Bu tetkiklerden en fazla yapıları röntgendir. Genel toplamın yarısından fazlasına tekabül etmektedir. En eski radyolojik tanı yöntemi olan röntgen, temel tanı yöntemi olma özelliğini hala korumaktadır. Kemikler ve akciğerlerin incelenmesinde olduğu kadar; meme, sindirim borusu ve üriner sistemin incelenmesinde ilk ve temel tanı yöntemi konumundadır. Röntgen aygıtlarının her yerde bulunabilmesi görece ucuzluğu ve geniş bir alanı kesintisiz görüntüleyebilmesi nedeniyle röntgen, hemen her zaman klinikte ilk istenen radyolojik tanı yöntemi olmaktadır. Hastalıkların teşhisi amacıyla kullanılan bu tetkikler sayesinde binlerce kişi muayene edilmektedir.

Spiral C.T. verilere bakıldığında röntgenden sonra en çok kullanılan tetkiktir.

Daha yeni bir tetkik içeren nükleer manyetik rezonans (MR)yönteminde, güçlü bir manyetik alanda bulunan hastanın vücuduna x ışınları yerine radyo dalgaları yöneltilir. Vücuttaki farklı atomlar, manyetik alanın etkisi altındaki farklı frekanslardaki radyo dalgalarını soğurur. Bilgisayar bu farklılıktan elde edilen bölümleri kullanarak, iç organların görüntüsünü verir. Verilere baktığımızda hastalıkların teşhisinde MR'ın sıklıkla kullanıldığını görüyoruz.

Vücuttaki organ ve dokuların işlevleriyle ilgili çalışmalar yapmak üzere bazı radyoaktif maddeler kullanılır. Bu yöntemle yapılan çalışmalar nükleer tıp olarak adlandırılır.

Renkli doppler ile bir organın veya damarın kan akışını inceleyebiliriz.

Meme dokusunun röntgen ışınlarıyla görüntülenmesine mamagrofi denir. Mamografinin meme kanserinin erken teşhisinde bir tarama testi olarak önemi büyüktür. Meme kanseri erken teşhis edilirse büyük oranda tedavi edilebilir.

Floroskopi radyolojinin en eski ve en temel bölümlerinden biridir. Günümüzde de, oldukça yaygın olarak sindirim sistemi, idrar yolları ve vücudun daha bir çok bölümünün incelenmesinde kullanılmaktadır.

Bilgisayarlı tomografi x ışını kullanılarak vücudun incelenen bölgesinin kesitsel görüntüsünü oluşturmaya yönelik radyolojik teşhis yöntemidir.

Anjiyografi bu tetkikler arasında en az kullanılanıdır. Anjiyografi vücut damarlarının görüntülenmesi demektir. Bu sayede cerrahi tedavi gerektiren bir çok hastalık, cerrahi ve genel anestezinin riskleri olmaksızın tedavi imkanı bulabilmektedir.

Bu verilere dayanılarak oluşturulan grafik incelendiğinde tetkikler arasındaki oran daha ayrıntılı olarak ortaya çıkmaktadır.

2004'ün ilk altı ayındaki verilerle 2005'in altı ayındaki verileri karşılaştırsak, 2005'in ilk altı ayında radyasyon kullanılarak yapılan tetkiklerden faydalanan kişi sayısı daha fazladır. Bundan da anlaşılabilceği gibi radyolojik tetkikler hastalıkların teşhisinde gün geçtikçe daha fazla kullanılmakta ve önemi daha fazla anlaşılmaktadır.

Bu veriler Selçuk Üniversitesi Meram Tıp Fakültesine ait olan verilerdir. Konya'daki gerek özel ve gerekse de devlete ait sağlık kuruluşlarında da radyasyon tetkiklerinin yapıldığı düşünülürse Konya nüfusunun büyük bir kısmının radyolojik tetkiklerden faydalandığı görülmektedir. Görüldüğü gibi tıpta radyasyonun insan sağlığına faydaları da zararlarından daha ağır basmaktadır.

8. RADYASYONLARLA ÇALIŞMADA TIBBİ MUAYENELER VE TEDAVİ

8.1. Yardımcı Tıbbi Personelin Görevleri

Nükleer bir tesiste yardımcı tıbbi personelin görevleri şunlardan ibarettir:

- (1) Radyasyon tehlikelerini önlemede sağlık fizikçilerine yardımcı olmak;
- (2) Radyasyon hasarını tedavi etmek;
- (3) Rutin tıbbi muayeneleri yapmak.

Radyasyon hasarının önlenmesinde «işe alınma öncesi» ve «periyodik kontrol» muayenelerinin önemi büyüktür. İşe alınma öncesi muayeneleri, radyasyona karşı anormal derecede duyarlı kişilerin işe alınmalarını önlemekte, periyodik kontrol muayeneleri ise maksimum müsaade edilen dozların aşılp aşılmadığını tespiti yardımcı olduğu gibi başka bir şekilde gizli kalabilecek iç kontaminasyon olaylarını ortaya çıkarmaktadır. Radyasyon tehlikesi ve hasarının önlenmesinde göz önünde tutulması gerekli diğer bir husus da, radyasyonla çalışanları, görevleri sırasında maruz kalabilecekleri radyasyon tehlikeleri konusunda eğitmek ve gereksiz tehlikelere maruz kalmamaları için kendilerini uyarmaktır (Özden 1990, Şeker 1997, Tuncel 1993).

Radyasyon hastalığı ve hasarlarının tedavisi tıbbi araştırmaların nispeten yeni bir konusu olup radyasyon hastalığının tedavisi için mevcut klinik metodların değerlendirilmesi ve yeni tekniklerin geliştirilmesi hekimlere ait bir sorumluluktur. Bu bakımdan radyasyon hastalığı vakalarının tam kayıtlarının düzenli olarak tutulması çok yararlı olmaktadır.

8.1.1. İşe Başlama Öncesi Tıbbi Muayeneleri

Nükleer tesislerde çalışacak kişilerin tam sağlıklı ve kendilerini radyasyonlara karşı anormal derecede duyarlı yapacak özelliklere sahip olmamaları lazımdır. Bu bakımdan kişinin geçmiş sağlık durumu eksiksiz olarak tespit edildikten sonra yapılacak işe alınma öncesi tıbbi muayenelerin sonuçları ile birlikte tam bir raporun tanzim edilmesi gereklidir (Özden 1990, Şeker 1997, Tuncel 1993).

8.1.2. Kişinin Geçmiş Sağlık Durumu

Ayrıntılı bir geçmiş sağlık durumu raporu, radyasyon hasarı meydana gelinceye kadar gizli kalabilecek kalıtsal radyasyon duyarlılığı eğilimlerinin varlığını ortaya çıkarabilir. Bu konuda genellikle devlet hizmetine alınacaklar için kullanılan standart soru formları kullanılırsa da bunlar bir kimsenin radyasyonlarla çalışacak kadar sağlıklı olup olmadığını tayine yardımcı olmakla birlikte anormal radyasyon duyarlılığını tespit edebilecek bütün bilgileri kapsamaz. Bu bakımdan muayeneyi yapan hekimin adayın ailesinde aşağıdaki hastalıkların bulunup bulunmadığını da incelemesi lazımdır (Daşdağ 1990, Gençay 1994, Göksel 1973).

1. Anemi.
2. Lösemi.
3. Kan pıhtılaşmasında gecikme.
4. Güneş ışınlarına duyarlılık.
5. Kataraktlar.
6. Sakatlıklar.

X- ışınları tedavisine karşı kanda görülen reaksiyonlar da kişinin radyasyon duyarlılığına karşı bazı ip uçları verdiğiinden işe alınma ile ilgili bir faktör sayılır.

Kişisel geçmiş sağlık durumu raporunun değerlendirilmesinde adayın aşağıdaki hastalıkları olup olmadığı veya evvelce geçirip geçirmediği üzerinde durulmalıdır:

1. Geniş kapsamlı x ışını tedavisi, tıbbi veya dış röntgenleri için çok sayıda ışınlama veya daha önce maruz kalınan radyasyon hasarı.
2. Tehlikeli cilt yanıkları.
3. Kömür tozu, kömür isi, zehirli kimyasal maddeler, organik çözücüler ve benzeri maddelere mesleki bakımdan maruz kalma.
4. Akne ve dermatit gibi cilt hastalıkları.
5. Zehirli bitkiler gibi tahriş edicilere duyarlılık.
6. Anemi, lösemi veya diğer kan hastalıkları.
7. Nezle ve virüs enfeksiyonlarına kolay yakalanma.
8. Diş eti veya mide ülserleri.
9. Cildin kolaylıkla ezilme ve berelenme eğilimi.
10. Bayılma ve mide bulantısına eğilme.

11. Kemiklerin kırılması için anormal bir eğilim.

12.Kaza yapmaya eğilim (Daşdağ 1990, Gençay 1994, Göksel 1973).

8.1.3. Tıbbi Muayeneler

Radyasyonlarla çalışacak personel, pilot adaylarına uygulanan tıbbi muayenelere eşdeğer bir muayeneden geçirilmeli fakat gözlüklerle tamir olunabilecek göz kusurları nedeniyle adayın işe alınması engellenmemelidir.

Tıbbi muayeneler, esas itibariyle bir cilt muayenesi, rutin kan testleri ve bir göğüs röntgeni filmi alınmasında ibaret olacaktır. Adayın cildindeki yaralar, kesikler, bereler ve ülserler, radyoaktif maddelerin vücuda girmesi için kolay bir yol olacağından dikkatle incelenmelidir. Skar dokusu ve dövmelelere önem verilmeli zira bu alanlar radyasyona karşı normal dokudan daha duyarlı olabilir (Özden 1990, Şeker 2000).

Kan içindeki çeşitli hücrelerin ayrıntılı sayımları yapılmalıdır. Anormal kan sayımları bir adayın işe alınmasını engelleyebilir. Örneğin 4000'nin altında veya 12,000 nin üstünde toplam lökosit (akyuvar) sayımı; çeşitli lökosit hücreleri arasındaki oranların anormal oluşu; ve toplam eritrosit (alyuvar) sayısının 3.5 milyonun altında veya 6.5 milyonun üstünde bulunması adayın reddolunması için yeterli neden teşkil eder. Kan sayımı kayıtları her radyasyon işçisi için temel referans değerlerini teşkil eder. Bu temel değerler radyasyon hasarının deteksiyonunda bir karşılaştırma kaynağı olarak kullanılır.

Kan hücrelerinin sayısında günlük değişimler olduğu gibi, hafif solunum yolu rahatsızlıkları, sindirim yolları rahatsızlıkları, yorgunluk veya hafif güneş yanıkları gibi faktörlerden ileri gelen değişiklikler de vardır. Bu düzensizlikleri kompanse etmek üzere temel referans sayımı, genellikle, bir kaç gün ara ile yapılan iki veya üç sayımın ortalaması olarak alınır. Kan sayımları günün aşağı yukarı aynı saatinde ve aynı şartlar altında yapılmalıdır (Özden 1990, Şeker 2000).

Göğüs röntgenleri işe alınma öncesi muayeneler için büyük değer taşır. Bu röntgen filmleri, iyonlaştırıcı radyasyon etkisiyle ağırlaştırılabilen akciğer lezyonlarının deteksiyonunda yardımcı olmaktadır.

Daha önce radyasyonla çalışan adaylarda, muhtemel nadir toprak metalleri ve radyoaktif madde kontaminasyonlarını detekte etmek için idrar ve radyasyon

duyarlılığı testi için solunum havası analizleri yapılmalıdır. Böylece önceden radyasyon etkisine maruz kalmış adaylar elenmiş olacaktır (Özden 1990, Şeker 2000).

8.1.4. Rutin Tıbbi Kontrol Muayeneleri

Periyodik kontrol muayeneleri kronik radyasyon hasarlarını önleyebilir. Bu muayeneler ancak yıllık dozun, maksimum müsaade edilen dozun 3/10'unu aşması halinde gerekli olup yılda 5 rem civarında doz alan personel için 6 ay ile 1 yıl arasında değişen periyotlarla uygulanmalıdır (Daşdağ 1990, Özden 1990, Çerezci 1997).

Kronik ışınlama hasarını önlemenin başlıca çaresi, ışınlanmış kişileri vücutlarının iyileşmesi sırasında radyasyondan korumaktır. Periyodik kontrol muayeneleri vücudun radyasyon hasarına karşı koyma kapasitesini ölçer ve bir radyasyon işçisinin ne kadar bir süre ile radyasyondan uzak tutulması gerektiğinin belirlenmesinde kullanılabilir.

Kontrol muayenelerinin kapsamı muayenelerden sorumlu hekimin görüşüne bağlı ise de fazla doza maruz kalmanın bariz klinik belirtileri hakkında gözlemler ile kan testlerini ihtiva etmelidir. Kan testleri eritrosit ve lökosit sayımlarından başka hematokrit tayini (kandaki eritrosit, lökosit ve plazmanın relatif oranlarının ölçülmesi) ile bir trombosit sayımından ibarettir. Havasında radyoaktif maddeler bulunan yerlerde çalışan bütün personelin muntazam olarak göğüs röntgeni muayeneleri ve idrar analizleri yapılmalıdır.

Normalden herhangi bir sapma görüldüğü takdirde bunun fazla radyasyondan ileri gelmesi ihtimaline karşı incelenmesi gereklidir. Fazla radyasyona maruz kalmanın genel klinik belirtileri şunlardır:

1. Hafif iç bulantısı.
2. Canlılığın kaybolması.
3. Baş dönmesi.
4. Baş ağrısı.
5. İştahsızlık.
6. Mide bozukluğu.

7. İshal.
8. Uykusuzluk.
9. Zayıflama.
10. Asabiyet.
11. Ateş.
12. Parmak ucu derisinde çatlamlar.
13. Tırnaklarda buruşma ve kırılmalık.
14. Hızlı kalp atışı.
15. Düzensiz kalp atışı.
16. Tansiyon düşüklüğü.

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Hepimiz kaçınılmaz bir şekilde radyoaktif bir dünya içinde yaşıyoruz. Radyasyonlar, enerji üretiminden, askeri amaçlı kullanımlara, endüstriden, tıpta teşhis ve tedaviye, tarımsal araştırmalardan bilimsel çalışmalara kadar hemen her alanda kullanılmaktadır. Bunun sonucu olarak da doğal ve yapay radyasyonların etkisi altında bulunmaktayız.

Tıbbi alandaki radyasyon uygulamaları, radyasyonla görüntü elde edebilme ve radyasyonun hücre veya tümörleri yok edebilme yeteneğine sahip olması temeline dayanır. Bu iki özelliğinden dolayı radyasyon hastalıkların teşhis ve tedavisinde önemli rol oynar. Radyasyonun tıbbi alanda halen kullanılmakta olan ve gün geçtikçe geliştirilen en eski çeşidi x ışınlarıdır.

Tıpta hastalıkların gerek tanınmasında ve gerekse tedavisinde radyasyon ışınları ve radyoaktif maddelerin kullanımı çok yaygındır: Kemiklerde kırık ve çatlakların araştırılmasında, diş kemiklerinin gizli anormalliklerinin izlenmesinde x ışını kullanılmaktadır. Bazı radyoaktif maddeler vücuda verilerek çeşitli dokular kolayca incelenebilmektedir veya vücut içinde belli bölgede tutulup o bölgeyi ışınlayarak tedavi yapılabilmektedir. Yine kanser tedavisinde cerrahi ve ilaç tedavilerine ilave olarak yüksek dozlarda ışınlama yapabilen radyasyon kaynakları kullanılarak radyoterapi yapılmakta kanserli hücreler öldürülmektedir.

İyonlaştırıcı radyasyonların canlı doku (insan vücudu) üzerindeki etkileri vardır. Tıbbi uygulamada faydası zararına ağır basar. Daha doğru ifadeyle, radyasyon tıbbi teşhis ve tedavide ancak yararı zararından fazla olduğu hallerde kullanılır.

Radyobiyolojide radyasyonun karmaşık canlı sistemler üzerindeki etkilerinin incelenmesine iki metot ile yaklaşabiliriz:

a) Canlının bütünü ışınılandırmak ve hasil olan etkileri araştırmak mümkündür. Bu, deneysel bir metottur ve analitik bir yaklaşma sistemidir.

b) Canlıyı meydana getiren basit kısımlar üzerine radyasyonun etkisi araştırılabilir.

Bu tezde radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileri incelenmiş ve tıptaki uygulama alanları genel hatlarıyla açıklanmaya çalışılmıştır.

10. KAYNAKLAR

- [1] AKŞEN, F., ÇELİK, S., KAYA, A., Mikrodalgaların biventer cervicis kası üzerine etkisi. 2. Ulusal Biyofizik Kongresi. 17-18 Mayıs 1990, İstanbul.
- [2] ALGÜNEŞ, Ç., **Radyasyon Biyofiziği**, Trakya Üniversitesi Rektörlüğü Yayınları, Edirne 2002.
- [3] BİLGE, A. N., **Nükleer Tekniklerin Endüstriye Uygulanması**, TAEK ÇNAEM Matbaası, İstanbul, 1985.
- [4] BOMFORD C., KUNKLER, I., SHERRIF, S., **Walter and Miller's Textbook of Radiotherapy**, Churchill Livingstone, 1994.
- [5] COIA, L. R., MOYLAN, D. J. , **Therapeutic Radiology for the House Officer**, Baltimore, Waverly, 1984.
- [6] DAŞDAĞ, S., ÇELİK, S., **Mikrodalgaların biyolojik etkileri ve güvenlik standartları**, Çevre Sorunlarının Boyutları "90" Sempozyumu, Diyarbakır, 22-23 Mart 1990.
- [7] DÖRTER KESKİN, G., **Ağır Metallerin ve Radyasyonun Biyolojik Etkilerinin Karşılaştırılması**, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 1998.
- [8] GENÇAY, Ş., **Nükleer Elektrik ve Çevre**, Elektrik Enerjisi ve Teknolojileri Sempozyumu, İTÜ Yayınları, İstanbul, 1994.
- [9] GÖKSEL, S., **Radyasyonun Biyolojik Etkileri ve Korunma**, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul, 1973
- [10] GÜLEÇ, M., **Radyodiyagnostik Fiziği**, Erciyes Üniversitesi Yayınları, Kayseri, 1995.

- [11] GÜNENAKAN AKIN, S., **Radyasyon Dozunun Biyolojik Değerlendirilmesinde Eser Elementlerinin Önemi**, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi, İstanbul, 1996.
- [12] GÜNGÖR, N., **Sağlık Fiziği**, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul, 1991.
- [13] International atomic energy agency, **International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources**, Safety Series No. 115-I, IAEA, Vienna, 1994.
- [14] International Atomic Energy Agency, **Planning the Medical Response to Radiological Accidents**, Safety Report Series No:4, IAEA, Vienna, 1998.
- [15] KESKİN, H., **Nükleer Tekniklerin Endüstriye Uygulanması**, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Semineri, Konya, 2004.
- [16] MISİR, M.,Ş., **Radyoaktif Elementlerin Endüstriyel Alanda Kullanılması**, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi, Antakya, 2001.
- [17] OĞUL, R, EREN, N., **Nükleer ve Reaktör Fiziği**, Selçuk Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, Konya, 1996.
- [18] OYAR, O., **Radyolojide Temel Fizik Kavramlar**, Nobel Tıp Kitapevi, İzmir, 1998.
- [19] ÖNEN, S., **Radyasyon Biyofiziği**, İ.Ü. Cerrahpaşa Tıp Fak. Yayınları, İstanbul, 1993.
- [20] ÖZALPAN, A., **Radyobiyooloji**, İstanbul Fen Fakültesi Basımevi, İstanbul, 1973.

[21] ÖZDEN, N., **Sanayide Radyasyondan Korunmanın Esasları**, Aliğa Petrokimya San. ve Tic. A.Ş., İzmir, 1990.

[22] ÖZKER, K., **Nükleer Tanı Araçları Radyoformasötikler**, Nükleer Tıp Yıllığı, Cilt I, 1987.

[23] ŞARER, B., **Nükleer Fizik**, Palme Yayıncılık, Ankara, 2001.

[24] ŞEKER, S., ÇEREZCİ, O., **Çevremizdeki Radyasyon ve Korunma Yöntemleri**, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1997.

[25] ŞEKER, S., ÇEREZCİ, O., **Radyasyon Kuşatması**, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, İstanbul, 2000.

[26] TUNCEL, E., **Klinik Radyoloji Temel Tanı Yöntemleri**, Güneş&Nobel Yayınları, İstanbul, 1993.

YARARLANILAN WEB SİTE ADRESLERİ

[1] http://www.almanhastanesi.com.tr/nukleer_tip.htm

[2] <http://www.almanhastanesi.com.tr/radyoloji.htm>

[3] http://www.baskent-ank.edu.tr/tani_tedavi/goruntuleme/girisimsel_rad.htm

[4] <http://www.marmara-nukleer.com.tr/ntip.php?page=ntip&sp=nedir>

[5] <http://www.gata.edu.tr/dahilibilimler/radyasyononkolojisi/gataradyoloji/src.htm>

[6] http://www.p4notebook.com/MARMARA/ders_notlari/ders3_radyasyon.doc

[7] http://www.taek.gov.tr/taek/rsgd/egitim/cnaem_brosur.html

[8] <http://www.kho.edu.tr/yayinlar/btym/bilgibankasi/temelbil/radyasyon.htm>

[9] <http://www.koeri.boun.edu.tr/meteoroloji/uvra1.htm>

[10] <http://www.ttb.org.tr/STED/sted0702/radyasyon.pdf>

[11] <http://www.gata.edu.tr/dahilibilimler/nukleertip/egitim/radyasyon.pdf>