

## RADYASYON GÜVENLİĞİ

Y. Doç. Dr. Hüseyin BORA\*

**Radyasyon** bir kaynaktan elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar şeklinde salınan bir enerjidir. Lazer, güneş, radar sistemi, televizyon vericileri, x-ışını makineleri ve radyoaktif kaynaklar gibi birçok radyasyon kaynağı bulunmaktadır. Genellikle insan yararına kullanılan yapay radyasyon kaynaklarından ve doğal radyasyon kaynaklarından çeşitli düzeyde radyasyona maruz kalınmaktadır. Uluslararası kuruluşların önerileri ve ulusal yasalarla, radyoaktif maddeler ve radyasyonun emniyetli ve güvenli kullanımı düzenlenmiş ve denetim altına alınmıştır. Bu bölümde radyasyondan korunmanın temel fizik kavramları ve genel korunma bilgilerinden bahsedilecektir.

### Radyasyon Tipleri

Radyasyon enerjisi yeterli ise canlı dokusunda iyonlar meydana getirir. *İyonize radyasyon* denilen bu radyasyonun değişik tipleri vardır.

#### 1. Partiküler Radyasyon

- a) Alfa parçacıkları (ışını): Helyum çekirdeğine eşit (2 proton + 2 nötron) kütlesi ve yüke sahiptir. Atomun çekirdeğinde meydana gelen reaksiyonlardan kaynaklanır. Elektronlardan 7300 kez daha ağırdır. Atom numarası 83'den büyük olan elementlerde doğal olarak meydana gelir. Alfa ışınları, çift yüklü (++) ve düşük hızlı (büyük kütlesinden dolayı) olmaları nedeniyle kısa mesafelerde enerjilerini kaybederler. Bir alfa ışını 1 cm'lik havada 1000 iyonizasyon yapar. Güçlü alfa parçacığının havadaki kat ettiği mesafe 10 cm'dir. Daha yoğun materyallerde bu oran daha düşüktür. Bir kağıt yaprağı tarafından durdurulabilirler. İnsan derisinin dış yüzünde bulunan ölü tabakayı geçemediklerinden eksternal (vücut dışı) bir tehlike değildirlir. Fakat, inhalasyonla vücut içine alındıklarında küçük doku volümlerinde büyük zararlı etki meydana getirirler (1).

- b) Beta ışını: Çekirdekten salınırlar ve elektrona eşdeğer bir kitleye sahiptirler. Beta ışınları pozitif (pozitron) veya negatif (negatron) yüklü olabilirler. Daha düşük kütlesi, daha hızlı ve tek yüklü olmaları nedeniyle beta parçacığının hava ve dokudaki oranı alfa ışınına göre daha yüksektir. Ortalama bir enerjiye sahip beta ışının havadaki oranı 3 m dir. Beta ışını çekirdeğe yakın geçtiğinde, çekirdeğin pozitif yükü ile etkileşime girer, ani hız kaybına uğrar ve sahip olduğu kinetik enerjiyi "bremsstrahlung radyasyon" olarak bilinen x-ışını şeklinde salınır. Bu tür radyasyon büyük atom numaralı maddelerle etkileşimlerde daha fazla meydana geldiğinden beta ışınından korunmak için düşük atom numaralı maddeler tercih edilmektedir. Beta ışını yeterli enerjiye sahip olduklarından hem vücut içi (internal) hem de eksternal tehlikedir. Eksternal radyasyon kaynağı özellikle cilt ve göz için büyük tehlike oluşturmaktadır (1).
- c) Nötronlar: Birkaç radyonükleidin radyoaktif bozunması esnasında nötronlar salınabilirler.

#### 2. Elektromanyetik Radyasyon (fotonlar)

- a) X- ışınları: Hızlı hareket eden elektronların ağır metallere çekirdeği ile etkileşimleri sonucu frenleme radyasyonu (Bremsstrahlung) veya karakteristik x-ışını (orbital elektronların enerji düzeylerini değiştirmeleri esnasında salınır) olmak üzere 2 şekilde yapay olarak x-ışını meydana gelmektedir.
- b) Gama ışını: Radyoaktif bozunma esnasında çekirdekten salınırlar. Gamma ışını salınması esnasında elementin kütle ve atom sayısı değişime uğramaz.

\* Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, Ankara.

Fotonlar kısa dalga uzunluğuna sahip ve yüksüzdürler. Kütleleri yoktur ve ışık hızında hareket ederler. Havada çok uzak mesafelere kadar gidebilirler. Canlı gövdesinden geçebilirler. Bu ışınlar çok girici özeliğe sahip olduklarından durdurmak için oldukça kalın beton veya kurşun bloklar kullanmak gerekir (1).

### Radyasyon Kaynakları

İnsan yaşamı, 3 milyar yıl önce günümüzden daha yüksek olduğunu sandığımız çevresel radyasyon düzeyinde başladı. İnsanlar, 1890 ile 1920 yılları arasında ise doğal olarak meydana gelen radyasyonlu bir çevrede yaşadığını anladı. Gerek doğal gerekse yapay radyasyona herkes maruz kalmaktadır. Tablo 1 de görüldüğü gibi bütün radyasyon kaynaklarından alınan yıllık doz, kişi başına ortalama 2.7 mSv'dir (2).

Tablo 1. Yıllık ortalama 2.7 mSv

Doğal Kaynaklar	
Radon	55%
Kozmik	8%
Karasal	8%
İnternal	11%
İnsan Yapımı Kaynaklar	
Tüketici ürünleri	3%
Nükleer Tıp	4%
Tıbbi x-ışını	11%
Diğer Kaynaklar	
Mesleki	%0,3
Nükleer kaza	<%0,3
Nükleer yakıt döngüsü	%0,1
Diğer	%0,1

### Doğal Radyasyon

Her ne kadar, iyonize radyasyona maruz kalmanın en sık sebebi tıbbi kullanım olmasına rağmen, insanların yaşadıkları coğrafya konumuna bağlı doğal (*çevresel background*) radyasyona maruz kalırlar. Bu radyasyon daha çok  $\beta$  ve  $\gamma$  tipinde olup, kozmik ve karasal orijinlidir. Deniz seviyesinde doğal radyasyon düzeyi 600-700 mSv/yıl iken, daha yükseklerde kozmik radyasyonun artması nedeniyle artar.

Karasal radyasyon kaynaklarından U-ranyum ve Toryum düşük konsantrasyonda bütün toprak ve kayalarda dağılmış olarak bulunur. Bu şekilde alınan radyasyonun yıllık dünya ortalaması 0,46 mSv dir. Bunların yanı

sıra radon gazı ve yiyeceklerle alınan potasyum insanın aldığı doğal radyasyona katkıda bulunur. Potasyumun vücuttaki miktarı kas yapısına bağlı olarak değişir. Elementer potasyumun %0,0118'ni oluşturan radyoaktif  $K^{40}$  izotopu,  $\beta$  ve  $\gamma$  ışını yaymaktadır. Yiyecek ve içeceklerle alınan dozun dünya ortalaması 0.23 mSv'dir. Karasal orijinli radyasyona en büyük katkıyı radon gazı yapar, radon gazı atmosferde bulunur ve  $\alpha$  ışını yayar. Atmosferik radon topraktan çıkar ve iyi havalandırılmayan evlerde ve odalarda konsantrasyonu artar. Bu gaz solunumla alındıktan sonra vücut içinde radyoaktif bozulmaya ( $\beta$  ışını) uğrayarak başka atomlara dönüşür ve akciğer dokusunun ışınlanmasına neden olur. Radondan alınan dozun yıllık dünya ortalaması 1.3 mSv dir. Günümüzde enerji korumaya yönelik iyi havalandırılmayan evler yapılması radondan alınan radyasyon miktarını arttırmıştır (2).

### Yapay Radyasyon

Hastaların tanı ve tedavisi amacıyla radyodiagnostik, nükleer tıp ve radyasyon onkolojisi kliniklerinde, X-ışınları ve radyoaktif maddeler kullanılmaktadır. Radyasyonun tıbbi kullanımını en çok alınan radyasyon kaynağı olmasına rağmen yıllık dünya ortalaması 0,3 mSv dir.

Radyoaktif yağışlar, nükleer denemelere bağlı olarak meydana gelmektedir. Günümüzde nispeten azalmasına rağmen bu şekilde alınan radyasyonun yıllık dünya ortalaması 0,006 mSv dir.

Bazı madden işletmelerinde radyoaktif atık üretilmektedir. Örneğin termik santrallerde üretilen kömür içinde radyoaktif madde bulunmaktadır.

Bunların dışında duman detektörleri, fosforlu saatler ve lüks lambası fitili gibi bazı tüketici ürünlerinde az miktarda radyoaktif madde bulunur. Bu şekilde alınan radyasyonun yıllık ortalama doz oldukça düşük olup 0,0005 mSv dir.

Nükleer santraller, nükleer yakıt çeviriminin her aşamasında çevreye bir miktar radyoaktif madde salırlar. Bu salınım dan alınan yıllık radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,008 mVs dir. Çernobil örneğinde olduğu gibi bu tür nükleer santral kazalarına bağlı alınan radyasyon dozu artmaktadır. Çok kısa sürede

alınan büyük radyasyon dozlarına bağlı akut etkiler bu tür nükleer kazalarda yapılan gözlemler sonucu tespit edilmiştir (2).

### Radyasyon Ölçü Birimleri ve Dozimetrik Değerler

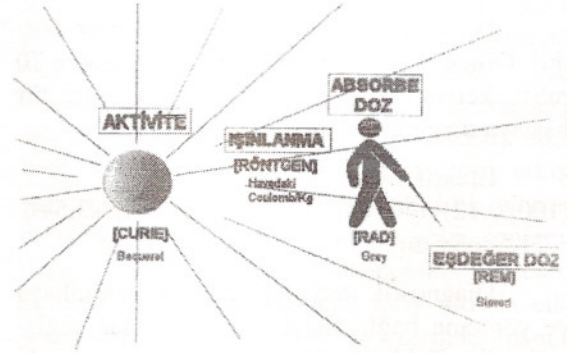
Radyoaktif materyalde birim zamanda meydana gelen bozunum sayısı *aktivite* olarak tanımlanmaktadır. Aktivitenin spesifik ünitesi Curi (Ci) dir. Bir Curi bir saniyede (s)  $3.7 \times 10^{10}$  nükleer dönüşüme (nt) eşittir. Aktivitenin uluslararası birimi (SI) ise Becquerel (B) dir ( $1B=1 \text{ nt/s}$ ). Nükleer tıp bölümlerinde Ci çok büyük, B ise çok küçük olduğundan birim olarak millicurie (mCi) veya mikrocurie ( $\mu\text{Ci}$ ) kullanılmaktadır. Havadaki radyasyon birimi *Röntgen* dir. Bir Röntgen, havanın 1 kg'da  $2.58 \times 10^{-4}$  Coulomb'a eşdeğer iyonizasyona neden olan gamma veya x-ışını miktarıdır. Canlı dokuda absorbe edilen dozun uluslararası birimi (SI) *Gray* (Gy) dir. Bir Gy, 1kg'lık suya 1 joule enerji vermek için gereken dozdur ( $1 \text{ Gy} = 1 \text{ Joule/kg} = 100 \text{ rad}$ ). Bir röntgenlik ışına maruz kalındığında yaklaşık 0.87 cGy doz absorbe edilir. Kişiler yaşamları boyunca değişik radyasyon tiplerine maruz kalabilirler. Her bir radyasyon tipinin biyolojik hasarı diğerinden farklıdır. Alfa partikül ve nötronlar gibi lineer enerji transferi (LET) yüksek olan radyasyonların biyolojik etkileri LET'i düşük olan diagnostik X-ışımından daha fazladır. Bu nedenle radyasyonun bütün tiplerinde eşdeğer dozu tanımlamak için, bir birim seçilmiştir. Bu birim *Sievert* dir ( $1 \text{ Sievert (Sv)} = 100 \text{ rem}$ ) (Şekil 1). Farklı radyasyon tipleri için absorbe edilen dozu (D, Gy), eşdeğer doza dönüştürmek için kalite faktörü (Q) kullanılmaktadır. The International Commission on Radiological Protection and Measurement (ICRP)'in farklı radyasyon tipleri için önerdiği kalite faktörleri Tablo 2 de gösterilmiştir ve aşağıdaki formülle eşdeğer doz hesaplanır (3,4).

$$\text{Eşdeğer doz (H)} = D \times Q \times N$$

(N: Doz fraksiyonu veya farklı doz oranlarında dozun verilmesi gibi, "diğer modifiye edici faktörleri göstermektedir. Bu faktörler bilinmiyorsa değeri 1 kabul edilir.)

Tablo 2. Kalite Faktörleri (Q)

Beta partikül, X-ışını ve gamma ışını	1
Nötronlar <10 keV	5
Nötronlar 10-100 keV	10
Nötronlar 100 keV – 2 MeV	20
Nötronlar >20 MeV	5
Alfa Partikül	20



Şekil 1. Radyasyon güvenliği ile ilgili 4 kavram ve birimleri.

Buna göre 1 Gy beta partikül, X-ışını ve gamma ışını için eşdeğer doz 1 Sv; 1 Gy 50 keV nötron için 10 Sv ve 1 Gy alfa partikül için 20 Sv dir. Diagnostik radyoloji ve radyasyon onkolojisi bölümlerinde X-ışını ve gamma ışını için absorbe doz (Gy) ve eşdeğer doz (Sv) aynıdır. Diagnostik dozimetride Sv büyük bir değer olduğu için mSv (=0,001 Sv) kullanılır.

Bir Gy'lik absorbe doz vücudun bütün organlarında aynı etkiyi meydana getirmez. Organ yapısına bağlı olarak radyasyonun etkisi farklı olacaktır. Çeşitli dokular için tespit edilen *doku ağırlık faktörleri* ( $W_T$ ) Tablo 3 da gösterilmiştir.

Tablo 3. Doku ağırlık faktörleri (ICRP 1990)

Doku ve Organ	$W_T$
Testis ve Overler	0,20
Meme	0,05
Mesane	0,05
Kemik iliği	0,12
Kolon	0,12
Akciğer	0,12
Mide	0,12
Tiroid	0,05
Karaciğer	0,05

*Efektif doz* (E), ışın alan bütün vücut dozu ve organlarının ağırlıkları eşitlenmiş dozlarının toplamıdır. Birimi Sv dir. Efektif doz, orta derecede doz oranlarında, olası geç etkilerin hesaplanması için kullanılır. Potansiyel öldürücü dozlar ve kronik radyasyona bağlı hastalıklar da kullanılmaz.

$$E = \sum W_T \times H_T$$

$H_T$  doku ve organın aldığı eşdeğer dozdur. Örneğin, akciğere 100 mSv, karaciğere 70 mSv, kemik yüzeyine 300 mSv dozlar, bir hastaya diagnostik amaçla verildiğinde,

$$\begin{aligned} \text{Efektif Doz} &= \\ (100 \times 0,12) + (70 \times 0,05) + (300 \times 0,02) &= 12 + 3,5 + 6 \\ &= 21,5 \text{ mSv dir.} \end{aligned}$$

Diagnostik radyolojide kullanılan cihaza ve yonteme bağlı olarak efektif dozlar değişmektedir. Tablo 4 de diagnostik radyolojide verilen efektif dozlar gösterilmiştir.

**Tablo 4.** Diagnostik radyolojide verilen ortalama efektif dozlar (2)

Muayene Yöntemi	Efektif Doz ( $\times 10^{-3}$ Sv)
<i>X-ışını</i>	
Posteroanterior grafi	0,02
Anteroposterior abdomen	1,0
Barium meal	3,8
Barium enema	7,7
<i>Bilgisayarlı Tomografi</i>	
Göğüs	9,0
Abdomen ve pelvis	9,5
Lomber spina	6,0

## Radyasyonun Biyolojik Etkileri

İyonize radyasyonun ışınlandığı dokudaki biyolojik etkileri alınan toplam doza, doz oranına, radyasyon alan vücut miktarına, radyosensitiviteye ve yayılan radyasyonun tipine bağlı olarak sitokastik ve deterministik etkiye sebep olur.

*Deterministik etki* büyük dozlarda meydana gelir, hücre ölümüne ve dolayısıyla organ fonksiyonlarının bozulmasına neden olur. Bu etkinin, radyasyona maruz kalan dokuya ve kullanılan radyasyon tipine bağlı bir *eşik dozu* vardır. Bu dozların üstünde organ hasarı doza bağlı olarak artar. Eşik doz bir defada veya yılda toplam alınan doza bağlı olarak birkaç Gy'lik dozlarda ortaya çıkar (Tablo 5). Radyoterapide gözlenen yan etkiler daha çok bu tiptedir. 1950'lerin başında, atom bombası sonrası yaşayanlarda ve nükleer kazaya maruz kalanlardaki gözlemlere dayanarak tüm vücudun aldığı dozuna göre çeşitli radyasyon sendromları tanımlanmıştır. Bunlar: Hematopoetik Sendromlar (150-1000 cGy), Gastro-İntestinal Sendromlar (1000-2000 cGy), Santral Sinir Sistemi Sendromları (>2000 cGy) dir. Radyasyon hastalığı gelişen olgularda tıbbi destek tedavisi yapılır. Kemik iliği hasarına karşı kan transfüzyonu, beyaz kan hücrelerinde düşmeye bağlı gelişecek enfeksiyonu önlemek için antibiyotikler ve bulantı-kusma veya ağız ve boğazda ülserlere bağlı beslenme sorununu gidermek için İV beslenme önerilmektedir (4,5).

**Tablo 5.** Yetişkin insanda testisler, overler, lensler ve kemik iliğinin deterministik etki için eşik dozları (ICRP 1990).

Doku ve Etki	Eşik Doz		
	Kısa sürede ve tek fraksiyonda verilen eşdeğer total doz (Sv)	Uzun süreli veya yüksek fraksiyonda verilen eşdeğer total doz (Sv)	Yüksek fraksiyonda veya birkaç yıl uzun süreli verilmiş ise yıllık doz oranı ( $\text{Sv y}^{-1}$ )
Testis			
Geçici sterilite	0,15	NA	0,4
Kalıcı sterilite	3,5-6,0	NA	2,0
Overler			
Sterilite	20,5-6,0	6,0	>0,2
Lens Tesbit edilebilir opazite	0,5-2,0	5	>0,1
Vizüel bozulma	50	>8	>0,15
Kemik iliği Hematopezis depresyonu	0,5	NA	>0,4

NA: Eşik doz, total dozdan çok doz oranına bağlı olduğundan, uygulanamaz.

*Stokastik etkiler*, hücre hasarı meydana getiremeyecek kadar çok düşük dozlarla uzun dönem maruz kalındığında, hücre ölümünden çok hücrenin modifiye olmasına neden olur. Radyasyonun bu tip etkisi kronik veya uzun-zaman periyodunda ortaya çıkar. Modifiye olan hücrelerde uzun dönemde kanser gelişebilir. Vücudun onarım ve defans mekanizması kanser gelişimini önlemede önemli bir etkisi vardır (*Somatik etki*, Karsinogenez). Çünkü doğal kaynaklardan maruz kalınan radyasyon, kanser ve buna bağlı ölümün çok ender nedenidir. Kanser gelişme olasılığı doz artması ile artar fakat, bir eşik doz yoktur. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) ve US National Academy of Sciences (BEIR) gibi uluslararası kuruluşlar, atom bombasından sonra yaşayanlarda ve deneysel çalışmalarda kanser gelişme olasılığı üzerinde araştırmalar yapmışlardır. Bu kuruluşların önerdiği hesaplanmış risk faktörü değerleri, radyasyona bağlı kanser gelişme riskinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Örneğin, ışınlamadan 5 yıl sonra lösemi görülme olasılığı yüksektir. Hesaplama yapabilmek için, tedavi alanı içinde kalan aktif kemik iliği miktarı da önemlidir (5). Buna göre:

1. Lösemnin yıllık insidansı = 1 Gy doz için,  $10^4$  hastanın 0.6 da görülür.
2. Lösemnin ortaya çıkması için 10 yıllık bir periyot gereklidir ve vücudun kısmi yada

tam ışınlaması için 2.5'lik düzeltme faktörü ilave edilir.

3. Buna göre lösemi için hayat boyu risk,  $0.6 \times 10^4 \times 10 \times 2.5 = 0.15 \times 10^4 \text{ Gy}^{-1}$

Hasar, genetik bilgileri taşıyan hücrelerde meydana gelmiş ise, bu daha sonraki kuşağa eklenerek geçer. Stokastik etkinin bu tipine *herediter etki* denir. Herediter etkilerin yaklaşık %80'i dominant ve X kromozomu mutasyonuna bağlıdır. *İn-Utero etki* (Embriyo/fetus gelişiminde bozulma, kanser), *Hayat süresinin kısalması* diğer stokastik etkilerdir. Düşük doz radyasyon İn-utero etkisi hamileliğin çeşitli haftalarında farklılık göstermektedir. İlk 4 haftada, ya hamilelik sonlanır veya normal doğum (pluripotent hücreler) gerçekleşir; 8-25 hafta, 100 mSv altında etki gözlenmez, her 100 mSv'in üzerinde mental retardasyon (30 IQ azalma) gelişebilir. Düşük doz radyasyona bağlı hayat süresinde kısalma hayvan çalışmalarında gösterilmiş olup insanlarda bu tip etki gözlenmemiştir.

Çalışan popülasyon ve genel popülasyonun öldürücü kanser olasılığı, genç popülasyonda sensitivitenin büyük olması nedeniyle farklılık göstermektedir. Herediter hastalık riski anlamlı olmamakla birlikte somatik risklerden yüksektir. Tablo 6 da radyasyona bağlı mental, herediter ve kanser gelişme olasılıkları gösterilmiştir (4).

**Tablo 6.** Radyasyonun çeşitli etkileri için tespit edilmiş olasılıklar (ICRP1990).

Etki	Populasayon	Işınlama Peryodu	Işın Modeli	Olasılık
<b>Düşük LET radyasyon</b>				
<b>Mental etkiler</b>	Fetus	Gestasyonun 8-15 haftasında	Yüksek doz, Yüksek doz oranı	30 IQ noktası Sv <sup>-1</sup>
IQ'da azalma	Fetus	Gestasyonun 8-15 haftasında	Yüksek doz, Yüksek doz oranı	40x 10 <sup>-2</sup> Sv <sup>-1</sup>
Ciddi mental gerilik	Tam populasayon	Bütün jenerasyon	Düşük doz, Düşük doz oranı	1,0x10 <sup>-2</sup> Sv <sup>-1</sup>
<b>Herediter</b>				
Multifaktöriyel hastalık gibi ciddi herediter etkiler	Çalışanlar	Hayat boyu	Düşük doz, Düşük doz oranı	4,0x10 <sup>-2</sup> Sv <sup>-1</sup>
<b>Kanser</b>				
Öldürücü kanser (total)	Genel populasayon	Hayat boyu	Düşük doz, Düşük doz oranı	5,0x10 <sup>-2</sup> Sv <sup>-1</sup>
Öldürücü kanser (total)			Düşük doz veya Yüksek doz veya Düşük doz, düşük doz oranı	2x0x10 <sup>-4</sup> Sv <sup>-1</sup>
Deri (öldürücü)				
<b>Yüksek LET radyasyon</b>				
Eşdeğer veya etkin dozu değerlendirmek için doku ağırlık faktörü kullanıldığında, kanser ve herediter riskler düşük LET radyasyonla aynıdır.				
<b>Radon</b>	Çalışanlar	Hayat boyu		(1-4)x10 <sup>-4</sup> WLM <sup>-1</sup>
Öldürücü akciğer kanseri				(3-10)/Jhm <sup>-3</sup>

### Radyasyondan Korunma Prensipleri

X-ışının keşfinden birkaç ay sonra iyonize radyasyon tıbbi amaçla kullanılmaya başlanmıştır. Bu dönemde yapılan uygulamalarda iyileşmeyen yaralar ve kanserler gözlenmesi nedeniyle, iyonize radyasyonla çalışılan ortamlarda personelin ve diğer ışına maruz kalan şahıslarda doz sınırlaması uygulanması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. *The National Council on Radiation Protection (NCRP)*, *The International Commission on Radiological Protection and Measurement (ICRP)* ve *The International Commission on Radiation Units and Measurement (ICRU)*, gibi uluslararası kuruluşlar ve bunlara bağlı diğer uluslararası örgütler 1925 yılından beri faaliyet gösteren dünya çapında uzman bilim adanlarından oluşan komisyonlardır. Bu organizasyonlar, genel toplum ve radyasyonla çalışanların güvenliği ve maksimum alabilecekleri radyasyon düzeylerini tayin etmekte ve tavsiye niteliğinde karar almaktadır.

Radyasyonun güvenli kullanımı ve radyasyondan korunma ile ilgili uluslararası kuruluşlar tarafından belirlenmiş standartlar ve bu doğrultuda hazırlan yasal uygulamalar oldukça kapsamlıdır.

Genel hatları ile bahsedecek olursak **temel güvenlik standartları**:

1. Ekonomik ve sosyal faktörler göz önüne alınarak ALARA (As Low As Reasonably Achievable: Uygun kontrolü sağlayan olabildiğince düşük doz) prensibi uygulama, mühendislik, tasarım, korunma, havalandırma, muhafaza, uyarı cihazlarının kullanımı gibi her durumda uygulanmalıdır,

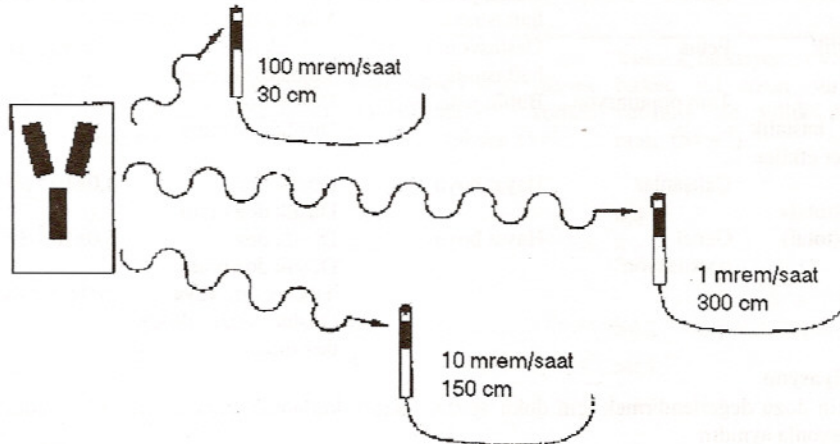
2. Işınlamanın zararlı etkileri göz önünde bulundurularak net bir etki sağlamayan hiçbir radyasyon uygulaması yapılmamalıdır,
3. Kişisel doz limitleri üzerine çıkılmamalıdır.

Aşağıda sayılan 3 ilke radyasyona maruz kalmayı azaltmak için kullanılmaktadır.

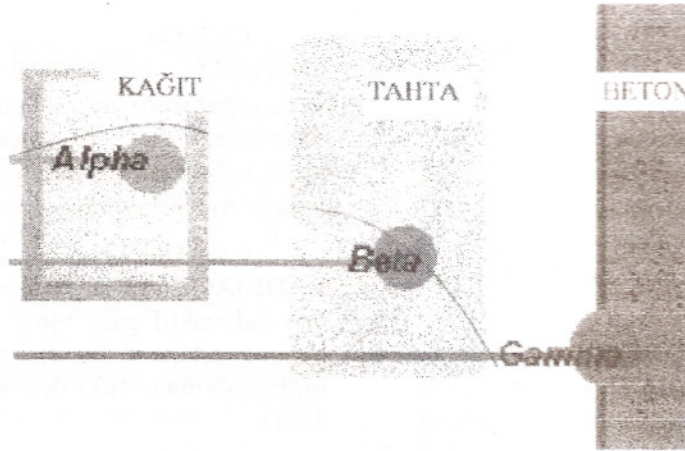
**Zaman:** Eksternal ışın kaynağı alanında harcanan zaman çok kısa olmalıdır. Aynı şekilde gaz halindeki radyoaktiflerle, inhalasyon zamanı ile alınan doz doğru orantılı olduğundan maruz kalma zamanı en az düzeyde tutulmalıdır.

**Uzaklık:** Radyasyon kaynaklarının çoğu noktasaldır ve kaynaktan uzaklığın ters karesiyle orantılı olarak doz azalacaktır ( $1/d^2$ ) (Şekil 2).

**Zırhlıma:** Zırhlıma kaynağın dört yanında yapılmalıdır. Radyodiagnostik ve radyoterapi kliniklerinde en pratik korunma yöntemi, diagnostik X-ışını cihazlarının kurşun bloklarla ve lineer hızlandırıcıların betonarme tesislerle muhafazasıdır. Muhafaza tasarımında ALARA prensipleri doğrultusunda maliyet ve ağırlık minimum tutulmalıdır. Lineer akseleratör tesisleri düzenlenirken, betonarme muhafazanın yanı sıra kurşun gibi 2. materyalin kullanılması büyük avantaj sağlamaktadır. Çünkü, fotoelektrik etkiden çok compton etkisi söz konusudur. Yüksek yoğunlukta beton ile 2 materyalin birlikte kullanıldığında duvar kalınlığı minimum ölçülerde tutulabilir. Saçılan ışınlar değerlendirilmeli, kapılar ve girişler en az düzeyde tutacak şekilde düzenlenmelidir. Radyasyon en sık köşelerde saçılır, bu nedenle labirent sistemi uygulanmalıdır (Şekil 3).



Şekil 2. Uzaklığa bağlı absorbe dozaki azalma oranları.



Şekil 3. Çeşitli ışın tipleri için muhafaza yöntemleri.

Kontrollü alanlar belirlenmeli, bu bölgelere girişi engelleyen fiziksel engeller yapılmalıdır. Vasıflı olmayan personelin bu alanlarda çalışması engellenmelidir. Tüm radyasyon çalışanları kişisel doz izleme cihazı (ör. Fotoğraf filmi, termoluminisant dozimetri veya diğer taşınabilir dozimetri cihazları) kullanmalıdır.

Radyasyonun tıbbi amaçla kullanıldığı disiplinlerde 2 türlü kontrolü alanlar tanımlanmıştır.

1. *Denetimli Alanlar* (Çalışma durumu A): Çalışanların yıllık eşdeğer Doz sınırının 3/10 dan fazla radyasyona maruz kalabilecekleri alandır. Radyasyon uyarı işaretleri bulunmalı ve kişisel doz ölçümü yapılmalıdır.

2. *Gözetimli Alanlar* (Çalışma Durumu B): Çalışanların yıllık eşdeğer doz sınırının 3/10'u aşılması beklenmeyen alanlardır. Hamile olanlar bu alanda çalıştırılmamalıdır çevresel radyasyon ölçümü yapılmalıdır (6).

#### Doz Limitleri

ICRP, 1990 raporunda doz limitlerini iki grup için vermiştir (4).

- 1- Mesleki nedenle ışınlanan şahıslar,
- 2- Halk.

Bu iki grup için doz limitleri Tablo 7 da gösterilmiştir. Çalışanların alacağı doz, 5 yıllık bir period boyunca yılda 20 mSv ile sınırlanmıştır. Bunu dışında, bir yılda efektif dozun 50 mSv geçmemesi gerektiği bir koşul olarak belirtmiştir. 18 yaşından küçüklerde %10 daha azı önerilen maksimum doz sınırlarıdır. Hamile

çalışanların hamilelik süresince, embryo/fötusun aldığı doz kesin bir doğrulukla hesaplanmalıdır, hamileliğini beyan ettikten sonra, hamileliğin kalan süresi boyunca abdominal duvardaki doz 2 mSv'i geçmemelidir. Hastalanma sonucu tıbbi amaçla alınan doz veya doğal radyasyon kaynaklarından aldığı doz mesleki doz içine dahil edilmez.

Tablo 7. Önerilen doz sınırları (ICRP 1990)

Uygulama	Mesleki	Halk
Efektif doz	5 yıllık bir period boyunca tanımlanmış ortalama, yılda 20 mSv	Yılda 1 mSv
Yıllık eşdeğer dozlar		
Lens	150 mSv,	15 mSv
Deri	500 mSv	50 mSv
El ve ayak	500 mSv	-

Halk için izin verilen doz 5 yıllık bir süre boyunca yılda maksimum 1 mSv dir. Bazı spesifik durumlarda, tek bir yılda yüksek etkin doz verilebileceğini fakat 5 yıllık periyot boyunca ortalama 1 mSv'i aşmaması gerektiğini belirtmiştir.

*Komisyon tıbbi ışınlamaların, hastanın yararı için yapıldığından doz sınırlaması getirmemiştir, fakat gereksiz ışınlamadan kaçınılması ve hastaya verilecek doz mümkün olduğunca en az düzeyde tutulmasını önermiştir.* Çok kuvvetli endikasyon yoksa hamilelere tanı veya tedavi amacıyla doz verilmemelidir. Doğurganlık yaşındaki kadınlar hamilelik olasılığı için sorgulanmalı, son menstrasyon tarihi bilinmiyorsa, diğer yöntemlerle kadının hamile olup olmadığı araştırılmalıdır.

### Çeşitli Radyasyon İkaz İşaretleri

**CAUTION, RADIATION AREA:** Kaynağın 30 uzaklığında 5 mrem (50  $\mu$ Sv/h)'den fazla radyasyon dozunun olduğu alan.

**CAUTION, HIGH RADIATION AREA:** Herhangi bir radyoaktif kaynağın 30 cm uzağında 100 mrem (1 mSv/h) den fazla doz oranlı alan.

**DANGER, VERY HIGH RADIATION AREA:** Herhangi bir radyasyon kaynağının 1 m uzağında 500 rem/h (5 Sv/h)'e ulaşabilen doz oranlı alan.

**CAUTION, RADIOACTIVE MATERIAL:** Herhangi bir alan, oda, kabin veya soğutucuda depolanmış önemli miktardaki radyoaktiviteyi belirtmek için kullanılır. Bu işaret radyoaktif kaynağın aktivitesi milli veya mikrocurie düzeyinde ise kullanılır.

**CAUTION, AIRBORNE RADIOACTIVITY:** Herhangi bir yerde bulunan radyoaktif gaz, buhar veya havaya karışmış toz, ortalama doz derive edilmiş hava konsantrasyonunun %25'den fazla olabilir (Şekil 4) (1).

### KAYNAKLAR

1. **Lombardi MH:** Radiation safety in nuclear medicine. Boca Rato, CRC Press, 1999.
2. **Köksal M:** Radyasyon Güvenliği. Ankara, Türkiye atom Enerjisi Kurumu Yayınları.
3. **Plaut S:** Radiation Protection in the X-ray department. London, Butterworth Heinemann. 1993.
4. **ICRP:** Recommendation of International Commission on Radiological Protection. New York, Pergamon Press, 1990.
5. **Dyson N:** Radiaton physics with applications in medicine and biology. New York, Ellis Horwood, 1993.
6. **Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği.** Resmi Gazete. Sayı: 20983, 6 Eylül 1991.