

# RADYASYON GÜVENLİĞİ

Radyasyon Güvenliğı  
Çalışma Kitapçığı

## İÇİNDEKİLER

1. RADYASYON VE TEMEL KAVRAMLAR.....	6
1.1. RADYASYON NEDİR? .....	6
1.2. RADYASYON SPEKTRUMU (ELEKTROMANYETİK SPEKTRUM).....	7
1.3. ELEKTROMANYETİK RADYASYONUN (IŞIMALARIN) ORTAK ÖZELLİKLERİ.....	7
1.4. ELEKTROMANYETİK SPEKTRUM GENİŞLİĞİ.....	8
1.5. RADYASYON ÇEŞİTLERİ.....	9
1.5.1. İYONLAŞTIRICI RADYASYON.....	9
1.5.1.1. İYONLAŞTIRICI RADYASYON ÇEŞİTLERİ.....	10
1.5.1.1.1. X IŞINLARI .....	10
1.5.1.1.2. GAMA IŞINLARI.....	10
1.5.1.1.3. ALFA PARÇACIĞI.....	11
1.5.1.1.4. BETA PARÇACIĞI.....	14
1.5.2. İYONLAŞTIRICI OLMAYAN RADYASYON .....	15
1.5.2.1. İYONLAŞTIRICI OLMAYAN RADYASYON TÜRLERİ.....	16
1.5.2.1.1. YAKIN ULTRAVİYOLE RADYASYONU .....	16
1.5.2.1.2. GÖRÜNÜR IŞIK.....	17
1.5.2.1.3. KIZIL ÖTESİ .....	17
1.5.2.1.4. MİKRODALGA.....	17
1.5.2.1.5. RADYO DALGALARI.....	18
1.5.2.1.6. ÇOK DÜŞÜK FREKANS (VLF).....	18
1.5.2.1.7. AŞIRI DÜŞÜK FREKANS ( ELF) .....	18
1.5.2.1.8. TERMAL RADYASYON.....	18
1.6. RADYASYON KAYNAKLARI .....	19
1.6.1. DOĞAL RADYASYON KAYNAKLARI.....	19
1.6.1.1. KOZMİK RADYASYON .....	19
1.6.1.2. KARASAL RADYASYON .....	20
1.6.1.3. SOLUNAN RADYASYON.....	20
1.6.1.4. YİYECEKLERDEN ALINAN RADYASYON .....	21
1.6.2. YAPAY RADYASYON KAYNAKLARI.....	21
1.7. RADYASYON ÖLÇÜM BİRİMLERİ VE DÖNÜŞÜMLERİ.....	25
1.7.1. AKTİVİTE .....	26
1.7.2. IŞINLANMA DÜZEYİ.....	26
1.7.3. SOĞRULAN DOZ .....	27
1.7.4. DOZ EŞDEĞERİ (EŞDEĞER DOZ).....	27
1.7.5. KALİTE FAKTÖRÜ.....	28

1.7.6. DOKU VE ORGAN AĞIRLIK FAKTÖRLERİ.....	28
2. HASTANEDE RADYASYONLA ÇALIŞAN BÖLÜMLER VE CİHAZLAR .....	30
2.1. NÜKLEER TIP .....	30
2.1.1. NÜKLEER TIP NEDİR? .....	30
2.1.2 NÜKLEER TIP TARİHÇESİ.....	30
2.1.3. NÜKLEER TIPTA SIKLIKLA KULLANILAN TERMİNOLOJİK KAVRAMLAR .....	30
2.1.4. NÜKLEER TIBBIN KULLANIM ALANLARI .....	31
2.1.5. NÜKLEER TIP GÖRÜNTÜLEME YÖNTEMLERİ .....	32
2.1.6. NÜKLEER TIPTA KULLANILAN CİHAZLAR .....	32
2.1.6.1. GAMA KAMERA .....	32
2.1.6.1.1. GAMA KAMERA ÇALIŞMA PRENSİBİ.....	33
2.1.6.1.2. GAMA KAMERANIN TEMEL PARÇALARI.....	33
2.1.6.2. TEK FOTON EMİSYONLU BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ (SPECT) .....	34
2.1.6.2.1. SPECT CİHAZINDA GÖRÜNTÜ KALİTESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	34
2.1.6.3. POZİTRON EMİSYON TOMOGRAFİSİ (PET) .....	35
2.1.6.3.1. PET ÇALIŞMA PRENSİBİ .....	36
2.1.6.4. NÜKLEER TIPTA KULLANILAN HİBRİT CİHAZLAR.....	36
2.1.6.4.1. POZİTRON EMİSYON TOMOGRAFİSİ - BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ (PET-CT) ...	36
2.1.6.4.2. PET-CT KULLANIM ALANLARI.....	37
2.1.6.4.3. PET / MR.....	37
2.2. RADYOLOJİ.....	38
2.2.1. RADYOLOJİ NEDİR?.....	38
2.2.2. RADYOLOJİ TARİHÇESİ.....	38
2.2.3. RADYOLOJİ UZMANI / RADYOLOG NEDİR? .....	39
2.2.5. X – IŞINLARI .....	40
2.2.5.1. X-IŞIN TÜPÜNÜN YAPISI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ .....	40
2.2.5.2. X-IŞINLARININ OLUŞUMU .....	45
2.2.5.2.1. TERMAL ENERJİ .....	46
2.2.5.3. KARAKTERİSTİK RADYASYON .....	46
2.2.5.4. GENEL RADYASYON .....	47
2.2.5.5. X-IŞIN ŞİDDETİ .....	47
2.2.5.6. X IŞINI TÜP AKIMI.....	47
2.2.5.7. TÜP POTANSİYELİ .....	48
2.2.5.8. TARGET MADDESİ .....	48
2.2.5.9. FİLTASYON .....	48
2.2.5.9.1. TÜP VOLTAJININ DALGA ŞEKLİ.....	48

2.2.5.10. X-IŞINI ÖZELLİKLERİ .....	48
2.2.6. RADYOLOJİ CİHAZLARI .....	49
2.2.6.1. X IŞINLARI KULLANAN RADYOLOJİ CİHAZLARI .....	49
2.2.6.1.1. RÖNTGEN .....	49
2.2.6.1.2. BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ .....	52
2.2.6.1.3. FLOROSKOPİ .....	54
2.2.6.1.4. ANJİYOĞRAFİ.....	55
2.2.6.1.5. C - KOLLU SKOPİ .....	56
2.2.6.1.6. MAMOGRAFİ .....	57
2.2.6.1.7. KEMİK DENSİTOMETRİ .....	57
2.2.6.2. X IŞINLARI KULLANMAYAN RADYOLOJİ CİHAZLARI .....	58
2.2.6.2.1 MANYETİK REZONANS GÖRÜNTÜLEME (MRG).....	58
2.2.6.2.2. ULTRASONOGRAFİ.....	59
2.3. RADYASYON ONKOLOJİSİ (RADYOTERAPİ) .....	60
2.3.1. RADYOTERAPİ UYGULAMA YÖNTEMLERİ.....	61
2.3.2. RADYOTERAPİDE KULLANILAN CİHAZLAR.....	61
2.3.2.1. COBALT 60 CİHAZI.....	61
2.3.2.2. LİNEER AKSELERATÖR (LINAC) .....	62
2.3.2.3. TOMOTERAPİ .....	63
3. RADYOGRAFİK ODALAR .....	64
3.1. RADYOGRAFİK ODA .....	64
3.1.1. İYONLAŞTIRICI RADYASYON KULLANILAN ODALARIN TESİSİNDE NDK TARAFINDAN BELİRLENEN ÖLÇÜTLER.....	64
3.1.2. RADYOLOJİDE KULLANILAN ODALARIN YERİ .....	65
3.1.3. RADYOLOJİDE KULLANILAN ODALARIN BÜYÜKLÜĞÜ .....	65
3.1.4. RADYOLOJİDE KULLANILAN ODALARIN TAVAN, TABAN VE DUVAR YAPISI .....	65
4. RADYASYON KAYNAKLARININ ZARARLARI.....	68
4.1. DOĞAL RADYASYONDAN KAYNAKLANAN ZARARLAR.....	68
4.1.1. KOZMİK RADYASYON VE ZARARLARI .....	68
4.1.2. YERSEL RADYASYON (YERKÜRE RADYASYONU).....	69
4.1.3. İÇSEL RADYASYON.....	70
4.2. RADON BİLİMSELLİĞİ .....	70
4.2.1. RADON GAZI KAYNAKLARI.....	70
4.2.2. RADONUN AZALTILMASINA YÖNELİK YAPILMASI GEREKENLER .....	72
4.3. YAPAY RADYASYON KAYNAKLARINDAN KAYNAKLANAN ZARARLAR.....	72
4.4. İYONLAŞTIRICI OLMAYAN RADYASYON ZARARLARI.....	73

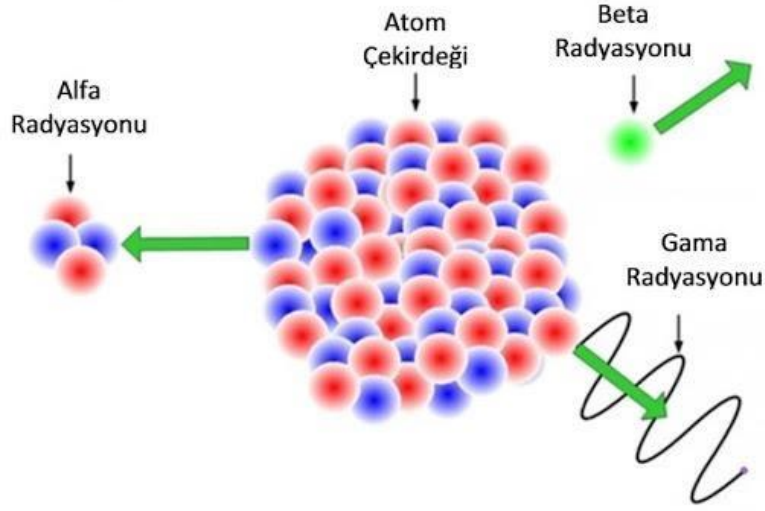
4.4.1. ULTRAVİYOLE IŞIN ZARARLARI .....	73
4.4.2. İNFRARED RADYASYON ZARARLARI .....	75
4.4.3. MİKRODALGA RADYASYON ZARARLARI.....	76
4.4.4. X (RÖNTGEN) IŞINLARI ZARARLARI.....	77
4.4.5. GAMA IŞINLARI ZARARLARI.....	77
4.4.6. ALFA IŞINLARI ZARARLARI.....	78
4.4.7. BETA IŞINLARI ZARARLARI.....	78
4.5. RADYASYONUN BİYOLOJİK ETKİSİ.....	78
4.5.1. ERKEN ETKİLER (AKUT IŞINLANMA ETKİLERİ) .....	78
4.5.2. GECİKMİŞ ETKİLER (KRONİK IŞINLANMA ETKİLERİ).....	80
4.5.3. DOĞRUDAN ETKİLER .....	81
4.5.4. DOLAYLI ETKİLER.....	82
4.6. RADYASYON DOZLARININ ZARARLARI.....	82
5. RADYASYON ALANLARINDA KORUNMA VE GÜVENLİK .....	86
5.1. RADYASYON ALANLARINDA KORUNMA .....	87
5.1.1. ZAMAN KAVRAMI .....	89
5.1.2. UZAKLIK KAVRAMI .....	89
5.1.3. ZIRHLAMA KAVRAMI.....	90
5.2. RADYASYON ALANLARININ SINIFLANDIRILMASI.....	91
5.2.1. DENETİMLİ ALANLAR .....	91
5.2.2. GÖZETİMLİ ALANLAR .....	91
5.3. RADYASYONDA GÜVENLİK ÖNLEMLERİ.....	92
5.4. RADYASYONDA GÜVENLİK İŞARETLERİ.....	93
5.5. RADYASYONLA ÇALIŞANLARIN SORUMLULUKLARI .....	94
5.6. RADYASYON RİSK GRUPLARI.....	95
5.7. RADYASYONDAN KORUNMA KİŞİSEL DONANIMLAR.....	96
5.7.1. KURŞUNLU ÖNLÜKLER.....	96
5.7.2. BOYUN KORUYUCULAR .....	96
5.7.3. KURŞUNLU GÖZLÜKLER .....	96
5.7.4. KURŞUNLU ELDİVENLER .....	97
5.7.5. KURŞUNLU PARAVANLAR .....	97
6. RADYOLOJİDE PERSONEL VE HASTA GÜVENLİĞİ.....	98
6.1. RADYASYON PERSONELLERİ.....	98
6.1.1. İLK MÜDAHALE İÇİN GEREKLİ PERSONEL .....	98
6.1.2. İLERİ BAKIM VE TEDAVİ İÇİN GEREKLİ PERSONEL .....	99
6.1.3. PERSONELİN GÜVENLİĞİ.....	100

6.1.3.1. MÜSAADE EDİLEN YILLIK DOZ SINIRLARI.....	100
6.1.3.2. KİŞİSEL DOZİMETRE ZORUNLULUĞU .....	100
6.1.3.3. KORUYUCU GİYSİ VE TEÇHİZAT .....	100
6.1.4. ACİL DURUM MÜDAHALE EKİBİNİN (ADME) HAZIRLIĞI.....	101
6.2. HASTA GÜVENLİĞİ.....	102
6.2.1. GEBE VE GEBELİK ŞÜPHESİ OLANLAR .....	102
6.2.2. ÇOCUK HASTALARDA RADYASYON GÜVENLİĞİ .....	103
6.3. HASTA KABULÜ .....	104
7. RADYASYON ÖLÇÜM TEKNİKLERİ VE İZLEME .....	106
7.1. RADYASYON ÖLÇÜM CİHAZLARI (RADYASYON DEDEKTÖRLERİ) .....	106
7.2. RADYASYON ÖLÇÜM CİHAZLARININ GENEL ÖZELLİKLERİ .....	106
7.3. DEDEKTÖRLERDE KULLANILAN MODLAR .....	107
7.4. ÇALIŞMA PRENSİBİNE GÖRE RADYASYON DEDEKTÖRLERİ.....	107
7.5. DOZİMETRELER .....	109
7.5.1. DOĞRUDAN OKUNABİLEN (AKTİF) DOZİMETRELER .....	109
7.5.2. İŞLEMEN GEÇİRİLEREK OKUNABİLEN (PASİF) DOZİMETRELER.....	110
7.6. PERSONEL MONİTORİNGDE KULLANILAN CİHAZLAR.....	111
7.6.1. TLD DOZİMETRELERİ İZLEME.....	111
7.6.2. FİLM DOZİMETRELERİ İZLEME .....	112
7.6.3. EKZO-ELEKTRON DOZİMETRELERİ İZLEME .....	114
7.6.4. CAM DOZİMETRELERİ İZLEME .....	114
7.6.5. KİMYASAL DOZİMETRELER .....	115
7.6.6. ELEKTRONİK DOZİMETRELER .....	115
7.6.7. CEP (KALEM) DOZİMETRELERİ .....	115

## 1. RADYASYON VE TEMEL KAVRAMLAR

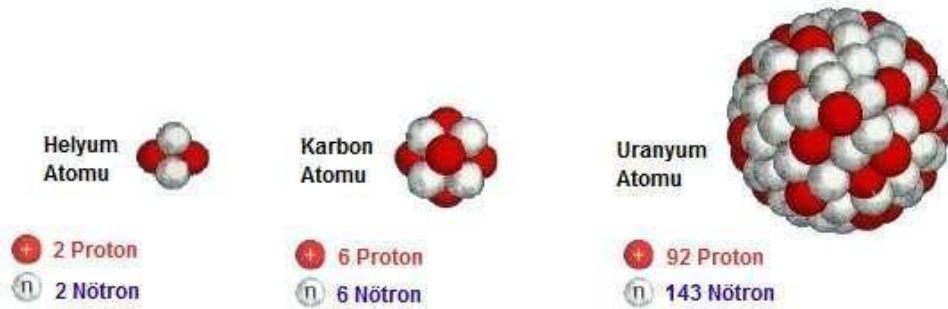
### 1.1. RADYASYON NEDİR?

Radyasyon veya ışıınım, elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar biçimindeki enerji yayımı ya da aktarımıdır. "Radyoaktif maddelerin alfa, beta, gama gibi ışıınları yaymasına" veya "Uzayda yayılan herhangi bir elektromanyetik ışıını meydana getiren unsurların tamamına" da radyasyon denir<sup>(14)</sup>. (Şekil 1)



Şekil 1: Alfa, Beta, Gama ışıınları<sup>(6)</sup>.

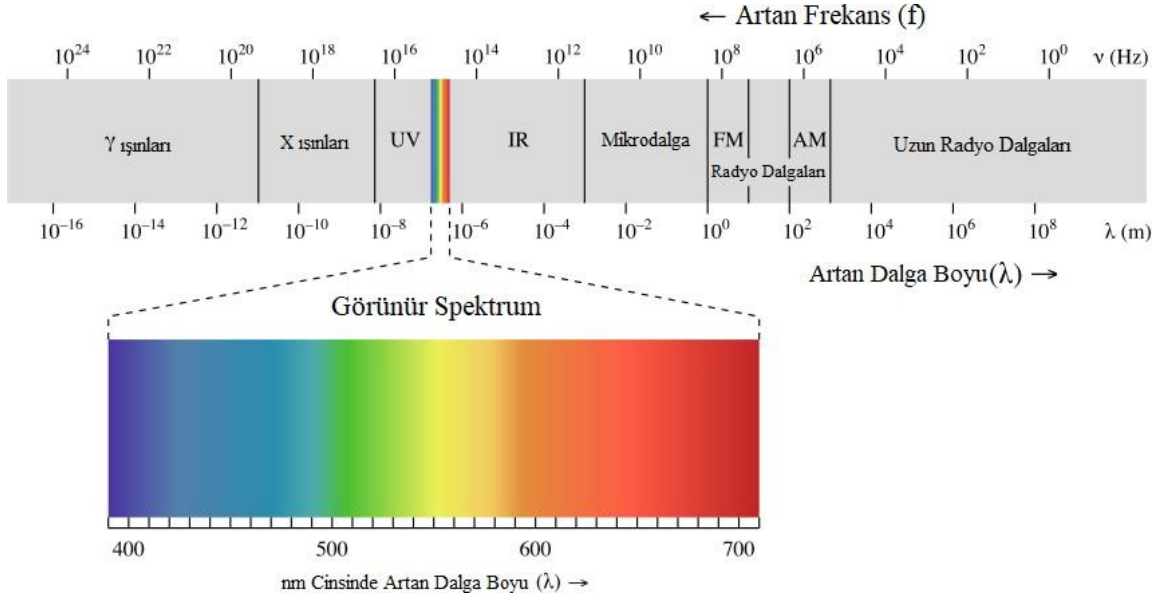
Bir elementin atom çekirdeğindeki nötronların sayısı, proton sayısına göre oldukça fazla veya oldukça az ise; bu tür elementler kararsız bir yapı göstermekte ve çekirdeğindeki nötronlar alfa, beta, gama gibi çeşitli ışıınlar yaymak suretiyle parçalanmaktadırlar. Bu kararsız yapıya örnek olarak gösterilebilecek radyoaktif bir element olan Uranyum'un proton, nötron sayıları ve atomik yapılarının radyoaktif olmayan farklı iki element ile karşılaştırılması Şekil 2'de görülebilir. Çevresine bu şekilde ışıın saçarak parçalanan maddelere radyoaktif madde denir<sup>(14)</sup>.



Şekil 2: Radyoaktif Uranyum elementi ve Helyum, Karbon elementleri<sup>(15)</sup>.

## 1.2. RADYASYON SPEKTRUMU (ELEKTROMANYETİK SPEKTRUM)

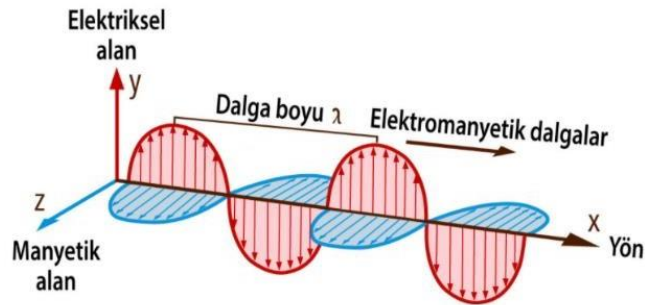
Elektromanyetik spektrum (EMS), evrenin herhangi bir yerinde fizik kurallarınca mümkün kılınan tüm elektromanyetik radyasyonu ve farklı ışıınım türevlerinin dalga boyları veya frekanslarına göre bu tayftaki rölatif yerlerini ifade eden ölçüttür. Herhangi bir cismin elektromanyetik tayfı veya spektrumu, o cisim tarafından çevresine yayılan karakteristik net elektromanyetik radyasyonu tabir eder (Şekil 3)<sup>(9)</sup>.



Şekil 3: Elektromanyetik Spektrum<sup>(8)</sup>

## 1.3. ELEKTROMANYETİK RADYASYONUN (IŞIMALARIN) ORTAK ÖZELLİKLERİ

- Birbirine dik elektrik ve manyetik alandan oluşurlar<sup>(7)</sup>. (Şekil 4)



Şekil 4: Elektriksel ve manyetik alan ile elektromanyetik dalga oluşumu<sup>(2)</sup>.

- Boşlukta düz bir doğrultuda yayılırlar<sup>(7)</sup>.
- Hızları ışık hızına ( $2,99792458 \times 10^8$  m/s) eşittir<sup>(7)</sup>.



- Geçtikleri ortama; frekanslarıyla doğru orantılı, dalga boylarıyla ters orantılı olmak üzere enerji aktarırlar<sup>(7)</sup>.
- Enerjileri; maddeyi geçerken, yutulma ve saçılma nedeniyle azalır, boşlukta ise uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak azalır<sup>(7)</sup>.

#### 1.4. ELEKTROMANYETİK SPEKTRUM GENİŞLİĞİ

Elektromanyetik tayf binlerce kilometreden, atom altı uzunluklara kadar geniş bir yelpazedeki dalga boylarında ışıınımları kapsar. Elektromanyetik radyasyon Şekil 3'te görüldüğü üzere başlıca yedi kategoride incelenir. Bunlar düşük frekanstan yüksek frekansa doğru radyo dalgaları, mikrodalga, kızıl ötesi, görünür ışık, mor ötesi(UV), X-ışınları ve Gama ışınlarıdır.

Boşlukta, belirli bir dalga boyundaki ( $\lambda$ ) elektromanyetik enerjinin bu dalga boyu ile orantılı bir frekansı ( $f$ ) ve foton enerjisi ( $E$ ) bulunmaktadır. Bu yüzden elektromanyetik tayf bu üç değerden herhangi biri kullanılarak ifade edilebilir. Değerler birbirine aşağıdaki formüller ile bağlıdır:

$$c = \text{frekans} \times \text{dalga boyu}$$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$E = h \times f$$

$$E = \frac{h \times c}{\lambda}$$

Burada;

$$c = 299.792.458 \text{ m/s (ışık hızı)}$$

$$h \approx 6.626069.10^{-29} \text{ J.s} \approx 4.13567 \text{ } \mu\text{eV/GHz (Planck sabiti)}$$

Buna göre;

- Yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar yüksek enerjiye ancak kısa dalga boyuna,
- Düşük frekanslı elektromanyetik dalgalar ise düşük enerjiye ancak uzun dalga boyuna sahiptir.

Görünür ışık veya başka bir elektromanyetik türü belli bir madde içerisinde yaratılır veya içerisinde geçerse (*örneğin atmosfer*), bu ışıının dalga boyu artacak, dolayısıyla frekansı düşecektir. Bu

değişiklikten dolayı, ışınlamaların elektromanyetik tayf değerleri ile ilgili rakamsal bilgiler verilirken genellikle söz konusu ışınlamalar uzaydaki (*boşluk*) sayısal değerleri ile ifade edilir.

**Örnek Soru 1:** Işığın boşluktaki hızı  $3 \times 10^8$  m/s' dir. Dalga boyu 10 cm olan ışığın frekansı kaç Hz' dir?<sup>(1)</sup>

**Çözüm:** Işık hızı frekansa ve dalga boyun  $c = \lambda \times f$  formülü ile bağlıdır.

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{(3 \times 10^8) \text{ m/s}}{(10 \times 10^{-2}) \text{ m}} = 3 \times 10^9 \text{ Hz}$$

Elektromanyetik spektrum içerisinde insan gözünün algılayabildiği 400 ile 700 nm'lik dalga boyları arasındaki görünür ışık bandı dışındaki diğer ışınlamalar aralıkları spektroskopi ile algılanabilir. Normal bir laboratuvar spektroskobu 2 ile 2500 nm arasındaki dalga boylarını kolayca algılayabilir. Cisimlerin, gazların ve hatta yıldız ve galaksilerin fiziksel özellikleri ile ilgili birçok veri, bunlardan yayılan elektromanyetik ışınlamaların bir spektroskop yardımıyla analiz edilerek öğrenilebilir. Örneğin hidrojen atomları 21,12 cm'lik dalga boyunda spesifik bir radyo dalgası yayar. Söz konusu ışınlamalar algılandığında, mesela uzak bir gezegenin atmosferinde hidrojen gazı da bulunduğu anlaşılabilir. Bu, teknik astrofizik araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

## 1.5. RADYASYON ÇEŞİTLERİ

### 1.5.1. İYONLAŞTIRICI RADYASYON

İyonlaştırıcı radyasyon, iyonlaşabilen atomlardan veya iyonlaşabilen moleküllerden elektron koparmak için yeterli enerji taşıyan kuantumlara sahip olan herhangi bir elektromanyetik radyasyon türüdür<sup>(19)</sup>.

İyonlaştırıcı radyasyonun farklı türlerinin farklı biyolojik etkileri gözlemlenmiştir ve zararlar verebilirler. İyonlaşma derecesi ve niteliği, onların sayısına (yoğunluk) ve taneciklerin (fotonlar dahil olmak üzere) her birinin enerjilerine bağlıdır. Genel olarak, ne olursa olsun şiddeti, yaklaşık 10 elektron volt (eV) ve daha yüksek enerjili tanecikler veya fotonlar, iyonlaştırabilir olarak kabul edilir. Bu enerji, elektromanyetik dalgalar halinde yayılan yüksek frekanslı ultraviyole ışınlarında ve ötesinde (X-ışınları ve gama ışınları) bulunur. Ancak, bu iyonlaştırıcı radyasyonlar Dünya'nın atmosferi tarafından filtre edilir<sup>(19)</sup>.

İyonlaştırıcı radyasyona örnekler: X-ışınları, gama ışınları, alfa ve beta radyasyonları, kozmik ışınlar, nötronlar...<sup>(19)</sup> dır.

### 1.5.1.1. İYONLAŞTIRICI RADYASYON ÇEŞİTLERİ

#### 1.5.1.1.1. X IŞINLARI

X ışınları diğer adıyla Röntgen ışınları, 0,125 ile 125 keV enerji aralığında ve buna karşılık, dalgaboyu 10 ile 0,01 nm ( $10^{-9}$  ile  $10^{-11}$  cm) aralığında olan elektromanyetik dalga veya foton demetidir. 30 ile 30.000 PHz ( $10^{15}$  hertz) aralığındaki titreşim sayısı aralığına eşdeğerdir. X ışınları özellikle tıpta tanısal amaçlarla kullanılmaktadırlar. İyonlaştırıcı radyasyon sınıfına dahil olduklarından zararlı olabilirler. X ışınları 1895'te Wilhelm Conrad Röntgen tarafından, Crookes tüpü (Hittorf veya Lenard tüpleri) ile yaptığı deneyler sonucunda keşfedilmiştir. Röntgen X ışınlarını “bilinmeyen” anlamında kullanmıştır. X-ışınları aynı görünür ışık gibi bir elektromanyetik dalga olup, görünür ışıktan farkı düşük dalga boyu, dolayısıyla yüksek frekansları ve enerjileridir. Mor ve ötesinin ötesidir. X ışınlarının ötesi ise Gama ışınlarıdır.<sup>(51,65,66,130)</sup>.

X ışınların, elektromanyetik dalga kimliğinde oldukları ve kutuplanma özelliği taşıdığı ilk olarak Charles Glover Barkla (1906) tarafından kanıtlanmıştır. X-ışınları demeti; karbon, alüminyum, ve kükürt bloklarından oluşan bir saçıcı ortama gönderilmektedir. Saıcı ortamın elektronları, üzerine gelen X ışınlarının elektrik alan vektörünün etkisiyle titreşerek aynı frekansta elektromanyetik dalgalar yayınlamaktadır. X ışınları xy düzleminde paralel elektrik alan vektörü bulundurmaz. Ox doğrultusunda saçılmaya başlayan X ışınları yalnızca Oy doğrultusunda titreşen elektrik alan vektörüne sahiptir ve böylelikle kutuplanmıştır<sup>(19)</sup>.

#### 1.5.1.1.2. GAMA IŞINLARI

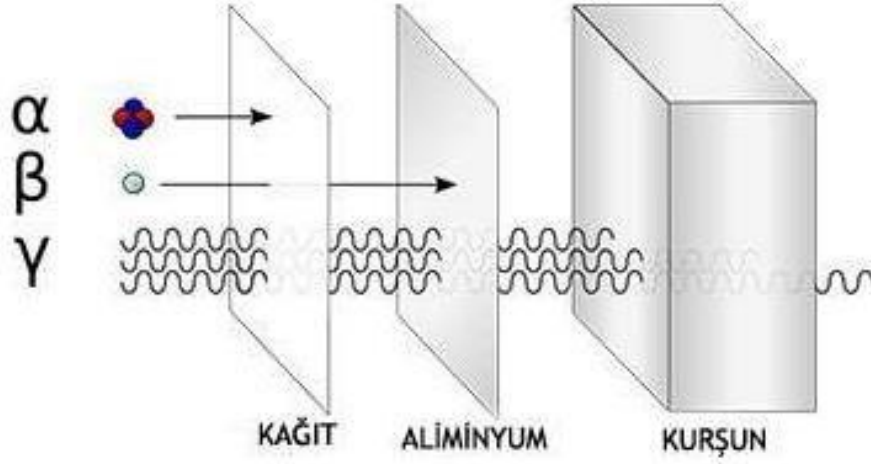
Gama ışını veya gama ışıması (simge: Modern Yunanca:  $\gamma$ ), atom altı parçacıkların etkileşiminden kaynaklanan, belirli bir titreşim sayısına sahip elektromanyetik ışıdır; genelde uzayda gerçekleşen çekirdeksel tepkimelerin sonucunda üretilirler. X ışınlarının ötesindedir. Gama ışınının ötesinde ise Beta ışınlarının olduğuna dair bilgiler olsa da, Beta parçacıkları elektron veya pozitron olup, elektromanyetik spektrumda değil, parçacık radyasyonu kategorisindedir <sup>(19,51,65,66,130)</sup>.

İlk defa, Paul Villard adlı Fransız kimyager-fizikçi, radyum ile çalışırken gama ışınlarını fark etti. Villard'ın fark ettiği bu ışınlar, Rutherford gama ışımasını adını vermiştir. Bu ışınlar atom çekirdeğinin enerji seviyelerindeki farklılıklardan meydana gelir. Çekirdek bir alfa veya bir beta parçacığı çıkarttıktan sonra genellikle kararlı bir durumda olmaz. Fazla kalan çekirdek enerjisi bir elektromanyetik radyasyon halinde yayınlanır.

Gama ışınları, diğer elektromanyetik ışınlar arasında, en yüksek frekansa ve en düşük dalga boyuna sahiptirler. Taşıdıkları enerji düzeyi nedeniyle yaşayan hücrelere önemli zarar verirler. Gama ve x ışınlarının, alfa ve beta parçacıklarına göre madde içine nüfuz etme kabiliyetleri çok daha fazla, iyonlaşmaya sebep olma etkileri ise çok daha azdır. İyonize etme gücünün daha düşük olması, onun kalın cisimlerden kolayca geçmesini sağlar. Gama ışını, birkaç santimetre kalınlığındaki kurşun

tuğlalarla ve sadece belli bir kısmı durdurulabilir. Madde içerisinde geçen üstel bir fonksiyon

şeklinde bir şiddet azalmasına uğrarlar. Yüksüz olduklarından elektrik ve manyetik alanda sapma göstermezler.



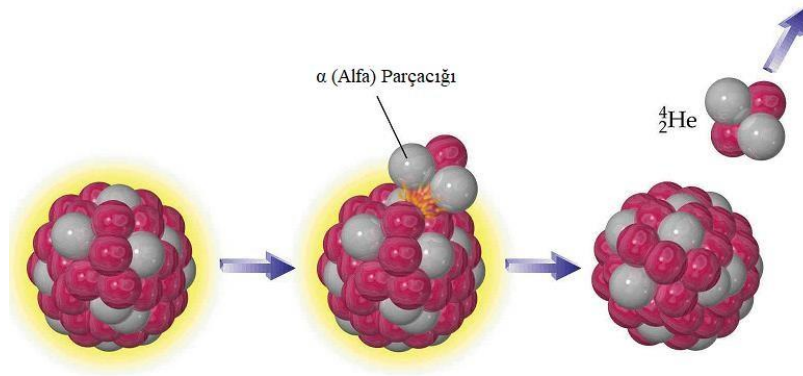
Şekil 5:  $\alpha$  (Alfa),  $\beta$  (Beta),  $\gamma$  (Gama) ışınlarının farklı maddelerden geçebilme güçleri<sup>(15)</sup>.

Kobalt-60'ın yaymış olduğu gama ışınları ve lineer hızlandırıcı ışınlar x-ışınlarına dönüştürülerek kanser tedavisinde kullanılmaktadır.

Bu ışın dokuya en yüksek şekilde radyasyon verirken dokuyu saran katmana en düşük dozu vererek bu hastalığın yenilmesine katkı sağlanabilmektedir.

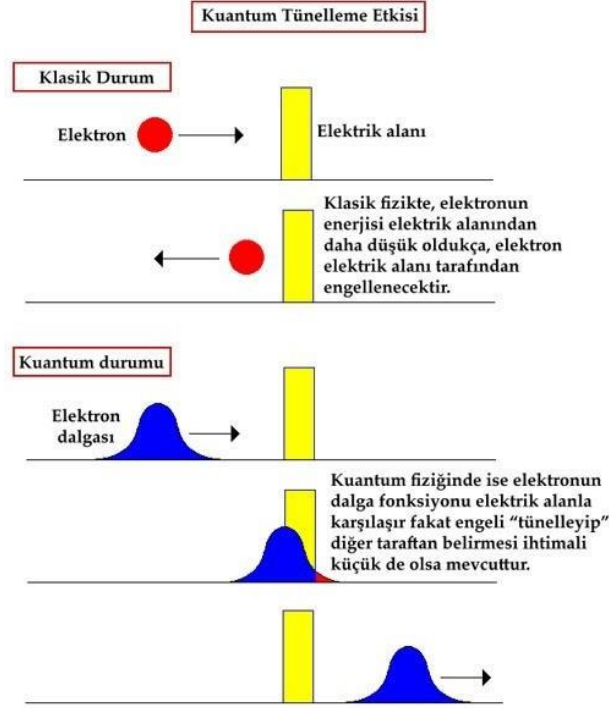
#### 1.5.1.1.3. ALFA PARÇACIĞI

Alfa parçacığı (alfa, Yunan alfabesindeki ilk harf ile gösterilir,  $\alpha$ ) parçacık ışınları arasında yüksek derecede iyonlaştırıcı bir ışın formudur. İki proton ve iki nötronun helyum çekirdeğine benzer bağları sebebiyle  $\text{He}^{2+}$  olarak da gösterilir. Alfa parçacığının kütlesi  $6.644656 \times 10^{-27}$  kg olup, 3.72738 GeV enerjiye denktir<sup>(19)</sup>.



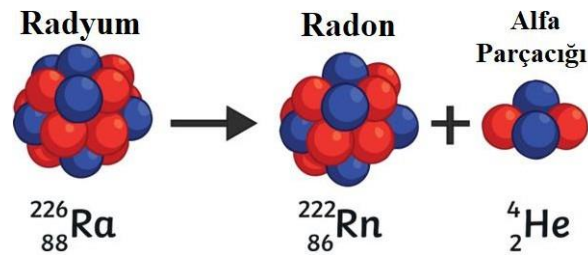
Şekil 6:  $\alpha$  (Alfa) parçacığı yada  $\text{He}^{2+}$  oluşumu<sup>(5)</sup>.

Alfa parçacığı, uranyum veya radyum gibi radyoaktif bir çekirdek tarafından "alfa ışıınımı" olarak da bilinen bir işlem ile yayılır. Bu işlem çoğu zaman çekirdeği uyarılmış halde bırakır ve çekirdek fazla enerjiyi atmak için gama ışıması yapar. Beta ışıının tersine alfa ışıına, yüksek çekirdek çekim gücü etki eder. Aslında, alfa taneciklerinin çekirdeğin potansiyelinden kopmaya yetecek kadar enerjisi yoktur ancak, kuantum tünellemesi durumu, çekirdeğin potansiyelinden kaçmalarına izin verir<sup>(51,65,66,130)</sup>.



Şekil 7: Kuantum Tünellemesi<sup>(11)</sup>

Bir alfa parçacığı ışıdığıında, 4 çekirdek parçacığının ayrılması sonucu, elementin atom kütlesi aşağı yukarı 4.0015 akb azalır. Atom numarası iki azalır, atom yeni bir element olur. Buna örnek olarak, Radyum elementinin alfa ışıması yaparak gaz olan Radon elementine dönüşmesi gösterilebilir.



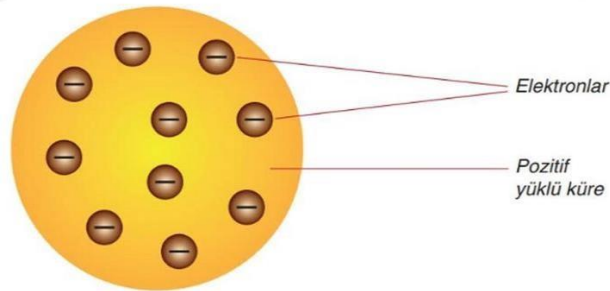
Şekil 8: Radyum elementinin alfa ışıması ile Radon elementine dönüşmesi<sup>(17)</sup>.

Alfa parçacıklarının enerjileri yayımlandıkları atomun büyüklüğüne bağlı olarak değişse de çoğu taneciğin enerjisi 3 ila 7 MeV arasında seyrederek. Bu, bir parçacık için yüksek bir enerji olsa da alfa parçacıklarının büyük kütleleri hızlarının yüksek olmasını engeller. Aslında hızları diğer radyoaktivite çeşitlerinden ( $\beta$  parçacıkları,  $\gamma$ -ışınları, nötrino, vs.) oldukça düşüktür. Yükleri ve büyük kütleleri sebebiyle alfa tanecikleri cisimler tarafından kolayca emilir ve havada sadece birkaç santimetre ilerleyebilir. Dokulu kâğıt ve insan derisinin dış tabakaları (yaklaşık 40 mikrometre ki bu birkaç hücre derinliğine eşittir) tarafından emilebilir ve kaynak yutulmaz veya solunmazsa sağlığa çok zararlı değildir. Bu büyük kütle ve emilebilirlik sebebiyle alfa ışınları vücuda girerlerse (kaynağın yutulması, solunması, vs.) iyonize edici radyasyonun en yıkıcı özelliklerini gösterirler. Yüksek dozlarda, radyasyon zehirlenmesinin bazı ya da tüm semptomlarının görülmesine sebebiyet verebilir. Alfa taneciğinin sebep olduğu kromozomal hasar, diğer radyasyon tiplerinin eşit dozlarda sebep oldukları hasardan yaklaşık 100 kat daha fazladır. Alfa ışınımı yapan polonyum-210 un sigara sebebiyle meydana gelen akciğer ve bağırsak kanserlerinde rol oynadığı tahmin ediliyor<sup>(19)</sup>.

Çoğu duman dedektörü, ufak bir miktar amerikyum-241 içerir ve bu izotop alfa ışınları yapar. Bu izotop eğer yutulur ya da solunursa yüksek derecede tehlikelidir ancak kaynak kapalı tutulursa bu zarar en az olur. Çoğu belediye eski duman dedektörlerinin normal çöplerle birlikte atılmak yerine toplanmasını sağlayan programlar yürütmektedir<sup>(18,51,65,130)</sup>.

Alfa tanecikleri doğal yayılmaları ve nükleer reaksiyonlarda rol oynayacak kadar enerji içermeleri, onları nükleer fiziğin ilk bilgi kaynaklarından yaptı<sup>(19)</sup>.

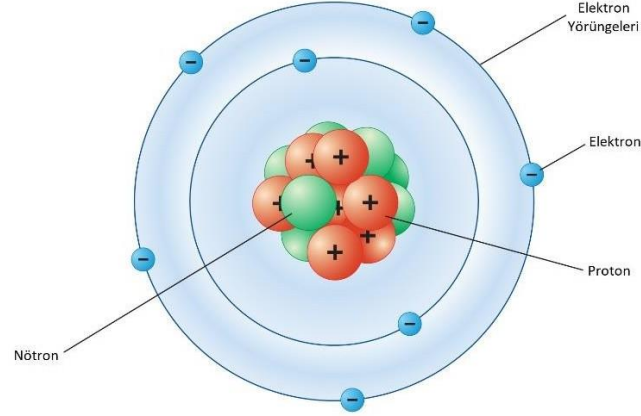
Fizikçi Ernest Rutherford, J.J.Thomson'un "üzümlü kek" atom modelinin kusurlu olduğunu göstermek için yaptığı deneyde, alfa taneciklerini ve bu tanecikler ile temas ettiği anda ışık veren altın bir folyo kullandı. Üzümlü kek atom modelinin doğru olduğunu varsayarak, pozitif yüklü alfa parçacıklarını altın yaprağa hedefledi<sup>(18,51,130)</sup>.



Şekil 9: Thomson (Üzümlü kek) atom modeli<sup>(12)</sup>.

Teorik olarak alfa tanecikleri az bir açı ile yansıyacaktı. Ancak bazı alfa taneciklerinin tahmin ettiğinden çok daha değişik açılarda yansımalarına bakarak atomun pozitif yüklü kısmının belli bir yerde toplandığı (ki sonradan bu parçaya nucleus/çekirdek adı verilecekti, o

zamanlar nötronlar ve protonların ayrımı yapılamıyordu) ve buradaki pozitif yükün gelen alfa taneciklerini saptıracak kadar güçlü olduğu sonucuna vardı. Rutherford'un deneyi Bohr modeline ilham verdi. Daha sonraları modern atom teorisi ortaya çıktı<sup>(19)</sup>.



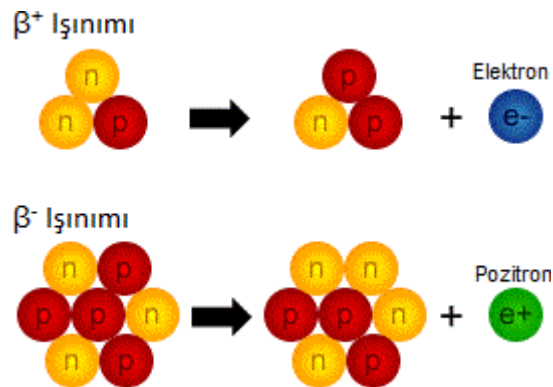
Şekil 10: Bohr atom modeli<sup>(4)</sup>.

1978'te, bilgisayar teknolojisi çiçeklenirken, DRAM'lardaki 'soft hatalar' Intel'in DRAM çiplerindeki alfa taneciklerine bağlanmıştı. Bu buluş, yarı iletken maddelerdeki radyoaktif elementlerin daha sıkı denetlenmesine yol açtı ve bu sorun büyük oranda çözülmüş sayıldı<sup>(18,19,51,65,66,130)</sup>.

#### 1.5.1.1.4. BETA PARÇACIĞI

Beta parçacıkları,  $^{40}\text{K}$  gibi bazı radyoaktif atom çekirdeklerinden salınan yüksek hızlı ve enerjili elektron veya pozitronlardan oluşur. Salınan bu parçacıklardan ayrıca *beta ışıını* denen iyonlaştıran bir ışıını olarak da söz edilir<sup>(19)</sup>.

Beta parçacıklarının üretimine beta çözünmesi adı verilir, elektron ile pozitron üretimine göre  $\beta^-$  ve  $\beta^+$ dan söz edilir.



Şekil 11:  $\beta^-$  ve  $\beta^+$  Işıını <sup>(124)</sup>



Alfa ışınlarının aksine tek parçacıklıdır. Beta ışınları Gama ışınlarının ötesindedir ve Beta ışınlarının ötesinde ise Alfa ışınları vardır<sup>(19)</sup>.

#### 1.5.2. İYONLAŞTIRICI OLMAYAN RADYASYON

İyonlaştırıcı olmayan radyasyon, bir atomdan veya molekülden bir elektronu tamamen koparabilmek için atomları veya molekülleri iyonlaştırabilecek yeterli enerji taşıyan kuantumlara sahip olmayan herhangi bir elektromanyetik radyasyon türüdür. Elektromanyetik radyasyon, maddenin içinden geçerken yüklü iyonlar üretmez. Yalnızca, bir elektronu daha yüksek enerji seviyesine çıkaran uyarım için yeterli enerjiye sahiptir<sup>(18)</sup>.

Radyasyonun iyonlaştırıcı olarak kabul edildiği enerji seviyesi tam olarak belirlenmemiştir, çünkü farklı moleküller ve atomlar farklı enerjilerde iyonlaşır. Genel açıklamalara göre tanecik ve 10 elektro volttan daha düşük enerjili fotonlar içeren radyasyonun iyonlaştırıcı olmadığı düşünülmektedir. Diğer bir açıklama ise, su moleküllerini iyonlaştırmak için gerekli olan enerjinin 33 elektro volt olması. Güneş'ten Dünya'ya gelen ışınlar, büyük ölçüde iyonlaştırıcı olmayan radyasyondan oluşur, çünkü iyonlaştırıcı uzak ultraviyole ışınlar, özellikle oksijen gibi atmosferdeki gazlar tarafından filtrelendir. Güneş'ten gelen ultraviyole radyasyonu iyonlaştırıcı olmayan bant içindedir ve iyonlaştırmayan fotokimyasal reaksiyonlar ve serbest radikal maddeler yüzünden güneş yanığı gibi moleküler hasara sebep olur<sup>(18)</sup>.

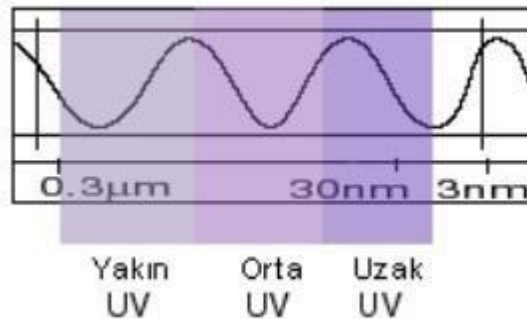
İyonlaştırıcı olmayan radyasyonun farklı türleri, farklı biyolojik etkiler gösterir. Zor olan şu ki, UV ışınları ve bazı görünür ışınlar, frekansları yüksek olduğundan, iyonlaştırıcı radyasyona benzer termal olmayan biyolojik hasara yol açabilir. Bu yüzden, sağlık riskleri ile ilgili tartışmalar, daha düşük frekanslardaki radyasyonun termal olmayan etkilerine odaklanmıştır. Mikrodalga, milimetrik dalga ve radyo dalgası radyasyonu düşük frekanstaki radyasyonlardır. Ancak Uluslararası Kanseri Araştırma Ajansı (International Agency for Research on Cancer - IARC) son günlerde iyonlaştırıcı olmayan radyasyonun insanlarda kansere sebep olabileceğini ortaya çıkardı<sup>(18)</sup>.

### 1.5.2.1. İYONLAŞTIRICI OLMAYAN RADYASYON TÜRLERİ

#### 1.5.2.1.1. YAKIN ULTRAVİYOLE RADYASYONU

Dalga boyu görünür ışıktan daha kısadır. Oldukça enerjik olduğu için mor ötesi (UV) ışınım kimyasal bağları bozup çeşitli molekülleri iyonize edebilir veya katalizör etkisi gösterebilir. Güneş yanıkları mor ötesi radyasyonun insan derisi üzerindeki yıkıcı etkisine örnek olarak verilebilir. Bazı durumlarda kanserojen etki yapabilir. UV ışınım ayrıca etkin bir mutajendir ve hücrelerin DNA yapısını bozarak kontrolsüz mutasyona sebep olabilir. Dünya'ya Güneş'ten gelen UV radyasyonunun büyük bir kısmı yüzeye ulaşmadan önce atmosferdeki ozon tabakası tarafından emilir<sup>(18)</sup>.

Ultraviyole ışınları cilt yanıklarına ya da katarakta yol açabilir. Ultraviyole ışınları enerjilerine göre yakın, orta ve uzak ultraviyole olarak sınıflandırılır.



Şekil 12: Dalga boylarına göre yakın, orta, uzak ultraviyole ışını<sup>(3)</sup>.

Yakın ve orta ultraviyole ışınları teknik olarak iyonlaştırıcı değildir, ancak bütün UV dalga boyları bir ölçüye kadar iyonlaşma ile benzer fotokimyasal tepkimelere sebep olabilir (DNA hasarı ve kanser gelişimi de bunun içindedir.). 10 elektron voltun üzerindeki UV radyasyonu (125 nm'den daha kısa dalga boyu), iyonlaştırıcı olarak düşünülür. Ancak, 3.1 (400 nm) elektron volttan 10 elektron volta çıkan UV spektrumunun geri kalanı, teknik olarak iyonlaştırıcı olmasa da ısı dışında başka yollarla moleküllere zarar verecek fotokimyasal tepkimelere sebep olabilir. Bu tepkimeler, iyonlaştırıcı radyasyonun sebep olduğu tepkimelere genellikle çok benzer olduğundan, UV spektrumunun tümü, genelde iyonlaştırıcı radyasyonun biyolojik sistemlerin de içinde bulunduğu birçok sistemle etkileşimine denk olduğu düşünülür<sup>(18,19)</sup>.

Örneğin, ultraviyole ışını iyonlaştırıcı olmayan seviyede olsa bile hücresel hasara yol açabilecek ve kanserojen özellik taşıyabilecek serbest radikal tepkimelere yol açabilir. Şekil olarak iyonlaştırıcı olmayanların çoğunu da içeren birçok UV bandında, DNA'daki Timin ikilisi formasyonu gibi fotokimyasal hasarlar meydana gelebilir. Ultraviyole ışınları, melanosit hücrelerde melanin üreterek güneşe çıkıldığında bronzlaşmaya sebep olur. UV radyasyonunun sebep olduğu radikal tepkimelerle ciltte Vitamin D üretilir. Plastik nitelikli (polikarbon) güneş gözlükleri genellikle UV ışınları geçirmez.

UV ışınlarına aşırı maruz kalmak, gözde kar körlüğüne sebep olur. Gözdeki bu hasar özellikle denizde veya yerde kar olduğunda risk taşır<sup>(18,19)</sup>.

#### 1.5.2.1.2. GÖRÜNÜR IŞIK

Işık ya da görünür ışık, 400 ile 700 nm ya da 380 ile 750 nm dalga boyları arasında insan gözüyle görülebilen elektromanyetik radyasyon aralığıdır. Daha genel bir tanım yapılacak olursa, fizikçiler, ışığı, görülebilir ya da görülemeyen bütün dalga boylarının elektromanyetik radyasyonu olarak adlandırır<sup>(18)</sup>.

#### 1.5.2.1.3. KIZIL ÖTESİ

Kızıl ötesi (IR) radyasyon yaklaşık olarak 300 GHz ile 400 THz frekansları ve 1 mm ile 750 nm arasındaki dalga boylarını kapsar<sup>(18)</sup>. Üç ana kategoride incelenir:

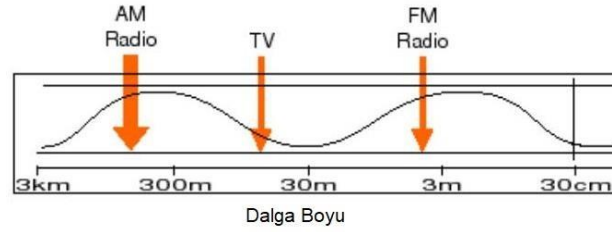
- Uzak kızıl ötesi, 300 GHz (1 mm  $\lambda$ ) ile 30 THz (10  $\mu$ m  $\lambda$ ) arasındadır. Bu bandın alt bölümleri için mikrodalga da denilebilir. Bu radyasyon tipik olarak spin yapan gaz molekülleri, sıvılarda moleküler akışkanlık ve katılarda fotonlar tarafından emilir. Dünyanın atmosferindeki yaklaşık %1 su buharı tarafından emilen uzak kızıl ötesi ışıyım, atmosferin saydam olmasında büyük rol oynamaktadır. Astronomide 200  $\mu$ m ile birkaç mm arasındaki dalga boylarına genellikle milimetre altı denir ve "uzak kızıl ötesi" tanımı 200  $\mu$ m'nin altındaki dalga boyları tarafından kullanılır.
- Orta kızıl ötesi, 30 THz (10  $\mu$ m  $\lambda$ ) ile 120 THz (2,5  $\mu$ m  $\lambda$ ) arasında bulunur. Sıcak cisimler bu sıklıkla bu aralıkta ışıyım yayarlar. Orta kızıl ötesi ışıyım normal moleküler titreşim tarafından emilebilir. Bu frekans aralığına bazen *parmak izi bandı* da denir.
- Yakın kızıl ötesi, 120 THz (2500 nm  $\lambda$ ) ile 400 THz (750 nm  $\lambda$ ) arasındadır. Görünür ışığa benzer fiziksel işlemler tarafından üretilir ve benzer optik kurallara tabidir.

#### 1.5.2.1.4. MİKRODALGA

Mikrodalgalar, 1 metre kadar uzun ya da 1 milimetre kadar kısa olabilen, ya da bu rakamlara denk olarak, 300 Mhz (0.3 Ghz) ve 300 Ghz frekans aralığında dalga boylarına sahip olan elektromanyetik dalgalardır. Bu genel tanımın içinde, hem UHF hem EHF (milimetrik dalga) vardır ve çeşitli kaynaklar farklı sınırlar kullanır. Her durumda mikrodalga, radyo frekans mühendislerinin genellikle düşük sınırı 1 Ghz (30 cm), yüksek sınırı 100 Ghz (3 mm) olarak belirlediği minimum bütün SHF bandını içerir (3 ile 30 Ghz ya da 10 ile 1 cm arası). Uygulamalar arasında cep telefonları, hava durumu radarları, hava alanlarındaki x-ray cihazları, mikrodalga fırın, uzaktan algılama uyduları, radyo ve uydu iletişimi bulunmaktadır<sup>(18)</sup>.

#### 1.5.2.1.5. RADYO DALGALARI

Radyo dalgaları, elektromanyetik spektrumda kızılötesi ışınlardan daha uzun dalga boyuna sahip olan bir elektromanyetik radyasyon türüdür. Diğer elektromanyetik dalgalar gibi radyo dalgaları da ışık hızında hareket eder. Doğal yollarla oluşan radyo dalgaları şimşek ya da astronomik nesneler ile meydana gelir. Sabit ve hareketli radyo iletişimi, radyo-televizyon yayıncılığı, radar ve diğer navigasyon sistemleri, uydu iletişimi, bilişim ağı ve diğer birçok uygulama için yapay olarak oluşturulan radyo dalgaları kullanılır. Radyo dalgalarının farklı frekansları, atmosferde farklı yayılma özelliklerine sahiptir. Uzun dalgalar Dünya'nın bir kısmını sürekli olarak kaplayabilir. Daha kısa dalgalar ise iyonosferden yansır ve Dünya'nın etrafında dolaşabilir. Çok daha kısa dalga boyları çok az bükülür veya yansır ve bir görüş çizgisinde hareket eder<sup>(18)</sup>.



Şekil 13: Elektromanyetik spektrumun radyo dalgası bölgesi<sup>(13)</sup>.

#### 1.5.2.1.6. ÇOK DÜŞÜK FREKANS (VLF)

Çok düşük frekans (VLF), 3 ile 30 kHz aralığındaki radyo frekanslarıdır. Radyo spektrum bandındaki band genişliği fazla olmadığından, radyo navigasyonunda olduğu gibi yalnızca en basit sinyallerde kullanılır. Çok düşük frekans, dalga boyları 10 ile 1000 m'e (10 km'ye denk gelen ve artık kullanılmayan metrik birim) metre aralığında olduğundan, aynı zamanda mirametre bandı ya da mirametre dalgası olarak bilinir<sup>(18)</sup>.

#### 1.5.2.1.7. AŞIRI DÜŞÜK FREKANS (ELF)

Aşırı düşük frekans (ELF), 300 Hz ile 3 kHz aralığındaki radyasyon frekansıdır. Atmosfer biliminde genellikle verilen alternatif tanımda bu aralık 3 Hz ile 3 kHz'dir. Bu konu ile ilgili manyetosfer biliminde, daha düşük frekanslı elektromanyetik dalgalar (3 Hz'nin altında oluşan frekans), ULF (Ultra Low Frequency- Aşırı Düşük Frekans) aralığındaki frekanslar olarak düşünülür. ULF de, bu sebeple, Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU - International Telecommunications Union) radyo bandında farklı olarak tanımlanmıştır<sup>(18)</sup>.

#### 1.5.2.1.8. TERMAL RADYASYON

Dünya'da en çok karşılaşılan sıcaklıklarda oluştuğunda kızılötesi radyasyon ile eş anlama gelen termal radyasyon, bir nesnenin yüzeyinin termal enerjisini elektromanyetik dalgalar şeklinde yansıtır.

sürecidir. Akkor ampul tarafından yayılan görünür ışık ve kızılötesi ışınlar gibi evlerde bulunan ısıtıcılardan, kızılötesi ısıtma lambalarından veya fırınlardan yayılan kızılötesi radyasyon termal radyasyona örnektir. Akkor telli lambadan yayılan görünür ışık ve kızılötesi ışınlar mavi yüksek frekansları yaymak için yeterince sıcak olmadığından sarımsı bir renkte görünür ve floresan lambalar termal değildir ve daha mavi görünebilir. Termal radyasyon, moleküllerdeki yüklü taneciklerin hareketinden kaynaklanan enerji elektromanyetik dalgaların ısı ve ışık yayan enerjiye (radyan enerji) dönüşmesiyle oluşur. Termal radyasyondan yayılan dalga frekansı, yalnızca sıcaklığa bağlı olan bir olasılık dağılımıdır ve kara cisim için Planck ışıınım yasası tarafından belirlenen frekanslarda oluşur<sup>(18)</sup>.

## 1.6. RADYASYON KAYNAKLARI

### 1.6.1. DOĞAL RADYASYON KAYNAKLARI

Doğal Radyasyon doğanın bir parçasıdır. Güneş en çok bilinen doğal radyasyon kaynağıdır. Radyasyon kaynaklarını doğal ve yapay kaynaklar olarak sınıflandırabiliriz. Maruz kaldığımız radyasyonun %88'i doğal kaynaklardan oluşur<sup>(10)</sup>.

Doğal radyasyon 4 ana başlıkta incelenmektedir.

- Kozmik radyasyon
- Karasal radyasyon (terrestrial)
- Solunan radyasyon (inhalasyon)
- Yiyeceklerle alınan radyasyon (ingestion)

#### 1.6.1.1. KOZMİK RADYASYON

Kozmik ışınlar; dünyamızın dış atmosferine belli miktarda ulaşan yüksek enerjili protonlar olarak tanımlanabilir. Dünyamız ve yaşayan tüm canlılar bu enerji ile sürekli ışınlanmaktadır. Kozmik radyasyon; protonlar, alfa parçacıkları ve elektronlar ile yüksek enerjili diğer parçacıkların karışımıdır. Neredeyse ışık hızına yakın hızla ve tüm yönlerden dünyayı ışınlırlar. Atmosfer, dünya yüzeyine doğru salınan kozmik radyasyonu engelleyici ve büyük oranda azaltıcı bir koruyucu katman olarak görev yapar. Kozmik radyasyonun dünyamızla etkileşimi sonucunda radyasyon yağmuru şeklinde bir manyetik alan oluşur. Bu alan, dünyanın manyetik alanındaki değişiklikler sebebiyle farklı düzeyde etkiler oluşturur. UNSCEAR, yer seviyesindeki kozmik ışınlardan kaynaklanan yıllık etkin dozu, enlem ve yükseklikteki değişimi dikkate alarak ortalama 0,4 mSv civarında hesaplamıştır. Bu değer Amerika kıtası için yıllık 0,3 mSv olarak hesaplanmıştır. Dağ tepesinde ya da havada yol almak, deniz seviyesinde bulunmaya oranla daha fazla radyasyona maruz kalmaya sebeptir. Bir pilot uçuş süresi boyunca deniz seviyesinde çalışan insanın maruz kalacağı radyasyon düzeyinden yaklaşık 20 kat daha fazla radyasyona

maruz kalacaktır. Günlük yaşantımızda kozmik ışınlar sebebiyle maruz kaldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,39 mSv/yıl'dır. <sup>(10)</sup>.

#### 1.6.1.2. KARASAL RADYASYON

Dünya oluşumu sırasında birçok radyoaktif maddeden meydana gelmiştir. Bu andan itibaren kısa yarı ömürlü olanlar tükenirken oldukça uzun yarı ömürlü olanlar kalmış olup doğal olarak oluşan bu radyonüklidler; uranyum, toryum ve onların bozunum ürünlerini, örneğin; radonu içerir. Dünyamızda yer kabuğunda yaygın ve fazla miktarda bulunan radyoaktif radyum elementinin (Ra226) bozunması sırasında salınan “radon gazı” doğal radyasyon düzeyini artıran en önemli sebeplerden biridir. Kayalarda ve toprakta bulunan bu doğal radyoaktif materyal bir insanın yıllık olarak alacağı bütün radyoaktif kaynak dozlarının toplamının (doğal+yapay) %8'ini oluşturmaktadır. Radon soygaz (kimyasal olarak hiçbir tepkimeye girmeyen gaz) olduğu için topraktan havaya salınır. Salınma sonucu seyrelirse sorun yoktur. Radon gazı dünya atmosferinin doğal parçasıdır. Radon gazı dışında doğal radyasyonun sağlık üzerinde zararlı etkisi yoktur. Radon gazı birikiminin zararlı etkilerinin önlenmesi için binaların iyice havalandırılması gerekmektedir. Binalarda ısı yalıtımı için kullanılan malzemeler nedeniyle binalardaki radon yoğunluğu bina dışına göre yüksek olabilmektedir. Bu yoğunluk yerel jeolojik yapıya, ülkelerdeki coğrafi değişikliklere ve hatta binadan binaya farklılıklar gösterir. Dünya genelinde radon bozunum ürünleri nedeniyle maruz kalınan yıllık ortalama etkin dozun yaklaşık 1,2 mSv olduğu tahmin edilmektedir. Coğrafi değişiklikler nedeniyle alınan etkin dozun farklılık göstermesi nedeniyle, Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu ve Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu tarafından dünya genelinde radon gazı nedeniyle alınan doz düzeyinin düşürülmesi maksatlı enlem düzeylerinin (Bqm-3) kullanılması tavsiye edilmiştir. Bu enlem düzeyleri genellikle evlerdeki radon değişiminin ortalama değerinin on katı olan 200-600 Bq/m<sup>3</sup> aralığında olmalıdır<sup>(10)</sup>.

#### 1.6.1.3. SOLUNAN RADYASYON

Radyoaktif materyaller toprakta, suda ve besinlerde de bulunmaktadır. Uranyum, toryum ve bunların bozunum ürünleri hemen hemen her yerdedir. Bu maddelerden bazıları yiyecek ve su ile vücuda alınırken radon gibi diğer radyoaktif maddeler yukarıda anlatıldığı gibi soluma yoluyla vücuda girerler. Fosil yakıtlar radyoaktif elementler içerir. Bu tür elementler yakıt içinde iken tehlikesizdir. Ancak yakıldıklarında atmosfere yayılır toprağa döner ve doğal radyasyon düzeyinde bir artışa neden olurlar. Doğada bulunan kısa ömürlü radyoaktif elementlerin yaydığı gama ışınının da katkısıyla topraktan maruz kalınan radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,46 mSv/yıl'dır. <sup>(10)</sup>.

#### 1.6.1.4. YİYECEKLERDEN ALINAN RADYASYON

Tüm kozmik, karasal radyasyon ve radon katkısının yanı sıra insan vücudunda DNA molekülünün önemli bir parçası olan potasyum-40 ve karbon-14 doğal radyoaktif element olarak bulunmaktadır. Ayrıca K-40 ve C-14 elementlerini birçok yiyecekten de vücudumuza almaktayız. Birçok besinde yüksek miktarda bulunan bunlar gibi radyoaktif elementlerin insan vücudundaki düzeyleri yaşanan bölge ve beslenme alışkanlığına bağlı olarak da değişiklik göstermektedir. Değişik gıda gruplarının 500 gramında bulunan potasyum-40 miktarları Tablo 1’de gösterilmiştir<sup>(10)</sup>.

Tablo 1: Değişik gıda gruplarının 500 gramında bulunan potasyum-40 miktarları<sup>(10)</sup>

Yiyecek	Bq/500 gr
Kırmızı et	56
Havuç	63
Patates	63
Muz	65
Lima fasulyesi	86
Brezilya fıındığı	103
Handbook of Radiation Measurement and Protection, Brodsky, A. CRC Press 1978	

Vücudumuzda bulunan radyoaktif elementler nedeniyle bir yıl boyunca maruz kaldığımız iç ışınlama dozunun dünya ortalaması 0,23 mSv’dir. Bitkisel ve hayvansal gıdalarla vücudumuza yaklaşık olarak ortalama 40 Bq/ kg’lık bir aktivite almaktayız.

#### 1.6.2. YAPAY RADYASYON KAYNAKLARI

Yapay Radyasyon Toplumsal ve teknolojik gelişmeler nedeniyle insanoğlu bazı radyasyon kaynaklarını yapay yollarla üretmiştir. Günümüzde toplam radyasyon maruziyetinin %21’i yapay kaynaklardan gerçekleşmektedir. Gelişmiş ülkelerde yapay radyasyon kaynaklarından olan radyasyon maruziyetinin %50 kadarını medikal görüntüleme oluşturmaktadır<sup>(10)</sup>.

Yapay radyasyon alanlarını şu şekilde sınıflandırmak mümkündür:

- Tıbbi kaynaklar.
- Nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler.
- Nükleer güç üretiminden salınan radyoaktif maddeler.
- Tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler.

Yapay radyasyon kaynaklarından olan ışınlamanın büyük çoğunluğunu medikal uygulamalar oluşturmaktadır. En yaygın olan tanısal radyoloji adıyla bilinen X-ray grafilerdir. Radyasyon kaynaklarına göre alınan dozun dağılımı ise Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2: Dünya nüfusunun tüm radyasyon kaynaklarından aldığı yıllık ortalama doz <sup>(10)</sup>

Kozmik ışınlar	0,4 mSv
Gama ışınları	0,5 mSv
İç ışınlama	0,3 mSv
Radon	1,2 mSv
Tıbbi ışınlama	0,4 mSv
Atmosferde gerçekleştirilen nükleer testler	0,005 mSv
Çernobil	0,002 mSv
Nükleer santraller	0,0002 mSv
Toplam değer (yaklaşık)	2,8 mSv

X ışını tetkiklerinde cihazın ürettiği radyasyon kemik ve yumuşak dokulara farklı yoğunluklarda nüfuz eder ve film üzerinde yapısal bilgi verecek olan görüntü oluşur. En çok X ışını ile film çekilen bölge olan göğüs filminde alınan doz ortalama 0,1 mSv’dir. Tablo 3 ve Tablo 4’te radyolojiye ait hasta dozları verilmiştir. Radyolojik tetkikler arasında en fazla doz veren tetkik girişimsel radyolojidir<sup>(10)</sup>.

Tablo 3: Konvansiyonel X ışını ve bilgisayarlı tomografi tetkiklerinde hasta dozları<sup>(10)</sup>.

Tetkik	Konvansiyonel X-ışını dozu (mSv)	BT dozu (mSv)
Baş	0,07	2
Diş	<0,1	-
Göğüs	0,1	10
Abdomen	0,5	10
Pelvis	0,8	10
Alt omur	2	5
Barsağın alt kısmı	6	-
Kol bacak ve eklemler	0,06	-
BT: Bilgisayarlı tomografi UNSCEAR 2000		



Tablo 4: Tanısal radyolojide Uluslararası Atom Enerji Ajansı rehber doz seviyeleri<sup>(10)</sup>

Tetkik	Film başına yüzey giriş dozu (mGy)
Lomber omurlar (AP)	10
Göğüs (PA)	0,4
Kafatası (PA)	5
BSS (1996 Ek-3 sf:279)	

Bu işlemde hekim, hastanın organını işlem sırasında görebilmek için hastaya sürekli X ışını verir. Bu işlem sırasında hastaya 10-100 mSv arasında doz verilir, dikkat edilmezse cerrah içinde yüksek doz riski mevcuttur. Nükleer tıp tetkiklerinde vücuttaki organ veya dokuların işlevleriyle ilgili tetkikler yapılır. Tanı ve tedavi olarak ayrılan bu işlemlerden tanı amaçlı uygulamada; hastaya enjeksiyon yoluyla farmasötik gibi bir taşıyıcıya bağlanmış gama ışını yayan radyonüklid verilir. Dedektör olarak gama kameralar kullanılarak radyofarmasötiğin hareketi izlenir. Tedavi amaçlı kullanılan radyonüklidler de hastanın organ veya dokusuna çok daha yüksek dozlarda verilir (Tablo 5) <sup>(10)</sup>.

Tablo 5: Nükleer tıpta bazı organ tetkiklerinde tipik hasta dozları<sup>(10)</sup>.

İşlem/Taranan organ	Etkin doz (mSv)
Tiroid (I-131)	10
Beyin	7
Kemik	4
Tiroid, akciğer	1
Karaciğer, böbrek	1
UNSCEAR 2000 (Cilt 1 Tablo 42'den alınan yuvarlatılmış değerler)	

Kanserli hücrelerin tedavi edildiği bir diğer alan olan radyoetapide, yüksek enerjili X ışınları ya da Co-60 gibi gama ışını yayan radyoaktif maddeler kullanılır. Radyasyon Onkolojisinde etkin tedavi için radyolojide alınan radyasyon dozunun binlerce katı değerinde radyasyon dozuna (kanser türüne göre 60,000 mSv'ye kadar çıkabilir) ihtiyaç duyulur. Radyasyon onkolojisinde dokular için öngörülen dozlar birkaç haftalık periyotta normal olarak fraksiyonlar halinde genellikle 20-60 Gy arasında verilir. Tüm bu uygulamaların yanı sıra günümüzde endüstriyel alanda X ve gama ışınlarından faydalanılarak endüstriyel ürünlerin herhangi bir arızası olup olmadığı tespit edilmektedir. Radyasyon endüstride yaygın olarak:

- Kaynak ve ek yerlerinin radyografisi
- Paket ve çantaların güvenlik kontrolü

- Kap içindekilerin seviye ölçümü
- bazı tıbbi malzemelerin sterilizasyonu
- Kağıt üretiminde statüğü engelleme
- Numunelerin kalite kontrol amaçlı analizi

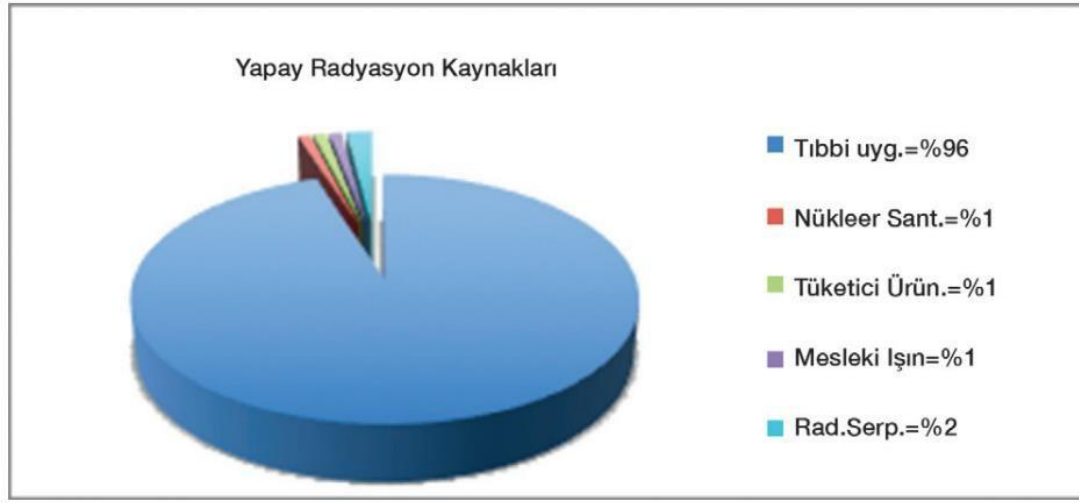
Alanlarında kullanılmaktadır. Mesleki olarak oldukça fazla alanda iyonlaştırıcı radyasyon kaynakları bulunmaktadır (Tablo 6) <sup>(10)</sup>.

Tablo 6: Çeşitli meslekler için yıllık ortalama etkin dozlar<sup>(10)</sup>

Kaynak (yapay kaynaklar)	Doz (mSv)
<b>Nükleer endüstri</b>	
Uranyum madenciliği	4,5
Uranyum öğütme	3,3
Zenginleştirme	0,1
Yakıt üretimi	1
Nükleer reaktörler	1,4
Yeniden işleme	1,5
<b>Tıbbi kullanımlar</b>	
Radyoloji	0,5
Diş hekimliği	0,06
Nükleer tıp	0,8
Radyoterapi	0,6
<b>Endüstriyel kaynaklar</b>	
Işınlama	0,1
Radyografi	1,6
İzotop üretimi	1,9
Kuyu işletme	0,4
Hızlandırıcılar	0,8
Aydınlatma	0,4
<b>Doğal kaynaklar</b>	
Radon kaynakları	
Kömür maden ocakları	0,7
Metall madeni ocakları	2,7
Toprak üzerindeki binalar (radon)	4,8
<b>Kozmik kaynaklar</b>	
Sivil uçuş personeli	3
1990-1994 verileri UNSCEAR 2000 cilt 1, ek-E Tablo 12	

Üretim ve hizmet endüstrisinde, savunma alanlarında, araştırma merkezlerinde ve nükleer güç endüstrisinde mesleki radyasyon kullanımı yaygındır. Yapay radyasyon kaynakları ile mesleği gereği ışınlanan tüm çalışanların maruz kaldıkları ortalama doz yılda 1 mSv civarındadır. Madencilik hariç olmak üzere yapay kaynaklardan alınan ortalama doz birçok mesleki ışınlama tipi için nükleer endüstri de dahil olmak üzere yıllık yaklaşık 2 mSv'nin altındadır. Günümüzde işyerlerinde mesleki olarak radyasyonla çalışanlar için etkin doz herhangi bir yılda 50 mSv'yi, ardışık beş yılın ortalaması ise 20 mSv'yi geçemez <sup>(60)</sup>. Toplum üyesi kişiler için yapay kaynaklardan kazara ışınlanma sonucu yıllık 1 mSv'den fazla doz alınması olası değildir <sup>(60)</sup>. Tüketici ürünlerinden olan duman dedektörleri ve fosforlu

saatler gibi radyoaktif madde içeren ürünlerin kullanımında yıllık doz en fazla 1  $\mu\text{Sv}$ 'dir. Tüm dünyada yapay radyasyon kaynaklarıyla çalışanlar için ortalama doz 0,6 mSv ve doğal radyasyon kaynaklarına maruz kalan çalışanlar için 1,8 mSv'dir. Bu rakamlar birleştiğinde çalışanlar için küresel ortalama doz yılda 1,3 mSv'dir. Bu değer tüm dünya nüfusuna yayıldığında yılda yaklaşık 0,002 mSv'lik doza karşılık gelmektedir ve bu değer tüm kaynaklardan gelen 2,8 mSv'lik doza küçük de olsa bir katkı oluşturmaktadır. Radyasyonun tıbbi uygulamaları toplum içinde en çok radyasyon dozuna maruz kalınan yapay radyasyon kaynağını oluşturur. Tıbbi uygulamalar sonucu halkın maruz kaldığı yıllık ortalama radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,3-0,6 mSv'dir (Şekil 14 ) <sup>(10)</sup>.



Şekil 14: Yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon doz oranları<sup>(10)</sup>.

UNSCEAR 2000 yılı inceleme raporuna göre; dünya nüfusunun ortalaması alınmış yıllık doz değeri toplamda 2,8 mSv'dir. Bu toplam doz değerinin: %14'ü doğal kozmik ışınlamalar, %18'i doğal dış ışınlamalar, %11'i doğal iç ışınlamalar, %14'ü tıbbi ışınlamalar, %0,25'i nükleer endüstri, %43'ü doğal radon tarafından oluşmaktadır<sup>(10)</sup>.

## 1.7. RADYASYON ÖLÇÜM BİRİMLERİ VE DÖNÜŞÜMLERİ

İyonlaştırıcı radyasyonla yapılan çalışmalarda güvenilir sonuç elde etmek ve radyasyonun zararlı biyolojik etkilerini ifade edebilmek için radyasyon miktarının (dozunun) ya da etkilerinin bilinmesi yani ölçülmesi gereklidir. Radyasyon miktarının ölçülmesinde kullanılan iki farklı birim seti vardır. Bunlar klasik sistem ve SI'dır (Le Système International d'Unités). Bu birim setleri aktivitenin, ışınlanma dozunun, soğrulan dozun, soğrulan doz hızının, eşdeğer dozun ve etkin dozun birimlerini içerir. Bu birimler aşağıda açıklanmıştır ve birimlerin tanımında kullanılan örnekler aşağıdaki tabloda verilmiştir<sup>(16)</sup>.

Tablo 7: Birim Örnekleri <sup>(16)</sup>

ÖNEK	DEĞER
p (pico)	$10^{-12}$
n (nano)	$10^{-9}$
$\mu$ (micro)	$10^{-6}$
m (mili)	$10^{-3}$
k (kilo)	$10^3$
M (Mega)	$10^6$
G (Giga)	$10^9$
T (Tera)	$10^{12}$
P (Peta)	$10^{15}$
E (Exa)	$10^{18}$
Z (Zeta)	$10^{21}$
Y (Yotta)	$10^{24}$

#### 1.7.1. AKTİVİTE

Bir radyoaktif maddenin birim zamandaki bozunma sayısına aktivite denir <sup>(16)</sup> <sup>(65)</sup>.

Klasik Birim : Curie (Ci),Saniyede  $3.7 \times 10^{10}$  parçalanma veya bozunma gösteren maddenin aktivitesidir<sup>(20)</sup>.

SI Birim : Becquerel (Bq), Bir saniyede çekirdeğin bozunma sayısıdır. Uluslararası kabul edilen birimdir<sup>(20)</sup>.

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ Bq} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$$

#### 1.7.2. IŞINLANMA DÜZEYİ

Işınlanma düzeyi, radyasyonun belirli bir ortamda (hava) atomları iyonlaştırma (iyonizasyon meydana getirme) özelliğine dayanan bir ölçüdür ve elektromanyetik radyasyon için tanımlanmıştır<sup>(16)</sup>. Bir başka deyişle Röntgen, normal hava şartlarında (0 °C ve 760 mm Hg basınçta) havanın 1 kg'ında  $2.58 \times 10^{-4}$  C' luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan x ve gama ışını miktarıdır. Bu ölçümde birim olarak Röntgen (R) kullanılır<sup>(20)</sup>.

Klasik Birim : Röntgen (R)

SI Birim : Coulomb/kg (C/kg)

$$1 \text{ C/kg} = 3876 \text{ R}$$

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4}$$

### 1.7.3. SOĞRULAN DOZ

Radyasyon enerjisinin ortamda iyonizasyon nedeniyle enerji olarak depolandığı miktara soğrulan doz denir<sup>(16)</sup>.

Klasik Birim : rad (Radiation Absorbed Dose), : Işınlanan maddenin 1 kg'ına  $10^{-4}$  joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır. Soğrulan enerji parçacık veya foton olabilir<sup>(20)</sup>.

SI Birim : Gray(Gy), Işınlanan maddenin 1 kg'na 1 joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır. Günümüzde kullanılan geçerli birim Gray'dir<sup>(20)</sup>.

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

$$1 \text{ rad} = 0,01 \text{ Gy}$$

Birim zamanda soğrulan doz miktarına soğrulan doz hızı denir.

Klasik Birim : rad/sn, mrad/saat vb.

SI Birim : Gy/sn, mGy/dakika vb.

1 Gy yüksek bir doz değeridir. Radyoterapide tedavi dozları 50- 60 Gy civarındadır. Klasik radyolojik tetkiklerde (Film çekimlerinde) alınan doz 0.001 Gy'den küçüktür<sup>(20)</sup>.

### 1.7.4. DOZ EŞDEĞERİ (EŞDEĞER DOZ)

Soğrulan doz ile kalite faktörünün çarpımıdır<sup>(16)</sup>. Eşdeğer doz, vücutta toplanan enerjinin ifadesidir. Düşük doz düzeylerinde radyasyonun tipine ve enerjisine göre biyolojik hasarlarını da içeren bir kavramdır. Farklı tip radyasyonlardan soğrulan enerjiler eşit olsa bile biyolojik etkileri farklı olabilir<sup>(20)</sup>. Eşdeğer doz, soğrulan doz ile kalite faktörünün çarpımı olarak ifade edilir<sup>(16)</sup>.

Klasik Birim : Rem , Roentgen equivalent of man sözcüklerinin baş harflerini simgeler.

$$\text{Rem} = \text{Soğrulan Doz} \times \text{Faktörler}$$

SI Birim : Sievert (Sv), 1 Gray'lık x ve  $\gamma$  ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren radyasyon miktarıdır.

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

$$1 \text{ rem} = 0,01 \text{ Sv}$$

Etkin Doz, doku ve organların aldığı dozun tüm vücut için yüklediği riski ifade etmek için kullanılan kavramdır. Birimi Sievert'tir. Dünya genelinde Doğal Radyasyon Kaynaklar nedeniyle alınan yıllık etkin doz 2.4 mSv'dir. Bir akciğer filminden alınan doz 0.02 mSv'dir. Bilgisayarlı tomografi ile yapılan akciğer muayenesinde alınan doz 8 mSv'dir. Tıpta çalışan radyasyon görevlilerinin aldıkları yıllık

ortalama doz 1-5 mSv'dir. Çernobil nedeniyle Türk halkının aldığı kişisel doz ortalaması 0.5 mSv'dir. (20).

#### 1.7.5. KALİTE FAKTÖRÜ

Farklı radyasyon türlerinin biyolojik etkilerinin farklı olması nedeniyle, radyasyonun doku üzerindeki biyolojik etkisini hesaplamak için her radyasyon türü ve enerjisi için bir kalite faktörü ( $Q$ ) tanımlanmıştır. Çeşitli radyasyon türleri için kalite faktörleri aşağıdaki tabloda verilmiştir<sup>(16)</sup>.

Tablo 8: Çeşitli Radyasyon Türleri İçin Kalite Faktörleri (16)

Radyasyon Türü	Kalite Faktörü ( $Q$ )
$\chi$ ışınları	1
$\gamma$ ışınları	1
$\beta$ ışınları	1
$\alpha$ ışınları	20
Elektronlar	1
Protonlar	2
Nötronlar	5-20

#### 1.7.6. DOKU VE ORGAN AĞIRLIK FAKTÖRLERİ

Aynı miktarda radyasyona maruz bırakılan doku ve organlardaki etkiler farklıdır. Bu yüzden doku ve organ ağırlık faktörleri ( $W_T$ ) belirlenmiştir. Doku ve organ ağırlık faktörleri alttaki tabloda verilmiştir<sup>(16)</sup>.

Tablo 9: Doku ve Organ Ağırlık Faktörleri <sup>(16)</sup>

Doku	w <sub>T</sub>	Σw <sub>T</sub>
Kemik iliği (kırmızı), kolon, akciğer, mide, meme, diğer dokular*	0,12	0,72
Gonadlar	0,08	0,08
Mesane, yemek borusu, karaciğer, tiroid	0,04	0,16
Kemik yüzeyi, beyin, tükürük bezleri, cilt	0,01	0,04
Toplam		1,00

\* Diğer dokular: Böbrek üstü bezleri, üst solunum yolları, safra kesesi, kalp, böbrekler, lenfatik düğümler, kaslar, ağız mukozası, pankreas, prostat, ince bağırsak, dalak, timüs, rahim veya rahim ağzı ağırlık faktörlerinin aritmetik ortalaması

Aşağıdaki tabloda radyasyon birimleri ve bu birimlerin SI ve klasik birim setleri için dönüşümleri gösterilmiştir.

Tablo 10: Radyasyon Birimleri ve Bu Birimlerin SI ve Klasik birim Setleri için Dönüşümleri Tablosu <sup>(16)</sup>

Terim	Birim		Dönüşüm
	Klasik Sistem	SI Birim	
Aktivite	Curie, Ci	Becquerel, Bq	1 Ci = 3,7x10 <sup>7</sup> Bq 1 Ci = 37 GBq
Işınlanma düzeyi	Röntgen, R	Coulomb/kilogram C/kg	1 C/kg = 3876 R 1 R = 2,58x10 <sup>-4</sup>
Soğrulan Doz	Radiation Absorbed Dose, rad	Gray, Gy	1 Gy = 100 Rad 1 rad = 0,01 Gy
Doz eşdeğeri	Röntgen equivalent man, rem	Sievert, Sv	1 Sv = 100rem

## 2. HASTANEDE RADYASYONLA ÇALIŞAN BÖLÜMLER ve CİHAZLAR

### 2.1. NÜKLEER TIP

#### 2.1.1. NÜKLEER TIP NEDİR?

Nükleer tıp, insan vücudundaki çeşitli biyokimyasal ve fizyolojik süreçlere iştirak edebilen radyoaktif bileşikler (radyofarmasötik) aracılığıyla yapılan tanısal görüntüleme ve tedavi uygulamalarını kapsayan bir bilim dalıdır. Görüntüleme amacıyla elektromanyetik karakterde gama ışıınımı yapan radyonüklidler kullanılırken, tedavide daha ağır ve iyonizasyon gücü yüksek, partiküler karakterdeki beta veya alfa ışıınları saçarak bozunan radyoizotoplardan yararlanılmaktadır.

#### 2.1.2 NÜKLEER TIP TARİHÇESİ

Nükleer tıp tarihçesi 1800'lü yılların başında İngiliz kimyager John Dalton'un atom teorisini ortaya atmasına, Alman Wilhelm Konrad Roentgen'in 1895'de X ışıınlarını bulmasına, 1928'de Amerika'da Ernest Lawrence'ın siklotronu yapmasına kadar uzanmaktadır. Nükleer tıp gelişimindeki en önemli adım 1934 yılında Marie Curie'nin yapay radyoaktiviteyi keşfetmesidir. Ancak birçok tarihçi nükleer tıbbın gerçek başlangıcı olarak radyoaktif iyodun toksik guatr (zehirli guatr) tedavisinde kullanılmaya başlandığı 1940'lı yılları göstermektedir. Halen nükleer tıp görüntülemelerinde en sık kullanılan radyoaktif madde olan teknesyum yapay olarak 1937 yılında üretilmiş, 1965 yılından sonra da ticari üretim, dağıtım ve kullanımı başlamıştır. Takip eden yıllarda karaciğer-dalak ve beyin görüntülemesinde kullanılan ajanlar bulunarak nükleer tıp günümüze kadar süren hızlı gelişmesine başlamıştır. Nükleer tıp alanında ilk uzmanlar 1972 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde yetişmeye başlamıştır.

#### 2.1.3. NÜKLEER TIPTA SIKLIKLA KULLANILAN TERMİNOLOJİK KAVRAMLAR

- Sintigrafi: Az miktarda ışıma yapan radyoaktif bir maddenin ağız, solunum veya damar yolundan verilmesinden sonra Gamma Kameralar ile fonksiyonel bir durumun (organdaki kanlanma vb. değişim) görüntülenmesi tekniğidir.
- Radyofarmasötik: Nükleer tıpta hastalara çeşitli yollarla verilebilen (enjeksiyon veya ağızdan) çok düşük miktar radyoaktivite ve buna bağlanan kimyasal ilaçlardan oluşan maddelere denilir. Radyoaktif izotoplar içeren bir ilaç grubudur. Teşhis ve tedavi ajanı olarak kullanılabilirler. Radyofarmasötikler, dış elektromanyetizmayı veya ultrasonu emen veya değiştiren kontrast maddeden farklı olarak radyasyonu kendileri yayarlar.
- Planar Yöntem: Nükleer tıpta çekilen filmler eğer tek düzlemde ve 2 yönde çekiliyorsa planar yöntem denir.
- SPECT: Açılımı Tek Foton Emisyonlu Bilgisayarlı Tomografisi olan SPECT tekniği ile yapılan görüntüleme ile organın çevresinden 180 veya 360 derecelik açı boyunca görüntüler alınır. Çekim



sonucunda bilgisayar yardımıyla ham görüntüler işleminden geçirilir. Bu yöntemde çekilen organlar 3 boyutlu olarak incelenir.

- PET: Açılımı Pozitron Emisyon Tomografisi olan PET damar yolu ile enjekte edilen metabolik radyoaktif ajanların biriktiği normal veya patolojik dokuları görüntüleyen bir tekniktir. Genel anlamda metabolik veya fonksiyonel görüntüleme için kullanılır. Burada kullanılan radyoaktivite pozitron yayan ışınlardır.

#### 2.1.4. NÜKLEER TIBBIN KULLANIM ALANLARI

- Nörolojik uygulamalar
- Bazı felç hastalıklarında tanının konulmasında
- Bunama tanısında
- Beyin – boyun damar ameliyatlarının değerlendirilmesi için
- Ameliyatı planlanan epilepsi (sara ) hastalarında
- Onkolojik uygulamalar
- Bazı tümörlerin yerinin gösterilmesi
- Tümörlerin evrenmesi
- Tümörlerde sıçrama olup olmadığının değerlendirilmesi
- Kanserli kemiklerdeki ağrının tedavisi
- Ortopedik uygulamalar
- Gizli kırıkların gösterilmesi
- Kemik enfeksiyonları
- Böbrek uygulamaları
- İdrar yollarında tıkanıklıkların gösterilmesi
- Böbreklere idrar kaçıışı olup olmadığının araştırılması
- Böbrek enfeksiyonlarının araştırılması
- Kalp Uygulamaları
- Koroner arter hastalıklarının tanısı
- By-pass cerrahisi olanların değerlendirilmesi
- Bazı hipertansiyon hastalarında hastalığın nedeninin araştırılması
- Böbrek transplantasyonlarında hastaların takibi
- Akciğer uygulamaları
- Pulmoner emboli ( akciğerlerde kan pıhtılaşması ) tanısı
- Guatr hastalıkları
- Çeşitli yemek borusu ve mide hastalıkları

- Safra kesesi hastalıkları
- Barsak kanamaları
- Gizli enfeksiyon şüphesi
- Lenf yollarının incelenmesi
- Göz yaşı yollarının incelenmesi
- Tükürük bezlerinin fonksiyonlarının incelenmesi
- Çeşitli radyofarmasötiklerle değişik tümörlerin görüntülenmesi
- Vücuttaki gizli enfeksiyonların araştırılması
- Diğer uygulamalar

#### 2.1.5. NÜKLEER TIP GÖRÜNTÜLEME YÖNTEMLERİ

Nükleer tıpta yapılan sintigrafik görüntülemelerde, vücut içine verilen radyofarmasötiklerden yayılan gama ışınları, dışarıdan özel deteksiyon sistemleri ile tespit edilerek görüntü oluşturulur. Bu tarz görüntülemeye aynı zamanda “emisyon görüntüleme” adı verilir. Emisyon görüntülemelerde vücut içindeki radyoaktivitenin, yarı ömürle ifade edilen, kontrol edilemez bozunması söz konusudur. Bu nedenle emisyon görüntülemelerde hastaya kısıtlı miktarda radyoaktivite verilebilmekte ve bu da elde edilen görüntü çözünürlüğünün (rezolüsyon) sınırlı olmasına neden olmaktadır. Karşılaştırmak gerekirse radyolojide kullanılan ve x-ışını ile yapılan transmisyon görüntülemelerde ışın tüpü kontrollü olarak açılıp kapanabilmekte ve yüksek çözünürlükte görüntüler sağlayabilecek ölçüde yüksek radyasyon (anlık olmak şartıyla) verilebilmektedir.

#### 2.1.6. NÜKLEER TIPTA KULLANILAN CİHAZLAR

##### 2.1.6.1. GAMA KAMERA

Gama kamera cihazı bir nevi normal kameradır. Cisimlerden yansıyan görünür bölgedeki ışınlar yerine gama ışınlarını kaydederek görüntüyü oluşturur. Diğer ışınım ilkeli cihazların aksine ışın kaynağı cihaz değil hastadır. Hastaya görüntüleme öncesi görüntülenecek bölgeye özel radyoaktif madde içeren özel bir ajan enjekte edilir. Uygun bir süre geçtikten sonra görüntüleme sistemi radyoaktif ışınım avına başlar<sup>(20)</sup>.



Şekil 15: Gama Kamera<sup>(20)</sup>

#### 2.1.6.1.1. GAMA KAMERA ÇALIŞMA PRENSİBİ

- Organdan yayılan gama fotonları kolimatör tarafından yönlendirilerek dedektör elementi olan NaI(Tl) kristali üzerine düşürülür.
- Gama fotonları dedektör elementine çarparak enerjileri ile orantılı olarak sintilasyon (görünür ışık) fotonlarına dönüştürülür.
- Sintilasyon fotonları ışık yönlendirici tabaka tarafından odaklanıp foton çoğaltıcı tüp girişindeki foto katoda çarptırılarak buradan elektron kopmasına neden olur.
- Açığa çıkan elektronlar foton çoğaltıcı tüp içindeki dynodlar arasında yüksek voltajında etkisiyle hızlandırılır ve giderek sayıları artar. Elektronlar bu şekilde foton çoğaltıcı tüp çıkışındaki anotta toplanır. Böylece organdan yayılan gama fotonları kristal içinde sintilasyon fotonlarına, foton çoğaltıcı tüp içinde elektrik sinyallerine dönüştürülmüş olur.
- Foton çoğaltıcı tüpten çıkan sinyaller: X-boyutundan alınan sinyaller, Y-boyutundan alınan sinyaller ve Z-boyutundan (enerji boyutu) alınan sinyaller olmak üzere üç boyuttan gelir. Bu elektriksel sinyaller, bilgisayarlar ve özel görüntü işleme yazılımları tarafından işlenerek görüntüye dönüştürülür <sup>(113)</sup>.

#### 2.1.6.1.2. GAMA KAMERANIN TEMEL PARÇALARI

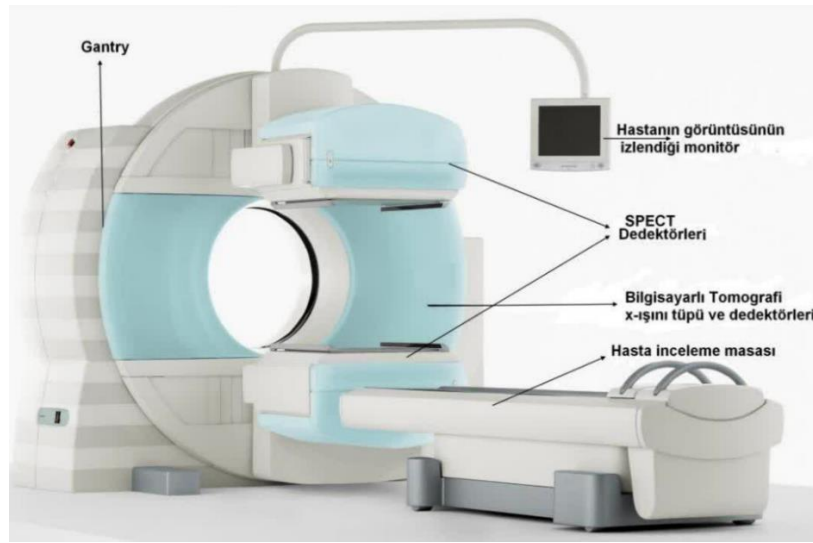
- Kolimatör
- Sintilasyon Kristali
- Foton Çoğaltıcı Tüpler
- Puls Yükseklik Analizörleri
- Bilgisayar

#### 2.1.6.2. TEK FOTON EMİSYONLU BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ (SPECT)

SPECT, tek foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi sistemidir. SPECT (Single Photon Emission Compurized Tomography) kısaltması yaygın olarak kullanılır. Tek bir foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi (SPECT) cihazı, kanın dokulara ve organlara nasıl aktığını görmemize olanak sağlar.

SPECT görüntüleme cihazları, hastanın vücuduna verilen radyoaktif izleyici moleküllerin dağılımının üç boyutlu (tomografik) görüntülerini sağlar. 3B görüntüler, farklı açılarda kaydedilen çok sayıda projeksiyon görüntüsünden elde edilen bilgisayardır. SPECT görüntüleyiciler, hastaya enjekte edilen izleyicilerden gelen gama ışını emisyonlarını tespit edebilen gama kamera dedektörlerine sahiptir. Kameralar, dedektörlerin bir palet üzerinde hareketsiz yatan bir hastanın çevresinde dar bir dairede hareket etmesini sağlayan döner bir portal üzerine monte edilmiştir.

Omurgadaki nöbetler, inme, stres kırıkları, enfeksiyonlar ve tümörlerin teşhisine yardımcı olmak için kullanılabilir <sup>(21)</sup>.



Şekil 16: Tek Foton Emisyonlu Bilgisayarlı Tomografi (SPECT)<sup>(21)</sup>

##### 2.1.6.2.1. SPECT CİHAZINDA GÖRÜNTÜ KALİTESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

SPECT uygulamalarında görüntünün kalitesini etkileyen parametreler aşağıda belirtilen durum başlıkları altında incelenir<sup>(21)</sup>.

- Fiziksel
  - Gamma ışınlarının azalım problemi
  - Saçılan fotonlar

- Gürültü
- Sistem rezolüsyonu
- Matematiksel
  - Kullanılan filtre ve kesim (cut off) frekansı (fc)
- Fizyolojik
  - Hasta hareketi
  - Radyofarmasötüğün hastadaki zamana bağlı değişimi
  - Görüntülenecek organın bir bölümünün dedektörün görüş alanı dışında kalması
- Gamma kamera – kolimatör sistemi
  - Sistem hassasiyeti
  - Sistem rezolüsyonu
  - Sistemin kalibrasyonu ve kalite kontrolü
  - Bölgesel hassasiyet hataları
  - Kolimatör etkinliğinin kolimatör yüzeyinden artan mesafe ile değişimi
  - Dönme merkezi ile ilgili hatalar
  - Homojenitedeki hatalar

#### 2.1.6.3. POZİTRON EMİSYON TOMOGRAFİSİ (PET)

Pozitron Emisyon Tomografisi (PET) damar yolu ile enjekte edilen metabolik radyoaktif ajanların biriktiği normal veya patolojik dokuları görüntüleyen nükleer tıp cihazıdır ve görüntüleme tekniğidir. Genel anlamda organ ve dokularda ortaya çıkan fonksiyonel değişiklikleri ve metabolik olayları görüntülemek için kullanılır.

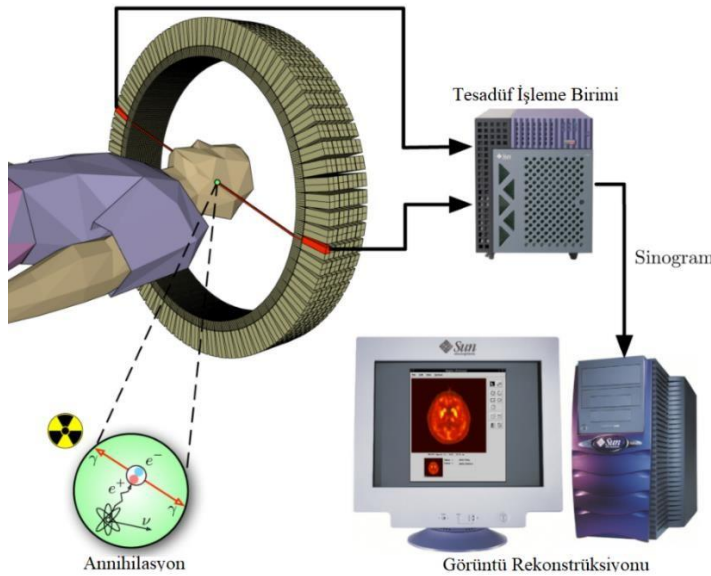
Yaygın olarak kullanılan bir şeker türevidir olan Florodeoksiglukoz (FDG) molekülü ile pozitron ışıması yapan flor-18 işaretlenir ve damar yoluyla enjekte edilerek hastaya uygulanır<sup>(22)</sup>.



Şekil 17: Pozitron Emisyon Tomografisi (PET)<sup>(23)</sup>

#### 2.1.6.3.1. PET ÇALIŞMA PRENSİBİ

Taramayı gerçekleştirmeden önce, hastaya damar yolu üzerinden kısa ömürlü bir radyoaktif izotop enjekte edilir. Aktif molekül hastanın ilgili dokulara doğru yoğunlaşması için belirli bir süre beklenir. Süre sonunda hasta cihazın dedektörlerinin bulunduğu tarama alanına yerleştirilir. Dedektör yapısı halka şeklindedir ve sabittir. Görüntülenecek organa yerleşen radyoizotop, pozitron emisyon bozunmasına maruz kaldığında, ters yüklü elektronun bir anti parçacığı olan bir pozitron yayar. Yayılan pozitron doku içinde kısa bir mesafe boyunca hareket eder ve kinetik enerjisini kaybeder. Enerjisini kaybederek yavaşlayan pozitron bir elektron ile karşılaşması ve etkileşime girmesi sonucunda hem kendisinin hem de elektronun yok olmasına neden olur. Bu etkileşim sonucunda birbirine zıt yönlerde hareket eden bir çift gama fotonu üretir. Bu gama fotonları halka şeklindeki dedektör yüzeyinde yer alan sintilatör yüzey tarafından önce görünür ışığa sonrasında ise elektriksel sinyallere dönüştürülür. Elde edilen elektriksel sinyallerin bilgisayar ünitesi tarafından işlenmesi sonucunda görüntü bilgisi elde edilmiş olur.



Şekil 18: PET Çalışma Prensibi (24)

#### 2.1.6.4. NÜKLEER TIPTA KULLANILAN HİBRİT CİHAZLAR

##### 2.1.6.4.1. POZİTRON EMİSYON TOMOGRAFİSİ - BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ (PET-CT)

Pozitron emisyon tomografisi ve bilgisayarlı tomografi (PET-CT) cihazı hibrit yapıyı oluşturan cihazlardan ayrı ayrı elde edilen ve üst üste binmiş tek bir görüntüde birleştirilen, aynı seansta her iki cihazdan sıralı görüntüler elde etmek için, bir pozitron emisyon tomografi tarayıcısı ve bir x-ışını bilgisayarlı tomografi tarayıcısını tek bir portalda birleştiren bir nükleer tıp tekniği ve cihazıdır.

Böylelikle vücuttaki metabolik veya biyokimyasal aktivitenin uzamsal dağılımını gösteren PET ile elde edilen fonksiyonel görüntüleme, BT taraması ile elde edilen anatomik görüntüleme ile daha hassas bir

şekilde hizalanabilir veya ilişkilendirilebilir. Her iki cihazı bağlı olduğu ortak bir yazılım ve kontrol sistemi ile iki ve üç boyutlu görüntüler oluşturulur ve monitörize edilir.

#### 2.1.6.4.2. PET-CT KULLANIM ALANLARI

- Kanser tespiti
- Kanserın vücudaya yayılıp yayılmadığının tespiti
- Kanser tedavi planlarının ve etkinliğinin değerlendirilmesi
- Tedavi sonrası kanserin tekrarlayıp tekrarlamadığının belirlenmesi
- Kalp kasındaki kan akışının belirlenmesi
- Kalp krizi, miyokart enfarktüsü gibi durumların kalp üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi
- Miyokard perfüzyon sintigrafisi ile birlikte anjiyografi veya koroner arter bypass cerrahisi gibi işlemlerden hangi kalp kası alanlarının yararlanabileceğinin belirlenmesi
- Tümörler, bellek bozuklukları, nöbetler ve diğer merkezi sinir sistemi bozuklukları gibi beyin anormalliklerinin değerlendirilmesi
- Epilepsi cerrahisine hazırlık için
- Diğer testler yeterli bilgi sağlamadıysa demans tanısında yardımcı olarak
- Parkinson hastalığı ve diğer hareket bozuklukları arasındaki farkı bulabilmek için<sup>(22)</sup>

#### 2.1.6.4.3. PET / MR

Yüksek çözünürlüklü bir MR cihazının içerisinde yine yüksek çözünürlüklü PET dedektörlerinin aynı anda PET ve MR görüntülerini elde edilmesini sağlayan yüksek teknoloji ürünü cihazdır. Bu yüksek teknoloji ürünü ağırlıkla kanser görüntülemesinde kullanılır. MR ve PET incelemesinin aynı cihazda yapılması hastaya büyük avantaj sağlar. Öncelikle hasta zamandan tasarruf eder. Hem MR hem PET incelemenin arka arkaya yapılmasından ziyade tek bir incelemede iki görüntüleme aynı anda gerçekleşir. Hasta MR görüntülemeye radyasyon almayacağından bu inceleme PET-CT ye göre daha az radyasyon içerir. <sup>(25)</sup> <sup>(26)</sup> <sup>(27)</sup>.

PET MR cihazını %70-80 oranında kanser hastaları kullanır. Bunun dışında Alzheimer gibi beyinde fonksiyonel ve morfolojik değişikliklere yol açan hastalığın erken tanısında da PET-MR kullanılır. Ayrıca kalp krizi geçirmiş insanlarda ya da koroner kalp hastalığının yol açtığı kalp kası kasılma kusurunu ve beslenemeyen bölgeyi erkenden bulmak için PET-MR kullanılabilir. Bu cihazda radyasyonun PET-CT' ye göre daha düşük olması özellikle çocuk ve genç erişkinlerde tercih edilmesine yol açar.

PET-MR da hasta aynı PET-CT deki gibi hazırlanır. Yani 10-12 saat öncesinden aç kalmalıdır. Sonra hastaneye gelip PET-MR ile yine PET-CT de olduğu gibi hastanın kan değerlerine bakılıp FDG denilen

radyoaktif işaretlenmiş glikozun damarına zerk edilmesinden 1 saat hasta sonra incelemeye alınır. Tüm vücut MR çekilirken aynı anda PET dedektörleri de çalışacağından her iki görüntü aynı anda elde olur. <sup>(26)</sup>.

PET-MR özellikle kanserin erken teşhisinde önemli bir rol oynar. Kanser ancak erken teşhis edilirse tamamen tedavisi mümkün olan bir hastalıktır. Kanser teşhis ettikten, yerini bulduktan sonra kanserin vücuda ne kadar dağıldığını bilmek gerekir. Çünkü, tedavi ona göre planlanır. Bunların tek bir incelemede görüntülenmesi şimdiye kadar mümkün değildi. Hasta kanserin organ sınırlarını ne kadar geçtiğini bilmemiz için MR incelemeye, vücutta ne kadar yayıldığını bilmemiz için PET-CT incelemeye giriyordu. PET-MR kanserin tek seansta evrelerinin belirlenmesini mümkün kılmaktadır. PET-MR cihazıyla tedaviye yanıtı en erken dönemde değerlendirebiliyor. <sup>(26)</sup>.

## 2.2. RADYOLOJİ

### 2.2.1. RADYOLOJİ NEDİR?

Radyoloji, x ışınları ve diğer görüntüleme yöntemleri ile elde edilen görüntülerin tıpta tanı ve tedavi amacıyla kullanılmasıdır. Başka bir tanımla, radyoloji, hastalıkları teşhis etmek için vücudun iç yapısının görüntülerinin yorumlandığı tıbbi bir uzmanlık alanıdır. Hastalığın tanı ve tedavisi amacıyla radyasyon, yüksek frekanslı ses dalgaları veya çok güçlü manyetik alanlar kullanarak vücudun iç yapı görüntülerini üretir<sup>(29)</sup>.

### 2.2.2. RADYOLOJİ TARİHÇESİ

- 1895- Alman fizikçi Prof.Dr. Wilhelm Conrad Röntgen x-ışınlarını bulması
- 1897- İngiliz fizikçi Rutherford'un uranyumun alfa ve beta yaydığını bildirmesi
- 1898- Toryum, polonyum, radyumun radyoaktif olduğunun keşfi
- 1900- Amerikan radyoloji derneğinin kurulması
- 1903- Radyasyonun zararlı etkilerinin anlaşılması
- 1905- Einstein'ın ışığın enerji içeren taneciklerden oluştuğunu ortaya koyması ve enerji paketi olan bu taneciklere "FOTON" adını vermesi
- 1912- X-ışının elektromanyetik dalga özelliğinde olması
- 1919- İyotlu kontrast maddelerin kullanılmaya başlanması
- 1930-BT tanımlanması
- 1933-Radyasyondan korunma yöntemlerinin geliştirilmesi
- 1954- İsviçreli fizikçi Felix Bloch tarafından "Nükleer manyetik rezonans" tekniğinin geliştirilmesi
- 1956- Otomatik banyo aygıtının geliştirilmesi



- 1960- Lazer ışınının keşfi
- 1966- Ultrasonun tıbbi görüntüleme amacıyla kullanılması
- 1972- BT'nin İngiliz Housfeild tarafından geliştirilmesi
- 1974- BT'nin vücutta kullanılması
- 1980- Anjiyografi yöntemlerinde gelişmelerin başlaması<sup>(28)</sup>

### 2.2.3. RADYOLOJİNİN KULLANILDIĞI TEŞHİS VE TEDAVİ ALANLARI

- Kemik ve akciğer hastalıklarının teşhisinde,
- Yabancı cisimlerin incelenmesi için,
- Yaralanmalar ve acil tıpta,
- Meme hastalıklarında,
- Osteoporozun teşhisinde,
- Kalp ve damar hastalıklarının teşhis ve tedavisinde,
- Vücut içi organlarda oluşan hastalıkların teşhisinde,
- Hamileliğin takibinde,
- Kas-ligament yapı ve iskelet sistemi hastalıklarının teşhisinde,
- Omurga, omurilik, beyin, baş, boyun, bel, nöroradyoloji gibi sinir sistemi kontrollerinde,
- Karın, meme, yumuşak doku lezyonlarının görüntülenmesinde,
- Jinekolojik ve pediatrik hastalıkların incelemesinde kullanılır<sup>(29)</sup>.

### 2.2.3. RADYOLOJİ UZMANI / RADYOLOG NEDİR?

Radyoloji uzmanı; radyoloji alanında teşhis ve tedavi sürecinde hastaların hastalıklarını takip eden ve tedavi amaçlı radyolojik işlemleri yapan kişiye verilen mesleki unvandır. Söz konusu alanda uzman doktor tarafından muayene ve testler yapılarak teşhis konulur. Ardından da radyoloji alanında hastaların tedavi edilmesi sağlanır<sup>(30)</sup>.

## 2.2.5. X – IŞINLARI

### 2.2.5.1. X-IŞIN TÜPÜNÜN YAPISI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

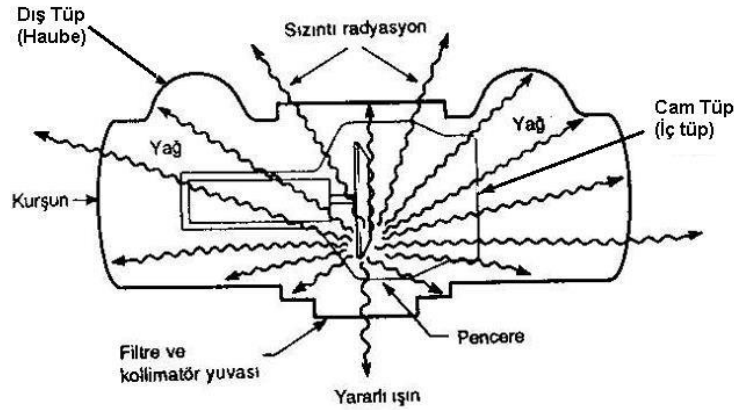
X-ışını tüpü, televizyon tüpleri gibi, elektron iletimini sağlayan bir vakum tüpüdür. X-ışını tüpünün temel görevi hızlı hareketi sağlanan elektronların kinetik enerjisinin bir kısmını elektromanyetik enerji çeşidi olan x-ışınına dönüştürmektir. X ışın tüpü aşağıdaki parça ve bileşenlerden oluşur<sup>(58)</sup>.

- Dış tüp (Haube): Röntgen tüpünün en dışında yer alan metalik kılıftır. Kurşundan imal edilmiştir<sup>(58)</sup>.

Başlıca görevleri;

- Fazla radyasyonu izotropik olarak absorbe etmek,
- Elektrik şokunu engellemek,
- Yüksek ısıyı absorbe ederek çevre ortama yaymak
- Cam tüpe mekanik koruma sağlamaktır<sup>(58)</sup>.

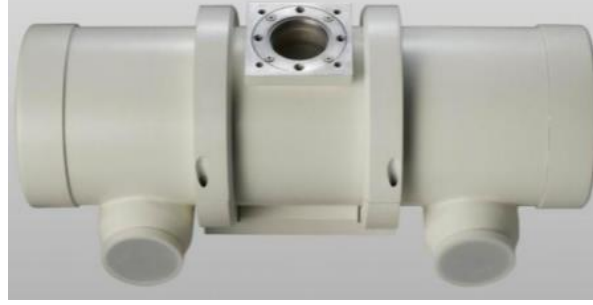
Anotta oluşan x-ışınları izotropik olarak (her yöne) dağılırlar. Kullanılmak istenen ışın, cam tüp ve metalik muhafazanın penceresinden geçen ışın demetidir. Diğer yönlerde dağılan primer ve sekonder radyasyon metalik muhafaza tarafından absorbe edilerek kullanıcı ve hasta fazla radyasyondan korunur. Üzerinde görüntü oluşturmada kullanılan kaliteli radyasyonun dışarı çıkmasını sağlayan bir pencere bulunmaktadır<sup>(58)</sup>.



Şekil 19: X-Ray Tüp Yapısı <sup>(58)</sup>

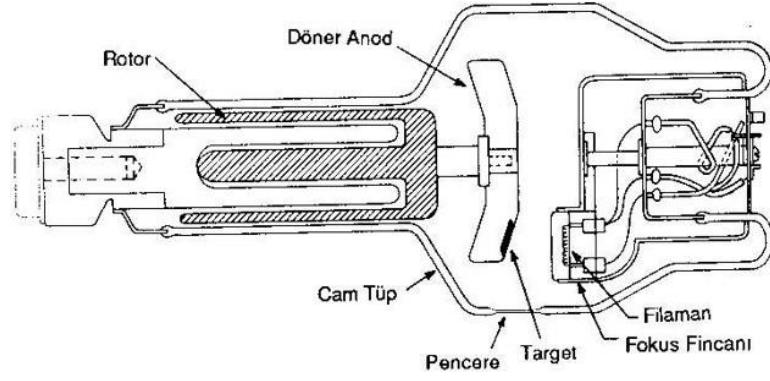
Uygun üretilmiş muhafazada, röntgen tüpü maksimal akım ve potansiyel ile çalıştırıldığında bir metre mesafedeki sızıntı radyasyon 100 mR/saat'ten az olmalıdır. Metalik muhafazada yüksek gerilim kablolarının topraklanmasını sağlayan bağlantılar mevcut olup kullanıcıyı elektrik şokundan korur. Cam tüpe mekanik destek sağlayarak tüpün darbe ile zarar görme tehlikesini azaltır<sup>(58)</sup>.

İncelemeler sırasında metalik muhafaza ellenmemeli ve tüpe pozisyon vermek için yüksek voltaj kablolarından çekilmemelidir<sup>(58)</sup>.



Şekil 20: Haube <sup>(58)</sup>

- Yağ Bölgesi: Metalik muhafaza ve cam tüp arasında elektrik yalıtımı sağlayan ve termal olarak ısıyı absorbe eden ince yağ tabakası bulunur. Anotda oluşarak cam tüpe iletilen ısı, yağ aracılığı ile metalik muhafazaya oradan da dış ortama yayılır. Yağ tarafından emilen ısı soğutma fanları ve/veya radyatör sistemleri ile soğutulur. Röntgen cihazlarında oluşan ısı miktarı düşük olduğu için dış tüpün (haube) sıcak yüzeyine yerleştirilen hava üfleyen fan ile soğutma işlemi gerçekleştirilir. Ancak tomografi, anjiyo gibi cihazlarda üretilen radyasyon miktarının yüksek olmasına bağlı olarak artan ısı miktarının tahliyesinde soğutma fanları yetersiz kalmaktadır. Bu durumlarda su ile yapılan radyatörlü soğutma sistemleri kullanılır<sup>(58)</sup>.
- İç tüp (insert): 20-25 cm uzunlukta, 15 cm çapta, vakumlanmış ve ısıya dayanıklı Pyrex camından yapılmıştır. Yaklaşık 5 cm<sup>2</sup> büyüklükte ve daha ince camdan yapılmış pencere kısmı bulunur. Pencereden hastaya yöneltilen x-ışını demeti geçer. Yüksek kapasiteli tüplerde dayanıklılığı arttırmak için metal kılıflar kullanılır. İç tüp, dış haubenin içerisine yerleştirilir. İç tüpün içerisinde hava vakumlanarak boşaltılmıştır. Bu sayede iç tüpte oluşabilecek gereksiz elektron akımları engellenmiş olur. Ayrıca içeride kalan hava ısının etkisiyle genişleyerek iç tüpün kırılmasına neden olur. Hava, X ışın kalitesinin düşmesine ve bozulmasına neden olur<sup>(58)</sup>.



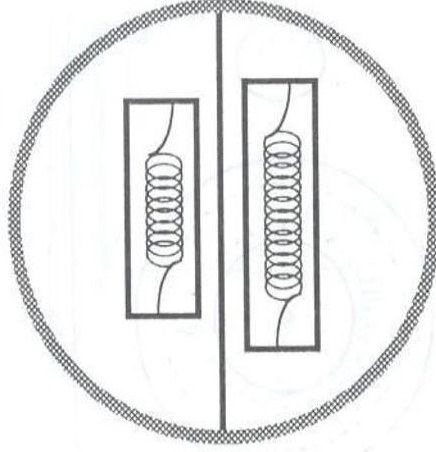
Şekil 21: İç Tüp Yapısı (58)



Şekil 22: İç Tüp (İnsert) (58)

- Katot: X-ışını tüpünün negatif terminalidir. Katot tarafında filaman, fokuslayıcı fincan ve bağlantı kabloları yer alır. Filaman 2 mm çapta, 1-2 cm uzunlukta tungsten bileşiğinden yapılmış tel sargıdır. Filamanlar elektron üretmek için kullanılır<sup>(58)</sup>.

Termoionik emisyon bu bölgede gerçekleşir. Filamandan yeterli miktarda akım geçirilirse tungsten atomlarının dış yörünge elektronları ısıyı absorbe ederek metal yüzeyinden adeta kaynarak hafifçe ayrılır. Bu olaya “termoionik emisyon” adı verilir. Emisyon için filamanın en az 2200 °C’a (2000-2500 °C) ısıtılması gerekir. Tungstenin toryum bileşiği 3410 °C’da erir ve kolay buharlaşmaz. Birçok x-ışını tüpünde yan yana yerleştirilmiş çift filaman mevcuttur. Daha yüksek tüp akımları için büyük filaman kullanılır<sup>(58)</sup>.

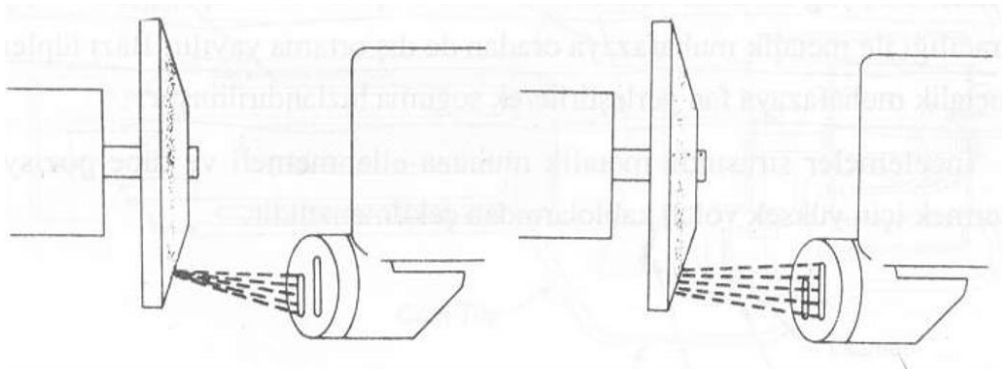


Şekil 23: Çift Filamanlı Foküsleme Başlığı (58)

Filaman yüzeyinden ayrılan elektronlar yüzeyin hemen üstünde elektron bulutu oluştururlar. Negatif yüklü bu buluta “**alan yükü**” adı verilir. Alan yükünün negatif etkisi yeni elektronların filamandan ayrılmasını engeller. Bir süre sonra filamandan ayrılan elektronlarla dönen elektronlar arasında denge oluşur<sup>(58)</sup>.

Katottan ayrılan elektronlar oluşturulan potansiyel farkı ile anoda doğru hızlandırılır. Anoda akan elektronlar x-ışını tüp akımını oluştururlar ve bu akımın birimi miliamper’dir. 1 Amper, 1 sn’de 1 Coulomb yani  $6.25 \times 10^{18}$  elektron yükünün akımıdır<sup>(58)</sup>

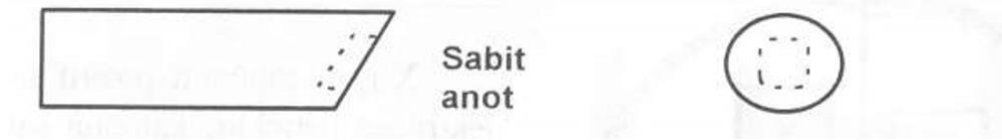
Katottan anoda hızlandırılan elektronlar negatif yükleri nedeniyle birbirlerini iterek saçılırlar. Bu saçılmayı engellemek ve elektronları anotta belirli bir alana yöneltmek için filaman **foküslama fincanı** denilen metalik bir yuvaya yerleştirilmiştir. Molibdenden yapılmış foküslama fincanının negatif potansiyeli filamanla eşit tutularak elektronların ince bir demet şeklinde targete fokuslanması sağlanır. X-ışını cihazı açıldığı zaman filamandan düşük bir akım geçirilerek filaman ısıtılır ve filaman yüksek ısı şokuna hazırlanır. Şutlama anında akım yükseltilerek termiyonik emisyon artırılır ve istenilen tüp akımı sağlanır<sup>(58)</sup>.



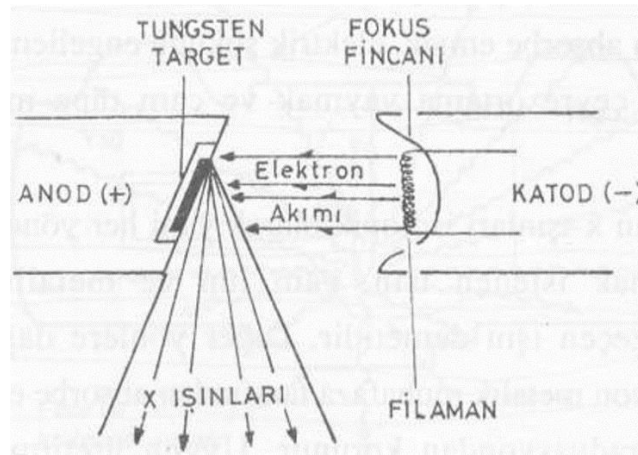
Şekil 24: Çift Filamanlı Foküsleme Başlığı ve Elektron Hareketi<sup>(58)</sup>

- Anot: X-ışını tüpünün pozitif elektrodudur. Anot x-ışınlarının oluşturduğu target denilen tungsten plak ve onun yerleştirildiği metalik destekten oluşur. Sabit ve döner tipleri mevcuttur. Sabit anot dış üniteleri ve portatif cihazlar gibi yüksek tüp akımı gerektirmeyen cihazlarda kullanılır. Anodun elektrik iletken, ısı iletken ve mekanik destek fonksiyonları mevcuttur. Katottan çıkan elektronlar anot tarafından tekrar yüksek voltaj tankına iletilir. Tüp akımını oluşturan elektronların kinetik enerjilerinin %99'u anotta ısıya, %'1 veya daha azı ise X-ışını enerjisine dönüştürülür<sup>(58)</sup>.

Sabit anotlar bakır kütlesi içinde yerleştirilmiş 2-3 mm kalınlıkta tungsten plağıdır. Boyutları 1 cm civarında dikdörtgen veya kare şeklindedir. Target denilen bu plak elektronların çarptığı alandır. Tungsten plağın gömülü olduğu bakır kütle anotun termal kapasitesini artırır ve ısıyı hızla cam tüpe ve onun aracılığı ile çevresindeki yağ ve metalik muhafazaya iletir<sup>(58)</sup>.



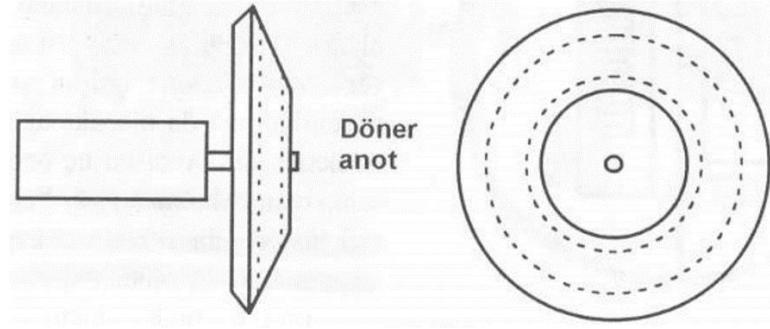
Şekil 25: Sabit Anot Tarama Alanı<sup>(58)</sup>



Şekil 26: Sabit Anot Yapısı<sup>(58)</sup>

X-ışını enerjisinin ve miktarının artırılabilmesi için anotun ısı kapasitesinin artırılması gerekmektedir. Bunun için döner anotta target alanı büyütülerek disk haline getirilmiş ve yüzeyi genişletilmiştir. Ortalama 75-100 mm çaptaki diskin çevresine yerleştirilen target alanına ısı yayılarak ısı kapasitesi birkaç yüz misli artırılabilir. Diskler ortalama dakikada 3600 devir dönerek disk yüzeyindeki her nokta 1/60 sn'de bir bombardıman edilmekte kalan zaman ısıнын dağıtılmasında kullanılmaktadır. Yüksek kapasiteli tüplerde dönüş hızı dakikada 10.000 devire kadar çıkmaktadır. Döner anot elektromanyetik indüksiyon motoru ile döndürülür.

Anotun arkasındaki cam tüpün boyunun çevresinde stator sargılar yer alır. Bu sargılardan geçirilen akımın yarattığı manyetik alan boynun içinde yer alan bakırdan yapılmış rotorda indüksiyon akıma yol açmakta ve rotoru döndürmektedir. Rotorun dişlilerindeki sürtünmeyi minimuma indirmek için metalik kayganlaştırıcı olan ısıya dayanıklı gümüş kullanılmaktadır. Döner anotta oluşan ısıya dişlilerde kilitlenme yapmaması için anodun boynu ısı yalıtkanı molibdenyumdan yapılır. Böylece ısı vakum aracılığı ile cam tüpe ve daha sonra çevreye iletilir. Radyografide anodun yeterli hıza erişmesi 0.5-1 sn kadar zaman almaktadır. Dolayısıyla şutlamada bu kadar süre beklenerek anodun optimal hıza ulaşması sağlanır ve daha sonra elektron bombardımanı başlatılır. Şutlamadan sonra anodun durması da belirli zaman almaktadır<sup>(58)</sup>.



Şekil 27: Döner Anot Tarama Alanı<sup>(58)</sup>

Tungstenin target olarak seçilmesinin 3 nedeni mevcuttur:

- **Atomik numarasının (74) yüksek oluşu:** Yüksek atomik numara yüksek enerjili x-ışını oluşumunu sağlar.
- **Yüksek erime derecesi:** Bakırın erime derecesi 1083 iken tungsten 3410 dereceye kadar dayanabilir. X-ışını oluşumunda anot ısı 2000 °C'a kadar yükselmektedir.
- **İyi ısı iletkeni olması:** Tungstenin ısı iletkenliği bakıra yakındır<sup>(58)</sup>.

#### 2.2.5.2. X-IŞINLARININ OLUŞUMU

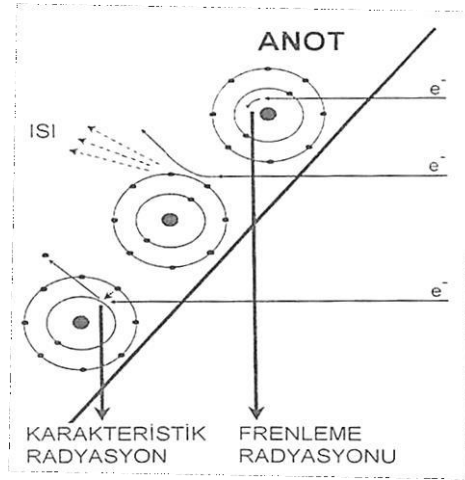
X ışınları katottan çıkarak potansiyel farkı ile anoda hızlandırılan elektronların anodun targetine çarpması sonucu kinetik enerjilerinin dönüşümü ile oluşur<sup>(58)</sup>

Kinetik enerji hareket enerjisidir ve miktarı;

$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$

denklemleri ile belirlenir (m: kg olarak kütle, v: m/sn olarak hız olduğunda KE birimi jouldur).

Tüp potansiyeli kVp (kilovolt peak) olarak belirlenir. Yani tüpteki maksimal potansiyeli belirler. 70 kVp ile çalıştırılan tüpte maksimal potansiyel 70.000 volt olup, elektronların maksimal kazanabildiği enerji 70 keV'dur. Bu enerji kinetik enerji denklemine uygulandığında elektronların katot ve anot arasındaki 1-3 cm mesafelik yolda ışık hızının yaklaşık yarı hızına ulaştığı anlaşılr. İşte bu kadar yüksek bir hızla hedefi bombardıman eden elektronların kinetik enerjileri termal enerji ve x-ışını şeklinde elektromanyetik enerjiye dönüşmektedir. Enerji dönüşümü; hedefteki nükleusların elektrik alanı ve orbital elektronların bağlama enerjisi düzeyinde olmaktadır. Hedef elektronlarının yörüngeden ayrılmadan uyarılması termal enerjiye; nükleusla ve yörünge elektronları ile etkileşim ise x-ışını (karakteristik ve frenleme radyasyonu) oluşumuna yol açmaktadır<sup>(58)</sup>.



Şekil 28: X Işınlının Oluşumu <sup>(58)</sup>

#### 2.2.5.2.1. TERMAL ENERJİ

Elektron bombardımanında kinetik enerjinin büyük kısmı ısı enerjisine dönüşmektedir. Elektronlar, hedefin dış yörünge elektronlarını aynı yörüngede daha yüksek enerji düzeyine uarmakta ancak yörüngeden koparamamaktadır. Uyarılmış elektronlar normal konumlarına dönerken infrared radyasyon salınır. Böylece elektronların kinetik enerjilerinin % 99'u ısı enerjisine dönüşmektedir<sup>(58)</sup>.

#### 2.2.5.3. KARAKTERİSTİK RADYASYON

Hedefe ulaşan yüksek enerjili elektronların hedef atomlarının iç yörüngelerinden elektron koparması ile oluşur. Elektronun ayrılması iyonizasyon olup, atom pozitif iyon haline gelir. K yörüngesindeki boşluk daha dış yörüngelerden doldurulur. Doldurma sırasında yörüngelerin elektron bağlama enerjileri arasındaki farka eşit düzeyde enerjili x-ışını fotonu salınır. Örneğin tungstenin K yörüngesindeki boşluk L yörüngesinden doldurulursa yaklaşık 59 keV enerjili foton salınır (K enerjisi: 70 keV, L enerjisi: 11 keV). K yörünge elektronunun koparılabilmesi için katottan gelen elektronun 70 keV veya daha fazla enerjili olması gerekir. Daha fazla olan enerji koparılan elektrona kinetik enerji sağlar. K yörüngesindeki



boşluk L yörüngesinden doldurulabileceği gibi daha dış yörüngelerden de doldurulabilir. Ayrıca elektron koparılması da daha dış yörüngelerden olabilir. Her durumda doldurulan yörüngeler arasındaki fark kadar yani belirli düzeyde enerji salınır. Bu nedenle bu radyasyona karakteristik radyasyon denilmektedir. 70 kVp altındaki potansiyelde karakteristik radyasyonu oluşmamakta 100 kVp'de ise total x-ışını demetinin %15'i karakteristik radyasyon (%85'i frenleme radyasyonu) olarak ortaya çıkmaktadır<sup>(58)</sup>.

#### 2.2.5.4. GENEL RADYASYON

Diğer iki etkileşim şekli farklı olarak burada katot elektronu yörünge elektronları ile değil nükleusun pozitif elektrik alanı ile etkileşir. Katot elektronu yörünge elektronlarına rastlamadan nükleusun yanından geçerken nükleusun pozitif elektrostatik çekim alanı tarafından yavaşlatılır ve sapmaya uğrar. Elektronun azalan kinetik enerjisi foton olarak salınır. Nükleusun elektrik alanının yavaşlatma etkisi nedeni ile bu radyasyona frenleme radyasyonu (Bremsstrahlung) adı verilmektedir. Elektron kinetik enerjisinin tamamı veya bir kısmını kaybedebileceği gibi enerjisini hiç kaybetmeden de nükleusun yanından geçebilir. Elektron tüm enerjisini kaybetmeden targette belirli mesafe yol alabilir. Gerek katot elektronlarının enerjilerinin farklı oluşu gerekse de frenlemenin değişik miktarlarda olması nedeniyle genel radyasyon geniş bir enerji spektrumu şeklinde ortaya çıkar. 90 kVp potansiyelde x-ışını enerjileri 0-90 keV arasında değişir. Enerjinin önemli bir miktarı düşük olduğu için infrared radyasyon olarak termal enerjiye dönüşür. Biraz daha yüksek enerjili fotonlar ise bizzat target veya cam tüp tarafından filtre edilirler<sup>(58)</sup>.

#### 2.2.5.5. X-IŞIN ŞİDDETİ

X-ışını şiddeti, ışın demetindeki fotonların sayısı ile enerjilerinin çarpımıdır. Işın şiddeti Röntgen/dk ile ölçülür. 1 Röntgen, 1 santimetre küp havada  $2.08 \times 10^9$  iyon çifti oluşmasına yol açabilen radyasyon şiddetidir. X-ışını tüpünde ışın demetinin şiddetini belirleyen 5 faktör bulunur: <sup>(58)</sup>.

- X-ışını tüp akımı
- Tüp potansiyeli
- Target maddesi
- Filtrasyon
- Tüp voltajının dalga şekli

#### 2.2.5.6. X IŞINI TÜP AKIMI

X-ışını tüp akımı ışın şiddeti ile doğru orantılıdır. Tüp akımı iki misli arttırılırsa iki misli sayıda foton oluşur<sup>(58)</sup>.

#### 2.2.5.7. Tüp POTANSİYELİ

Tüp potansiyeli katot elektronlarının enerjisini belirler. Elektronların enerjisinin artması x-ışını oluşumunu hem sayı hem de enerji olarak artırır. Işın şiddetindeki artma tüp potansiyelinin karesi ile orantılıdır. Dolayısıyla ışın şiddetinin eğrisi potansiyelle hem yükselir hem de daha yüksek enerjili alana kayar. kVp'nin etkisi teknisyenler tarafından pratikte şöyle bilinir: kVp'deki % 15 artma mA'nın iki misli artışına eşittir. Örneğin 60 kVp'den 70 kVp'e potansiyeli artırma film dansitesini mA'nın iki misli artması kadar etkiler. Gerçekte ışın şiddetini iki misli artırmak için kVp % 40 arttırılmalıdır. Ancak yüksek enerjili x-ışınları hastadan daha fazla geçtiği ve filme ulaştığı için % 15'lik artma % 40'luk artma oranında etki etmektedir<sup>(58)</sup>.

#### 2.2.5.8. TARGET MADDESİ

Target maddesinin atomik numarası arttıkça x-ışını oluşumunun etkinliği artmaktadır. Atomik numara karakteristik radyasyonunun enerjisini belirlemektedir. Ayrıca atomik numara kısmen genel radyasyon miktarını da arttırmaktadır. Düşük atomik numaralı targette frenleme (genel) radyasyon azalmaktadır. Düşük atomik numaralı anot düşük kVp ile kullanıldığında toplam ışın demetindeki karakteristik radyasyon miktarı artar. Molibdenyum anotlar bu nedenle mamografide kullanılır. 40 kVp ile kullanıldığında karakteristik radyasyon 18-20 keV arasında oluşur ki mamografi için idealdir<sup>(58)</sup>.

#### 2.2.5.9. FİLTASYON

Hem tüpün kendisine ait olan hem de ilave edilmiş filtrasyon, düşük enerjili x-ışınını absorbe ederek x-ışının efektif enerjisini artırır ancak bu arada toplam ışın şiddeti de azalmış olur<sup>(58)</sup>.

##### 2.2.5.9.1. Tüp VOLTAJININ DALGA ŞEKLİ

Trifaze voltajda potansiyel sıfıra düşmediği ve maksimal değerlere yakın seyrettiği için x-ışının hem enerjisi hem de şiddeti artar. Trifaze cihazla çalışıldığında tek fazlıya göre film dansitesinde %12 artış olur. Dolayısıyla monofazede 72 kVp gerektiren bir çekim için trifazede 64 kVp kullanmak gerekir<sup>(58)</sup>.

#### 2.2.5.10. X-IŞINI ÖZELLİKLERİ

- X-ışını elektromanyetik dalgadır
- X-ışınlarının dalga boyu 0.04-1000 Å arasında değişmekle birlikte tanınal alanda kullanılanları 0.5 Å dalga boyundadır.
- İnsan gözü 3800-7800 Å arasındaki dalga boyundaki ışığı seçebildiğinden X-ışınları gözle görülmezler

- X-ışını elektromanyetik bir dalga olduğundan boşluktaki hızı 300.000 km/sn ile ışık hızına eşittir.
- Elde edildikleri enerji düzeyleri farklı olduğundan aynı demet içinde farklı dalga boyunda X-ışınları bulunabilmektedir
- X-ışını partikülsüz dalga ışıması olduğundan ağırlığı yoktur
- X-ışını elektriksel bir yüke sahip olmadığından manyetik alanda sapmaz
- X-ışınlarının şiddeti mesafeye bağlı olarak azalır (Ters kare kanunu).
- Noktasal bir kaynaktan çıkan X-ışını yoğunluğu (şiddeti) mesafenin karesi ile ters orantılı olarak azalır
- X-ışını, geçtiği ortamda iyonizasyona neden olur
- Röntgen incelemelerinin yapıldığı odadaki hava, X-ışınının iyonlaştırıcı etkisi ile negatif ve pozitif iyonlara dönüşmektedir. Bu gazlardan oksijen ( $O_2$ ) radyasyon ile iyonize olarak ozon ( $O_3$ ) gazına dönüşmektedir
- X-ışını fotoğrafik 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-ışınları, üzerlerine düştüğü bazı maddelerde ışınlama süresince parıldama meydana getirmektedir. Buna X-ışınlarının floresans özelliği adı verilmektedir
- X-ışını kimyasal etkiye sahiptir
- X-ışınına maruz kalan maddenin kimyasal yapısında bazı değişiklikler oluşur
- X-ışını biyolojik etkilere sahip olup canlı hücrelerde, kromozomların yapısındaki DNA molekülünde, genetik mutasyon veya ölümle sonuçlanabilecek önemli hasarlar meydana getirebilir
- Maddeden geçişi sırasında X-ışınının bir kısmı soğrulur, bir kısmı saçılma uğrar
- Saçılma uğrayan kısmı sekonder radyasyonu meydana getirir<sup>(32)</sup>.

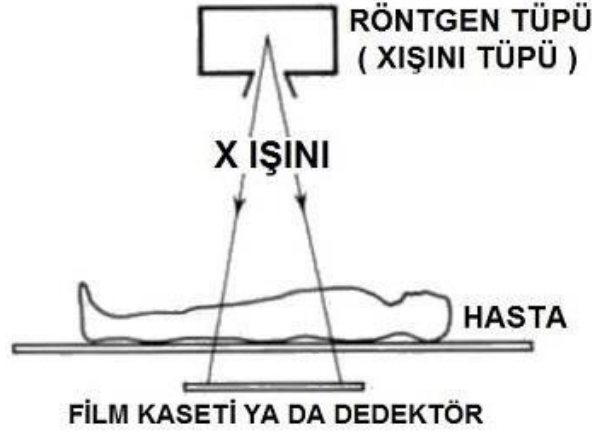
## 2.2.6. RADYOLOJİ CİHAZLARI

### 2.2.6.1. X IŞINLARI KULLANAN RADYOLOJİ CİHAZLARI

#### 2.2.6.1.1. RÖNTGEN

Röntgen, vücudumuzdaki yapıların, özellikle de kemiklerin, X ışınları (röntgen ışınları) kullanılarak görüntülenmesine verilen isimdir. Görüntüleme için kullanılan cihazlara röntgen cihazı, elde edilen görüntülere röntgen görüntüsü (ya da röntgen filmi), yapılan işleme de röntgen çekimi denir. Röntgen çekimleri hızlı ve acısız çekimlerdir fakat yapılan her çekimde çekim yaptıran kişi radyasyona maruz kalır. Bu nedenle gerek olmadıkça röntgen çekimi yaptırmak, alınan radyasyondan dolayı insan sağlığına zarar verebilir. Röntgen çekimleri, incelenecek bölgeden doğrudan X ışını geçirerek

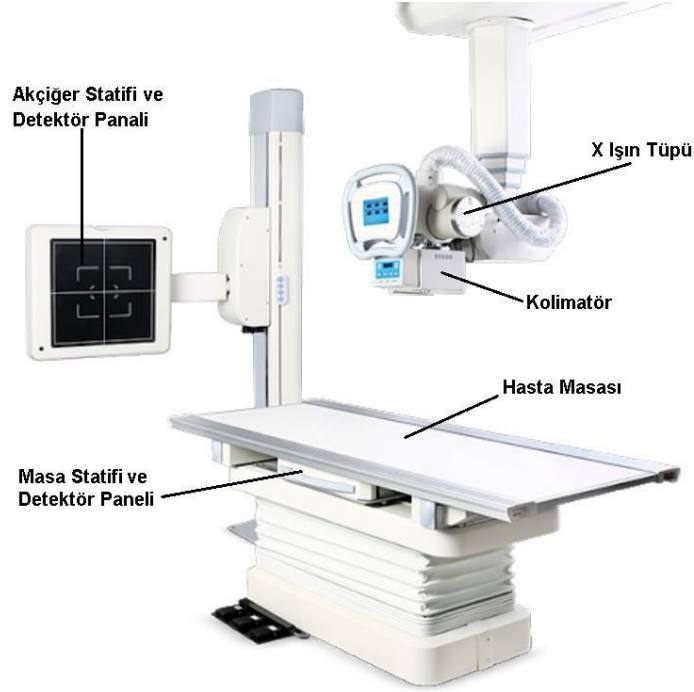
yapılabileceği gibi incelenecek yapının içine veya çevresine kontrast madde verdikten sonra X ışını geçirerek de (kontrastlı çekim) yapılabilir. Röntgen cihazlarında temel olarak bilgisayar ve kontrol ünitesi, X ışını tüpü, hasta masası, masa ve akciğer statifi gibi ana elemanların yanı sıra bunlar üzerinde kullanılan çeşitli aksam ve aksesuarlar mevcuttur <sup>(33)</sup>.



Şekil 29: Röntgen cihazı çalışma prensibi<sup>(33)</sup>

X ışın tüpünün çalışması ve x oluşumu daha önceki bölümlerde açıklanmıştı. Üretilen x ışınları dış tüp üzerinde yer alan küçük bir pencereden kontrollü olarak geçerek foton salınımı gerçekleştirir. X ışınları hastaya ulaşmadan önce düşük enerji düzeyine sahip x ışınlarını tutmak için çeşitli filtrelerden geçer. Filtrelerden geçen yüksek enerji düzeyine sahip X ışınları, kolimatör olarak isimlendirilen ve kurşun plakalardan oluşan bir yapı aracılığı ile hasta üzerinde istenilen bölgeye yönlendirilir. Kolimatör x ışınlarının çıkış aralığını kurşun plakalar ile sınırlandırır. Bu sayede hastanın görüntülenecek bölge dışında kalan kısımlarının radyasyona maruz kalması engellenir. Hastadan geçen x ışınları film yada dedektör bloğuna ulaşması ile görüntü elde edilir. Görüntüyü dokular arasındaki penetrasyon veya absorpsiyon farkı oluşturur. Görüntü oluşturan x-ışınları hastayı geçer ve güçlendirici ekrandan ışık salınmasına neden olur. Konvansiyonel röntgende filmler, eski tip fotoğraf makinelerindekilere benzer. Film kaset içerisine yerleştirilir. Kaset dışarıdan içeriye ışık geçişini engelleyecek şekilde tasarlanmıştır. Röntgen tüpüne bakan ön yüzü (X ışınlarının düştüğü yüzey) düşük atom numaralı, ince ve sağlam bir yüzeyden imal edilmiştir. Bu yüzey X ışınlarının geçişine engel olmaz. Kasetin diğer yüzeyi ise yüksek atom numaralı, X ışınlarının geçmesini engelleyen bir maddeden imal edilir. Kasetin iç yapısında bulunan ranforsatör yüzey sayesinde X ışınları görünür ışığa dönüştürülür. Elde edilen görünür ışık pozlanmamış filmin pozlanmasını sağlayarak görüntünün film yüzeyinde oluşmasını sağlar. Karanlık odada kaset içerisinde pozlanmış film çıkartılarak film banyo işlemi yapılır. Bu işlem bir takım kimyasal yıkama ve duruluma işlemlerini içerir. Banyo işleminden sonra elde edilen film doktorun incelemesi için hazır hale gelmiş olur. Günümüzde konvansiyonel röntgenler artık kullanılmamaktadır. Bu

cihazların bir kısmı dedektör bloğunun eklenmesi ile dijital röntgen cihazına dönüştürülmüştür. Dijital röntgen cihazlarında kullanılan dedektör paneli çok hızlı bir şekilde görüntünün dijital olarak bilgisayara aktarılmasını ve monitörize edilmesini sağlar. Dijital dedektör panelinin X ışın tüpüne bakan yüzeyinde bulunan sintilatör kristalleri X ışınlarını görünür ışığa dönüştürür. Elde edilen görünür ışık sintilatör kristal tabakasının altında yer alan foto diyot yüzeye ulaşır. Foto diyot yüzeye çarpan fotonlar, foto diyotların çıkışında elektriksel bir sinyal oluşmasını sağlar. Elde edilen elektriksel sinyal, dedektör bloğunda yer alan işlemsel yükselteçler ile yükseltilir. Bir sonraki adımda analog-dijital sinyal dönüşümü yapılır. Elde edilen dijital sinyal görüntünün oluşturulması için bilgisayar ünitesine gönderilir ve görüntü monitörize edilir. Günümüzde üretilen X ışınlı cihazlar dijital dedektör bloğuna sahiptir. Konvansiyonel radyoloji yerini dijital radyolojiye bırakmıştır.



Şekil 30: Dijital Röntgen ve Genel Paçaları

Röntgen cihazları radyoloji bölümlerinde yaygın olarak kullanılmakla beraber hastanelerin acil servislerinde de yer alan vazgeçilmez bir cihazdır. Trafik kazaları, düşme, çarpma gibi travmatik durumların ilk analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

#### 2.2.6.1.2. BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ

Bilgisayarlı tomografi (BT), vücudun iç kısımlarının ayrıntılı kesit görüntülerini oluşturmak için X ışınları ve bilgisayar kullanan tıbbi bir görüntüleme tekniğidir. Bu cihazın çalışma prensibi, diğer X ışını ile görüntüleme yapan radyografi cihazları ile aynıdır. Vücudun neredeyse tüm kısımlarını görüntülemek için tomografi kullanılabilir. Cerrahi müdahale veya tedavileri planlamanın yanı sıra, hastalık veya yaralanmaları teşhis etmek için de kullanılır. Trafik kazaları, çarpma, yaralanma vb. durumlarda oluşan içi kanama ve beyin kanamalarının tespiti gibi son derece acil durumlarda hayat kurtarıcıdır. Bu yüzden radyoloji bölümü dışında acil servislerde de bulunması son derece önemlidir. (34).



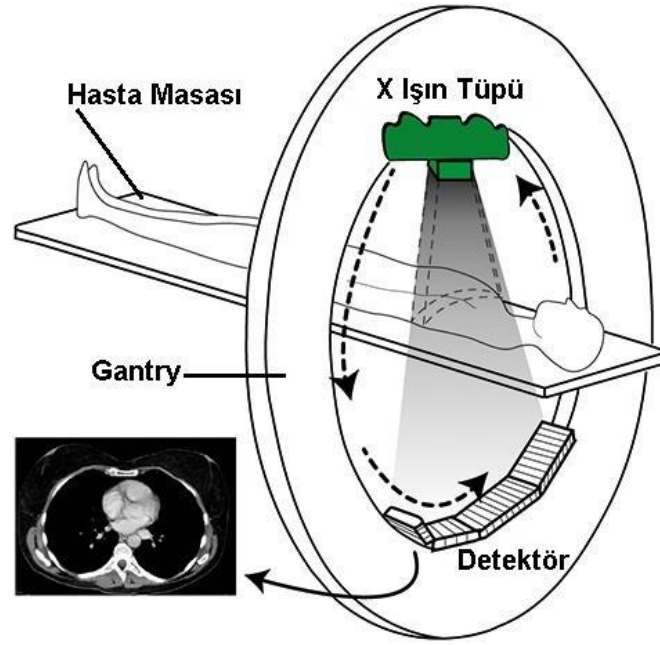
Şekil 31: Tomografi Cihazı(35)

Bilgisayarlı tomografi (BT), vücudun etrafından farklı açılardan çekilen bir dizi X-ışını görüntüsünü bilgisayarda birleştirerek vücuttaki kemiklerin, kan damarlarının ve yumuşak dokuların kesitsel görüntülerini oluşturur. Vücuttaki normal ve anormal yapıları tanımlamak veya tıbbi prosedürlere yardımcı olmak için kullanılır. BT taraması görüntüleri düz X-ışınlarından daha ayrıntılı bilgi sağlar. Taramada bazen iyot içeren bir kontrast madde kullanılır. Ağrısızdır ve sıklıkla ayakta tedavi ortamında yapılır(34).

Bilgisayarlı tomografide, ortasında dairesel bir açıklığa sahip, büyük bir x-ışını kaynağı ve bir x-ışını dedektörü, vücudu çevreleyerek etrafında döner. Hareketli bir masa tablası üzerine yerleştirilen hasta, gantry olarak isimlendirilen bu boşluğa doğru belirli bir hızda gönderilir. Gantry boşluğunda tarama işlemi gerçekleştirilir. Bir kesit görüntüsü için gerekli tarama işlemi yapıldıktan sonra masa hastayı bir sonraki kesit görüntüsünü almak için içeri doğru hareket ettirir. Bu işlem belirlenen aralıktaki kesit görüntüler alınıncaya kadar devam eder. Modern tarayıcılarda gövdeden geçen x-ışınlarını kaydeden

genellikle 4 ila 64 ya da daha fazla sayıda sensörü olan bir x-ışını dedektörü bulunur. Sensörlerden gelen veriler, vücutta çoklu açılardan alınan bir dizi röntgen ölçümü yapar. Ölçümler doğrudan görüntülenmez, bir bilgisayara gönderilir<sup>(34)</sup>.

Bilgisayar röntgen ölçümlerini, vücudun 2 boyutlu dilimlerini (enine kesitler) andıran görüntülere dönüştürür. Tomo; Yunanca “dilim” anlamına gelir. Kaydedilen bu görüntüye tomogram denir. İşlem birkaç kesit üretmek için tekrarlanır. Bilgisayar, kaydedilen görüntülerden 3 boyutlu görüntüler de oluşturabilir<sup>(34)</sup>.



Şekil 32: Bilgisayarlı Tomografi Şematik Gösterimi<sup>(34)</sup>

Tomografi vücuttaki hasarı ve yaralanmaları teşhis etmek, ileri tetkik veya tedavileri yönlendirmek ve tedavilerin etkilerini kontrol etmek için kullanılır<sup>(34)</sup>.

- Kemik tümörleri ve kırıkları gibi kas ve kemik bozukluklarını teşhis etmede,
- Kemiklerde hasar, kan akışı, felç ve kanserle ilgili sorunları tespit etmede,
- Tümör, enfeksiyon veya kan pıhtısının konumunu belirlemede,
- Cerrahi, biyopsi ve radyasyon tedavisi gibi prosedürleri yönlendirmede,
- Kanser, kalp hastalığı, akciğer nodülleri ve karaciğer kitleleri gibi hastalıkları ve durumları tespit etme ve izlemede,
- Kanser tedavisi gibi bazı tedavilerin etkisinin takibinde,
- İç yaralanmaları ve iç kanamayı tespit etmede,

- Biyopsi yapılması, çeşitli testler için vücut içi sıvıların çıkarılması ve derin apselerin boşaltılması gibi belirli prosedürlerin gerçekleştirilmesinde radyoloji uzmanına rehberlik etmede,
- Bir tümörün yerini, boyutunu ve şeklini belirlemede BT taramasından yararlanılır<sup>(34)</sup>.

#### 2.2.6.1.3. FLOROSKOPİ

Radyoskopi (floroskopi) incelemesi, x-ışınları kullanılarak yemek borusu, mide, ince bağırsak, kalın bağırsak, safra yolları ve kadın üreme organlarının ayrıntılı ve gerekirse hareketli şekilde gerçek zamanlı incelenmesini sağlayan, radyoskopi (floroskopi) cihazı ile gerçekleştirilen tanısal bir görüntüleme yöntemidir.

Radyoskopi, genelde sindirim sistemi, idrar yolları veya üreme sistemi yapılarının ayrıntılı görüntülenmesi için yapılır. Bu yolla yemek borusu hastalıkları, mide ülserleri, ince ve kalın bağırsak hastalıkları, sindirim kanalı tümörleri, idrar torbasından böbreklere idrar kaçıışı, idrar torbasından idrarın boşalması ile ilgili sorunlar, rahim ile yumurtalıklar arasındaki kanalların açıklığı ve ilgili sorunlar araştırılır, sorunları saptanabilir.



Şekil 33: Floroskopi Cihazı <sup>(125)</sup>

Floroskopi, X ışını kullanılarak çekilir. Bu cihazların çalışma prensibi, diğer X ışını ile görüntüleme yapan radyografi cihazları ile aynıdır. X ışını üreten bir X ışın tüpü, kolimatör, hasta masası, dijital dedektör bloğu ve dijital görüntünün oluşturulduğu ve monitörize edildiği bir bilgisayar ve kontrol



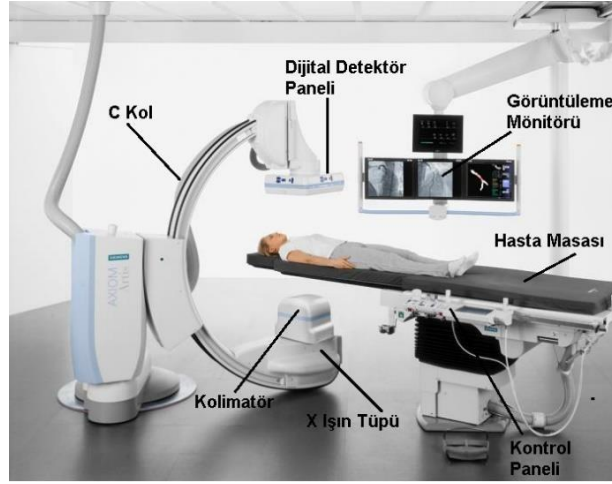
ünitesinden oluşur. Normal filmlerde görülemeyen sindirim sistemini oluşturan organlar ve yapılar kontrast madde olarak isimlendirilen ilaçlarla boyanarak görünür hale getirilir. Radyolojide kullanılan kontrast maddeler (radyo opak madde) vücudun içinden geçen X-ışınlarının tutulmasını sağlayan ilaçlardır. İçi boş organları ve damarları daha belirgin ve görünür hale getirmek için kullanılır. Beyaz renkte görüntü verirler. Kontrast maddeler, baryum ve iyot gibi radyo-opak maddeler içeren ilaçlardır. Kontrast maddeler, uygulanacak incelemenin türüne göre, hastaya içirilerek, lavman yapılarak, idrar sondası yoluyla veya enjeksiyonla verilir. Kontrast madde verilmesini takiben, incelenen organ doktor tarafından ekranda izlenerek çeşitli pozisyonlarda filmler çekilir.

#### 2.2.6.1.4. ANJİYOGRAFI

Anjiyografi, vücuttaki organları besleyen, kanlandıran ve kan taşıyan damarlara kontrast madde verilerek yapılan görüntüleme tekniğidir. Anjiyografi denildiğinde, daha çok kalbi besleyen koroner arterlerin incelendiği, koroner anjiyografi anlaşılmakla birlikte kalp, diğer arterler, venler ve lenf damarları da incelenir. Anjiyografi genellikle incelenen bölge ve organa göre adlandırılır. Beyin damarlarına ait incelemelere serebral anjiyografi, akciğerlere ait incelemelere pulmoner anjiyografi; koronerlere ait incelemelere koroner anjiyografi; böbreklere ait incelemelere renal anjiyografi; karaciğer, dalak için olan incelemelere splenoportografi; hepatikportografi, hepatik arter anjiyografi ve çölyak anjiyografi en çok bilinen anjiyografilerdir. Safra yollarına opak madde verilerek koledok ve safra kanallarının incelenmesine kolanjiyografi denir. Fakat bu incelemede damarlar değil safra yolları incelenir.

Anjiyografi zor, fakat teşhis değeri diğer filmlere göre çok yüksek bir inceleme yöntemidir. Herhangi bir organa ait bir damarın darlığı veya tam tıkanıklığı en iyi anjiyografi ile anlaşılır. Örneğin kalbi besleyen damarlar olan koroner arterlerin daralma veya tıkanmasını en iyi gösteren görüntüleme yöntemi, koroner anjiyografidir. Yine yüksek tansiyon en önemli sebeplerinden biri olan böbrek atardamarının darlığı, en iyi renal anjiyografi ile anlaşılır<sup>(36)</sup>.

Anjiyografi cihazlarının çalışma prensibi, diğer X ışını ile görüntüleme yapan radyografi cihazları ile aynıdır. Bu cihazlarda X ışını tüpü, kumanda masası ve hasta masası gibi ana elemanlar bulunur. Dijital cihazlarda X ışını tüpü, dijital dedektör paneli, hasta masası, masa ve tüpü hareket ettiren kontrol paneli ve monitörler bulunur<sup>(36)</sup>.

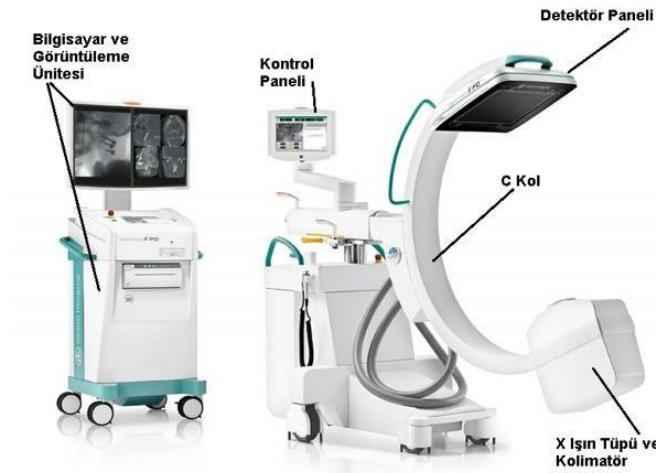


Şekil 34: Tipik Bir Anjiyografai Cihazı<sup>(38)</sup>

#### 2.2.6.1.5. C - KOLLU SKOPİ

C kollu skopi cihazının çalışma prensibi, diğer X ışını ile görüntüleme yapan radyografi cihazları ile aynıdır. Ortopedi, travmatoloji, genel cerrahi, üroloji, beyin cerrahi ve kısmen seçilen hafıza sistemlerine bağlı olarak her türlü endoskopik çalışmalarda, ameliyat ortamında kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Gerçek zamanlı görüntü elde edilmesini sağlayan bir röntgen cihazıdır. <sup>(40)</sup>.

C kollu skopi; kolun bir ucunda X-ışını tüpü, diğer ucunda ise dedektör paneli bulunur. X-ışını tüpü tarafından oluşturulan X-ışınları, hastanın görüntülenmesi istenilen bölgesi üzerinden geçirilir ve X-ışınlarına duyarlı dedektör yüzeyi üzerine düşürülerek görüntü elde edilir. C kolun yatay hareketleri, farklı açılarda çekim kolaylığı sağlar X ve Y eksenlerinde 360° dönebilen kol sayesinde yatay ve dikey ekseninde istenilen pozisyonun verilmesine olanak sağlamaktadır<sup>(40)</sup>.



Şekil 35: C Kollu Skopi Cihazı<sup>(41)</sup>

#### 2.2.6.1.6. MAMOGRAFİ

Mamografi, meme dokusunun röntgen filminin çekilmesi işlemidir. Bu işlem sırasında meme, x ışını ile görüntüleme yapan mamografi cihazına ait 2 tabaka arasına konur ve bir miktar sıkıştırılır. Daha sonra meme dokusuna düşük miktarda x ışını verilerek meme dokusuna ait görüntü bilgisayar ortamına aktarılır. Hekimin yaptığı inceleme ile meme dokusunda anormallik olup olmadığı anlaşılır. Meme kanseri tanısında altın standart olarak kabul edilen mamografi sayesinde meme içindeki küçük kitleler ya da farklılıklar hızla fark edilir Dijital mamografi cihazları ile meme dokusunun çok küçük kesitler şeklinde görüntüsü elde edilebilir. Görüntü üzerinde kayıp yaşamadan büyültme işlemi yapılabilir. Bu yüzden şüphe duyulan mamografi sonuç görüntülerinde tekrar çekim yapılması gerekmez <sup>(42)</sup>.



Şekil 36: Mamografi Cihazı<sup>(43)</sup>

#### 2.2.6.1.7. KEMİK DENSİTOMETRİ

Kemik mineral densitometri cihazları ile yapılan ölçümlerde, belirli bir radyasyon miktarının kemik tarafından absorbe edilmesine neden olan mineral miktarının yorumlanması esas alınmaktadır. Bu ölçüm sonucu yapılan hesaplamalarla kemiğin birim alanda ya da hacimde, absorpsiyona neden olan mineral içeriği tahmin edilir.<sup>(44)</sup>.



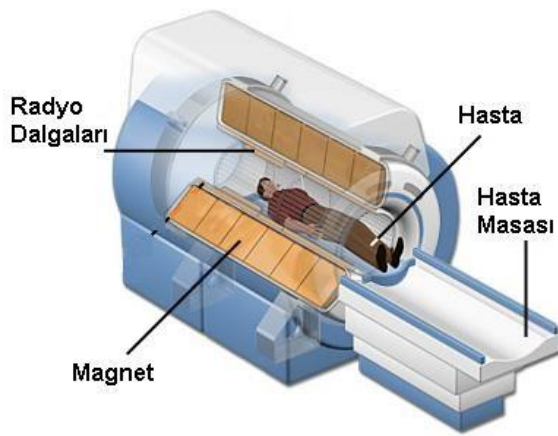
Şekil 37: Dansitometri (DEXA) Cihazı<sup>(45)</sup>

Kemik Dansitometre Cihazı, hastanın kemiği içinden geçen, iki ayrı enerji piki şeklinde olan ince ve görünmez düşük doz X ışını demeti gönderir. Piklerden biri yumuşak dokular, diğeri ise kemik tarafından emilir. Yumuşak dokular tarafından emilen miktar total miktardan çıkarılır ve geriye kalan kemik mineral yoğunluğunu verir. Tüm aygıtlar elde edilen verileri işleyen ve bilgisayar monitöründe görülebilir hale getiren software programları içerir. Tetkik esnasında kullanılan radyasyon dozu çok az olup neredeyse direkt akciğer röntgeninin onda biri kadardır. Bu nedenle incelemeyi yapan teknisyen, odada herhangi bir X- ışını korumasına ihtiyaç duymadan çalışabilmektedir<sup>(44)</sup>.

#### 2.2.6.2. X IŞINLARI KULLANMAYAN RADYOLOJİ CİHAZLARI

##### 2.2.6.2.1 MANYETİK REZONANS GÖRÜNTÜLEME (MRG)

MR, BT gibi bir kesit görüntüleme yöntemidir. Görüntüleri, BT’de olduğu gibi dijitalize edilmiş değerlerden, güçlü bilgisayarlar marifetiyle oluşturulur. Dijital olan bu görüntüler, bilgisayar teknolojisinden yararlanılarak işlenir ve üç boyutlu görüntüler yapılabilir. MR yönteminin önemli bir avantajı hastanın pozisyonunu değiştirmeden her düzlemde görüntü alabilmesidir. MR’nin kullandığı enerji radyo dalgalarıdır. Radyofrekans (RF) olarak isimlendirilen bu enerji, elektromanyetik radyasyon yelpazesi içerisinde yer alır. Veri kaynağı hücre sıvısı ve lipidler içerisindeki hidrojen çekirdeğidir (protonlar). Manyetik alana en duyarlı element hidrojendir. Vücudumuzun büyük bir çoğunluğu sudan oluştuğu için fazla sayıda hidrojen atomları vücudumuzda yer almaktadır. Radyolojik yöntemler içerisinde yumuşak dokuyu en ayrıntılı olarak gösteren yöntem MR’dir.<sup>(46)</sup> Magnet olarak isimlendirilen bölgede çok yüksek manyetik alan mevcuttur. Günümüzde yaygın olarak 1.5 ve 3 Tesla manyetik alana sahip magnetler kullanılmaktadır.



Şekil 38: MR Cihazı ve İç Yapısı <sup>(47)</sup> <sup>(48)</sup>

Bir MR görüntüsünün elde edilişi şu şekilde özetlenebilir:

- Normalde vücudumuz RF enerjisine duyarlıdır. Önce veri kaynağımız olan protonların RF enerjisi ile uyarılır hale getirilmesi gerekir. Bunun için hasta çok güçlü bir manyetik alan içerisine yerleştirilir. Bu manyetik etkiyle protonlar manyetik alana uygun şekilde dizilir ve uyarılmaya hazır hale gelirler.
- Kesit alınacak bölgeye RF enerjisi gönderilir. Protonlar bu enerjiyi alır ve enerjinin miktarına göre konumlarından saparlar
- RF enerjisi kesilir. Protonlar eski konumlarına dönerler. Bu dönüş sürecinde aldıkları enerjiyi bir sinyal şeklinde yayarlar. Güçlü manyetik alan marifetiyle protonlar, sinyal alan ve yayan antenler gibi davranırlar. MR görüntüleri işte bu sinyallerden oluşturulur. <sup>(47)</sup> <sup>(48)</sup>.

#### 2.2.6.2.2. ULTRASONOGRAFİ

İnsan kulağı 20 ile 20000 Hertz frekanslar arasındaki sesleri duyabilir. Günümüzde kullanılan ultrason cihazları ise insan kulağının duyması olanaksız olan 1 ile 5 MHz arasındaki frekanslardaki ses dalgaları ile çalışır. Ultrason, yani yüksek frekanslı ses dalgaları, ultrason cihazlarına bağlı ve içinde hareketli veya hareketsiz piezoelektrik kristallerin olduğu “problar” tarafından insan vücuduna yönlendirilir. Piezoelektrik kristaller elektriksel sinyali ses dalgalarına, vücuttan geri yansıyarak kristallere çarpan ses dalgalarını da tekrar elektriksel sinyallere dönüştürürler. Ultrason dalgaları insan vücudunda belli bir derinliğe kadar yayılır ve bazı dokulardan geri yansır. Ultrason cihazlarının elektronik olarak oluşturduğu ultrason frekansını değiştirebilme işlevi vardır ve ultrason dalgalarını dokulara doğru yönlendiren problar değiştikçe kendisini otomatik olarak ayarlar. Düşük frekanslı ultrason dalgaları seçimi yapılırsa, bu dalgalar dokular içinde iyi yayılabilir fakat geri yansıma oranı düşüktür. Yüksek frekanslı örneğin 5 MHz olan ultrason dalgalarının dokularda yayılma özellikleri azdır fakat geri

yansıyan dalga oranı yüksektir. Böylece oluşturulan görüntü kalitesi de daha iyi olacaktır. Bu nedenle derin dokuları incelerken düşük frekanslı dalgalar, yüzeysel dokuları incelerken yüksek frekanslı ultrason dalgaları tercih edilir. <sup>(49)</sup> <sup>(50)</sup>.



Şekil 39: Ultrason Cihazı <sup>(126)</sup>

### 2.3. RADYASYON ONKOLOJİSİ (RADYOTERAPİ)

Halk arasında ışın tedavisi olarak da bilinen radyoterapi, kanser tedavisinde uzun yıllardır kullanılan bir tedavi tekniğidir. Kanser teşhisi almış tüm hastaların yaklaşık dörtte üçünde tedavinin herhangi bir bölümünde en az bir kez radyoterapi uygulaması yapılır. Kanser hücrelerinden oluşan dokuların ve bazı durumlarda da iyi huylu tümörlerin radyasyon ışınları ile tedavi edilmesini sağlayan bir uygulama olan ışın tedavisinde kullanılan radyasyon, kanserleşmiş hücrelerin çekirdeğini hedef alarak burada hasar oluşumuna yol açar. Çekirdeği hasar gören hücreler çoğalma yeteneğini kaybeder ve kanser hastalığı da bu şekilde tedavi edilmiş veya kontrol altına alınmış olur. Radyoterapide kanser hücrelerinin yanı sıra daha az miktarda da olsa sağlıklı hücreler de zarar görür. Bu durum istenmeyen yan etkilerin ortaya çıkışında rol oynayan faktörlerden bir tanesidir. Fakat sağlıklı hücreler, kanser hücrelerine oranla daha gelişmiş onarım mekanizmalarına sahip olduğundan tedavi sonrasında yeniden çoğalarak eski sağlıklarına kavuşabilir.

Radyasyon onkolojisi kliniklerinde uygulanan radyoterapi işlemlerinde hem tedavi öncesi süreçte hastalığın durumunu ve yayılımını saptamak hem de tedavi sırasında radyoterapi başarısını araştırmak amacıyla PET/CT yönteminden yararlanmak gerekir. Bir tıbbi görüntüleme yöntemi olan PET/CT ile hastalıklardan kaynaklı metabolik değişimler radyoaktif bileşenler kullanılarak incelenir. Oldukça detaylı bilgiler veren bu görüntüleme yöntemi sayesinde vücuttaki yapısal ve fonksiyonel değişiklikler değerlendirilir ve en uygun tedavi yaklaşımı belirlenir. <sup>(52)</sup> <sup>(57)</sup>.

### 2.3.1. RADYOTERAPİ UYGULAMA YÖNTEMLERİ

1. Eksternal (Dıştan) radyoterapi: Ya radyoaktif bir kaynaktan çıkan (Cobalt 60 cihazı) ya da elektrikten elde edilen ışınları kullanan cihazlar (Lineer Hızlandırıcı yada kısa adı ile Linak) kullanılarak belli bir uzaklıktan (genellikle 80-100 cm uzaklıktan) hastaya uygulanan radyoterapidir. Uygulanan radyasyon ağrıya, sızıya neden olmaz. Tedavi bitince ortamda radyasyon kalmaz. Hasta radyoaktif hale gelmez. Hastaya yaklaşmakta, sarılmakta bir sakınca yoktur.

2. Brakiterapi (İçten- internal) radyoterapi: Radyoaktif kaynakların (bir tel olarak düşünün) hastalıklı bölgenin üstüne, içine ya da yakınına yerleştirilmesi şeklinde uygulanır. Uygulanan radyoaktif kaynak ya geçici olarak yerleştirilip tedavi sonrasında çıkarılır ya da vücutta ömür boyu kalıcı olarak (prostat kanserinde olduğu gibi) bırakılır. Vücutta bırakılan kaynaklar görevini tamamladıktan sonra hemen hemen tamamen etkisi geçer.

Diğer bir tedavi ise Nükleer Tıp Bölümünce uygulanan guatr ya da tiroid kanserinde kullanılan İyot 131 tedavisidir. Halk arasında atom tedavisi denilen bu tedavinin farkı radyoaktif madde direk olarak damardan vücuda verilir. Böylece hasta geçici olarak radyoaktif hale gelir. Hastaya geçici olarak yaklaşmak kısıtlanır. Radyoaktif madde etkisi geçince hastaya yaklaşmakta bir sorun olmaz<sup>(52)</sup>.

### 2.3.2. RADYOTERAPİDE KULLANILAN CİHAZLAR

#### 2.3.2.1. COBALT 60 CİHAZI

Bu cihazda gantry dediğimiz bir kafa içinde bulunan yapay radyasyon yayan mercimek büyüklüğünde bir maddenin yaydığı gama ışınları kullanılır. Hastaya belli bir uzaklıktan uygulanır. Tedavi teknisyeni diğer cihazlara göre daha yüksek oranda radyasyona maruz kalabilir. Yani hastaya uygulanan dozun kontrolü mümkün değildir. Tüm kanserlerde tedavinin başarılı bir şekilde yapılmasını sağlayamaz. Özellikle vücudun kalın bölgelerinde etkisi azdır. Örneğin şişman ya da iri bir hastaysanız bu cihazla karın bölgesi ve akciğerin tedavisi önerilmez. Diğer bölgelerde de yapılan tedavilerin kalitesi çok iyi değildir. Gelişmiş ülkelerde kullanılmamaktadır<sup>(53)</sup>.



Şekil 40: Cobalt 60 Cihazı<sup>(54)</sup>

#### 2.3.2.2. LİNEER AKSELERATÖR (LINAC)

LINAC, hastanelerin onkoloji bölümünde bulunan, kanser tedavisinde kullanılan ve hastaya X-ışını yollamak suretiyle bunu gerçekleştiren bir cihazdır. Tıbbi görüntüleme cihazlarından (MR, CT, vb.) alınan görüntüler vasıtasıyla, çevredeki sağlıklı dokulara zarar vermeden sadece kanserli hücrelere yüksek dozda X ışınları uygulayan eksternal tedavi cihazıdır<sup>(55)</sup>.

Linac, yüksek gerilim altında metal hedeften koparılan elektronları akseleratör tüpü içerisinde hızlandırarak, bu elektronların 'Gantry'de (cihazın kafa bölgesi) bir targete çarptırılması sonucu oluşan X-Işınlarını belli kolimatörler vasıtasıyla hastaya odaklar. Verilen bu radyasyon vücutta saniyeler içinde tepkimeler başlatır. Bu tepkimeler sonucu oluşan moleküller kanser hücrelerin genetik kodu olan DNA'larda kırıklıklar meydana getirir. Böylece genetik kodu hasarlanan tümör hücreleri bundan sonra bölünemez ve ölmeye başlarlar. Bu şekilde bir tedaviyi bıçaksız cerrahi olarak da değerlendirebiliriz. Çünkü hastada kanama, yara, acı vs. olmaz<sup>(55)</sup>.



Şekil 41: Lineer Akseleratör (LINAC) <sup>(55)</sup>



### 2.3.2.3. TOMOTERAPİ

İleri teknoloji ürünü olan Tomoterapi’de “nokta atış” tekniği ile kanserli hücreler hedef alınmaktadır ve her hasta için özel “kişiselleştirilmiş” ışın tedavileri uygulanmaktadır. Tomoterapi Cihazı bir Bilgisayarlı Tomografi sisteminden esinlenilmiş ve içerisinde tomografi tüpü yerine tedavi amaçlı Lineer Hızlandırıcı yerleştirilerek dizayn edilmiş ve gantri yapısı sayesinde 3 boyutlu üst düzey görüntüleme ve aynı zamanda helikal olarak 3 boyutlu üst düzey ışın tedavileri yapabilen bir sistemdir. Tedavi yapısı ve işleyiş şekli nedeniyle helikal olarak durmadan dönerek ışınlama yapabilen, kesit kesit tarama ve tedavi yapabilen bir sistemdir. Bu “kesit kesit tedavi” işlemi her bir kesit aralığındaki tümöre kendini odaklayarak sadece ve sadece tümörü ışınlamaya hedefler, bu tedavi işlemi adeta çok ince bir kalemle birçok açıdan 3 boyutlu farklı renklerde organ boyaması yapmaya benzetilmektedir. Bu sayede Tomoterapi cihazları ile yapılan tomoterapi tedavisinde kritik ve sağlıklı organlar korunarak onkoloji hastalarını foton x-ışını yardımıyla başarılı şekilde tedavi edilmesi sağlanır<sup>(56)</sup>.



Şekil 42: Tomoterapi Cihazı<sup>(56)</sup>

### 3. RADYOGRAFİK ODALAR

#### 3.1. RADYOGRAFİK ODA

İyonlaştırıcı radyasyon kullanılan odalar, radyodiagnostik ve radyoterapi laboratuvarlarının öncelikli birimlerindendir. Buralarda iyonlaştırıcı karakterde radyasyon üreten X ışınli cihazlar ve radyoterapi cihazları ile çalışılmasından dolayı, iyonlaştırıcı radyasyonun insan sağlığına zararlı etkileri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu odaların radyodiagnostik ve radyoterapi laboratuvarlarında yer alan diğer hizmet odalarından bağımsız tesis edilmesi tercih edilmelidir<sup>(51, 130)</sup>.

##### 3.1.1. İYONLAŞTIRICI RADYASYON KULLANILAN ODALARIN TESİSİNDE NDK TARAFINDAN BELİRLENEN ÖLÇÜTLER

Radyoloji departmanı dizayn ekibi, iyonlaştırıcı radyasyon kullanılan odaların düzenlenmesini NDK tarafından belirtilen ölçütlere uygun olarak gerçekleştirir. Bu ölçütler şunlardır:

- Alt, üst ve bitişik alanları, daimi mesken olarak kullanılmayan alanlar tercih edilmelidir.
- Oda boyutu x-ışını cihazının özelliğine göre değişmekle birlikte 15 m<sup>2</sup> den küçük olmamalıdır.
- Duvar kalınlıkları kullanılan cihazın özelliklerine göre değişebilmekle beraber genellikle en az 29 cm dolu tuğla veya 15 cm beton olmalıdır.
- Duvar malzeme yapısının farklı olması veya kalınlığının bu değerlerin altında kalması durumunda eş değer korumayı sağlayacak kalınlıkta kurşun plaka ile kaplanmalıdır.
- Birden fazla x-ışını cihazı aynı odaya kurulamaz. Kumanda ünitesi aynı olan cihazlar araya paravan (kurşun veya duvar) konularak kurulabilir.
- Odanın tercihan tek giriş kapısı olmalı ve bu kapı radyasyon sızıntısına izin vermeyecek şekilde 2.0 mm kalınlığında kurşun plaka ile kaplanmalıdır.
- Oda, tetkik dışında başka hiçbir amaçla kullanılmamalıdır.
- Oda kapısı, tetkik sırasında mutlaka kapalı tutulmalıdır.
- Cihazın x-ışını tüpü, kapıya mümkün olan en uzak bölgeye yerleştirilmelidir. Kumanda ünitesi de tüpten mümkün olan en uzağa konulmalı ve önüne üzerinde hasta gözetlemesini sağlayacak uygun kalınlıkta kurşun eş değerli cam bulunan, kullanıcının saçılan radyasyona karşı korunmasını sağlayacak boyut ve tasarımda uygun kalınlıkta kurşun plaka ile kaplanmış paravan bulundurulmalıdır.
- Cihazın x-ışını tüpü direkt kapıya, kumanda ünitesine ve arkası sürekli kullanılan alanlara yönelmeyecek şekilde yerleştirilmelidir. Saçılan radyasyon için gerekli görülen yerler (masa altı ve akciğer statif arkası gibi) uygun kalınlıkta kurşun plaka ile kaplanmalıdır.
- Odanın havalandırılması aspiratör, vasistas tipi pencere veya merkezî havalandırma sistemi ile sağlanmalıdır.
- Hasta soyunma kabinleri 2.0 mm kalınlığında kurşun plaka ile kaplanmalıdır.
- Hastaların ve refakatçilerin bekleme yeri oda dışında ayrı bir yerde olmalıdır.

- Odanın bitişik alanı film banyo odasına açılıyor ise duvara açılacak kaset alışveriş penceresi her iki yönden 2.0 mm kalınlığında kurşun plaka ile kaplanmalıdır.
- Laboratuvar kapılarında ve gerekli görülen yerlerde radyasyon ikaz işaretleri bulundurulmalıdır.
- Işıklı ikaz uyarı sistemi konulmalıdır.
- Odanın radyasyon güvenliği yönünden gerekli koşulları sağlayıp sağlamadığı nihai olarak yerinde yapılacak radyasyon kontrol ve denetimi sırasında tespit edilir<sup>(51, 130)</sup>.

### 3.1.2. RADYOLOJİDE KULLANILAN ODALARIN YERİ

İyonlaştırıcı radyasyon kullanılan odalar, havalandırmanın çok iyi sağlandığı, bol güneş alabilen, çalışanların ve hastaların ruh ve beden sağlığına olumlu yönde etki edecek, üretkenliği ve başarıyı sağlayacak yerlere tesis edilmelidir. Aynı zamanda acil servis, poliklinik, ameliyathane, yatan hasta servilerine ulaşımın kolay olabileceği yerler, mümkün olduğunca zemin kat ve dış mekânlara komşu kesimler tercih edilmelidir. Radyografi ve radyoterapi amaçlı iyonlaştırıcı radyasyon kullanılan odaların, alt, üst ve bitişik alanlarında daimi mesken, okul, iş yeri vb. olarak kullanılmayan alanlar tercih edilmelidir<sup>(51, 130)</sup>.

### 3.1.3. RADYOLOJİDE KULLANILAN ODALARIN BÜYÜKLÜĞÜ

İyonlaştırıcı radyasyon kullanılan odalarının büyüklüğü iş yükü ve röntgen cihazının ve radyoterapi cihazlarının özelliklerine ve hacmine göre değişir. Bu alan büyüklükleri, cihaz üreticisi firmalar tarafından hesaplanarak minimum ölçüler belirlenmiştir. Bu nedenle cihazlar kurulmadan önce kurulacak cihaz için gerekli alan büyüklüğü, cihaz servis el kitabından kontrol edilmelidir. Birden fazla röntgen cihazı ve radyoterapi cihazı aynı odaya kurulamaz. Kumanda ünitesi aynı olan cihazlar, araya paravan (kurşun veya duvar) konularak kurulabilir. İyonlaştırıcı radyasyon kullanılan odaların taban alanı tek tüp-tek masa röntgen cihazları için en az 15 m<sup>2</sup>, çift tüp-çift masa röntgen cihazları için ise en az 25 m<sup>2</sup>, yüksekliği 3 m olmalıdır. Standart olarak iyonlaştırıcı radyasyon kullanılan odanın taban alanı 37 m<sup>2</sup> ve yüksekliği ise 3m olmalıdır. Kullanılan cihaz türüne ve radyasyon seviyesine göre farklılık göstermekle birlikte genel olarak bir radyoloji departmanının genel alanı ise iyonlaştırıcı radyasyon kullanılan odaların toplam alanlarının en az 5 katı büyüklüğünde olmalıdır. Radyoterapi amaçlı iyonlaştırıcı radyasyon kullanılan odalarda taban alanı cihaza ve radyasyon miktarına göre değişmekle birlikte genel olarak, röntgen cihazları için 20 m<sup>2</sup>; kobalt-60 cihazları için 25 m<sup>2</sup>; ve lineer hızlandırıcılar için ise 35 m<sup>2</sup> alandan az olamaz. Bu alanlar sadece cihazların kurulacağı alanlardır. Kumanda odası, soyunma odası ve şaşırtma koridor alanları bu alanlara dâhil değildir<sup>(51,130)</sup>.

### 3.1.4. RADYOLOJİDE KULLANILAN ODALARIN TAVAN, TABAN VE DUVAR YAPISI

İyonlaştırıcı radyasyonun (eğer düzgün bir şekilde yönlendirilmez ve kontrol edilmezse) insan vücuduna

zarar vereceği hatta ölüme neden olabileceği bilinen bir gerçektir. Bu nedenle radyodiagnostik

laboratuvarlarındaki iyonlaştırıcı radyasyon kullanılan odaların taban, tavan ve duvar yapısının, röntgen cihazlarının maksimum kV değerlerinde oluşan iyonlaştırıcı radyasyonu geçirmeyecek radyo-opaklığa sahip olması gerekmektedir. İyonlaştırıcı radyasyon kullanılan odaların taban betonunun kalınlığı en az 20 cm'lik dolu beton olmalıdır. Bu değerden daha düşük kat betonuyla yapılmış ve iyonlaştırıcı radyasyon kullanılan odanın alt katı, hastanenin diğer personeli veya insanlar tarafından sürekli veya kısmi olarak meşgul ediliyor ise röntgen cihazı masalarının altına, masa boyutlarından 30 cm'lik kenar taşkınlığı verecek şekilde 3 mm kalınlığında kurşun plaka konulmalıdır. Bu odaların zeminleri ise muşamba, kauçuk, tahta gibi elektriği yalıtan maddelerle kaplanmış olmalıdır.

İyonlaştırıcı radyasyon kullanılan odalarda ışınlama tavana doğru yapılmadığı için tavan betonunun kalınlığının, bina tavan yapısına ait inşaat standartlarında olması yeterlidir. İyonlaştırıcı radyasyon kullanılan odalarda duvarların radyasyon geçirgenliğinin hesaplanması, uzman bir radyasyon fizikçisi tarafından yapılmalıdır. İyonlaştırıcı radyasyon kullanılan odaların radyasyon yalıtımı, genelde zırhlama yöntemiyle yapılmaktadır. Zırhlamada genellikle kurşun levhalar kullanılmaktadır. Sekonder radyasyon alanlarında 1,5 mm'lik, primer radyasyon alanlarında 2 mm'lik kurşun levhalar kullanılır. NDK tarafından bu odaların duvarları için önerilen zırhlama 2mm'lik kurşun levhalarla kaplanarak yapılmalıdır. Zırhlaması kurşun levhalarla yapılmış duvar satırları, krem tonlarında yağlı boya ile boyanmalı veya sık dokunmuş bezlerle kaplanmış olmalıdır. Kurşun levha kullanımı mümkün olmayan yerlerde ise 2 mm kurşunun radyo-opaklığına eşit değerde kombinasyonlar kullanılmalıdır<sup>(51, 130)</sup>.

Bunlar;

- 29 cm kalınlığında dolu tuğla,
- 20 cm kalınlığında beton,
- 2,5 cm kalınlıkta, bir kısım ince, bir kısım kalın baryum sülfat + bir kısım portland çimentosu harçtan oluşan baryum sıvasıdır.

Duvarda zırhlama maddesi olarak en yaygın, 2 mm'lik kurşun levhalar kullanılır. 2 mm'lik kurşun levhaya eş değer diğer kombinasyonların ise sıva kalınlığı, ağırlık ve sıva içindeki göze görünmez küçük çatlakların olma ihtimali ve buralardan x-ışını kaçışlarının olabilmesi nedenlerinden dolayı dezavantajları bulunmaktadır. Radyoterapi cihazının bulunduğu odalarda cihazda kullanılacak enerjiye göre (6-18 meV) NDK tarafından zırhlama hesabı yapılarak duvar kalınlığı oluşturulur. Radyoterapi laboratuvarlarında, iyonlaştırıcı radyasyon kullanılan odalarda yaygın olarak kullanılan zırhlama maddesi betondur. Röntgen cihazlarında değişik dalga boylarında x-ışını elde etmek amacıyla maksimum kV değerlerine karşı kullanılması gereken kurşun levha kalınlıkları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir<sup>(129)</sup>.

Tablo 11: Maksimum kV değerlerinde kullanılması gereken kurşun levha kalınlığı(129)

Maksimum kV Değeri	Kurşun Levha Kalınlığı (mm)
50 kV ve altı	0.20 mm
51-75 kV	0.25 mm
76-100 kV	0.30 mm
101-150 kV	0.40 mm
151-200 kV	0.50 mm
201 kV ve üzeri	0.60 mm

#### 4. RADYASYON KAYNAKLARININ ZARARLARI

Günlük yaşamda radyoaktif elementler normal ve kaçınılmaz olarak doğal radyasyon düzeyi oluşturmaktadır. Ancak 1900'lü yılların başında nükleer denemelerin ve çalışmaların başlaması ile canlıların maruz kaldığı radyasyon düzeyinde de bir artış gözlenmiştir. Radyasyon doğada kendiliğinden var olabildiği gibi, teknolojinin gelişmesi ve insanların çalışmaları ile yapay olarak da elde edilmektedir. Radyasyon yayan kaynakları doğal ve yapay olmak üzere iki sınıfta inceleyebiliriz (<sup>104</sup>).

Radyasyonun Vücuda Giriş Yolları aşağıdaki gibidir;

- Solunum yoluyla iç ışınlama
- Buluttan dış ışınlama
- Giysiler ve cildin bulaşması yoluyla dış ışınlama
- Kuru serpinti veya yağış nedeni ile dış yüzeylerde oluşan birikime bağlı olarak dış ışınlama
- Bulaşmış gıda maddeleri ve sular yoluyla vücuda girmiş olan radyoaktif maddelerden iç ışınlama

##### 4.1. DOĞAL RADYASYONDAN KAYNAKLANAN ZARARLAR

Doğal radyasyon kaynakları, insan katkısı olmaksızın doğada var olan radyasyon kaynaklarıdır. Halkın (nüfusun) maruz kaldığı radyasyonun yaklaşık % 85'lik kısmı doğal kaynaklıdır. Bütün canlıların etkisinde olduğu bu radyasyona çevre, fon ya da arka plan ("background") radyasyonu denilmektedir.

##### 4.1.1. KOZMİK RADYASYON VE ZARARLARI

Dünyamız sürekli olarak güneşten, diğer yıldızlardan ve derin uzaydan kaynaklanan radyasyona maruz kalmaktadır. Bu radyasyon, parçacıklar ve elektromanyetik ışınlar içerir. ('Radyasyona maruz kalma' olayı sıklıkla 'ışınlama' sözcüğü ile açıklanır)

Kozmik radyasyona yer yüzeyinden ne kadar yüksekte maruz kalındığı önemlidir. Kozmik radyasyon maruziyeti, yükseklik arttıkça artar. Yükseklik, kozmik radyasyonun miktarını etkileyen tek faktör değildir; güneş parlamaları gibi güneş olayları farklı zamanlarda farklı doz hızlarında radyasyon maruziyetine sebep olur. Günlük yaşantımızda, kozmik ışınlar nedeniyle maruz kaldığımız radyasyonun dünya ortalaması 0.39 mSv / yıl'dır. Yiyecek, içecek ve teneffüs ettiğimiz havadan maruz kaldığımız dozun dünya ortalaması 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.

Yerküremiz kozmik radyasyona karşı tamamiyle savunmasız değildir; sahip olduğu manyetik alan dünyayı bu radyasyon türünün çoğundan korur. Atmosfer de doğal bir zırh niteliğindedir. Bahsedilen bu zırhlar dünyanın her noktasında aynı derecede etkili değildir. Atmosferin ince olduğu yerlerde doğal zırh da incedir.

Kutuplara yaklaşıldıkça, yerin manyetik alanının radyasyonu yansıtıcı etkisi azalır. Manyetik kutuplarda bu etki oldukça azdır. Görüntüsü birçok kişiye etkileyen ‘Kutup Işıkları’ (“Aurora”) kozmik radyasyondan kaynaklanmaktadır. Kutup ışıkları göze hoş görünse de canlılar için zararlıdır.

Kozmik radyasyon atmosferdeki elementler ile etkileşir ve bu etkileşimden çıkan (elemanter) parçacıklar da (müon, pion) ikincil ışınlanmaya sebep olur (yani atmosfer, kozmik radyasyona karşı hem zırh görevi görür hem de ikincil radyasyonun oluşmasına yol açar).

#### 4.1.2. YERSEL RADYASYON (YERKÜRE RADYASYONU)

Yeryüzünde doğal olarak bulunan radyoaktif elementlerin bozunması ışınlanmaya neden olur. Dolayısıyla aslında dünyanın kendisi bir radyasyon kaynağıdır demek yanlış olmaz. Kaya ve mineraller, toprak ve yerküre radyoaktif çekirdek içerirler<sup>(118)</sup>.

Doğadaki birçok izotop radyoaktiftir. Bunlar ışıma yaparak yerküre kaynaklı radyasyon dozuna katkıda bulunur. Kaya ve topraktaki radyasyon çoğunlukla Karbon-14, Potasyum-40, Uranyum-238 ve Toryum-232 izotoplarından kaynaklanmaktadır. Uranyum ve Toryum toprakta ve suda eser miktarda dağılmış şekilde bulunurken, Potasyum ve Karbon tüm organik maddelerde mevcuttur (bitki ve hayvanlar dahil). Ayrıca, gübre olarak kullanılan fosfat arka-plan doz hızlarına az da olsa katkıda bulunmaktadır. Dünya üzerindeki radyasyona direkt ışıma ile maruz kalmak mümkün olduğu gibi radyoaktif izotopların besin tüketimiyle ve solunum yoluyla vücuda alınması da mümkündür.

Tükettiğimiz farklı organik maddeler farklı radyoaktif izotoplar içerebilir. Bu farklılık ürünlerin yetiştiği toprak tiplerinden, coğrafi konumundan, ürünün beslendiği minerallerden kaynaklanabilir. Örneğin, radyoaktif Kurşun-210 ve Polonyum-210 izotopları balık ve kabuklu deniz hayvanlarında diğer besinlere oranla daha çoktur.

Uranyum ve Toryumun bozunmaları sonucunda ortaya çıkan bir dizi izotoptan (en etkilileri Radon-222 ve Radon-220) kaynaklanan doğal radyasyon insanların ışınlanmasına ciddi miktarda katkıda bulunur. Doğal radyasyon dozlarının ortalama yarısına Radon sebep olmaktadır. Gaz halinde bulunup havada var olan Radon ister istemez solunum yoluyla vücuda alınır. Radon miktarı yeryüzünde bölgeden bölgeye farklılık gösterir. Radon kaynaklı ışınlanma kapalı (iyi izole edilmiş) mekanlar için daha fazla önem arz etmektedir<sup>(118)</sup>.

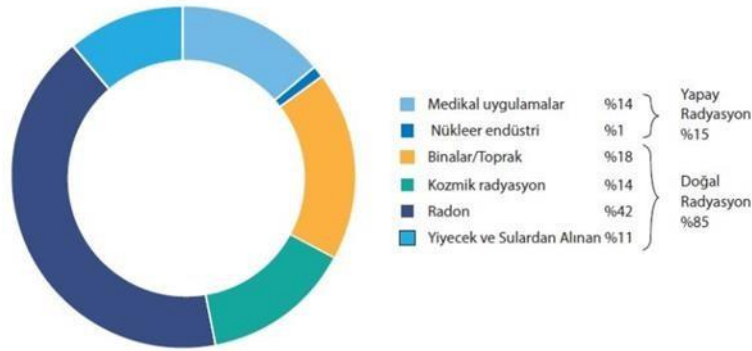
Yakın zamana kadar doğal radyasyonun önemsiz ve değiştirilemez bir arka-plan radyasyonu olduğu düşünölüyordu. Günümüzde ise en önemli doğal radyasyon kaynağı olan Radon nedeniyle ışınlanmanın azaltılması için tedbirler alınmaktadır. Büyük binalar, geniş ve kapalı yerler Radon miktarının yüksek olduğu yerlerdir. Havalandırılmayan bodrum katlarında Radon gazı birikir; dolayısıyla bu tür yerlerin havalandırılmasına dikkat etmek gerekir. Basitçe iki yolla Radon birikimi azaltılabilir: <sup>(104)</sup> Duvarları plastik malzeme veya kalın boya ile kaplamak (gözenekleri kapatmak) Radon girişini engellemekte



etkilidir (106). Sık havalandırma ile de Radon seviyesi düşürülebilir. Bahsi geçen tedbirler ile solunum yoluyla vücuda alınan radyoaktif çekirdek miktarını azaltmak mümkündür<sup>(118)</sup>.

#### 4.1.3. İÇSEL RADYASYON

Tüm insanlar, vücutlarında doğal olarak bulunan Potasyum-40 ve Karbon-14 gibi izotoplardan nedeniyle radyasyona maruz kalmaktadır. Doz miktarları kişiden kişiye değişmekle birlikte iç radyasyondan kaynaklanan doz miktarları Kozmik ve Yerküre kaynaklı doz miktarlarından çok daha azdır<sup>(118)</sup>.



Şekil 43: Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının küresel radyasyon dozuna oransal katkıları<sup>(118)</sup>.

#### 4.2. RADON BİLİMSELLİĞİ

Radon radyoaktif bir gaz olduğu bilinmekte olup günümüzde büyük bir oranda dikkat edilmesi gerekmektedir. U(238) serisinden bir izotoptur. Ra(226)'nın radyoaktif bozunumu sonucu oluşmaktadır. Biyosferde bol bulunur. Radyum toprakta, kayalarda ve bazı inşaat malzemelerinde çok fazla miktarda bulunmaktadır. Çalışma ortamında yüksek doz radyumun bulunmasına bağlı olarak bronkojenik karsinoma geliştiğini ileri süren kaynaklar vardır. Radon kapalı ortamda çevreye yayıldığında giderek miktarı arttığından düşük dozda bile olsa etkisi açısından tehlikeli olabilmektedir. Çevrede ve toprak tabanda bol miktarda bulunmaktadır<sup>(106,107,108)</sup>.

##### 4.2.1. RADON GAZI KAYNAKLARI

Radon gazı yerkabuğunda oluşur. Yerkabuğunu oluşturan kayalar, kayalardan oluşan toprak, yerkabuğundan alınan yapı malzemeleri taş, kum, çimento ile yerkabuğu içinden geçerek gelen sular radon gazı bulundurabilen katı ve sıvı ortamlardır<sup>(116,117)</sup>.

Kayaçlar ve Toprak: Kayaçlar uranyum ve toryum içeriği açısından ele alındığında silisyum dioksit-SiO<sub>2</sub> içeriği %66'dan yüksek olan granit ve volkanik kayaçlar ile bunların başkalaşimleri radon gazı

riski taşımaktadır. Radyasyon açısından bir başka riskli kayaç türü de fosfat içerikli olanlar ve bunlardan oluşan topraklardır<sup>(116,117)</sup>.

Sular: Özellikle yer altı sularında, bunların yeryüzüne ulaşan kaynaklarında, jeotermal sularda ve kuyu sularında radon gazı bulunabilmektedir. Yeraltında kayaçlara temas eden suya radon gazı geçmektedir. Yer altı suları yüzey sularına göre daha yüksek değerlerde radon gazı içerir. Kullanılan kuyu ve kaynak sularının radon gazı içeriği mutlaka belirlenmelidir<sup>(116,117)</sup>.

Kapalı alanlardaki radon gazının yaklaşık %0.2'si yüzey sularından, yaklaşık % 20'sinin yer altı sularından kaynaklandığı belirlenmiştir. Suyun kullanımı sırasında radon gazı ev ortamına geçmektedir. Suyun sıcaklığı arttıkça, duş alırken su püskürtüldüğünde ve su çalkalandığında radon gazı salınması artmaktadır. Yüzey sularındaki radon gazı hava ortamına geçtiği için daha düşük değerlerde radon gazı bulundurulur. Suyun içilmesinden daha çok ortama salınan radon gazının solunması sağlık açısından risk taşımaktadır<sup>(116,117)</sup>.

Kaplıca ve içmece suları yerkabuğunun derinlerinden geldiği için yüksek oranda radon gazı içerebilmektedir. Kaplıcalarda suya temas ile deriden, nefesle akciğerlerden ve içilerek mide-barsak yoluyla radon gazı alınır<sup>(116,117)</sup>.

Yapı Malzemeleri: Yerkabuğundan yapı malzemesi olarak taş, kum, kalker, çimento, briket, tuğla, yer ve duvar kaplama malzemesi elde etmekteyiz. Yerkabuğu kimyasal ve mineral özelliklerine göre değişen oranlarda uranyum, toryum, potasyum içerir. Granit kayaçlarda uranyum 1-5 ppm, toryum 10-20 ppm, potasyum % 2-5 değerinde bulunmaktadır. Kumtaşında bu değerler 0.45 ppm-1.7ppm-%1'dir. Çimento hammaddesi kalker 0.1-1 ppm uranyum, 0.1-1 ppm toryum ve %0.05 ile %0.5 arasında potasyum içeriyor. Bu içerikler nedeniyle kapalı ortama yapı malzemelerinden radon gazı salımı söz konusudur<sup>(116,117)</sup>.

Doğal Gaz ve Kömür: Yurdumuzda ısınma amaçlı kullanılan enerji kaynağı genellikle kömür ve doğal gaz olmuştur. Kırsal bölgelerde kömür yaygın iken kentsel bölgelerde doğal gaz daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğal gazın radon içeriği üretim, dağıtım ve depolama esnasında azalmaktadır. Isıtma ve pişirme amaçlı doğal gaz kullanıldığında bir miktar radon gazı konut ortamına geçebilmektedir. Yeterli havalandırma ile radon etkisi ihmal edilecek kadar düşük değerlere iner.

Kömürün üretim, taşıma, depolama ve yakma sırasında önemli bir radon gazı kaynağı olduğu bilinmektedir. Tüketilen yerli ve ithal kömürler radyoaktivite açısından değerlendirilmelidir. Zonguldak taşkömürü havzasında ölçülen radon gazı değerleri 253-1470 Bq/m<sup>3</sup> olarak saptanmıştır<sup>(116,117)</sup>.

Gelişmiş ülkelerde radon etkisinin azaltılmasına yönelik önlemleri açıklayan halka yönelik kaynaklar hazırlanmıştır. Ülkemizde evlerde radon ölçümüyle evlerinde, yine toprak tabanlı evlerde bu ölçümlerin yapılmasının yararlı olacağı açıktır. 1980 yılında gelişmiş ülkelerde başlatılan çalışmalar, bazı evlerde; madenler için izin verilen miktarın üzerinde radon yayınının söz konusu olduğu gösterilmiştir. Ölçüm

yapılmadığı durumda evlerde radon değerini tahmin edilemeyeceği kesindir. Birbirine yakın konutlarda

bile radon değeri aynı olacak diye bir durum söz konusu olamaz. Sigara ve radonunun aynı ortamda birlikte bulunması akciğer kanseri riskinin çok artmasına neden olmaktadır<sup>(109,110)</sup>.

Konutlarda radon gazı konsantrasyonunu azaltmak için yapılması gerekenler;

- 1.Yapıda kullanılacak malzemelerde seçici olmak.
- 2.Granit gibi malzemelerden kaçınmak.
- 3.Bodrum katlarının zemin izolasyonunu uygun şekilde yapmak.
- 4.Yaşlı binalarda oluşabilecek çatlakları, su ve kanalizasyon borularının geçtiği açıklıkları kapatmak.
5. Kapalı ortamların havalandırılmasında pencereleri üstten değil aşağı seviyeden yapmak.
- 6.Kömür kullanılan konutların kömürlükleri ve bina zeminlerini iyi havalandırmak.
7. Radon gazı kanser riskini artırdığı için kapalı ortamlarda sigara içmemek gerekir

#### 4.2.2. RADONUN AZALTILMASINA YÖNELİK YAPILMASI GEREKENLER

Temel olarak yapılması gerekenler;

- Giriş çatlaklarının ve yerlerinin tıkanması (geçirgen olmayan bir çimento tabakasıyla toprağın örtülmesi)
- Hava akımının bina içerisinden toprağa doğru olmasının sağlanması
- Suyun radon kapsamının azaltılması (suyun havalandırılması, karbon filtrelerden geçirilmesi)
- Radyoaktif içeriği düşük materyal kullanılması havanın süzülmesinde elektrostatik presipitasyon yapan temizleyiciler, mekanik filtreler, negatif iyon jeneratörü tipi temizleyiciler kullanılabilir.
- Yeni inşaatların yapımında radon kapsamı az olan materyalin kullanılması.

#### 4.3. YAPAY RADYASYON KAYNAKLARINDAN KAYNAKLANAN ZARARLAR

Yapay radyasyon, teknoloji ve bilimin gelişmesiyle, insan çalışmaları sonucunda doğaya ek olarak bırakılan radyoaktif maddeler nedeniyle oluşur. Doğal radyasyon kaynakları kontrol altına alınamazken, yapay radyasyon kaynakları insan çalışmaları sebebiyle yayınlandığı için kontrol altına alınabilmektedir. Yapay radyasyon kaynakları en çok tıpta kullanılmak üzere, günlük hayatta kullandığımız tüm elektrik elektronik cihazlar, nükleer bomba denemeleri, nükleer santral kazaları, nükleer güç üretimi sonucunda doğaya salınan radyoaktif maddeler, endüstriyel ürünler olmak üzere her alanda kullanılmaktadır. Temel olarak yazacak olursak;

##### 1. Tıbbi Uygulamalar

Tanısal Radyoloji, Nükleer Tıp, Radyoterapi.

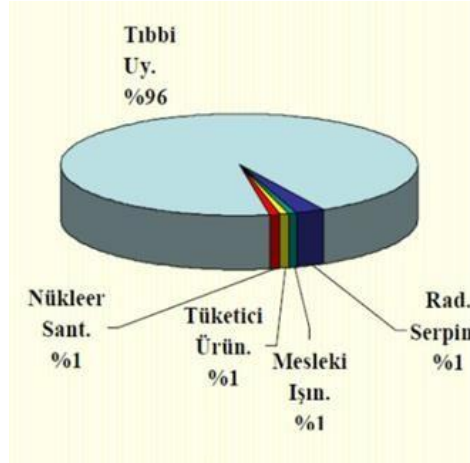
## 2. Endüstriyel Uygulamalar

Sterilizasyon

## 3. Nükleer Serpinti

## 4. Nükleer Santraller

## 5. Tüketici Ürünleri



Şekil 44: Yapay radyasyon kaynakları<sup>(119)</sup>

Örnek verecek olursak;

- Sürekli çevre radyasyonuna maruz kalmaktayız: Yıllık ortalama olarak toplam 1000-2400  $\mu\text{Sv}$
- Panoramikradyografi 1-5 günlük çevre radyasyonuna eşit doz
- 2 bite radyografi yaklaşık 1 günlük doz
- Göğüs filmi (20  $\mu\text{Sv}$ ) yaklaşık 3 günlük doz alınmasına neden olur.

## 4.4. İYONLAŞTIRICI OLMAYAN RADYASYON ZARARLARI

### 4.4.1. ULTRAVİYOLE IŞIN ZARARLARI

Ultraviyole ışınlarının temel kaynağı güneştir. Elektrik arkları, kaynak arkları, ultraviyole lambaları ve güneş lambası olarak bilinen ultraviyole lambalarının bu özelliği bulunmaktadır. Güneşten dünyaya ulaşan ışın miktarı:

1. Koruyucu ozon tabakası
2. Bulut durumu
3. Mevsim

4. Günün saati

5. Enlem

6. Deniz düzeyinden yükseklik gibi durumlarda bağlıdır.

UV ışınları su, kar veya kumdan yansıyarak etkili olabilir. Bu gibi durumlarda kar veya güneş körlüğü denilen durumlar ortaya çıkar. Ultraviyole lambalarının maddelerden geçebilmesi zordur. Bu nedenle kolay engellenebilen bir ışıdır. Normal pencere camları yüksek frekanslı ışınların büyük bölümünü engeller. Açık renkli elbiselerde aynı etkiyi yapmaktadır<sup>(11)</sup>.

Açık renk elbiseler hemen hemen tüm frekansları engellemektedir. Ultraviyole ışınlarının belirli bir düzeye gelene kadar anlaşılmaması normaldir. Düzeyi geçtikten sonra ancak anlaşılabilir. Deride erken yaşılanma, bulantı, kusma, bitkinlik durumlarına neden olmaktadır. Ülkemizde özellikle saunalarda güneş lambası olarak derinin renginin kararması amacıyla kullanılmaktadır. Uluslararası Radyasyondan Koruma Ajansı güneş lambalarının önlenmesini önermektedir. Yaz aylarında öğlen saatlerinde güneşten kaçınılması tavsiye edilmektedir<sup>(11)</sup>.

UV Radyasyonun etkileri şöyle sıralanabilir.

Yanıklar: Güneş yanığı olarak adlandırılır. Deri üzerinde etki bırakır.

Mutasyon Oluşturması: UV ışık, bakteri ve virüsler dahil tüm hücreler üzerinde mutasyon yaratır. Mutasyonları vücudumuz üzerinde küçükte olsa kimyasal etkiler bırakabilirler.

Kromozom bölünmeleri yaratması: UV'nin, iyonlayıcı radyasyona göre çok daha az da olsa kromozomları parçaladığı bilinmektedir.

Hücre bölünmesinde gecikme ve dev hücre oluşumu: Hücre bölünmesi ile UV ile engellenebildiği ve böyle hücrelerin aşırı büyüme gösterdiği tespit edilmiştir.

Metabolizma ve Protein sentezine etkisi: UV'nin DNA sentezi üzerinde iyonlayıcı radyasyona göre daha fazla etkisi olduğu bulunmuştur<sup>(11)</sup>.

UV radyasyonu üç bileşenden oluşmaktadır. 320-400 nm dalga boyları arasında UV-A, 290-320 nm arasında UV-B, 200-290 nm arasında da UV-C olmak üzere üç gruba ayrılır.

UV-A, UV radyasyonun en az zararlı şekliidir ve Dünyaya büyük miktarlarda erişir. Çoğu UV-A ışınları ozon tabakasının içerisinden doğrudan geçer.

UV-B radyasyon, potansiyel olarak çok zararlıdır. UV-B radyasyonunun çoğu, stratosferde ozon tabakası tarafından yutulur. %2-5 'i geçer.

UV-C radyasyon çok enerjik olduğundan potansiyel olarak zararlı olandır. Stratosferde oksijen ve ozon tarafından yutulur ve asla dünya yüzeyine erişemez.

Yüzeyler UV radyasyonu farklı derecelerde yansıtır. Kar, UV radyasyonunu %85'in üstünde bir miktarla en yüksek bölümünü yansıtır ve UV radyasyon yükseklerde daha da artar. Bu nedenlerle de kayakçılar ve dağa tırmananlar daha çok dikkat etmelidirler. Kuru kum ve beton %12'nin üzerinde yansıtabilir. Su ise sadece %5'ini yansıtabilir. Kumlu sahillerde güneş banyosu yapanlar, bir parkta yeşil çimenler üzerinde güneşe maruz kalanlardan %10'un üzerinde daha fazla UV-B alırlar. Dağcılarda tırmanma sırasında, güneşin sıcaklık etkisinin azalmasına rağmen güneş yanığı olma olasılığı daha fazladır. Dağa tırmananlar ve kar da kayak yapanlar UV radyasyona en fazla maruz kalanlardır. Güneşli bir günde hafif bir rüzgâr serinlemenize neden olabilir, fakat bu cildinize ve gözünüze etki eden UV miktarını değiştirmez. Sıcaklığı UV radyasyonla karıştırmayınız. UV den korunması sırasında dikkat edilmesi gereken bazı konuları sırladığımızda: Deriye ve göze ulaşan solar radyasyonun miktarı; ışınların açısı, mevsim, bulunulan yerin ekvatora olan uzaklığı, stratosferin ozon konsantrasyonu, yükseklik, çevre kirliliği, bulut kütlesi gibi etmenlere bağlı olarak değişiklik gösterir. UVA ve UVB ışınları normal deri üzerinde akut ve kronik etkilere sahiptirler Gökyüzünde güneş ne kadar yüksekte olursa, UV ışınlarının radyasyon seviyesi de o kadar yüksek olur. Buna bağlı olarak, UV ışınlarının seviyesi gün içinde ve yıl içinde değişiklik göstermektedir.

UV radyasyon güneş ışınlarının %5'ini oluşturmalarına rağmen çok tehlikelidir. Radyasyonu gözlerimizle göremeyiz ve hissedemeyiz ancak zararlı etkilerini gözlemleyebiliriz. Ultraviöle radyasyonu UV-A, 290-320 nm arasında UV-B, 200-290nm arasında da UV-C olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır. UV radyasyonunun zararları kümülatiftir. Ne kadar çok UV radyasyonuna maruz kalırsa, hayatın sonraki evrelerinde katarakt olma riski artar.

#### 4.4.2. İNFRARED RADYASYON ZARARLARI

IR radyasyon bir elektromanyetik enerji olup, elektromanyetik spektrumda görünür ışık ile mikrodalga bölgeleri arasında yer alır. IR bölgesi ise 1.8 ile 3.4 µm dalga boyları arasındaki elektromanyetik radyasyonu tanımlar. Dalga boyu ve emisyon sıcaklığına göre IR ışınlar kendi içerisinde de 3'e ayrılmaktadır<sup>(123)</sup>;

1.Kısa dalga veya yakın IR bölgesi, 0.72-2µm (3870-1180°C)

2.Orta dalga veya orta IR bölgesi, 2-4 µm (1180-450°C)

3.Uzun dalga veya uzak IR bölgesi, 4-1000 µm (<450°C)

Bununla birlikte IR'yi tanımlayan dalga boylarının alt ve üst sınırları literatürde küçük de olsa farklılıklar göstermekte olup, bu bölgeler arasında keskin bir ayrım yoktur<sup>(121,122)</sup>.

Bütün cisimler yüzeysel sıcaklık değeri düşük olan cisimlere infrared ışın yaydığı bilinmektedir, bununla birlikte sıcaklığın artması radyasyonda enerjinin artmasına neden olmaktadır. Frekansında

artması durumu da gerçekleşmektedir. İleri derecede sıcaklık artırımına bağlı olarak emisyon enerjileri infrared bölümünden görünür ışık bölümüne hatta düşük ultraviyole spektrum bölgelerine koyabilmektedir. Bu olay demir çelik endüstrisinde görülür. İnfrared normalde deri içerisinde kolay kolay yanık meydana getirmez. Tabi kontrolü sağlanırsa, sağlanmadığı durumlarda deri yanıklarına, gözde katarakta olumsuz durumlara neden olacaktır. Bu spektrum insan vücudunun ısını terleme mekanizmasıyla etkin soğuyamayacak boyutlara kadar çıkarabilir. İnfrared ışınlar parlak ve cilalanmış yüzeylerden kolayca yansıyabilmektedir.

#### 4.4.3. MİKRODALGA RADYASYON ZARARLARI

Mikrodalga radyasyon kaynakları arasında radar, radyo ve televizyon vericileri sayılabilir. Satelilit telekomünikasyon sistemleri ve mikrodalga fırınlarında da aynı tip ışınlar bulunmaktadır. Endüstride boyaların, mürekkeplerin, sentetik lastiğin kurutulmasında, tahılların böceklerden korunmasında kullanılmaktadır. Tıpta infrared ışınlar derin sıcaklık tedavisinde kullanılmaktadır. Metaller tarafından bu ışınlar yansıtılır ve cam, kâğıt ve plastikten geçerler. Su içeren materyaller tarafından absorbe edilmektedir. Mikrodalga fırınlarında mikrodalga ışınları su moleküllerinin ajitasyonuna neden olur ve moleküler sürtünmeye bağlı olarak ısı oluşumuna yol açarlar. Mikrodalgaların mini canlılar üzerindeki etkisi sadece ısı mekanizmasıyla değildir. İnsan vücudunun değişik bölümlerinin iletkenliğinin farklı olması nedeniyle bu ışınlardan etkilenme derecesi farklı olmaktadır. Mikrodalgalar 108 -1011 Hz frekans değerindedir. Aşağıda kullanım yerleri, etkileri hakkında bilgi verilmiştir.

##### ➤ Mikrodalga Fırın

A. B. D. Radyolojik halk sağlığı bürosu, çalışır durumdaki bir fırının yüzeyine yakın her  $\text{cm}^2$  sinden 5  $\text{mWatt/cm}^2$  den fazla kaçak olmaması koşulunu getirmiş ve bu standardın sağlanmasını istemiştir. Bununla birlikte insanlarda doku harabiyeti  $5\text{mW/cm}^2$  den çok daha büyük değerler için rastlanmıştır. Ancak tekrarlı küçük dozların bir etki yapıp yapmadığı incelenmemiştir<sup>(11)</sup>.

##### ➤ Tıp alanında kullanıldığı yerler

Cerrahi ( $10 \text{ Watt/cm}^2$  ),

Fizik tedavi ( $1 - 3 \text{ Watt/cm}^2$  ),

Teşhis ( $0,001 - 0,1 \text{ Watt/cm}^2$  ) <sup>(11)</sup>.

##### ➤ Biyofiziksel Etkisi:

Ultra etkisi ( $1 - 3 \text{ Watt/cm}^2$  )

Kabarcık oluşturma etkisi ( $300$  veya daha yüksek  $\text{Watt/cm}^2$  )



Mekanik etkisi (Örneğin DNA moleküllerin kimyasal yapısının 1 MHz, 30Watt/cm<sup>2</sup> için parçalandığı gözlenmiştir.)

#### 4.4.4. X (RÖNTGEN) IŞINLARI ZARARLARI

Kansere neden olur. Aslında çevremizde X-ışını yayan doğal kaynak yoktur. Olsa bile bu ışınlar atmosferden geçemezler. Aslında eski tüplü televizyonlar az miktarda X-ışını yayıyorlardı. İlk üretilen TV'lerin camları kurşunsuzdu, o nedenle çevreye bir miktar X-ışını yayıyorlardı. İşte bu yüzden uzmanlar “TV’yi yakından izlemeyin” diyorlardı. Ama sonra bu tüplerin içine kurşun katılmaya başlandı. Kurşun, X-ışınlarını geçirmez. Adından da anlaşılacağı gibi, röntgen cihazları içimizi X-ışınlarını kullanarak görüntülerler. Bu ışınlar zararlı olduğu için gereksiz yere röntgen filmi çektiirmek iyi değildir. Özellikle panoramik çene röntgeni gibi çekimi uzun pozlamalı röntgen filmlerinin çekimi sırasında X-ışınlarına biraz daha fazla maruz kalıyoruz. Ancak şunu da unutmamalıyız ki, bu cihazların yaydığı radyasyon miktarı uzmanlar tarafından dikkatle ayarlanmıştır. Yine de özellikle çocuklarda gereksiz röntgen filmleri çekilmesinden kaçınmak gerekir.

X-ışınlarının Özellikleri;

- Dalga karakteri taşıdığından ışık hızı ile hareket ederler. (  $E = h\gamma$  )
- Elektrik ve manyetik alanlarda sapmazlar.
- Madde içinde saçılabilir ve soğurulabilir.
- Girişim meydana getirir.
- Polorize olur.
- Madde içinde iyon oluşturur.
- Fotoğraf filmi üzerinde görüntü oluşturur.

#### 4.4.5. GAMA IŞINLARI ZARARLARI

Gama ışınları, diğer elektromanyetik ışınlar arasında, en yüksek frekansa ve en düşük dalga boyuna sahiptirler. Metallerden ve beton engellerden geçebilirler. X-ışınlarından daha yüksek enerjili olan gama ışınları, patlayan yıldızların kaotik ortamında, elektronların çift yok olmasında veya radyoaktif atomların bozunumunda ortaya çıkarlar. Taşıdıkları enerji (erke) düzeyi nedeniyle yaşayan hücrelere önemli zarar verirler. Çevremizde doğal gama ışını kaynağı yoktur. Uzaydan gelen gama ışınlarını da atmosfer büyük oranda engellemektedir.

#### 4.4.6. ALFA IŞINLARI ZARARLARI

Bunlar Helyum atomu çekirdekleridir. İki proton ve iki nötrondan oluşur (5). Radyoaktif maddeler tarafından yayınlanır. Çok zararlıdır. Kanser neden olur. Atom bombası ve nükleer patlamalarda ortaya çıkar. Onun dışında çevremizde bulunmaz.

#### 4.4.7. BETA IŞINLARI ZARARLARI

Hareket eden serbest elektronlardır. Atmosferde bir kaç cm'den fazla ilerleyemezler. Beta ışınları ile katod ışınları aynı şeydir (hızları farklı). Beta ışınları deriye nüfuz edebilir ve yüksek frekanslı ışınlar gibi zarar verebilir. Beta ışınları kanser tedavisinde, malzemelerin kalınlığının ölçülmesinde, elektron mikroskoplarında ve eski tüplü TV'lerde kullanılır. TV içinde bulunan katod ışınları TV'nin camından geçemez.

#### 4.5. RADYASYONUN BİYOLOJİK ETKİSİ

İyonize radyasyonlar hücrelerin normal süren kısmını etkileyebilirler bu da İyonize radyasyonların biyolojik etkileri, hücrelerde bulunan atomların iyonlaşmasıyla başlar.

Hücre ile etkileşen radyasyon hücre kromozomunda hasarlara sebep olduğunda, hücrede bir takım biyolojik etkilerin oluşmasına neden olur. Burada olan etkiler kalıtsal da olabildiği gibi bedensel olarak da görülebilir. Kalıtsal etki adından da anlaşılacağı gibi nesilden nesile aktarılabilir, en baştan olan değişikliklerdir. Bedensel ve kalıtsal etkiler de erken ve gecikmiş etkiler olarak iki farklı kategoride incelenebilir (<sup>120</sup>).

##### 4.5.1. ERKEN ETKİLER (AKUT IŞINLANMA ETKİLERİ)

Canlı vücudunun belli bir bölgesi ya da tamamı yüksek dozda radyasyona maruz kalırsa, kısa zaman içinde radyasyonun sebep olduğu büyük hasarlar, hastalıklar hatta ölümlere sebep olur. Bu etkiye erken etkiler (akut ışınlama etkileri) adı verilir. Hiroşima ve Nagazaki'ye atılan atom bombaları ve yaşanan nükleer santral kazalarında radyasyona direkt maruz kalan insanlar, akut ışınlama etkisi nedeniyle kısa zaman içinde ölmüştür. İstatistikler, dünya genelinde 1945 ile 1997 yılları arasında, araştırma, tıp, nükleer ve diğer endüstriyel alanlarda radyasyon çalışanlarının yanı sıra, halktan kişileri de kapsayan 140'ı ölümcül (28'i Çernobil kurbanı) olmak üzere yüzlerce kişinin yaralandığı 137 radyasyon kazası meydana geldiğini göstermektedir. Günümüzde radyasyonun zararlı etkileri nedeniyle, alınan birçok önleme rağmen hala radyasyon kazaları yaşanmaktadır(<sup>120</sup>).

Akut ışınlama sonucunda canlı vücudunda meydana gelen etkiler, akut radyasyon sendromu olarak adlandırılır. İnsan vücudu bir defada 1 mSv'den daha düşük dozda 28 radyasyona maruz kalırsa, vücutta

gözlemlenebilen herhangi bir hasar meydana getirmez. Radyasyon dozu artıkça kısa zamanda (örneğin birkaç saat) kişide mide bulantısı, kusma, ishal, baş dönmesi; daha uzun vadede ise (örneğin birkaç hafta) saç dökülmesi, geçici kısırlık, iştahsızlık, iç kanama, halsizlik gibi etkiler gözlemlenebilir. Ancak bir hafta ya da bundan daha kısa bir zamanda 7 mSv kadar dozda radyasyona maruz kalırsa, kemikler kan hücresi üretimini durdurur ve bir hafta gibi kısa bir zamanda ölümle sonuçlanabilir<sup>(120)</sup>.

Eğer canlı vücudunun yalnızca bir kısmı kaza ya da farklı bir sebeple kısa zamanda yüksek dozda radyasyona maruz kalırsa, vücudun bu bölümünde ciddi hasarlar meydana gelebilir. Özellikle radyasyon kaynağına yakınlaştıkça, radyasyonun şiddeti artmasına rağmen, yüksek dozda radyasyon insan vücudunda bunu hissettirebilecek bir etki yaratmaz. Genellikle kazalar, bu şekilde radyasyon kaynağına çok kısa bir zaman için bile olsa fazla yakınlaşmaktan, radyasyon kaynağını direkt elle tutmaktan, ya da radyasyon kaynağını giysilerin cebi gibi, vücuda çok yakın bir yerde taşımaktan kaynaklı olabilir. Hasarın şiddeti de radyasyonun şiddetine, türüne, giriciliğine (penetrasyon gücü), radyasyona maruz kalan doku ya da organa göre farklılık gösterir<sup>(120)</sup>.

Eğer insan vücudunun herhangi bir bölgesi 3-7 Gray arasında akut bir doza maruz kalırsa, eritem (cilt kızarıklığı) oluşur. Aynı doza saç derisi maruz kaldığında, saç üreten hücrelerin zarar görmesi sonucunda saç dökülmeleri meydana gelir. 7 Gray ve üstü dozlarda etkileri kalıcı olabilir.

Eğer vücut bir seferde 25 Sv'den daha yüksek dozda bir radyasyona maruz kalırsa bölgede kaçınılmaz bir şekilde nekroz (doku ölümü) meydana gelir. Fakat birkaç hafta içinde 50-100 mSv aralığında bir doza maruz kalınırsa, iltihaplanma, deride kuruma, kaşıntı, kronik tahriş oluşur ve nadiren de olsa tamamen iyileşir. Ancak radyasyon maruziyeti devam ederse dokunun iyileşme gücü iyice zayıflayarak cilt kanseri oluşur. Bir kerede 25 Sv'den daha fazla doz alındığında, bölgede doku ölümü (nekroz) meydana gelir<sup>(120)</sup>.

Hamilelik sürecinde de ışınlamaya maruz kalma durumu, hamilelik başlangıcının 0-8 günleri aralığında ise bebeğin ölümüne, 8- 56 gün aralığında ise bebeğin büyümesinin gecikmesine, 14-105 gün aralığında ise kafa küçüklüğü, zihinsel engel, felç gibi nörolojik sorunlara sebep olabilmektedir. Vücudun radyasyona karşı en çok duyarlılık gösterdiği organ ve dokularının başında göz merceği gelmektedir. 0,5-2 Sv aralığındaki bir doza akut maruziyet fark edilebilecek düzeyde bir saydamlık kaybına neden olabilirken, 5 Sv üzerinde doza akut maruziyet katarakta neden olabilir.

Tüm vücudun 10 Rad veya daha yüksek dozlarda radyasyona maruz kalması akut biyolojik etki denilebilir. Eğer alınan radyasyon dozu yeterince büyükse, doza bağlı olarak biyolojik etki, saatler veya haftalar içinde ortaya çıkar. Ani olarak yüksek dozlarda radyasyona maruz kalma sonucu ortaya çıkan sendromlar, Akut Radyasyon Sendromu olarak adlandırılır.

Kemik iliği sendromu buna bir örnek olarak verilebilir. >100 rad düzeyindeki radyasyon, kemik iliği, dalak, lenfatik dokular gibi en hızlı bölünen hücrelerde hasara neden olur.

Belirtileri olarak: İç kanama, yorgunluk, bakteriyel enfeksiyonlar, ateş olarak görünür.

#### 4.5.2. GECİKMİŞ ETKİLER (KRONİK IŞINLANMA ETKİLERİ)

Radyasyona uzunca bir süre içinde aralıklı olarak düşük dozlarda maruz kalınması sonucunda gecikmiş etkiler görülür. Buna kronik ışınlama etkileri de denir. Kronik ışınlama sonucu oluşan etkiler uzun yıllar sonucu ortaya çıkabilir. Bunun sebebi düşük doz dahi olsa tekrarlanan ışınlamalarda, bir sonraki ışınlamaya kadar organizmanın hasarı onaramaması ve hasarın gittikçe artmasıdır. Akut ışınlama ile çok karşılaşılmaz. Tehlike veya büyük ihmaller sonucu ortaya çıkar. Sağlık çalışanlarında fazla rastlanabilir. İlk baş fark edilmese de sonrasında kanser gibi sonuçlar kaçınılmaz olabilir. Ayrıca bu kişilerin kendilerinden sonraki nesillerinde kalıtsal bozukluklara rastlanılabilir.

Göz merceğinin uzun yıllar boyunca yıllık olarak 0,1 Sv'in üzerinde bir doza maruz kalması, gözde fark edilebilir bir opasite (saydamlık kaybı) oluşumuna neden olabilirken, bu doz 0,15 Sv'in üzerine çıktığında katarakt meydana gelebilir.

Uzun zaman diliminde düşük düzeylerde radyasyona maruz kalma sonucu ortaya çıkar. Vücut kronik olarak alınan radyasyon dozunu, akut olarak alınan radyasyona göre daha iyi tolere edebilir. Bu gibi durumlarda, hücrelerde oluşan hasar düşük seviye olduğundan, vücudun oluşan zararları onarmak için gerekli zamanı vardır. Vücudun ayrıca ölü veya işlevini yitirmiş hücreleri sağlıklı yeni hücreler ile değiştirmek için de fırsatı oluşmaktadır.

ICRP belli aralıklar ile hem halkın hem sağlık çalışanlarının maruz kaldığı radyasyon miktarı ile ilgili veriler toplayarak, risk tahminleri yapmaktadır. Yapılan son tahminlere göre, radyasyon çalışanlarının 18-64 yaş arası 47 yıllık çalışma yaşamı boyunca yıllık sırasıyla 10, 20, 30 ve 50 mSv'lik dozlara, halktan kişilerin ise ortalama 70 yıllık bir yaşam süresi boyunca yıllık 1, 2, 3 ve 5 mSv'lik dozlara maruz kalmaları halinde ortaya çıkabilecek sonuçlar sırasıyla Tablo 12 ve Tablo 13'de özetlenmektedir.

Tablo 12: Radyasyon çalışanların ışınlanması sonucu doz değerine bağlı oluşabilecek hasarın nitelikleri [IAEA, 1998]

Yıllık Etkin Doz (mSv)	10	20	30	50
Yaklaşık Ömür Dozu (Sv)	0,5	1	1,4	2,4
Ölümlerle Sonuçlanma Olasılığı (%)	1,8	3,6	5,3	8,6

<i>Ölümcül Olmayan Kanser Katkısı (%)</i>	0,36	0,72	1,06	1,72
<i>Kalıtımsal Etkilerin Katkısı (%)</i>	0,36	0,72	1,06	1,72
<i>TOPLAM</i>	2,5	5	7,4	12
<i>Ölüme Bağlı Ömür Kaybı (yıl)</i>	13	13	13	13
<i>18 Yaşından İtibaren Tahmini Ortalama Yaşam Süresi Kaybı (yıl)</i>	0,2	0,5	0,7	1,1

Tablo 13: Halktan kişilerin ışınlanması sonucu doz değerine bağlı oluşabilecek hasarın nitelikleri

<i>Yıllık Etkin Doz (mSv)</i>	1	2	3	5
<i>Yaklaşık Ömür Dozu (mSv)</i>	70	140	210	350
<i>Ölümlerle Sonuçlanma Olasılığı (%)</i>	0,4	0,8	1,1	2
<i>Ölümcül Olmayan Kanser Katkısı (%)</i>	0,08	0,16	0,22	0,40
<i>Kalıtımsal Etkilerin Katkısı (%)</i>	0,11	0,21	0,29	0,53
<i>TOPLAM</i>	0,59	1,17	1,61	2,93
<i>Ölüme Bağlı Ömür Kaybı (yıl)</i>	13	13	13	13
<i>Doğumdan İtibaren Tahmini Ortalama Yaşam Süresi Kaybı (yıl)</i>	0,05	0,11	0,16	0,3

#### 4.5.3. DOĞRUDAN ETKİLER

İyonizan ışınların maddeyle etkileşimi sonucu ısı ve iyonizasyon meydana gelmektedir. Canlı organizma ile bu etkileşim, doğrudan veya dolaylı olarak iki şekilde olur. Doğrudan etkileşim hücredeki makro moleküllerde (enzim, protein, RNA, DNA) olur. Enzim ve proteinlerde oluşan etki hücre

tarafından onarılabılır. DNA’da oluşan etki ise onarılamaz. DNA’da oluşan bu etkiler genetik mutasyon ve hücre ölümüne neden olabilir.

#### 4.5.4. DOLAYLI ETKİLER

Su moleküllerinde görülen etkisi dolaylı bir etkidir. İnsan vücudunun yaklaşık % 80’i su olduğunu bilinmektedir. Suyu radyasyona maruz bıraktığımızda, başka moleküler yapılara bölüneceğini bilmekteyiz. Buna da suyun radyolizi diyebiliriz. Suyun radyolizi sonucunda yaklaşık 1 ms’lik bir süre için, H ve OH serbest kökleri oluşur.

Su molekülüne enerji yüklü elektron çarpınca, bağlayıcı elektronlardan biri dışarı çıkabilir ve su molekülü parçalanarak bir hidrojen ( $H^+$ ) iyonu ve bir hidroksil ( $^{\bullet}OH$ ) Radikali meydana gelir. Radyasyon nedeni ile enerji yüklü elektron çarpması ile dışarı çıkan suya ait elektron başka bir su molekülü tarafından da tutulabilir. Negatif yüklü hale gelen su molekülü bu kez de bir hidrojen ( $^{\bullet}H$ ) Radikali ve bir hidroksil ( $OH^{\bullet}$ ) iyonu şeklinde iki parçaya bölünebilir.

Bunların enerji fazlaları, diğer molekülleri etkileyerek moleküler bağları çözebilir. Ayrıca serbest köklerin birleşmesi sonucu, hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) oluşabilir. Bu madde, hücreye toksik etkilidir. Bu şekilde oluşabilen hidrojenperoksit ( $H_2O_2$ ) kökü de hücreye hasar vermektedir.

#### 4.6. RADYASYON DOZLARININ ZARARLARI

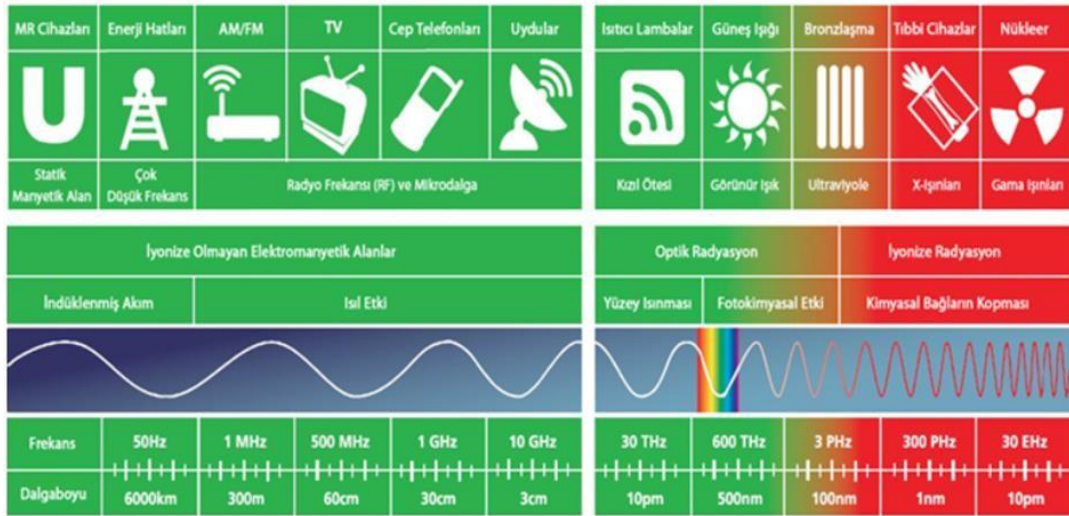
Radyasyonun değerleri önemli olmakla birlikte yılda ne kadar maruz kalındığı da zarar miktarını etkilemektedir. Bir anda maruz kalmak ve yılda belli süre maruz kalmak sonuç olarak bakıldığında tehlikesi olduğu görülmektedir.

Tablo 14: Radyasyon dozları ve etkileri <sup>(115)</sup>

<b>0,05 mSv/yıl</b>	Doğal arka plan radyasyonun küçük bir kısmı. Nükleer santrallerin tasarımında güvenlik şeridinde izin verilen maksimum doz hızı. Operasyon sırasındaki doz gerçekte çok daha azdır.
<b>0,3-0,6 mSv/yıl</b>	Yapay kaynaklardan alınan radyasyonun tipik doz hızı miktarıdır. Genellikle medikal kaynaklı olanlar için geçerlidir.
<b>2,4 mSv/yıl</b>	Ortalama tipik arka plan radyasyonu. Coğrafyaya göre farklılık göstermektedir.
<b>5 mSv/yıl (maksimum)</b>	Orta irtifalarda uçan uçaklarda alınan tipik doz hızı miktarıdır.

<b>9 mSv/yıl</b>	Okyanus aşırı uçuşlardaki doz hızı (Tokyo-New York).
<b>10 mSv</b>	Karın ya da pelvis bölgesi bilgisayarlı tomografi (CT) taraması doz miktarı
<b>20 mSv/yıl</b>	Bazı ülkelerdeki nükleer endüstri çalışanları ve Uranyum madencileri doz limiti miktarıdır.
<b>50 mSv/yıl</b>	Radyasyon işçileri tarafından bir yıl için maksimum doz limiti (5 yılın ortalaması 20 mSv/yıl). Aynı zamanda İran, Hindistan ve Avrupa gibi bölgelerde görülebilen arka plan dozu miktarıdır.
<b>50 mSv</b>	Kısa dönem acil durumlarda çalışanlar için izin verilen doz miktarı. (IAEA)
<b>100 mSv</b>	Kanser riskini artırdığına dair kanıt bulunan en düşük yıllık doz miktarı (UNSCEAR). Bunun üzerindeki miktarlarda kanser oluşma olasılığının, dozla arttığı varsayılmaktadır. Bu miktarın altında herhangi bir zarar görülmemiştir. Çok önemli acil durum müdahaleleri yapanlar için kısa dönemde izin verilen doz miktarıdır. (IAEA)
<b>130 mSv/yıl</b>	Radyolojik olay sonrası uzun dönem güvenlik seviyesi (kirlenen bölgenin 1 m üzerinden ölçüldüğünde).
<b>170 mSv/hafta</b>	Radyolojik olay sonrası 7 günlük geçici güvenlik seviyesi (kirlenen bölgenin 1 m üzerinden ölçüldüğünde).
<b>250 mSv</b>	Fukushima-Daiichi kazasında radyasyon çalışanları için izin verilen kısa dönem doz miktarı.
<b>250 mSv/yıl</b>	İran'ın Ramsar bölgesindeki doğal arka plan radyasyon doz hızı. Belirlenen bir sağlık etkisi bulunmamaktadır. Belli yerlerde doz hızları 700 mSv/yıl'a ulaşmaktadır.
<b>350 mSv(ömür boyu)</b>	Çernobil kazası sonrası çevrenin boşaltılması (halkın taşınması) için doz miktarı.
<b>500 mSv</b>	Hayat kurtarma durumlarında izin verilen kısa dönem doz limiti. (IAEA)
<b>680 mSv/yıl</b>	1955 yılı için belirlenen doz seviyesi (Gama Işını, x-Işını ve Beta)
<b>700 mSv/yıl</b>	Nükleer kaza sonrası önerilen çevrenin boşaltması için eşik doz hızı miktarı.
<b>800 mSv/yıl</b>	Kaydedilen en yüksek arka plan doz hızı miktarı. Ölçüm Brezilya sahillerinde yapılmıştır.

<b>1000 mSv(kısa dönem)</b>	Her 100 kişiden 5'inin ışınlanmadan yıllar sonra ölümcül kansere yakalanacağını varsayıldığı doz miktarı. (Örneğin ölümcül kansere yakalanma oranı % 25 olsaydı bu oran % 30'a çıkardı.)  Geçici radyasyon rahatsızlıkları (akut radyasyon sendromu) için eşik değer. Bulantı ve beyaz kan hücrelerindeki azalma örnek gösterilebilir. Ölümcül değildir. Bu seviyenin üzerinde zarar şiddeti doz ile artmaktadır.
<b>5000 mSv(kısa dönem)</b>	Maruz kalanların yarısını bir ay içerisinde öldürebilecek doz miktarı. (Bu, tedavilerdeki çok küçük bölgeye verilen günlük doz miktarının iki katı kadardır. Tedaviler 4-6 hafta kadar sürmektedir.)
<b>10000 mSv(kısa dönem)</b>	Birkaç hafta içinde ölüm beklenir.



Şekil 45: Radyasyonun cihaz gösterim ve frekans aralıkları <sup>(127)</sup>

Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu'na göre bir insan yılda ortalama 2,8 milisievert (mSv) radyasyona maruz kalmaktadır. Bunun %85'i doğal kaynaklardan yani topraktan, güneşten ve uzaydan gelen kozmik ışınlardan kaynaklıyken, yüzde 14'ü tıbbi ışınlamalar (MR vb.) ve yüzde 1'i de insan yapımı (nükleer silah denemeleri nedeniyle atmosfere salınmış radyoaktivite ve nükleer santral) unsurlardan kaynaklanıyor. Alfa, beta ve gama ışınları gözle görülmediği için farkında olmadan organlarımız,



dokularımız, tüm vücudumuz radyasyonla etkileşime girer. Bu etkileşimi çoğu zaman fark edemeyiz, etkileri ortaya çıkmaya başladığı zaman anlarız<sup>(114)</sup>.

Gündelik yaşamımızda kullandığımız çeşitli ürünlerde radyasyon kaynakları bulunabilmektedir.

Bunlardan bazıları şunlardır: <sup>(118)</sup>

- Fosforlu saatler
- Tütün
- Televizyonlar
- Floresan lambaların başlatıcıları
- x-ışını güvenlik sistemleri
- Gaz ve kömür gibi yakıtlar
- Fener mantoları
- Yapı ve yol inşaat malzemeleri

Bu ürünlerdeki radyasyon miktarı medikal kaynaklarla kıyaslandığında sebep oldukları radyasyon maruziyeti yok denecek kadar azdır.

## 5. RADYASYON ALANLARINDA KORUNMA VE GÜVENLİK

Radyasyon alanlarında, İş Sağlığı ve Güvenliği'nin önemli bir rol üstlendiği bilinmektedir. Radyasyondan korunma ve güvenlik yöntemlerinden önce temel bilinmesi gereken konular vardır. İlk önce bunları açıklamak fayda sağlayacaktır<sup>(59)</sup>.

İş Sağlığı ve Güvenliği 3 temel kavram üzerine kurulmaktadır <sup>(59)</sup>. Bunlar;

**Devlet:** Gerekli yasal düzenlemeleri yapar, denetler ve kontrol eder.

**Çalışan:** Kanunlar kapsamında kendisine verilen yazılı-sözlü emirlere uyar.

**İşveren:** Sağlıklı ve güvenli çalışma ortamı sağlar, mevcut yasaları uygular.

Bunlarla birlikte İş Sağlığı ve Güvenliği'nin asıl amaçları şunlardır; çalışanları iş ortamında risk ve tehlikelerden korumak, işletme güvenliğini sağlamak ve rahat güvenilir bir ortam oluşturmak. Bunları yaparken kanunların tümünün uygulanma zorunluluğu vardır.

**İş Sağlığı:** Bütün mesleklerde çalışan kişilerin bedensel, ruhsal ve sosyal yönlerden iyilik hallerini sürdürmeleri ve çıkılabilecek en üst düzeye çıkarılmasıdır.

**İş Güvenliği:** İş kazalarını önlemek ve güvenli çalışma ortamı sağlamak için gereken tedbirlerin alınmasıdır.

**Meslek hastalığı:** Sigortalının çalıştırıldığı işin niteliğine göre tekrarlanan bir sebep ile veya işin yürütüm şartları yüzünden uğradığı geçici veya sürekli hastalık, sakatlık veya ruhen arıza halleridir.

**Tehlike:** Çalışma ortam ve koşullarında var olan ya da dışarıdan gelebilecek kapsamı belirlenmemiş olan durumların kişilere, işyerine ve çevreye zarar verme potansiyeli tehlike olarak tanımlanır. İş yerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek, çalışanı veya iş yerini etkileyebilecek zarar veya hasar verme potansiyelidir. Çevremizdeki zarar verme potansiyeline sahip olan herhangi bir şeydir. İnsanların yaralanmasına, hastalanmasına, malın veya malzemenin hasar görmesine, işyeri ortamının zarar görmesine veya bunların gerçekleşmesine sebep olabilecek kaynak veya durum olarak tanımlanmaktadır. Buradaki bütün tanımlar tehlike kavramı ile örtüşmektedir.



Şekil 46: Riskin Ortaya Çıkışı (128)

**Risk:** Tehlikeli bir olayın meydana gelme olasılığı ile bu olayın sonuçlarının ortaya çıkardığı zararın şiddetinin bileşkesidir.



Şekil 47: Risk Kontrol Adımları (112)

Burada esas olan konumuz Radyasyondan nasıl korunuruz veya en az şekilde maruz kalmak için neler yapabiliriz sorularına yanıt bulmaktır. Temel kavramları bilmek bunun bir başlangıcı olacaktır.

### 5.1. RADYASYON ALANLARINDA KORUNMA

Radyasyon dozlarını belirlenen limitlerin altında tutulmasını sağlayarak, kişilerde beklenen süreden daha erken olumsuz etkilerin meydana gelmesini önlemek radyasyondan korunmayı ifade eder. Bununla birlikte ileride ortaya çıkabilecek gecikmiş olumsuz etkilerin görülmesini en aza indirmek için alınabilecek önlemler olarak da tanımlayabiliriz.

Radyasyondan korunmak için temel kurallar değerlendirildiğinde, “Uygulamaların gerekliliği?”, “Radyasyon korunmasının optimizasyonu?” ve “Doz limitleri?” sorularına cevap bulmak gerekir.

## Uygulamalar neden gereklidir?

Sağlık veya diğer alanlarda tam bir fayda sağlamayan radyasyon uygulanmasına izin verilmemesi gerekir. Bu durumda gereksiz yere radyasyona maruz kalınmaz. Bazı kaynaklarda buna Justifikasyon adı verilmektedir. Aynı manada kullanılmaktadır. Bunlara örnek verecek olursak; Mesleki amaçlı radyolojik uygulamaların klinik bir bulgu yoksa ve kişi için önemli bir bilgi beklenmiyorsa veya profesyonel kurumlar tarafından istenmiyorsa justifiye edilmemesi gerekir.

## Radyasyon korunmasının “OPTİMİZASYON”u nedir?

Ekonomik, sosyal ve fiziksel imkanları baz alarak, bütün radyasyon işlemlerinde maruz kalınabilecek radyasyon miktarını minimize etmek fayda sağlar. Optimizasyon seviyesini işlev görecekt kadar yapıp fazla radyasyona maruz kalmamak gerekir. ALARA (mümkün olan en düşük dozun alınması) olarak da kaynaklarda görünmektedir. <sup>(59)</sup> <sup>(65)</sup>.

## Doz limitlerini neden bilmek gerekir?

Radyasyon ile çalışanlar zorunlu olarak radyasyona maruz kalmaktadır fakat bu maruz kalınan miktarın sınırı vardır. Sınırın aşılmaması gerekir. Aşılması durumunda sıkıntıların oluşması kaçınılmazdır. Bunun haricinde kişilerin de yıl içerisinde ne kadar radyasyona maruz kalınacağı bellidir bu doz kısmının aşılmaması gerekir. Doz miktarları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 15: Yıllık Radyasyon Dozu Sınırları <sup>(59)</sup>

		Radyasyon Görevlileri	Halk(Kişiler)
Etkin değer	Yıllık Ortalama (Ardışık 5 yılın ortalamasıdır.)	20 mSv/yıl	1 mSv/yıl
	Tek Yıl	50 mSv/yıl	5 mSv/yıl
Eşdeğer doz	Göz	150 mSv/yıl	15 mSv/yıl
	Cilt	500 mSv/yıl	50 mSv/yıl
	El-Ayak	500 mSv/yıl	50 mSv/yıl

Yukarıda verilen tabloda birimlerin açıklaması Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği’ne göre şu şekilde yapılmıştır; eşdeğer doz, vücut tarafından soğurulmuş dozun, radyasyonun türüne ve enerjisine bağlı olarak değişen radyasyon ağırlık faktörü ile çarpılmış değeri olarak tanımlanır ve birimi Sievert (Sv)’dir. Soğurulmuş doz iyonlaştırıcı radyasyonun, havadan maddeye geçip maddeyle etkileşmesi sonucu birim kütleye bırakılan enerji miktarıdır. Etkin doz ise insan vücudunda soğurulan dozun, doku ağırlık faktörü ile çarpılarak her bir organ ya da dokunun aldığı dozu, radyasyon miktarını ifade eder. Etkin doz birimi ile eşdeğer doz birimi aynıdır<sup>(60)</sup>.

Mevzuat konularında bunların detaylarına mutlaka girilecektir. Kişileri etkileyen doz miktarlarından bahsettik. Bunun yanında 16 yaşından küçük çalışanların mesleki ışınlamalara maruz kalınacak yerlerde çalıştırılması yasaktır. Gözetim altında ve eğitim maksadıyla orada bulunması haricinde 18 yaşın altındaki çalışanlar kontrollü alanlarda çalıştırılmazlar.

Radyasyondan korunmak için mutlaka bir sistem kurulması gerekiyor aksi durumda radyasyondan korunmak zor olabilir. Tabi bu sistemde bazı etmenler olacaktır;

- Radyoaktivite doz miktarlarının bilinmesi
- Birimlerinin bilinmesi
- Ölçümlerinin doğru bir şekilde yapılabilmesi
- Değerlendirme işlemlerinin hata oranının minimize edilmesi

Bu etmenler sağlandıktan sonra sistem kurulmuş olup en azından radyasyona maruz kalma azaltılmış ya da yok edilmiş olabilir. Radyasyondan korunmada 3 önemli etken daha vardır. Bunlar; zaman, uzaklık ve zırhlama kavramlarıdır. <sup>(61)</sup> <sup>(65)</sup>

#### 5.1.1. ZAMAN KAVRAMI

Radyasyon dozu, radyasyon alanında geçen süre ile orantılı olduğu ve bu orana göre korunmamız gereken limitin belli olduğu bilinmektedir.

Doz= Doz şiddeti x Zaman <sup>(61)</sup>.

Örnek 1: Doz şiddeti 20 µSv/saat, t= 1 saat olduğunda alınan doz miktarı 20 µSv' tir.

Örnek 2: Doz şiddeti 40 µSv/saat, t= 1 saat olduğunda alınan doz miktarı 40 µSv' tir.

Örnek 3: Doz şiddeti 20 µSv/saat, t= 2 saat olduğunda alınan doz miktarı 40 µSv' tir.

Yukarıda verilen örneklerden de anlaşıldığı gibi doz miktarı, doz şiddeti ve zaman ile doğru orantılı olarak değişim göstermektedir.

#### 5.1.2. UZAKLIK KAVRAMI

Radyasyon şiddeti, kaynaktan olan uzaklığın karesi ile ters orantılı bir biçimde olacaktır.

$$D_r = D_0 * \left(\frac{r_0}{r}\right)^2 \quad (61)$$

D<sub>r</sub> : Son bilinen doz miktarı (µSv/saat)

D<sub>0</sub> : İlk bilinen doz miktarı (µSv/saat)

$r_0$  : İlk bilinen uzaklık (metre)

$r$  : Son bilinen uzaklık (metre)

Örnek 1: 1 m uzaklıktaki doz şiddeti 50  $\mu\text{Sv/saat}$  olan bir radyoaktif kaynağın, 4 m uzaklıktaki doz şiddeti ne olur?

$$D_r = D_0 * \left(\frac{r_0}{r}\right)^2$$

$$D_r = 50 * \left(\frac{1}{4}\right)^2$$

$$D_r = 3,125 \mu\text{Sv} / \text{saat}$$

Örnek 2: 1 m uzaklıktaki doz şiddeti 40  $\mu\text{Sv/saat}$  olan bir radyoaktif kaynağın, 5 m uzaklıktaki doz şiddeti ne olur?

$$D_r = D_0 * \left(\frac{r_0}{r}\right)^2$$

$$D_r = 40 * \left(\frac{1}{5}\right)^2$$

$$D_r = 1,6 \mu\text{Sv} / \text{saat}$$

### 5.1.3. ZIRHLAMA KAVRAMI

Radyasyon dozunu en aza indirebilmek için kaynak ile vücut arasına uygun olan zırhlama materyali konulması gerekmektedir. Bu materyal seçilirken radyasyon türü ve enerjisi önemlidir. Örneğin 3 MeV enerjideki bir beta parçacığı havada 12.5cm ilerleyebilir, aynı enerjideki bir alfa parçacığı ancak 1.7cm yol alabilir<sup>(61)</sup>.

Aslında amaç olarak bakıldığında, belli bir kalınlıktaki önlüğün radyasyonu %75-80 oranda zayıflattığı (hesaplamalar ve formüllere dayanarak) görülmektedir. Zırhlama kavramına İYONLAŞTIRICI RADYASYON KULLANILAN ODALARIN TESİSİNDE NDK TARAFINDAN BELİRLENEN ÖLÇÜTLER konusunda ayrıntılı olarak değinilmiştir.

## 5.2. RADYASYON ALANLARININ SINIFLANDIRILMASI

Hastane ve benzeri sağlık kuruluşlarında maruz kalınacak yıllık dozun 1 mSv değerini geçme olasılığı bulunan alanlar radyasyon alanı olarak kabul edilir. Maruz kalınan doza göre radyasyon alanları denetimli ve gözetimli alanlar olarak ikiye ayrılır. <sup>(62,65)</sup>.

### 5.2.1. DENETİMLİ ALANLAR

Radyasyon görevlilerinin giriş ve çıkışlarında özel denetime tabi oldukları, çalışmalarının radyasyon korunması bakımından özel kurallara bağlı olduğu ve görevi gereği radyasyonla çalışan kişilerin ardışık beş yılın ortalama yıllık doz sınırlarının 3/10'undan fazla radyasyon dozuna maruz kalabilecekleri alanlardır<sup>(61)</sup>.

Denetimli alanların girişlerinde uyarı levhaları bulunmak zorundadır. Bunlar;

- Temel radyasyon simgeleridir.
- Tehlikesinin büyüklüğünü simgeleyen işaretler ve bilgilerdir.
- Koruyucu giysilerin kullanılması gerektiğidir.

### 5.2.2. GÖZETİMLİ ALANLAR

Radyasyon görevlileri için yıllık doz sınırlarının 1/20'sinin aşılma olasılığı olup; 3/10'nunun aşılması beklenmeyen alanlardır. Bu alanlarda kişisel doz ölçümü gerekmezken çevresel radyasyonun izlenmesi gerekir. Hamileliği belirlenmiş radyasyon görevlileri de ancak gözetimli alanlarda çalıştırılır. Fetusu korumak amacıyla hamile radyasyon görevlisinin batin yüzeyi için hamilelik boyunca ilave eşdeğer doz sınırı 1 mSv'dir<sup>(62)</sup>.

Hastanelerde iyonize radyasyon bölgeleri olarak;

- Radyasyon onkolojisi
- Radyoloji
- Nükleer tıp
- Gastroenteroloji
- Kardiyoloji
- Kan bankası (Cs-137 kan ışınlama cihazı) bulunurlar.

### 5.3. RADYASYONDA GÜVENLİK ÖNLEMLERİ

Radyasyonda güvenli çalışabilmek için bazı etmenlere dikkat etmek gerekiyor. Güvenlik önlemlerinin uygun bir şekilde alınması demek riski en aza indirmek demektir. Bu etmenler aşağıda sıralanmıştır.

- Radyasyonun miktarı
- Zırhlama
- Işın kaynağı ile mesafe
- Maruziyet süresi

Bunlar dikkate alınarak gerekenler yapılabilir. Bunların yanında mühendislik olarak da katkı sağlanabilir. Burada dikkat etmemiz gerekenler aşağıda verilmiştir. Bunlar;

- Sınıf 2 ve daha üzerinde olunca uygun işaretlemeler.
- Sınıf 3'ten itibaren uygun göz koruması.
- Cilt koruması, kıyafetler, kremler ve eldivenler
- Bariyerler
- Havalandırma

Bunlar ile birlikte Radyasyonun Sınıflandırılmasına yönelik tablonun eklenmesi, önlem almada fayda sağlayacaktır.

Tablo 16: Radyasyonun Sınıflandırılması (Güvenlik ve Koruma alanı için)

<b>Sınıf 1</b>	Kullanımı her koşulda güvenlidir. Maruziyet sınırı yoktur.
<b>Sınıf 1 M</b>	Kullanımı her koşulda güvenlidir. Işınlardan kaçınılmalıdır.
<b>Sınıf 2</b>	Görülebilir alandır. 1mw ile sınırlı ise, emisyon süresi 0,25sn'den azsa, ışın yağmuru yoksa, göz kırpması refleksi ile korunulabilir.
<b>Sınıf 2 M</b>	Görülebilir alandır. Güvenlidir. Göz refleksiyle korunmak mümkündür.
<b>Sınıf 3 R</b>	Dikkatli olunduğu sürece zarar vermez. 5 mw ile sınırlıdır. Göz koruması gerekir.
<b>Sınıf 3 B</b>	Doğrudan bakılırsa zararlıdır. Mat yüzeylerden yansıması zararsızdır. Kilitleme sistemi ve göz koruması gerekir.
<b>Sınıf 4</b>	3 B üzerinde güce sahip bütün lazerler bu sınıfa girer. Mutlaka kilitleme sistemi olmalıdır.



#### 5.4. RADYASYONDA GÜVENLİK İŞARETLERİ

Güvenlik ve koruma amacı ile kullanılan işaretler vardır. Bu semboller sayesinde radyasyonun olduğu alanı bilme ve orada gereken önlemin alınması sağlanır. Bu da tehlikeli ve riskli durumdan kişileri korur. Bu işaretler levha halinde, sözlü, sesli, ışıklı, el-kol işareti veya renk ile belirtilir. Her rengin bir anlamı vardır.

**Yasak İşareti:** Tehlikeye neden olacak veya tehlikeye maruz bırakacak bir davranışı yasaklayan işaretlerdir.

**Uyarı İşareti:** Bir tehlikeye neden olabilecek veya zarar verecek durum hakkında uyarıda bulunan işaretlerdir.

**Emredici İşaret:** Uyulması zorunlu bir davranışı belirleyen işaretlerdir.

**Acil çıkış ve ilk Yardım İşaretleri:** Acil çıkış yolları, ilk yardım veya kurtarma ile ilgili bilgi veren işaretlerdir.

Tablo 17: İş Güvenliğinde Kullanılan Renkler ve Anlamları

Kırmızı	Yasak işareti	Tehlikeli hareket veya davranış
Sarı	Uyarı işareti	Dikkatli ol, önlem al, kontrol et
Mavi	Zorunluluk işareti	Özel bir davranış ya da eylem
Yeşil	Acil kaçış	İlk yardım işareti, Kapılar, çıkış yerleri ve yolları



Şekil 48: Radyasyon Sembolleri

Yukarıda uyarı anlamı taşıyan güvenlik için kullanılan semboller verilmiştir. Üçgen biçiminde, sarı zemin üzerinde siyah piktogram, siyah çerçeve (Sarı kısımlar işaret alanının en az %50'ini kapsayacaktır) olarak yapılır. Büyük veya küçük alanlarının ne kadar kaplaması gerektiği bütün detaylar mevzuatta verilmiştir.

Radyasyon koruma ve güvenlik bakımından değerlendirildiğinde her düzey iyonazisyonun zararlı olduğu bilinmektedir. Hiçbir riskin olmadığı yani böyle bir eşik değerin bilimsel olarak bilinmediği uygulamalarda mümkün olduğunca minimum seviyede doz kullanımı en doğru işlemdir.

## 5.5. RADYASYONLA ÇALIŞANLARIN SORUMLULUKLARI

Koruma görevlileri ve teknisyenlerin bazı sorumlulukları vardır. Bu konuyla ilgili detaylara Personel eğitimi konusunda girilecektir. Burada temel olan sorumluluklardan bahsedilecektir. Bunlar;

- Tesiste işlemlerin yürütülmesi için gerekli yerlere uygun ikaz etiketleri ile uygulama ve kaza talimatı asar.
- Çalışanların dozimetre ölçümlerinin düzenli yapılmasını sağlayarak alınan sonuçları kaydeder.
- Çalışan personelin ve hastaların radyasyondan korunmasına yönelik önlemleri alır.
- Işınlama süresince odada hasta dışında kimsenin bulunmamasını.
- Işınlama süresince oda kapısının kapalı olmasını sağlarlar.

Bunların haricinde radyasyonla çalışan bazı alanlarda teşhis alanlarının belirli özellikleri bulunmak zorundadır. Hepsine örnek veremeyiz ama günümüzde en çok kullanılan Röntgen cihazlarının bulunduğu ortamın özelliklerinden bahsedebiliriz.

- Alt, üst ve bitişik alanları daimi mesken olarak kullanılmayan alanlar tercih edilir.
- Oda boyutu x-ışını cihazının özelliğine göre değişebilir ama 15 m<sup>2</sup> den küçük olmamalıdır.
- Duvar kalınlıkları en az 29 cm dolu tuğla veya 15 cm beton olmalıdır. Bu sağlanamıyor ise kurşun kaplama kullanarak bu değerlere yakın işlem uygulanabilir.
- Birden fazla x-ışını cihazı aynı odaya kurulamaz. Kumanda ünitesi aynı olan cihazlar bir arada kurulabilir. Cihazlar arasına duvar veya kurşun kullanılması şarttır.
- Odanın tek giriş kapısı olmalı ve bu kapı radyasyon sızıntısına izin vermeyecek şekilde 2 mm kalınlığında kurşun plaka ile kaplanmalıdır.
- Cihazın x-ışını tüpü kapıya mümkün olan en uzak bölgeye yerleştirilmelidir.

- Odanın havalandırılması aspiratör, vasistas tipi pencere veya merkezi havalandırma sistemi ile sağlanmalıdır.

Sonuç olarak değerlendirildiğinde, radyasyondan korunmak demek tahammül edilebilen yani tolerans bakımında değerlendirilen dozları bilmek ve radyasyon çalışanları ile çevre halkının bunun üstünde doz almasını önlemek demektir. Radyasyonsuz olamayacağımız kesin olmakla birlikte en azından güvenlik ve koruma yöntemleri ile birlikte bunu en az seviyeye indirmiş olabiliriz.

## 5.6. RADYASYON RİSK GRUPLARI

Radyasyon enerji transferi yaklaşık olarak  $10^{-17}$  saniye gibi oldukça kısa bir süre içerisinde meydana gelir, alınacak önlemler ısınlamadan önce uygulanmalıdır<sup>(63)</sup>.

Risk grupları olarak;

- Radyolojide çalışanlar
- Radyasyon onkolojisinde çalışanlar
- Nükleer tıpta çalışanlar
- Ameliyathane çalışanları
- Diş kliniklerinde çalışanlar

Radyasyon çalışanlarının bir dış radyasyon tehlikesinden korunmak için, genel olarak, dikkat etmesi gerekli olan kurallar vardır;

1. Kaynak yanında gereğinden fazla bir süre kalmamak,
2. Mümkün olabildiğince kaynağa uzak bir mesafede çalışmak,
3. Kaynak ile aralarına engelleyici bir zırh malzemesi koymak.

Tıbbi her alanda olduğu gibi Ameliyathanelerde de görevi gereği radyasyona maruz kalan kişilerin, radyasyon dozu ölçen cihazlarla ciddi ve sürekli bir şekilde kontrol edilmeleri gerekir.

Solunum, sindirim ve derideki çizik veya yaralar vasıtasıyla vücuda alınarak bir iç radyasyon tehlikesi yaratabilecek radyoizotoplara karşı bu tür personele ortamın tehlike durumuna göre, solunum cihazlı özel giysiler veya maskeler sağlanmalıdır. Riskli grupların içerisinde bulunan çalışanlar ile ilgili detay verilecektir. Burada sadece Ameliyathane çalışanları için önlemlerden bahsedeceğiz<sup>(63)</sup>.

Ameliyathanelerde radyasyon güvenliğini sağlayabilmek için bazı koruyucu önlemler aşağıda belirtilmiştir.

- Hastanelerde radyasyondan korunma görevlisi olmalı ve radyasyon güvenliği komitesi kurmalıdır. Komite aktif bir şekilde çalışarak çalışanlara yönelik koruyucu önlemler alıp, radyasyon eğitimleri düzenlemelidir.
- Ameliyathanelerde skopi vakalarında çalışacak personelin, çalışmaya başlamadan önce radyasyon ve radyasyondan korunma eğitimlerini alması gerekmektedir.
- Skopi cihazı ilgili hekimin yönlendirmesine bağlı olarak, röntgen teknikeri tarafından kullanılmalıdır.
- Skopi cihazını kullanan hekimlere uzmanlıkları döneminde ve diğer sağlık profesyonellerine mesleki eğitim dönemlerinde radyasyon eğitimi de verilmelidir.
- Belirli tanı konulmuş sağlık personellerinin görev yerleri değiştirilmeli, bu tür radyasyon riski olan yerlerde çalıştırılmamalıdır.

## 5.7. RADYASYONDAN KORUNMA KİŞİSEL DONANIMLAR

### 5.7.1. KURŞUNLU ÖNLÜKLER

Radyasyon çalışanları, radyoloji laboratuvarında ve x-ışını kullanılan diğer laboratuvarlarda çalışırken kurşunlu önlük kullanmalıdır. Kurşunlu önlükler direk x-ışınından değil ikincil (yansıyan) radyasyona karşı bir koruma sağlamak üzere tasarlanır. Uzun süre, giyilebilmeleri için mümkün olduğu kadar hafif olmaları gerekir. Direk gelen radyasyon ışınından korunmak için ışın kaynağının gücü ve mesafesine göre 15 mm, 2 mm Pb veya dahayüksek koruma sağlayan kurşunlu paravan gibi ürünlerin kullanılması gerekir<sup>(64)</sup>.

### 5.7.2. BOYUN KORUYUCULAR

Radyasyon yayılımının yüksek olduğu alanlarda korunma amaçlı, tiroid (kalkan) bezini korumak için boyun etrafını saran kurşunlu boyun koruyucusudur<sup>(64)</sup>.

### 5.7.3. KURŞUNLU GÖZLÜKLER

Radyasyon görevlilerinin gözlerini, radyasyondan koruma amaçlı camları kurşun içeren gözlükler kullanılır. TV donanımlı olmayan floroskopi cihazlarıyla yapılan incelemelerde bu gözlükler kullanılır. İncelemeye başlamadan en az 10 dk. önce takılır<sup>(64)</sup>.

#### 5.7.4. KURŞUNLU ELĐİVENLER

Özellikle floroskopi cihazları ile yapılacak incelemelerde kurşunlu önlüklerle beraber, kurşunlu eldivenler de kullanılır. Kurşunlu eldivenler, ön, arka ve bilekler dahil zırhlayabilecek özellikte olmalı ve 150 Kv değerine kadar olan cihazlarda kurşunlu eldivenler en az 0,25 mm kalınlıkta olmalıdır. Kurşunlu eldivenler katlanmadan saklanmalıdır. Çünkü katlanan yerlerde oluşan çatlaklıklar radyasyonu yeterince absorbe edemez ve gerekli korunma sağlanamaz. Bu nedenle çatlamış olan kurşunlu eldivenler kullanılmaz<sup>(64)</sup>.

#### 5.7.5. KURŞUNLU PARAVANLAR

Radyoloji departmanında, kumanda masası dışarıda değil ise kumanda masası önünde en az 2 m eninde ve 2,25 yüksekliğinde kurşunlu paravan bulundurulur. Kumanda masası ile inceleme masası arasında en az 2,5 m mesafe olmalıdır. Işınlama sürecinde radyasyon kaynağında uzak durmaya önem gösterilmelidir. Radyografi sırasında kurşun paravan arkasında durulmalı, yardıma ihtiyacı olan hastalar olduğu zaman gerekli önlemler alınarak hasta yakınlarından yardım istenmelidir<sup>(107)</sup>.

## 6. RADYOLOJİDE PERSONEL VE HASTA GÜVENLİĞİ

Radyasyon ve radyoaktif materyaller günümüz modern toplumunun ve sanayinin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Radyasyon eşsiz özellikleri ile enerji, endüstri ve sağlık başta olmak üzere birçok alanda yarar sağlamaktadır. Kullanım alanlarının bazıları şunlardır: Hassas saat üretimi, sterilizasyon, DNA sekanslaması, uçaklarda metal yorgunluğunun belirlenmesi ve büyük miktarlarda elektrik enerjisi üretimi. Radyoaktif materyallerin uygulama alanları o kadar genişlemiştir ki bu materyaller olmadan modern yaşam düşünülemez. Bu teknolojinin nimetlerinden faydalandığımız gibi bu materyallerin üretimi, kullanımı ve atıkların saklanması sürecinde de gerekli emniyeti sağlamak zorundayız. Emniyet tedbirleri gerektiği gibi alınmaz ise radyasyon kazalarının oluşması kaçınılmaz olacaktır<sup>(67)</sup>.

Radyasyon uygulamaları, iyonlaştırıcı radyasyonun bilinçli ve kontrollü olarak kullanıldığı yasal düzenlemelere tabi faaliyetlerdir. Bu düzenlemeler; mesleki, tıbbi ve toplum ışınlamalarına karşı radyasyondan korunmanın ve radyoaktif kaynakların güvenliğinin sağlanmasına ilişkin kural ve standartları kapsar. Bu standartların ışığında personel ve hastalara karşı ayrı ayrı korunma önlemleri alınmalıdır. <sup>(65)</sup> <sup>(66)</sup>.

### 6.1. RADYASYON PERSONELLERİ

Radyasyon güvenliği bakımından iyonlayıcı radyasyon ve radyoaktif kontaminasyonun varlığını ve derecesini tayin etmek için, kişiler tarafından alınan toplam vücut dozunun rutin olarak ölçülmesine “personel monitoring (izleme)” denir. Radyasyon görevlileri, maruz kaldıkları radyasyonun miktarını saptamak üzere çalışma süresince dozimetre takmalı ve bu dozimetreler mevzuatta belirtilen periyotlarda ölçtürülmelidir. Personel monitoring amacı; kişisel doz değerlerinin müsaade edilen doz limitlerinin altında tutulabilmesi için ölçüm yapmak ve bu ölçümlerin kayıtlarını tutmak, personele radyasyon bakımından sağlığının korunduğu güvencesini vermek ve fazla doz alan personele yasal korumaolanağını sağlamaktır<sup>(65,66)</sup>.

#### 6.1.1. İLK MÜDAHALE İÇİN GEREKLİ PERSONEL

Her durumda yerinde bir müdahale için uygun ve eğitilmiş personel gereklidir. Radyasyon acil müdahale ekibi olarak tanımlanabilecek bu ekipte yer alan herkes hastanenin radyasyon acil planlarını bilmeli ve yapılan tatbikatlara katılmalıdır. Bu grupta yer alan bazı alt gruplar için (dekontaminasyon, triyaj ve radyolojik monitörizasyon ekipleri gibi) tatbikat sıklığı artırılabilir. Değişen personel de aynı eğitimden geçirilerek ekibe uyumu sağlanır. Bu eğitimlere yaralıları olay yerinden hastaneye taşıyan acil tıp teknisyenleri ve personeli de dahil edilmelidir. Çünkü bu personel hastanenin önceden uyarılması ve radyasyon yaralılarının uygun transportu konusunda önemli görevler üstlenir <sup>(68)</sup>. Aşağıda radyasyon acil müdahale ekibi görev ve fonksiyonları tablo halinde sunulmuştur.

Tablo 18: Radyasyon acil müdahale ekibi, görev ve fonksiyonları

Personelin görevi Fonksiyonu	Fonksiyonu
Ekip koordinatörü	Yönetir, önerilerde bulunur, koordine eder.
Acil tıp uzmanı	Acil tanı ve tedaviyi üstlenir. Aynı zamanda ekip koordinatörü veya triyaj sorumlusu olarak görev yapabilir.
Triyaj (ayırma) görevlisi	Hasta triyajını gerçekleştirir.
Hemşire	Hekime tıbbi işlemlerde, örnek toplanmasında, radyolojik monitörizasyonda ve dekontaminasyonda yardım eder. Hastanın ihtiyaçlarını belirler ve gerekli yardımı yapar.
Tıbbi kayıt görevlisi	Tıbbi ve radyolojik verileri kaydeder.
Radyasyondan korunma sorumlusu	Kontaminasyon kontrolü ve monitörizasyon işlemlerini gözetir. Hasta ve alanı monitörize eder, radyasyon ekipmanını çalışır halde tutar.
Halkla ilişkiler	Basına kaza ile ilgili bilgi verir.
Hastane yönetimi temsilcisi	Hastane hazırlıklarını koordine eder.
Güvenlik görevlisi	Radyasyon acil alanına giriş çıkışı denetler.
Temizlik görevlisi	Radyasyon acil alanının hazırlanmasını sağlar.
Laboratuvar teknisyeni	Biyolojik örneklerin rutin analizlerini gerçekleştirir.

#### 6.1.2. İLERİ BAKIM VE TEDAVİ İÇİN GEREKLİ PERSONEL

**Cerrah:** Kazaların çoğunda belli ölçüde travma da olaya eşlik ettiğinden genellikle bir travma cerrahına gerek duyulur. Bu personel erken dönemde ya da daha sonra çağırılmış olabilir. Yara, yanık ve travmanın diğer komplikasyonlarına bu personel müdahale ettiğinden ve müdahalenin her döneminde ihtiyaç duyulabileceğinden cerrahlar kontaminasyon kontrolü konusunda bilgi sahibi olmalıdır.

**Radyasyon teknisyeni:** Eğer kontaminasyon varsa buna bağlı oluşacak ışınlamanın tespiti için ışınlama süresi, kaynağa olan mesafe, varsa zırhlama ve aktivite miktarı bilinmelidir. Dozimetreler okunarak radyasyonun komplikasyonları için hazırlıklı olunur. Kontaminasyon varsa izotopı belirlemek için gerekli analizler yapılmalıdır. İzotop belirlenirse uygun dekontaminasyon tedavisine de başlanabilir.

**Nükleer tıp ve/veya radyoterapi uzmanı:** Radyasyon kazalarının yönetiminde bu uzmanların ikisi de fayda sağlayacaktır. Nükleer tıp uzmanları internal olarak radyonüklid uygulanmış hastalarla uğraşmak konusunda deneyimlidir. Farklı izotopların internal kontaminasyonunda tedavi uygulayabilirler. Radyoterapi uzmanları da yüksek dozda eksternal ışınlamaya maruz kalan hastalar konusunda deneyimlidir. Bu uzmanların bilgi ve deneyimleri yüksek doz ışınlamaya maruz kalan hastalarda erken ve geç etkileri belirlemede faydalı olacaktır.

**Onkoloji/hematoloji uzmanı:** Radyasyon kazazedeleri uzun vadede kanser açısından yüksek risk grubunda yer alırlar ancak onkoloji/hematoloji uzmanı erken dönemde başka nedenlerle faydalı olacaktır. Onkoloji/ hematoloji uzmanı immünsüprese hastaların tedavisi konusunda deneyimlidir. Eğer lökopeni belirgin ise koruyucu izolasyon gerekebilir. Letal seviyede doza maruz kalan hastalarda kemik iliği nakli de bir tedavi alternatifi olabilir.

**Dahiliye uzmanı:** Ciddi yaralanması olan hastaların uzun süreler boyunca hospitalize edilmesi gerekebilir. Eğer cerrahi gerekmiyor ise hastanın genel tedavisini koordine etmek için dahiliye uzmanına gerek duyulabilir. Yüksek dozda radyasyona maruz kalan hastalarda sıvı elektrolit dengesi bozulabilir. Uygun şekilde tedavi edilmezse hasta kaybedilebilir. Uzun süreli hospitalizasyona bağlı enfeksiyon ve diğer komplikasyonlar da tedavi gerektirebilir.

**Hukuk danışmanı:** Radyasyon kazalarında hukuki sonuçlar da doğabilir. Hastane ve personelin bu duruma hazırlıklı olması şüphesiz gerekli materyal ve dokümantasyonun uygun biçimde hazırlanmasına olanak sağlayacaktır.

### 6.1.3. PERSONELİN GÜVENLİĞİ

#### 6.1.3.1. MÜSAADE EDİLEN YILLIK DOZ SINIRLARI

Radyasyon görevlileri için etkin doz ardışık beş yılın ortalaması 20 mSv'i, herhangi bir yılda ise 50 mSv'i geçemez. El ve ayak veya cilt için yıllık eş değer doz sınırı 500 mSv, göz merceği için 150 mSv'dir. Cilt için en yüksek radyasyon dozuna maruz kalan 1 cm<sup>2</sup>'lik alanın eşdeğer dozu, diğer alanların aldığı doza bakılmaksızın ortalama cilt eşdeğer dozu olarak kabul edilir<sup>(90)</sup>.

#### 6.1.3.2. KİŞİSEL DOZİMETRE ZORUNLULUĞU

Radyasyon görevlileri, radyasyona maruz kalmaktadır. Bunun için radyasyon miktarını ölçmek ve bunun kaydını tutmak zorundadırlar. Bu işlemi de kişisel dozimetre kullanarak yapmaktadırlar. Kayıtlar takip edilir olağan durum dışında önlem alınır. Böylelikle personelin güvenliği sağlanmış olur<sup>(90)</sup>.

#### 6.1.3.3. KORUYUCU GİYSİ VE TEÇHİZAT

İş güvenliği konusunda bu konu detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Yapılan işin niteliğine uygun koruyucu giysi ve teçhizat kullanılır. Bu giysi ve teçhizatlar yüksek atom numarası ve yoğunluğundan dolayı etkili bir koruma sağlayan kurşundan yapılmaktadır. Bu aletler genellikle 0,5 mm kurşundan yapıldığı için,



alınan radyasyonu en az 10 kat azaltır. Bu alet ve teçhizatlar; gözlük, eldiven, tiroit koruyucu, gömlek, gonadal koruyucu ve kurşun paravanlardır. <sup>(69)</sup> <sup>(71)</sup>.

#### 6.1.4. ACİL DURUM MÜDAHALE EKİBİNİN (ADME) HAZIRLIĞI

**Koruyucu giysiler:** Koruyucu giysilerin amacı çıplak derinin ve personelin giysilerinin kontaminasyondan korunmasıdır. Ekip üyeleri cerrahi giysiler (önlük, maske, kep, göz koruyucu ve eldiven) giymelidir. Su geçirmez galoş veya ayakkabı kılıfı kullanılır. Tüm açık yerler ve kat bölümleri bantlanır. Bantların uç kısmı gerektiğinde kolayca çıkarılabilmesi için katlanır. Eldiven çift kat giyilmelidir. İlk kat eldiven cerrahi önlük kolu altına sokularak bantlanır. İkinci kat eldiven gerektiğinde kolayca çıkartılabilmeli ve değiştirilmelidir. Her ekip üyesine dağıtılacak dozimetre cerrahi önlük dışına boyun bölgesi civarına takılır. Eğer mevcutsa başka tip bir dozimetre de cerrahi önlük altına giyilir. Dekontaminasyon için sıvı kullanan her ekip üyesi ayrıca su geçirmez dış önlük kullanmalıdır. Bu koruyucu giysiler alfa ve bazı beta partiküllerini etkin şekilde durdurur ancak gama ışınları için faydaları yoktur. Gama ışınlarının çoğunu durduramayan kurşun önlükler yalancı bir güven hissi yaratacağından tavsiye edilmez<sup>(67)</sup>.

**Tedavi alanının kontaminasyon kontrolü için hazırlanması:** Tedavi odası, mümkünse dış girişe yakın bir yerde hazırlanmalıdır. Ziyaretçi ve hastalar bu alandan çıkartılır. Kazazedeye acil müdahalede kullanılmayacak olan ekipman ya bu alandan çıkartılır ya da üzeri örtülür. Birkaç adet büyük plastik çöp kovasına ihtiyaç duyulacaktır. Tedavi masası birkaç kat su geçirmez tek kullanımlık (disposable) örtü ile örtülür. Her ölçüde plastik çöp poşeti bulundurulmalıdır. Radyasyon monitörizasyonunda kullanılacak cihazların pilleri ve çalışıp çalışmadıkları kontrol edilir. Yine geri plan aktivitesi hastalar gelmeden önce belirlenir ve kaydedilir. Ekip hastayı ambulansın yanında teslim almak üzere hazırlanır.

**Zeminin kaplanması:** Kahverengi ambalaj kağıdı ambulans bölgesinden tedavi odasına kadar bir yol oluşturacak şekilde serilir. Zemini kaplamak için kullanılan materyal ne olursa olsun yere bantla güzelce sabitlenmelidir. Bu yol daha sonra yetkisiz girişleri önlemek üzere güvenlik ipleri ile ayrılır. Dekontaminasyon odası ve tedavi alanı da vakit kalırsa aynı materyal ile kaplanır. Bu önlem sonradan yapılacak temizliği çok kolaylaştıracaktır. Dekontaminasyon odasının eşiği kontamine ve temiz bölge sınırını belirleyecek şekilde kalın bir bantla görünür şekilde işaretlenir.

**Havalandırmanın kontrolü:** Ayrılan bölümün havalandırmasının diğer alanlardan ayrı bir havalandırması olması tercih edilir. Ya da bu alandaki havanın filtre edilmeksizin başka bölümlere geçişi engellenmelidir. Kontaminantın havada asılı kalma ve ventilasyon sistemine geçme olasılığı çok düşüktür.

## 6.2. HASTA GÜVENLİĞİ

- Radyolojide hastanın fazla radyasyon almasının önüne geçmek için ilk olarak ALARA (As Low As Reasonably Achievable) prensibi uygulanır. ALARA da amaç mümkün olan en düşük doz ile optimal görüntüyü elde etmek ve gereksiz tekrarları önlemektir.
- Kolimasyon uygulanarak görüntü alanına girmeyen dokular direk radyasyondan korunmuş olur.
- Gonadal koruyucunun görüntüyü engellemediği durumlarda özellikle çocuklara uygulanmalıdır. Gonadal koruyucu sayesinde testislere giden radyasyonun %90 ı, overlere giden radyasyonun %50 si engellenmiş olur.
- Işınlama faktörleri ayarlanırken kilovoltun yüksek, miliamper ve saniyenin ise göreceli olarak düşük ayarlanması gerekmektedir.
- X ışını uzaklığın karesi ile ters orantılı olduğu için, optimal görüntünün elde edileceği en uzak obje fokus mesafesi ile çekim yapılmalıdır.
- Floroskopi ve tomografi gibi çok yüksek radyasyon içeren tetkikler yerine, eğer alternatif olacak ise, direk röntgen, MR veya USG gibi hiç ya da çok az radyasyon içeren tetkikler uygulanmalıdır.
- Mide, duodenum, anjiyografi gibi floroskopik çekimlerde hastanın aldığı doz çekim süresi uzadıkça artacağı için işlem mümkün olan en kısa sürede tamamlanmalıdır.
- Doktorlar özellikle BT istemlerinde risk değerlendirmesini iyi yapmalıdır. Ortalama bir göğüs tomografisinin ilerde oluşturacağı ölümcül kanser olasılığının 10000 birey de 1.5 olduğu kabul edildiğini dikkate alarak bu riski alacak bir fayda sağlamayan tomografi tetkiklerinin istenmemesi gerekir. <sup>(69)</sup> <sup>(71)</sup> <sup>(72)</sup> <sup>(73)</sup> <sup>(74)</sup>.

### 6.2.1. GEBE VE GEBELİK ŞÜPHEİ OLANLAR

Yakın zamanlardaki çalışmalar, sağlık çalışanları arasında gebe hastaların obstetrik olmayan durumlarda görüntülenmesi ile ilişkili dozlar ve radyasyonun riskleri ile ilgili yeterli derecede bilgi sahibi olunmadığını göstermiştir. Bu nedenle tanısal görüntüleme gereksinimi olan bir gebe hasta ile karşılaşıldığında bir çıkmaz yaşanmaktadır <sup>(75)</sup> <sup>(76)</sup>. Gebe bir hastayla karşılaşıldığında her şeyden önemli olan soru; tanı için en iyi, aynı zamanda da fetüse en az riski olan yöntemin hangisi olduğudur. Farklı gestasyonel basamaklardaki fetüslerde iyonizan radyasyonun etkilerinin ve değişik görüntüleme modelleri ile fetüsün aldığı tahmini maruziyet dozunun bilinmesi, hastaların tanı yöntemine karar vermede mantıklı seçeneklere izin verir. Diğer taraftan görüntüleme yöntemleri, radyasyon dışında da (örn. kontrast ajanlar) fetal hasar için potansiyel taşırlar ve bunlar da göz önünde bulundurulmalıdır. Gebelikte tanı için kullanılacak yöntemleri belirlemeye, hekimin uzmanlığı, kaynakların kullanılabilirliği ve kurumun tercihleri yön verir. Yapılan araştırmalar fetusa zararlı olabilecek radyasyon dozunun 50 mGy olduğu, fetusun bu miktarın altında radyasyona maruz kalması durumunda ise zarar görme olasılığının son derece düşük olduğunu ortaya koymuştur. Burada bilinmesi gereken en

can alıcı bilgi; 50 mGy eğer birden fazla inceleme yapılmamışsa hiçbir radyoloji tekniği ile ulaşılamayacak oldukça yüksek bir dozdur<sup>(77)</sup>. X ışınları karşılaştığı maddelerde iyonizasyona sebep olan yüksek enerjili bir radyasyon çeşididir. Genellikle tanı amaçlı olarak kullanılır (örneğin röntgen filmi gibi). Doza bağlı olarak hücre bölünmesi ve genetik yapıda bozulmalara neden olabilirler. Röntgen ışınlarının da dahil olduğu iyonize radyasyona en hassas olan hücreler; hızlı bölünen hücrelerdir bu nedenle gelişmekte olan fetus ve ona ait dokular bu ışınlarından en fazla zarar görmesi beklenen yapılardır. Sadece ışın ile temas eden dokuda etkiler beklenir. Ancak bu etkilerin doz ve süreye bağlı olduğu unutulmamalıdır<sup>(78)</sup>.

Tablo 19: Radyasyon etkilenimi sonucunda oluşan teratogeneze, intrauterin yaşa bağımlı radyasyon dozunun etkileri <sup>(105)</sup>.

Gestasyonel periyod	Etkiler	Tahmini eşik doz
İmplantasyon öncesi (0-2 hafta)	Fetus ya ölür ya etkilenmez	50-100 mGy
Organogenez ( 2-8 hafta)	Konjenital anomaliler (İskelet, göz, genital sistemde) Gelişme geriliği	200 mGy 200-250 mGy
Fetal periyod (8-15 hafta)	Mental retardasyon (yüksek risk) Mikrosefali	60-310 mGy 200 mGy
16-25 hafta	Mental retardasyon (düşük risk)	250-280 mGy

Radyasyon güvenliği konusunda ilgili uzman hekim ve röntgen personeli tarafından bilgilendirilir. İlgili onam formu imzalatılır. Gebe ve gebelik şüphesi olanlarda bebeği koruyucu önlemler alınır. Bunlar: bebeği koruyacak şekilde hastaya kurşun önlük giydirilmesi, hastaya tanı için yetecek minimum miktarda doz verilmesi, hastanın sadece şikayetine bağlı film istenen bölgeye ışın verilmesi sağlanmasıdır.

#### 6.2.2. ÇOCUK HASTALARDA RADYASYON GÜVENLİĞİ

Çekim endikasyonunu belirlemek: Doz azaltma stratejileri içerisinde en önemlisi, çocuklarda gereksiz BT incelemelerinden kaçınarak onların hiç radyasyon almamasını sağlamaktır. BT inceleme, ancak hasta için kesin bir tıbbi gerekliliği varsa kullanılmalıdır. Öncelikle radyasyon içermeyen tetkiklerle değerlendirme yapılmalı ve bu konuda hastayı yönlendiren doktorla konuşarak hasta tekrar değerlendirilmelidir. Birçok klinik problem özellikle batin için USG, beyin ve kas iskelet sistemi için MR ile çözülebilir. Bununla birlikte, yüksek rezolüsyon gerektiren bazı durumlarda (örneğin toraks ve kardiyovasküler sistem değerlendirmelerinde) BT daha üstündür. Ayrıca acil şartlarda, hızlı olması ve çoğu zaman sedasyon ihtiyacı duyulmaması nedeniyle BT tercih edilir. Çok fazla incelemelerden kaçınarak (seçilmiş olgular dışında) sıklıkla çocuklarda tek fazla incelemeler yeterli olacaktır.

Kontrastsız- kontrastlı, dinamik inceleme gibi çok fazlı çekimler çocukların aldığı radyasyon dozlarının katlanarak artmasına neden olur. BT inceleme yapılan çocukların %1-3'ünde birden çok fazlı incelemeye gerek duyulmaktadır. Organ koruyucuları kullanarak, inceleme sırasında meme, lens, tiroid bezi ve özellikle çocuk ve genç erişkinlerde gonadlar gibi radyasyona duyarlı organlar, asıl inceleme bölgesini etkilemeyecek şekilde kurşun plak ile radyasyondan korunmalıdır.

### 6.3. HASTA KABULÜ

**Kabul öncesi iletişim:** Hastane hazırlığında genellikle en sık gözden kaçırılan konu kazaya ilk müdahaleyi yapan ekiple hastaneye kabul öncesi iletişimdir. Acil servisteki ekiple hasta ve yaralanma şekilleri hakkında iletişim kurulur. Acil müdahale yapan personel solunum, nabız, kan basıncı, deri rengi, pupilla refleksi ve diğer belirti ve bulgular konusunda bilgi sahibidir. Ancak ortalama bir personel radyasyon verilerinin değerlendirilmesi konusunda yeterince bilgi sahibi değildir. Olay yerindeki radyasyon teknisyeni tarafından yapılacak “ellerde 10,000 ve kafa derisinde 2,000 DPM kontaminasyon” şeklinde bir tanımlama hastaya müdahale eden personelde tereddüt ve korku yaratabilir. Eğer hastane radyoaktif materyal kullanan tesis yakınında ise hem acil müdahaleyi yapan ekibin hem de hastane personelinin radyasyon dilini anlaması bir zorunluluktur. Tatbikatlar hazırlığının önemli bir parçasıdır ve radyasyonu kullanan tesis, acil müdahale ekibi ve acil servis ekibinin katılımı ile en az yılda bir kez gerçekleştirilmelidir. Her türlü tehlikeli madde içeren kazada olduğu gibi kontaminasyona neden olan söz konusu materyal, ışınlanma miktarı ve etkilenen vücut bölgelerinin bilinmesi çok faydalı olacaktır. Eğer kaza radyoaktif materyalin transportu sırasında olmuşsa içerik ve aktivite miktarı paket üzerinde açıkça yazılı olacaktır. Kabul öncesi iletişimde, önceden kararlaştırılmış ortak bir dil kullanılmalıdır. Olay mahallinde radyasyonu rad veya gray cinsinden belirlemek kolay değildir. Bunun yerine kontaminasyonu DPM (disintegration per minute) veya CPM (counts per minute) cinsinden ifade etmek daha kolaydır. Bu veriler konu hakkında bilgili kişilerce verilmelidir. Bilgi sadece kontaminasyon değil eğer biliniyorsa kazanın tipi, yer alan materyal ve etkilenen alanları da içerecek tarzda verilmelidir<sup>(67)</sup>.

**Ekipler arası temiz transfer:** Hasta, hastaneye ulaştığında ambulans/helikopter ve personel kontamine gibi düşünülmelidir. Hasta potansiyel olarak kontamine ambulans sedyesi veya personeli tarafından doğrudan hastaneye sokulmamalıdır. Bu durumda kontaminasyon, durumdan habersiz diğer personel aracılığı ile hastane geneline hızla yayılabilir. Bu problemin üstesinden gelmenin en kolay yöntemi ekipler arası temiz transfer gerçekleştirmektir. Böyle bir transfer gerçekleştirmek için gelen araç çevresinde potansiyel kontamine bir alan belirlenir. Ambulans bu bölgeye kadar yanaşır. Ambulans personeli bu bölgeyi terk etmemelidir. Ambulans personeli bu bölgenin sınırında hastane personeline karşılanır. Ambulans ve hastane sedyesi bu sınırdan yan yana getirilerek hasta temiz sedyeye alınarak hastaneye transportu gerçekleştirir. Helikopterler için de benzer bir işlem uygulanabilir. Helikopter pist

halkasının içi kontamine alan olarak belirlenir ve bu çizgide transfer gerçekleştirilir. Temiz transfer sayesinde hasta, kontaminasyonun yayılacağı şüphesi olmaksızın acil servis veya ameliyathaneye alınabilir<sup>(67)</sup>.

**Acil durum müdahale ekibinin serbest bırakılması:** Hastayı getiren ekip elemanları tecrübeli bir teknisyen tarafından kontaminasyon yönünden kontrol edilir. Bu işlem gerçekleşene kadar ekip elemanlarının yemek yemesi, sigara veya sıvı içmesine izin verilmez. Eğer kontaminasyon varsa bu yolla çok daha kolay tedavi edilebilen eksternal kontaminasyonun kontrol edilmesi daha güç bir durum olan internal kontaminasyona dönüşmesi kaçınılmaz olacaktır. Ekibin tüm vücut taraması ve aracın iinin kontrolü rutin prosedüre uygun olarak gerçekleştirilir. Kontaminasyon olmadığı tespit edilirse veya kontaminasyon giderilirse ekibin ayrılmasına izin verilir<sup>(67)</sup>.

## 7. RADYASYON ÖLÇÜM TEKNİKLERİ VE İZLEME

### 7.1. RADYASYON ÖLÇÜM CİHAZLARI (RADYASYON DEDEKTÖRLERİ)

Radyasyonun varlığının anlaşılması duyu organları ile mümkün olmadığından, algılanması ve ölçümleri radyasyona hassas cihazlar ile yapılır. Radyasyonun ölçülmesinin temeli, radyasyon ile maddenin etkileşmesi esasına dayanır. Bu maksatla geliştirilmiş olan aygıtlara genel olarak radyasyon dedektörü adı verilir. Radyasyon, bir maddenin içerisinden geçerken maddenin atom veya molekülleri ile etkileşerek enerjisinin bir kısmını veya tamamını etkileştiği ortamda kimyasal, fotokimyasal, iyonizasyon, fosforesans, floresans gibi olaylara neden olarak kaybeder. Dedektörler, radyasyonun içlerinde sebep olduğu iyonlaştırma ve uyarma mekanizmalarının elektrik sinyallerine çevrilmesi prensibiyle çalışırlar<sup>(79)</sup>.

Radyasyon dedektörleri, ortamda radyasyon olup olmadığını, belli bir zamanda dedektör yüzeyine çarpan parçacık sayısını, her parçacığın enerjisini, radyoaktif kaynağın parçalanma hızını, aktivitesini, miktarını, yarı ömrünü belirlemede ve kişisel doz ölçme cihazları ile canlı eşdeğer doz bilgisi hakkında bilgilenmemize olanak tanır<sup>(80)</sup>.

### 7.2. RADYASYON ÖLÇÜM CİHAZLARININ GENEL ÖZELLİKLERİ

Bir dedektörün radyoaktif bir parçacık ile etkileşmesi çok kısa bir sürede gerçekleşir. Bu süre gazlarda nanosaniye, katılarda pikosaniye düzeyindedir. Etkileşim sonunda dedektörün aktif hacmi üzerinde bir elektrik yükü oluşur. Oluşan elektrik yüklerinin toplanarak elektrik sinyali oluşturması uygulanan elektrik alan ile gerçekleştirilir. Yüklerin toplanması için gerekli süre, farklı dedektörler için farklılık gösterir. Farklı radyasyon dedektör tiplerinden bahsetmeden önce tüm tipler için geçerli özellikler aşağıda açıklanmıştır<sup>(81)</sup>.

**Dedektör verimi:** Tüm radyasyon dedektörleri aktif hacimleri ile etkileşen her radyasyon için bir çıkış sinyali verir. Yüklü parçacıkların etkileşiminde meydana gelen iyon çiftlerinin sayısı dedektör çıkışında yeterli büyüklükte bir puls oluşturur ve sayım etkinliği %100'e yakındır. Yüksüz parçacıklar ise dedektörde birçok etkileşim yaparak uzun mesafeler katettiklerinden sayım etkinlikleri daha düşüktür<sup>(82)</sup>.

**Dedektör ölü zamanı:** Cihazın arka arkaya gelen iki etkileşimi anlamlandırabilmesi için gerekli zamana denir. Ölü zamanı büyük olan cihazlar özellikle yüksek şiddetteki radyasyon alanlarında kullanılmamalıdır<sup>(82)</sup>.

**Dedektör enerji rezolüsyonu:** Dedektörün farklı enerjilere sahip iki radyasyonu birbirinden ayırt edebilme yeteneğidir<sup>(82)</sup>.

### 7.3. DEDEKTÖRLERDE KULLANILAN MODLAR

**Puls modu:** Dedekte edilen her bir parçacık veya ışın başına tek bir voltaj sinyali yükseltilerek ölçülür. Radyasyon şiddeti yeterince düşük olduğunda her bir etkileşimin neden olduğu akımları puls'lar halinde ayrı ayrı dedekte etmek mümkün olur. Çoğu uygulamada her bir etkileşim ile meydana gelen akım, gelen radyasyonun bıraktığı enerji ile orantılıdır. Gelen radyasyonun enerjisi ölçülmek istendiğinde bu mod kullanılır <sup>(82)</sup>.

**Akım modu:** Elektrik akımının bir ampermetre ile okunmasıdır. Dedektör içerisinde belli bir zaman aralığında etkileşimle oluşan elektriksel yükün ortalamasını kullanır. Bu modda çalışan cihazlar, dedektörün cevap verme süresi boyunca meydana gelen akımların ortalamasını alarak değer verir <sup>(83)</sup>.

### 7.4. ÇALIŞMA PRENSİBİNE GÖRE RADYASYON DEDEKTÖRLERİ

**Gaz dolu dedektörler:** Gaz doldurulmuş dedektörler iyonizasyon dedektörleri olarak da adlandırılırlar. Radyasyonun oluşturduğu iyonizasyon akımını ölçerler. İyonlaştırıcı radyasyonun gaz ortamı içerisinde oluşturduğu iyonlar, elektrik olarak yüklü parçacıklardır. Silindirik bir kap içerisine yüksek basınçta genellikle hava, helyum, argon gibi bir gaz doldurulmuştur. Bu gaz anot (pozitif) ve katot (negatif) olarak bilinen iki elektrot arasına sıkıştırılır. Zıt yüklü olan bu elektrotlar arasında bir manyetik alan yaratılır. İyonlaştırıcı radyasyon gaz molekülleri ile etkileşerek gazı iyonlarına ayırır. Pozitif iyonlar katoda, negatif iyonlar anoda göç eder ve iki zıt kutup arasında bir iyon ya da iyonizasyon akımı meydana gelir. Oluşan bu akımın şiddeti gelen radyasyonun şiddeti ile orantılı olarak değişir. Gaz dolu dedektörler, pozitif ve negatif elektrotlar arasında uygulanan gerilim farkına göre; iyon odası, orantılı sayaç ve Geiger-Müller dedektörleri olarak üçe ayrılır. <sup>(84)</sup> <sup>(85)</sup> <sup>(86)</sup>.

**1.İyon odası:** İyon akımının okunması prensibine göre çalışan iyon odaları radyasyonun oluşturduğu ortalama iyonizasyonu algılayacak şekilde tasarlanmıştır. Radyasyonun oluşturduğu iyonizasyon akımları çok küçük olduklarından ayrı ayrı ölçülmeyip, gelen radyasyonun ortalama şiddeti elde edilir. İyonizasyonun zaman içerisindeki oluşum hızının, direkt akım ölçümüne uygun olmayacak şekilde yavaş olması durumunda puls tipi çalışma modu tercih edilir. Gaz olarak genellikle atmosfer basıncında hava kullanılır. Doz hızı ölçümü, radyasyon alan dedektörü, doz kalibratörü ve cep dozimetresi iyon odası prensibiyle çalışan radyasyon ölçüm cihazlarıdır<sup>(82)</sup>.

**2.Orantılı sayaçlar:** Yapısal olarak iyon odası prensibi ile çalışırlar. Aralarındaki fark orantılı sayaçlarda daha yüksek gerilim uygulanmasıdır. Gelen radyasyonun oluşturduğu orijinal iyon çiftlerinin gaz atomları ile etkileşmeleri prensibine göre ve puls modunda çalışırlar. Farklı enerjilere sahip radyasyon kaynaklarının oluşturdukları iyonlaşma sonucu oluşan elektrik akımı farklı olacağından enerjinin ayırt edilmesini sağlarlar. Çalışma voltajı orantılı bölgede olup, meydana gelen yüksek alan şiddeti ile anottaki yük miktarı, dolayısıyla voltaj pulsu büyüktür. Bu tip dedektörlerle; düşük enerjili X ve gama ışınları, iyon odasına açılan naylon veya mikallardan yapılmış ince pencere ile alfa

parçacıklarının ölçümü yapılır. Orantılı cihazların alfa ve beta radyasyonlarını ayırt etme özelliği vardır<sup>(82)</sup>.

**3.Geiger-Müller:** Yüksek gerilim ile çalışan iyon odalarıdır. Uygulanan yüksek gerilimden dolayı Geiger-Müller dedektörleri radyasyonun enerjisinden bağımsız olarak bir sinyal üretir. İyonlaştırıcı radyasyonu tespit etmeye ve ölçmeye yarayan bir cihazdır. İyonlaşma miktarı az olan yüklü parçacıklar, düşük enerjili X ve gama ışınları ölçülür. Bu dedektörle parçacık enerjisinin ölçülmesi ve parçacık cinslerinin birbirlerinden ayrılması söz konusu değildir. Odanın önünelerleştirilen bir zırh ile beta parçacıkları tutulup, yalnız gama ışınları sayılabilir. Radyasyonun ve radyoaktif kirlenmenin tespit edilebilmesi amacıyla kullanılır. Survey metre ve alan monitörleri Geiger-Müller tipi dedektörlere sahip radyasyon ölçüm cihazlarıdır<sup>(82)</sup>.

**Sintilasyon dedektörleri:** Bu dedektörler, aldıkları radyasyonun miktarıyla orantılı olarak görülebilir ışık salar. Bu ışığın miktarı foto çoğaltıcı tüpler ile ölçülerek radyasyon miktarı belirlenir. Sintilasyon fosforlarının yaydığı ışık, foto çoğaltıcı tüpler tarafından toplanarak, voltaj pulsu haline getirilir. Meydana gelen pulsun büyüklüğü radyasyonun enerjisi ile orantılıdır. Bu dedektörler sayım ve aynı zamanda enerji ayrımı için kullanılır. Bu dedektörlerde foto çoğaltıcı tüpü ve kullanılan fosforu değiştirmek suretiyle değişik tipte radyasyonların dedeksiyonu mümkündür. Bunlar:

- Alfa parçacıklarını ölçmek için gümüşle aktive edilmiş ZnS fosforu,
- Beta parçacıklarını ölçmek için naftalin ve stilben,
- Düşük enerjili X ve gama ışınını ölçmek için Talyumla aktive edilmiş NaI kristali kullanılır.

Sintilatör materyallerinin nükleer tıpta yaygın olan iki tipi vardır. Bunlar katı kristal formundaki inorganik sintilatörler, sıvı formdaki organik sintilatörlerdir. İnorganiklerin ışık verimi ve doğrusallığı iyi, cevap zamanları yavaştır. Organik sintilatörler ise daha az ışık veriminde ama çok hızlıdır. Yüksek atom numarası ve yoğunlukları inorganik sintilatörleri gama spektroskopiyeye uygun yaparken, organik olanlar beta spektroskopisi ve hızlı nötron dedeksiyonunda tercih edilirler. <sup>(80)</sup> <sup>(84)</sup> <sup>(86)</sup>.

**Yarı iletken dedektörler:** Yarı iletken dedektörler, gaz dolu dedektörler ile benzer şekilde çalışan ancak bu dedektörlerde gaz yerine katı madde kullanılan dedektörlerdir. En yaygın kullanılan yarı iletken dedektörler silikon ve germanyumdan yapılmışlardır. Diğer dedektörlerden en üstün özellikleri enerji ayırma güçlerinin son derece yüksek olmasıdır. Günümüzde cerrahi gama problemleri yarı iletken dedektör yapısındadır. Sintilasyon kristalli NaI(Tl) dedektörlerine alternatif olarak daha az radyofarmasötik kullanarak daha kısa sürede sintigrafik görüntüler elde edilmektedir<sup>(86)</sup>.

**Nötron dedektörleri:** Nötronlar doğaları gereği iyonlaşmaya ya da uyarmaya sebep olmazlar ve atomların elektronları ile etkileşmezler. Tespit edilmeleri zor olan nötronlar doğrudan ölçülemezler. Nötronların tespit edilebilmeleri için atom çekirdeği ile etkileşmeleri gereklidir. Bu dedektörlerle nötron etkileşmesi sonucu oluşan ikincil iyonlaştırıcı ışınlar ölçülür. Nötronlar yüksüz olduğundan, nötron



dedektöründe bir nötron iyonizasyon tanecik dönüştürücüsü bulunur. Gelen nötronlar tarafından dönüştürücü malzeme yakalanır ve burada nükleer bir reaksiyonla algılanabilecek iyon tanecikler meydana gelir. Nötron dedektörler orantılı sayıcılardır; çünkü yaratılan yükün toplam miktarı, orijinal nötronlardan çıkarılması gereken yük miktarıyla orantılıdır. Nötron etkileşmesinden doğan izotopun kendisi radyoaktif olabileceğinden bu yöntem çoğunlukla indiyum, tantal ve altın plakaları bir araya getirerek kaza dozimetresinde kullanılır. <sup>(81)</sup> <sup>(84)</sup>.

Bazı nötron dedektörleri şunlardır:

- BF3 orantılı sayaçlar
- Helyum orantılı sayaçlar
- Gaz çarpışma orantılı sayaçlar
- Kabarcık dedektörleri

## 7.5. DOZİMETRELER

Dozimetre, radyasyonun canlılar üzerindeki etkilerini tespit etmede kullanılan dedektörlerdir. Alfa parçacıkları dış ışınlama ile radyasyon maruziyetinde deri tarafından doğal bir zırhlamaya uğradığından, dozimetreler X ışını, gama, beta ve nötron ışınlamalarının doz ölçümelerini yapmak üzere kullanılmaktadır. Dozimetre seçimi radyasyon tipine, enerji aralığına, ölçüm menziline ve açısına, cevap süresine bağlıdır. Radyasyonun özelliklerine göre çeşitli maddelerde meydana getirdikleri renklenme, ağartma iyonlaştırma ve enerji soğurması gibi etkilerinden yararlanılarak ölçümleri sağlanır. Dozimetreler radyasyon dozu bilgisinin okunma mekanizmasına bağlı olarak iki sınıfta incelenir.

### 7.5.1. DOĞRUDAN OKUNABİLEN (AKTİF) DOZİMETRELER

**Cep dozimetreleri:** X ışını veya gama ışınlarına maruz kalma durumlarında anlık doz bilgisi sağlayabilen dozimetrelerdir. Cep dozimetresi iki elektrot ihtiva eden bir iyon odasıdır. Oda içine giren radyasyon duyarlı hacim içinde iyonizasyon meydana getirir ve elektroskobu deşarj eder. Bu dozimetrelerin dezavantajı; üzerinde toz, kir, düşme, sarsılma durumlarında deşarja uğramalarıdır ve bu istenmeyen bir olaydır. Genellikle X ve gama radyasyonlarını okur. Beta, alfa duvarları kalın olduğundan okunmaz<sup>(87)</sup>. İki çeşit cep dozimetresi vardır;

**1.Direkt okunabilen cep dozimetreleri:** Bu dozimetreler kalem şeklinde olduğundan “kalem dozimetre” diye de adlandırılırlar. Bu tip dozimetrelerin hemen radyasyon cevabı verebilme ve yeniden kullanılabilme gibi avantajlı özellikleri olsa da, sınırlı doz ölçüm aralığı, kalıcı bir kayıt oluşturamama, fiziksel darbelerden kolayca etkilenebilme ve fazla maliyetli olma gibi dezavantajları da bulunmaktadır<sup>(82)</sup>.

**2.Dijital elektronik cep dozimetreleri:** Dijital elektronik cep dozimetreleri, genellikle Geiger-Müller sayaçları kullanan, doz ve doz hızı gibi bilgileri kaydedebilme özeliğine sahip olan dozimetrelerdir. Cihazın programlandığı doz limit değeri, dedektör çıkışında toplanan radyasyon miktarı bilgisiyle örtüştüğü zaman, dedektör sistemindeki yükler elektronik ve dijital göstergeli bir sayaçta sayılarak maruz kalınan radyasyon dozu ve doz hızı görüntülenir. Bazı dijital elektronik dozimetreler sesli alarm sistemi içerirler ve dedektörün saptadığı her radyasyon olayında kesik kesik seslerle, belirlenen eşik değere ulaşıldığında ise sürekli bir alarm sesiyle uyarı verirler<sup>(82)</sup>.

#### 7.5.2. İŞLEMDEN GEÇİRİLEREK OKUNABİLEN (PASİF) DOZİMETRELER

**Film dozimetreler:** Gama ışını, X ışını, beta ve nötron parçacıklarının dozimetrik ölçümlerinde kullanılabilen bir dozimetredir. Burada dedektör olarak kullanılan materyal radyasyona duyarlı ince bir film tabakasıdır. Bu film asetat bir tabanın her iki yüzünü kaplayan jelatin bir emülsiyondan oluşur ve ışık, su buharı (nem) ve diğer kimyasal buharları geçirmeyen bir zarf içinde yer alır. Her iki taraftaki emülsiyon tabakası gümüş-brom kristalleri içerir. Bu kristaller radyasyona maruz kaldıklarında gümüş ve brom iyonları arasında elektron alışverişi olur ve bu olay filmin banyo işlemi sonucu optik kararma olarak gözlenir. Bu optik kararmanın yoğunluğu da radyasyon şiddetiyle doğru orantılı olarak değişir ve bu yoğunluk densitometre ile ölçülerek sayısal bir karşılık bulur. Son olarak mevcut yoğunluk değeri, daha önce belli enerjilerde bilinen radyasyon miktarıyla elde edilen kararmaların yoğunluklarıyla karşılaştırılarak radyasyon doz birimine çevrilir. Film dozimetreler sıcaklık ve nem gibi hava şartlarından ve ışıktan kötü etkilenirler<sup>(88)</sup>.

**Termolüminesans dozimetreler (TLD):** TLD, film dozimetrelerin yerine sıkça kullanılmakta olan dozimetrelerdir. Film dozimetreler gibi belirli periyodik kullanım süreleri vardır ve doz değerlendirmesi için işleme tabi tutulurlar. TLD katı halde kristallerden oluşan bir tabakadır. İyonlaştırıcı radyasyon kristalle etkileştikten sonra, kristal ısıtılır ve kristaldeki tuzaklanmış elektronlar iyonlaştırıcı radyasyon enerjisine eşdeğer bir enerjide görünür ışık fotonu yayarlar. Isı enerjisiyle tetiklenen bu olay termolüminesans olarak adlandırılır. Yayılan ışık fotonları fotoçoğaltıcı tüpler aracılığıyla sayılmaktadır. Foton sayısının radyasyon miktarıyla lineer artışı radyasyon dozunun değerlendirilmesinde doz-optik yoğunluk doğrusallığının söz konusu olmadığı film dozimetrelere göre büyük kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca TLD'lerin film dozimetrelerden en büyük farkları yeniden kullanılabilir olmalarıdır. Diğer taraftan TLD'lerde doz okumasının sadece bir kez yapılabilmesi, tekrar ölçüm alınmadan önce sıfırlanmaları gerekliliği ve morötesi ışınlardan etkilenmeleri de dezavantajlarıdır<sup>(88)</sup>.

**Optik olarak uyarılmış/optik uyarmalı lüminesans dozimetreler:** Bu dozimetreler TLD ile radyasyonla etkileşim mekanizmasında çok büyük benzerlik gösteren, sadece radyasyon bilgisi alınırken ısı yerine ışığın kullanıldığı bir mekanizmaya sahip dozimetrelerdir<sup>(89)</sup>.

## 7.6. PERSONEL MONİTORİNGDE KULLANILAN CİHAZLAR

Dokuların çeşitli radyasyonlardan absorbladıkları dozu veya enerjiyi hesaplamak, eşdeğer radyasyon dozu bilgisini veren kişisel izleme cihazlarıyla yapılmaktadır. Ancak, maruz kalınan X veya gama ışınlarından alınan dozun yaklaşık bir değeri ölçülebilmektedir. Kişilerin aldıkları dozların ölçülmesinde, doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki tip personel monitoring cihazı kullanılmaktadır.

1. Doz okumaları ek bir cihaza ihtiyaç gösteren, bir zaman aralığında alınan toplam radyasyon dozunu ölçen cihazlar:
  - TLD dozimetreleri
  - Film dozimetreleri
  - Ekzo-Elektron dozimetreleri
  - Cam dozimetreleri
  - Kimyasal dozimetreler
2. Alınan radyasyon dozlarını doğrudan doğruya okumayı mümkün kılan doğrudan okumalı cihazlar:
  - Elektronik dozimetreler
  - Cep (kalem) dozimetreleri

Bu dozimetrelerden yukarıda bahsetmiştik fakat daha detaylı olarak izleme kısmı olduğu için anlatılması gerekmektedir.

### 7.6.1. TLD DOZİMETRELERİ İZLEME

Lüminesans, malzemenin üzerine elektron ya da foton demeti düşürüldüğünde, enerjinin bir bölümü malzeme tarafından soğurulduktan sonra, bu soğurulan enerji ışık olarak yayılmasıdır <sup>(91)</sup>.

Yayılan ışığın dalga boyu lüminesans materyalinin karakteristiğine bağlıdır. Atom veya molekülün ısısında bir değişme olmadan yayılabilmesi, lüminesansın diğer ışınlardan ayıran bir özellik olup bu özelliğinden dolayı da soğuk ışık olarak da adlandırılır<sup>(92)</sup>.

Lüminesans olayı uyarılma enerjisine göre çeşitlilik gösterir. Uyarılma için gerekli enerji, atom veya moleküllerin  $\gamma$  ışınları,  $\beta$  parçacıkları veya x-ışınların gibi nükleer radyasyondan sağlanıyorsa radyolüminesans denir<sup>(93)</sup>.

Termolüminesans tuzak ve lüminesans merkezi içerdiği için karmaşık olup yarı iletken veya yalıtkan katı madde radyasyona maruz kaldıktan sonra ısıtıldığında gözlemlenebilen lüminesans olayıdır. İyonize radyasyon tarafından ışılandıktan sonra ısıtılmasıyla ışık yayan yalıtkan ya da yarı iletken materyallere

termolüminesans dozimetreler denir<sup>(94)</sup>. TLD okuyucusu olarak adlandırılan cihazlar kristalleri ısıtarak, yaydıkları ışık miktarını hassas şekilde ölçer<sup>(95)</sup>.

İletkenlik bandı, kristal örgü içinde serbestçe hareket edebilen tüm elektronları, değerlik bandı ise bağlı durumda bulunan bütün elektronları içermektedir. İletkenlik bandı ile değerlik bandı arasındaki enerji aralığı kuantum teorisine göre yasaklanmış olmasına rağmen, termolüminesans özellik gösteren katılarda, kristaldeki yapı bozukluklarından (safsızlık) kaynaklanan veya kristal içerisinde yabancı atomların ilave edilmesi ile oluşturulan ara enerji durumları vardır. Bu ara enerji durumları yarı kararlı olupdeşikler (holler) ve elektronlar için tuzak olarak davranmaktadır<sup>(96)</sup>.

Tek bir atomda elektronlar farklı enerji seviyesinde bulunurlar. Ama kristallerin örgülerindeki elektronik enerji seviyeleri atomlar arasındaki karşılıklı etkileşim nedeniyle perturbe edilmiştir. Bu da izin verilen ve yasaklanmış enerji bantları olmak üzere farklı enerji bantlarının oluşmasını sağlamıştır. Ayrıca kristallerde katkıların olması yasaklanmış bölgede enerji traplarının oluşmasını sağlar. Bunlar elektronlar için yarı kararlı bölgeler oluşturur. Materyal ısımlandığında valans bandından (groundstate) bazı elektronlar iletken banda geçecek kadar yeterli enerji alıp iletim bandına çıkar ve daha sonra tuzaklara yakalanırlar. Tuzağa bağlanan elektronlara "tuzaklanan elektronlar" veya "tuzağa yakalanan elektronlar" denir. Elektronları birkaç dakikadan yüz binlerce yıllık süreye kadar tutan tuzaklar vardır. Elektronların yakalandıkları tuzaklarda kalma süreleri çevre koşullarına ve tuzak özelliklerine bağlıdır. Kristal ısıtılınca, tuzaklanmış holle veya elektronlar tuzaklardan kurtulur ve daha alt enerji durumlarına dönerken enerji farkını ışık fotonu olarak dışarı yayarlar.

Küçük boyutlu ve yüksek duyarlılıkta termolüminesans dozimetreler, tanısal uygulamalar veya radyoterapi uygulamaları sırasında hastayı iyonize radyasyona maruz bırakmadan önce insan vücudunda uygun yerlere yerleştirilebildiği için uzun süredir klinik çalışmalarda kullanılmaktadır. Daha sonra ısınlanan TLD'lerden radyasyon miktarı belirlenir. Bu yolla fizikçiler, kritik organlara gönderilen gerçek dozları belirleyebilir ve gerekli ek tedavileri öngörebilir<sup>(93)</sup>.

Dozimetrenin performansı lineerlik, doz oranı, enerji cevabı, tekrar üretilebilirlik, depolanan bilginin sabitliği, izotropisi, dozimetre performansı üzerine çevrenin etkisi vb. etkenlere bağlıdır. Geniş doz oranlarına sahip olmaları, tekrarlanabilmeleri, nötron dozunu okuyabilmeleri gibi avantajları varken, çevre ile etkilenmesinden kaynaklanan hatalar ve her bir okumanın bir defa yapılabilmesi gibi dezavantajlara sahiptir.

#### 7.6.2. FİLM DOZİMETRELERİ İZLEME

İyonlaştırıcı radyasyonların fotografik emülsiyon üzerindeki etkisinin görünür ışığına benzer özellikte olmasından yararlanılarak yapılan dozimetrelerdir. "Film Dozimetre tüm dünyada radyasyonla çalışan kişilerin maruz kaldığı kişisel dozu tayin etmek için kullanılan en eski ve en yaygın sistemdir<sup>(97)</sup>.

Film dozimetresinde kullanılan filimler, radyasyona hassas ince fakat yeterince sert ışığı mümkün olduğunca çok geçirmeli saydam zemin ve bu zeminin iki tarafına kaplanan tabakasında tipik kalınlığı yaklaşık 10 mikron olup gümüş bromür tanecikler ve jelatinden oluşan emülsiyon tabakasından oluşur. En üst yüzeyde ise emülsiyonun fiziksel darbelere karşı korunmasını sağlayan jelatinden yapılmış koruyucu bir katman bulunur. Fotoğrafik duyarlılığın artırılması için gümüş sülfat emülsiyona eklenir. Tabanın kalınlığı ve dayanıklılığı filmin kolayca banyo edilmesini ve kullanılmasını sağlayacak şekilde olmalıdır. Taneciğin boyutu film duyarlılığını belirleyen en önemli etkidir. Bu taneciğin boyutları ne kadar küçükse film duyarlılığı o kadar büyüktür.

Emülsiyon içindeki radyasyonla etkileşen tanecikler, developman banyosunda radyasyonla etkileşmiş taneciklerden daha hızlı reaksiyona girerek gümüşü açığa çıkarır. Daha açık bir ifadeyle: Beta, X ve gama ışınları ile gümüş bromür kristalindeki elektronları uyarır. Uyarılan elektronlar kristal içinde tuzaklanır. Normal şartlarda, kristal içinde serbest hareket eden gümüş atomları tuzaklanmış elektronlarla etkileşerek nötr hale gelir ve bu tuzaklarda kümelenir. İçinde gümüş bulunan bu kümeler gizli görüntü oluşturur ve developman banyosu sırasında gümüş iyonlarının kimyasal indirgenmesiyle gizli görüntü ortaya kararma olarak çıkar. Bu kararmanın seviyesi filmin optiksel yoğunluğu olarak isimlendirilir. Filmin maruz kaldığı optiksel yoğunluk radyasyonun miktarı ile orantılıdır<sup>(98)</sup>.

Optik yoğunluk ile doz arasındaki ilişki ideal olarak lineer olmalıdır ancak her zaman bu şekilde olmayabilir. Emülsiyonların bazıları lineerdir, bazıları ise sınırlı doz aralığı için lineerdir, bazıları ise lineer değildir. Dozimetri çalışması yapılmadan önce sensitometrik eğri olarak bilinen doz optik eğrisi her film için yapılmalıdır<sup>(99)</sup>.

Radyokromik ve Radyografik filimler film dozimetresinde en çok kullanılan filimlerdir. Radyokromik filimler içinde en yaygın kullanılanı ise yaklaşık doku eş değeri bir yapıya sahip olan renksiz bir film olan Gafkromik film, 10 cGy ile 800 cGy aralığında duyarlı bir yapıya sahiptir. Radyokromik film, radyasyona maruz kaldıklarında polimerleşen özel bir boyaya sahip olup mavi renge dönüşmektedir. Mavi renge dönüşen bu polimerler ışığı soğurmakta ve filminden geçen ışık densitometre ile ölçülmektedir. Radyokromik film yüksek çözünürlüğe sahiptir ve dozun keskin şekilde değişim gösterdiği bölgelerde dozimetrik amaçlı olarak kullanılabilir<sup>(100)</sup>.

Radyografik filimler ise radyasyondan korunmada, tanısal radyolojide ve radyoterapi gibi birçok önemli görevleri bulunmaktadır. Radyografik filmler, bir radyasyon dedektörü, göreceli bir dozimetre, bir görüntüleme cihazı ve bir arşiv aracı olarak kullanılabilir. Pozlanmamış bir radyografik film radyasyona duyarlı bir emülsiyon (gümüş bromür, AgBr) ile her iki tarafı ince plastikte kaplanmış bir yapıdan meydana gelmektedir.

Film dozimetreleri, radyasyon bölgesinde çalışan personelin günlük radyasyon kontrollerinde kullanımı bakımından kolaylık ve uygunluk gösterdikleri gibi, elde olunan kayıtların devamlı olması gibi önemli bir avantajı da vardır. Bunun yanında ucuz, hafif ve dayanıklıdır. X,  $\gamma$ , n, yüksek enerjili  $\beta$  (3 MeV'in

üstü) gibi birden fazla tipteki radyasyonları aynı zamanda ölçmesi ve 1mSv-50 mSv ölçüm aralığına sahip olması gibi özellikleri de vardır.

Dezavantajları ise, belirli bir enerji aralığında enerjiye fazla miktarda bağlanması, bazı tip emülsiyonlarda gizli görüntünün zamanla kaybolması ve hava şartlarından etkilenmesi nedeniyle depolamadaki güçlüklerdir. Termolüminesans dozimetresine oranla, hassasiyetleri düşüktür. Isı ve neme karşı hassas olduğu için oda koşullarında ve nem olmayan bir ortamda saklanmalıdır.

#### 7.6.3. EKZO-ELEKTRON DOZİMETRELERİ İZLEME

CaF<sub>2</sub>, CaSO<sub>4</sub>, LiF gibi kristaller radyasyona maruz kalıp ısıtılınca ışık yayınlamasından başka, yüzeyden gaz akışlı GM veya orantılı sayıcılarda dedekte edilebilen ekzo-elektron adı verilen elektronlar çıkartmaktadır. Elektronun emisyonu ile absorbe edilen radyasyonun dozu arasında bir lineerlik bulunması nedeniyle, bu tür kristaller ölçüm aralığı 3.10<sup>7</sup> -10<sup>8</sup> R olan dozimetreler olarak kullanılabilir(101). Termolüminesans dozimetrelerdeki gibi çok çeşitli radyasyonları detekte edilebilmesine rağmen, bu dozimetrelerde daha hassas bir çalışma ve cihazlar gerekmektedir.

#### 7.6.4. CAM DOZİMETRELERİ İZLEME

Dozimetrik değerlendirmeler, yüksek dozlardaki ışınlamalarda önemli bir yere sahiptir. Bu sebepten çeşitli cihazlar geliştirilmiştir. Bu cihazlardan cam dozimetreleri, X ve  $\gamma$  (gama) radyasyon dozunu ölçen kimyasal dozimetreler gibi kullanımı kolay ve ucuz olmasına karşın kısa sürede yüksek radyasyona maruz kaldığı durumlarda yüksek dozları ölçtüklerinden kaza dozimetresi olarak da adlandırılır. Kurşun-alkali-silika camlarına gama ışınları maruz bırakıldıktan sonra ultraviyole (mor ötesi) ışınları ile aydınlatılırsa, görünen bölgede radyofotoluminisans olayı meydana gelir. Kurşun-alkali-silika cam yapısının radyasyonla uyartılması sonucu, bu camların, görünür bölgedeki, geçirgenlik, yansıtıcılık ve soğurma değerlerinin değiştiği tespit edilmiştir. Optik özelliklerdeki değişimlerin incelenmesi, elektromanyetik spektrumun, 380-1500 nm dalga boyu aralığına düşen bölgesinde yapılmıştır. Işınlanmış camlar ile ışınlanmamış camların optik parametrelerinde meydana gelen değişimler karşılaştırılarak, farklı doz seviyelerinde ışınlanan, kurşun-alkali-silika camlarının, dozimetre olarak kullanılabilirliği incelenmiştir.

Cam dozimetrenin kullanım alanı yüksek doz seviyelerinde ışınlamaların yapıldığı endüstriyel alanlarda olduğu gibi tıp ve gıda sanayisi gibi alanlarda kullanımı son yıllarda giderek ilgi çekici bir hale dönüşmektedir(102).

#### 7.6.5. KİMYASAL DOZİMETRELER

Radyasyonun bazı sıvılardaki renk, ph ve viskozite gibi değişimlerin derecesi ile radyasyonun şiddeti arasındaki bağıntıdan yararlanılarak geliştirilmiştir. Ölçüm aralığı 10 R - 4.104 R olan kimyasal dozimetrelerle  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\alpha$ , n ve h (proton) gibi çeşitli radyasyon dozlarını dedekte edebilme imkanı sağlar. Ucuz ve kullanımı kolay olmalarının yanında çok yüksek dozları ölçebildiklerinden kaza dozimetresi olarakta kullanılmaktadır<sup>(101)</sup>.

#### 7.6.6. ELEKTRONİK DOZİMETRELER

Alfa ve beta ışınlarına duyarlı olup radyasyona duyarlı eleman olarak penceresiz Geiger - Müller tüpü içerdiklerinden X ve gama ışın dozlarının geniş bir ölçüm aralığında algılanmasında kullanılan, alınan radyasyon dozu ve dozun hızı gibi bilgileri kaydedebilme özeliğine sahip, cihaz üzerindeki değerleri analog veya dijital olarak ekranda gösteren, önlük cebi veya bel kemerine takılan kişisel dozimetrelerdir.

Sesli alarm içeren bazı elektronik dozimetreler, dedektörün saptadığı her radyasyon olayında kesik kesik seslerle, maruz kalınan toplam doz belirlenen eşik değere ulaşıldığında ise ses seviyesi radyasyon şiddetinin artmasına bağlı olarak sürekli alarm sesi ve ışıkla uyarır<sup>(103)</sup>.

#### 7.6.7. CEP (KALEM) DOZİMETRELERİ

Çalışma prensibi elektroskop gibi olan, adından da anlaşılabilirceği gibi kıyafet üzerindeki ceplere yerleştirilebilen cep dozimetreleri, küçük bir iyon odası şeklinde olup, bir ölçü skalası, serbest hareket eden bir kuvars fiber ve kuvars fiberin bu skala boyunca hareketini görebilmek için bir optik sistemden oluşmuş, doğrudan doğruya maruz kalınan radyasyon seviyesi ölçümünü mümkün kılan dozimetrelerdir. Bu dozimetrelerin dolaylı tipleri mevcut olup cep iyonizasyon odaları denmektedir. Elektroskop bir batarya ile şarj edilirken, iletkenliği sağlamak için altınla kaplanmış kuvartz fiber desteği aynı işaretli elektrikle yüklenir. Aynı cins elektrik yükleri arasındaki itme kuvvetleri, kuvartz fiberi desteğinden dışarı doğru iter. Bu durumda ölçek üzerinde kuvartz fiberin yeri sıfır olarak ayarlanır. Radyasyon etkisiyle iyon odasında meydana gelen iyonlar, elektrik yükünü azaltarak fiberin normal duruma doğru hareket etmesini yani elektroskopun deşarj olmasını sağlar. Deşarj sırasında fiber, iyon odasının aldığı dozla orantılı bir mesafe kadar ilerler. Optik sistem yardımıyla bu hareket saydam skala üzerinde doz birimleri cinsinden okunur.  $\beta$  ve nötronlara duyarlı özel cep iyonizasyon odaları yapılmaktadır. Saydam skala genellikle, ölçüm aralığı 0-200 mR arasında olacak şekilde yapılmış ise de 100 mR'den 500 mR'e kadar çeşitli duyarlılıkta cep dozimetreleri kullanılmaktadır<sup>(96)</sup>.

Cep dozimetreleri yaklaşık olarak dolma kalem büyüklüğünde olup duvar kalınlıkları  $\alpha$  ve  $\beta$  parçacıklarını engellediklerinden bu radyasyona karşı duyarlı olmayıp, X ışını ve gama ışınlama dozlarını ölçebilmektedir. Ayrıca bu tip dozimetreler, radyasyondan kaynaklanan dozu hemen ölçebilme

ve aynı dozimetreyi tekrar kullanabilme gibi avantajları olsa dahi, maliyetinin fazla olması, dozimetredeki dozu günlük okumayı gerektirmesi, hassas bir yapıya sahip olmasından dolayı fiziksel darbelere karşı kolayca hasarlanmaları, sınırlı doz ölçüm aralığı, kalıcı kayıt oluşturmama gibi dezavantajları mevcuttur<sup>(101)</sup>. Lens veya el dozunu ölçmek için cep dozimetreleri kullanılmamalıdır.<sup>(104)</sup> <sup>(95)</sup>.



## KAYNAKLAR<sup>1</sup>

- (1) Temel Fizik Ders Notları. (t.y.). *Işık ve spektrum*. İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi. Erişim 01.06.2021, [https://cdn-acikogretim.istanbul.edu.tr/auzefcontent/20\\_21\\_Guz/temel\\_fizik/index.html](https://cdn-acikogretim.istanbul.edu.tr/auzefcontent/20_21_Guz/temel_fizik/index.html)
- (2) Okatan, A. (2021, Ocak 12). Atmosferik radyasyon nedir? *TUBİTAK Bilim Genç Dergisi*. Erişim 01.06.2021, <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/atmosferik-radyasyon-nedir>
- (3) Perincek, S. D., Duran, K., Körlü, A. E., & Bahtiyari, M. I. (2007). Ultraviolet technology. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 17(4), 219-223. Erişim 01.06.2021, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/218032>
- (4) Britannica. (2020, January 23). *Bohr model*. Encyclopedia Britannica Inc. Erişim 01.06.2021, <https://www.britannica.com/science/Bohr-model>
- (5) AFAD. (2019). *Radyasyon nedir?* T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. Erişim 01.06.2021, <https://www.afad.gov.tr/kbrn/radyasyon-nedir>
- (6) Nükleer Akademi. (2021, Haziran 9). *Radyasyon*. Erişim 01.06.2021, <http://nukleerakademi.org/nukleer-guvenlik/radyasyon/>
- (7) Smith, G. S. (1997). *An introduction to classical electromagnetic radiation*. Cambridge University Press.
- (8) Yaşar, S. (2019, Temmuz 19). *Elektromanyetik spektrum*. Çeyrek Mühendislik Platformu. Erişim 01.06.2021, <https://www.ceyrekmuhendis.com/elektromanyetik-spektrum/>
- (9). Güzel, E., & Özlüoymak, Ö.B. (2015). Elektromanyetik spektrumun tarım makineleri araştırmalarında kullanımı. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 11(4), 315-320. Erişim 01.06.2021, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/445872>
- (10) Hacıosmanoğlu, T. (2017). Natural and artificial radiation sources and personal dose additives. *Nükleer Tıp Seminerleri*, 3(3), 166-171. doi:10.4274/nts.017 <https://journals.indexcopernicus.com/search/article?articleId=1553524>
- (11) Fizikolog. (2021, Nisan 8). *Kuantum tünelleme ve belirsizlik ilkesi*. Erişim 01.06.2021, [https://fizikolog.net/fizik\\_ansiklopedisi/kuantum\\_tunelleme.html](https://fizikolog.net/fizik_ansiklopedisi/kuantum_tunelleme.html)
- (12) Popüler Bilim. (2020, Ekim 02). *Thomson atom modeli nedir? Özellikleri ve eksiklikleri nelerdir?* Milliyet Teknoloji. Erişim 01.06.2021, <https://www.milliyet.com.tr/teknoloji/populer-bilim/thomson-atom-modeli-nedir-ozellikleri-ve-eksiklikleri-nelerdir-6320337>
- (13) Viyana Üniversitesi. (t.y.). *Radio waves*. Erişim 01.06.2021, [https://www.univie.ac.at/geographie/fachdidaktik/FD/site/external\\_https/imagery.gsfc.nasa.gov/ems/radio.html](https://www.univie.ac.at/geographie/fachdidaktik/FD/site/external_https/imagery.gsfc.nasa.gov/ems/radio.html)

---

<sup>1</sup> Çalışma notlarına ilişkin sunulan kaynaklar, mevcut bilgilerin sektördeki kullanım yerlerinin ve çeşitliliğinin de görülebilmesi için basılı ve akademik kaynaklar yanında ilgili web içerikleri ile geniş bir çeşitlilikte sunulmuştur. Çalışma kitapçığı içinde geçen metin ve görsellerin tamamı alındıkları yerlere ait atıflar içermektedir.

- (14) Engin, N. (2013). Nükleer enerji gelecekteki enerji ihtiyacına çözüm olabilir mi?. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 27, 575-591. Erişim 01.06.2021, <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/3338>
- (15) Ankara Üniversitesi Açık Erişim Yayınları. (t.y.). Radyasyon ışınları. Ankara Üniversitesi. Erişim 01.06.2021, <https://acikders.ankara.edu.tr/mod/resource/view.php?id=10856>
- (16). T.A.E.K Dozimetrik Niceliklere İlişkin Kılavuz C <https://webim.ndk.gov.tr/file/30879935-8185-47f1-a011-84b1e973a4c6> erişim tarihi 11.11.2024
- (17) Twinkl. (t.y.). *Radyum elementinin alfa ışınması ile radon elementine dönüşmesi*. Erişim 01.06.2021, <https://www.twinkl.com.br/illustration/alpha-decay--atom-radium-nucleus-atomic-structure-diagram-science-secondary>
- (18) Kwan-Hoong Ng, K.H. (2003, October). Non-ionizing radiations – sources, biological effects, emissions and exposures. *Proceedings of the International Conference on Non-Ionizing Radiation at UNITEN (ICNIR2003) Electromagnetic Fields and Our Health*. Erişim 01.06.2021, [https://www.researchgate.net/profile/Anees\\_Al-Hamzawi3/post/Non\\_Ionizing\\_Radiation/attachment/59d6553a79197b80779ac7b9/AS:524831306915840@1502140942791/download/keynote3ng.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Anees_Al-Hamzawi3/post/Non_Ionizing_Radiation/attachment/59d6553a79197b80779ac7b9/AS:524831306915840@1502140942791/download/keynote3ng.pdf)
- (19) TRKD. (t.y.). *İyonlaştırıcı radyasyon*. Erişim 01.06.2021, <https://www.trkd.org.tr/yararli-bilgiler/iyonlastirici-radyasyon>
- (20) Cebesoy, S. (t.y.). *Radyasyon aktivitesi birimleri*. Ankara Üniversitesi Açık Ders. Erişim 01.06.2021, [https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/25556/mod\\_resource/content/0/4.pdf](https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/25556/mod_resource/content/0/4.pdf)
- (21) Sayılı, E. S. (2019, Nisan 25). *Spect - Biyomedikal cihaz*. Life of Medical. Erişim 01.06.2021, <https://lifeofmedical.com/spect>
- (22) Popüler Medikal. (2014, Nisan 15). *Pozitron emisyon tomografisi (PET-BT, PET-Scan)*. Erişim 01.06.2021, <https://www.populermedikal.com/2014/04/15/pozitron-emisyon-tomografisi-pet-bt-pet-scan/>
- (23) Neolife Tıp Merkezi. (t.y). *PET/CET nedir? Görüntülemeye altın standart "PET/CT"*. Erişim 01.06.2021, <https://neolife.com.tr/pet-ct/>
- (24) Demir, B., Okutan, M., & Demir, B. (2009). Pozitron emisyon tomografi ve radyoterapi tedavi planlama. *Türk Onkoloji Dergisi*, 24(2), 88-97. Erişim 01.06.2021, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iuonkder/issue/1074/12158>
- (25) Gazi Hastanesi. (2020, Mayıs 9). *PET -MR nedir?* Erişim 01.06.2021, <https://hastane.gazi.edu.tr/tr/hizmetler/pet-mr-teknolojisi>
- (26) Broski, S. M., Goenka, A. H., Kemp, B. J., & Johnson, G.B. (2018). Clinical PET/MRI: 2018 update. *American Journal of Roentgenology*, 211, 295-313. Erişim 01.06.2021, <https://www.ajronline.org/doi/full/10.2214/AJR.18.20001>

- (27) Ankara Üniversitesi Açık Erişim Yayınları. (2020). *Nükleer tıp uygulamaları*. Erişim 01.06.2021, <https://acikders.ankara.edu.tr/course/view.php?id=6191>
- (28) 19 Dokuz Mayıs Üniversitesi Akademik Veri Yönetim Sistemi. (2020, Ocak 1). *Radyoloji tarihçe*. Erişim 01.06.2021, <https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/aozak/72858/Sunu2.pdf>
- (29) Medikal Akademi. (2019, Kasım 13). *Radyoloji nedir? Radyolog kimdir, hangi hastalıklara bakar?* Erişim 01.06.2021, <https://www.medikalakademi.com.tr/radyoloji-nedir-radyolog-kimdir-hangi-hastalıklara-bakar/>
- (30) ACR. (t.y.). *What Is a radiologist?* Erişim 01.06.2021, <https://www.acr.org/Practice-Management-Quality-Informatics/Practice-Toolkit/Patient-Resources/About-Radiology>
- (31) Radyolojinet. (t.y.). *Röntgen görüntüsü nasıl elde edilir?* Erişim 01.06.2021, [https://www.radyolojinet.com/egitim/gy/rontgen\\_nedir.html](https://www.radyolojinet.com/egitim/gy/rontgen_nedir.html)
- (32) Poyraz, A.K. (2015). *X- ışını elde edilmesi ve özellikleri*. Fırat Üniversitesi Akademik Bilgi Sistemi 4. Sınıf Ders Notları. Erişim 01.06.2021, [https://abs.firat.edu.tr/upload/user\\_85/745f6f408c140115c9b724c4759c31c263e01010\\_dosya\\_85.pdf](https://abs.firat.edu.tr/upload/user_85/745f6f408c140115c9b724c4759c31c263e01010_dosya_85.pdf)
- (33) Millî Eğitim Bakanlığı. (2011). *Röntgen cihazları*. Radyoloji. Erişim 01.06.2021, [http://megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/R%C3%B6ntgen%20Cihazlar%C4%B1.pdf](http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/R%C3%B6ntgen%20Cihazlar%C4%B1.pdf)
- (34) Medikal Akademi. (2010). *Tomografi (BT) nedir? Tomografi cihazı nedir?* Erişim 01.06.2021, <https://www.medikalakademi.com.tr/tomografi-nedir-nasil-cekilir-bt-ne-ise-yarar-zararlari-nelerdir/>
- (35) Medikal Teknik. (2016, Mayıs 12). *Tomografi cihazı*. Erişim 01.06.2021, <https://www.medikalteknik.com.tr/siemens-yeni-dual-source-bilgisayarli-tomografi-cihazı-somatom-drivei-sunar/>
- (36) Millî Eğitim Bakanlığı. (2011). *Anjiyografi*. Radyoloji. Erişim 01.06.2021, [http://www.megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Anjiografi.pdf](http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Anjiografi.pdf)
- (37) İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Kardiyoloji Enstitüsü. (t.y.). *Koroner anjiyografi nedir?* Erişim 01.06.2021, <https://kardiyoloji.istanbulc.edu.tr/tr/haber/koroner-anjiyografi-nedir-350074004C0075007000670071006C006500760045003100>
- (38) Bimedis. (t.y.). *Girişimsel anjiyografi sistemleri*. Erişim 01.06.2021, <https://bimedis.com/a-item/cath-angio-labs-siemens-axiom-artis-dfa-1651077>
- (39) Hisar Hospital. (t.y.). *Koroner anjiyografi*. Erişim 01.06.2021, <https://hisarhospital.com/bolumler/koroner-anjiyografi/>
- (40) Radyoloji Teknisyeni. (2018, Mayıs 10). *C kollu skopi*. Erişim 01.06.2021, <http://www.radyolojiteknisyeni.com/c-kollu-skopi/>
- (41) Proser Medikal. (t.y.). *C kollu skopi cihazları*. Erişim 01.06.2021, <http://prosermedikal.com.tr/urunler/9/c-kollu-skopi-cihazlari>

- (42) Medical Park. (t.y.). *Mamografi nedir?* Erişim 01.06.2021,  
<https://www.medicalpark.com.tr/mamografi/hg-2155#:~:text=Ki%C5%9Fi%20mamografi%20i%C5%9Flemi%20s%C4%B1ras%C4%B1nda%20bel%20den,yard%C4%B1m%C4%B1yla%20i%C3%A7%20dokusunun%20g%C3%B6r%C3%BCnt%C3%BClenmesi%20yap%C4%B1l%C4%B1r>
- (43) Hipokratist Sağlık Ansiklopedisi. (2020, Kasım 22). *Dijital mamografi cihazları*. Erişim 01.06.2021,  
<https://hipokratist.com/mamografi-cihazlari/>
- (44) Neoson Görüntüleme Merkezi. (t.y.). *Kemik dansitometri*. Erişim 01.06.2021,  
<https://neoson.com.tr/kemik-dansitometri>
- (45) Tanısal Vizyon İleri Görüntüleme Merkezi. (t.y.). *Dansitometri (DEXA) cihazı*. Erişim 01.06.2021,  
<http://www.tanisalvizyon.com.tr/kemik-dansitometre.html>
- (46) TÜMRAD-DER. (2010, Mayıs 28). *Manyetik rezonans (MR)*. Tüm Radyoloji Teknisyenleri ve Teknikerleri Derneği Ders Notları. Erişim 01.06.2021,  
<http://www.tumrad.net/?Syf=5&Id=20562>  
[http://www.tumrad.net/FileUpload/ds58732/File/manyetik\\_rezonans\\_goruntuleme\\_mrg\\_.pdf](http://www.tumrad.net/FileUpload/ds58732/File/manyetik_rezonans_goruntuleme_mrg_.pdf)
- (47) Millî Eğitim Bakanlığı. (2011). *Manyetik rezonans cihazları*. Radyoloji. Erişim 01.06.2021,  
[http://megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Manyetik%20Rezonans%20Cihazlar%C4%B1.pdf](http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Manyetik%20Rezonans%20Cihazlar%C4%B1.pdf)
- (48) Millî Eğitim Bakanlığı. (2012). *MR montajı*. Biyomedikal Cihaz Teknolojileri. Erişim 01.06.2021,  
[http://www.megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Mr%20Montaj%C4%B1.pdf](http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Mr%20Montaj%C4%B1.pdf)
- (49) Kocaoğlu, M. (2015, Kasım 15). *USG cihazı bileşenleri ve çalışma prensibi*. Yakın Doğu Üniversitesi. Erişim 01.06.2021, <https://neu.edu.tr/wp-content/uploads/2015/11/USG-C%C4%B0HAZI-B%C4%B0LE%C5%9EEENLER%C4%B0-ve-%C3%87ALI%C5%9EMA-PRENS%C4%B0B%C4%B0-Murat-Kocao%C4%9Flu.pdf>
- (50) Mira Tıp. (t.y.). *Ultrason probu nedir? Ultrason probu çeşitleri*. Erişim 01.06.2021,  
<https://www.ultrasonprobu.com/ultrason-problari>
- (51) Millî Eğitim Bakanlığı. (2011). *Radyoloji departmanının yapısı*. Radyoloji. Erişim 01.06.2021,  
[http://www.megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Radyoloji%20Departman%C4%B1n%C4%B1n%20Yap%C4%B1s%C4%B1.pdf](http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Radyoloji%20Departman%C4%B1n%C4%B1n%20Yap%C4%B1s%C4%B1.pdf)
- (52) Medical Park. (t.y.). *Radyasyon onkolojisi*. Erişim 01.06.2021,  
<https://www.medicalpark.com.tr/radyasyon-onkolojisi/b-6734>
- (53) Ege Özel Onkoloji Radyoterapi Merkezi. (t.y.). *Radyoterapi nedir?* Erişim 01.06.2021,  
<http://www.egeonkoloji.com.tr/hastalar-icin/56-radyoterapi-nedir.html>
- (54) Cobalt 60 Cihazı. (t.y.). Erişim 01.06.2021,  
[https://slidetodoc.com/presentation\\_image\\_h/b415ea5ae72b047788a9df769cbec8f7/image-21.jpg](https://slidetodoc.com/presentation_image_h/b415ea5ae72b047788a9df769cbec8f7/image-21.jpg)

- (55) Sakallı, B., Büyükarıslan, E., Küçükala, H.N., Benek, M. (t.y.). *LİNAC (Lineer Akselelatör-Doğrusal Hızlandırıcı) nedir?* Life of Medikal. Erişim 01.06.2021, <https://lifeofmedical.com/linac-nedir/>
- (56) Medikal Fizik. (2018, Ocak 2). *Tomoterapi*. Erişim 01.06.2021, <https://www.medikalfizik.net/2018/01/02/tomotherapy/>
- (57) Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü. (t.y.). *Radyasyon tedavisi*. Erişim 01.06.2021, <https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/kanser-tedavisi/kanser-tedavisi-nelerdir/kanser-tedavisinde-radyasyon.html>
- (58) Akgül, E. (2014, Eylül). *Röntgen cihazları ve fizik prensipleri*. Çukurova Üniversitesi SHMYO 1. Sınıf Ders Notları. Erişim 01.06.2021, <https://www.slideshare.net/muyuta/rntgen-cihaz-1>  
<https://www.slideshare.net/muyuta/rntgen-cihaz-2>  
<https://www.slideshare.net/muyuta/rntgen-cihaz-3>  
<https://www.slideshare.net/muyuta/rntgen-cihaz-4>
- (59) Sağlık Hizmetlerinde İyonlaştırıcı Radyasyon Kaynakları ile Çalışan Personelin Radyasyon Doz Limitleri ve Çalışma Esasları Hakkında Yönetmelik. (2012, Temmuz). *Resmî Gazete*, Tarih: 05.07.2012, Sayı: 28344, Sağlık Bakanlığı. Erişim 01.06.2021, <https://www.saglik.gov.tr/TR,10531/saglik-hizmetlerinde-iyonlastirici-radyasyon-kaynaklari-ile-calisan-personelin-radyasyon-doz-limitleri-ve-calisma-esaslari-hakkinda-yonetmelik.html>
- (60) Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği. (2000, Mart ). *Resmî Gazete*, Tarih: 24.03. 2000, Sayı: 23999, Sağlık Bakanlığı. Erişim 01.06.2021, [http://www.hastane.hacettepe.edu.tr/siteimages/radyasyon\\_guvenligi/radyasyon\\_guvenligi\\_yonetmeli.pdf](http://www.hastane.hacettepe.edu.tr/siteimages/radyasyon_guvenligi/radyasyon_guvenligi_yonetmeli.pdf)
- (61) Şar, O. (t.y.). *Radyasyon alanlarında radyasyon güvenliği ve iş güvenliği*. İş Sağlığı ve Güvenliği Meslek Hastalıkları Uygulama ve Araştırma Merkezi (HİSAM). Erişim 01.06.2021, [http://www.hisam.hacettepe.edu.tr/isgsemp2016/Radyasyon\\_Alanlarinda\\_Radyasyon\\_Guvenligi\\_ve\\_Is\\_Guvenligi.pdf](http://www.hisam.hacettepe.edu.tr/isgsemp2016/Radyasyon_Alanlarinda_Radyasyon_Guvenligi_ve_Is_Guvenligi.pdf)
- (62) International Atomic Energy (IAEA). (1996). *International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources*. Vienna, Safety Series 115. Erişim 01.06.2021, [https://gnssn.iaea.org/Superseded%20Safety%20Standards/Safety\\_Series\\_115\\_1996\\_Pub996\\_EN.pdf](https://gnssn.iaea.org/Superseded%20Safety%20Standards/Safety_Series_115_1996_Pub996_EN.pdf)
- (63) Oğur, İ. (2019). *Sağlık kuruluşlarında risk faktörleri ve çalışanlar için radyasyon güvenliği*. Detam. Erişim 01.06.2021, <https://www.detam.com.tr/saglik-kuruluslarinda-risk-faktorleri-calisanlar-icin-radyasyon-guvenligi/>
- (64) Millî Eğitim Bakanlığı. (2011). *Radyasyondan korunma*. Radyoloji. Erişim 01.06.2021, <https://www.tmrtdr.org.tr/wp-content/uploads/2012/12/radyasyondan-korunma.pdf>

- (65) Öksüz, D.Ç. (2012). *Radyasyondan korunma*. İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Sürekli Tıp Eğitimi Etkinlikleri Sempozyum Dizisi, 79; 197-208.  
<https://studylibtr.com/doc/637022/sempozyum-kitab%C4%B1---i%C3%BC.-cerrahpa%C5%9Fa-t%C4%B1p-fak%C3%BCitesi>
- (66) National Radiological Protection Board. (t.y.). *Radiological Protection*. Erişim 01.06.2021,  
<https://www.gov.uk/government/collections/national-radiological-protection-board-nrpb-report-series>
- (67) Emer, M.Ö. (2017). Radyolojik/Nükleer acillerde hastane hazırlığı ve acil durum müdahale ekibi organizasyonu. *Nuclear Medicine Seminars*, 3, 225-230.  
[http://cms.galenos.com.tr/Uploads/Article\\_16409/NTS-3-225.pdf](http://cms.galenos.com.tr/Uploads/Article_16409/NTS-3-225.pdf)
- (68) OAK Ridge Institute for Science Education. (t.y.). *Guidance for radiation accident management*. Erişim 01.06.2021 <https://orise.orau.gov/resources/reacts/guide/index.html>
- (69) Millî Eğitim Bakanlığı. (2011). *Radyasyondan korunma*. Radyoloji. Erişim 01.06.2021,  
<https://www.tmrtdr.org.tr/wp-content/uploads/2012/12/radyasyondan-korunma.pdf>
- (70) Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği. (2000, Mart ). *Resmî Gazete*, Tarih: 24.03. 2000, Sayı: 23999, Sağlık Bakanlığı. Erişim 01.06.2021,  
[http://www.hastane.hacettepe.edu.tr/siteimages/radyasyon\\_guvenligi/radyasyon\\_guvenligi\\_yonetmeli.pdf](http://www.hastane.hacettepe.edu.tr/siteimages/radyasyon_guvenligi/radyasyon_guvenligi_yonetmeli.pdf)
- (71) Tuncel, E. (2011). *Klinik radyoloji*. Nobel Kitabevi.
- (72) Kaya, T., Adapınar, B., & Özkan, R. (1997). *Temel radyoloji tekniği*. Nobel Yayın Dağıtım.
- (73) Balsak, H. (2014). *Radyolojide personel ve hasta güvenliği. Radyoloji çalışanlarının tanı amaçlı kullanılan radyasyonun, zararlı etkileri hakkında bilgi, tutum ve davranışları* [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. İnönü Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- (74) Yağmur, F., Bozbıyık, A. & Hancı, H. (2003). Elektromanyetik dalgaların insan biyokimyası üzerine etkileri. *STED*, 12(8), 296-297. <https://www.ttb.org.tr/sted/sted0803/elektromanyetik.pdf>
- (75) Ratnapalan S, Bona N, Chandra K, & Koren G. (2004). Physicians perceptions of teratogenic risk associated with radiography and CT during early pregnancy. *AJR Am J Roentgenol*, 182(5), 1107-1109. <https://www.ajronline.org/doi/10.2214/ajr.182.5.1821107>
- (76) Groves, A.M, Yates, S.J, Win, T, ... & Ell, P.J. (2006). CT pulmonary angiography versus ventilation-perfusion scintigraphy in pregnancy: implications from a UK survey of doctors knowledge of radiation exposure. *Radiology*, 240(3), 765-770.  
<https://doi.org/10.1148/radiol.2403050910>
- (77) Brent, R.L, Mettler, F.A. (2004). Pregnancy policy. *AJR Am J Roentgenol*, 182(3), 819-822.  
<https://www.ajronline.org/doi/10.2214/ajr.182.3.1820819>
- (78) Wagner, L. K, Lester, R.G. & Saldana, L.R. (1997). *Exposure of the pregnant patient to diagnostic radiations: A guide to medical management* (2nd Edt.). Medical Physics Publishing.

- (79) Gündüz, Y. (2015). Radyasyon güvenliği, korunma yöntemleri ve dozimetre kullanımda dikkat edilecek hususlar, TAEK / Sarayköy Nükleer Araştırma Merkezi (SANAEM)'den Aktaran, Dönmez, S. (2017). Radyolojik tehditler radyasyonun ölçülmesi. *Nuclear Medicine Seminars*, 3(3), 172-178. doi:10.4274/nts.2017.018. <http://www.galenos.com.tr/en/en/Journal/Nukleer-Tip-Seminerleri>
- (80) Knoll, G.F. (2000). *Radiation detection and measurement* (3th Edt.). Wiley.
- (81) Demir M. (2014). *Nükleer tıp fiziği ve klinik uygulamaları* (4. Baskı). Bayrak Matbaası.
- (82) Dönmez, S. (2017). Radyasyon tespiti ve ölçümü. *Nuclear Medicine Seminars*, 3, 172-177. doi:10.4274/nts.2017.018. [http://cms.galenos.com.tr/Uploads/Article\\_16396/NTS-3-3.pdf](http://cms.galenos.com.tr/Uploads/Article_16396/NTS-3-3.pdf)
- (83) Akkaş, A. (2013). *Radyasyon ölçüm cihazları*. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. ÇNAEM. Erişim 01.06.2021, [http://medikalfizik.org/uploads/files/14\\_MDF\\_Kongre/3\\_gun/Radyasyon\\_Olcum\\_Cihazlari%23Ayhan\\_Akkas.pdf](http://medikalfizik.org/uploads/files/14_MDF_Kongre/3_gun/Radyasyon_Olcum_Cihazlari%23Ayhan_Akkas.pdf)
- (84) Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu Kurumsal Araştırma Arşivi (t.y.). Erişim 01.06.2021, <http://kurumsalarsiv.taek.gov.tr/>
- (85) Powsner, R.A, Powsner E.R. (2008). *Essential nuclear medicine physics*. Blackwell Publishing.
- (86) Bor, M. D. (t.y.). Radyasyon deteksiyon ve ölçüm yöntemleri ders notları, Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü'nden Aktaran, Dönmez, S. (2017). Radyasyon tespiti ve ölçümü. *Nuclear Medicine Seminars*, 3, 172-177. doi:10.4274/nts.2017.018. [http://cms.galenos.com.tr/Uploads/Article\\_16396/NTS-3-3.pdf](http://cms.galenos.com.tr/Uploads/Article_16396/NTS-3-3.pdf)
- (87) Center of Nondestructive Evaluation. (t.y.). *Pocket dosimeter*. Erişim 01.06.2021, [https://www.nde-ed.org/NDEEngineering/RadiationSafety/radiation\\_safety\\_equipment/pocket\\_dosimeter.xhtml](https://www.nde-ed.org/NDEEngineering/RadiationSafety/radiation_safety_equipment/pocket_dosimeter.xhtml)
- (88) Shani G. (2000). *Radiation dosimetry - Instrumentation and methods* (2nd Edition). CRC Press.
- (89) Bhatt, B. (2011). Thermoluminescence, optically stimulated luminescence and radiophoto luminescence dosimetry: An overall perspective. *Radiat Prot Environ*, 34, 6-16. <https://www.rpe.org.in/text.asp?2011/34/1/6/93897>
- (90) Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği. (2000, Mart ). *Resmî Gazete*, Tarih: 24.03. 2000, Sayı: 23999, Sağlık Bakanlığı. Erişim 01.06.2021, [http://www.hastane.hacettepe.edu.tr/siteimages/radyasyon\\_guvenligi/radyasyon\\_guvenligi\\_yonetmeligi.pdf](http://www.hastane.hacettepe.edu.tr/siteimages/radyasyon_guvenligi/radyasyon_guvenligi_yonetmeligi.pdf)
- (91) Marcazzo, J., Prokic, M., Santiago, M., Molina, P., & Caselli, E. (2009). Analysis of thermoluminescence kinetics of Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>: Tb compounds employing an interactive model. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 267(19), 3347-3350. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2009.07.003>
- (92) Thomsen, K.J. (2004). *Optically stimulated luminescence techniques in retrospective dosimetry using single grains of quartz extracted from unheated materials* [Unpublished dissertation]

thesis]. Risoe National Laboratory, Roskilde, Denmark.  
<https://orbit.dtu.dk/en/publications/optically-stimulated-luminescence-techniques-in-retrospective-dos-2>

- (93) Chen, R., & Mckeever, S.W.S. (1997). *Theory of thermoluminescence and related phenomena*. World Scientific Publishing.
- (94) Gürlek, A.K., Yeğingil, Z., Doğan, T. (2012). Termolüminesans dozimetresinin ve XR-QA2 radyokromik film dozimetresinin dozimetrik özellikleri. *Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt:28-2'den Aktaran Karataşlı, M., & Özer, T. (2018). İş güvenliğinde dozimetreler. *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 10(1), 15-31. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/408364>
- (95) Stabin M.G. (2010). *Radiation protection and dosimetry; An introduction to health physics*. Springer.
- (96) Gündüz, H. (2009). *Radyasyon güvenliği, korunma yöntemleri ve dozimetre kullanımda dikkat edilecek hususlar*. Tüm Radyoloji Teknisyenleri ve Teknikerleri Derneği (Tümrad-Der) 3. Radyoloji Teknisyenleri Mesleki Eğitim Toplantıları, 22-25 Ekim, Antalya. Erişim 01.06.2021, <http://www.tumrad.net/FileUpload/ds58732/File/tumradderkitap.pdf>
- (97) Karataşlı, M., & Özer, T. (2018). İş güvenliğinde dozimetreler. *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 10(1), 15-31. Erişim 02.06.2021, [https://www.researchgate.net/publication/322589437\\_IS\\_GUVENLIGINDE\\_DOZIMETRELER](https://www.researchgate.net/publication/322589437_IS_GUVENLIGINDE_DOZIMETRELER)
- (98) Cember, H, & Johnson T.E. (2009). *Introduction to health physics*. The Mc Graw-Hill Companies.
- (99) International Atomic Energy Agency (IAEA). (2005). *Radiation oncology physics: A handbook for teachers and students*. Erişim 01.06.2021, [https://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub1196\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub1196_web.pdf)
- (100) Izewska, J., & Rajan, G. (2005). Radiation dosimeters. In International Atomic Energy Agency (IAEA). (2005). *Radiation oncology physics: A handbook for teachers and students*, p. 71-76. Erişim 01.06.2021, [https://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub1196\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub1196_web.pdf)
- (101) Endüstriyel Radyografi İçin Radyasyon Korunması. (1998). Türkiye Atom Enerji Kurumu Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi El Kitabı'ndan Aktaran, Karataşlı, M., & Özer, T. (2018). İş güvenliğinde dozimetreler. *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 10(1), 15-31. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/408364>
- (102) Doğan Baydoğan, N., Tuğrul A. B. (2002). Gama ışınları ile ışınlanmış kurşun-alkali-silika camın dozimetrik kullanımı. *İTU Fen Bilimleri Dergisi*, 1(1), 43-51. <https://kutuphane.dogus.edu.tr/mvt/pdf.php?pdf=0005836&lng=0>
- (103) Elektronik Dozimetreler. (2016). <https://kbrn.afad.gov.tr/kategori-1182-dozimetreler> adresinden Aktaran, Karataşlı, M., & Özer, T. (2018). İş güvenliğinde dozimetreler. *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 10(1), 15-31. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/408364>
- (104) Gençay Ş. (1994) Nükleer Elektrik ve Çevre. *Elektrik Enerjisi ve Teknolojileri Sempozyumu*, İTÜ Yayınları, İstanbul.



- (105) Erişim online 21.06.2021. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/196929>
- (106) Harley, N. H., & Harley, J. H. (1990). Potential lung cancer risk from indoor radon exposure. *CA: A cancer journal for clinicians*, 40(5), 265-275.  
<https://acsjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.3322/canjclin.40.5.265>
- (107) NCRP. (1984). *Evaluation of occupational and exposures to Radon and Radon Daughters in the United States* (Report No: 078). National Council on Radiation Protection and Measurements. NCRP report. <https://ncrponline.org/publications/reports/ncrp-reports-60-79/>
- (108) Cooke, T. F. (1991). Indoor air pollutants: A literature review. *Reviews on environmental Health*, 9(3), 137-160. <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/REVEH.1991.9.3.137/html>
- (109) Hornung, R. W., & Meinhardt, T. J. (1987). Quantitative risk assessment of lung cancer in US uranium miners. *Health Physics*, 52(4), 417-430. [https://journals.lww.com/health-physics/Abstract/1987/04000/Quantitative\\_Risk\\_Assessment\\_of\\_Lung\\_Cancer\\_in.2.aspx](https://journals.lww.com/health-physics/Abstract/1987/04000/Quantitative_Risk_Assessment_of_Lung_Cancer_in.2.aspx)
- (110) Schoenberg, & J., Klotz, J. (1990). *A case control study of radon and lung cancer among New Jersey Women*. Phase 1. New Jersey State Department of Health Technical Report, Trenton NJ, NJDH. <https://dspace.njstatelib.org/handle/10929/34828>
- (111) Güler, Ç., & Çobanoğlu, Z. (1994). *Elektromanyetik radyasyon* (1.Baskı). Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü. Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi.  
<https://sbu.saglik.gov.tr/ekutuphane/kitaplar/css32.pdf>
- (112) Keskin, Y. (t.y.). *Risk kontrol adımları nedir?* İSG Nedir Platformu. Erişim 25.05.2021, <https://www.isgnedir.com/risk-kontrol-adimlari-nelerdir/>
- (113) Hacıoğlu, A. (t.y.). *Gama kameralar*. Life of Medical. Erişim 01.06.2021, <https://lifeofmedical.com/gama-kameralar/>
- (114) Zeyrek, C. T. (2013). İyonize radyasyon uygulamaları için güvenlik ve korunmaya yönelik genel kavramlar. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg*, 17, 1-9. Erişim online 21.06.2021. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/193835>
- (115) AFAD. (t.y.). *Radyasyon dozları ve etkileri*. Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı. Erişim online 11.04.2021 : <https://www.afad.gov.tr/kbrn/radyasyon-dozlari-ve-etkileri>
- (116) Örgün, Y., & Çelebi, N. (2016). Radyasyon, Radon (Rn) ve toplum sağlığı. *MMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Haber Bülteni Tıbbi Jeoloji ve İnsan Sağlığı Özel Sayısı*, 1(1), 11-27.  
[https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/03f20a42de5f061\\_ek.pdf?dergi=HABER%20B%DCLTEN%DD](https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/03f20a42de5f061_ek.pdf?dergi=HABER%20B%DCLTEN%DD)
- (117) Çelebi, N., Ataksor, B., & Taşkın, H. (2014). *Konutlarda radon ölçümleri*. Teknik Rapor, TAEK TR-2014-2, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu-ÇNAEM.  
<http://kurumsalarsiv.tenmak.gov.tr/handle/20.500.12878/331>
- (118) AFAD. (t.y.). *Radyasyon kaynakları*. Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı. Erişim 19.04.2021: <https://www.afad.gov.tr/kbrn/radyasyon-kaynaklari>

- (119) Hayata Rehber. (2018, Aralık 15). *Radyasyon kaynakları*. Erişim 19.04.2021: <https://www.hayatarehber.com/radyasyon-kaynaklari-nelerdir/>
- (120) Ekinci, M. (2019). *Sağlık çalışanlarının radyasyon tutumunu belirleme ölçeği geliştirme ve uygulama çalışması* [Yayınlanmış yüksek lisans tezi]. Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. <http://earsiv.ebyu.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12432/3868>
- (121) Skjöldebrand, C. (2002). Infrared processing. In *The nutrition handbook for food processors* (Edt. C.J.K. Henry, C. Chapman, B. Raton). Woodhead, 423-432p.
- (122) Sakai, N., & Mao, W., (2006). Infrared heating. In *The nutrition handbook for food processors* (Edt. C.J.K. Henry, C. Chapman, B. Raton). Woodhead, 493-527p.
- (123) Fasina, O. (2003). *Infrared heating of food and agricultural materials*. ASAE Annual Meeting. doi: 10.13031/2013.14223 <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=14223>
- (124) Positron Emission Tomography. (2014, October 11). Erişim 02.06.2021, <https://www.slideserve.com/ciqala/positron-emission-tomography>
- (125) Avoma Group. (t.y.). *Luminos fusion-digital fluoroscopy machine*. Erişim 02.06.2021, <https://avomagroup.com/portfolio-item/luminos-fusion/>
- (126) Indiamart. (t.y.). *Digital general imaging 3D 4D ultrasound machine*. Erişim 02.06.2021, <https://www.indiamart.com/proddetail/3d-4d-ultrasound-machine-20434115162.html>
- (127) TRKD. (t.y.). *İyonlaştırıcı olmayan radyasyon*. Erişim 02.06.2021, <https://www.trkd.org.tr/yararli-bilgiler/iyonlastirici-olmayan-radyasyon>
- (128) Zengin, M. A. (t.y.). *İş sağlığı ve güvenliğinde tehlike ve risk kavramları. Ünite 6*. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Uzaktan Eğitim Merkezi. Erişim 02.06.2021, <https://docplayer.biz.tr/41316377-Unit6-is-sagligi-ve-guvenliginde-tehlike-ve-risk-kavramlari-5i-ortak-dersler-is-guvenligi-ogr-gor-mehmet-ali-zengin.html>
- (129) ICRP **Publication 60**: Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (1991), ICRP's guidelines on radiation protection.
- (130) İyonlaştırıcı Radyasyon ve Radyonüklit Kullanılarak Sunulan Sağlık Hizmetleri Hakkında Yönetmelik. <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/21.5.5530.pdf>