

**T.C**  
**ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ**  
**TIP FAKÜLTESİ**  
**HALK SAĞLIĞI ANABİLİM DALI**

**ARAŞTIRMA GÖREVLİLERİNİN RADYOLOJİK TETKİKLERDE  
MARUZ KALINAN İYONİZAN RADYASYON DOZLARI VE  
KANSER RİSKİNE İLİŞKİN FARKINDALIKLARI**

**Uzmanlık Tezi**

**Hazırlayan**

**Dr. Senem DİVRİK GÖKÇE**

**Tez Danışmanı**

**Yrd. Doç. Dr. Melek COŞKUN**

**Samsun/ 2009**

## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmalarım sırasında destek ve yardımlarından dolayı Halk Sağlığı Anabilim Dalı öğretim üyeleri; tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Melek Coşkun'a, Anabilim Dalı Baőkanı'mız Prof. Dr. Yıldız Pekően'e, Prof. Dr. Cihad Dündar'a, Prof. Dr. őennur Dabak'a, Doç. Dr. Ahmet Tefvik Sünter'e ve Doç. Dr. Sevgi Canbaz'a, Kadın Hastalıkları ve Doğum Anabilim Dalı öğretim üyesi Prof. Dr. Y. Tayfun Alper'e, arkadaşlarıma ve eőime en içten teőekkürlerimi sunarım.

Dr. Senem DİVRİK GÖKÇE

## İÇİNDEKİLER

	SAYFA NO
Teşekkür	I
İçindekiler	II
Tablo Dizini	VI
Şekil Dizini	VIII
Özet	IX
Anahtar Sözcükler	X
Abstract	XI
Key Words	XII
1. GİRİŞ ve AMAÇ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1. Radyasyon	2
2.2. Radyoaktivite	2
2.3. Radyasyon Birimleri	3
2.3.1. Radyoaktivite Şiddet Birimi	4
2.3.2. Radyasyon Enerjisi Birimi	5
2.3.3. Radyasyon Şiddeti Birimi	5
2.3.4. Radyasyon Alan Şiddeti Birimi	6
2.3.5. Işınlama Birimi	6
2.3.6. Fiziki (Soğurulan) Doz Birimi	6
2.3.7. Biyolojik Doz Birimi	7
2.4. Radyasyon Kaynakları	8
2.4.1. Doğal Radyasyon Kaynakları	9
2.4.2. Yapay Radyasyon Kaynakları	10
2.5. Radyasyon Türleri	12
2.5.1. Partiküler (Korpusküler) Radyasyon	13
2.5.1.1. Alfa ( $\alpha$ ) Partikülü	13
2.5.1.2. Beta ( $\beta$ ) Partikülü	13
2.5.1.3. Nötron ( $\eta$ )	14
2.5.2. Elektromanyetik Radyasyon	14
2.5.2.1. X-Işınları	17

2.5.2.1.1. X-Işınlarının Bulunuşu ve Tarihçesi	17
2.5.2.1.2. X-Işını Tüpü ve Çalışma Prensipleri	18
2.5.2.1.3. X-ışınlarının Elde Edilişi	19
2.5.2.1.4. X-ışınının Emisyon Spektrumu	20
2.5.2.1.5. X-ışının özellikleri	20
2.6. Radyasyonun Madde İle Etkileşimi	22
2.6.1. Partiküler Radyasyonun Madde ile Etkileşimi	22
2.6.2. Elektromanyetik Radyasyonun Madde ile Etkileşimi	22
2.6.2.1. Foton Saçılması	22
2.6.2.1.1 Thomson Saçılması	22
2.6.2.1.2. Compton Olayı	23
2.6.2.2. Foton Kaybolması	24
2.6.2.2.1. Foto-elektrik Olay	24
2.6.2.2.2. Çift Oluşumu	25
2.6.2.2.3. Fotobozunma	25
2.7. Radyasyonun Biyolojik Etkileri	26
2.7.1. İyonizan Işınlarmın Dokulara Enerji Aktarımı	27
2.7.2. Radyasyonun Hücre Üzerine Etkileri	28
2.7.2.1. Fiziksel (Elektriksel) Olay	28
2.7.2.2. Fizikokimyasal Olay	28
2.7.2.3. Kimyasal Olay	28
2.7.2.4. Biyolojik Olay	29
2.7.3. Radyasyonun Erken Dönem Etkileri	30
2.7.4. Radyasyonun Geç Dönem Etkileri	34
2.7.5. Radyasyonun Bazı Organ ve Dokulara Etkisi	36
2.7.5.1. Deri, Saç ve Kıllar	36
2.7.5.2. Göz Merceği	36
2.7.5.3. Üreme Organları	36
2.7.5.4. Akciğerler	37
2.7.5.5. Sindirim Borusu	37
2.7.5.6. İdrar Yolları ve Mesane	37
2.7.5.7. Kemik Yapılar	37

2.7.5.8. Hemapoetik Sistem	38
2.8. İyonizan Radyasyon ve Karsinogenezis	38
2.9. İyonizan Radyasyonun In-Utero Etkileri	41
2.10. İyonizan Radyasyonun Medikal Amaçlı Kullanımından Kaynaklanan Riskler	42
2.11. Tanısal Radyolojik Tetkiklerde Maruz Kalınan Doz Miktarları	44
2.12. Güvenli Radyasyon Dozu Sınırları	48
2.13. Diyagnostik (Tanısal) Radyoloji	50
2.13.1. İyonizan Radyasyon İçeren Radyolojik Görüntüleme Yöntemleri	51
2.13.1.1. Radyografi (Röntgen)	51
2.13.1.2. Tomografi	52
2.13.1.3. Pantomografi	53
2.13.1.4. Anjiografi	53
2.13.1.5. Floroskopi (Skopi)	53
2.13.1.6. Mamografi	54
2.13.1.7. Fotoradyografi	54
2.13.1.8. Dijital Röntgen	54
2.13.1.9. Kemik Mineral Dansitometri	55
2.13.1.10. Bilgisayarlı Tomografi (BT)	56
2.13.1.11. Radyonüklid Görüntüleme (Nükleer Tıp)	59
2.14. Radyasyondan Korunma	61
2.14.1. Radyasyondan Korunmada Uyulması Gereken Genel Kurallar	61
2.14.2. X-ışınlarının Zararlı Etkilerini Azaltmaya Yönelik Önlemler	63
2.14.2.1. Gereksiz Doz Alımını Engellemek	63
2.14.2.2. Kişisel Müsaade Edilen Doz Kavramına Uymak	64
2.14.2.3. Uygulamada Etkinlik	64
3. GEREÇ ve YÖNTEM	67
3.1. Çalışma Evreni	67
3.2. Anket Formu	67
3.3. İstatistiksel Analiz	69

4. BULGULAR	70
4.1. Tanımlayıcı Özellikler	70
4.2. Araştırma Görevlilerinin Eğitim Alma ve İsteme Durumları	72
4.3. Araştırma Görevlilerinin Radyolojik Tetkik İsterken Tercih Öncelikleri	72
4.4. En Sık İstenen Radyolojik Tetkikler ve Bir PA Akciğer Grafisine Kıyasla İçerdikleri Radyasyon Dozları	73
4.5. Araştırma Görevlilerinin BT Tetkiki Öncesi Hastayı Maruz Kalacağı Radyasyon Dozu ve Radyasyonun Olası Risklerine İlişkin Bilgilendirme Durumu	76
4.6. Radyolojik Tetkiklerde Maruz Kalınan Radyasyon Dozlarının Kaç PA Akciğer Grafisine Karşılık Geldiği	76
4.7. Araştırma Görevlilerinin Hizmet Yılı ve Eğitim Durumuna Göre Radyolojik Tetkiklerde Maruz Kalınan Radyasyon Dozlarının Kaç PA Akciğer Grafisine Karşılık Geldiğine İlişkin Verdikleri Yanıtlar	77
4.8. Yıllık Ortalama Doğal Radyasyon Dozu İle Bir Abdomen BT Tetkikinde Maruz Kalınan Dozun Kıyaslanması	79
4.9. Bir Beyin BT ve Abdomen BT Tetkikinin Yaşam Boyu Kanser Geliştirme Riski	80
4.10. Yetişkin ve Çocuklarda Uygulanan BT İncelemelerinde Çekim Parametrelerinde Farklılık Olup Olmadığı İle Doz Ayarlamalı Pediatrik BT Tetkikinde Doz Azılımı	81
4.11. Pediatri, Pediatrik Cerrahi ve Radyoloji Bölümü Araştırma Görevlilerinin Radyolojik Tetkiklerde Maruz Kalınan Radyasyon Dozlarının Kaç PA Akciğer Grafisine Karşılık Geldiğine İlişkin Verdikleri Yanıtlar	81
5. TARTIŞMA	83
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	91
7. KAYNAKLAR	93
8. EK: Araştırma Görevlilerinin Radyolojik Görüntüleme Yöntemlerinde Hastaların Maruz Kaldığı Radyasyon Dozları ve Kanser Riskine İlişkin Farkındalıkları Anket Formu	100

## TABLO DİZİNİ

<b>Tablo I.</b>	Radyasyon ile İlgili Eski ve Yeni Birimler ile Birbirlerine Dönüşümleri	4
<b>Tablo II.</b>	Yıllık Radyasyon Dozunun Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynaklarına Göre Ortalamalarının Dağılımı	11
<b>Tablo III.</b>	İnsanlar Üzerinde Ani Tüm Vücut Işınlamalarının Dozlara Göre Etkileri	33
<b>Tablo IV.</b>	Radyolojik Tetkiklerin Yaşam Boyu Kanser Geliştirme Riskleri	44
<b>Tablo V.</b>	Radyolojik Tetkiklerde Maruz Kalınan Radyasyon Dozu Değerleri, PA Akciğer Grafisi ile Sayısal ve Yeryüzü Doğal Radyasyon ile Süresel Eşdeğerliği	47
<b>Tablo VI.</b>	Beş Yaşındaki Bir Çocuğun Uygun Parametrelerle Elde Olunan Radyolojik Tetkiklerde Maruz Kalacağı Ortalama Radyasyon Doz Miktarları ve Akciğer Grafisiyle Sayısal Eşdeğerliği	48
<b>Tablo VII.</b>	Araştırma Görevlilerinin Sosyodemografik Özelliklerinin Dağılımı	70
<b>Tablo VIII.</b>	Araştırma Görevlilerinin Çalıştığı Klinik Bölümlere Göre Dağılımı	71
<b>Tablo IX.</b>	Araştırma Görevlilerinin Ne Zaman Eğitim Verilmesi Gerektiğine İlişkin İsteklerinin Dağılımı	72
<b>Tablo X.</b>	Araştırma Görevlilerinin Radyolojik Tetkik İsterken Tercih Önceliklerinin Dağılımı	73
<b>Tablo XI.</b>	Araştırma Görevlilerinin En Sık İstedikleri Direkt Grafilerin Dağılımı	74
<b>Tablo XII.</b>	Araştırma Görevlilerinin En Sık İstedikleri BT Tetkiklerinin Dağılımı	75
<b>Tablo XIII.</b>	Araştırma Görevlilerinin PA Akciğer Grafisine Kıyasla BT Tetkiklerinde Maruz Kalınan Radyasyon Dozuna İlişkin Doğru Yanıtların Dağılımı	76

<b>Tablo XIV.</b>	Araştırma Görevlilerinin Radyolojik Tetkiklerdeki Radyasyon Dozlarının Kaç PA Akciğer Grafisine Karşılık Geldiğine İlişkin Doğru Yanıtlarının Dağılımı	77
<b>Tablo XV.</b>	Araştırma Görevlilerinin Hizmet Yılına Göre Tetkiklerdeki Radyasyon Dozlarının Kaç PA Akciğer Grafisine Karşılık Geldiğine İlişkin Doğru Yanıtlarının Dağılımı	78
<b>Tablo XVI.</b>	Araştırma Görevlilerinin Eğitim Alma Durumlarına Göre, Tetkiklerdeki Radyasyon Dozlarının Kaç PA Akciğer Grafisine Karşılık Geldiğine İlişkin Doğru Yanıtlarının Dağılımı	79
<b>Tablo XVII.</b>	Araştırma Görevlilerinin Yıllık Ortalama Doğal Radyasyon Dozu İle Bir Abdomen BT Tetkikinde Maruz Kalınan Dozun Kıyaslanmasına İlişkin Yanıtlarının Dağılımı	79
<b>Tablo XVIII.</b>	Araştırma Görevlilerinin Bir Beyin BT Tetkikinde Yaşam Boyu Kanseri Geliştirme Riskine Verdikleri Yanıtların Dağılımı	80
<b>Tablo XIX.</b>	Araştırma Görevlilerinin Bir Abdomen BT Tetkikinde Yaşam Boyu Kanseri Geliştirme Riskine Verdikleri Yanıtların Dağılımı	80
<b>Tablo XX.</b>	Pediyatri, Pediyatrik Cerrahi, Radyoloji Bölümü Araştırma Görevlilerinin Tetkiklerdeki Radyasyon Dozlarının Kaç PA Akciğer Grafisine Karşılık Geldiğine İlişkin Doğru Yanıtlarının Dağılımı	82



## ŞEKİL DİZİNİ

<b>Şekil 1:</b> Radyoaktif atomun parçalanması, enerji, radyasyon ve partikülün ortaya çıkışı	2
<b>Şekil 2:</b> ABD’de doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozunun yüzde değerleri	11
<b>Şekil 3:</b> Radyasyon türleri	12
<b>Şekil 4:</b> Elektromanyetik spektrum	16
<b>Şekil 5:</b> Alfa, $\beta$ ve $\gamma$ -ışınlarının giricilik dereceleri arasındaki farklılık	16
<b>Şekil 6:</b> Röntgen tüpü ve şematik gösterimi	19
<b>Şekil 7:</b> Thomson saçılmasının şematize edilmiş oluşumu	23
<b>Şekil 8:</b> Compton Olayı	23
<b>Şekil 9:</b> Foto-elektrik Olay	24
<b>Şekil 10:</b> Çift oluşumu	25
<b>Şekil 11:</b> Fotobozunma	26

## ÖZET

Gelişen teknolojiyle artan bir şekilde tıpta uygulama alanı bulan iyonizan radyasyon içeren görüntüleme yöntemleri, insanların maruz kaldığı yapay radyasyonun büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır. Bu çalışmada; araştırma görevlilerinin, radyolojik görüntüleme yöntemleriyle hastaların maruz kaldıkları iyonizan radyasyon dozları ve kanser riskine ilişkin farkındalıklarının saptanması amaçlanmıştır.

Tanımlayıcı tipteki bu çalışmaya; 17 Ekim 2008 ve 12 Ocak 2009 tarihleri arasında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesindeki toplam 376 araştırma görevlisinden, 364'ü (%96.8) katılmıştır. Anketler her bölüm için servis ve polikliniklerde birebir gözlem altında uygulanarak yapılmıştır. Verilerin analizinde ki-kare testi kullanılmıştır.

Araştırma görevlilerinin %58.2 erkek, %41.8 kadın olup, ortalama yaşı 29.0 (24.0-41.0) yıl olarak bulundu. Radyolojik görüntüleme yöntemlerinde maruz kalınan iyonizan radyasyon dozu ve olası riskler hakkında araştırma görevlilerinin %40.4'ü eğitim aldığını belirtmiş olup, bunların da %74.1'i tıp fakültesinde eğitim almıştır. Araştırma görevlilerinin %51.3'ü tıp eğitimi sırasında, %22.9'u ise uzmanlık eğitimi sırasında bu eğitimin verilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Bir posteroanterior (PA) akciğer grafisinde hastanın maruz kaldığı radyasyon miktarını araştırma görevlilerinin %7.2'si doğru yanıtlamıştır. Araştırma görevlilerinin %23.9'u beyin BT (bilgisayarlı tomografi), %15.9'u abdomen BT, %15.7'si toraks BT'nin, %9.3'ü intravenöz piyelografi (İVP), %14.8'i tiroid sintigrafisi, %1.9'u iki yönlü lomber grafinin radyasyon dozlarının kaç PA akciğer grafisine karşılık geldiğini doğru yanıtlamışlardır. Araştırma görevlilerinin %5.8'i ultrasonografinin (USG) ve %14.8'i manyetik rezonans görüntülemenin (MRG) iyonizan radyasyon içerdiğini belirtmiştir. Hizmet süresine göre USG ve MRG'nin iyonizan radyasyon içerip içermediğine verilen doğru yanıtlar 10 yıl ve üzerindekilerde (%67.3, %55.8); 10 yıl altındakilere (%84.7, %73.7) göre düşük olup aralarında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur ( $X^2=8.09$ ,  $p<0.01$ ;  $X^2=6.12$ ,  $p<0.05$ ). Yaşam boyu kanser geliştirme riskinin bir beyin BT ve abdomen BT tetkikinde ne kadar olduğu sorulduğunda; sırayla %33.0'ü ve %27.5'i doğru yanıt vermişlerdir.

Araştırma görevlilerinin sıklıkla istedikleri radyolojik tetkiklerde maruz kalınan radyasyon dozlarını olduğundan daha düşük düzeyde belirtmeleri bu konudaki eğitimlerinin yetersiz olduğunu göstermektedir. Hızla gelişen teknolojik ilerlemelerle

değişen radyolojik görüntüleme yöntemleri, radyasyon içeriği ve olası riskleri hakkında hekimler süreklilik içerisinde temel tıp eğitimi ve sonrasında güncellenmiş bilgilerle eğitilmelidir.

**Anahtar Kelimeler:** Araştırma görevlileri, Radyolojik görüntüleme yöntemleri, İyonizan radyasyon, Kanser riski

## **ABSTRACT**

### **How Aware The Research Assistants Are Of The Doses Of Radiation The Patients Receive During Radiological Examinations And The Risk These Doses Have For Cancer Development**

As the technology improves the imaging techniques involving ionizing radiation have been used more widely and ionizing radiation has become the most common type of radiation that men encounter. The aim of this study was to investigate how aware the research assistants are of the ionizing radiation dosages that patients receive through the radiological imaging methods and the risk of cancer they involve. The study included the 364 (96.8 %) of the 376 research assistants at the Medical Faculty Hospital of University of 19 Mayıs between Oct.17<sup>th</sup> 2008 and January 12<sup>th</sup> 2009. Surveys were performed under individual observations for the services and polyclinics of each department. For the analysis of data ki-square test was used.

The percentages of the male and female research assistants were 58.2 % and 41.8% respectively, and the mean age was 29.0 (24.0-41.0). Of these, 40.4 % stated that they were educated for the ionizing radiation dosages encountered during the radiological imaging methods and for their possible risks, and 74.1 % of them received this education at the Faculty of Medicine. 51.3 % of the research assistants stated that this education should be given during the basic education of medicine while 22.9 % stated that it should be given during the process of being a specialist. The amount of radiation encountered at a posteroanterior (PA) chest graphy was answered correctly by the 7.3 % of the research assistants. The PA chest graphy equivalents of the radiation doses of brain CT (computed tomography), abdomen CT, thorax CT, intravenous pyelography (IVP), thyroid scintigraphy and 2-sided lumbar graphy were answered correctly by the 23.9%, 15.9%, 15.7%, 9.3%, 14.8% and 1.9% of the research assistants respectively. The percentage of the research assistants who stated that ultrasound graphy involves ionizing radiation was 5.8 % and who stated that magnetic resonance imaging (MRI) involves ionizing radiation was 14.8 %. When compared according to the employment period, the percentage of correct answers to the questions whether USG and MRI involve ionizing radiation were lower in the group 10 years or over

(67.3%, 55.8%) than the group under 10 years (84.7%, 73.7 %), and there was statistically significant difference between the groups ( $X^2 = 8.09$ ,  $p < 0.01$ ;  $X^2 = 6.12$ ,  $p < 0.05$ ). When the life-time risks of cancer development for the brain CT and the abdomen CT were questioned, respectively 33.0 % and 27.5 % of the research assistants answered correctly.

Research assistants often stated lower-than-normal radiation doses for the radiological examinations they asked for, from which we inferred that their education on the subject is not adequate enough. Doctors should steadily be informed about ever-improving radiological imaging methods and their radiation inclusions and possible risks both during their basic medical education and during their later careers.

**Key Words:** Research assistants, Radiological imaging methods, Ionizing radiation, Cancer risk.

## 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Radyasyon madde içinde soğurulan ve transfer edilen enerjidir. Fotonların ve atomların bulunduğu her ortamda radyasyon mevcuttur. Dolayısı ile radyasyon yaşantının her alanında karşılaşılan ve maruz kalınan bir olgudur. Radyasyon doğal kaynaklardan açığa çıktığı gibi yapay olarak da elde edilebilmektedir. X-ışınının ve radyoaktivitenin keşfi ile radyasyon tıpta uygulanmaya başlamış ve gelişen teknoloji ile de hızla ve artan bir şekilde radyolojik görüntüleme ve tedavi yöntemleri arasında yerine almıştır (1-6). 1895’de Wilhelm Conrad Röntgen’in X-ışınını keşfi radyolojik görüntülemenin temelini oluşturmuştur. X-ışınının radyolojik görüntülemede hızla ve artan şekilde kullanılması ile birlikte radyasyonun zararlı etkilerinin olduğu görülmeye başlamıştır (1-5,7).

Günümüzde iyonizan radyasyon içeren görüntüleme yöntemleri gelişen teknoloji ile farklı yöntemlerle yoğun bir şekilde tıpta uygulama alanı bulmaktadır. Son yıllarda özellikle çok kesitli bilgisayarlı tomografi (ÇKBT) gibi yüksek teknoloji içeren cihazların geliştirilmesiyle daha hızlı ve detaylı dinamik kontrastlı incelemeler, BT anjiyografi, kardiyak BT, sanal BT kolonoskopi gibi farklı alanlarda yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilebilmektedir (2,4,8-14). Bu da her geçen gün klinisyenlerin tanı ve tedavilerini şekillendirmeleri bakımından artan bir hızla tetkik istem sayılarını artırmaktadır (2,4,8,13-15). Teknolojideki bu denli hızlı gelişme, yöntemlerin çeşitliliği ve ulaşılabilirliğinin artması bu tetkiklerin cazibesini artırmakta diğer taraftan iyonizan radyasyon içermesi nedeniyle hastaların maruz kaldığı radyasyon miktarı artmaktadır. İnsanların yapay radyasyon kaynaklarından maruz kaldıkları radyasyon miktarının büyük çoğunluğunu tıbbi uygulamalar oluşturmaktadır (2,4,13,16-18). Kontrol edilebilir olan yapay radyasyon kaynaklarından alınan radyasyon dozlarının giderek artış göstermesi yaşam boyu kanser geliştirme riski gibi olası risklerin artışı nedeniyle halk sağlığı açısından sorun teşkil etmektedir (13,19,20).

Bu çalışmada araştırma görevlilerinin, hastalarının tanı ve tedavilerine katkı sunmaları için istemde buldukları radyolojik görüntüleme yöntemlerinde hastaların maruz kaldığı iyonizan radyasyon dozları ve kanser risklerine ilişkin farkındalıklarının saptanması amaçlanmıştır.

## 2. GENEL BİLGİLER

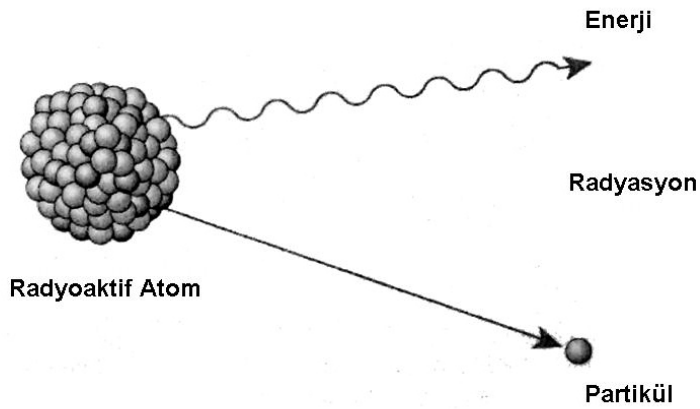
### 2.1. Radyasyon

Radyasyon kelimesi genel olarak ışık yaymak anlamına gelir. Aynı zamanda madde içinde soğurulan ve transfer edilen bir enerjidir. Bir başka tanımla radyasyon enerjinin boşlukta yayılabilen bir türüdür. Enerjinin kimyasal, elektrik, yerçekimi, ısı, manyetik, nükleer, ses, ışık gibi çeşitli türleri vardır. Radyasyon bu gruplardan ışık enerjisi altında sınıflandırılmaktadır (1-4).

Işık enerjisi fotonların hareketidir. Elektromanyetik dalgaların ışık spektrumu ışık enerjisini gösterir. Dünya üzerindeki tüm yaşam güneşten gelen ışık enerjisine bağlıdır. Işık enerjisine örnek olarak radyo dalgaları (AM, FM, TV), mikrodalgalar, X-ışınları verilebilir (2).

### 2.2. Radyoaktivite

Atomların çekirdeklerini teşkil eden nükleonların oranı (proton sayısı/nötron sayısı), hafif elementlerde bir iken, ağır elementlere doğru gidildikçe nötronlar lehine artmaya başlar ve bir noktadan sonra, daha önceden bahsettiğimiz çekirdek içindeki kararlılık tamamen bozulur. Radyonüklit adı verilen bu tür çekirdekler fazla sayıdaki nükleonları nedeniyle kararsızdırlar ve bünyelerindeki fazla enerjiyi radyasyon yayarak düzenlemeye çalışırlar. Çekirdeklerin gerek bu doğal yol gerekse dışarıdan verilen bir uyarımla bombardımanı neticesinde yapay olarak parçalanmasına radyoaktivite veya radyoaktif parçalanma adı verilmektedir (Şekil 1) (1,2).



**Şekil 1:** Radyoaktif atomun parçalanması, enerji, radyasyon ve partikülün ortaya çıkışı

Bazı elementlerin girici radyasyon yayabilmesi şeklinde de tanımlanan radyoaktivite, 1896 yılında Henri Becquerel tarafından ağır bir metal olan uranyumun kağıttan geçerek karanlık odadaki fotoğraf kağıdını karartan ışınlar yaymasının belirlenmesiyle keşfedilmiştir. H. Becquerel'in bu keşfinde X-ışınlarının bundan sadece bir sene öncesinde bulunmuş olmasının rolü büyüktür. Bundan hemen sonra Marie Curie ve eşi Pierre Curie benzer radyoaktif özellikleri bulunan diğer elementler üzerinde çalışmaya başlamışlar, 1898 yılında radyoaktif ışınların varlığını kanıtlayarak Radyum ve Polonyum elementlerinin radyoaktivitelerini keşfetmişlerdir. 1934 yılında ise kızları Irene Joliot Curie önceleri kararlı olan elementlerin radyoaktif hale getirilebileceğini göstererek yapay radyoaktiviteyi keşfetmiştir. Bu keşiften ve özellikle de füzyon olayının açıklanmasından sonra yapay radyoaktiviteye sahip birçok madde geliştirilmiştir (2).

### **2.3. Radyasyon Birimleri**

İyonlaştırıcı radyasyonların tanısall ve tedavi edici tıbbi yaklaşımlarda kullanılmaya başlanması ile radyasyon ölçüm değerlerine ihtiyaç duyulmuş, radyasyon ile ilgili sınırlayıcı birimler geliştirilmiştir. Bu birimlerden ilk olarak 1928 yılında Röntgen (R) tanımlanmış, ardından diğerleri gelmiştir. Yakın bir geçmişe kadar kullanılan geleneksel radyasyon birimleri, 1986 yılından itibaren köklü bir değişikliğe uğramıştır. Bu tarihten geçerli olmak üzere Uluslararası Birim Sistemi (SI) kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde yeni birimler geçerli olmakla birlikte, geleneksel ve yeni SI birimleri Tablo I'de verilmiştir (2).



**Tablo I.** Radyasyon ile İlgili Eski ve Yeni Birimler ile Birbirlerine Dönüşümleri

<b>Fiziki Büyüklük</b>	<b>Eski Birimi/Sembolü</b>	<b>Yeni Birimi/Sembolü</b>	<b>Dönüşüm Değerleri</b>
Radyoaktivite Şiddet Birimi	Curie (Ci)	Becquerel (Bq)	1 Ci = 3.7x10 <sup>10</sup> Bq 1 Bq = 2.7x10 <sup>-11</sup> Ci
Işınlama Birimi	Röntgen (R)	Coloumb/kilogram (C/kg)	1 R = 2.58x10 <sup>-4</sup> C/kg 1 C/kg = 3876 R
Soğurulan Doz Birimi	Rad (rad)	Gray (Gy)	1 Rad = 0.01 Gy 1 Gy = 100 Rad 1 Gy = 100 cGy
Biyolojik Doz Birimi	Rem (rem)	Sievert (Sv)	1 Rem = 0.01 Sv 1 Sv = 100 Rem 1 Sv = 1000 mSv
Radyasyon Şiddeti Birimi	Röntgen / Saat (R/s)	Gray / Saniye (Gy/sn)	1 R/s = 2.425 Gy/sn 1 µGy/sn = 0.4124 R/s

### 2.3.1. Radyoaktivite Şiddet Birimi

Radyoaktivite şiddet birimleri Becquerel (Bq) veya Curie (Ci)'dir. Curie, radyoaktivite şiddetinin geleneksel birimidir. Saniyede  $3.7 \times 10^{10}$  çekirdeğin parçalandığı bir maddede radyoaktivitenin şiddeti 1 Ci'dir. Sadece doğal radyoizotopların bilindiği dönemde, radyasyon kaynağı olarak kullanılan başlıca izotop olan Radyumun 1 gramının 1 saniyelik radyoaktivitesinin ölçümüne 1 Ci denmiş ve yapılan ölçümlerde bunun  $3.7 \times 10^{10}$  parçalanma/sn değerine karşılık geldiği bulunmuştur.

Becquerel radyoaktivite şiddetinin SI'ye göre yeni birimidir. Saniyede bir çekirdeğin parçalandığı bir maddede radyoaktivitenin şiddeti 1 Bq'dir. Bu iki birimin birbirine dönüşümü  $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 37 \text{ GBq}$  (Giga Becquerel) olarak gerçekleşmektedir. Becquerel, Ci'ye göre çok daha küçük değerlerde bir birim olup düşük şiddetlerdeki radyoaktiviteleri tanımlamakta daha fazla tercih edilmektedir. Ancak yüksek şiddetteki radyoaktivitenin Bq ile ifadesi bol sıfırlı sayıların

kullanılmasını gerektirdiğinden zahmetlidir (1,2).

### 2.3.2. Radyasyon Enerjisi Birimi

Radyasyon enerjisi, bir elektronun vakum içerisinde ve 1 voltluk (V) potansiyel farkına sahip bir elektriksel alanın etkisi ile hızlandırıldığında kazandığı kinetik enerji olup birimi elektronvolt (eV)'tur. Elektronvolt çok küçük değerlerde bir enerji birimidir. Bu yüzden pratikte ifade edilen değerler genellikle kilo elektronvolt ( $keV = 10^3 eV$ ) veya mega elektronvolt ( $MeV = 10^6 eV$ ) şeklinde kullanılmaktadır. Radyasyon enerjisinin dönüşümü  $1 eV = 1.6 \times 10^{-19}$  Joule (J) olarak ifade edilmektedir. Radyasyon kaynağı olarak sık kullanılan bazı radyoizotoplardan Co-60'ın enerjisi 1.17 ve 1.33 MeV (iki farklı enerjiden oluşmaktadır), Sezyum-137'nin 0.66 MeV ve Iridyum-192'nin 0.2-0.6 MeV olup radyoizotopların radyasyon şiddetleri, izotopun yarılanma ömrü ile zayıflarken radyasyon enerjileri değişmeden kalmaktadır.

Radyoizotoplar için ifade edilen bu özellik X-ışınları açısından tamamen farklı olup elektronik tüplerde üretilen X-ışınları için kesin ve değişmeyen enerji değerleri verilemez. X-ışınlarının enerjilerini ölçmek, cihazları kullananlar kadar bu cihazları üreten firmalar açısından bile oldukça güçtür. Sadece vakumlu tüp içindeki elektronlar hızlandıran elektriksel alanın potansiyel farkı, röntgen cihazının kontrol tablosundaki göstergeden kilovolt (kV) cinsinden okunabilir. Fakat kV, X-ışınlarının gerçek enerjisini temsil etmeyip yalnızca onun hakkında pratik olarak yaklaşık bir değer vermektedir (1,2).

### 2.3.3. Radyasyon Şiddeti Birimi

X ya da  $\gamma$ -ışını kaynaklarının, kaynağın 1 metre uzağında yarattıkları radyasyon şiddetine verilen isimdir. Birimi, geleneksel sisteme göre 1 metrede Röntgen/saat (R/s), yeni SI'e göre ise; 1 metrede Gray/saniye (Gy/sn)'dir. Bu birimlerin birbirine dönüşümü ise şu şekildedir:

$$1 \mu Gy/sn \text{ (mikrogray/sn)} = 0.4124 \text{ R/s veya } 1 \text{ R/s} = 2.425 \text{ Gy/sn.}$$

X-ışını kaynağının, 1 m uzağında yarattığı radyasyon şiddeti, cihazların yapısına ve o andaki miliamper (mA) ve kV değerlerine bağlıdır. Genelde X-ışını cihazları, radyoizotoplara oranla çok daha yüksek radyasyon çıkışına sahiptir (1,2).

#### 2.3.4. Radyasyon Alan Şiddeti Birimi

Radyasyon alan şiddeti, birim alanda maruz kalınan radyasyon miktarıdır. Geleneksel birimi Röntgen/saat (R/s), SI'ye göre yeni birimi ise Coloumb/kilogram/saniye(C/kg/sn)'dir. Buna göre şiddeti 1 R/s olan radyasyon alanında 1 saat bulunan kişi 1 R, 2 saat bulunan kişi ise 2 R'lik radyasyona maruz kalmıştır (1,2).

#### 2.3.5. Işınlama Birimi

Işınlama birimi, enerjileri 3 MeV'a kadar olan X-ışınları ya da  $\gamma$ -ışınları için tarif edilmiş bir birim olup bu radyasyonların havada meydana getirdikleri iyonlaşmanın ölçüsüdür. İlk kez 1928 yılında tanımlanmış ve geleneksel olarak Röntgen (R) ifadesi ile günümüze kadar gelmiştir. Normal şartlar altında (0°C, 760 mm Hg basınç altında) 1 cm<sup>3</sup> havada (0,001293 gr), 1 elektrostatik yük birimi oluşturan (1 elektrostatik ünite=2.08 x 10<sup>9</sup> iyon çiftidir) X ya da  $\gamma$ -ışını miktarı 1 Röntgen'dir.

Röntgen birimi, tanımı itibariyle SI'ye uymadığı için sonradan Coulomb/kilogram (C/kg) olarak yeni bir birim tarif olunmuştur. Buna göre ışınlama birimi, normal şartlar altında, 1 kg hava içinde, 1 Coulomb'luk elektrik yüküne eşdeğer iyon çifti oluşturan X veya  $\gamma$ -ışını miktarıdır. Bu iki birimin birbirine dönüşümü mümkün olup 1 C/kg = 3876 R veya 1R = 2.58 x 10<sup>-4</sup> C/kg hava'dır (1,2).

#### 2.3.6. Fiziki (Soğurulan) Doz Birimi

Radyasyon dozu konusunda yalnızca Röntgen ve Coulomb birimleri ile yetinilmemiş, soğurulan radyasyonun belirlenmesi için de bir birimin tanımlanması gerekmiştir. Bu ihtiyaçtan hareketle radyasyon absorpsiyon dozu veya soğurulan doz olarak bilinen geleneksel rad birimi tanımlanmıştır. Rad, bir ışınlama sırasında, ışınlanan maddenin 1 gramının absorbe ettiği enerji 100 erg (6.2 x 10<sup>7</sup> MeV) olduğunda alınan dozdur. Rad'ın SI'ye göre yeni birimi Gray (Gy)'dir. Gray, bir ışınlama esnasında, ortama 1 Joule /kilogram (J/kg) enerji aktaran radyasyon dozuna verilen isimdir. Birimlerin birbirlerine dönüşümü, 1 Gy = 1 J/kg = 10<sup>7</sup> erg = 100 rad şeklinde gerçekleşmektedir.

Bir R'lik X ya da  $\gamma$ -ışınına maruz kalan havanın soğurduğu radyasyon dozu 0.88 rad, canlı dokunun soğurduğu radyasyon dozu ise 0.98 rad'dır. Röntgen'in

tanımında radyasyon cinsi olarak X ya da  $\gamma$ -ışınları, ortam olarak da hava ifade edilmektedir. Bu nedenle R birimi sadece yukarıda ifade edilen türdeki ışınlar ve bu ışınların yalnızca havadaki iyonlaştırıcı etkileri için geçerlidir. Alfa ve  $\beta$ -ışınları için R birimi kullanılmayacağı gibi, hava dışındaki başka ortamlarda da radyasyon dozu olarak R biriminin ifadesi geçerli olmayacaktır. Oysa Gy ve rad birimlerinin tanımlarında, radyasyon cinsi ve belirli bir ortamdan söz edilmediğinden bu iki birim de her ortamda ve her türlü radyasyonun soğurulma dozu hesaplanmasında kullanılabilir (1,2).

### **2.3.7. Biyolojik Doz Birimi**

Soğurulan doz birimi, canlı dokularda, soğurulan radyasyon dozunun biyolojik etkilerinin radyasyonun cinsine göre farklılık göstermesinden dolayı kullanılmaktadır. Radyasyonun canlı dokularda soğurulan miktarını ifade etmek için farklı bir birim olan biyolojik doz birimi kullanılmaktadır. Biyolojik doz biriminde, radyasyonun biyolojik etkisi sadece radyasyonun canlı dokulara aktardığı enerji miktarına değil, aynı zamanda radyasyonun cinsine ve diğer bazı faktörlere bağlıdır. Bu nedenle radyasyonun canlı dokular üzerindeki etkilerini belirlemede kullanılacak doz biriminin tüm bu faktörleri içermesi gerekmektedir. Bu faktörler, kalite faktörü (KF) veya rölatif biyolojik etkinlik (RBE) adı altında toplanmıştır.

Biyolojik dozun geleneksel birimi “Roentgen equivalent of man” sözcüklerinin baş harflerinden oluşturulmuş “rem”dir. Rem, rad ile KF’nin çarpımından oluşmaktadır. Rem’in SI sistemdeki yeni birimi sievert (Sv) olup gray (Gy)’in KF veya RBE ile çarpımından elde edilmektedir.

Değişik radyasyon çeşitlerine, KF olarak değişik sayısal değerler biçilmiştir. Bu amaçla X-ışınının kalite faktörü 1 olarak belirlenmiş, diğer radyasyonların RBE değerleri ise meydana getirebilecekleri zararlı etkilerin en kötülerinin, X-ışınlarıyla mukayesesine göre tayin edilmiştir. Buna göre  $\gamma$  ve  $\beta$ -ışınlarının KF’si, bu ışınların biyolojik etkileri X-ışını ile aynı kabul edilerek 1 katsayısı verilmiştir. Buradan hareketle yavaş nötronların katsayısı 4-5, enerjisi 2 MeV olan hızlı nötronların ve protonların katsayısı 10,  $\alpha$ -ışınlarının katsayısı ise 20 ile gösterilmiştir. Bu durumda X-ışınları için biyolojik doz birimi, KF değeri 1 olarak kabul edildiğinden fiziksel doz birimi ile eşitlik göstermektedir. Yani:

$Sv = 1 \times Gy$  ( $Sv = Gy$ ) ya da  $rem = 1 \times rad$  ( $rem = rad$ )'tır.

Bu birimlerin birbirine dönüşümü ise:

$1 Sv = 100 rem$  veya  $10 \mu Sv = 1 mrem$  şeklindedir (1,2).

#### **2.4. Radyasyon Kaynakları**

İnsanın var oluşundan bu yana sürekli olarak radyasyonla iç içe yaşamak zorunda kalmıştır. Dünyanın oluşumuyla birlikte tabiatta yerini alan çok uzun ömürlü radyoaktif elementler yaşanan çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. Geçtiğimiz yüzyılda bu doğal düzey, nükleer bomba denemeleri ve bazı teknolojik ürünlerin kullanımı ile bir hayli artış göstermiştir. Maruz kalınan doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirleyen birçok neden vardır. Yaşanılan yer, bu yerin toprak yapısı, barınılan binalarda kullanılan malzemeler, mevsimler, kutuplara olan uzaklık ve hava şartları bu nedenlerden bazılarıdır. Yağmur, kar, alçak basınç, yüksek basınç ve rüzgâr yönü gibi etkenler de doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirler.

Radyasyon kaynakları, doğal ve yapay olmak üzere, iki sınıfa ayrılmaktadır.

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 yaşadığımıza, 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. Doğal kaynaklı çevre radyasyonu herkesi etkilediği halde, yapay radyasyonlar belli zamanlarda ve ilgili kişileri etkiler (meslekleri gereği veya teşhis ve tedavi amaçlı, vb). Yapay radyasyon bugün tıbbi, zirai ve endüstriyel alanlar gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır (5).

### 2.4.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

Günümüzde insanın maruz kaldığı radyasyonun en önemli kaynağı doğal radyasyondur ve maruz kalınan radyasyonun % 82'sini oluşturur (2). 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 yaşantıda, kozmik ışınlar nedeniyle maruz kalınan 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.

İnsan vücudunda bulunan radyoaktif elementlerden (özellikle Potasyum-40) dolayı da belli bir radyasyon dozuna maruz kalınır. Bir yıl boyunca bu şekilde maruz kalınan iç (dahili) radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.23 mSv kadardır.

Yiyecek, içecek ve solunan havadan maruz kalınan 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 gazıdır. 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

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 (5).

Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama doz 2.4 mSv olup, dünyanın farklı bölgelerinde bu değer 1-10 mSv aralığında değişmektedir (17).

#### **2.4.2.Yapay Radyasyon Kaynakları**

Gelişmiş endüstriyel ekonomilerin ve yüksek yaşam standartlarının, doğada mevcut olmayan bazı radyasyon kaynakları kullanılmadan süreklilik gösterebileceğini düşünmek şimdilik pek mümkün gözükmemektedir. Bu nedenle teknolojik gelişiminin gereği olarak, bazı radyasyon kaynaklarını yapay yollarla üretme ihtiyacı duyulmuştur. Bu kaynaklar, birçok 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 (5).

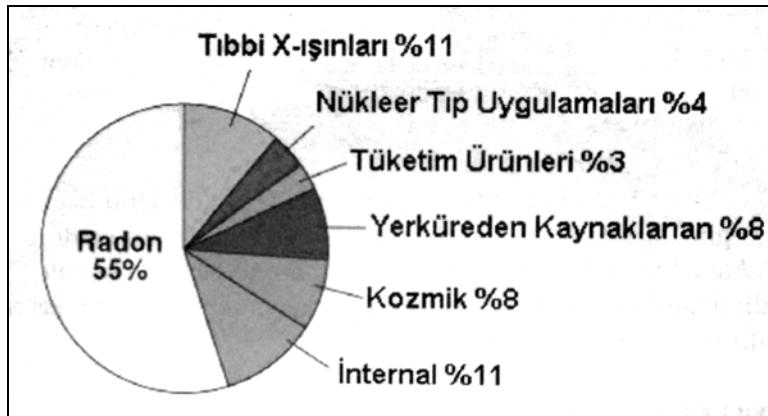
İyonizan ışın kullanan tanısal radyolojik işlemler insan eliyle oluşturulan tıbbi radyasyonun en önemli kaynağıdır. Tıbbi uygulamalardaki en büyük pay ise BT'nindir (4).

Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozunun dünya ortalaması 2.7 mSv/yıl'dır. Bu dozun, radyasyon kaynaklarına göre dağılımı ise Tablo II'de belirtilmiştir (5).

**Tablo II.** Yıllık Radyasyon Dozunun Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynaklarına Göre Ortalamalarının Dağılımı

<b>Radyasyon Kaynakları</b>	<b>Doz(mSv)</b>
<b>Doğal</b>	
Kozmik	0.39
Gama	0.46
İç	0.23
Radon	1.30
<b>Yapay</b>	
Tıbbi	0.30
Serpinti	0.007
Mesleki	0.002
Atıklar	0.001
Tüketici Ürünleri	0.0005

Amerika Birleşik Devletlerinde (ABD) bir kişinin yıllık doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kaldığı radyasyon dozu ortalaması 3.6 mSv olup Şekil 2’de bu dozların kaynakları oransal değerleri ile belirtilmiştir (21,22).



**Şekil 2:** ABD’de doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozunun yüzde değerleri (2)

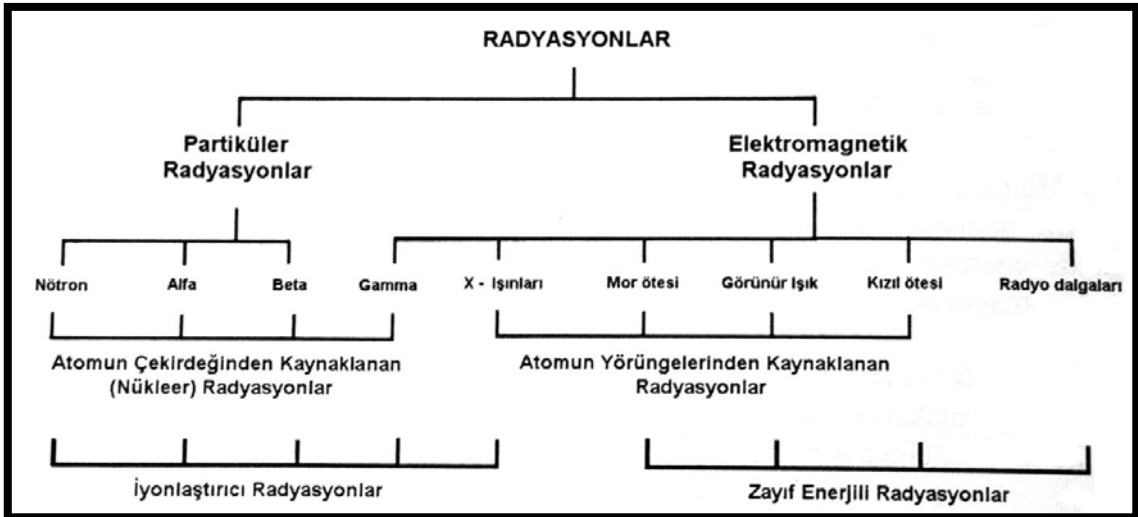


## 2.5. Radyasyon Türleri

1897'de Rutherford bazı ışınların diğerlerinden daha penetran olduklarının farkına varmış, penetranlık derecelerine göre radyasyonların farklı enerjili ve birden fazla cinsli olabileceğini söylemiştir. 1899 yılında ise değişik araştırmacılar tarafından, 1897 yılında Thomson'un keşfettiği katot korpüskülleri ile hemen hemen aynı elektriksel yüklü ve manyetik alanda saptırılabilen ışınlar tespit etmişlerdir (2).

Radyasyon maddesel ortamlarda yayılırken önüne çıkan atomlarla veya moleküllerle çarpışır. Şayet radyasyon fotonu yeterli enerjiye sahipse çarptığı atomdan en az bir elektronu koparır. Böylece en az bir elektronunu kaybeden atom iyonlaşır. İşte bunu gerçekleştirebilecek enerjiye sahip radyasyonlar, içerisinden geçtikleri ortamlarda iyonlar meydana getirdiklerinden iyonlaştırıcı radyasyon olarak adlandırılır ve radyasyon ailesinin yüksek enerjili grubunu oluştururlar. İyonlaşma yaratma yeteneğinden yoksun radyasyonlar ise zayıf enerjili radyasyonlar grubunda sınıflandırılır (1,2).

Günümüzde radyasyon, radyoaktif maddelerin çıkardığı ışınların tümüne birden verilen isim olup; partiküler radyasyon ve elektromanyetik radyasyon olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır (1,2). Şekil 3'de radyasyon türleri ve enerji düzeyleri belirtilmiştir (2).



Şekil 3: Radyasyon türleri

### 2.5.1. Partiküler (Korpusküler) Radyasyon

Alfa ( $\alpha$ ), Beta ( $\beta$ ) ışınları, elektron ( $e^-$ ), pozitron ( $e^+$ ) ve nötron ( $n$ ) bu tür radyasyona örnektir (2).

#### 2.5.1.1. Alfa ( $\alpha$ ) Partikülü

Yüklü taneciklerden olan  $\alpha$ -ışınları, 1899 yılında Rutherford tarafından keşfedilmiş olmakla birlikte gerçek yapılarının anlaşılması, bulunuşlarından yaklaşık on yıl sonra, Rutherford ve Royd adlı araştırmacıların ortak çalışmalarıyla mümkün olmuştur(2). Bu çalışmalar neticesinde  $\alpha$ -ışınlarının aslında yaydıkları radyasyon bakımından He atomunun çekirdeğine eşit olduğu görülmüştür. Çekirdek bağlanma enerjisi oldukça kararlı olan ve bu nedenle tek bir parçacıkmiş gibi değerlendirilen He atomunun çekirdeği 2 proton ve 2 nötrondan oluşur ve pozitif yüklüdür (1,2,5). Hızları ortalama 16.000 km/sn, çekirdekten fırlatıldıklarında enerjileri 9 MeV kadardır. Alfa partikülleri doğal radyoaktif maddelerden salınabileceği gibi yapay radyoaktif maddelerden de salınabilirler.  $\alpha$  partiküllerinin havada ve diğer maddeler içinde aldığı yollar kısadır. Bu parçacıklar ince kağıt tabakalar tarafından bile durdurulabilir. Hidrojenden dört kat daha ağırdır ve bu ağırlıkları nedeniyle penetrasyonları azdır. Ancak yüksek derecede iyonlaştırıcı özelliğe sahip oldukları için tehlikeli ışınlardır. Vücutta deri tarafından tutulurken herhangi bir şekilde solunum ve sindirim sistemlerine girdiklerinde zararlı etkileri çok daha büyüktür (2).

#### 2.5.1.2. Beta ( $\beta$ ) Partikülü

Radyoaktif maddeler tarafından salınan diğer bir partiküler radyasyon türü olan  $\beta$ -ışınları, genelde negatif yüklü olup proton ve nötron ihtiva etmezler. Kütleleri elektron kütesine eşittir. Bu nedenle  $\beta$ -partikülü pratik olarak bir elektrondur. Çekirdekten nötron fazlalığı nedeniyle salındığında, klasik negatif yüke sahip olan ve negatron adı ile de anılan  $\beta$ -ışınları; çekirdekteki proton fazlalığı nedeniyle gelişirse pozitif yüklü de olabilirler. Pozitif yüklü  $\beta$ -parçacıklarına ise pozitron adı verilir ve  $\beta^+$  veya  $e^+$  ile gösterilir.  $\beta$ -ışınları,  $\alpha$ -ışınlarına göre hem daha hızlı hem de daha penetrandır (2). Hızları 120.000-299.000 km/sn, enerjileri ise 0.01-5 MeV arasında değişmektedir. Havadaki yol uzunlukları 70-80 cm civarındadır (1,2).

### 2.5.1.3. Nötron ( $\eta$ )

Tabii radyoaktif maddelerin bazıları, kendiliğinden parçalanmaları sonucunda  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ -ışınlarından başka, az da olsa elektriksel yükü bulunmayan ve kütleleri protonlara yakın nötron ( ${}^1_0n$ ) çıkardıkları gözlenmektedir. Çekirdeklerin bu türden parçalanmalarına spontan fisyon adı verilmektedir. Çekirdeğin yapısında yer alan nötronların, hafif elementlerin  $\alpha$ -ışınları ile bombardıman edilmesiyle gelişen reaksiyon sonucu oluştuğu, 1932 yılında James Chadwick tarafından bulunmuştur. Nötronların enerjisi 0.03-12 MeV arasında değişmekte olup enerjilerine göre yavaş, epitermik, hızlı ve çok hızlı olmak üzere 4 gruba ayrılabilir. Yüksüz olmaları nedeniyle oldukça giricidirler. Kurşun, demir, beton gibi maddelerden geçebilirler. Çekirdeğin yapısında yer aldıklarında ömürleri açısından bir sınırlama bulunmayan nötronların serbest halde bulduklarında yarılanma ömürleri yaklaşık 11.7 dakikadır (2).

### 2.5.2. Elektromanyetik Radyasyon

Hava, boşluk veya madde gibi ortamlarda bir tür enerji yayılımı olan elektromanyetik radyasyon, manyetik ve elektriksel olmak üzere iki vektörel yöne sahip sinüzoidal bir dalga şeklindedir. Elektromanyetik dalgaların (radyasyonun) temellerinin anlaşılması frekans, dalga boyu, ışık hızı ve enerjiyi bilinmesini içermektedir. Bir saniyedeki oluş miktarı dalganın frekansıdır.

$$\text{Frekans} = 1 \text{ saniye} / \text{Bir döngünün süresi}$$

Örneğin, bir tam dalga saniyenin onda birinde oluşmuşsa, frekans saniyede 10 döngüdür. Bir saniyedeki döngü sayısına Hertz (Hz) adı verilir. Örnekteki frekans 10 Hz'dir. Bir Hz düşük bir frekans olup günlük pratikte ifade edilmesi istenen değerler genellikle kilohertz (1 KHz = 1000 Hz) veya megahertz (1 MHz = 1.000.000 Hz) kavramları ile ifade edilmektedir.

Yayımları sırasında belirli bir ortama ihtiyaç göstermeyen ve yolları üzerinde bir cisme çarpmadıkları sürece enerjilerinden bir şey kaybetmeyen elektromanyetik dalgalar boşlukta yayılımları esnasında aynı hıza sahiptir. Modern ölçümlerle bu hızın 299.792 km/sn olduğu saptanmıştır. Ancak kullanımda kolaylık sağlaması bakımından küsuratlı sayı tam sayıya tamamlanarak 300.000 km/sn olarak ifade edilmektedir. Bu hız günlük pratikte ışık hızı olarak bilinmekle, herhangi bir frekanstaki elektromanyetik radyasyon boşlukta yayıldığı için doğrusu elektromanyetik radyasyonun yayılım hızı

şeklinde adlandırılmalıdır. Elektromanyetik radyasyonlarda hız sabit olduğu için:

$$\text{Dalga boyu} = \text{ışık hızı} / \text{frekans}$$

Formülünden yola çıkılarak değişik radyasyonların dalga boyları belirlenebilir.

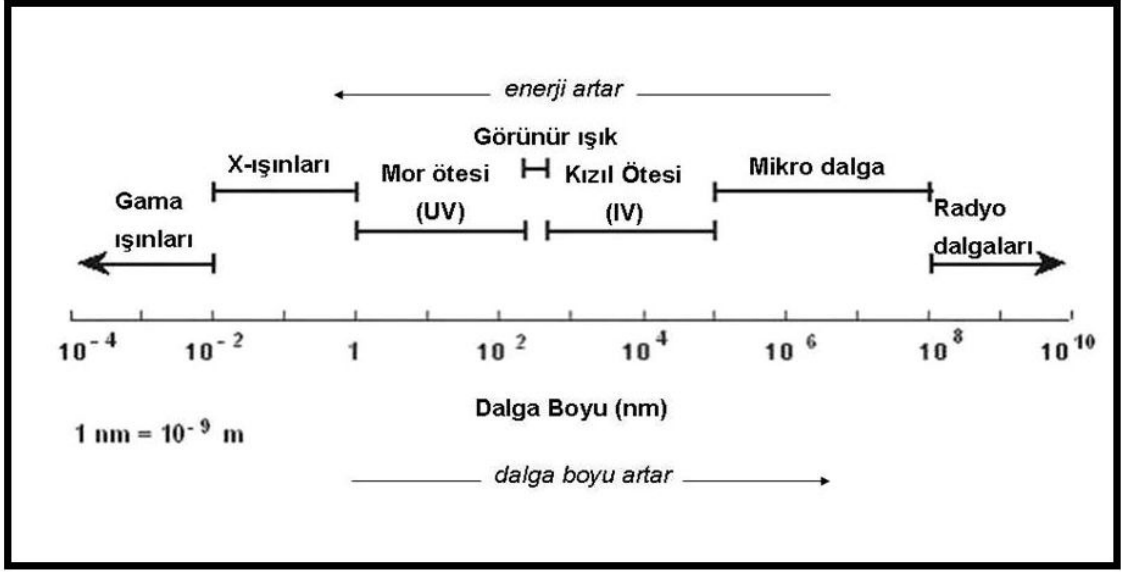
Elektromanyetik radyasyonlar yolları üzerinde bir cisimle çarpıştıklarında ise enerji transferi gerçekleşir ve çarpışma sonrası ikinci bir elektromanyetik dalga oluştuğunda, ikinci dalganın enerjisi birinciye göre farklılık gösterir. Elektromanyetik dalgalar (radyasyonlar) sürekli bir akış içerisinde değil kesintili bir şekilde elektromanyetik paketler şeklinde yayılırlar. Bu özellik, tek düze gibi görünen radyasyonun gerçekte çok sayıda dalga paketlerinden meydana geldiğini gösterir. İşte bu dalga paketlerine foton veya kuantum adı verilir. Ortama elektromanyetik radyasyon salındığında, her birinde belirli miktarda enerji taşıyan çok sayıda foton veya kuantum yayılır.

Frekans ve dalga boyunun yanında elektromanyetik radyasyonun tanımlanması enerjiyi eklemeyen tamamlanamaz. Fotonların enerjisi, 1913 yılında Planck tarafından keşfedilmiş ve adına kuantum teorisi adı verilen bir bağıntı ile tespit edilmiştir. Planck araştırmaları sonucunda enerji ile radyasyonun frekansı arasında direkt bir ilişki olduğunu göstermiştir. Bu bağıntıda:

$$E = h \cdot \nu$$

Eşitliği söz konusudur. Burada E= Enerji (eV), h=sabit, Planck sabiti ( $6.627 \times 10^{-34}$  joule saniye),  $\nu$ =Frekans olarak belirtilmektedir.

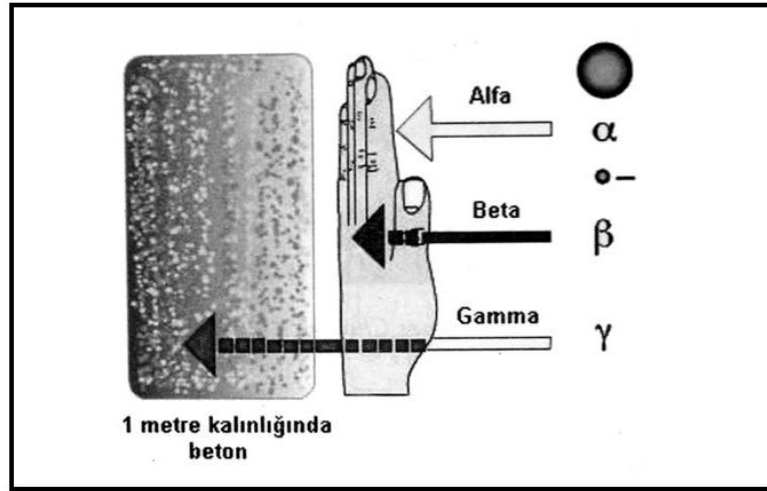
Bütün elektromanyetik dalgalar aynı hıza sahip olmakla beraber frekansları ile doğru, dalga boyları ile ters orantılı olan enerji seviyelerine göre bir spektruma sahiptirler. J. C. Maxwell tarafından tanımlanan ve elektromanyetik spektrum olarak adlandırılan bu dizilimde dalga boyu en yüksekten en düşüğe, ya da enerji seviyesi en düşükten en yükseğe doğru elektrik dalgaları> Radyo dalgaları> Mikrodalgalar> Kırmızı ötesi (infrared)> Görülebilir ışık> Mor ötesi (ultraviyole)> X-ışınları>  $\gamma$ -ışınları yer almaktadır. Şekil 4'de elektromanyetik spektrum gösterilmektedir.



Şekil 4: Elektromanyetik spektrum

Spektrum içinde  $\gamma$ -ışınları, atomun çekirdeğinden kaynaklanan radyasyona örnek teşkil ederken, elektromanyetik spektrumun X-ışını ile kızılötesi ışık bölümleri arasında kalan ışınlar, atomun yörüngelerinden kaynaklanan radyasyonlara örnektir. X ve  $\gamma$ -ışınları, iyonlaştırıcı radyasyon oluştururken, spektrumdaki diğer dalgalar iyonlaşma yeteneğinden yoksun zayıf enerjili radyasyon etkisi yaratırlar.  $\gamma$ -ışınları genel olarak X-ışınlarına benzemekle beraber X-ışınlarından daha girici özelliktedir (1,2).

Şekil 5’de bazı radyasyon türlerinin giricilik düzeyleri gösterilmektedir (2).



Şekil 5. Alfa ,  $\beta$  ve  $\gamma$ -ışınlarının giricilik dereceleri arasındaki farklılık.

### **2.5.2.1. X-Işınları**

İyonizan radyasyon içeren tanısal radyolojik tetkiklerin temelini X-ışınları oluşturmaktadır (1-4).

#### **2.5.2.1.1. X-Işınlarının Bulunuşu ve Tarihçesi**

Günümüz görüntüleme yöntemlerinin temelini oluşturan ve Tıp Bilimi'nde yeni bir çağ açan X-ışınları, 1895 yılında Alman Fizik Profesörü Wilhelm Conrad Röntgen tarafından keşfedilmiştir (1,2,4,23). Röntgen, bir Crookes tüpünü indüksiyon bobinine bağlayarak, tüpten yüksek gerilimli elektrik akımı geçirdiğinde, tüpten oldukça uzakta durmakta olan cam bir kavanoz içindeki baryumlu platin siyanür kristallerinde bir takım pırıltıların oluştuğunu gözlemiş; bu tür pırıltılara neden olan ışınlara, 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 eşinin 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. 1901 yılında ilk kez verilmeye başlanan Nobel Fizik Ödülüne de layık görülen W. C. Röntgen 1923 yılında 78 yaşında ölmüştür (1,2,23).

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 Radium elementini keşfederek Radyoloji adında yeni bir bilimin doğuşunu gerçekleştirmişlerdir (2-4).

X-ışınları ile ilgili ülkemizdeki ilk uygulamalar tıp dışı kişiler tarafından gerçekleştirilmiştir. Ülkemizde X-ışınlarını ilk üreten kişinin Galatasaray Lisesi fizik ve matematik öğretmeni Mösyö Izuar olduğu bildirilmektedir (2,23). Mösyö Izuar, cüzdanı içindeki metal paraları X-ışınları kullanarak görüntülemiş, ayrıca 11 yaşındaki

oğlunun el grafisini de elde etmeyi başarmıştır. Kaynaklarda, hemen hemen aynı sıralarda, fotoğrafçı Halit Bey'in benzer bir usul ile kurşun kalem içindeki kurşun kırıklarını görüntülediği de ifade edilmektedir. Ülkemizde X-ışınlarının tıp kökenli kişilerce kullanılması ise 1896 yılına dayanmaktadır. Mülkiye-i Tıbbiye (Askeri Tıp Mektebi)'den yeni mezun olmuş bir doktor olan Yüzbaşı Esad-Feyzi; asistanı olduğu fizik bölümünde, Crookes tüpü ve Ruhmkoff bobini kullanarak, arkadaşları ile birlikte gerçekleştirdiği deneylerle ilk radyografileri elde etmiştir (2,23). Esat Feyzinin çalışmaları sonucunda Dünya Tıp Tarihinde ilk kez ateşli silah yaralanmasına maruz kalmış yaralı askerlerdeki kurşunlar, çekilen radyografiler ile tespit edilmiştir (2).

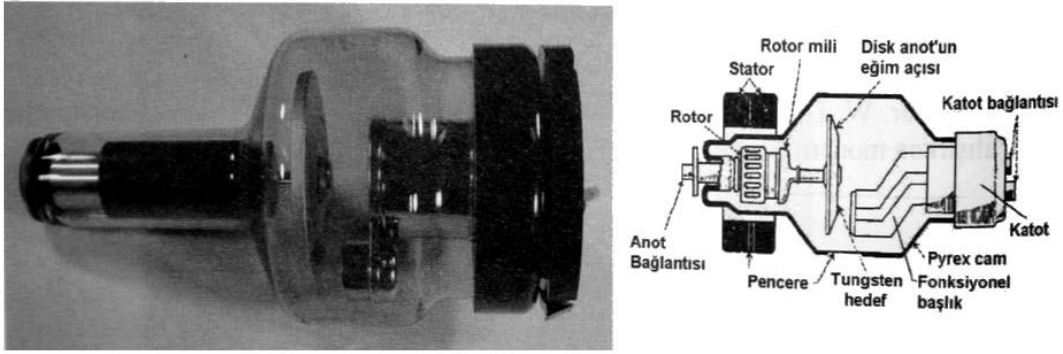
#### **2.5.2.1.2. X-ışını Tüpü ve Çalışma Prensipleri**

X veya Röntgen ışınlarının meydana getirildiği insan yapısı aygıtlara X-ışını tüpü veya röntgen tüpü adı verilmektedir. Tarihi gelişim sürecinde, ilk üretilen X-ışını tüpleri gaz tüpü veya mucidine ithafen Crookes tüpü adı ile anılmaktaydı. Bu tüpler camdan yapılmış ve iç havası kısmen boşaltılmıştı. İçerisine biri negatif (katot), diğeri pozitif (anot) olmak üzere 2 elektrot bulunmaktaydı. Katot ısıtılmıyor, iki elektrot arasında yüksek voltaj uygulanarak oluşturulan elektronlar anota çarptırılıyordu. Anota çarpan bu elektronlar ise X-ışınlarını meydana getiriyordu. Bu türden aygıtlar zamanla yeterli miktarda X-ışını üretmemesi ve meydana gelen X-ışınlarının ölçülememesinden dolayı kullanımdan kalkmıştır.

Dr. W. D. Coolidge 1913 yılında, modern X-ışını tüpünün öncül şeklini geliştirmiştir. Temel prensipleri günümüzde kullanılan tüplerde de uygulanan ve Coolidge tüpü olarak da adlandırılan aygıtlar, havası boşaltılmış cam bir kap, ısıtılan bir katot, elektronların çarptırıldığı hedef anot ve elektronların katottan anota gitmesini sağlayan yüksek voltajlı devreden oluşmaktadır (1,2).

Standart bir X-ışını tüpü 23-30 cm uzunluğunda ve 15 cm genişliğindedir. Tüpün unsurları, havası tamamen boşaltılmış cam bir kap içerisinde bulunur. Cam kap, modern tüplerde yüksek ısıya dayanıklı pyrexten imal edilmiş olup genellikle silindirik şeklindedir. Tüp içinde oluşacak yüksek ısının kompanzasyonu bakımından da anot diski, bakır bir sapa monte edilmiş, cam ile izolasyon tabakası arasına yağ konulmuştur. Tüp bütünü ile bu yağın içinde olup bakır gövde, içerisinden su veya yağ geçirilerek soğutulmaktadır. Yağ, aynı zamanda katot ile anot arasında kısa devreyi önlerken, tüpün

soğumasına da yardımcı olmaktadır. Hava ile soğutulan tüplerde, gövdenin dış kısmı, temas yüzeyinin artırılmasını sağlamak amacıyla kanatçıklar şeklinde tasarlanmıştır. Tanısal radyolojide yalnız tanısal amaçla gönderilen ışınlar yararlı olacağı için X-ışınlarının sadece pencere kısmından tüpü terk etmesi amaçlanır. Bir tüpte 5 cm alanında pencere adı verilen X-ışınlarının tüpü terk ettiği daha ince bir cam bölgesi bulunur. X-ışını tüpü, pencere açıklığı dışında, X-ışını ve elektrik kaçağını önlemek amacıyla, daima kurşundan yapılmış, adına haube de denilen bir korunak içine yerleştirilip çok iyi bir şekilde izole edilmiştir (1,2,23). Ancak buna rağmen, tüpten, çalışma esnasında, bir miktar X-ışını kaçağı olur ki buna kaçak radyasyon adı da verilir. Modern röntgen tüpü ve şematik gösterimi şekil 6'da sunulmaktadır (1,2).



**Şekil 6:** Röntgen tüpü ve şematik gösterimi

### 2.5.2.1.3. X-ışınlarının Elde Edilişi

Radyografide ve radyoterapide kullanılan X-ışınları, havası boşaltılmış bir tüp içinde, yüksek gerilim altında ısıtılan katottan çıkan elektron demetinin hızlandırılarak anota çarptırılması ile elde edilmektedir. Katottan fırlatılan elektronlar anota çarptıklarında birden bire dururlar ve kinetik enerjileri başka enerji şekillerine dönüşür. Enerjinin korunması prensibine göre, röntgen cihazlarında gerçekleşen değişim ile bu enerjinin %99.8'i ısıya dönüşürken sadece %0.2'si hedef anot materyalinin atomları ile etkileşime girerek frenleme ve karakteristik radyasyon şeklinde tanımlanan X-ışını oluşturulmaktadır. Karakteristik radyasyon tanısal radyolojide kullanılan X-ışınlarının % 15-30'unu oluşturur. Değişik atomların elektron enerji seviyelerinin farklılığından ötürü elementlerin karakteristik radyasyonları farklılık göstermektedir. Örneğin Hidrojen atomunun K elektron yörüngesinin enerjisi 13.6 eV'tur. Bu değer Tungsten



için 70 keV'tur. Buna göre hidrojen ile kıyaslandığında tungstenin K yörüngesinden bir elektron koparmak çok daha fazla enerji gerekmektedir. Yaklaşık 70 keV enerji düzeyindeki X-ışınları büyük ölçüde karakteristik radyasyon ile elde edilmektedir. Benzer şekilde aynı tür atomların değişik elektron yörüngelerinden koparılan elektronlara göre de X-ışını enerjisi değişebilir. Örneğin elektronlar K yerine N yörüngesinden ayrılmışsa meydana gelen X-ışını enerjisi daha düşük olacaktır. Ancak etkileşim daha dış yörüngelerdeki elektronlarla gerçekleşirse sadece ısı enerjisi ortaya çıkacak, X-ışını elde edilemeyecektir (1,2,23).

#### **2.5.2.1.4. X-ışınının Emisyon Spektrumu**

Anota çarpan elektronlar farklı enerji düzeylerine sahip bir X-ışını demeti oluşturur. İşte bu farklı enerji düzeylerinden oluşmuş demete X-ışınının emisyon spektrumu denir. Bu dağılım grafiksel olarak parabolik bir eğri şeklindedir. X-ışınlarının birim üniteadaki sayısı ile enerjisinin bir fonksiyonu olarak da ifade edilen emisyon spektrumu, tüp akımı, tüpün potansiyel farkı, filtrasyon, anot materyalinin yapısı ve voltajın dalga şekli ile yakından ilişkilidir. Tüp akımı ve tüpün potansiyeli arttıkça elde olunan X-ışını miktarında artar (1,2,4,23).

#### **2.5.2.1.5. X-ışınının özellikleri**

1. X-ışını elektromanyetik bir dalgadır.
2. X-ışınlarının dalga boyu  $0.04-1000 \text{ \AA}$  (Angstrom) arasında değişmekte birlikte tanısal alanda kullanılanları  $0.5 \text{ \AA}$  dalga boyundadır. İnsan gözü  $3800-7800 \text{ \AA}$  arasındaki dalga boyundaki ışığı seçebildiğinden X-ışınları gözle görülmezler.
3. X-ışını elektromanyetik bir dalga olduğundan boşluktaki hızı  $300.000 \text{ km/sn}$  ile ışık hızına eşittir.
4. Elde edildikleri enerji düzeyleri farklı olduğundan aynı demet içinde farklı dalga boyunda X-ışınları bulunabilmektedir. Bu nedenle X-ışını heterojen bir ışın demeti şeklinde ve polikromatik özelliktedir.
5. X-ışını partikülsüz dalga ışıması olduğundan ağırlığı yoktur.
6. X-ışını elektriksel bir yüke sahip olmadığından manyetik alanda sapmaz.
7. X-ışınlarının şiddeti mesafeye bağlı olarak azalır. Bu azalım, ters kare kanunu olarak adlandırılmakta ve "noktasal bir kaynaktan çıkan X-ışını yoğunluğu (şiddeti) mesafenin

karesi ile ters orantılı olarak azalır” şeklinde ifade edilmektedir.

8. X-ışını, geçtiği ortamda iyonizasyona neden olur. Röntgen incelemelerinin yapıldığı bir odadaki dengeli gaz atomlarından oluşan hava, X-ışınının iyonlaştırıcı etkisi ile negatif ve pozitif yüklü iyonlara dönüşmektedir. Bu gazlardan oksijen ( $O_2$ ) radyasyon ile iyonize olarak ozon ( $O_3$ ) gazına dönüşmektedir. Tahriş edici özelliğinden dolayı  $O_3$  gazı mutlaka ortamdan uzaklaştırılmalıdır. Gazlarda ve havadaki iyonizan etkilerinden dolayı röntgenolojik incelemelerin sıkça yapıldığı odalarda özellikle de zemine yakın bölgelerde yeterli havalandırma temin edilmelidir. X-ışınının iyonizan etkisinden faydalanılmak sureti ile radyasyon miktarını ölçmede kullanılan dozimetreler geliştirilmiştir.

9. X-ışını fotografik etkiye sahip olup görülebilen ışık gibi gümüş tuzlarının kararmasına yol açar. Bu etki tanısal radyolojinin temel kavramlarından birini teşkil eden röntgen filmlerinin çekimini sağlamaktadır. X-ışınının bu etkisi sayesinde röntgen filmlerinde latent imaj meydana gelmekte ve latent imaj, içinde değişik kimyasal maddelerin bulunduğu banyolarda, görülebilen imajlara dönüştürülmektedir.

10. X-ışınları, üzerlerine düştüğü bazı maddelerde ışınlama süresince parıltı meydana getirmektedir. Buna X-ışınlarının floresans özelliği adı verilmektedir. X-ışınının bu özelliği sayesinde hem floreskopik incelemelerin yapılabilmesi hem de ranforsatörlerin (fosfor tabaka-ekran) kullanıma girmesi sağlanmıştır.

11. Maddeden geçişi sırasında X-ışınının bir kısmı soğurur (absorpsiyon özelliği), bir kısmı saçılıma uğrar. Saçılıma uğrayan kısmı sekonder radyasyon adı ile etkileşime devam eder.

12. X-ışını biyolojik etkilere sahip olup canlı hücrelerde, kromozomların yapısındaki DNA molekülünde, genetik mutasyon veya ölümle sonuçlanabilecek önemli hasarlar meydana getirebilir. Vücutta radyasyona en duyarlı hücreler üreme ve hematopoetik sistem hücreleri olup mutlak korunmaları zorunludur. Buna karşın çok güçlü X-ışınlarının canlı hücreleri yok etme özelliğinden de faydalanılmakta ve radyoterapide kullanılmaktadır.

13. X-ışını kimyasal etkiye sahiptir. X-ışınına maruz kalan maddenin kimyasal yapısında bazı değişiklikler oluşur. Yapısında değişiklik oluşan maddelerden en önemlisi, canlı vücudunun da büyük kısmında bulunan sudur. Suda iyonlaşma sonucunda serbest radikaller meydana gelir. X-ışınının kimyasal etkisi ile bazı madensel

tuzlar renk değişikliği gösterir. Örneğin röntgen tüpünde, anotun karşısına rastlayan camdaki eser miktardaki manganez, uzun süre kullanım sonucu permanganata dönüşerek menekşe rengi alır (1,2).

X-ışınının 9, 10 ve 11. maddelerde belirtilen fotografik, floresans ve absorpsiyon özellikleri tanısal radyolojide kullanılmasını sağlayan temel özelliklerini oluşturmaktadır (1-5,23).

## **2.6. Radyasyonun Madde ile Etkileşimi**

Radyasyonun madde ile etkileşimi, yukarıda tanımlanan partiküller ve yüksek enerjili elektromanyetik radyasyon çeşitlerine göre farklılık göstermektedir (1,2,4).

### **2.6.1. Partiküller Radyasyonun Madde ile Etkileşimi**

Alfa ve  $\beta$ -partikülleri madde içinden geçerken maddenin atomları ile çarpışarak enerjilerini kaybederler. Bu enerji etkilenen madde tarafından alınır ve bu maddenin atomlarında iyonizasyon ve uyarılma meydana gelir (1.2).

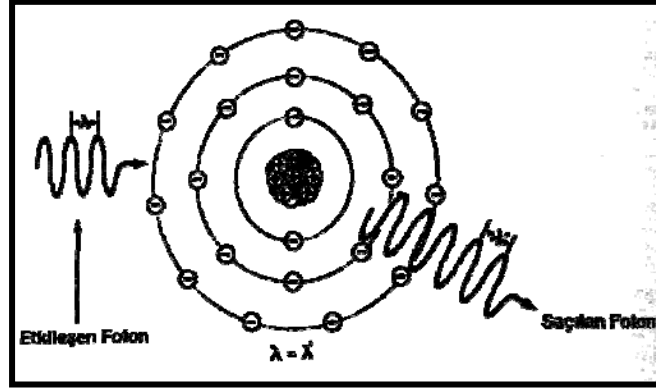
### **2.6.2. Elektromanyetik Radyasyonun Madde ile Etkileşimi**

Elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşimi foton saçılması ve foton kaybolması şeklinde sonuçlanır. Foton saçılması, Thomson saçılması ve Compton olayı olmak üzere 2 şekilde gelişirken foton kaybolması, foto-elektrik olay, çift oluşumu ve fotobozunma olarak başlıca 3 şekilde gerçekleşir (1,2,4).

#### **2.6.2.1. Foton Saçılması**

##### **2.6.2.1.1. Thomson Saçılması**

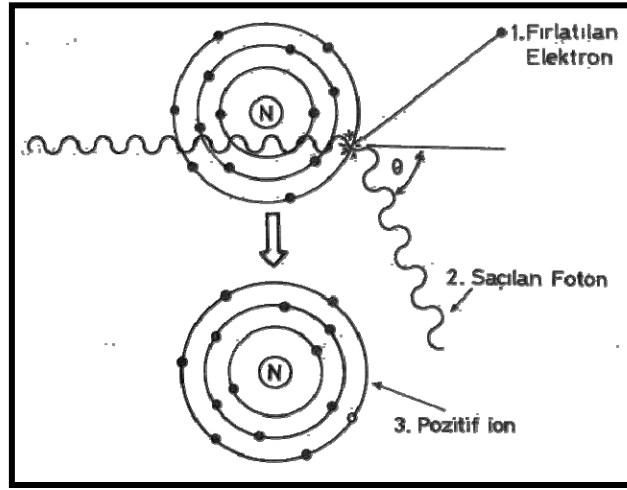
Madde ile etkileşen ışın fotonu, o maddenin atom çekirdeğinin çekim etkisi ile enerji kaybı göstermeksizin yön değişimine uğratılır. Işının sadece yönü değişmiştir. Atom ile etkileşime girmeden önce fotonun enerjisi ne ise etkileşimden sonra da aynıdır Şekil 7'de bu olay 10 keV'dan daha düşük enerjili ışın fotonları ile gerçekleşmektedir. Enerji transferi olmadığı için iyonizasyon da oluşmamaktadır. Bu tür radyasyonun pratikte bir önemi yoktur (1,2,4,23).



Şekil 7: Thomson saçılmasının şematize edilmiş oluşumu

### 2.6.2.1. 2. Compton Olayı

Işın fotonu, etkileşime girdiği maddenin atomunun yörüngelerinden birinden bir elektron koparıp atom dışına atarken enerjisinin bir kısmını kaybederek saçılıma uğrar. Bu durumda ortamda hem bir elektron (Compton elektronu) hem de enerjisi azalmış ve saçılmış foton bulunmaktadır (Şekil 8).



Şekil 8: Compton olayı

Radyolojinin temelini oluşturan X-ışınının biyolojik yönden en önemli komponenti olan Compton olayı, radyografilerde istenmeyen bir etken olan ve radyografik kalite üzerine negatif bir etkisi bulunan sekonder (saçılan) radyasyonun kaynağıdır.

Bu olayda, atomdaki dış yörünge elektronunu yerinden koparan foton, atomu iyonize hale getirirken enerjisi azalır, dalga boyu artar. Azalma miktarı etkileşim sırasında saçılan elektronun bağlanma enerjisi ve ona aktarılan bir kısım kinetik enerji

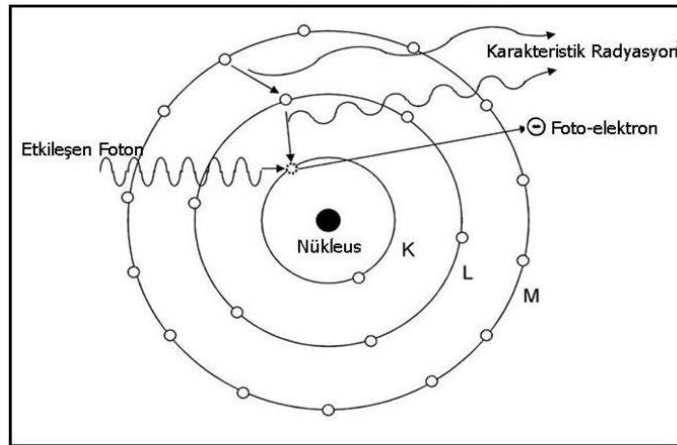
kadardır. Enerjisinin bir kısmını kaybeden ve etkileşim sonucunda yön değiştiren foton, yoluna devam eder. Hem saçılan foton, hem de yön değiştiren ışın fotonu tüm enerjilerini yitirene kadar yeni etkileşimlere girebilme özelliğine sahiptirler. Compton olayı, maddenin dış yörüngedeki elektronların sayısı ile doğru, fotonun enerjisi ile ters orantılı bir şekilde, genelde orta enerji seviyeli ışın fotonlar ile düşük atom numaralı maddeler arasındaki etkileşim sonucunda gerçekleşmektedir. Atom numarasının Compton etkileşimi üzerine etkisi az olduğu için kemik ve yumuşak dokuda Compton etkileşimi eşittir (1,2,4,23).

### 2.6.2.2. Foton Kaybolması

#### 2.6.2.2.1. Foto-elektrik Olay

Işın fotonunun, etkileşime girdiği maddenin atomunun, iç yörüngelerinden bir elektronu atom dışına fırlatırken, kendi enerjisini tamamen kaybetmesiyle gerçekleşir. Foton bütün enerjisini kaybettiği için gerçek bir absorpsiyon söz konusudur. Ortamda sadece atomdan ayrılan foto-elektron adı verilen elektron kalır ve yoluna devam eder.

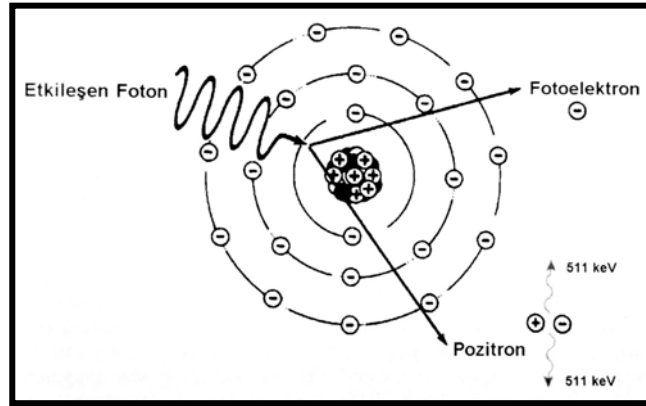
Foto-elektronun kinetik enerjisi başlangıçtaki fotona göre düşüktür. Kopartılan elektronun yerini dış yörüngelerden bir elektron doldurur ve bu arada kaybettiği enerjisini karakteristik radyasyon olarak ortama salar. Fotoelektrik olay olabilmesi için, fotonun enerjisinin elektron bağlanma enerjisinden fazla olması gerekir. Fotoelektrik olay oluşma olasılığı foton enerjisinin 3. kuvvetiyle ters, atom numarasının 3. kuvveti ile doğru orantılıdır. Orta derecede enerjili radyasyonlar ile yüksek atom numaralı maddeler arasındaki etkileşim sonucu oluşur (1,2,4) (Şekil 9).



Şekil 9: Foto-elektrik olay

#### 2.6.2.2.2. Çift Oluşumu

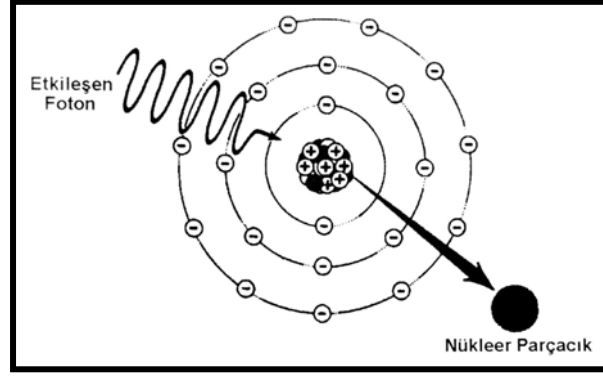
Enerjisi 1.02 MeV ve üzerindeki ışın fotonu ile madde arasındaki etkileşim sonucu ortaya çıkar. Yüksek enerjili foton, etkileştiği madde atomunun çekirdeği düzeyinden geçerken, biri pozitron biri elektron olmak üzere enerjileri eşit 511 keV iki parçiküle ayrılır (Şekil 10 ). Pozitron bir elektron ile çarpışarak anihilasyon (yok etme) reaksiyonuna girer ve yok olurken zıt yönlerde toplam 511 keV enerjili 2 foton ( $\gamma$ -ışını) meydana gelir. Geriye kalan enerji doku tarafından soğurulur. Çift oluşumu, enerji düzeyleri ve atom numaraları çok yüksek ışınlar ile maddeler arasındaki etkileşim sonucunda gerçekleşmektedir. Bu etkileşimle ortaya çıkan özel nitelikli  $\gamma$ -ışınları nükleer tıpta kullanılan pozitron emisyon tomografi (PET)'de temel radyasyon kaynağıdır. Aynı zamanda çok daha yüksek enerjili ışınların kullanıldığı radyoterapide de çift oluşumu etkileşimi ile karşılaşmaktadır (1,2,4).



Şekil 10: Çift oluşumu

#### 2.6.2.2.3. Fotobozunma

Enerjisi 10 MeV ve üzerindeki ışın fotonu, etkileştiği madde atomu çekirdeğinden bir fragmanın (parçanın) kopmasına yol açar. Bu olaya fotobozunma (fotodisintegrasyon), çekirdekte kopan fragmana nükleer parçacık adı verilir (Şekil 11). Fotobozunma olayı enerjisi çok yüksek ışınlarla gerçekleştiğinden tanısal radyoloji pratiğinde yeri olmayan bir etkileşimdir (1,2).



Şekil 11: Fotobozunma

### 2.7. Radyasyonun Biyolojik Etkileri

Günümüzde maruz kaldığımız radyasyonun en önemli kaynağı doğal radyasyon olup (%82) bunun da en büyük yüzdesini radon gazı oluşturmaktadır. Kozmik ve yerküreden kaynaklanan radyasyonlar %8'lik dilimleri, internal radyasyon ise %11'lik oranı kapsamaktadır. İnsan yapısı radyasyonlar sınıfına giren tanısız amaçlı X-ışınları %11, nükleer tıp uygulamaları %4, tüketim ürünleri ise sadece %3 'lük bölümü oluşturmaktadır. Mesleki radyasyonlar (%0.3), nükleer yakıt döngüsü (%0.1), nükleer patlamalardan (%0.3) ve çeşitli nedenlerden kaynaklanan (%0.1) radyasyonlar diğerlerini oluşturmaktadır olup tüm radyasyon maruziyeti içinde kapsamı %1'den azdır.

Radyasyonun zararlı etkileri, X-ışınlarının tıbbi amaçlı kullanılmaya başlamasından kısa bir süre sonra belirtilmeye başlanmış, X-ışınlarına bağlı ilk kanser vakası da 1902 yılında rapor edilmiştir. X-ışınları dışında; Uranyum, Polonyum ve Radium gibi radyoaktif maddelerin bulunması, bu türden radyoaktif maddeleri kullanan sanayi kollarında çalışan işçilerde ortaya çıkan ve geçmeyen el ve vücut yaraları cilt kanserleri ve hematopoetik sistem bozuklukları, esrarlı ölüm vakaları radyasyonla uğraşanların ya da radyasyona maruz kalanların büyük risk altında olduklarını göstermiştir(2). Alfa ışını yayan, torotrast kontrast maddesi anjiyografi için kullanıldığında, karaciğer kanserleri; atom bombası sonrasında lösemi ve solid kanser türlerinde artış; spondilit nedeniyle radyoterapi uygulananlarda lösemi sıklığında artış; tinea kapitis veya aberran timus nedeniyle ışınlanan çocuklarda gelişen tiroid kanserleri; postpartum mastitis nedeniyle meme ışınlanması sonrası oluşan meme kanserleri; tüberküloz tedavisi için iatrojenik pnömotoraks yapılan hastalarda tekrarlanan akciğer floroskopileri sonrası akciğer kanseri gelişimi; serviks kanseri nedeniyle radyoterapiden

10 yıl sonrası görülen rektum ve mesane kanserleri; Hodgkin lenfoması nedeniyle ışınlamalarda lösemide %1 artış olması radyasyon ile kanser arasındaki ilişkiyi göstermektedir (22).

Değişik kaynaklardan yayılan iyonizan radyasyonun insan sağlığına bu kadar ciddi zararlar oluşturabileceğinin anlaşılması üzerine radyasyondan korunmak amacıyla Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi oluşturulmuştur. 1928 yılında faaliyete geçen bu komite, 1950 yılında Radyolojik Korunmada Uluslararası Komisyon (ICRP) adı altında yeniden şekillendirilerek günümüze kadar gelmiştir. Bu komisyonun yaptığı çalışmalar sonucunda teşhis ve tedavi amaçlı radyasyonun deterministik (doza bağlı etkiler) ve sitokastik (genetik-kanserojen etkiler) etkilere yol açtığı, bu türden zararlı etkilerin oluşması için kısa veya uzun süreli bir latent periyot geçmesi gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca radyasyonun, vücudun her doku veya organı üzerinde farklı tesirler yarattığı ve radyasyonun zararlı etkilerinin vücudun tümü veya bir bölümünün ışınlanmasına göre de değişkenlik gösterdiği ifade edilmiştir (1,2,4).

### **2.7.1. İyonizan Işınlardan Dokulara Enerji Aktarımı**

İyonizan ışınlar geçtikleri dokulara enerji aktarırlar. Biyolojik etkileri aktardıkları enerji ile orantılıdır. Bu aktarıma linear enerji transferi (LET) adı verilir (4,24). LET, ışının dokuya geçişi sırasında maddenin birim mesafesinin absorbe ettiği enerji miktarını ( $\text{keV}/\mu\text{m}$ ) gösterir. Fotonlar maddeye başlıca açığa çıkardıkları fotoelektronlar yoluyla enerji transfer ederler. Dokuda açığa çıkan bir fotoelektron yüzlerce iyon çifti oluşturabilir.

LET, partikül yüklerinin karesi ile doğru ve partiküllerin kinetik enerjileri ile ters orantılıdır. Nötron, proton, alfa partikülleri ve ağır iyonlar yüksek-LET radyasyonudur ( $3-200 \text{ keV}/\mu\text{m}$ ); fotonlar (gama ışınları dahil) elektronlar ve pozitronlar düşük-LET radyasyonudurlar ( $0.2-3.0 \text{ keV}/\mu\text{m}$ ). Yüksek LET radyasyonları düşük olanlardan daha fazla biyolojik hasar meydana getirir.

Radyasyonun biyolojik hasarı söz konusu olduğunda hem absorbe olan total enerji miktarı (doz) hem de ışının biyolojik hasar oluşturma etkinliği (LET) göz önüne alınmalıdır. Radyobiologlar farklı tipte radyasyonların biyolojik hasar oluşturma etkisini mukayese edebilmek için görece biyolojik etkinlik terimini kullanırlar. Görece biyolojik etkinlik, düşük-LET için 1'e yakın ( $1 \text{ keV}/\mu\text{m}$ ), LET değeri 100 ( $\text{keV}/\mu\text{m}$ )



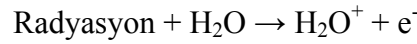
olan bir radyasyonda ise en fazladır. Yüksek-LET radyasyonları X-ışınlarına göre 3-8 kat yüksek görece biyolojik etkinlik değerine sahiptir (4).

### **2.7.2. Radyasyonun Hücre Üzerine Etkileri**

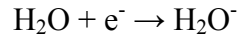
İyonlaştırıcı radyasyon, enerjisini canlı hücre ve dokulara aktararak hücre etkileşiminden biyolojik hasarların görülmesine dek birbirini takip eden fiziksel (elektriksel), fiziko-kimyasal, kimyasal ve biyolojik olayları başlatır (1,2,6,24).

#### **2.7.2.1. Fiziksel (Elektriksel) Olay**

Etkileşim,  $10^{-3}$  ile  $10^{-13}$  sn gibi çok kısa bir zaman süreci içinde gerçekleşir. Fiziksel (elektriksel) etkileşimde, radyasyon enerjisinin hücreye aktarılması söz konusudur. Enerji aktarımı sonucu hücrede uyarılma ve radyasyonun çarptığı atomlarda iyonlaşma meydana gelir. Örneğin; İyonize radyasyon su molekülü ile karşılaştığında:



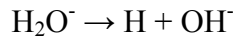
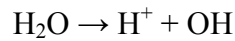
Bir elektron ve bir iyon oluşur. Meydana gelen elektron yeniden su molekülü ile etkileştiğinde:



Bir başka iyon ortaya çıkar (1,2,24).

#### **2.7.2.2. Fizikokimyasal Olay**

Fiziksel olayın gerçekleştiği süre kadar devam eden bu periyotta fiziksel olay ile ortaya çıkan primer ürünler hücre içerisinde, moleküler parçalanmaya etken olan sekonder ürünlerin (radikaller) gelişmesine yol açarlar. Gelişen bu radikaller oldukça aktif durumdadır. Bir önceki evrede ortaya çıkan iyonlar kararlı olmadıklarından fiziko-kimyasal olay evresinde aşağıdaki değişimlere uğrarlar:



Sonuçta hücre içerisinde sekonder ürünlerin gelişimine yol açacak H ve OH aktif radikalleri oluşur (1,2,24).

#### **2.7.2.3. Kimyasal Olay**

Hücre içerisinde meydana gelen aktif radikaller saniyeler veya saatler ile ifade edilebilecek süreçlerde hem kendi aralarında, hem de önceden etkileşime girmemiş

moleküller arasında kimyasal reaksiyonlara girerek biyomoleküler bozukluklara neden olurlar. Örneğin: Radikallerin birbirleri ile olan etkileşimi neticesinde,



Oluşan hidrojen peroksit oldukça reaktiftir (1,2).

#### **2.7.2.4. Biyolojik Olay**

Radyasyon, yukarıda tarif edilen bir dizi olay ve sonucunda gelişen radikallerin etkisi ile biyolojik moleküllerde hasara yol açabileceği gibi enerjisini direkt olarak hedef biyolojik moleküle ileterek de zarar verebilir. İşte radyasyonun, direkt olarak hedef moleküle etki ederek oluşturduğu hasarlara radyasyonun doğrudan (direkt) etkisi, yukarıda sözü edilen bir dizi biyolojik olay sonucunda gelişen radikaller aracılığı ile oluşturduğu etkiye radyasyonun dolaylı (indirekt) etkisi adı verilir (1,2,24).

Radyasyonun hücrede oluşturduğu etkiler ve biyolojik değişiklikler saniyeler ile ifade edilen süresinden 20-30 yıla varan zaman aralığında gelişebilir. Bu etkiler; hücre hareketlerinde yavaşlama veya durma, büyümede gecikme veya durma, hücre metabolizmasında ve hücrenin bölünmesinde (mitoz çoğalmasında) anormalliklerdir.

İnsan vücudundaki dokuların radyasyondan etkilenimleri farklı olup, radyasyona karşı duyarlılıkları bakımından dokular, radyosensitif (duyarlı), radyoresponsif (radyasyona cevap verebilen) ve radyorezistif (dirençli) olmak üzere üçe ayırmak mümkündür. Genellikle çoğalma yeteneği yüksek hücrelerde radyasyona duyarlılık fazladır. Anne karnındaki bebek, gelişme ve çoğalma fazında radyasyona en hassas dönemindedir. İnsanda da özellikle kan hücreleri, lenf dokusu, üreme hücreleri, saç ve kıl hücreleri gibi devamlı çoğalan ve yenilenen dokular radyasyona en duyarlı kısımlardır. Sindirim sistemi epiteli, deri gibi dokular radyasyona cevap verebilirken; kas, kemik ve sinir dokuları ise radyasyona karşı dirençli vücut dokularına örnektir (1,2).

Radyasyonun biyolojik dokular üzerindeki etkileri somatik (bedensel) ve genetik etkiler olmak üzere başlıca 2 gruba ayrılmaktadır. Biyolojik etkiler, radyasyona maruz kalan kişide, hayatı boyunca ortaya çıkabilecek gözlenebilir bir etki meydana getiriyorsa buna radyasyonun somatik ya da bedensel etkileri adı verilmektedir. Somatik etkiler radyasyonun erken ve geç dönem etkileri olmak üzere kendi içinde de ikiye ayrılmaktadır. Somatik geç dönem etkiler ile genetik etkiler birlikte sitokastik etkiler

olarak adlandırılır (1,2,4).

### **2.7.3. Radyasyonun Erken Dönem Etkileri**

Belirtileri, radyasyon alımını takip eden günler hatta saatler içerisinde ortaya çıkan etkilerdir. Radyasyonun akut dönem etkileri olarak da adlandırılabilir. Bunlar arasında en erken tanımlananlar kanın şekilli elemanları ile üreme hücrelerinde görülen ve radyasyon alımını takip eden saatler içerisinde ortaya çıkan değişikliklerdir. Işınlamanın erken etkisi olarak, kanın şekilli elemanlarından lökositlerde azalma tespit edilirken, periferik yaymada lenfositlerde oranca artış, granülositlerde ise azalma dikkati çekmektedir. Ancak bu tür bir hematolojik depresyonun saptanabilmesi için asgari 25 rem (0.25 Sv) tüm vücut ışınlaması gerekmektedir. Eritrositlerdeki azalma ise lökositlere oranla daha sonra ortaya çıkmakta ve tespit edildiğinde radyasyon hasarının daha ağır olduğunu kanıtlamaktadır.

Uzun zaman zarfında, sindire sindire alınan küçük dozlardaki radyasyon, insanda kısa dönemde belirgin bir rahatsızlık tablosu veya hastalık belirtisi yaratmazken ani ve yüksek doz ışınlama sonrasında alınan radyasyon, ışınlanan vücut parçası ile ilişkili olarak bir dizi rahatsızlık ve hatta ölümle sonuçlanan tablolar doğurmaktadır. Ani doz kavramı Türkiye Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği'nde bir kişinin 50 mSv (5 rem) den fazla ani bir vücut dozu alması şeklinde tanımlanmaktadır. Hafif radyasyon hasarı olarak da nitelendirilen bu düzeydeki doz alınımının radyasyon güvenliği ulusal merkezine bildirilmesi zorunludur. Vücudun bütün olarak, yüksek dozlarda radyasyona maruz kalması, kişiden kişiye değişen biyolojik değişikliklere yol açmakla birlikte, maruz kalınan total tüm vücut doz miktarları ve gelişebilecek etkiler aşağıda belirtilmiştir:

0.25 Sv (25 rem)'e kadar alınan ani tüm vücut dozu ışınlamasında radyasyon, klinik bir etki oluşturmadığı gibi, ne bu dozu alan kişi ne de o kişiyi muayene eden hekim tarafından fark edilir.

0.25-0.5 Sv (25-50 rem) dozda kan tablosunda geçici, hafif değişiklikler görülebilir.

0.5-1 Sv (50-100 rem) ani doz alınımında, kişi hiçbir şey hissetmeyebilir ya da hafif mide bulantısı ve kusma görülebilir. Radyasyona maruz kalan kişi, bir şey hissetmese de yapılan kan sayımında lökositlerin sayısında azalma ve oranında değişme

saptanır. Böyle bir durumda genellikle tıbbi tedaviye ihtiyaç yoktur. Kan tablosundaki bu değişim daha sonra düzelir. Ancak bir önlem olarak radyasyona maruz kalan kişi bir kaç gün de olsa gözlem altında tutulmalı ve kişinin radyasyon ile ilgili çalışmaları, yaşam boyu alınan doz dikkate alınarak yeniden düzenlenmelidir. 0.5-1 Sv'lık ani tüm vücut ışınlanmasına maruz kalmış kişilerin yaşam sürelerinde kısalma olasılığı vardır.

1-2 Sv (100-200 rem) 1 Sv'in üzeri dozlarda ise kişi, almış olduğu radyasyonun bünyesinde yarattığı rahatsızlıkları hissetmeye başlar. 1-2 Sv ani vücut dozuna maruz kalan kişi hafif derecede radyasyon hastası olarak kabul edilir. Hafif derecede radyasyon hastalığında kişi, radyasyona maruz kaldığı ilk gün içinde başlayan ve bir süre devam eden mide bulantısı, kusma, iştatsızlık ve halsizlik belirtileri gösterir. 1.4 Sv üzerindeki dozlarda ciltte eritem oluşabilir.

2 Sv'e kadar olan ışınlama dozlarında orta derecede lökopeni görülür. Hematopoetik dokular dışında, yukarıda tanımlanan şikayet ve değişiklikler genellikle bir kaç hafta içerisinde kendiliğinden iyileşerek kaybolur. Bu grup hastalara semptomatik tedavi yanı sıra psikoterapik yaklaşım da yararlı olacaktır.

2-3 Sv (200-300 rem) ani tüm vücut dozu alımında, bu dozu alan kişi, orta derecede radyasyon hastasıdır. Yukarıda sayılan bir dizi rahatsızlıklar, hem daha ağır hem de daha uzun süreli olarak görülürken bunlara ilave olarak boğaz yanması, ishal, kilo kaybı, solukluk, ciltte kırmızı lekeler ortaya çıkar. Bu tür bulgular tıbbi tedaviye ihtiyaç gösterir ve iyileşmeleri için yaklaşık 3 aylık bir süre gerektirir. 2-3 Sv'lık bir ışınlama dozuna maruz kalan kişide çok düşük bir olasılıkla da olsa (%0-10) 2 aylık bir süreç içerisinde ölüm görülebilmektedir.

3-6 Sv (300-600 rem)'lik tüm vücut dozuna maruz kalan kişi ağır radyasyon hastasıdır. Ağır radyasyon hastası kişide, radyasyona maruz kalınmasını takip eden ilk saat içerisinde, yukarıda sayılan bir dizi rahatsızlıklar daha şiddetli ve uzun süreli olarak seyrederken, bu rahatsızlıklara ilaveten yüksek ateş, ciltte morarma ve yanıklar, mukozalarda kanayan yaralar, saç ve kıllarda dökülme, aşırı kilo kaybı görülür. Tedavide, ileri lökopeniye, purpura ve kanamaya karşı kan nakli, enfeksiyona karşı antibiyotik uygulaması yapılmalıdır. Etkin bir tıbbi tedaviye rağmen olguların yarısında 2 ay içinde içerisinde ölüm kaçınılmazdır. Sağ kalanların ise iyileşmesi uzun zaman almaktadır.

6-10 Sv (600-1000 rem) tüm vücut dozu almış bir kişide kan yapıcı organlar,

sindirim sistemi, çok kısa süre içerisinde (yaklaşık yarım saat içinde) büyük hasara uğrar. İleri lökopeni, kanama, purpuralar; enfeksiyon, ateş, ağır ishal ve kramplar, uyuşukluk söz konusudur. Elektrolit dengesinin sağlanması dışında pek yapılacak bir şey de yoktur. Kemik iliği nakli düşünülebilir. Ancak olguların tümüne yakını (%80-100) 2-8 hafta içinde kaybedilir.

10-15 Sv (1000-1500 rem) tüm vücut ışınlamalarda, ışınlamaya maruz kalan kişiler için yapılacak hiçbir şey olmadığı gibi kurtuluş ümidi de hemen hiç yok gibidir. Gastrointestinal sistem harap olduğundan fonksiyon yapamaz. Hastalar iki gün içinde kaybedilirler.

20 Sv ve üzeri (2000 rem)'nde ölüm kesindir. 50 Sv (5000 rem)'in üzerindeki dozlarda santral sinir sistemi, solunun ve kan dolaşımı gibi hayati vücut fonksiyonlarını kontrol edemez. Her şey çok hızlı geliştiğinden, yapılacak hiçbir şey yoktur. Olgunun tıbbi olarak sadece rahatı sağlanabilir. Ölüm saatler içinde gerçekleşir (1,2,24). (Tablo III).

**Tablo III.** İnsanlar Üzerinde Ani Tüm Vücut Işınlamalarının Dozlara Göre Etkileri

<b>Doz</b>	<b>Görülen Klinik ve Laboratuvar Değişiklikler</b>
0,25 Sv (25 rem)	Klinik ve laboratuvar değişiklik görülmez
0,25-0,5 Sv (25-50 rem)	Kan tablosunda geçici, hafif değişiklikler
0,5-1 Sv (50-100 rem)	Hafif mide bulantısı, kusma Kan sayımında lökositlerde azalma ve oranında değişme Yaşam sürelerinde kısalma olasılığı
1-2 Sv (100-200 rem)	Hafif derecede radyasyon hastası İlk gün başlayan ve bir süre devam eden mide bulantısı, kusma, iştahsızlık ve halsizlik Ciltte eritem, orta derecede lökopeni
2-3 Sv. (200-300 rem)	Orta derecede radyasyon hastası Yukarıdaki etkiler daha ağır ve daha uzun sürelidir Boğaz yanması, ishal, kilo kaybı, solukluk, ciltte kırmızı lekeler %0-10 oranında 2 ay içinde ölüm
3-6 Sv (300-600 rem)	Ağır radyasyon hastası Saatler içinde ek olarak yüksek ateş, ciltte morarma ve yanıklar, mukozalarda kanayan yaralar, saç ve kıllarda dökülme, aşırı kilo kaybı %50 oranında 2 ay içinde ölüm
6-10 Sv (600-1000 rem)	Kan yapıcı organlar ve sindirim sisteminde dakikalar içinde büyük hasar %80-100 oranında 2-8 hafta içinde ölüm
10-15 Sv (1000-1500 rem)	Gastrointestinal sistem fonksiyon dışı kalır 2 gün içinde ölüm
20 Sv ve üzeri (2000 rem)	Santral sinir sistemi, solunum ve kan dolaşımı fonksiyon dışı kalır. Saatler içinde ölüm

#### 2.7.4. Radyasyonun Geç Dönem Etkileri

Radyasyonun geç dönem ya da gecikmiş etkileri, ışınlamadan aylar hatta yıllar sonra ortaya çıkan ve çoğu kez ölümcül olan bir dizi hastalık ve etkiyi kapsamaktadır. Uzun süreli ve az miktarlarda daimi radyasyona maruz kalınması da benzer etkileri ortaya çıkarabilmektedir. Radyasyonun geç etkilerinin başında kısırlık ve katarakt gelmektedir. Radyasyonun deterministik etkilerinden olan kısırlık ve katarakt, canlı dokulardaki hücre ölümü sonucunda ortaya çıkmaktadır. Radyasyonun deterministik etkilerinin gelişiminde, maruz kalınan radyasyon miktarı önemli olup alınan doz arttıkça oluşacak hücre hasarı da bununla paralel olarak artmaktadır.

Yaklaşık 15 yıl ve üzerinde devamlı olarak radyasyona maruz kalanlarda ve korunma şartlarını yerine getirmeyenlerde katarakt riski oldukça yüksektir. Tüm çalışma hayatı boyunca, yavaş yavaş ve tolere edile edile alınacak 15 Sv (1500 rem)'lik ışınlama dozu katarakt oluşturmazken, 2 Sv (200 rem)'lik ani radyasyon dozu, 5 yıla kadar varan latent bir periyot sonrasında katarakta yol açar.

Bir ışınlama sırasında maruz kalınan 0.25 Sv'in altındaki dozlar, üreme hücrelerinde tespit edilebilir bir değişiklik yaratmazken, 1 Sv (100 rem)'lik ani doz erkekte sperm, kadında ise yumurta üretimini geriye dönüşümlü olarak yavaşlatmaktadır. 4 Sv (400 rem) ve üzeri dozlardaki ışınlamalarda ise kısırlık mutlaklıdır.

Radyasyonun gecikmiş dönem etkileri arasında doğal yaşam süresinin kısalması, kromozom aberasyonları ve kalıtsal etkiler, kan yapıcı organlarda depresyon etkisi ile gelişen lösemi başta olmak üzere tiroid, meme, gastrointestinal sistem ve akciğer gibi birçok organda artan kanser riski gelmektedir. Bu türden sonuçlar radyasyonun sitokastik etkileri olarak ifade edilmekte, görülme olasılığı soğurulan doz ile artarken, şiddeti dozdan bağımsız olarak gerçekleşmektedir. Sitokastik etkiler düşük seviyeli ışınlamalarda bile görülebilen radyasyon hasarı olarak ifade edilmektedir. Belirtilen sonuçların ortaya çıkması bakımından mutlak güvenli sayılabilecek bir eşik dozu bulunmamakta ve hücrelerin deformasyonunu takip eden belirli bir latent periyot sonrasında kanser ve kalıtsal hasarların oluşma riski gündeme gelmektedir. Bu latent periyot, örneğin lösemi için 2-10 yıl, solid tümörler için ise 10-40 yıl olarak bildirilmektedir.

Radyasyonun canlı dokular üzerindeki etkileri, sadece o canlının yaşamı

sırasında ortaya çıkan bulgular ve değişikliklerle sınırlı olmayıp radyasyona maruz kalan kişinin gelecekteki nesillerinde de görülmektedir. Normal yaşam boyunca da görülebilecek kromozom ve gen yapılarındaki bu doğal kimyasal değişiklikler, iyonlaştırıcı ışınların etkisi ile daha hızla gerçekleşmektedir. Kromozomlarda çeşitli nedenlerle ortaya çıkan kimyasal ve yapısal değişiklikleri ifade eden ve adına mutasyon denilen bu olay cinsiyet hücrelerinde olduğu gibi somatik hücrelerde de gerçekleşebilir. Ancak cinsiyet hücrelerindeki mutasyonlar, somatik hücrelerdeki mutasyonlarda olduğu gibi ferdi kalmayıp kendisinden sonra gelen nesillere aktarılacağından önemi daha da büyüktür.

Radyasyonun genetik etkileri üzerine ilk araştırma, 1927 yılında Müller tarafından, meyve sinekleri üzerindeki deneylerle gerçekleştirilmiş, iyonlaştırıcı radyasyonun, genetik karakterlerde değişiklikler yarattığı kanıtlanmıştır. Radyasyonun memeli canlılardaki genetik etkilerine yönelik çalışmalar ise fareler üzerinde yoğunlaşmıştır. Konu ile ilgili hayvanlar üzerinde gerçekleştirilen bu deneylerden elde edilen sonuçlar insanların iyonizan radyasyona maruz kalması durumunda gelişmesi beklenen genetik etkiler; zeka düzeyinde azalma, yaşam kalitesinde bozulmalar ve nüfus azalması şeklindedir.

Hayvanlar üzerinde yapılan deneyler neticesinde radyasyona maruz kalmanın yaşlanmayı hızlandırarak doğal yaşam süresini kısalttığı kanıtlanmıştır. Konu ile ilgili genişletilmiş çalışmalarda, deney farelerinde saptanan bu türden değişikliklerin insanlar için de geçerli olduğu doğrulanmıştır. Zaten ikinci dünya savaşı sonuna damgasını vuran atom bombası ve bu bombanın tesirinde kalan insanlarda gözlenen değişiklikler de böyle bir etkinin var olduğunu düşündürmekteydi. İnsan ömrünün kısalmasına neden olan radyasyonun belirli bir eşik dozundan bahsedilmemekle birlikte; hayvan deneylerinden çıkan sonuçların insanlara uyarlanması sonrasında, maruz kalınan her 1 röntgenlik ışınlamanın hayatı 1 gün, alınan her 1 rem'lik dozun ise hayatı yaklaşık 10 gün kısalttığı bildirilmektedir.

Sonuç olarak, radyasyonun geç dönem etkilerine yol açacak eşik doz sınırı verilememesine rağmen sitokastik etkilerin, alınan radyasyon miktarı ile orantılı bir şekilde artacağı varsayılmaktadır. Alınan doz ne kadar düşük seviyede tutulursa, radyasyonun kötü etkilerinin ortaya çıkma olasılığında o derecede azaltılmış olacaktır (2).



### **2.7.5. Radyasyonun Bazı Organ ve Dokulara Etkisi**

İyonizan ışınların, vücuttaki doku ve organlarda ne tür zararlı etkiler yaratabileceği ana başlıklar halinde aşağıda izah edilmektedir (1,2).

#### **2.7.5.1. Deri, Saç ve Kıllar**

Vücuttaki saç ve kılların radyasyonun etkisi ile dökülmesinin derecesi, aynı güneş ışınlarının yarattığı eritemde olduğu gibi maruz kalınan radyasyonun şiddeti ile doğru orantılı olup radyasyonun tatbikinden yaklaşık 1-3 hafta sonra görülmeye başlar. Deri, kan ve üreme hücrelerine oranla radyasyona daha dirençli olmakla birlikte, küçük dozlarda bile kızarıklık şeklinde klinik belirtiler verebilir: Bir Gy'lik doz sonrasında, geçici bir süre için, uzun süreli veya daha yüksek dozlarla etkileşime bağlı olarak saçlarda dökülme, epilasyon, deskuamasyon, kalıcı eritem, cildin daha derin tabakalarının etkilenmesine bağlı olarak ülserasyon ve nekrozlar ve sonunda deri kanserleri gelişebilmektedir. Lokal olarak alınan 300-600 rem'lik dozlarda (3-6 Sv), dökülen kıl ve tüylerin yeniden büyümesi için 2-3 ay gerekirken; 1000-2000 rem'lik lokal dozlarda bu süre 6-8 aya dek uzamaktadır. 3000-6000 rem'lik lokal dozlar ise kalıcı epilasyona neden olabilmektedir (1,2).

#### **2.7.5.2. Göz Merceği**

Göz merceği, birçok doku ve organın aksine hücre yenilenmesi ve çoğalması göstermediğinden radyasyondan etkilenimi çok önemlidir. Daha çok nötronların hasarından etkilenen göz merceği için, maruz kalmasına müsaade edilen maksimum radyasyon dozu, diğer organlar için belirtilen dozların %30'u düzeyinde tutulmaktadır. Radyasyonun göz merceği üzerine en önemli gecikmiş etkisi katarakt oluşumudur. Özellikle non-televize floroskopik çalışmalarda gözlerin ve göz merceğinin korunmasına yönelik kurşun camlı gözlüklerin takılması gerekmektedir (1,2).

#### **2.7.5.3. Üreme Organları**

Radyasyona en duyarlı organlar üreme organları ve bunların hücreleridir. Bu hücreler içinde de ışınlanmaya en hassas olanı spermatogoniumlardır. Üreme hücrelerinde fonksiyonel değişikliğe neden olabilecek asgari dozlar kadınlarda, erkeklere oranla daha yüksektir. Bir Sv (100 rem) ani radyasyon dozu erkekte sperm,

kadında ise yumurta üretimini yavaşlatmakta olup 0,25 Sv ani doz absorpsiyonundan itibaren üreme hücrelerindeki saatler içinde gerçekleşen değişiklikler laboratuvar bazında tespit edilebilmektedir. Bu ışınlama dozlarında oluşan değişiklikler, genellikle kısa bir süre içerisinde normale dönerken 4 Sv (400 rem) ve üzerinde dozlardaki ışınlamalarda kısırlık mutlaklır.

Gebelikte radyasyona en hassas dönem, hamileliğin 18-48. günleri arasındır. Düşük dozların, ovumun dölllenmesini takip eden ancak uterusu implantasyonundan önceki peryotta (18.günden önce) alınması, fetüsün oluşmasını engelleyerek abortusa sebep olabilmektedir (1,2).

#### **2.7.5.4. Akciğerler**

Akciğer dokusu, radyasyondan direkt ve indirekt olmak üzere iki şekilde etkilenmektedir. Direkt yolla etkilenim; alveol ve bunları besleyen hücrelerin, dışardan gönderilen iyonizan ışınlar ile tahrip edilmesi sonucunda oluşur. Buna karşın indirekt yol, havadan radyoaktif toz veya buharın inhalasyonu sonucudur. Direkt yolla etkilenime göre sonuçları çok daha ciddi olan bu şekil etkilenimde; çözünebilir radyoaktif parçacıklar alveol duvarından geçtikten sonra kana karışarak dolaşıma geçmekte ve vücudun diğer organlarında hasar oluşturmakta iken, çözünemeyen radyoaktif parçacıklar akciğer neoplazmlarına zemin hazırlar (1,2).

#### **2.7.5.5. Sindirim Borusu**

İyonizan radyasyonun etkisi sonucunda sindirim borusunda hücre yenilenmesi durmakta, sekresyonlar azalmakta veya kaybolmaktadır. Yüksek doz ışınlamalarda, intestinal mukozada destrüksiyon, ülserasyonlar, kanama görülebilir (1,2).

#### **2.7.5.6. İdrar Yolları ve Mesane**

Radyasyon, gastrointestinal traktüste olduğu gibi, idrar yolları ve mesanede mukozal hasar yaratarak idrar akımında zorluk, kanama, böbrek fonksiyonlarında bozulmaya yol açar (1,2).

#### **2.7.5.7. Kemik Yapılar**

Özellikle çocukluk döneminde kemik iliğindeki hematopoetik aktivitenin

varlığına bağlı olarak kemik yapılar radyasyondan fazlasıyla etkilenmektedir. Alınan radyasyon dozuna bağlı olarak büyümede yavaşlama veya durma; 10 Gy'in üzeri lokal ışınlanmalar neticesinde osteonekroz ve fraktürler gelişebilir. Bazı izotopların kemik dokusu içinde toplanmasına bağlı, uzun vadede tümör oluşumu da beklenebilecek sonuçlardandır (1,2).

#### **2.7.5.8. Hemapoetik Sistem**

Vücudumuzda dolaşan kanın %45'ini oluşturan şekilli elemanlar, lökosit, eritrosit ve trombositlerdir. Lökositler de kendi içinde lenfosit, granülosit ve monositler olarak özelleşmişlerdir. Kanın geriye kalan kısmı plazmadan ibarettir.

Lökositler, yukarıda da ifade edildiği gibi, kanın şekilli elemanları içinde radyasyona en duyarlı olanıdır. Beyaz kan hücreleri içinde de lenfositlerin duyarlılığı en fazladır. Yine daha önceden belirtildiği gibi radyasyonun erken dönem etkilerinin başında lenfositlerin sayısında artma görülürken granülositlerin sayısında azalma saptanır. Lenfositler ve dolayısı ile beyaz kan hücrelerinde azalma, vücut direncini azaltarak enfeksiyon gelişimine zemin hazırlar.

Trombositler, radyasyona, lökositlere göre nispeten daha dayanıklı olmakla beraber yüksek doz ışınlamalarda, hem hücrelerinin harap olması hem de kemik iliğinde yapımlarının baskılanmasına bağlı olarak 2 hafta içinde azalır. Trombositlerdeki bu azalma kanın pıhtılaşmasında gecikmeye yol açar.

Radyasyona karşı en dayanıklı kabul edilen kan hücreleri eritrositlerdir. Eritrosit sayısında azalım şeklinde ortaya çıkan değişimler, ancak yüksek dozlardaki ışınlamalar neticesinde gelişir ki bu durum klinik tablonun ciddi olduğunun işaretidir. Eritrosit sayısındaki azalım, anemi olarak nitelendirilir ve solukluk, halsizlik, taşikardi ve dispneye neden olur.

Plazma, direkt radyasyon etkilerine oldukça dayanıklıdır. Dalak ve lenf bezleri de radyasyona hassas kabul edilen organlardır (1,2).

#### **2.8. İyonizan Radyasyon ve Karsinogenezis**

İyonizan radyasyon, hücre içi moleküllerde ve daha önemlisi genetik materyal olan kromozomlarda (DNA) kimyasal bağların kopmasına neden olmaktadır(9). Mutasyon olarak adlandırılan bu genetik hasarlar hücre tarafından tamir edilemez ise,

hücreyi ölüme götüren süreci başlatan metabolik değişiklikler meydana gelir. Bu etki nedeniyle iyonizan radyasyonlar, devamlı hücre çoğalması ile kendini gösteren kanser hastalarının tedavisinde kullanılmaktadır. Ancak, sağlam doku hücrelerindeki genetik hasar hücrenin ölümüyle sonuçlanmazsa yıllar sonra kansere neden olabilmektedir. Radyasyon karsinogenezisi, onkojen, süpresör gen ve/veya hücre tamiri enzimlerinin yapılmasından sorumlu gen bölgelerinde oluşan mutasyonlar ile başlatılır (inisiyasyon). Diğer hücre içi ve/veya hücre dışı faktörler (antiapoptotik protein yapımı, büyüme faktörleri, vücudun bağışıklık sistemi yetersizlikleri, vs.) bu klonojen hücrelerin hızla çoğalmasına yol açar (promosyon). Aynı hücrelerin proteaz-kollejenaz gibi enzimleri üretmeye başlaması ve kontak inhibisyonun ortadan kalkmasıyla, invazyon-metastaz yapan habis tümörler ortaya çıkar (progresyon) (22,25-27).

Radyasyona bağlı kromozom değişiklikleri üzerine yapılan in vitro deneylerde, kromozomlarda oluşan delesyon ve translokasyonların nokta mutasyonlarına göre daha fazla olduğu görülmüştür. Biyolojik olarak en önemli lezyonlar olan çift kromozom kırıklarının tamiri daha yüksek oranda mutasyona neden olmaktadır. Geç dönemlerde dahi, ardışık mutasyonlar ve kromozomal yeni düzenlemeler heterozigotluk kaybına, gen amplifikasyonu ile onkojen aktivasyonuna ve/veya süpresör gen delesyonuna yol açabilir (papiller tiroid kanseri, miyeloid lösemi, bazal hücreli nevüs karsinoma sendromu, Li-Fraumeni sendromu). Bir Gy'lik doz ile 100 bin hücrede 1-10 arasında spesifik gen mutasyonu görülmektedir. Çift kromozom kırıkları, yüksek lineer enerji transfer (LET) değeri olan ışınlar ( $\alpha$ -ışını, proton, nötron) ile daha olasıdır (22,25,26).

Radyasyonun biyolojik etkileri incelendiğinde, kanser oluşumunda aşağıdaki faktörler ön plana çıkmaktadır.

a) Absorbe edilen toplam eşdeğer doz (ışın türüne bağlı olarak kalite faktörü, yani rölatif biyolojik etkinlik ve doz hızı hesaplamalarda dikkate alınır).

b) Hangi yaşta maruz kalındığı (genç yaş riski artıran bir faktördür).

c) Maruz kalmadan sonra geçen zaman.

d) Cinsiyet (radyasyona bağlı meme, gastrointestinal sistem, tiroid kanseri riski kadınlarda yüksek iken, diğer solid tümörler ve lösemi erkeklerde daha sık görülmektedir).

Solid tümörlerde doza bağlı olarak lineer bir artış gözlenirken, lösemi için dozun karesine bağlı bir artış söz konusudur. Bunun yanı sıra bazı organlarda (kemik iliği,

tiroid, meme, akciğer) radyasyona bağlı kanser gelişme riski diğerlerine göre daha yüksektir. Kanser oluşması için eşik bir doz değeri bulunmamakta, olasılık dozla birlikte artmaktadır (sitokastik özellik).

Latent süre kanser tipine göre değişmektedir. Lösemiler radyasyona maruz kaldıktan 2 yıl sonra belirmeye başlar, 4-8 yıl arasında en yüksek orana ulaşır ve daha sonra risk normale döner. Solid tümörlerde ise 10 yıla kadar bir artış görülmezken, 20 yıla doğru olasılık gittikçe artar ve latent süre 45 yıldan uzun olabilir (22).

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 yaşta 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 (5,17,26).

Hiroşima ve Nagazaki'ye atılan atom bombası sonrası yaşayanlar arasından 80 bin kişi üzerinde yapılan istatistikler, lösemi olgularında iki kat artış olduğunu göstermiştir (22)

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 (5,17,26).

Atom bombasından hayatta kalanlar üzerinde yapılan çalışmalarda, tiroid kanseri vakalarının, ışınlanma sırasında 10 yaş ve altındakilerde olduğu ve en yüksek riskin ışınlanmadan 15-29 yıl sonra görüldüğü, 40 yıl sonrasına kadar bile riskin yükselebileceği bilinmektedir. Çernobil kazasından önceki dönemlerde yapılan çalışma sonuçlarına dayanılarak, tiroid kanseri kuluçka döneminin ışınlanmadan 10 yıl sonra

ortaya çıkması beklenirken, kaza sonrasında tiroid kanseri artışı kazadan en fazla etkilenen Beyaz Rusya, Rusya Federasyonu ve Ukrayna'da ilk 5 yıl içerisinde görülmüştür (17,28). Çernobil kazasından sonra Beyaz Rusya ve Ukrayna'da yaşayan insanlarda yapılan incelemelerde başta tiroid kanseri olmak üzere bir çok kanser insidansında yükselmeler görülmüştür (5,7,20,29-31). 1991-1992 yıllarında Beyaz Rusya'da tiroid kanserinin yıllık insidansı Çernobil kazasından önceki 10 yıllık döneme göre 62 kat artmıştır. Nikiforov ve arkadaşlarının yaptıkları araştırmalarda Çernobil Kazası sonrası çocuklarda radyasyonun neden olduğu karsinogenezin tiroid kanseri için 4 yıl gibi oldukça kısa bir latent periyotta açığa çıktığını belirtmişlerdir (30,31).

### **2.9. İyonizan Radyasyonun In-Utero Etkileri**

İyonizan radyasyonlar kansere yol açmanın dışında yaşam süresinin kısalmasına, fetüs ve embriyo üzerinde genetik etkilere, aplastik anemi ve katarakt gibi hastalıklara neden olabilir. Döllenmeden sonraki ilk dokuz gün içinde radyasyona maruz kalındığında, ya hep ya hiç kuralı geçerlidir. Buna göre ya düşük gerçekleşir ya da embriyo normal gelişimine devam eder. Dokuzuncu gün ile altıncı hafta arasındaki organogenez aşamasında embriyo radyasyona en duyarlı dönemindedir ve malformasyonlar meydana gelebilir. Mikrosefali, zeka geriliği gibi serebral anomaliler 8-15. haftalar arasında, 10 cGy (santigray)'nin üzerindeki dozlarda görülmüştür. Göz ve iskelet anomalileri 20 cGy'i aşan dozlarda söz konusudur. Doz-etki ilişkisi hayvan deneyleri ile gösterilmiştir. Radyasyon, hamileliğin altıncı haftasından sonraki fetal dönemde daha çok gelişme geriliğine yol açmaktadır. Embriyonun radyasyona en duyarlı olduğu 10. günden 26. haftaya kadar olan sürede alınacak 0.1 Gy'in üzerindeki dozlarda, anomali olasılığını ortadan kaldırmak amacıyla terapötik abortus önerilmektedir. Hamileliğin son trimestrinde fetüsün alacağı 10 mGy (miligray)'lik bir doz, çocukluk çağı kanser riskini %40 oranında artırmaktadır. Doğum öncesi (in utero) ışına maruz kalanlarda çocukluk çağı tümörleri ve lösemide artış, ailesel genetik yatkınlık olanlar için (retinablastom geni, ataksi-telenjiektazi geni, defektif p53 geni taşıyanlarda) daha yüksektir. Gonadların ışına maruz kalması germ hücrelerinde genetik mutasyonlara yol açabilir; buna bağlı olarak doğumsal kromozom anomalilerinde artış gözlenebilir. On mSv'lik radyasyonun getireceği kromozom anomalilerindeki risk artışının, 1 milyon doğumda ortalama 200 (dağılım 60-1100) olacağı hesaplanmıştır.

Normal doğumlarda rastlanan spontan mutasyon oranının 1 milyonda 107 bin (%10) oranında olduğu göz önüne alındığında, bu 10 mSv'lik radyasyonun meydana getirdiği risk artışı %1 oranında olmaktadır. Hiroşima ve Nagazaki verileri incelendiğinde, sağ kalan nüfusun kromozom hasarlarında normale göre artış görülmesine rağmen, patlamadan sonra gerçekleşen doğumlarda kaydedilen doğuştan anomali artışı, istatistiksel anlamlılık kazanacak büyüklüğe ulaşmamıştır. Bu veriler ışığında doğal olarak görülen spontan mutasyon oranını ikiye katlayacak dozun, insanlar için ortalama 1.56 Sv olduğu hesaplanmaktadır. Gebelik süresince embriyo veya fetüs için izin verilen doz limitleri ise 0.5 mSv/ay ve toplamda 2 mSv'tir (22).

### **2.10. İyonizan Radyasyonun Medikal Amaçlı Kullanımından Kaynaklanan Riskler**

Radyoterapiye bağlı olarak %2-5 oranında kanser ortaya çıktığı bildirilmektedir. Bunlar arasında kemik, yumuşak doku, tiroid, meme, mide, akciğer, deri, merkezi sinir sistemi tümörleri ve daha az oranda da olsa lösemiler ön plandadır. Tüm vücut ışınlanması uygulananlarda (10-15 Gy) kanser riskinde sekiz kata varan artış gözlenmiştir (22).

Yapılan çalışmalarda farklı hasta gruplarında çeşitli kanser türleri için 222 Sv'e kadar verilen radyoterapi dozlarına bağlı olarak hastalarda oldukça çeşitli ikincil kanserler geliştiği gösterilmiştir. Serviks kanseri için radyoterapi verilenlerde sekonder olarak uterus, over, kolon gibi komşu organ kanserleri yanında pankreas, böbrek, Nonhodgkin lenfoma, multipl myeloma ve lösemi gibi diğer ikincil kanserlerinde geliştiği görülmüştür. Hodgkin hastalığı için radyoterapi alanlarda akciğer, meme kanseri ve lösemi geliştiği gösterilmiştir. Meme kanseri nedeniyle radyoterapi alanlarda diğer memede de kanser gelişmiştir (32).

Clemons ve arkadaşlarının çalışmasında meme dokusunun puberte ve 30 yaş arasında maruz kalınan radyasyona daha duyarlı olduğu ve bu çağlarda radyasyona maruz kalan meme dokusunda ortalama 15 yıl sonra kanser geliştiği görülmüştür. Bu çalışmada Hodgkin hastalığı nedeniyle çocukluk döneminde radyoterapi alanlarda radyoterapiye sekonder 30-40 yaş aralığı gibi erken yaşlarda meme kanseri görüldüğü bildirilmiştir (33).

Daha düşük dozların kullanıldığı radyodiagnostik inceleme sonuçları üzerine yapılan araştırmalarda lösemi sıklığında artış olabileceği belirtilmektedir. Radyografi ve BT incelemeleri ile kemik iliğinin aldığı ortalama dozlar yetişkinlerde 0.75-1.14 mGy aralığında hesaplanmaktadır. Bunun yol açacağı kansere bağlı ölümlerdeki risk artışı en yüksek 1/17000 olarak tahmin edilmektedir. Bu risk, iş kazalarında meydana gelen ölümlerle aynı orandadır. Mammografi ile ortalama 0.2 cGy'lik (2 mSv) doz alınmaktadır. Erken tanı için mammografik tarama yapılması meme kanserlerindeki ölüm oranını azaltmıştır; ancak bunun 40 yaşlarından sonra 1-2 yıl aralıklarla uygulanması tavsiye edilmektedir. Doğurganlık çağındaki kadınlarda ortaya çıkabilecek bilinmeyen gebelik riski nedeniyle, pelvik ve abdominal radyolojik incelemelerin menstruasyonun ilk 10 gününde yapılması; gonadların ışına maruz kaldığı bir inceleme veya tedavi sonrasında ise hamileliğin altı ay süreyle geciktirilmesi önerilmektedir (22).

Yapılan çalışmalarda iyonizan radyasyon içeren radyolojik tetkiklere erişkinden daha ziyade çocukluk ve adölesan çağlarında maruz kalan hastalarda farklı kanser türleri için kanser gelişme riskinde anlamlı artışlar olduğu görülmektedir (32). Doody ve arkadaşlarının yaptığı kohort çalışmasında skolyoz nedeniyle geç çocukluk ve adölesan dönemlerinde tanısal radyolojik izlemler sonucu sık iyonizan radyasyona maruz kalan hastalarda meme kanserine bağlı mortalite riskinde önemli artışlar olduğu açığa çıkmıştır (34). Bu çalışmanın devamı niteliğinde olan Ronckers ve arkadaşlarının çalışmasında meme kanseri gelişimine katkı oluşturacak düşük doz iyonizan radyasyon eşik değeri 1-3 cGy (10-30 mSv) olarak saptanmıştır (35). Özellikle floroskopik tetkikler olmak üzere tüberküloz nedeniyle iyonizan radyasyon içeren radyolojik tetkiklerle izlenen çocuklarda meme kanseri riskinde anlamlı artış olduğu bildirilmiştir (36,37).

National Radiological Protection Board (NRPB)'ın radyolojik koruma bülteni Eylül 2001 verilerine göre radyolojik tetkiklerin yaşam boyu kanser geliştirme riski Tablo IV'te sunulmaktadır (7).



**Tablo IV.** Radyolojik Tetkiklerin Yaşam Boyu Kanser Geliştirme Riskleri

<b>Radyolojik Tetkik</b>	<b>Her Bir İncelemenin Yaşam Boyu Kanser Geliştirme Riski</b>
Akciğer grafisi Diş Grafisi Ekstremitte Grafisi	1 / 1.000.000 dan az
Kafa Grafisi	1 / 1.000.000 – 1 / 100.000 arası
Mamografi Kalça Grafisi Vertebra Grafisi Abdomen Grafisi Pelvis Grafisi Beyin BT Akciğer Sintigrafisi Böbrek sintigrafisi	1 / 100.000 – 1 / 10.000 arası
Intravenöz Piyelografi Özefagus Mide Duedonum Grafisi Kolon Grafisi Toraks BT Abdomen BT Kemik Sintigrafisi	1 / 1.000 – 1 / 10.000

### **2.11. Tanısal Radyolojik Tetkiklerde Maruz Kalınan Doz Miktarları**

UNSCEAR 2000 raporunda ülkelerin sağlık durumlarına göre yapılan sınıflamada seviyeler arasında toplumun tıbbi incelemelerden her yıl aldığı kişi başı ortalama efektif doz değerleri seviye 1 ülkelerde 1.3 mSv iken, seviye 4 ülkelerde bu değer 0.02 mSv'dir. Dünya genelinde ise ortalama tıbbi incelemelerden alınan doz 0.4 mSv'dir. İyonizan ışın kullanan tanısal işlemler insan eliyle oluşturulan tıbbi radyasyonun en önemli kaynağıdır. ABD'de yılda yaklaşık 250 milyon X-ışını içeren tanısal radyolojik tetkik ve 8 milyon nükleer tıp incelemesi yapılmaktadır (32).

Dünya ölçeğinde en yaygın uygulanan radyolojik tetkik akciğer grafisidir. Tüm radyolojik uygulamaların %41'ini oluşturmaktadır. Posteroanterior ve lateral grafiden oluşan iki yönlü akciğer grafisinde cihazın voltaj değeri, analog ya da dijital sistem olmasına göre maruz kalınan efektif doz değerleri 0.06-0.25 mSv arasında değişim göstermektedir. İki yönlü akciğer grafisinde PA grafi bu dozun yaklaşık %25'ini, lateral grafi ise yaklaşık %75'ini içerir (38).

BT ise tüm radyolojik tetkiklerin %5'ini oluştururken kişi başına düşen yıllık doz miktarına %34 katkı sağlar (7,17). Medikal maruziyette en büyük pay ise BT'nindir. Görece dozu yüksektir ve son zamanlarda gittikçe kullanımını artmaktadır

(4,13-15). 1980'den bu yana pediatrik BT incelemelerinde tahminen %800'lük bir artış olmuştur (39). İngiltere'de 1990 yılında radyolojik işlemlerin sadece %4'ü BT olduğu halde alınan dozun %40'ı BT kaynaklıdır. ABD hastanelerinde 2000 yılında bu oran %10 olduğu halde alınan ışın dozunun yaklaşık %65'i BT'den kaynaklanmaktadır (15,17). BT'den alınan doz miktarı ÇKBT ile daha da artacaktır (4,13-15).

BT'de radyasyon dozunun dağılımı radyografidekinden belirgin şekilde farklıdır. Işın çok iyi sınırlandırılmıştır, ışının geçtiği doku hacmi radyografiden daha azdır. Işının geçtiği doku 360° her yönden ışınlandığı için doz her tarafta eşittir, radyografide ise gittikçe azalır. BT görüntüleri için yüksek sinyal gürültü oranına ihtiyaç duyulur, doz yüksektir. Örneğin bir PA grafisinde ekspozyur değerleri 120 kVp (kilovoltaj)-5 mAs (miliampersaniye), ise BT'de 120 kVp-200 mAs'dır. Normalde insanın eni kalınlığından fazladır. Aynı mAs değeri kullanıldığında ince yerlerde sinyal gürültü oranı yüksek, kalın yerlerde düşük olur. Ölçüm 360° yapıldığından düşük sinyalin gürültüsü tüm görüntü üzerine oturur. Bunu önlemek için gantrinin (tüp ve dedektör sistemini içeren kısım) birkaç dönüşünden sonra kalın yerlerde otomatik olarak mAs artırılır, ince yerlerde düşürülerek sinyal gürültü oranı yüksek tutulur.

BT aygıtlarında doz profili aksiyel kesit boyunca her yerde eşit değildir, yüzeyde derinden daha fazla olabilir. Kranial BT'de yüzey/merkez oranı 1/1 iken bu değer gövdede 2/1 dir. BT'de kesitin dışındaki dokular da ışınlandığından kesit sayısı arttıkça dozda artar.

Bir toraks BT tetkikinde maruz kalınan efektif doz miktarı cihazın türü, uygulama parametreleri, kesit sayısı, kesit kalınlığı gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak 3-27 mSv arasında değişiklik gösterebilir (38).

Tipik bir kranial BT incelemesinde (120 kVp, 300 mAs) hastanın en yüksek doz alan herhangi bir bölgesinin aldığı miktar 40 mGy(40 mSv)'dir. Abdomende ise 120 kVp, 250 mAs değerlerinde bu miktar 20 mGy'dir. BT-fluoroskopide fluoroskopi süresi ve seçilen tekniğe bağlı olarak yüksek deri dozu alınabilir. BT-fluoroskopide 20 mAs kullanılır. Bu normal kesitte verilen dozun 1/10'udur. Lensin aldığı doz 40 mGy'dir. Bu değer katarakt dozunun (2 Gy) çok altındadır. Deri dozu 20-40 mGy olup eritem seviyesinin çok altındadır. Fetüs doğrudan ekspoze olursa 120 kVp-250 mAs değerlerinde embriyo dozu 15 mGy'dir. Embriyo, doğrudan ışın geçen bölgeden 8 cm uzakta ise bu dozun en çok %10'unu alır (4).

Temel radyasyon riski kanser indüksiyonudur. Hastadaki kanser riski, doza ve ışınlanan organların ışına duyarlılıklarına bağlıdır ve en iyi etkin doz ölçütleri ile belirlenir. BT'deki etkin dozlar radyografinin çok üstündedir. Teknik değiştirilmeden uygulandığında çocukların aldığı etkin doz yetişkinlere göre kraniyal BT'de 4 kat, abdomen BT'de 2 kat daha fazladır. Bunun nedeni dozun birim kütleye yüklenen enerji olması ve çocuk yapılarının küçük olmasıdır. Pediatrik olgularda düşük doz BT yapılmalıdır (4).

Hastanın etkin dozu ve riski hastaya yüklenen total enerji miktarı ile artar. Dolayısı ile tüp akımı ve tarama zamanı ile artar. Kesit sayısı arttıkça alınan doz artar. Kontrastlı ve kontrastsız inceleme birlikte yapıldığında doz 2 kat artar. Çoklu faz çalışmalarında (dinamik çalışma) ise faz sayısı kadar doz artımı olur. ÇKBT'de hasta dozu, ışınlama değerleri ve kesit kalınlığı x kesit sayısı aynı kalmak koşulu ile Helikal BT'dekine eşittir (4). ÇKBT'de aralıksız taramayla yapılan incelemede maruz kalınan doz, tek kesitli BT ile yapılan kesitsel inceleme ile karşılaştırıldığında bir pelvik incelemede yaklaşık %69 daha fazladır (15).

Avrupa komisyonun radyasyon koruma 118 görüntüleme için kılavuz 2008 güncelleme raporunda (European Commission. Radiation Protection 118 Update Mars 2008 Referral Guidelines For Images) 2000'li yıllarda radyolojik tetkiklerde ve nükleer tıp çalışmalarında maruz kalınan efektif dozlar mSv birimiyle belirtilmiştir. Aynı zamanda bu raporda bir PA akciğer grafisiyle diğer radyolojik tetkiklerin sayısal oranlaması yapılarak diğer tetkiklerin kaç PA akciğer grafisine eşdeğer olduğu sunulmuştur. Yine bu raporda yeryüzünün yıllık doğal radyasyon miktarı 2.2 mSv baz alınarak radyolojik tetkiklerin yıllık doğal radyasyon miktarı ile süre olarak kıyaslaması yapılmıştır. Bu veriler Tablo V'te sunulmuştur (40).

**Tablo V.** Radyolojik Tetkiklerde Maruz Kalınan Radyasyon Dozu Değerleri, PA Akciğer Grafisiyle Sayısal ve Yeryüzü Doğal Radyasyonu İle Süresel Eşdeğerliği

<b>Radyolojik Tetkik</b>	<b>Tipik Efektif Doz (mSv)</b>	<b>Akciğer Grafisiyle Sayısal Eşdeğerliği</b>	<b>Yeryüzü Doğal Radyasyonu ile Süresel Eşdeğerliği</b>
PA Akciğer Grafisi	0.02	1	3 gün
Ekstremit ve Eklem Grafisi	0.01	0.5	1.5 gün
Kafa Grafisi	0.06	3	9 gün
Torakal Vertebra Grafisi	0.7	35	4 ay
Lomber Vertebra Grafisi	1.0	50	5 ay
Kalça Grafisi	0.4	20	2 ay
Pelvis Grafisi	0.7	35	4 ay
Abdomen Grafisi	0.7	35	4 ay
IVP	2.4	120	14 ay
Baryumlu Özefagus Yutma Grafisi	1.5	75	8 ay
Baryumlu Mide Grafisi	2.6	130	15 ay
Baryumlu İnce Barsak Pasaj Takip Grafisi	3	150	16 ay
Baryumlu Kolon Grafisi	7.2	360	3.2 yıl
Beyin BT	2.0	100	10 ay
Toraks BT	8	400	3.6 yıl
Abdomen veya Pelvis BT	10	500	4.5 yıl
Akciğer Ventilasyonu (Xe-133)	0.3	15	7 hafta
Akciğer Perfüzyonu (Tc-99m)	1	50	6 ay
Böbrek (Tc-99m)	1	50	6 ay
Troid (Tc-99m)	1	50	6 ay
Kemik (Tc-99m)	4	200	1.8 yıl
Dinamik Kardiak (Tc-99m)	6	300	2.7 yıl
PET Beyin (F-18 FDG)	5	250	2.3 yıl

Çocuklarda tarama alanı ve vücut/kitle indeksleri daha küçük olduğu için radyolojik tetkikler uygulanırken tetkik parametreleri ayarlanarak doz azaltılmasına gidilmelidir. Beş yaşındaki bir çocuğun uygun parametrelerle elde olunan radyolojik tetkiklerde maruz kalacağı ortalama efektif doz miktarları Tablo VI' da sunulmuştur (41).

**Tablo VI.** Beş Yaşındaki Bir Çocuğun Uygun Parametrelerle Elde Olunan Radyolojik Tetkiklerde Maruz Kalacağı Ortalama Radyasyon Doz Miktarları ve Akciğer Grafisiyle Sayısal Eşdeğerliği

<b>Radyolojik Tetkik</b>	<b>Doz (mSv)</b>	<b>Akciğer Grafisiyle Sayısal Eşdeğerliği</b>
3 Yönlü Eklem	0.0015	0.07
2 Yönlü Akciğer	0.02	1.0
Abdomen Grafisi	0.05	2.5
Floroskopik Sistogram	0.33	16.0
Beyin BT	4.0	200.0
Toraks BT	3.0	150.0
Abdomen BT	5.0	250.0
Tc-99m <sup>2</sup> Radyonüklid Sistogram	0.18	9.0
Tc-99m Kemik Sintigrafisi	6.2	310.0
FDG PET Tarama	15.3	765.0

### 2.12. Güvenli Radyasyon Dozu Sınırları

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

Zurih'de 1934 yılında 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. Şikago'da 1937 yılında toplanan Uluslararası Kongre 200 mrem/gün

sınırının muhafazasına karar vermiştir. Orijinal belgelerde kullanılan doz birimi rad'dır. Fakat o günlerde söz konusu olan radyasyon türü sadece X-ışını olduğundan rem ve rad birimlerinin eşdeğer anlamda kullanılabilmesi bilinmektedir. İkinci Dünya Savaşından 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. Bu sınır 1958 Ekiminde 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 savaştan öncesine oranla doz sınırı 10 kat aşağı çekilmiştir. Savaştan 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 sınırı savaştan öncesinin 100 kat altına çekilmiş bulunmaktadır (5).

Radyasyon görevlileri, gerek bu hizmete atandıklarında gerekse hizmet süresince periyodik olarak sağlık kontrollerinden geçirildiklerinden ve maruz kaldıkları radyasyon dozları sürekli olarak izlenip kaydedildiğinden, alabilecekleri doz seviyesi daha yüksek düzeyde tutulmaktadır. Bu ifadeden, kimlerin radyasyon görevlisi statüsünde kabul edileceği sorusu ortaya çıkmaktadır. ICRP, bu konuda 3/10 kuralını gündeme getirmiştir. Buna göre bizzat radyasyon ile çalışan görevlilerin almasına müsaade edilen yıllık doz sınırının 3/10'dan fazlasını alma olasılığı bulunan kişiler doz izlemine tabi tutulmakta, bu seviyenin altındaki dozlara maruz kalma olasılığındaki bireyler ise izlem kapsamına dahil edilmeyerek radyasyon personeli olarak sayılmamaktadır. Böyle bir kontrole ve doz izlemine tabi tutulamayanların alabilecekleri yıllık radyasyon dozu, görevliler için belirlenen dozun onda biri (1/10) ile sınırlandırılmıştır.

Tüm vücut için kabul edilen bu güvenli radyasyon dozu sınırı radyasyonla çalışan personel için tek bir yılda 50 mSv (5 rem), diğer bireyler için ise 5 mSv (0,5 rem)'dir. Ardışık 5 yılın ortalaması radyoloji çalışanlarında 20 mSv, diğer bireyler için 1 mSv olarak kabul edilmiştir (1,2). ICRP radyoloji çalışanları için yıllık 50 mSv olan tüm vücut doz değerinin gelecek yıllarda 20 mSv'ye çekilmesini önermektedir (4).

Ayrıca bu dozlar, radyasyon ile çalışan personel için 1 saatte yaklaşık 2 mrem (20  $\mu$ Sv), 13 haftada ise 3 rem (30 mSv) sınırını da aşmamalıdır. Radyasyon ile çalışan

personelin tüm iş yaşamı boyunca maruz kalabileceği maksimum radyasyon dozu ise:

$$D = 5 (N-18) \text{ rem veya, } D = 50 (N-18) \text{ mSv}$$

olarak hesaplanmaktadır. Burada N olarak belirtilen gösterge, radyasyon personelinin yaşını ifade etmektedir (1,2).

Tanımlanan tüm bu güvenli doz sınırları, tüm vücuda yönelik olan radyasyon dozunu belirtmekte olup farklı organ ve dokulara özgü olarak da değişiklik gösterebilmektedir. Bu farklılık göz merceği için tüm vücut dozunun 3 katı, diğer tek doku veya organ için ise 10 katı daha fazladır. Örneğin göz merceği için söz konusu maksimum sınır dozu değerleri radyasyon ile birebir çalışan personel için 150 mSv/yıl (15 rem/yıl), diğer bireyler için ise 50 mSv/yıl (5 rem/yıl) düzeyindedir. Ayrıca radyasyonun tedavi amaçlı uygulamalarında vücudun sadece belirli kesimleri ışımlandığından, izin verilen doz sınırları daha da yükselebilmektedir (1,2).

### **2.13. Diyagnostik (Tanısal) 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.

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'li 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 USG ise 1970'li yılların başında yavaş yavaş kliniğe girmeye başlamıştır. X-ışınlarının

bilgisayar teknolojisiyle birleşmesiyle radyolojide bir devrim yaşanmış ve 1972 yılında BT aygıtlarının kliniğe girmesiyle görüntülerin bilgisayarlarla oluşturulduğu yeni bir dönem başlamıştır. Bu dönemin en önemli ürünlerinden biri de görüntü oluşturmada radyo frekans enerjisi ve manyetizmanın kullanıldığı MRG'dir. BT ve MRG'de görüntüler bilgisayarlarla oluşturulur. USG ve RG'de de bilgisayarların görüntü oluşturmada önemli işlevleri vardır. Bilgisayar teknolojisinin röntgende kullanılması ile de görüntülerin tümüyle dijital olarak elde edildiği dijital röntgen geliştirilmiştir. Bu nedenle görüntülerin gümüş bromür emülsiyonu sürünmüş röntgen filmleri üzerinde olduğu klasik yöntemimiz olan röntgene, konvansiyonel röntgen adı da verilir. Röntgen dışında kalan diyagnostik radyoloji yöntemleri başlangıçta İngilizce 'imaging' sözcüğünün çevirisi olabilecek Görüntüleme başlığı altında toplanmıştır. Görüntüleme, sözcük anlamı olarak organ ve dokuların bir resim şeklinde gösterilmesidir (3).

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 birçok 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.

### **2.13.1. İyonizan Radyasyon İçeren Radyolojik Görüntüleme Yöntemleri**

#### **2.13.1.1. Radyografi (Röntgen)**

Bu yöntemde X-ışını kaynağından çıkan X-ışınları incelenecek objeyi geçerek 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 ekstremitelere incelemeleri görülebilir. Radyografinin değişik amaçlar için kullanılan, değişik tekniklerinin birçok şekli vardır. Özefagus-mide-duodenum grafisi (ÖMD), kolesistografi, intravenöz piyelografi (İVP), anjiyografi gibi adlandırılan sindirim



borusunun, safra yollarının, üriner sistemin ve damarların röntgenolojik incelemeleri de kontrastlı radyografi örnekleridir.

Vücudu geçen X-ışınları geçtikleri bu yapıların atom ağırlıkları, yoğunlukları ve kalınlıklarına göre farklı oranlardadır. X-ışını oranındaki bu farklılıklar konvansiyonel röntgende röntgen filmi ile dijital röntgende ise röntgen filmi yerine konan dedektörlerle saptanarak görüntü oluşturulur. Bu nedenle konvansiyonel röntgende görüntü analog, diğerinde dijitaldir.

İncelenen bölgenin iki boyutlu görüntüsünü veren röntgen, bir projeksiyon yöntemidir. Bu nedenle incelenen bölgedeki oluşumlar üst üste düşerek 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 transmisyonudur.

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 oryantasyonu sağlaması nedeni ile röntgen, hemen her zaman klinikte ilk istenen radyolojik tanı yöntemi olmaktadır (3).

### **2.13.1.2. 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 düzeylerindeki yapıların görüntüleri üst üste düşer (süperimpozisyon, süperpozisyon). 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 (1-3).

BT ve MR gibi diğer kesit görüntü alan yöntemlerden ayırmak için bu yönteme konvansiyonel tomografi adı verilir (3).

#### **2.13.1.3. Pantomografi**

Sıklıkla mandibula ve maksilla gibi eğri-kavisli yüzeylerin panoramik radyogramlarının elde edilmesi için kullanılır. Hasta hareketsiz ayakta ya da oturur pozisyonda iken X-ışını tüpü ve film-ekran taşıyıcısı çevresinde döner. Taşıyıcı parça klasik röntgen kasetlerinden farklı olarak kavislidir. Diş hekimliğinde rutinde yaygın olarak kullanılmaktadır (2).

#### **2.13.1.4. Anjiografi**

Anjiografi vücut damarlarının görüntülenmesi demektir. Damar içine damarların görünür hale gelmesini sağlayan ve kontrast madde olarak tanımlanan ilaç verilerek, 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 (1-3).

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 (3).

#### **2.13.1.5. Floroskopi (Skopi)**

Floroskopi radyolojinin en eski ve en temel bölümlerinden biridir. X-ışınlarının floresans özelliğinden faydalanılarak gerçekleştirilen dinamik bir görüntüleme yöntemidir. X-ışını tüpünden çıkan ışınlar objeyi geçtikten sonra çinko kadmiyum sülfid kaplı ekran üzerine düşürülerek sarı-yeşil dalga boyunda parıldama oluşturulur (1).

Günümüzde, oldukça yaygın olarak sindirim sistemi, idrar yolları, kadın üreme organları ve vücudun daha birçok bölümünün incelenmesinde kullanılmaktadır (1-3). Normal filmlerde görülemeyen yapılar kontrast madde denilen ilaçlarla boyanarak görünür hale getirilir. Kontrast maddeler, baryum ve iyot gibi radyopak 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. Çekimi yapan doktor ve teknisyenler, radyasyona her gün maruz kalmamak için koruyucu bir bölmenin arkasında oturarak veya kurşun önlük giyerek kendilerini korurlar (3).

#### **2.13.1.6. Mamografi**

Mamografi meme dokusunun röntgen ışınlarıyla görüntülenmesidir (3). Günümüzde meme kanserinin erken tanısında kullanılan en iyi görüntüleme yöntemidir(2). Genel amaçlı radyoloji tüplerinde değişiklikler yapılarak, hastanın daha az radyasyon alması sağlanmıştır (3). Mamografide yumuşak doku elemanlarının birbirinde ayrımı çok önemli olduğundan incelemeler düşük kV tekniği ile gerçekleştirilmektedir (2). Kullanılan cihaza bağlı olarak otururken veya yatarken meme dokusu sıkıştırılarak memenin değişik yönlerden görüntüleri alınır (2,3).

#### **2.13.1.7. Fotoradyografi**

Ülkemizde verem savaşında başarı ile uygulanan ve mikrofilm olarak bilinen fotoradyografi (fotofluorografi) yöntemi fluoroskopi ekranında oluşan görüntünün fotoğrafının çekilmesidir. Çok sayıda hastanın filminin ardı ardına çekilebilmesi, film kalitesinin yüksek olması, kullanılan cihazın taşınabilirliği ve film maliyetinin düşük olması yöntemin avantajlarıdır (2).

#### **2.13.1.8. Dijital Röntgen**

Dijital Röntgen (DR), konvansiyonel görüntülerden farklı olarak sayısal bir görüntüleme yöntemidir. Görüntü kalitesi yönünden konvansiyonel teknikle elde edilen ve adına analog görüntü denilen imajlardan pek farklı değildir. Görüntünün elde edilme sürecinde farklılıklar söz konusu olup görüntüler elde edildikten sonra işlenebilirliği ve arşivleme kolaylığı vardır. DR adı altında dijital radyografi, dijital floroskopi ve dijital subtraksiyon anjiyografi (DSA) yöntemleri mevcuttur. Dijital radyografide hastadan geçen X-ışınları dolaylı ya da doğrudan dedektör sistemlerince algılanıp bilgisayar aracılığıyla görüntüye dönüştürülür. Dolaylı yolda X-ışınları değişik içerikli fosfor

plaklar veya sintilatör ekranlar tarafından önce ışık fotonlarına daha sonra da ışık fotonları dedektörlerce algılanıp görüntüye çevrilir. Doğrudan sistemlerde ise X-ışını elektron oyuk çifti oluşturularak dedektörlerce yakalanıp görüntüye dönüştürülür.

Dijital radyografi sistemleri görüntülerin arşivleme, transfer edilebilme kolaylığı ve monitör üzerinde kontrastının değiştirilerek daha kaliteli görüntüler elde edilebilmesi nedeniyle konvansiyonel tekniklere göre günümüzde daha fazla tercih edilmektedir(2). Dijital Röntgen teknikleri Röntgen filmini ortadan kaldırması nedeniyle uzun vadede analog görüntülemeye göre daha ekonomiktir (3).

DSA'da intravenöz 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 (2,3).

#### **2.13.1.9. Kemik Mineral Dansitometri**

Kemik yoğunluğundaki azalma fraktür riskini artırmaktadır. Kemik yoğunluğundaki azalmanın miktarı, osteoporozaya yönelik tanı konması ve tedavinin değerlendirilmesi kantitatif olarak ölçümlenmelidir. Kemik yoğunluğunu ölçmede kullanılan radyasyon içeren radyolojik metodlar şunlardır:

- 1) Foton Absorpsiyometrilere
  - a) Gama fotonu absorpsiyometri
    - Single foton absorpsiyometri (SPA)
    - Dual foton absorpsiyometri (DPA)
  - b) X-ışını fotonu absorpsiyometri
    - Single enerji X-ray absorpsiyometri (SXA)
    - Dual enerji X-ray absorpsiyometri (DEXA)
- 2) Kantitatif BT
  - a) Tek enerjili kantitatif BT
  - b) Çift enerjili kantitatif BT

Bunlardan SPA ve DPA'da enerji kaynağı olarak  $\gamma$ -ışınları, SXA, DEXA ve kantitatif BT'de X-ışınları kullanılır. Cihazların çalışma sistemi ışınların kemiği geçerken absorbe edilen dışında kalan radyasyon miktarı ölçülerek, kemiğin birim alan ya da hacimde absorpsiyona neden olan mineral içeriği tahmin edilir. DEXA

incelemelerinde hastaların maruz kaldığı doz değerleri  $\mu\text{Sv}$ 'ler düzeyi gibi düşük değerlerdedir. Kantitatif BT tetkikleri diğer kemik mineral dansitometri yöntemlerine göre nispeten daha yüksek doz içerirler (2,23).

#### **2.13.1.10. Bilgisayarlı Tomografi (BT)**

BT aygıtında tarayıcı, bilgisayar ve görüntüleme ünitesi olmak üzere 3 bölüm vardır. Tarayıcı, hasta masası ve gantriden oluşur. Gantri içerisinde tüp ve dedektör sistemi bulunan kısımdır. Masa gantri boşluğu içerisine girip çıkabilir. Her kesit alma işleminden sonra masa bir miktar hareket ettirilir. Bu şekilde hastanın incelenen bölgesinden ardışık kesitler alınabilir. BT'nin kesit alma esasına dayanan bir görüntüleme yöntemi olduğu için istediğimiz kesit kalınlığına eşit kalınlıkta bir X-ışın demeti yeterli olacaktır. Bu nedenlerle tüpten çıkan X-ışınları sınırlandırılarak yelpaze şeklinde bir demet haline getirilir. Işın demetinin kalınlığı operatör tarafından belirlenir. Hasta vücudundan geçirilen bu X-ışını demeti diğer uçta X-ışınlarına hassas bir dedektör zincirine ulaşır. Dedektörlere ulaşan X-ışınları hasta vücudundan geçerken vücudun değişik dokularında değişen oranlarda zayıflamaya uğrar. Dedektörlerde saptanan bu zayıflama miktarı bilgisayarlarla değerlendirilir. Birçok matematiksel işlem içeren oldukça karmaşık bir süreç sonucu, X-ışınlarının taradığı alanın her bir noktasının X-ışınını zayıflatma değeri hesaplanır. Bu değerlerin saptanmasından sonra görüntüyü oluşturmak oldukça basit bir işlemdir (3).

BT ile vücudun kesit şeklinde görüntüleri elde edilir. Kesit olmaları nedeniyle bu görüntülerde organ ve dokular süperpozisyonlardan kurtulmuştur. Yöntemde X-ışını çok iyi 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 ayıramayan 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. 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 beynin 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 (3).

BT cihazları teknolojik gelişmelere paralel olarak büyük bir evrim geçirmiş ve halen bu süreç devam etmektedir.

Birinci nesil cihazlarda tek dedektör kullanılıyorken tüp bir derece dönüyor, veri işleniyor ve tekrar bir derece dönüş yapıyordu. Bu işlem tüp ve dedektör 180 derece dönene kadar tekrarlanıyordu. Bu 180 derecelik tek bir dönüşün tamamlanması yaklaşık 4.5 dakika almaktaydı.

Yedinci nesilde ise birden çok dedektör kullanılır. Yönteme çok dedektör sıralı BT (multiple dedector array-MDCT) adı verilir. Yöntemin çok sıralı dedektör kullanmasından çok, aynı anda çok sayıda kesit alması daha önemlidir. Bu nedenle ÇKBT (multislices CT) daha doğru bir isimlendirilmiştir.

BT tarihinde, helikal taramanın geliştirildiği 1989 yılından sonra, ÇKBT'nin bugünkü durumuna ulaşması BT teknolojisinde bazı öncü gelişmelerle gerçekleşmiştir. 1991'de 1 mm'nin altında kesit alabilen cihazlar üretilmiş, aynı yıl bugünkü ÇKBT teknolojisinin öncüsü ikiz dedektörlü Helikal BT geliştirilmiştir. 1993'te gerçek zamanlı BT kullanıma sokulmuştur ve BT floroskopi altında biyopsi işlemlerinin yapılıp, damar yapıları ya da organlar içindeki kontrastlanmanın monitörizasyonu (otomatik bolus yakalama programları) olanaklı hale gelmiştir. Gantri rotasyon zamanlarının 1 sn'nin altına inmesi 1995'te mümkün olmuştur. 1998 yılında da ilk multislice sistemleri kullanıma girmiştir. 2000'li yıllarda 2, 4, 8, 12, 16, 24, 32 ve 64 sıra dedektör dizili cihazlar ve ayrıca ikiz tüplü multidedektör sistemleri üretilmiştir (2,4).

ÇKBT'de gantri dönüş süresinin kısalması hareket artefaktlarını belirgin olarak azalttığı gibi aynı süre içinde daha geniş anatomik bölgelerin taranabilmesi olanağını doğurmuş ve longitudinal (z eksen) çözünürlüğü de artırmıştır. ÇKBT cihazları, olağanüstü hızları sayesinde, konvansiyonel helikal cihazlardan farklı olarak, klasik kesit taramasından çok, bir anlamda "hacim taraması" yapmaktadır. Dedektör

teknolojisindeki iyileştirmelerle minimum kesit kalınlığı giderek düşürülmektedir. Böylece ulaşılan izotropik voksel geometrisi sayesinde multiplanar reformasyonlar ve üç boyutlu görüntüleme optimal kalitede yapılabilmektedir (2,4,42,43).

Tarama hızının konvansiyonel helikal cihazlara göre 8-16 kata varan miktarlarda artması daha geniş hacimlerin daha kısa sürelerde taranması olanağını getirmiştir. Buna bağlı avantajlar:

1. Rutin incelemelerin daha kısa sürelerde (nefes tutma süresinde) bitirilmesi solunum denetimsizliğinden kaynaklanan artefaktları gidermiştir. Örneğin 30 cm genişliğindeki toraks incelemesi konvansiyonel helikal bir cihazda 30 sn sürerken multidedektör cihazlarda daha ince kesit kalınlıkları ile 5-9 sn arasında tamamlanabilmektedir (2).

2. Hızlı tarama yeteneği travma hastalarının incelenmesinde vazgeçilmez bir avantajdır. Bu hastalarda çok kısa sürelerde tüm vücut taraması yapılabilmektedir (2,44).

3. Benzer şekilde çocuk yaş grubunda ve kooperasyon gösteremeyen hastalarda ÇKBT son derece hızlı bir biçimde incelemenin tamamlanabilmesini sağlamaktadır (2,10).

4. Multidedektör teknolojisinin gelişmesi BT anjiyografi uygulamalarında çığır açmıştır. Pulmoner emboli hastalarında önceleri mümkün olmayan subsegmental düzeydeki embolilerin değerlendirilmesi ÇKBT cihazlarıyla mümkün olabilecektir. Aort diseksiyonu, aort anevrizması, ekstremitelerinin aterosklerotik lezyonları, renal arter patolojileri, mezenter iskemisi, pankreas, biliyer ağaç, karaciğer ve böbrek tümörlerinde arteriyel ve venöz tutulumun araştırılması, karaciğer transplantasyonlarında arteriyel, portal ve venöz anatomisinin preoperatif değerlendirilmesi gibi birçok uygulama multidedektör cihazlarla daha yüksek longitudinal rezolüsyonla yapılabilmekte, longitudinal çözünürlüğün artmasıyla daha kaliteli 3 boyutlu uygulamalar mümkün olmaktadır. Yüksek tarama hızının ince kesit kalınlıklarıyla birleştirilmesi sayesinde Willis poligonu damar yapıları BT anjiyografi ile de değerlendirilebilir hale gelmiştir (2,11,12).

5. ÇKBT sistemleri çok fazlı kontrastlı çalışmalara olanak sağlamaktadır. Örneğin karaciğerde üst üste iki kere arteriyel faz taraması yapılabilmektedir. Bu şekilde siroz

hastalarında daha çok sayıda erken evre karaciğer kanseri yakalandığını gösteren çalışmalar mevcuttur (2).

6. Tarama hızının artması özellikle BT anjiyografi uygulamalarında kontrast madde dozundan tasarruf edilmesine imkan vermektedir. Örneğin pulmoner arter BT anjiyografide daha önceleri 140 -160 cc arasında değişen doz gereksinimi yeni cihazlarla 100 cc'nin altına indirilmiştir (12).

### **2.13.1.11. Radyonüklid Görüntüleme (Nükleer Tıp)**

En basit tanımıyla nükleer tıp, hastalıkların tanı ve tedavisinde radyoaktif maddelerin kullanımınıdır. Nükleer tıp bölümlerinde hemen her organ sistemiyle ilgili hastalıklarda fonksiyon 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 tümöral ve enflamatuvar hastalıkların tedavisi de yapılmaktadır.

Nükleer tıp oldukça genç bir tıp dalı olup, tarihçesi 1800'lü yılların başında İngiliz kimyager John Dalton'un atom teorisini ortaya atmasına, Alman W. C. Röntgen'in 1895'de X-ışınlarını bulmasına ve 1928'de Amerika'da Ernest Lawrence'ın siklotronu yapmasına kadar uzanmaktadır.

Yirminci yüzyılın 3. çeyreğinde çok hızlı bir gelişme gösteren nükleer tıp, radyolojide kesit görüntüleme yöntemlerinin ortaya çıkması ile bir yavaşlama hatta gerileme dönemine girmiştir. Ancak radyolojide, BT, USG ve MRG gibi kontrast ve uzaysal çözünürlüğü gittikçe daha üst seviyelere taşıyan görüntüleme yöntemlerinin daha çok anatomiye dayalı olması, nükleer tıpta fizyolojiye (fonksiyona) dayalı görüntülerin ağırlık kazanarak yeniden atağa geçmesine neden olmuştur. Özellikle Single Photon Emisyon Computed Tomography (SPECT) ve Pozitron Emisyon Tomografisi (PET) gibi metotların ortaya çıkışı, radyolojinin yüksek çözünürlüklü anatomik görüntülerini, nükleer tıbbın aynı duyarlılıktaki fonksiyonel görüntüleri ile birleştirerek insan vücudu hakkında daha fazla bilgi elde etmenin yollarını açmıştır. Ayrıca bilgisayarlardaki gelişme, diğer görüntüleme yöntemlerinde olduğu gibi nükleer tıpta da yeni açılımlara zemin hazırlamıştır.

Bunların başında modern sayım cihazlarının çeşitli şekillerde hesaplama ve buna bağlı olarak kalitatif ve kantitatif çalışmalar yapabilmesi gelmektedir. Bu çalışmalar



çoğu zaman renkli görüntüler ve üç boyutlu görüntü çalışmaları ile desteklenmektedir.

Aslında birbirinden ayrı çalışması pek de anlamlı olmayan radyoloji ve nükleer tıbbın, şimdilik, görüntüleme yöntemi olarak birinin anatomiye diğerinin fizyolojiye dayandığını söylemek doğru olacaktır. Nükleer tıbbın son yıllarda yaptığı bu fonksiyonel atakta yeni ortaya çıkan radyofarmasötiklerin de büyük rolü olmuştur (3). Nükleer tıpta hastalıkların tanı ve bir kısmının tedavisinde kullanılan radyoaktif maddelere radyofarmasötik denir. Radyofarmasötiklerin %95'i tanı, %5'i tedavi uygulamalarında kullanılmaktadır. Radyofarmasötik sadece radyonüklidden ibaret olabildiği gibi ( $^{99m}\text{Tc-O}_4$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{67}\text{Ga}$ ) radyonüklidin biyolojik olarak aktif olan bir madde ile birleştirilmesi ile de oluşturulabilir ( $^{99m}\text{Tc-DTPA}$  gibi). Radyonüklid ile farmasötik maddenin birleştirilme işlemine işaretleme denir. Radyofarmasötikteki farmasötik madde tetkik edilmek istenen doku ya da organda toplanır, radyonüklid kısımdan yayılan ışınlar aracılığı ile bu birikmeler ve hareketler izlenir.

Tanı amacıyla organizmaya verilen radyofarmasötikler çok az miktardadır ve organizmada farmakolojik etki meydana getirmezler. Radyofarmasötiğin uygulamada verdiği tüm vücut ve hedef organ radyasyon dozları fazla olmamalıdır. Radyasyon dozimetresi radyofarmasötiğin fiziksel özellikleri ve biyolojik davranışı ile belirlenir. Radyofarmasötiğin hedef doku ya da organdaki birikimi background aktiviteye göre ne kadar fazla ise radyasyon dozimetresi istenilen düzeyde olur. Bu özellikler radyofarmasötiğin kimyasal yapısı ile belirlenmekle birlikte radyoaktivitenin organizmadan atılımının (üriner yada biliyer) artırılması ile de düzenlenebilir.

Nükleer tıpta kullanılan radyonüklidlerin tamamı sentetiktir. İdeal enerjisi ve fiziksel yarı ömrü ve pek çok farmasötik ile bağlanabilme özelliği sayesinde tüm Nükleer tıp uygulamalarının %85'ini oluşturan jeneratör ürünü olan  $^{99m}\text{Tc}$  radyonüklididir (2).

Radyonüklid görüntülemeye kullanılan radyan enerji  $\gamma$ -ışıdır. Radyofarmasötiğin ilgili organ veya dokuda dağılımı sonucu yayılan  $\gamma$ -ışını dedektör (gama kamera) tarafından saptanır. Vücutta yayılan  $\gamma$ -ışınlarının dedektörde ışık parlamaları (sintilasyon) şeklinde görülmesi nedeniyle bu yönteme sintigrafi adı da verilir. Yöntemde incelenen organın, sintilasyonlarından oluşan bir haritası çıkarılır veya radyoaktivite birikiminin zamana karşı bir grafiği çizdirilir.

Radyonüklid görüntüleme bir emisyon yöntemidir. İncelenen organdan gelen

$\gamma$ -ışınları organın 2 boyutlu bir resmini oluşturur; üçüncü boyuttaki radyoaktivite görüntüde üst üste düşer. Bu nedenle derinde yerleşen belirli boyuttan küçük lezyonlar sintigrafi ile saptanamayabilir. Bu üst üste düşmeyi ortadan kaldırmak için yöntem BT teknolojisi eklenmiş ve bu yöntem SPECT adı verilmiştir (4).

Pozitron kaynağı radyonüklidlerin kullanıldığı ve dokuda aynı anda çift  $\gamma$ -ışının oluştuğu tomografik sintigrafi yönteminin adı da PET'dir. Bu yöntemle pozitron kaynağı radyonüklidlerle işaretlenmiş metabolitlerin (örneğin glukoz) tüketimi saptanarak lezyonlar karakterize edilmeye çalışılır (4).

PET uygulamalarının %74'ü onkoloji, %17'si kardiyoloji ve %9'u nöroloji alanında gerçekleşmektedir. Onkolojik uygulamada erken tanı ve tedaviye yanıtın erkenden takibi yapılabilir. PET'te kullanılan radyoaktif maddeler organizmadaki değişiklikleri biyokimyasal aşamada yansıttığı için pek çok patolojik durumda yapısal bozukluğun oluşmadığı dönemde erkenden tanı olanağı vermektedir. PET'te kullanılan radyoaktif maddelerin yarı ömürleri 2 ile 110 dakika arasında değişmektedir ( 2).

#### **2.14. Radyasyondan Korunma**

Genel olarak radyasyondan korunmada uyulması gereken kurallar ve X-ışınları ile çalışılan ortamlarda hasta ve personelin mümkün olduğunca az ışınlamaya maruz kalması için alınması gereken önlemler şunlardır:

##### **2.14.1. Radyasyondan Korunmada Uyulması Gereken Genel Kurallar**

Radyasyondan korunmada genel olarak uyulması gereken bazı önemli kurallar bulunmaktadır. Sağlık açısından bunlara dikkat edilmesi gerekmektedir. Özellikle radyasyon ile çalışılan yer ve radyasyon personeli açısından önem arz eden bu genel kuralların bazıları, hasta ve yakınları için de dikkate alınmalıdır.

Bu kurallardan birincisi radyasyon ile çalışılan yerde, radyasyon kaynağından mümkün olduğunca uzak durmaktır. Ters kare kanunu olarak da bilinen kurama göre; radyasyonun şiddeti (akı), mesafenin karesi ile ters orantılı bir şekilde değişim göstermektedir. Örneğin, radyasyon kaynağına 1 m uzaklıkta radyasyon şiddeti 1 birim ise kaynaktan 2 m uzaklıkta durulduğunda radyasyon şiddeti 1/4 birime düşmekte, dolayısı ile maruz kalınan doz mesafenin karesi ile ters orantılı olarak azalmaktadır. Radyasyondan korunmada genel kurallardan bir diğeri zırhlamaktır. Mevcut bulunan

radasyonu zayıflatmak için önüne konan veya onu çevreleyen engele zırh adı verilmektedir. Radyasyonu zırhlamak için genelde çok yüksek yoğunluktaki maddeler tercih edilmektedir. Bu özelliğe sahip maddeler arasında volfram, kurşun, çelik ve beton sayılabilir. Zırhlamada kullanılan maddelerin yoğunluğu arttıkça, gereksinilen kalınlık azalmaktadır. Örneğin, volframdan imal edilmiş bir zırhın kalınlığı, çelikten yapılmış bir zırhtan daha ince tutulabilir. Ancak zırhlama için kullanılacak malzemenin çeşidi, yoğunluğu ve kalınlığının seçimi, etkileşime gireceği radyasyonun cinsine göre yapılmalıdır (1.2). Böylece hem etkin bir zırhlanma temin edilmiş, hem de gereksiz maliyet artışının önüne geçilmiş olur (2).

Alfa partiküllerinin giriciliği çok az olduğundan, bu türden radyasyona karşı atom numarası düşük, alüminyumdan yapılmış, 0.5 mm gibi ince bir levha zırhlama için yeterli iken,  $\beta$ -ışınımının penetrasyonunun daha girici olması nedeniyle, ya daha kalın bir alüminyum levha ya da atom numarası yüksek kurşundan imal edilmiş ince bir levha kullanılmalıdır.

Nötronlar, giriciliği oldukça yüksek bir radyasyon çeşidi olması ve madde içinden geçerken iyonlaşmaya sebebiyet vermesi nedeniyle zırhlanmaları farklılık arz etmekte, zırh yapımında kullanılacak materyalin hem nötronları hem de iyonizasyon ile oluşan ışınlarını engellemesi gerekmektedir. Bu amaçla en ucuz ve etkin materyallerden biri, içine demir kırıntıları veya demir dolgular katılmış çimentodur. Ancak bu zırh malzemesinin ağır oluşu nedeniyle, nötronları yavaşlatıcı hafif malzemelerden Berilyum (Be) veya Karbon (C), radyoaktiviteyi yakalamada Lityum (Li) veya Bor (B)'dan imal edilmiş hafif levhaların kombinasyonları da tercih edilmektedir.

X ve  $\gamma$ -ışınları oldukça girici radyasyonlar olup etkin bir zırhlamayı gerektirmektedir. Bu amaçla radyasyon alanı ve çalışan personel ile radyasyon kaynağı arasındaki bölme, kurşun, beton ve dolu tuğlalar ile zırhlanmalıdır.

Radyasyondan korunmada genel kurallar içinde bir diğeri de zaman kuralıdır. Radyasyon ile yapılan işlemlerde maruz kalınan doz (D), doz hızı (DH) ile işlem süresinin (Z) çarpımına bağlıdır.

$$D = DH \times Z$$

Örneğin doz hızı 3 Gy/saniye olan bir radyasyon alanında 1 saniye kalınması ile maruz kalınan doz 3 Gy ise; bu alanda 10 saniye kalınmasının bedeli 30 Gy'dir. Buradan çıkan sonuç radyasyon alanında ne kadar uzun süre bulunulursa maruz kalınacak radyasyon

dozunun da o denli yüksek olacaktır. Bu nedenle de doz hızının ve yapılacak işlemin ne kadar süre alacağından önceden bilinmesi önemlidir.

Radyasyondan korunmada bir başka kural, ışın demeti genişliğinin mümkün olduğunca daraltılmasıdır (kolimasyon). Daha geniş bir ışın huzmesi, daha geniş bir ortamı radyasyona maruz bırakacağından ışın demeti, kullanım amacı ne ise onun gerektirdiğinden daha geniş olmamalıdır (2).

Genel önlemler arasında sayılabilecek diğer başlıklar ise, radyasyon kaynaklarını kilit altında bulundurmak, radyasyonla çalışırken veya radyasyon ortamına girerken mutlaka ölçüm ve ikaz cihazlarını kullanmak, yapılacak işi kısa sürede bitirmeye gayret etmek ve çevreyi, diğer insanların da olaydan etkilenmesini önlemek için boşaltmaktır (1,2).

#### **2.14.2. X-ışınlarının Zararlı Etkilerini Azaltmaya Yönelik Önlemler**

Tanısal incelemelerde X-ışınlarının zararlı etkilerini azaltmaya yönelik önlemler; gereksiz doz alımını engellemek, kişisel müsaade edilen doz kavramına uymak ve uygulamalarda etkinlik olmak üzere başlıca üç ana başlık altında toplanmaktadır (1,2).

##### **2.14.2.1. Gereksiz Doz Alımını Engellemek**

Hasta dozu mümkün olduğu kadar aza indirilmelidir. ALARA (as low as reasonably achievable) prensibi daima göz önünde bulundurulmalıdır (4). Her radyolojik uygulamada, radyasyonun zararlı etkilerini dengeleyecek bir tıbbi yararlılık bulunmalıdır. Bir başka deyişle kar-zarar hesabı yapılmalıdır. Aksi takdirde radyolojik incelemeler, gerek incelemeyi gerçekleştirecek kişi gerekse incelenen hasta için gereksiz doz yüklenmesi anlamına gelir (2).

Tanısal radyolojik incelemelerde gereksiz doz alımının önüne geçmek için:

Büyüme ve gelişme geriliği bulunan çocuklarda, klinik ve laboratuvar incelemelerle üriner sistem patolojisi belirlenmişse ürografik inceleme yapılmamalıdır.

Gonadal koruma yapılmalıdır. Gonad koruması çocuklarda ve üretken çağdaki popülasyonda ışınlanan alan gonadlara yakınsa ve gonadal korumanın görüntüyü engellemeyeceği durumlarda yapılır. Gonadal koruma ile testislerin alacağı doz %95, overlerin ise %50 azaltılır (4).

Hipertansiyon araştırılmasında, dakikalık ürografik inceleme denenmemelidir.

Özellikle travmalı olgularda, lokalize bulgu mevcut değilse kraniografi istenmemeli, hastaya yüksek doz radyasyon yükleyecek ve acil şartlarda çekildiğinden tanısal değeri kısıtlı incelemeler talep edilmemelidir.

Kalbin rutin floroskopik incelemesinden kaçınılmalıdır.

Kırıklar mümkün olduğunca skopi altında redükte edilmemelidir.

Pelvimetrik incelemeden kaçınılmalıdır. Hamilelerde zorunlu olmadıkça akciğer filmi çekilmemelidir. Üretkenlik çağında bulunan kadınlarda, röntgenolojik incelemeler öncesinde, ilk on gün kuralı uygulanmalı (röntgenolojik incelemenin adet kanaması bitiminden sonraki 10 gün içinde gerçekleştirilmesi), hatta röntgenolojik incelemeden geçirilmiş kadınların, incelemeyi takip eden iki ay süresince hamile kalmaması tavsiye edilmelidir.

Lokalize bir bulgu mevcut değilse paranazal sinüslerin radyolojik incelemesi yapılmamalıdır (1,2).

Ekspozur ve banyo faktörlerindeki yetersizliğe bağlı film tekrarlarının önüne geçmek için röntgenolojik incelemelerin dijital teknoloji ile donatılmış cihazlar ile yapılması temin edilmelidir.

Röntgen çekimlerinde, inceleme bölgesine göre uygun kolimasyon yapılmalıdır.

BT çekimleri öncesinde zorunlu olmadıkça lokalizer imaj (skenogram) alınmamalıdır.

Hastalara nisbeten daha yüksek radyasyon dozu yükleyen spiral BT, uygun vakalarda ve gerekli anatomik bölgeler için yapılmalı, aynı hassasiyet ardışık çok ince kesitlerle ve volüm çalışmalarla gerçekleştirilen 3 boyutlu incelemeler için gösterilmelidir (2).

#### **2.14.2.2. Kişisel Müsaade Edilen Doz Kavramına Uymak**

Radyolojik incelemelere tabi tutulan kişiler, her türlü ışınlamaya karşı doz sınırı ile, meslekleri gereği ışınlamaya maruz kalanlar ise risk değerlendirmesi ile kontrol altında tutulmalıdır. Doz sınırlarının saptanmasında, deterministik ve sitokastik etkileri eşik değerlerin altında ve düşük düzeylerde tutan değerler dikkate alınmalıdır (1,2).

#### **2.14.2.3. Uygulamada Etkinlik**

X-ışını ile ilgili radyolojik incelemelerde maksimum tanısal etkinlik ile optimum

ışın dozu arasındaki denge korunmaya çalışılmalıdır. Işınlama sırasında etkili faktörler (kVp, mAs gibi) optimize edildiğinde hastaya minimum düzeyde verilecek X-ışını ile optimum görüntü kalitesi elde etmek mümkündür.

Bu amaçla kullanılacak röntgen cihazları ve ekipmanlarının uygun ve doğru bir şekilde seçilmesi, çekim sırasında ilgili teknik parametrelerin optimize edilmesi, tüm bu koşullar yerine getirildikten sonra da elde edilen imajın, uygun dansite ve kontrast özelliği taşıması bakımından sağlıklı banyo faktörleri ile geliştirilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde, istenmeden de olsa film tekrarı gündeme gelebilecektir (1,2).

Uygulamada etkinlik için alınacak başlıca önlemler şunlardır:

1. İncelemeler sırasında kVp ve mAs değerleri dikkatle seçilmeli, ekspozür süresi mümkün olduğunca kısa tutulmalıdır (1,2,4).

2. Tüpün filtrasyonu uygun bir şekilde gerçekleştirilmiş bulunmalıdır. Filtrasyon düşük enerjili ışınları tutarak ışın demetini sertleştirir ve hastanın aldığı dozu azaltır (1,2,4).

3. Radyografi çekimleri ya da floroskopik incelemeler sırasında mutlaka kolimasyon (sınırlandırıcı) kullanılmalı ve ışınlanan alan küçük tutulmalıdır. Kolimasyon hastanın aldığı primer ışını ve saçılmayı azaltır, görüntüsü kalitesini artırır (4).

4. X-ışını kaynağı ile çekimi yapılacak obje arasındaki azami mesafe bırakılmalıdır. Bu mesafe floroskopik çalışmalarda 45 cm'den, radyografi çekimlerinde ise 100 cm'den daha az olmamalıdır.

5. Özellikle floroskopik incelemeler sırasında koruyucu kurşun yelekler, eldivenler giyilmeli, kurşun camlı gözlükler kullanılmalı, tiroid bezi ve gonadlar kalkanla korunmalıdır.

6. Floroskopi sırasında doz 50 mSv/dakikayı aşmamalı, gereksiz skopiden kaçınılmalıdır. Bir akciğer floroskopisinde alınan X-ışını dozu, PA akciğer grafisi çekiminde maruz kalınan dozdan yaklaşık 100 kat daha fazladır.

7. Ranfansatör (fosfor tabaka), film ve banyo teknolojisinde iyileştirmeye gidilmelidir (1,2).

8. BT'de X-ışını tüp akım modülasyonu ve hastanın vücut durumuna (kilo, vücut

kalınlığı v.b) göre adaptasyonu sağlayacak otomatik ekspozur kontrol programları kullanılmalıdır. Pik kilovoltaj optimizasyonu, sistem etkinliğinin denetlenmesi ve gürültü azaltıcı algoritmeler kullanılmalıdır (45).

### **3. GEREÇ VE YÖNTEM**

#### **3.1. Çalışma Evreni**

Tanımlayıcı tipte planlanan bu çalışmada; 17 Ekim 2008 ve 12 Ocak 2009 tarihleri arasında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesinde 26 klinik bölümdeki toplam 376 araştırma görevlisinden, doğum izni ve eğitim kursunda olup ulaşılamayanlar hariç, araştırmaya katılmayı kabul eden 364'ü (%96.8) araştırma kapsamına alınmıştır. Anestezi bölümünde çalışan araştırma görevlileri genellikle akciğer filmi istediklerinden, laboratuarda çalışan biyokimya ve mikrobiyoloji gibi bölümler ise radyolojik tetkik isteminde bulunmadıklarından çalışmaya dahil edilmemiştir.

Araştırmaya başlamadan önce, Halk Sağlığı ve Biyokimya bölümlerinde yapılan pilot çalışma ile anket formuna son şekli verilmiştir. Anketler her bölüm için servis ve polikliniklere gidilerek birebir gözlem altında uygulanarak yapılmıştır.

#### **3.2. Anket Formu**

Tanımsal radyolojide kullanılan görüntüleme yöntemleri teknolojik gelişmeler nedeniyle sürekli değişimler göstermekte ve buna bağlı olarak maruz kalınan doz değerleri de değişmektedir. Birleşmiş Milletlerin kuruluşu olan UNSCEAR, verilerine ulaşabildiği ülkelerden yapmış olduğu sınıflamalara göre, çeşitli yıllara ait bu ülkelerdeki hastane ve uygulama merkezlerinden elde edilen radyasyon doz değerlerine göre raporlar yayınlamaktadır. Ancak bu değerler elde edilebilen verilerle kısıtlı olup yıllara ve seviyeler arasında ortalama değerlere göre belirgin değişiklik göstermektedir. Bu nedenle bu çalışmada tanımsal radyoloji görüntüleme yöntemlerinde hastaların maruz kaldığı radyasyon doz miktarları, sayısal olarak kaç PA akciğer grafisine karşılık geldiği ve süre olarak yeryüzünün yıllık doğal radyasyonu ile karşılaştırılması 2000'li yıllara göre güncellenmiş olan Avrupa Komisyonu'nun en son verileri temel alınarak yanıtlar değerlendirildi (40).

Çalışmanın anket formu; araştırma görevlilerinin yaşı, cinsiyeti, çalıştığı anabilim dalı, tıp fakültesinden mezuniyet yılı, araştırma görevlisi olarak çalışma süresi, tanımsal radyolojide iyonizan radyasyon kullanılan görüntüleme yöntemleriyle hastaların maruz kaldıkları radyasyon dozları ve radyasyonun olası riskleri hakkında eğitim alıp almadıkları, aldılarsa nerede aldıkları, bu konuda eğitim verilmesinin gerekli görülüp



görülmediği, verilmesi gerektiğini düşünenler için ise ne zaman verilmesi gerektiği, radyolojik tetkik isterken tercih önceliklerinin ne olduğu; bir PA akciğer grafisinde hastanın maruz kaldığı radyasyon miktarı (milisievert cinsinden), en sık istenilen direkt grafi ve BT tetkikinin ne olduğu ve bu tetkiklerin, hastanın maruz kaldığı radyasyon dozu açısından bir PA akciğer grafisiyle kıyaslandığında ne kadar radyasyon içerdiği ve BT çekimi öncesi hastaya, ne kadar radyasyona maruz kalacağı ve radyasyonun olası riskleri konusunda bilgi verilip verilmediğine ilişkin soruları içermektedir..

Anket formunda; beyin BT, abdomen BT, toraks BT, USG, MRG, iki yönlü lomber grafi, İVP, tiroid sintigrafisinde hastanın maruz kaldığı radyasyonun kaç PA akciğer grafisine karşılık geldiği ile bir kişinin yıllık maruz kaldığı yeryüzünün ortalama doğal radyasyon dozu ile bir abdomen BT tetkikinde maruz kalınan dozun süre olarak kıyaslanması, bir beyin BT ve abdomen BT tetkikinde yaşam boyu kanser geliştirme riski konusunda risk olup olmadığı ve varsa ne kadar olduğuna ilişkin sorular da yer almaktadır.

Ayrıca yalnızca radyoloji bölümündeki araştırma görevlileri için yetişkin ve çocuklarda uygulanan BT incelemelerinde çekim parametrelerinde farklılık olup olmadığı, aynı inceleme bölgesi için yapılan BT tetkiklerinde yetişkin BT tetkiki ile doz ayarlaması yapılmış optimal görüntü kalitesinde bir pediatrik BT incelemesi karşılaştırıldığında maruz kalınan doz oranında yaklaşık yüzde kaç azalma olduğuna ilişkin farklı sorulara yer verilmiştir.

PA akciğer grafisinde hastanın maruz kaldığı radyasyon dozu 0.02 mSv kabul edildi (40).

Anket formunda daha kolay yanıtlanması açısından sık kullanılan radyolojik görüntüleme yöntemlerinde hastaların maruz kaldığı iyonizan radyasyon dozlarının kaç adet akciğer grafisine karşılık geldiği soruldu. Bir PA akciğer grafisi kıyaslandığında abdomen ve toraks BT tetkiklerinde 300 kat ve üzeri, beyin BT, 2 yönlü lomber grafi, İVP ve tiroid sintigrafisinde 50-200 kat doz aralığı, USG ve MRG için iyonizan radyasyon içermez yanıtı doğru kabul edildi (40).

Yeryüzünün ortalama yıllık doğal radyasyon miktarı ile süre olarak bir abdomen BT tetkiki kıyaslandığında bir abdomen BT tetkikiyle dört yıllık doğal radyasyon miktarına eşdeğer radyasyon alındığı kabul edildi (40).

NRPB'nin Eylül 2001, 231 sayılı radyolojik koruma bültenindeki veriler temel alınarak bir beyin BT tetkikinun yaşam boyu kanser geliştirme riskine katkısı 1/10.000 – 1/100.000, bir abdomen BT tetkikinde ise 1/1000 – 1/10.000 olarak kabul edildi (7).

### **3.3. İstatistiksel Analiz**

Verilerin istatistiksel değerlendirmesinde SPSS versiyon 12.0 bilgisayar paket programı kullanıldı. Tanımlayıcı istatistikler ortanca (minimum-maksimum) olarak verildi.

Radyolojik görüntüleme yöntemleri sırasında maruz kalınan iyonizan radyasyon dozu hakkında araştırma görevlilerinin farkındalıklarını etkileyen nedenlerin (mezuniyet yılı ve tanisal radyolojide iyonizan radyasyon kullanılan görüntüleme yöntemleriyle hastaların aldıkları radyasyon dozları ve olası riskleri hakkında eğitim alıp almadıklarına göre) saptanmasında ki-kare testi kullanıldı. İstatistiksel olarak  $p < 0.05$  anlamlı olarak kabul edildi.

## 4. BULGULAR

### 4.1. Tanımlayıcı Özellikler

Çalışmaya 212'si (%58.2) erkek, 152'si (%41.8) kadın 364 araştırma görevlisi katıldı.

Çalışmaya katılan araştırma görevlilerinin ortanca yaşları 29.0 (24.0-41.0) yıl olup mezuniyet sonrası hizmet yılı ortancası 5.0 (0.1-16.0) yıl, araştırma görevlisi olarak çalışma süreleri ortancası 3.0 (0.1-7.0) yıl olarak bulundu. Çalışma grubunun sosyodemografik özellikleri Tablo VII'de sunulmaktadır.

**Tablo VII.** Araştırma Görevlilerinin Sosyodemografik Özelliklerinin Dağılımı

Özellikler	Sayı	%
Cinsiyet (n=364)		
Erkek	212	58.2
Kadın	152	41.8
Hizmet yılı( n=360)		
< 10 yıl	308	85.6
≥ 10 yıl	52	14.4
Çalışma süresi (n=364)		
≤ 2.5 yıl	174	47.8
> 2.5 yıl	190	52.2

n sayıları soruya yanıt verenlere göre değişmektedir.

Araştırma görevlilerinin klinik bölümlere göre dağılımına bakıldığında 52'si (%14.3) pediatri, 46'sı (%12.6) dahiliye, 25'i (%6.9) radyoloji bölümünde görev yapmaktadır( Tablo VIII).

**Tablo VIII.** Araştırma Görevlilerinin alıştığı Klinik Bölümlere Göre Dağılımları

<b>Klinik bölümler (n=364)</b>	<b>Sayı</b>	<b>%</b>
Pediyatri	52	14.3
Dahiliye	46	12.7
Radyoloji	25	6.9
Genel cerrahi	18	4.9
Kardiyoloji	17	4.7
Acil tıp	16	4.4
Enfeksiyon	15	4.1
Göz	15	4.1
Kadın doğum	15	4.1
Göğüs	14	3.9
Nöroloji	12	3.3
Psikiyatri	12	3.3
Ortopedi	12	3.3
FTR	11	3.0
KBB	11	3.0
Nöroşirurji	11	3.0
Dermatoloji	9	2.5
KVC	9	2.5
Plastik	8	2.2
Üroloji	8	2.2
Çocuk cerrahi	6	1.6
Nükleer tıp	6	1.6
Radyasyon onkolojisi	5	1.4
Aile hekimliği	4	1.1
Çocuk psikiyatri	4	1.1
Göğüs cerrahisi	3	0.8

## 4.2. Araştırma Görevlilerinin Eğitim Alma ve İsteme Durumları

Araştırma görevlilerinin tanısal radyolojide iyonizan radyasyon kullanılan görüntüleme yöntemleriyle hastaların aldıkları radyasyon dozları ve radyasyonun olası riskleri hakkında eğitim alma durumlarına bakıldığında, 147'sinin (%40.4) bu konuda eğitim aldığı, 217'sinin (%59.6) ise eğitim almadığı saptanmıştır.

Eğitim alanların nerede eğitim aldıkları sorulduğunda; 109'unun (%74.1) tıp fakültesinde, 31'inin (%21.1) uzmanlık sırasında, 7'sinin (%4.8) ise tıp fakültesi ve uzmanlıkları sırasında aldıkları saptanmıştır.

Araştırma görevlilerine “bu konuda eğitim verilmeli mi”? sorusuna 345'i (%94.8) evet verilmeli, 19'u (%5.2) ise “hayır” yanıtını vermişlerdir. Bu konuda eğitim verilmesi gerektiğini düşünenlerin 177'si (%51.3) tıp eğitimi sırasında, 79'u (%22.9) uzmanlık eğitimi sırasında eğitim verilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Araştırma görevlilerinin ne zaman eğitim verilmesine ilişkin isteklerinin dağılımı Tablo IX' da sunulmaktadır.

**Tablo IX.** Araştırma Görevlilerinin Ne Zaman Eğitim Verilmesi Gerektiğine İlişkin İsteklerinin Dağılımı

Eğitim zamanı	Sayı	%
Tıp eğitimi sırasında	177	51.3
Uzmanlık eğitimi sırasında	79	22.9
Tıp ve uzmanlık eğitimi sırasında	67	19.4
Sürekli eğitim	16	4.6
Uzmanlık eğitimi sonrasında	4	1.2
Uzmanlık eğitimi ve sonrasında	2	0.6
<b>TOPLAM</b>	<b>345</b>	<b>100.0</b>

## 4.3. Araştırma Görevlilerinin Radyolojik Tetkik İsterken Tercih Öncelikleri

Araştırma görevlilerinin radyolojik tetkik isterken tercih önceliklerinin ne olduğu sorulduğunda; 202'si (%59.8) algoritm, 23'ü (%6.8) erişim kolaylığı, 15'i (%4.4) tanıya uygunluk, 15'i (%4.4) erişim kolaylığı ve algoritm, 8'i (%2.4) de radyasyon içeriğine göre olduğunu belirtmiştir. Araştırma görevlilerinin radyolojik tetkik isterken tercih önceliklerinin dağılımı Tablo X' da sunulmaktadır (Radyoloji

bölümü araştırma görevlileri hastalardan tetkik istemedikleri için bu soruyu yanıtlamamışlardır, diğer klinik bölümde bulunan bir kişide bu soruyu yanıtı bırakmıştır).

**Tablo X.** Araştırma Görevlilerinin Radyolojik Tetkik İsterken Tercih Önceliklerinin Dağılımı

<b>Tercih Öncelikleri</b>	<b>Sayı</b>	<b>%</b>
Algoritm	202	59.8
Erişim kolaylığı	23	6.8
Tanıya uygunluk	15	4.4
Erişim kolaylığı ve algoritm	15	4.4
Maliyet ve algoritm	12	3.6
Radyasyon içeriğine göre	8	2.4
*Diğer	63	18.6
<b>TOPLAM</b>	<b>338</b>	<b>100.0</b>

\*Soruda birden fazla seçenek işaretlenmiştir.

#### **4.4. En Sık İstenen Radyolojik Tetkikler ve Bir PA Akciğer Grafisine Kıyasla İçerdikleri Radyasyon Dozları**

Araştırma görevlilerine bir PA akciğer grafisinde hastanın maruz kaldığı radyasyon dozu sorulduğunda; soruyu yanıtlayan 359 araştırma görevlisinden 26'sı (%7.2) doğru yanıt olan 0.02 mSv'yi işaretlerken, 52'si (%14.5) 0.2 mSv'yi, 24'ü (%6.7) 2 mSv'yi, 16'sı (%4.5) 20 mSv'yi, 241'i (%67.1) ise fikrim yok yanıtını vermiştir.

Araştırma görevlilerinin en sık istedikleri direk grafiler sorulduğunda 258'i (%78.0) PA akciğer, 21'i (%6.4) ayakta direkt batın, 15'i (%4.5) iki yönlü eklem grafisi istediklerini belirtmiş olup, diğer istenen radyolojik tetkikler Tablo XI'de sunulmaktadır. Radyoloji ve nükleer tıp bölümü araştırma görevlileri hastalardan direkt grafi tetkiki istemedikleri için bu soruyu yanıtlamamışlardır, diğer klinik bölümlerde bulunan iki kişide soruyu yanıtı bırakmıştır.

**Tablo XI.** Araştırma Görevlilerinin En Sık İstedikleri Direkt Grafilerin Dağılımı

<b>Direkt grafi tetkikleri</b>	<b>Sayı</b>	<b>%</b>
AC grafisi	258	78.0
Ayakta direkt batın	21	6.4
İki yönlü eklem	15	4.5
Yatarak direkt batın	13	3.9
İki yönlü lomber	9	2.7
Waters	8	2.4
İki yönlü kafa	7	2.1
<b>TOPLAM</b>	<b>331</b>	<b>100.0</b>

Direkt grafi tetkiklerinde, maruz kalınan radyasyon dozu açısından bir PA akciğer grafisine kıyasla ne kadar radyasyon içerdiği sorulduğunda, akciğer grafisi haricinde direkt grafi isteminde bulunan 73 araştırma görevlisinin 10'u (%47.6) ayakta direkt batın, 4'ü (%30.8) yatarak direkt batın, 4'ü (%44.4) iki yönlü lomber grafi ve 3'ü (%42.9) iki yönlü kafa grafisinin daha fazla radyasyon içerdiğini, 6'sı (%40.0) ise iki yönlü eklem grafisinin eşit radyasyon içerdiğini doğru yanıtlarken, waters grafisine doğru yanıt veren olmamıştır.

Araştırma görevlilerinin 122'si (%36.9) beyin BT, 72'si (%21.8) toraks ve 42'si (%12.7) abdomen BT tetkiki isteminde bulduklarını belirtmişlerdir (Tablo XIII). Radyoloji ve nükleer tıp bölümü araştırma görevlileri hastalardan BT tetkiki istemedikleri için bu soruyu yanıtlamamışlardır.

**Tablo XII.** Araştırma Görevlilerinin En Sık İstedikleri BT Tetkiklerinin Dağılımı

<b>BT tetkikleri</b>	<b>Sayı</b>	<b>%</b>
Beyin	122	36.9
Toraks	72	21.8
Abdomen	42	12.7
Abdominopelvik	41	12.4
Ekstremiteler	14	4.2
Paranasal	13	3.9
Orbita	10	3.0
Vertebra	7	2.1
Pelvik	5	1.5
Boyun	5	1.5
<b>TOPLAM</b>	<b>331</b>	<b>100.0</b>

İstenen BT tetkikleri, maruz kalınan radyasyon dozu açısından bir PA akciğer grafisiyle kıyaslandığında araştırma görevlilerinin 109'u (%91.6) beyin BT, 70'i(%97.2) toraks BT, 39'u(%92.9) abdomen BT'nin PA akciğer grafisinden daha fazla radyasyon içerdiğini doğru yanıtlamıştır (Tablo XIII).



**Tablo XIII.** Araştırma Görevlilerinin PA Akciğer Grafisine Kıyasla BT Tetkiklerinde Maruz Kalınan Radyasyon Dozuna İlişkin Doğru Yanıtların Dağılımı

<b>BT tetkikleri (n=305)</b>	<b>Sayı</b>	<b>%</b>
Beyin (n=119)	109	91.6
Toraks (n=72)	70	97.2
Abdomen (n=42)	39	92.9
Abdominopelvik (n=40)	39	97.5
Ekstremiteler (n=14)	12	85.7
Paranasal (n=13)	11	84.6
Orbita (n=9)	9	100.0
Vertebra (n=7)	6	85.7
Pelvik (n=5)	5	100.0
Boyun (n=5)	5	100.0

En sık istemde buldukları BT tetkikiyle bir PA akciğer grafisinde maruz kalınan radyasyon dozu kıyaslandığında, araştırma görevlilerinin 305’u (%93.6) BT tetkiklerinin PA akciğer grafisinden daha fazla radyasyon dozu içerdiğini doğru yanıtlarken, 17’si (%5.2) daha az, 4’ü (%1.2) eşit radyasyon olduğu yanıtını vermiştir.

#### **4.5. Araştırma Görevlilerinin BT Tetkiki Öncesi Hastayı, Maruz Kalacağı Radyasyon Dozu ve Radyasyonun Olası Risklerine İlişkin Bilgilendirme Durumu**

BT çekimi öncesi hastaya, ne kadar radyasyon dozuna maruz kalacağı ve radyasyonun olası riskleri konusunda bilgi verip vermediğine yanıt veren 356 araştırma görevlisinden; 291’i (%81.7) hastalara bilgi vermediğini, 40’ı (%11.2) hastaları bilgilendirdiğini, 25’i (%7.0) bazen bilgi verdiğini belirtmiştir.

#### **4.6. Radyolojik Tetkiklerde Maruz Kalınan Radyasyon Dozlarının Kaç PA Akciğer Grafisine Karşılık Geldiği**

Araştırma görevlilerinin 87’si (%23.9) beyin BT’nin, 58’i (%15.9) abdomen BT’nin, 57’si (%15.7) toraks BT’nin 34’ü (%9.3) İVP’nin, 54’ü (%14.8) tiroid sintigrafisinin ve 7’si (%1.9) iki yönlü lomber grafinin radyasyon dozlarının kaç PA akciğer grafisine karşılık geldiğine doğru yanıt vermiştir.

USG ve MRG'nin iyonizan radyasyon içerip içermediğine: araştırma görevlilerinin USG'de 300'ü (%82.4) radyasyon içermez, 21'i (%5.8) radyasyon içerir, 43'ü ( 11.8) fikrim yok yanıtını verirken, MRG'de 260'ı (%71.4) radyasyon içermez, 54'ü (%14.8) radyasyon içerir, 50'si (%13.8) ise fikrim yok yanıtını vermiştir.

Radyolojik tetkiklerdeki radyasyon dozlarının kaç PA akciğer grafisine karşılık geldiğine ilişkin verilen doğru yanıtları Tablo XIV'te sunulmuştur.

**Tablo XIV.** Araştırma Görevlilerinin Radyolojik Tetkiklerdeki Radyasyon Dozlarının Kaç PA Akciğer Grafisine Karşılık Geldiğine İlişkin Doğru Yanıtlarının Dağılımı

<b>Radyolojik tetkikler (n=364)</b>	<b>Sayı</b>	<b>%</b>
<b>Radyasyon içermeyen</b>		
USG	300	82.4
MRG	260	71.4
<b>50-200 kat radyasyon içeren</b>		
Beyin BT	87	23.9
Tiroid Sintigrafisi	54	14.8
İVP	34	9.3
2 yönlü Lomber	7	1.9
<b>300 kat ve üzeri radyasyon içeren</b>		
Abdomen BT	58	15.9
Toraks BT	57	15.7

#### **4.7. Araştırma Görevlilerinin Hizmet Yılı ve Eğitim Durumuna Göre Radyolojik Tetkiklerde Maruz Kalınan Radyasyon Dozlarının Kaç PA Akciğer Grafisine Karşılık Geldiğine İlişkin Verdikleri Yanıtlar**

Araştırma görevlilerinin beyin BT, abdomen BT, toraks BT, USG ve MRG gibi sık istenen radyolojik tetkiklerde maruz kalınan radyasyon dozlarının kaç PA grafisine karşılık geldiğine ilişkin verilen doğru yanıtlara hizmet yılına göre bakıldığında; 10 yılın altında olanlarda 80'i (%26.0), 10 yıl ve üzeri olanlarda 7'si (%13.5) beyin BT'ye doğru yanıt vermiştir. On yılın altında olanlarda 261'i (%84.7) USG'nin, 227'si (%73.7) MRG'nin, 10 yıl ve üzeri olanlarda 35'i (%67.3) USG'nin, 29'u (%55.8) MRG'nin

iyonizan radyasyon içermediğini doğru yanıtlamıştır. Beyin BT, abdomen BT ve toraks BT'ye verilen doğru yanıtlar arasında istatistiksel olarak fark yoktur ( $p>0.05$ ). Hizmet süresi 10 yıl ve üzeri olanlarda doğru yanıt verme sıklığı daha düşük saptanmış olup USG ve MRG'ye verilen yanıtlar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ( $X^2=8.09$ ,  $p<0.01$ ;  $X^2=6.12$ ,  $p<0.05$ ) (Tablo XV).

**Tablo XV.** Araştırma Görevlilerinin Hizmet Yılına Göre Tetkiklerdeki Radyasyon Dozlarının Kaç PA Akciğer Grafisine Karşılık Geldiğine İlişkin Doğru Yanıtlarının Dağılımı

Tetkikler	Hizmet yılı				$X^2$	P
	<10 yıl (n=308)		≥ 10 yıl (n=52)			
	Sayı	%	Sayı	%		
USG	261	84.7	35	67.3	8.09	<0.01
MRG	227	73.7	29	55.8	6.12	<0.05
Beyin BT	80	26.0	7	13.5	3.15	>0.05
Abdomen BT	49	15.9	6	11.5	0.36	>0.05
Toraks BT	49	15.9	5	9.6	0.93	>0.05

Araştırma görevlilerinin iyonizan radyasyon kullanılan görüntüleme yöntemleri, maruz kalınan radyasyon dozları ve radyasyonun olası riskleri hakkında eğitim alıp almama durumlarına göre; eğitim alanların 39'u (%26.7), eğitim almayanların 48'i (%22.0) beyin BT nin doz miktarı olarak kaç PA akciğer grafisine karşılık geldiğine doğru yanıt vermiştir. Eğitim alanların 125'i (%85.6) USG'nin, 111'i (%76.0) MRG'nin eğitim almayanların 175'i (%80.3) USG'nin, 149'u (68.3) MRG'nin iyonizan radyasyon içermediğini doğru yanıtlamış olup aralarında istatistiksel olarak fark saptanmamıştır ( $p>0.05$ ) (Tablo XVI).

**Tablo XVI.** Araştırma Görevlilerinin Eğitim Alma Durumlarına Göre, Tetkiklerdeki Radyasyon Dozlarının Kaç PA Akciğer Grafisine Karşılık Geldiğine İlişkin Doğru Yanıtlarının Dağılımı

Tetkikler	Eğitim Alma Durumu				X <sup>2</sup>	P
	Alan (n=146)	Almayan (n=218)	Sayı	%		
USG	125	85.6	175	80.3	1.37	>0.05
MRG	111	76.0	149	68.3	2.16	>0.05
Beyin BT	39	26.7	48	22.0	0.82	>0.05
Abdomen BT	22	15.1	36	16.5	0.05	>0.05
Toraks BT	19	13.0	38	17.4	0.98	>0.05

#### 4.8. Yıllık Ortalama Doğal Radyasyon Dozu ile Bir Abdomen BT Tetkikinde Maruz Kalınan Dozun Kıyaslanması

Araştırma görevlilerine bir kişinin yıllık ortalama doğal radyasyon dozuna göre bir abdomen BT tetkikinde süre olarak ne kadar radyasyona maruz kaldığına; 59'u (%16.2) dört yıllık doğru yanıtını, 142'si (%39.0) ise fikrim yok yanıtını verirken, 163'ü (%44.8) ise yanlış yanıt vermiştir (Tablo XVII).

**Tablo XVII.** Araştırma Görevlilerinin Yıllık Ortalama Doğal Radyasyon Dozu ile Bir Abdomen BT Tetkikinde Maruz Kalınan Dozun Kıyaslanmasına İlişkin Yanıtlarının Dağılımı

Yanıtlar (n=364)	Sayı	%
Fikrim yok	142	39.0
Eşit	18	4.9
Altı aylık	69	19.0
İki yıllık	76	20.9
<b>Dört yıllık</b>	<b>59</b>	<b>16.2</b>

#### 4.9. Bir Beyin BT ve Abdomen BT Tetkikinin Yaşam Boyu Kanser Geliştirme Riski

Bir beyin BT tetkikinde yaşam boyu kanser geliştirme riskine araştırma görevlilerinin 120'si (%33.0) 10000-100000 de bir doğru yanıtını verirken, 38'i (%10.4) risk yok, 29'u (%8.0) fikrim yok yanıtını vermiştir (Tablo XVIII).

**Tablo XVIII.** Araştırma Görevlilerinin Bir Beyin BT Tetkikinde Yaşam Boyu Kanser Geliştirme Riskine Verdikleri Yanıtların Dağılımı

<b>Yanıtlar (n=364)</b>	<b>Sayı</b>	<b>%</b>
Fikrim yok	29	8.0
Risk yok	38	10.4
1/200000-500000	101	27.7
<b>1/10000-100000</b>	120	33.0
1/1000-5000	76	20.9

Bir abdomen BT tetkikinde yaşam boyu kanser geliştirme riskine araştırma görevlilerinin 100'ü (%27.5) 1000-10000 de bir doğru yanıtını verirken, 33'ü (%9.1) fikrim yok, 31'i (%8.5) risk yok yanıtını vermiştir (Tablo XIX).

**Tablo XIX.** Araştırma Görevlilerinin Bir Abdomen BT Tetkikinde Yaşam Boyu Kanser Geliştirme Riskine Verdikleri Yanıtların Dağılımı

<b>Yanıtlar (n=364)</b>	<b>Sayı</b>	<b>%</b>
Fikrim yok	33	9.1
Risk yok	31	8.5
1/50000-100000	119	32.7
1/20000-50000	81	22.2
<b>1/1000-10000</b>	100	27.5

#### **4.10. Yetişkin ve Çocuklarda Uygulanan BT İncelemelerinde Çekim Parametrelerinde Farklılık Olup Olmadığı ile Doz Ayarlamalı Pediatrik BT Tetkikinde Doz Azılımı**

Radyoloji bölümü araştırma görevlilerine uygulayıcı konumda olmalarından dolayı ek olarak yetişkin ve çocuklarda uygulanan BT incelemelerinde çekim parametrelerinde farklılık olup olmadığı ile yetişkin BT tetkiki ile doz ayarlaması yapılmış optimal görüntü kalitesinde bir pediatrik BT incelemesi karşılaştırıldığında maruz kalınan efektif doz oranında yaklaşık yüzde kaç azalma olduğuna ilişkin iki soru daha sorulmuştur.

Radyoloji bölümü araştırma görevlilerine yetişkin ve çocuklarda uygulanan BT incelemelerinde çekim parametrelerinde farklılık olup, olmadığına; 24'ü (%96) evet yanıtını verirken, biri (%4) soruyu yanıtlamamıştır. Diğer soruda ise aynı inceleme bölgesi için yapılan BT tetkiklerinde yetişkin BT tetkiki ile doz ayarlaması yapılmış optimal görüntü kalitesinde bir pediatrik BT incelemesi karşılaştırıldığında maruz kalınan doz açısından efektif doz oranında yaklaşık yüzde kaç azalma olduğunu yanıtlayan 23 (%92.0) araştırma görevlisinin beşi (%21.7) %50 azalma olduğunu doğru yanıtlarken, 18'i (%78.3) yanlış yanıt vermiştir.

#### **4.11. Pediatri, Pediatrik Cerrahi ve Radyoloji Bölümü Araştırma Görevlilerinin Radyolojik Tetkiklerde Maruz Kalınan Radyasyon Dozlarının Kaç PA Akciğer Grafisine Karşılık Geldiğine İlişkin Verdikleri Yanıtlar**

Pediatri ve Pediatrik Cerrahi araştırma görevlilerinin çocuk hasta grubuna bakması, radyolojinin de istenen radyolojik tetkikleri çeken grup olması bu üç grubu daha önemli kılmaktadır. Bu bölüm araştırma görevlilerinin tetkiklerde hastaların maruz kaldığı radyasyon dozlarının kaç PA akciğer grafisine karşılık geldiğine ilişkin USG'ye 45 (%86.5) ve MRG'ye 44 (%84.6) pediatri araştırma görevlisi iyonizan radyasyon içermez yanıtını verirken, beyin BT'ye 3 (%50) pediatrik cerrah; abdomen BT'ye 22 (42.3) ve toraks BT'ye 23 (%44.2) pediatri araştırma görevlisi doğru yanıt vermiş olup, yanıtların dağılımı Tablo XX'de sunulmuştur.

**Tablo XX.** Pediatri, Pediatrik Cerrahi, Radyoloji Bölümü Araştırma Görevlilerinin Tetkiklerdeki Radyasyon Dozlarının Kaç PA Akciğer Grafisine Karşılık Geldiğine İlişkin Doğru Yanıtlarının Dağılımı

<b>Tetkikler</b>	<b>Pediatri (n=52)</b>		<b>Pediatrik cerrahi (n=6)</b>		<b>Radyoloji (n=25)</b>	
	<b>Sayı</b>	<b>%</b>	<b>Sayı</b>	<b>%</b>	<b>Sayı</b>	<b>%</b>
<b>USG</b>	45	86.5	5	83.3	20	80.0
<b>MRG</b>	44	84.6	4	66.7	20	80.0
<b>Beyin BT</b>	21	40.4	3	50.0	5	20.0
<b>Abdomen BT</b>	22	42.3	1	16.7	5	20.0
<b>Toraks BT</b>	23	44.2	1	16.7	4	16.0

## 5. TARTIŞMA

Radyasyon enerji transferi olup, hayatın her alanında radyasyona maruz kalınmaktadır. Maruz kalınan radyasyonun büyük çoğunluğunu doğal kaynaklı radyasyon oluşturur. Yapay radyasyon ise insan eliyle yaratılan ve kontrolü mümkün radyasyon grubudur. Yapay radyasyon kaynaklarının büyük kısmını tanısal ve tedavi amaçlı tıbbi kullanım oluşturmaktadır (1-6). X-ışının ve radyoaktivitenin keşfi ile yapay radyasyon 1800'lü yılların sonunda insan yaşantısına hızla girmeye başlamıştır. X-ışınının ve radyoaktivitenin radyolojik görüntüleme ile tedavide hızla ve artan şekilde kullanılmasıyla birlikte radyasyonun zararlı etkilerinin olduğu da görülmeye başlamıştır (4,5). Tıbbi ve endüstriyel uygulamalar, radyasyon kazaları ve Hiroşima ile Nagazaki'ye atılan atom bombalarından maruz kalınan radyasyonun etkileri aralıksız bir şekilde araştırılmaktadır. Bunların yanı sıra, denek olarak kullanılan hayvanlar üzerindeki radyasyon etkileriyle ilgili çalışmalar da devam etmektedir. Bu çalışmaların başlamasını takip eden iki üç yıl içerisinde ise radyasyondan korunmak gerektiği artık yaygın bir şekilde anlaşılmıştır. 1920'lerin sonuna gelindiğinde, böcekler üzerinde yapılan araştırma sonuçları radyasyonun genetik bozukluklara da neden olduğunu açığa çıkarmıştır (2,5).

Özellikle BT olmak üzere tanısal radyoloji tetkiklerinin çeşitliliğinde ve ulaşılabilirliğindeki artış ile iyonizan radyasyon içeren bu tetkiklerin isteminde ve uygulanmasında geçmişe oranla büyük artışlar olmaktadır (13-18). ABD'de uygulanan BT tetkik sayısı 1980'da yaklaşık 3.6 milyon iken 1998'de 33 milyona çıkmıştır (13). Son iki dekada uygulanan genel BT tetkik sayılarında ABD'de 20 kattan fazla, İngiltere'de ise yaklaşık 12 kat artış olmuştur (20).

Radyolojik tetkik istemlerinin küçük bir kısmını oluşturan BT tetkiklerinde maruz kalınan doz diğer konvansiyonel röntgen tetkiklerine göre oldukça fazla olup, maruz kalınan yapay radyasyon dozunun da büyük kısmını oluşturmaktadır. Dünya genelinde uygulanan BT tetkikleri tıbbi kaynaklı radyasyonun yaklaşık %40-67'sini oluşturmaktadır. Yeni veriler ÇKBT kullanımının gittikçe artacağını ve bu durumun yeryüzü doğal radyasyonundan sonra hayattaki en büyük yapay radyasyon kaynağını oluşturacağını göstermektedir (15).

Görüntüleme yöntemlerinde yaşanan hızlı değişimler hekimlerin bu yöntemleri tanıma, endikasyonlarını doğru tanımlama ve iyonizan radyasyon içeriği ile olası



riskleri hakkında yeterli bilgilendirilememesine yol açabilmektedir. Yapılan çalışmalarda pediatrik BT tetkiklerinin %25-40'ının uygun endikasyon oluşturmadığı görülmüştür (15,46).

Hastaların tanı, tedavi ve takip süreçlerinde kullanılan radyoloji tetkiklerinin iyonizan radyasyon içeriği ve radyasyonun olası riskleri hakkında hekimlerin bilgi düzeyleri ve farkındalıklarını belirlemeye yönelik son yıllarda giderek artan oranda çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (47-55).

Araştırma görevlilerinin tanısal radyolojide iyonizan radyasyon kullanılan görüntüleme yöntemleriyle maruz kalınan radyasyon dozları ve radyasyonun olası riskleri hakkında, %40.4'ü eğitim almıştır. Eğitim alanların %74.1'i tıp fakültesinde, %21.1'i uzmanlık eğitimi sırasında, sadece %4.8'i ise tıp fakültesi ve uzmanlık eğitimi sırasında eğitim aldıklarını belirtmişlerdir. Araştırma görevlileri %94.8'i bu konuda eğitim verilmesi gerektiğini belirtmiş olup, %51.3'ü tıp fakültesinde, %22.9'u uzmanlık eğitimi sırasında, %19.4'ü de hem tıp hem de uzmanlık eğitimi sırasında eğitim verilmesi gerektiğini belirtmiştir. Bu bulgular araştırma görevlilerinin büyük çoğunluğunun bu konuda eğitim almadığını ve tamamına yakınının eğitim verilmesini istediğini göstermektedir.

Araştırma görevlileri radyolojik tetkik isterken tercih önceliklerini; %59.8'i algoritm, %6.8'i erişim kolaylığı, %4.4'ü tanıya uygunluk ve sadece %2.4'ü radyasyon içerip içermemesine göre belirlemektedir. Yapılan çalışmalarda uygun olmayan endikasyon ya da gereksiz istemle yapılan radyolojik tetkikler %10-40 arasında değişiklik göstermektedir (15,46,56). Bu çalışmada araştırma görevlilerinin yarısından fazlasının algoritm ve tanıya uygun endikasyonu tercih ettiklerini belirtmeleri maruz kalınacak radyasyon dozunun azaltımı açısından anlamlıdır. Ancak tetkik isteminde standardize edilmiş algoritm şemalarının olması gerekmektedir Araştırma görevlileri algoritm kavramını farklı algılamış olabilirler. Araştırma görevlilerinin sadece %2.4'ünün radyasyon içerip içermemesine göre tetkik istemesi ve %6.8'inin ise önceliği erişim kolaylığına vermesi hastaların gereksiz yere iyonizan radyasyona maruz kalmasına yol açabilir.

Dünya genelinde en sık uygulanan radyolojik tetkik yöntemi akciğer grafisi olup UNSCEAR'ın verilerine göre tüm tetkiklerin %41.0'ini oluşturmaktadır (17). Bu çalışmada da en sık istenilen direk grafi yönteminin %78.0 ile akciğer grafisi olduğu

saptanmıştır. Bir PA akciğer grafisinde maruz kalınan radyasyon dozu miktarını araştırma görevlilerinden yalnızca %7.2'si doğru yanıtlarken %67.1'i ise fikrim olmadığını belirtirken, %25.7'si ise yanlış yanıtlamıştır. Jacob ve arkadaşlarının<sup>(50)</sup> bir hastanede farklı bölüm ve konumda 240 hekimi kapsayan çalışmalarında hekimlerin %22.5'i PA akciğer grafisinde alınan dozu doğru yanıtlamışlardır. Heyer ve arkadaşlarının<sup>(48)</sup> bir üniversite hastanesinde radyoloji dışındaki diğer birkaç klinik bölümde görevli, farklı akademik pozisyonlardaki 124 hekimi kapsayan çalışmalarında, hekimlerin %39.5'i PA akciğer grafisinde alınan dozu doğru yanıtlamışlardır. Shiralkar ve arkadaşlarının<sup>(53)</sup> iki farklı hastanede birebir anket yöntemi ile farklı branşlarda 130 hekimi kapsayan çalışmalarında ise PA akciğer grafisinde alınan doza hiçbir hekim doğru yanıt verememiştir. Jacob ve arkadaşları ile Shiralkar ve arkadaşları bir PA akciğer grafisinde maruz kalınan doz miktarını 0.02 mSv olarak temel almışlardır. Heyer ve arkadaşları ise doz miktarını 0.01-0.1 mSv gibi geniş aralıkta kabul ettiklerinden doğru yanıt sıklığı bu ve diğer çalışmalara göre daha yüksek bulunmuş olabilir.

Bu çalışmada araştırma görevlilerinin akciğer grafisi dışında sıklıkla istedikleri direkt grafi tetkiklerinin akciğer grafisinden daha fazla radyasyon içerdiğini %36.2'sinin doğru yanıtlamış olması, direkt grafi tetkiklerinde maruz kalınan radyasyon dozlarının olduğundan daha düşük tahmin edildiğini göstermektedir.

Araştırma görevlilerinin en sık istemde buldukları BT tetkikiyle bir PA akciğer grafisinde alınan radyasyon dozu karşılaştırıldığında, %6.4'ü BT tetkiklerinde daha az veya eşit radyasyon olduğunu belirtmiş olup %93.6'sı daha fazla radyasyon içerdiğini doğru yanıtlamıştır. Bu çalışmayla uyumlu olarak Lee ve arkadaşlarının<sup>(49)</sup> çalışmalarında, acil hekimlerinin %7.0'si, radyoloji uzmanlarının ise %5.0'i BT tetkiklerinin akciğer grafisine göre daha az ya da eşit radyasyon dozu içerdiğini belirtmişlerdir.

Araştırma görevlilerinin BT çekimi öncesi hastaya, ne kadar radyasyon alacağı ve radyasyonun olası riskleri konusunda bilgilendirmeleri gerekirken; sadece %11.2'si hastaları bilgilendirdiğini, %7.0'si bazen bilgi verdiğini, %81.7'si ise hastalara bilgi vermediğini belirtmiştir. Bu çalışmayla uyumlu olarak Lee ve arkadaşlarının<sup>(49)</sup> yaptığı çalışmada da acil hekimlerinin %78.0'i BT tetkiki öncesi hastaları bilgilendirmediğini belirtmiştir.

İyonizan radyasyon içeren radyolojik tetkiklerde maruz kalınan radyasyon dozlarının kaç PA akciğer grafisine karşılık geldiğine araştırma görevlilerinin beyin BT'de %23.9'u, abdomen BT'de %15.9'u, toraks BT'de %15.7'si, tiroid sintigrafisinde %14.8'i, IVP'de %9.3'u ve iki yönlü lomber grafide %1.9'u doğru yanıt vermiştir. Araştırma görevlilerinin %93.6'sı BT tetkiklerinde maruz kalınan dozun bir PA akciğer grafisinden fazla olduğunu bilmekle beraber, maruz kalınan doz açısından BT tetkiklerinin yaklaşık olarak kaç PA akciğer grafisine karşılık geldiğini ise daha düşük düzeylerde tahmin edilmişlerdir. USG ve MRG'nin iyonizan radyasyon içermediğini doğru yanıtlayanlar sırasıyla %82.4 ve %71.4' tür.

Jacob ve arkadaşlarının<sup>(50)</sup> yaptığı çalışmada PA akciğer grafisiyle karşılaştırmalarında abdomen BT %20.0, IVP %15.4 ve lomber vertebra grafisine %25.8'i doğru yanıt vermişlerdir. USG ve MRG'nin iyonizan radyasyon içermediğini doğru yanıtlayanlar sırasıyla %90.4 ve %71.6 bulunmuştur.

Shiralkar ve arkadaşlarının<sup>(53)</sup> çalışmasında PA akciğer grafisiyle karşılaştırmalarında doğru yanıt sıklığı abdomen BT'de %6.5, lomber vertebra grafisinde %2.0, tiroid sintigrafisinde %6.0 bulunmuştur. USG ve MRG'nin iyonizan radyasyon içermediğini doğru yanıtlayanlar sırasıyla %95.0 ve %92.0' dir.

Gümüş ve arkadaşlarının<sup>(52)</sup> ulusal pediatrik cerrahi kongresine katılan 102 pediatrik cerrahi kapsayan çalışmalarında çocuk dozu ayarlanmış abdominopelvik BT ile akciğer grafisini kıyaslamışlar ve katılımcıların %16.7'si doğru yanıt vermiştir. USG ve MRG'nin iyonizan radyasyon içermediğini doğru yanıtlayanlar sırasıyla %89.2 ve %78.4' tür.

Arslanoğlu ve arkadaşlarının<sup>(47)</sup> farklı hastaneler ve sağlık ocaklarında görev yapan intern, pratisyen ve bazı klinik branşlarda uzman hekim ve araştırma görevlisi olan çalışan 177 hekimi kapsayan çalışmalarında USG ve MRG'nin iyonizan radyasyon içermediğini doğru yanıtlayanlar sırasıyla %96.0 ve %72.6 bulunmuştur. Soye ve arkadaşlarının<sup>(54)</sup> çalışmasında sırasıyla %90.0 ve %78.0 bulunmuştur.

Heyer ve arkadaşlarının<sup>(48)</sup> çalışmasında akciğer grafisiyle toraks BT'yi doz olarak karşılaştırmalarında doğru yanıt %23.5 bulunmuştur.

Araştırma görevlilerinin USG ve MRG gibi görüntüleme yöntemlerinin radyasyon içerip içermediği; beyin BT, abdomen BT ve toraks BT gibi rutin uygulamalarda sık istenilen ve görece olarak yüksek iyonizan radyasyon içeren

tetkiklerin dozları hakkındaki doğru yanıtları, tıp fakültesi mezuniyet süreleri, çalışma süreleri ve bu konuda eğitim alınıp alınmamasına göre karşılaştırılmıştır. Mezuniyet süresine göre USG ve MRG'nin iyonizan radyasyon içermediğine verilen doğru yanıtlar arasında anlamlı fark olup, mezuniyet süresi 10 yıl ve üzerinde olanlarda yanlış yanıt verme sıklığı daha yüksek saptanmıştır ( $p<0.01$ ,  $p<0.05$ ). MRG nispeten yeni bir radyolojik yöntem olduğundan, 10 yıldan fazla mezuniyet süresi olan araştırma görevlilerinin yöntem hakkında yeteri kadar bilgisi olmayabilir. Beyin BT, abdomen BT ve toraks BT dozlarına verilen doğru yanıtlar arasında anlamlı fark bulunamamıştır ( $p>0.05$ ). Çalışma süresi ve eğitim alıp almama durumuna göre verilen yanıtlar arasında da istatistiksel olarak anlamlı fark bulunamamıştır ( $p>0.05$ ). Bu durum araştırma görevlilerinin tıp eğitimi ve sonrasında yeterli ve etkin bir eğitim almadıklarını düşündürmektedir.

Bu çalışmayla uyumlu olarak Arslanoğlu ve arkadaşlarının<sup>(47)</sup> yaptığı çalışmada da 10 yıldan daha fazla çalışma süresi olanlarda USG ve MRG'nin iyonizan radyasyon içerip içermediği hakkında daha fazla yanlış yanıt verilmiştir ( $p<0.05$ ). Heyer ve arkadaşları<sup>(48)</sup> ile Gümüş ve arkadaşlarının<sup>(52)</sup> çalışmalarında çalışma süreleri ile verilen doğru yanıtlar arasında anlamlı fark bulunmamıştır. Quinn ve arkadaşlarının<sup>(55)</sup> yaptığı çalışmada bu konuyla ilgili eğitim kursuna katılan ve katılmayan hekimler arasında doz karşılaştırmalarına verilen yanıtlar açısından anlamlı fark bulunmamıştır. Jacob ve arkadaşlarının<sup>(50)</sup> çalışmasında eğitim kursuna katılan ve katılmayan hekimler arasında karşılaştırma yapmışlar ve bu kursa katılan ve kursta uygulayıcı pozisyonunda olan hekimlerde doğru yanıt sıklığının katılmayanlara göre daha yüksek olduğunu bulmuşlardır.

Bir PA akciğer grafisi, radyolojik görüntüleme yöntemleri içerisinde en düşük doz içeren tetkiklerden biri ve rutin uygulamada en sık istenilen tetkiktir (17). Araştırma görevlilerinin özel ilgi ve araştırma yapanları dışında bir PA akciğer grafisinin mSv cinsinden tam olarak ne kadar radyasyon dozu içerdiğini bilmeleri zordur. Ancak araştırma görevlilerinin sık istemde buldukları tetkiklerin akciğer grafisiyle kıyaslandığında onlarca-yüzlerce kat daha fazla radyasyon içerdiğini bilmeleri gerekir.

Bu çalışmada araştırma görevlilerinin %5.8'i USG'nin, %14.8'i MRG'nin iyonizan radyasyon içerdiğini belirtmiş olup, %11.8'i USG ve %13.7'si MRG'nin

iyonizan radyasyon içerip içermediği hakkında fikrinin olmadığını belirtmiştir. Yapılan çalışmalarda hekimlerin USG'nin %4.0-%10.8, MRG tetkiklerinin ise %8.0-%28.4 aralığında iyonizan radyasyon içerdiği ya da içerip içermediği hakkında bilgilerinin olmadığını belirtmişlerdir(47,50,52-54). Hekimlerin bir kısmının USG ve MRG'nin iyonizan radyasyon içerdiğini düşünmesi, bu konudaki eğitimlerinin yeterli olmadığını düşündürmektedir.

Yeryüzünün yıllık doğal radyasyon oranı UNSCEAR'ın verilerine göre ortalama 2.4 mSv kabul edildiğinde, ortalama 10 mSv doz içeren bir abdomen BT tetkikinde süre olarak yaklaşık dört yıllık doğal radyasyon dozu alınmaktadır. Bir abdomen BT tetkiki ile bir insan dört yılda doğadan alacağı radyasyon dozunu yapılan tetkikin ve cihazın türüne göre 5-30 saniye gibi kısa bir süre içerisinde almaktadır. Bu çalışmada maruz kalınan yıllık doğal radyasyon dozu ile bir abdomen BT tetkikinin radyasyon doz miktarı süre olarak kıyaslanmasına araştırma görevlilerinin %16.2'si doğru yanıt verirken, %30.0'u da bu konuda fikrinin olmadığını belirtmiştir. Bu durum araştırma görevlilerinin büyük çoğunluğunun yeryüzünün yıllık doğal radyasyon dozu ve abdomen BT tetkikinde maruz kalınan doz miktarını yeterince bilmediklerini göstermektedir.

Son yıllarda yapılan çalışmalarda düşük doz iyonizan radyasyonun yaşam boyu kanser geliştirme riskine katkıda bulunduğu yönünde bildirimler yapılmış olup radyolojik görüntüleme yöntemleri de görece olarak düşük doz iyonizan radyasyon kaynağı kabul edildiklerinden bu tetkiklere bağlı olarak gelişebilecek kanser riskleri üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır (13,15,18-21,27,32,38-40,57-73). Özellikle de çocuk yaş grupları büyüme ve gelişme dönemlerinde olmaları ve vücut kitle indekslerinin daha küçük olması nedeniyle radyasyondan daha fazla etkilenmektedir. Beklenen yaşam sürelerinin daha fazla olmasından dolayı da yaşam boyu kanser gelişme riskinin daha yüksek olacağı çeşitli çalışmalarda belirtilmektedir (14,16,19,41,46,57,74-82).

Bu çalışmada araştırma görevlilerinin bir beyin BT ve bir abdomen BT tetkikinde yaşam boyu kanser geliştirme riski sıklığına beyin BT için %33.0'ü doğru yanıt verirken, %10.4'ü risk yok, %8.0'i ise fikrinin olmadığını; bir abdomen BT tetkiki için ise %27.5'i doğru yanıt verirken, %8.5'i risk yok ve %9.1'i ise fikrinin olmadığını belirtmiştir. Rice ve arkadaşları<sup>(51)</sup> ile Gümüş ve arkadaşlarının<sup>(52)</sup> çalışmalarda bir abdomen ve pelvik BT'nin yaşam boyu kanser geliştirme riskini sırasıyla %53.0'ü ve

%48.0'i artıracakını belirtmiş olup, %31.0'i ve %15.7'si risk sıklığını doğru tahmin etmiştir. Lee ve arkadaşlarının<sup>(49)</sup> çalışmasında radyologların %47.0'si, acil hekimlerinin %9.0'u ve hastaların ise %3.0'ü bir abdominopelvik BT tetkikinin yaşam boyu kanser geliştirme riski olduğunu belirtmiştir. Bu ve yapılan benzer çalışmalarda da görüldüğü üzere hekimlerin az bir kısmı BT tetkiklerinin yaşam boyu kanser geliştirme riski olduğunu düşünmektedir.

Özellikle BT tetkiklerinde olmak üzere iyonizan radyasyon içeren radyoloji tetkiklerinde doz ayarlamasının uygun parametrelerle yapılması gerektiği belirtilmektedir (13-15,80,83-88). ABD Gıda ve İlaç İdaresi (FDA), ALARA konferansı halk sağlığı bildirgesinde pediatrik ve adölesan BT uygulamalarından kaynaklı doz azaltımı için BT uygulama parametrelerinin optimize edilmesi, kontrastlı çoklu faz içeren BT çalışmalarının ve uygunsuz istemlerin minimize edilmesi gerektiğini belirtmektedir (80).

Çocuklarda eğer doz ayarlaması yapılmadan yetişkin parametreleriyle çekim yapılırsa vücut kitle indeksleri daha küçük olduğu için yetişkinlere oranlara oldukça yüksek dozlara maruz kalacaklardır. Brenner ve arkadaşlarının<sup>(19)</sup> yaptıkları çalışmada bir yaşındaki bir çocuğun BT'den kaynaklı radyasyon ışınlanmasının tahmini yaşam boyu kansere bağlı mortalite gelişme riskine katkısı abdominal BT'de %0.18, beyin BT'de %0.07 olup bu değerler erişkin değerlerinden oldukça yüksektir. ABD'de 15 yaş altı çocuklara yılda yaklaşık 600.000 abdominal ve beyin BT tetkiki uygulandığı düşünülürse bu değerlere BT'den kaynaklı radyasyona bağlı kanserden ölüm bir yılda kaba bir tahminle 500 kişi civarında olacaktır. Radyolojik tetkiklerde çekim parametrelerinin uygun şekilde ayarlanmasını sağlayacak olan ve radyoloji teknisyenlerini bu konuda bilgilendirmesi gereken radyologların bu konudaki farkındalıklarını değerlendirmek için bu çalışmada sadece radyoloji araştırma görevlilerine yönelik yetişkin ve çocuklarda uygulanan BT parametrelerinde farklılık olup olmadığı soruldu. Radyoloji araştırma görevlilerinin %96.0'sı çekim parametrelerinde farklılık olması gerektiğini düşünüyor olması çocukların BT tetkiklerinde daha az radyasyona maruz kalması açısından olumludur. Aynı zamanda çocuklarda BT tetkiklerinde parametrelerin uygun şekilde ayarlanması ile maruz kalınan dozun yaklaşık yüzde kaç oranında azaldığına ise radyoloji araştırma görevlilerinin

%20.8'i doğru yanıt vermiştir. Bu bulgu ise radyoloji araştırma görevlilerinin bu konuda yeterli eğitim almadığını göstermektedir.

Düşük doz iyonizan radyasyona bağlı yaşam boyu kanser geliştirme riskinin çocuk yaş gruplarında daha yüksek olması nedeniyle daha bilinçli olması beklenen pediatri ve pediatrik cerrahi araştırma görevlileri ile tetkik istemlerini değerlendirecek ve gerektiğinde diğer hekimlere yol gösterecek radyoloji araştırma görevlilerinin sorulara verdiği yanıtların genele yakın değerlerde olması düşündürücüdür.

Dünya genelinde yapılan çalışmalarda ve bu çalışmada da görüldüğü üzere radyasyon, tanısal radyolojide iyonizan radyasyon içeren yöntemler, içerdikleri doz miktarları ve olası riskleri konusunda hekimlerin tıp eğitim kurumlarında ve bir süreklilik içerisinde meslek hayatlarında yeterli eğitimi almadıklarını göstermektedir. Bu nedenle de öncelikle hastaya zarar vermeme (*primum non nocere*) prensibini, bilgi eksikliğinden dolayı tanıya katkı sağlamada aynı görevi yapabilecek radyasyon içermeyen ya da daha az radyasyon içerebilecek tetkikler var iken tercih etmemeleri nedeniyle farkında olmadan ihlal edebileceklerdir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırma görevlilerinin büyük çoğunluğu istedikleri BT tetkiklerinde hastaların maruz kaldığı radyasyon dozlarının daha az olduğunu düşünmektedir. Bu durum görece olarak daha yüksek iyonizan radyasyon içeren BT tetkik istemlerinin daha kolay yapılabilmesine ve istem sayısının gereğinden fazla olmasına neden olabilecektir. Bununla beraber USG ve MRG'nin iyonizan radyasyon içerdiğini düşünen araştırma görevlilerinin olması USG ve MRG gibi radyolojik görüntüleme yöntemlerine öncelik vermede ve hastaları bu tetkiklere yönlendirmede olumsuz etkilere yol açabilir.

Bu sonuçlara göre;

1. Çalışmaya katılan araştırma görevlilerinin tanısal radyolojide iyonizan radyasyon kullanılan görüntüleme yöntemleriyle hastaların maruz kaldıkları radyasyon dozları ve bu maruziyet sonucunda gelişebilecek olası riskler hakkında %59.9'unun eğitim almadığını belirtmesi, tıp eğitim sistemimizde bu konuda eksiklik olduğunu göstermekle beraber radyasyon, iyonizan radyasyon içeren radyolojik görüntüleme yöntemleri ve olası riskleri hakkında hekimlerin farkındalığını artırmak için bu konu, öncelikle tıp fakültesindeki eğitim sırasında yeterli ve etkin bir şekilde verilmelidir. Hızla gelişen teknolojik ilerlemelerle değişen radyolojik görüntüleme yöntemleri hakkında hekimler sonraki meslek yaşamlarında da güncellenmiş bilgilerle eğitilmelidir.

2. Bu çalışmada ve diğer bazı çalışmalarda da tespit edildiği gibi radyasyon güvenliği ve olası risklerinden korunmada primer sorumluluk sahibi olan ve bu konuda diğer bölümlere yol göstermesi gereken radyologların yeterli bilgi düzeyine sahip olmamaları, öncelikle radyoloji bölümü araştırma görevlileri ve radyologlara yönelik radyoloji departmanlarında, tanısal radyolojik tetkiklerin iyonizan radyasyon içeriği ile hastaların maruz kaldığı dozlar ve buna bağlı gelişebilecek olası riskleri hakkında temel eğitim programları düzenlemesini gerektirmektedir.

3. Tanısal radyolojide radyasyon maruziyetinin azaltılması için hekim ve radyologların uygun görüntüleme yöntemi hakkında diyalog halinde olmaları ve fikir birliğine varmaları gerekir. Radyologlara yardımcı olacak klinik bilgilendirme kılavuzluğunda, görüntüleme yöntemlerinin seçimi (örneğin BT yerine USG veya MRG uygulanabilirliği), protokolleri ya da teknikleri (örneğin belirli endikasyonlarda düşük doz BT uygulanması) oluşturulmalıdır.



4. Düşük doz iyonizan radyasyona bağlı yaşam boyu kanser geliştirme riskinin daha yüksek olduğu çocuklarda iyonizan radyasyon içeren tanısal görüntüleme yöntemi istenirken bir kez daha yarar-zarar oranı düşünülmeli ve iyonizan radyasyon içeren tetkikin alternatifi yoksa istenilmelidir.

5. Hasta istem kağıtlarında son bir yıl içinde hastanın çektiği tetkiklerin sorgulanması, tetkik isteminde bulunurken hatırlatma amacıyla iyonizan radyasyon içeren tanısal radyolojik tetkiklerin doz miktarlarının, istem kağıtları ya da otomasyon sisteminde bilgisayar ekranında istem sırasında belirtilecek şekilde yazılıma eklenmesi ve olası risklerini vurgulayan dokümanların istemde bulunan hekimlerin çalışma ortamı içinde sürekli görebilecekleri şekilde ya el altında bulunması ya da çalışma ortamının durumuna göre elektronik panolarda bilgilendirme amaçlı gösteriminin sağlanması bir çözüm olabilir.

6. İyonizan radyasyona maruz kalacak olan hastalar ve hasta yakınlarına da bu konuda istenilen tetkikin radyasyon içeriği ve olası riskleri hakkında yeterli bilgilendirme yapılmalıdır.

## 7. KAYNAKLAR

1. Oyar O. Radyolojide Temel Fizik Kavramlar. Nobel Tıp Kitabevleri 1998; 3-148.
2. Oyar O. Gülsoy UK. Tıbbi Görüntüleme Fiziği. Ankara Baskı Rekmay 2003;5-600.
3. Tuncel E. Klinik Radyoloji. 2. Baskı. Nobel&Güneş Tıp Kitabevleri. 2002; 3-51.
4. Tuncel E. Klinik Radyoloji. Genişletilmiş 2. Baskı. Nobel&Güneş Tıp Kitabevleri. 2008; 3-105.
5. Köklü N. Radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileri ve tıpta uygulama alanları. Yüksek lisans tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Konya 2006.
6. IAEA. International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiations and for Safety of Radiation Sources. IAEA Safety Series. No:115. IAEA CD-ROM Edition. 2003.
7. National Radiological Protection Board (NRPB) Radiological Protection Bulletin No: 231. Sept 2001 Chilton, Didcot, Oxon OX11 0RQ: 2001.
8. Flohr TG, Schaller S, Stierstorfer K, et al. Multi-Detector Row CT Systems and Image-Reconstruction Techniques. Radiology 2005; 235: 756-773.
9. Karabulut N. Çok kesitli bilgisayarlı tomografi koroner anjiyografi: Genel ilkeler, teknik ve klinik uygulamalar. Anadolu Kardiyol Derg. 2008; 8: Özel Sayı 1; 29-37.
10. Lewis MA. Multislice CT: Opportunities and challenges. The British Journal of Radiology, 2001; 74: 779-781.
11. Kato Y, Nair S, Sano H, et al. Multidedektör 3D-CTA- an improvement over single slice helical CTA for cerebral aneurysms. Acta Neurochir 2002; 144: 715-722.
12. Prokop M. Multidedektör CT angiography. Eur J Radiol 2000; 36(2): 86-96.
13. Nickoloff LE, Alderson PO. Radiation Exposures to Patients from CT: Reality, Public Perception, and Policy. AJR 2001;177:285-287.
14. Donnelly LF. Reducing Radiation Dose Associated with Pediatric CT by Decreasing Unnecessary Examinations AJR, 2005;184:655-657.

15. Frush PD. Review of Radiation Issues for Computed Tomography. *Seminars in Ultrasound, CT and MRI*. 2004;25(1):17-24.
16. Chodick G, Ronckers C, Ron E, et al. The utilization of pediatric computed tomography in large ısraili healt maintenance organization. *Pediatr Radiol*. 2006;36: 485-490.
17. UNSCEAR 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly. New York: United Nations, 2000.
18. Smith AB, Dillon WP, Gould R, et al. Radiation dose- reduction strategies for neuroradiology CT protocols. *AJNR*. 2007;28:1628-1632.
19. Brenner DJ, Elliston CD. Hall EJ, et al. Estimated risks of radiation- induced fatal cancer from pediatric CT. *AJR*. 2001;176:289-296.
20. Hall EJ, Brenner DJ. Cancer risks from diagnostic radiology. *BJR*. 2008;81:362-378.
21. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP): Ionizing radiation eksposure of the population of the United States. NCRP report no 93. Bethesda: NCRP;1987.
22. Uzal C, alođlu M. Kanser etyolojisinde iyonizan radyasyonun yeri. *Trakya Üniversitesi Tıp Fakóltesi Dergisi*. 2002; 19: 177-182.
23. Kaya T. Temel Radyoloji Tekniği. *Güneş&Nobel Tıp Kitabevleri*.1997;1-471.
24. Kaya A. İyonize radyasyonun biyolojik etkileri. *Dicle Tıp Fakóltesi Dergisi* 2002;3:65-75.
25. UNSCEAR 1993. Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 1993. Report to the General Assembly. New York: United Nations;1993.
26. UNSCEAR 1994. Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 1994. Report to the General Assembly. New York: United Nations;1994.
27. Öğüş C, Ket S, Özdemir S. Toraksın radyolojik görüntülenmesinde radyasyon riski. *Toraks dergisi*. 2003;2:205-207.
28. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) ernobil Kazasının ölkeler üzerindeki etkileri. ernobil Serisi No:5. 2. Basım 1997.

29. Nikiforov Y, Gnepp DR, Fagin JA. Thyroid lesions in children and adolescents after the Chernobly disaster: implications for the study of radiation tumorigenesis. *J Clin Endocrinol Metab.* 1996; 81: 9-14.
30. Nikiforov Y, Gnepp DR. Pediatric thyroid cancer after the Chernobly disaster. Pathomorphologic study of 84 cases (1991-1992) from the Republic of Belarus. *Cancer* 1994;15(74):748-66.
31. Nikiforov YE. Radiation-induced throid cancer: what we have learned from Chernobly. *Endocr Pathol.* 2006;17:307-17.
32. Ron E. Cancer Risks From Medical Radiation. *Health Phys.* 2003;85(1):47–59.
33. Clemons M, Loijens L, Goss P. Breast cancer risk following irradiation for Hodgkin's disease *Cancer Treat Rev.* 2000 Aug;26(4):291-302.
34. Doody MM, Lonstein JE, Stovall M, et al. Breast cancer mortality after diagnostic radiography: findings from the U.S. Scoliosis Cohort Study. *Spine.* 2000 Aug 15;25(16):2052-63.
35. Ronckers CM, Doody MM, Lonstein JE, et al. Multiple diagnostic X-rays for spine deformities and risk of breast cancer. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 2008 Mar;17(3):605-613.
36. Boice JD Jr, Preston DL, Davis FG, et al. Frequent chest x-ray fluoroscopy and breast cancer incidence among tuberculosis patients in in Massachusetts *Radiat Res.* 1991;125:214-222.
37. Howe GR, McLaughlin J. Breast cancer mortality between 1950 and 1987 after exposure to fractionated moderatedose-rate ionizing radiation in the Canadian fluoroscopy cohort study and a comparison with breast cancer mortality in the atomic-bomb survivors study *Radiat Res.* 1996;145:694-707.
38. Diederich S, Lenzen H. Radiation Exposure Associated with Imaging of the Chest: Comparison of Different Radiographic and Computed Tomography Techniques. *Cancer.* 2000 Dec 1; 89(11 Suppl): 2457-60.
39. Goske MJ, Applegate KE, Boylan J, et al. The ‘Image Genty’ campaign: increasing CT radiation dose awarenes throught a national education and awareness program. *Pediatr Radiol* 2008; 38: 265-269.
40. European Commission. Radiation Protection 118 Update Mars 2008 Referral Guidelines For Images. Final Report to the European Commission for Grant

Agreement SUBV99/134996; Luxembourg 2007.

41. Brody AS, Frush DP, Huda Walter, Brent RL and Section on Radiology. Radiation risk to children from computed tomography. *Pediatrics* 2007;120:677-682.
42. Grenier PA, Beigelman AC, Fetita C, et al. New frontiers in CT imaging of airway disease. *Eur Radiol* 2002; 12: 1022–1044.
43. Hu H, He HD, Foley WD, Fox SH. Four multidedector-row helical CT: image quality and volume coverage speed. *Radiology* 2000; 215: 55–62.
44. Wintermark M, Poletti PA, Becker CD, et al. Traumatic injuries: organization and ergonomics of imaging in the emergency environment. *Eur Radiol* 2002; 12: 959–968.
45. McCollough HC, Bruesewitz RM, Kofler JM. CT Dose Reduction and Dose Management Tools: Overview of Available Options *RadioGraphics* 2006; 26: 503–512.
46. Slovis TL. The ALARA Concept in Pediatric CT: Myth or Reality? *Radiology* 2002; 223: 5–6.
47. Arslanoğlu A, Bilgin S, Kubalı Z, et al. Radyolojik görüntüleme yöntemleri sırasında hastaların maruz kaldıkları iyonizan radyasyon dozu hakkında doktor ve intern doktorların bilgi düzeyi. *Diagn Interv Radiol* 2007; 13: 53-55.
48. Heyer CM, Peters S, Lemburg S, et al. Einschätzung der strahlenbelastung radiologischer thorax- verfahren: was ist nichtradiologen bekannt? *Fortschr Röntgenstr* 2007; 179: 261-267.
49. Lee CI, Haims AH, Monico EP, et al. Diagnostic CT scans: assessment of patient, physician, and radiologist awareness of radiation dose and possible risks. *Radiology* 2004; 231: 393-398.
50. Jacob K, Vivian G, Steel JR. X- ray dose training: are we exposed to enough? *Clinical Radiology* 2004; 59: 928-934.
51. Rice HE, Frush DP, Harker MJ, et al. Peer assessment of pediatric surgeons for potential risks of radiation exposure from computed tomography scans. *Journal of pediatric surgery* 2007; 42: 1157-1164.

52. Gümüş C, Cankorkmaz L, Erkoç MF, et al. Turkish pediatric surgeons knowledge on the radiation exposure of patients during diagnostic imaging. *Türkiye klinikleri J Med Sci* 2008; 28: 623-627.
53. Shiralkar S, Rennie A, Snow M, et al. Doctors' knowledge of radiation exposure: questionnaire study. *BMJ* 2003; 327: 371-372.
54. Soye JA, Paterson A. A survey of radiation dose among health professionals in Northern Ireland. *BJR* 2008; 81: 725-729.
55. Quinn AD, Taylor CG, Sabharwal T, et al. Radiation protection awareness in non-radiologists. *The British Journal of Radiology* 1997; 70: 102-106.
56. Cascade PN, Webster EW, Kazerooni EA. Ineffective Use of Radiology: The Hidden Cost. *AJR* 1998; 170: 561-564.
57. Huda W, Vance A. Patient radiation doses from adult and pediatric CT. *AJR* 2007; 188: 540-546.
58. Brenner DJ, Elliston C D. Estimated radiation risks potentially associated with full-body CT Screening. *Radiology* 2004; 232: 735-738.
59. Serhatlıoğlu S, Ozan AT, Gürsu F, et al. İyonizan radyasyonun radyoloji çalışanlarının bağışıklık düzeyleri ve kan biyokimyası üzerine etkileri. *Tanısal ve girişimsel radyoloji* 2004; 10: 97-102.
60. Lautin EM, Novick MK, Bopstiste RJ. Tailored CT: primum non nocere. *BJR* 2008; 81: 442-443.
61. Brenner DJ, Doll R, Goodhead D, et al. Cancer risks attributable to low doses of ionizing radiation: Assessing what we really know. *PNAS* 2003 vol:100, no24; 13761-13766.
62. Scanff P, Donadieu J, Pirard P, et al. Population exposure to ionizing radiation from medical examinations in France. *BJR* 2008; 81: 204-213.
63. Huda W. Radiation doses and risks in chest computed tomography examinations. *Proc Am Thorac Soc* 2007; 4: 316-320.
64. Cohen BL. Cancer risk from low-level radiation. *AJR* 2002;179: 1137-1143.
65. National Research Council. Health effects of exposure to low levels of ionizing radiation (BEIR-Biologic effects of ionizing radiation-V). Washington DC: National Academy Press;1990.

66. National Research Council. Health effects of exposure to low levels of ionizing radiation (BEIR-Biologic effects of ionizing radiation-VII). Washington DC: National Academy Press;2001.
67. Wang JX, Zhang LA, Li BX, et al. Cancer Incidence and Risk Estimation Among Medical X-Ray Workers in China, 1950–1995 *Health Physics* 2002; 82,(4): 455-466.
68. Lee CI, Forman H.P. CT Screening for Lung Cancer: Implications on Social Responsibility *AJR* 2007; 188: 297–298.
69. Lee CI, Flaster HV, Haims AH, et al. Diagnostic CT Scans: Institutional Informed Consent Guidelines and Practices at Academic Medical Centers *AJR* 2006; 187: 282-287.
70. De Jong PA, Mayo JR, Golmohammadi K, et al. Estimation of Cancer Mortality Associated with Repetitive Computed Tomography Scanning *Am J Respir Crit Care Med* 2006; 173: 199–203.
71. Rogers LF. Radiation Exposure in CT: Why So High? *AJR* 2001; 177: 277.
72. Brenner DJ. Radiation Risks Potentially Associated with Low-Dose CT Screening of Adult Smokers for Lung Cancer. *Radiology* 2004; 231: 440–445.
73. European Union. Council directive 97/43/Euratom of 30 June 1997 on health protection of individuals against the dangers of ionising radiation in relation to medical exposure and repealing directive 84/866/Euratom. Luxembourg 1997.
74. Rice HE, Frush DP, Farmer D, et al. Review of radiation risks from computed tomography: essentials for the pediatric surgeon. *Journal of pediatric surgery* 2007; 42: 603-607.
75. Frush DP, Donnely LF, Rosen NS. Computed tomography and radiation risks: What pediatric health care providers should know. *Pediatrics* 2003;112:951-957.
76. Sadetzki S. Excess lifetime cancer mortality risk attributed to radiation exposure from pediatric computed tomography scan. *IMAJ* 2007; 9: 607-609.
77. Lucaya J, Piguerras J, Pena PG, et al. Low-dose high-resolution CT of the chest in children and young adults: Dose cooperation, artifact incidence and image quality. *AJR* 2000; 175: 985-992.
78. Linton OW, Mettler FA. National conference on dose reduction in CT, with an emphasis on pediatric patients. *AJR* 2003; 181: 321-329.

79. Gonzalez AB, Samet JM. What are the cancer risks from using chest computed tomography to manage cystic fibrosis? *AJM* 2006; 173: 139-140.
80. FDA Public Health Notification: Reducing radiation risk from computed tomography for pediatric and small adult patients. *Pediatr Radiol* 2002; 32: 314–316.
81. Gelfand M.J, Lemen L.C. PET/CT and SPECT/CT Dosimetry in in Children: The Challenge to the Pediatric Imager. *Semin Nucl Med.* 2007; 37(5): 391-398.
82. Petterson HBL, Falth-Magnusson K, Persliden J, et al. Radiation risk and cost-benefit analysis of a paediatric radiology procedure: results from a national study. *BJR* 2005; 78: 34-38.
83. Kalra MK, Prasad S, Saini S, et.al. Clinical comparison of standad-dose and 50% reduced-dose abdominal CT: Effect on image quality. *AJR* 2002; 179: 1101-1106.
84. Kalra MK, Maher MM, Toth TL, et al. Strategies for CT radiation dose optimization. *Radiology* 2004; 230: 619-628.
85. Prasad SR, Wittram C, Shepard JA, et al. Standard- dose and 50%-reduced-dose chest CT: Comparing the effect on image quality. *AJR* 2002; 179: 461-465.
86. Yentür EA, Bayındır P, Pabuşçu Y. Girişimsel ağrı tedavisinde radyasyon güvenliği *Ağrı*; 2006; 18(2): 15-22.
87. Livingstone RS, Eapen A, Dip NB, Hubert N. Achieving reduced radiation doses for CT examination of the brain using optimal exposure parameters *Ind J Radiol Imaj* 2006; 16(2): 247-251.
88. Coren ME, Ng V, Rubens M, et al. The value of ultrafast computed tomography in the investigation of pediatric chest disease, *Pediatr Pulmonol* 1998; 26: 389-395.



## 8. EK

Araştırma Görevlilerinin Radyolojik Görüntüleme Yöntemlerinde Hastaların Maruz Kaldıkları İyonizan Radyasyon Dozları ve Kanser Riskine İlişkin Farkındalığı Anket Formu

1. Yaşınız.....

2. Cinsiyetiniz;                      1. Erkek                                      2. Kadın

3. Çalıştığınız Anabilim Dalı; .....

4. Tıp Fakültesinden mezuniyet yılınız?.....

5. Araştırma görevlisi olarak çalışma süreniz .....yıl

6. Tanısal radyolojide iyonizan radyasyon kullanılan görüntüleme yöntemleriyle hastaların maruz kaldıkları radyasyon dozları ve radyasyonun olası riskleri hakkında eğitim aldınız mı?

1) Hayır

2) Evet

7. Cevabınız evet ise nerede eğitim aldınız?

1) Tıp Fakültesinde

2) Uzmanlık eğitimi sırasında

3) Diğer(açıklayınız).....

8. Tanısal radyolojide iyonizan radyasyon kullanılan görüntüleme yöntemleriyle hastaların maruz kaldıkları radyasyon dozları ve radyasyonun olası riskleri hakkında eğitim verilmeli mi?

1) Hayır

2) Evet

9. Cevabınız evet ise, ne zaman eğitim vermeli?

1) Tıp eğitimi sırasında

2) Uzmanlık eğitimi sırasında

3) Uzmanlık eğitimi sonrasında

4) Diğer(açıklayınız).....

10. Radyolojik tetkikleri isterken tercih önceliğiniz nedir?

- 1) Maliyet
- 2) Erişim kolaylığı
- 3) Radyasyon içerip içermemesi
- 4) Algoritm
- 5) Diğer (açıklayınız).....

11. Bir posteroanterior (PA) akciğer grafisinde hastanın maruz kaldığı radyasyon miktarı milisievert cinsinden sizce ne kadardır?

- 1) 0.02 mSv
- 2) 0.2 mSv
- 3) 2 mSv
- 4) 20 mSv
- 5) Fikrim yok

12. En sık istediğiniz direkt grafi yöntemi hangisidir?

- 1) AC grafisi
- 2) Ayakta direkt batın grafisi
- 3) Yatarak direkt batın grafisi (DÜSG)
- 4) İki yönlü kafa grafisi
- 5) Waters grafisi
- 6) İki yönlü lomber
- 7) İki yönlü servikal
- 8) İki yönlü eklem(diz vb)
- 9) Pelvis grafisi
- 10) Diğer(.....)

13. En sık istediğiniz direkt grafi tetkiki, hastanın maruz kaldığı radyasyon dozu açısından bir PA akciğer grafisiyle kıyaslandığında ne kadar radyasyon içermektedir?

- 1) daha az
- 2) eşit
- 3) daha fazla

14. En sık istediğiniz BT tetkiki hangisidir?

- 1) Beyin BT
- 2) Toraks BT
- 3) Abdomen BT
- 4) Pelvik BT
- 5) Abdominopelvik BT
- 6) Paranasal sinüs BT
- 7) Boyun BT
- 8) Extremitte BT
- 9) Vertebra BT
- 10) Diğer(.....)

15. En sık istediğiniz BT tetkiki, hastanın maruz kaldığı radyasyon dozu açısından bir PA akciğer grafisiyle kıyaslandığında ne kadar radyasyon içermektedir?

- 1) daha az
- 2) eşit
- 3) daha fazla

16. BT çekimi öncesi hastaya, ne kadar radyasyon alacağı ve radyasyonun olası riskleri konusunda bilgi veriyor musunuz?

- 1) Hayır
- 2) Evet
- 3) Diğer(.....)

17. Aşağıdaki tetkikler hastanın maruz kaldığı radyasyon dozu açısından bir PA akciğer grafisiyle kıyaslandığında ne kadar radyasyon içermektedir?

	Fikrim yok	İyonizan radyasyon içermez	Daha az	Eşit	2-5 kat	10-20 kat	50-200 kat	300 kat ve üstü
Beyin BT								
Abdomen BT								
Toraks BT								
USG								
MRG								
2 yönlü Lomber Grafi								
IVP								
Tiroid Sintigrafisi								

18. Bir kişinin maruz kaldığı ortalama yıllık doğal radyasyon dozu ile bir **abdomen BT** tetkikinde maruz kalınan radyasyon dozu kıyaslanırsa, ortalama doğal radyasyon dozuna göre bir abdomen BT tetkikinde ne kadar radyasyona maruz kalınır?

- 1) Fikrim yok
- 2) eşit
- 3) 6 aylık
- 4) 2 yıllık
- 5) 4 yıllık

**19.** Bir **beyin BT** tetkikinde yaşam boyu kanser geliştirme riski konusunda araştırmalar yapılmıştır. Sizce böyle bir risk var mı, varsa ne kadar?

- 1) Fikrim yok
- 2) Risk yok
- 3) 1/1000-5000
- 4) 1/10000-100000
- 5) 1/200000-500000

**20.** Bir **abdomen BT** tetkikinde yaşam boyu kanser geliştirme riski konusunda araştırmalar yapılmıştır. Sizce böyle bir risk var mı, varsa ne kadar?

- 1) Fikrim yok
- 2) Risk yok
- 3) 1/1000-10000
- 4) 1/20000-50000
- 5) 1/50000-100000

**21.** Yetişkin ve çocuklarda uygulanan BT incelemelerinde çekim parametrelerinde farklılık var mıdır?

- 1) Hayır
- 2) Evet

**22.** Aynı inceleme bölgesi için yapılan BT tetkiklerinde yetişkin BT tetkiki ile doz ayarlaması yapılmış optimal görüntü kalitesinde bir pediatrik BT incelemesi karşılaştırıldığında maruz kalınan radyasyon dozu açısından efektif doz oranında yaklaşık % kaç azalma olur?

- 1) %5
- 2) %10
- 3) %25
- 4) %50