

Tıbbi Uygulamalarda İyonize Radyasyondan Korunmanın Temel Felsefesi ve Prensipleri

Taha Erdoğan¹

Özet

Bir enerji olan radyasyondan korunmada temel felsefe onu iyi ve doğru anlamaktır. Bu enerjiyi doğru anlayarak radyasyonu hem faydalı ve etkin bir şekilde kullanabiliriz hem de zararlarından korunmayı gerçekleştirebiliriz. İyonize radyasyonun tıbbi görüntüleme ve tedavilerde teknolojik gelişmelerle birlikte kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Bununla beraber radyasyonun bu kadar sık kullanılması hem radyasyonla çalışan personel ve hastaların hem de toplumun radyasyon maruziyetinin de artmasına neden olmuştur. Bu nedenle radyasyondan korunma prensiplerinin doğru uygulanması çevre ve toplum sağlığı açısından önem arz etmektedir.

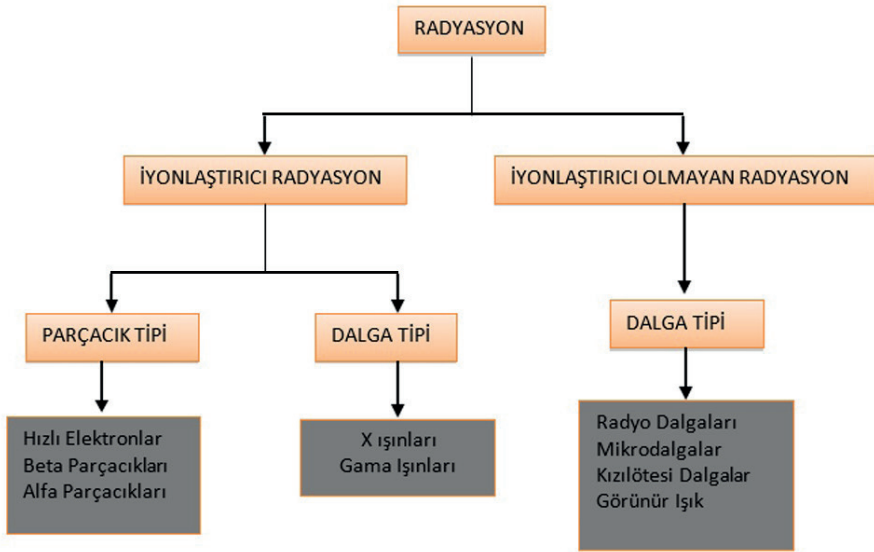
Bu bölümde iyonize radyasyonun hem etkin ve doğru kullanılması hem de zararlarından korunma amacıyla temel korunma felsefesine ve prensiplerine yer verilecek, tıbbi uygulamalara dikkat edilmesi gereken ulusal ve uluslararası radyasyondan korunma kuralları sunulacaktır.

1. Radyasyon Tanımı ve Türleri

Radyasyon, partiküler veya elektromanyetik dalga yoluyla enerjinin transferi olarak tanımlanmaktadır. Radyasyonun sınıflandırılmasında kullanılan temel parametreler; radyasyonun enerjisi, türü ve kaynağıdır. Radyasyona ait enerji paketi, etkileştiği ortamdaki atomun elektronu koparabilecek seviyede değilse iyonize olmayan radyasyon, bu enerji paketi atomun elektronunu koparabilecek seviyede ise iyonize radyasyon olarak sınıflandırılmaktadır. İyonize olmayan radyasyon türleri, radyo dalgaları ile düşük enerjili morötesi ışık frekans bölgesini kapsamaktadır. İyonize radyasyon ise dalga karakterli olan yüksek enerjili mor ötesi ışınlar, x-ışınları,

1 Dr. Öğr. Üyesi, Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Radyasyon Onkolojisi A.D., taha.erdogan@afsu.edu.tr, 0000-0002-3559-8933

gama ışınları, kozmik ışınlar ve parçacık karakterli alfa, beta ve nötron parçacığını kapsamaktadır. (Şekil 1).



Şekil 1. Radyasyon Türleri

1.1. Radyasyon Birimlerinin Tanımları

Hangi tür olursa olsun, radyasyon etkileştiği ortama enerji aktararak çeşitli etkileşimlere yol açmaktadır (1). Radyasyonun etkileştiği ortama aktardığı enerji radyasyon dozu olarak tanımlanmaktadır. Radyasyon dozu iki önemli kavrama bağlıdır; (a) etkileşilen soğurucu ortam (özellikle dokuda) gram başına depolanan enerji yani **soğurulan doz**, (b) radyasyon hasar etkisini tanımlamakta kullanılan **etkin doz eşdeğeridir**. Tüm bunlara ek olarak soğurucu ortam hava ise havada oluşan iyonizasyon miktarının ölçüsü x ve gama ışınları için özel bir tanımlama olan, **radyasyon pozu (ışınlama)** olarak tanımlanmaktadır.

Soğurulan Radyasyon Dozu (D)

Birim kütlede depolanan enerji miktarı soğurulan doz olarak tanımlanmaktadır. Soğurulan dozun konvansiyonel birimi rad'dır (radiation absorbed dose). Dokunun 1 gramında 100 erg enerjinin soğurulmasıdır (2).

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ erg/g}$$

Soğurulan dozun SI sistemindeki birimi gray (Gy) olarak tanımlanmaktadır. Ortamın 1 kilogramında 1 joule enerjinin soğurulmasıdır.

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$$

Etkin Doz Eşdeğeri (H)

Ortamın soğurduğu enerji miktarı aynı olsa da farklı tip radyasyonlar farklı biyolojik hasarlara neden olmaktadır (1). Biyolojik etkiler radyasyonun yolu boyunca dağılımına bağlı olarak değişmektedir (1). Bu sebepten radyasyon tipi etkisi etkin doz eşdeğeri (H) tanımı ile tanımlanmaktadır. Etkin doz eşdeğeri geleneksel birimi rem, SI birimi Sievert (Sv)'dir. Etkin doz eşdeğeri (H), soğurulan doz (D) ile radyasyon tipine bağlı hasarı tanımlayan kalite faktörünün (Q) çarpımı ile belirlenmektedir (2). Radyasyon tipine bağlı olarak değişen kalite faktörü; x-ışınları, gama ve elektronlar için $Q= 1$, farklı enerjideki nötronlar için $Q= 2-20$ arasında değişmektedir, alfa partikülleri ya da fisyon ürünleri için $Q= 20$ 'dir.

$$H \text{ (Etkin Doz Eşdeğeri)} = D \text{ (Soğurulan Doz)} \times Q \text{ (Kalite Faktörü)}$$

$$\text{Sievert (Sv)} = \text{Gray (Gy)} \times Q$$

Radyasyon Pozu (Işınlama)

X ve gama ışınlarının havadaki iyonizasyon miktarı radyasyon pozu (ışınlama) olarak tanımlanır (1). Radyasyon pozu geleneksel birimi roentgen (R)'dir. Roentgen (R), 0,001293 g havada (atmosfer basıncı ve 0° C'deki havanın 1 cm³'ü) 1 elektrostatik yük birimi (1esu = 3,336 x 10⁻¹⁰ C) yük üreten x ve gama radyasyonu miktarıdır (1). Havanın birim kütlesi başına üretilen yük roentgen cinsinden;

$$1R = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg} \text{ şeklinde ifade edilir.}$$

SI sisteminde roentgen yer almamakla birlikte; ışınlamanın SI birim, 1 kg'lık kuru havada 1 C yük üretebilen radyasyon enerjisi olarak tanımlanır ve X ile ifade edilir.

$$X = 1C/kg$$

Özetle depolanan enerji miktarı yani radyasyon dozu hesapları yapılırken (1);

- i. Soğurucu ortama giren radyasyonun birim alan başına miktarı bilinmelidir.
- ii. Radyasyonun soğurulduğu ortamın kütlesi bilinmelidir.
- iii. Farklı etkileşim olasılıkları hesaplanmalıdır.

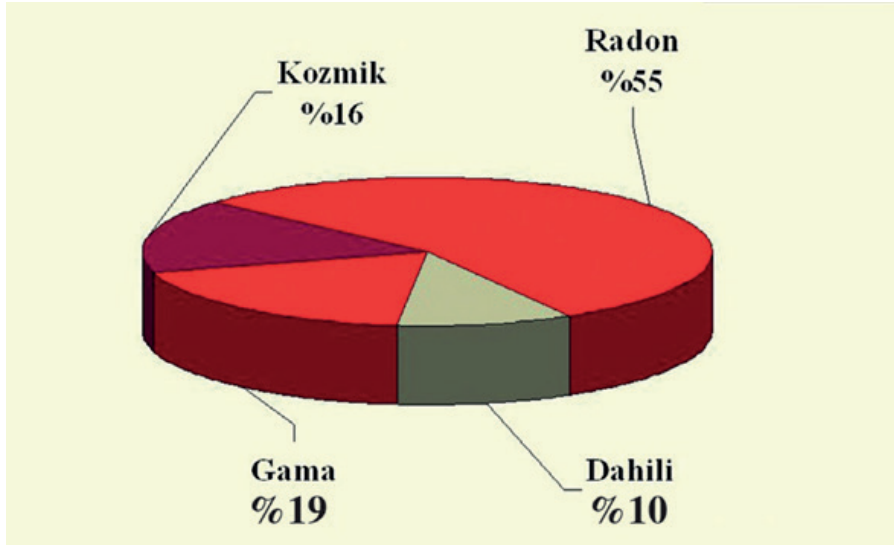
2. Radyasyona Maruz Kalma Şekilleri ve Radyasyon Alanları

Radyasyon kaynakları doğal (%88) ve yapay (%12) kaynaklar olarak temel iki sınıfa ayırabiliriz (Şekil 2) (3).

2.1. Doğal Radyasyon Kaynakları:

Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi'ne (UNSCEAR) göre doğal radyasyon kaynakları 4 farklı sınıfta guruplandırılmaktadır (4):

- Yüksek enerjili kozmik radyasyon.
- Karasal- Yerküre radyasyon (terrestrial).
- Solunan radyasyon (inhalasyon).
- Gıdalar ile alınan radyasyon (ingestion).



Şekil 2. Doğal radyasyon kaynaklarının oluşturduğu dozun dağılımı

Yüksek enerjili kozmik radyasyon; uzay kaynaklıdır; primer olarak proton ve alfa parçacıklarından oluşurlar. Dünya atmosferinin üst katmanlarındaki etkileşimler ikincil bileşenleri yaratır; doz değerlendirmesi açısından daha önemli ikincil parçacıklar müonlar, nötronlar, elektronlar, pozitronlar ve fotonlardır. Kozmik ışınlar maruz kalma yüksekliğe güçlü bir şekilde, enleme ise zayıf bir şekilde bağlıdır. Doz değerlendirmeleri hem ölçümlere hem de irtifaya bağlı olarak radyasyon taşınımı hesaplamalarına

dayanmaktadır. UNSCEAR, yer seviyesine ulaşan kozmik radyasyon kaynaklı yıllık etkin dozu ortalama 0,4 mSv olarak bildirmiştir (3). Yıllık kozmik radyasyon sebebiyle yer kürede aldığımız doz ortalaması 0,39 mSv/yıldır (3).

Karasal-Yerküre radyasyon (terrestrial); doğal olarak oluşan karasal kökenli primordial radyo nüklitler çevremizde bulunan tüm ortamlarda farklı seviyelerde bulunur. Sadece yarı ömürleri dünyanın yaşı ile kıyaslanabilir olan radyonüklitler ve bunların bozunma ürünleri bu materyallerde önemli miktarlarda bulunur. İnsan vücudunun dış kaynaklardan ışınlanması esas olarak U-238 ve Th-232 serilerindeki radyonüklitlerden ve K-40'dan gelen gama radyasyonu ile olur. Bu radyonüklitler vücutta da bulunur ve çeşitli organları alfa ve beta parçacıklarının yanı sıra gama ışınlarıyla da ışınlayabilmektedir. U-235 serisi, Rb-87, La-138, Sm-147 ve Lu-176 gibi diğer bazı karasal radyonüklitler doğada bulunur, ancak o kadar düşük seviyelerde bulunurlar ki, insanlardaki doza katkıları küçüktür.

Yerkürenin kabuğunda radyum elementinin (Ra-226) bozunması sonucunda salınan “radon gazı” doğal radyasyon seviyesi en çok artıran kaynak türüdür. Dünya atmosferinin bir parçası ve soygaz olan radon, topraktan havaya salınır, salınma sonucunda seyrelirse ve birikmez ise sorun teşkil etmez. Bir insanın yıllık maruz kalacağı bütün radyoaktif kaynak dozlarının toplamının (doğal + yapay) %8'i radon bozunum ürünleri kaynaklıdır (4). Dünya genelinde maruz kalınan yıllık etkin dozun ortalama 1,2 mSv seviyesinde olduğu rapor edilmiştir (3).

Solunan radyasyon (inhalasyon): Radyoaktif materyaller toprakta, suda ve besinlerde de bulunmaktadır. Bu maddelerden bazıları yiyecek ve su ile vücuda alınırken radon gibi diğer radyoaktif maddeler yukarıda anlatıldığı gibi solunma yoluyla vücuda girerler. İç maruziyetler, karasal radyonüklitlerin solunması ve yutulması yoluyla alınmasından kaynaklanır. Solunum yoluyla alınan dozlar ^{238}U ve ^{232}Th bozunma zincirlerinin radyonüklitlerini içeren toz parçacıklarının havadaki varlığından kaynaklanır (3). Solunum yoluyla maruziyetin baskın bileşeni, kısa ömürlü bozunma ürünleri olan radondur.

Gıdalar ile alınan radyasyon (ingestion): Sindirim yoluyla maruz kalınan dozlar esas olarak K-40, C-14 doğal radyoaktif elementi, gıdalarda ve içme suyunda bulunan U-238 ve Th-232 serisi radyonüklitler kaynaklıdır. Yetişkinler için vücuttaki potasyum içeriği yaklaşık % 0,18, çocuklar için ise yaklaşık % 0,2'dir. K-40'ın vücuttaki dokularda yıllık eşdeğer dozları yetişkinler ve çocuklar için sırasıyla 165 ve 185 μSv 'dir (3). Karasal radyonüklitlerin solunması ve sindiriminden kaynaklanan toplam doz

310 μSv 'dir; bunun 170 μSv 'i K-40'dan, 140 μSv 'i ise U-238 ve Th-232 serisindeki uzun ömürlü radyonüklidlerden kaynaklanmaktadır (3).

2.2. Yapay Radyasyon Kaynakları:

Geçmişte radyasyona maruziyette sebebi doğal radyasyon kaynaklarıydı. Günümüzde doğal kaynaklara ek olarak yapay radyasyon kaynakları ek bir doz yükü getirmiştir. Çünkü yapay radyasyon kaynakları ile radyasyon hem daha sık hem de daha etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bunun başlıca nedenlerinden en önemlisi tıbbi tanı ve tedavi yöntemlerine aittir. Örneğin; bir çok hastalığın tanısında bilgisayarlı tomografi (BT) uygulamalarına oldukça sık başvurulmaktadır. Uygulama alanlarının artması bu alanda çalışan personel, hasta ve toplum radyasyon maruziyeti arttırmış radyasyondan korunmaya ait düzenlemelerin daha ciddi ve daha rijit denetimlere tabii olması ihtiyacını da doğurmuştur. Tıbbi uygulamalar kaynaklı x- ışınları kullanımı yıllık etkin doz değeri 0.4 mSv yapay radyasyon kaynağıdır (3).

3. Radyasyon Alanlarının Sınıflandırılması

Radyasyon alanı, her hangi bir radyasyon tesisinde maruziyet dozunun yıllık 1 mSv değerini geçme olasılığı bulunan alan olarak tanımlanmaktadır. Radyasyon alanları radyasyon düzeylerine göre gözetimli ve denetimli alan olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmaktadır (3,4,5,6,7,8,9,10).

a. Gözetimli Alan: Radyasyon çalışanları için doz sınırlarının yıllık 1/20'sinin aşılma olasılığı ve 3/10'unun aşılması beklenmeyen, kişisel doz ölçümünü gerektirmeyen ve çevresel radyasyonun izlenmesini gerektiren alanlardır (3,4,5,6,7,8,9,10).

b. Denetimli Alan: Radyasyon görevlilerinin giriş ve çıkışlarının özel denetime, çalışmalarının radyasyon korunması bakımından özel kurallara bağlı olduğu, çalışanların ardışık beş yılın ortalaması yıllık doz sınırlarının 3/10'undan fazla radyasyon dozuna maruz kalabilecekleri alanlardır. Bu alanlarda kişisel dozimetre kullanılması ve alanın radyasyon seviyesinin alan monitörleri ile kontrol edilmesi zorunlu olup, alan girişlerinde, gözetimli alanlarda olduğu gibi radyasyon alanı olduğunu gösteren radyasyon simgesi ile dozimetre kullanımının zorunlu olduğunu ve alanın denetimli alan olduğunu gösteren uyarı yazısının bulunması gerekir (3,4,5,6,7,8,9,10).

4. Radyasyondan Korunma Felsefesi

Bir önceki bölümde bahsedilen tıbbi tanı ve tedavi uygulamalarında çalışan personel, hasta ve toplum radyasyon maruziyetinde radyasyondan korunmanın temel ilkeleri; gerekçelendirme (justification) tanı ve tedavi

amaçlı ışınlamalarda uygulamaların gerekliliği, optimizasyon (ALARA-As Low As Reasonably Achievable) mümkün olabilecek en düşük dozun uygulanması ve doz seviyeleri dikkate alınmalıdır (11). 1956 yılında Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICRP), “Bir kişi tarafından izin verilen maksimum maruziyet dozu, bu kişide somatik etkiler meydana getirmeyecek ve meydana gelecek genetik hasarlarda en alt seviyede olan dozdur.” şeklinde ifade etmiştir. ICRP doz tavsiyelerini yıllara göre güncelleyerek en son 2007 yılında yayınladığı ICRP103 numaralı raporunda, “ardışık 5 yılın ortalaması 20 mSv/yıl çalışanlar, 1mSv/yıl toplum” şeklinde sınırlamıştır. Ülkemizde 1967 yılında 6821 sayılı kanun ile Radyasyon Sağlığı Tüzüğü oluşturulmuştur. Tüzük ile radyasyon içeren faaliyetlerde ruhsatlandırma, yasal takip ve iptal yetkisi Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) komisyonuna verilmiştir.

Son yıllarda nükleer enerji alanında yeni atılımlar neticesinde; TAEK bünyesinde yürütülmekte olan düzenleyici ve denetleyici faaliyetler, uluslararası gereklilikler de dikkate alınarak 02.07.2018 tarihli ve 702 sayılı Nükleer Düzenleme Kurumunun Teşkilat ve Görevleri ile Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun Hükmünde Kararname kapsamında kurulan Nükleer Düzenleme Kurumu (NDK) bünyesinde yeniden düzenlenmiştir (12).

5. Radyasyondan Korunmanın Temel Prensipleri

5.1. Genel Radyasyon Güvenliği Kuralları

Radyasyon doğası gereği görülemez, duyulamaz, tadılamaz, koklanamaz ve hissedilemez, özetle duyu organlarımızla varlığını tespit edemeyiz. Bu sebeple dış ışınlama maruziyetini en aza indirebilmek için üç temel kurala dikkat edilmesi gerekmektedir.

Zaman Kuralı: Radyasyondan alınan doz miktarı ile o noktada geçirilen zaman doğru orantılıdır. Radyasyon ile yapılan işlemlerde radyasyon kaynağı ile geçirilen süre azaldıkça maruz kalınan doz da azalır. Yapılacak her işlem önceden tasarlanmalı ve planlanmalıdır, böylelikle radyasyon alanında geçirilecek süre hesaplanmalı ve azaltılması için gerekli düzenlemelere gidilmesi gerekmektedir.

Uzaklık Kuralı: Radyasyon kaynağından uzaklaştıkça mesafenin karesi ile ters orantılı olarak radyasyonun şiddeti azalmaktadır (ters kare kanunu). Bu sebepten; radyasyon çalışanı personel radyasyon kaynağından mümkün mertebe uzak mesafede çalışması alacağı dozu azaltacak önemli bir parametredir.

Zırhlama Kuralı: Zaman ve uzaklık kurallarına ek olarak alınan radyasyon dozunu azaltmak için kaynak ve uygulayıcı arasına konulan engele zırhlama denir. Kullanılan radyasyon türüne göre uygun zırhlama materyali kullanılması bu noktada oldukça önemlidir. Çünkü radyasyon türü ve enerjisine göre zırhlama materyalinin etkileşme olasılığı da değişmektedir.

6. Radyasyondan Korunmanın Temel İlkeleri

ICRP (International Commission of Radiation Protection) ve IAEA (International Atomic Energy Agency) tarafından iyonlaştırıcı radyasyonların zararlı etkilerinden korumak için bazı ilkeler önermiştir (11,12).

Radyasyon Uygulamalarının Gerekliliği (Justification)

Bu ilkeye göre, radyasyon kullanılarak yapılacak uygulamaların zararları göz önünde bulundurulmalı ve net fayda sağlamayan hiçbir radyasyon uygulamasına izin verilememelidir. Tanı ve tedavi amacıyla iyonlaştırıcı radyasyon kullanılmasını gerektiren herhangi bir tıbbi girişim veya işlemin yapılması ile elde edilecek yararın, bunların kullanılmasından sonra oluşabilecek risklere göre daha fazla olduğu ispatlanması gerekmektedir (13).

Optimizasyon (ALARA) İlkesi

ALARA (As Low As Reasonably Achievable) mümkün olabilen en düşük dozun alınması sağlanmalıdır. Bu ilkeye göre yasal doz sınırları sağlanmalı, çalışan personel, hastanın ve toplumun yani hasta yakınlarının maruz kalacağı radyasyon dozları bu sınırlardan altında ve mümkün olan en düşük seviyede tutulmalıdır (10).

Doz Limiti İlkesi

Bir kişinin alabileceği etkin eş değer doz bir limit dâhilinde sınırlandırılmalıdır. Kümülatif kanser yükü ve kalıtsal aktarımda radyasyonun stokastik etkilerini kontrol altında tutabilmek amacıyla bu sınırlandırmaya ihtiyaç duyulmuştur. Doğal radyasyon ve tıbbi işinlamalarda alınan doz değerleri, doz sınırlarının uygulanmasında dikkate alınmamaktadır (13).

Radyasyon Görevlileri, Toplum Üyesi Kişiler ve Stajyerler İçin Doz Sınırları

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) şu an ki Nükleer Düzenleme Kurumu (NDK) tarafından uluslararası standartlara uygun olarak uyulması zorunlu yıllık doz sınırları sağlığa zarar vermeyecek şekilde Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği ile halk, radyasyonlu alanda çalışan personel, hamile personel ve stajyerler için belirlenmiştir (Tablo 1, Tablo2, Tablo3). Yıllık toplam doz hesaplanırken dış ve iç işinlamalardan alınan dozlar

toplandır. Kişilerin denetimli alanda çalıştıkları radyasyon kaynaklarından dolayı belirlenen sınırların üzerinde doz almalarına müsaade edilmez, tıbbi ışınlamalar ve doğal radyasyon nedeniyle alınan dozlar toplam doza eklenemez (13).

Tablo 1. Halk için doz limitleri

Halk İçin Doz Limitleri	
Yıllık Etkin Doz	1 mSv/yıl
Lens	15 mSv/yıl
Cilt	50 mSv/yıl

Tablo 2. Radyasyonlu alanda çalışan personel için yıllık doz limitleri

Radyasyonlu Alanda Çalışan Personel İçin Yıllık Doz Limitleri		
	Ardışık 5 Yıllık Ortalaması	Tek Yıl
Yıllık Etkin Doz	20 mSv/yıl	50 mSv
Lens	20 mSv/yıl	50 mSv
Cilt	500 mSv/yıl	-
Hamile Personel	5 mSv/yıl	5 mSv

Tablo 3. Stajyerler için doz limitleri

Stajyerler İçin Doz Limitleri			
Yaş Grubu	16 yaş	16-18 yaş	18 yaş(14)
Yıllık Etkin Doz	Halk için doz limitleri geçerlidir	6 mSv/yıl	Radyasyonlu alanda çalışan personel için yıllık doz limitleri geçerlidir
Lens		15 mSv/yıl	
Cilt		150 mSv/yıl	

Sonuç olarak herhangi bir radyasyon uygulamasında, iyonlaştırıcı radyasyonun bilinçli ve kontrollü olarak kullanılması gerekli olup, yasal düzenlemeler dikkate alınmalıdır. Bu düzenlemeler; mesleki, tıbbi ve bilimsel çalışmalara ait ışınlamalarda radyasyondan korunmanın ve radyoaktif kaynakların güvenliğinin sağlanmasına ilişkin kuralları standart protokoller ile sınırlandırılarak, yasal sınırlarını belirler. Radyasyon çalışması olarak isimlendirilen personel eğitilmiş, bilinçli ve deneyimli olmalıdır. Ayrıca hem kendilerinin hem de çevre ve toplumun radyasyondan korunmada sorumlu kişilerdir.

Kaynaklar

1. James E.Martin. Radyasyon ve Radyasyondan Korunma Fiziği, Çeviri editörleri; Tanır AG, Bölükdemir MH,Koç K. Palme Yayınevi. 2013;7:305-8.
2. ICRP (1977). Recommendations of the ICRP. ICRP Publication 26. Ann. ICRP 1.
3. UNSCEAR (2008). (United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation). Sources and effects of ionizing radiation. United Nations, New York.
4. UNSCEAR (2000). (United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation). Sources, effects and risk of ionizing radiation. United Nations, New York.
5. Değer M, Demir M, İnce M, vd. Kalite Kontrol, Enstrümantasyon ve Radyasyon Güvenliği Komitesi Yönergesi. Bölüm III. Radyasyon Güvenliği. Türk J Nucl Med 2004;13:151-169.
6. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği. Resmi Gazete Tarihi: 24.3.2000 Resmi Gazete Sayısı: 23999, Revizyon tarihi: Değişik: RG-3/6/2010-27600.
7. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. Nükleer Tesislerde Radyasyondan Korunma Yönetmeliği. Resmi Gazete 29.05.2018/30435.
8. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA General Safety Requirements 2014;3:10-1.
9. Applying Radiation Safety Standards in Nuclear Medicine, Safety Reports Series No. 40, IAEA, Vienna, 2005.
10. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. Radyasyon Alanlarının Sınıflandırılmasına İlişkin Kılavuz (RSGD-KLV-005).
11. International Atomic Energy Agency (IAEA). Safety Series No:115. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Standards,2014.
12. <https://www.ndk.org.tr/ndk-hakkında>
13. Dirican B, Becerir HB, Olacak N, vd. Radyoterapi Fiziği. Radyasyondan Korunma Felsefesi ve Prensipleri. Nobel Yayınevi. 2020;59:937,57.
14. Report of Amendments during 1956 to Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP) Radiation Research, Vol. 8, No. 6, June 1958.