



İyonize Radyasyon Uygulamaları İçin Güvenlik ve Korunmaya Yönelik Genel Kavramlar

Celal Tuğrul ZEYREK*¹

¹Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, 06100, Beşeveller-Ankara

(Alınış Tarihi: 15.09.2013, Kabul Tarihi: 15.11.2013)

Anahtar Kelimeler

Radyasyon
Deterministik etki
Doz limitleri
ICRP
Radyasyondan korunma

Özet:Bu çalışmada iyonlaştırıcı radyasyonla ilgili bilimsel yapıda ve uluslararası geçerliliği olan iyonlaştırıcı radyasyon uygulamaları için güvenlik ve korunmaya yönelik genel kavramlar sunularak, ülkemizdeki uygulamalarına yönelik bilgiler verilmiştir. Radyasyondan korunma sistemin ana hedefi, radyasyon görevlilerinin, halkın ve çevrenin radyasyonun zararlı etkilerine karşı korunmasıdır. Amacı ise radyasyonun deterministik etkilerini (cilt yanıkları, katarakt, ölüm gibi) önlemek ve stokastik (kanser, genetik etkiler) etkilerin meydana gelme olasılığını en aza indirebilmektir. Radyasyon ışınlamalarına yönelik olarak insan aktiviteleri ve uygulamaları için üç temel gereksinimi esas alan bir korunma sistemi tavsiye edilir. Bu gereksinimler ülke bazında sosyal ve ekonomik faktörleri de içerir. Uygulamanın Doğrulanması (justifikasyon-net fayda), Korunmanın Optimizasyonu (en az doz ile en iyi sonuç) ve Doz Sınırlarının uygulanması, radyasyondan korunma sisteminde yer alan üç temel prensiptir. Bu prensiplere göre radyasyonun zararlı etkilerini telafi edecek şekilde yeterli fayda sağlamayan radyasyona maruz kalmayı gerektiren hiçbir uygulamaya izin verilmemesi, bu kapsamda olacak olan uygulamalarda ise en az doz ile en iyi sonuca ulaşılması ve tıbbi tanı/tedavi haricinde bireylerin ışınlandığı tüm uygulamaların sonucunda alacakları dozların sınırlandırılması gerekmektedir.

The Concepts for Safety and Protection in Applications of Ionizing Radiation

Keywords

Radiation
Deterministic effect
Dose limits
ICRP
Radiation protection

Abstract: In this study, the concepts for safety and protection in applications of ionizing radiation are presented and the information is given to applications in our country. Radiation irradiation of human activities on interest and the need for applications that are based on three basic requirements is recommended in the system: Justification, Optimization and Dose Limits. According to these principles, no practice involving exposure to radiation should be adopted unless it produces at least sufficient benefit to the exposed individuals or to society to offset the radiation detriment it causes (Justification). In relation to any particular source of radiation within a practice, the dose to any individual from that source should be below an appropriate dose constraint, and all reasonable steps should be taken to adjust the protection so that exposures are as low as reasonably achievable, economic and social factors being taken into account (Optimization). A limit should be applied to the dose received by individual as the result of all the practices (except for medical diagnosis or treatment) to which he or she is exposed (Dose Limits).

* İlgili yazar: zeyrek@taek.gov.tr

1. Giriş

Radyasyon, evrenin var olduğu andan günümüze kadar doğal olarak her yerde bulunmaktadır. 20. yüzyılın ortalarında bilim ve teknolojiadaki muazzam ilerleyiş sonucunda yapay radyasyonla da tanışan bizler, radyasyonun zararlı etkilerine karşı hem kendimizi hem de gelecek nesilleri de kapsayan bir radyasyondan korunma sistemine ihtiyaç duymaktayız. Böylece öncelikle radyasyonla çalışanların, sonrasında halkın ve daha sonrasında da çevrenin radyasyonun zararlı etkilerine karşı korunması hedeflenir. Sistemin amacında ise radyasyonun deterministik etkilerini (cilt yanıkları, katarakt, ölüm gibi) önlemek ve stokastik (kanser, genetik etkiler) etkilerin meydana gelme olasılığını en aza indirebilmektir.

Doğal radyasyonun yanı sıra, iyonlaştırıcı radyasyona mesleki olarak maruziyet, endüstride, tıpta, eğitim ve araştırma alanlarında, nükleer güç üretimi ve yakıt çevrimi gibi alanlardaki çeşitli insan faaliyetlerine ait ışınlanmalardan kaynaklanmaktadır. Bu uygulamalarda bulunan çalışanların, etkili bir şekilde radyasyondan korunmaları ve güvenliklerinin sağlanmasına yönelik en etkin uluslararası kuruluşlardan ilk ikisi Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) ve Uluslararası Çalışma Örgütüdür (ILO). IAEA'nın "Radyasyondan Korunma ve Radyasyon Kaynaklarının Güvenliği" isimli yayınında konu ile ilgili temel ilkeler yer almaktadır (IAEA, 1996). Çalışanlara yönelik Radyasyondan korunmaya yönelik tavsiyeler ise Uluslararası Radyoloji Korunma Komisyonu (ICRP) tarafından yayımlanmaktadır (ICRP 1997, ICRP 2007). İyonlaştırıcı radyasyonun güvenli ve etkin uygulamaları için, referans verileri, ilgili büyüklükleri ve birimleri, terminolojiyi, ölçüm yöntemlerini, tıbbi tanı ve tedavide, bilim ve teknolojiye, bireylerin ve toplumların radyasyondan korunmalarına yönelik, uluslararası kabul görmüş olan önerileri geliştirmek ve yayımlamak amacıyla, Uluslararası Radyasyon Birimleri ve Ölçümü Komitesi (ICRU) kurulmuştur (ICRU, 1928). UNSCEAR (The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), radyasyonun sağlık etkileri ile ilgili bilimsel çalışmalar yapan, Birleşmiş Milletler teşkilatının bir resmi komitesi olarak 1955 yılında kurulmuş olan bu konudaki diğer önemli bir kuruluştur (UNSCEAR, 1955). UNSCEAR, insanların çevrelerinde bulunan ve maruz kaldıkları doğal ve yapay radyasyon kaynaklarını, bu kaynaklar nedeniyle radyasyon ışınlanmalarını ve ilgiliriskleri düzenli olarak gözden geçirmektedir. Bulgularını Birleşmiş Milletler Genel Kuruluna belirli periyotlarda rapor etmektedir. Yukarıda bahsi geçen bu önemli kuruluşlardan gelen bilimsel sonuçlara dayalı olarak, dünyada iyonlaştırıcı radyasyonla ilgili tüm çalışmalara yönelik gerek teknik gerekse güvenlik standartları oluşturulmakta ve güvenlik standartları ile tavsiyelere bağlı olarak her ülke

öncelikle ekonomik ve sosyal yapısını dikkate alarak yasal mevzuatlarını belirlemektedirler.

İyonlaştırıcı radyasyonun başta sağlık olmak üzere endüstri, malzeme, uzay, çevre, tarım, gıda ve hayvancılık gibi pek çok alanda insanlığın yararına olan uygulamalarının bulunmasının yanında, radyasyondan korunma sisteminin uygulanmaması durumunda ise yalnızca günümüzdeki nesilleri değil, bir sonraki nesilleri de büyük tehlike altına alacak zararlı etkileri olabileceği hiçbir zaman unutulmamalıdır. Bu nedenle radyasyondan korunma sistemi aşağıda detayları ile verileceği üzere, bir sonraki nesillerin de radyasyonun zararlı etkilerinden korunmasına yönelik olarak kurulmuş, dünyanın en etkin korunma sistemlerinden birisidir.

Bu çalışma ile dünyada iyonlaştırıcı radyasyonla ilgili bilimsel yapıda ve uluslararası geçerliliği olan bir sistemin detayları sunulurken, ülkemizdeki uygulamalarına yönelik bilgiler verilmiştir.

2. Radyasyon Kaynakları

Radyasyon (veya ışınım), elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar biçimindeki enerji yayımı veya aktarımıdır. Atomlardan elektron sökebilen enerjiye sahip radyasyon türüne iyonlaştırıcı radyasyon adı verilmektedir. Bu makalede yer alan radyasyon ile ilgili bilgiler iyonlaştırıcı radyasyon çeşidine ait olduğu unutulmamalıdır. İyonlaştırıcı radyasyon kaynakları,

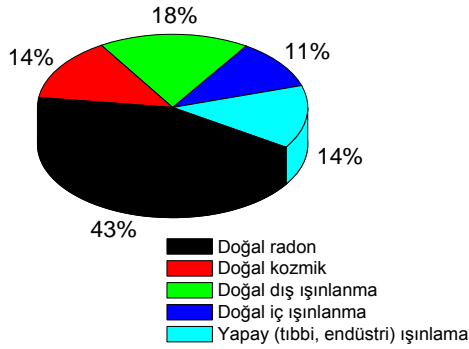
- *Doğal radyasyon kaynakları* (kozmetik ışınlar, yerküreden gelen gama ışınları, havadaki radon, yiyecek ve içeceklerdeki doğal radyonüklitler),
- *Yapay radyasyon kaynakları* (tıbbi, endüstriyel uygulamalar, nükleer silah denemeleri veya nükleer kazalar sonucundaki atmosferdeki radyoaktif serpinitler)

olarak iki grupta toplanır.

Doğal kaynaklardan gelen radyasyon değerleri biyolojik etki açısından kayda değer olmamakla birlikte ciddi anlamda da değiştirilemez olarak kabul edilmekte olup, doğal fon radyasyonu olarak adlandırılır. Uranyumun bozunum ürünü olan radon gazının bozunum ürünlerinden kaynaklanan dozlar önemli ölçüdedir. Ancak yaşadığımız mekân içerisinde basit bir havalandırma ile bu dozu azaltmak kendi elimizdedir.

Kazalar haricinde yapay radyasyon kaynaklarının kontrolü, üretim işleminin durdurulabilir veya değiştirilebilir olması nedeniyle daha kolaydır. Önemli olan radyasyonun faydalı uygulamalarında

daima fayda-zarar dengesini sağlamak gereklidir. Bu denge Radyasyondan korunma sisteminde yer alan ve aşağıda daha detaylı açıklanacak olan optimizasyon ilkesinin uygulanması ile sağlanır (ICRP, 2007). Ülke bazında ve genel olarak tüm kaynaklardan alınan dozlarla ilişkin veriler bu komite tarafından düzenli olarak değerlendirilmekte ve yayımlanmaktadır. UNSCEAR 2000 raporuna göre dünya nüfusuna bağlı ortalama yıllık doz toplamda yaklaşık olarak 2.8mSv'tır (UNSCEAR, 2000). Bu değer 2.4mSv'ı doğal radyasyon kaynaklarından, 0.4 mSv'ı ise tıbbi x-ışınları ile radyasyona maruziyetten ileri gelmektedir. Bu ortalama değer 85'inden fazlası doğal radyasyon kaynaklarından, yaklaşık bunun yarısı ise evlerdeki radon bozunum ürünlerinden kaynaklanmaktadır. Tıbbi ışınlamalar ise %14'lük oranın %99'unu oluştururken, %1den daha küçük bir oran endüstri ve nükleer santraller ile nükleer denemeleri kapsamaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Radyasyon kaynakları tarafından ışınlama yüzdeleri (UNSCEAR, 2000)

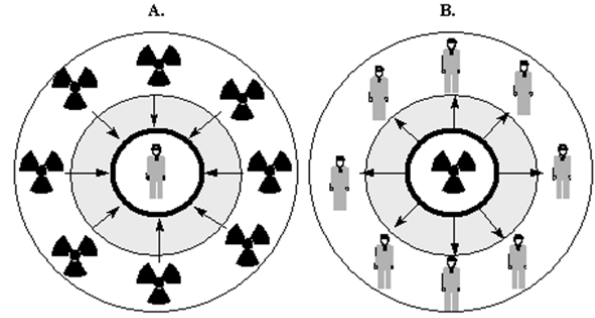
3. Radyasyondan Korunma Sisteminin Amacı, Gereklilikleri ve Kapsamı

Radyasyon korunma sistemi gereği insanlar radyasyon uygulaması gerektiren tüm ışınlamalara yönelik doz sınırlarıyla ve risk değerlendirmesiyle kontrol altına alınması gerekmektedir. Burada amaç hiç kimsenin istenmeyen radyasyon riskine maruz bırakılmaması amaçlanmaktadır. Radyasyondan korunma sisteminin hedefi, radyasyon görevlilerinin, halkın ve çevrenin radyasyonun zararlı etkilerinden korunmasıdır. Radyasyondan korunma ve güveniğin sağlanması ise ancak konu ilgili bir sistemin kurulması ve sürekliliğinin sağlanmasıyla mümkündür. Sistem, radyoaktivite/doz ile ilgili niceliklerin ve birimlerin bilinmesini, gerekli

ölçümlerin yapılabilmesini, ölçüm sonuçlarının değerlendirilebilmesini gerektirir.

Işınlanmalarla ilgili tüm olayların tam olarak kontrol altına alınmaması riskinden dolayı kişisel doz ve risk sınırları kullanılmaktadır. İnsanlar üzerindeki biyolojik etkiler stokastik ve deterministik olmak üzere iki önemli grupta incelendiğinden, bu doz ve risk sınırları da bu etkiler için ayrı ayrı belirlenmiştir. Dolayısıyla radyasyondan korunma sistemdeki amaç, deterministik etkilerin (ölüm, cilt yanıkları, katarakt, kısırlık gibi) önlenmesi, stokastik etkilerin (kanser, genetik etkiler gibi) meydana gelme olasılığının en aza indirilmesidir (IAEA, 2004).

Radyasyondan korunmanın etkinliği, gereksiz ışınlanmaya neden olan kaynağa veya kaynaklardan bir kişi tarafından alınan doza bağlı olarak ifade edilir. Buna göre radyasyondan korunma sistemi, kişiye ilişkin sistem ve kaynağa ilişkin sistem olmak üzere iki ana başlıkta uygulanır (Şekil 2).



Şekil 2. Radyasyondan korunma sistemi; A. kişiye ilişkin sistem, B. kaynağa ilişkin sistem

Kaynağa ilişkin sistem hem maliyet hem de kaynakların kullanılabilirliği açısından uygulaması kolay ve etkin bir sistemdir. Bu sistemde kaynak zırhlanarak güvenliği sağlanır. Kaynakların zırhlanması veya kontrolü zor ise bu kez kişiye ilişkin sistem uygulanarak kişiler kontrol altında tutulur.

Mesleki, toplumsal ve tıbbi olmak üzere radyasyona maruz kalma (ışınlama) çeşitleri üç yolla olabilmektedir. Sistem ne olursa olsun kontrol daima öncelikli olarak radyasyon kaynağındadır. Burada tanı ve tedavinin temel tıbbi fonksiyonu korunmadan daha öncelikli geldiği unutulmamalıdır.

Radyasyondan korunma sisteminde, en önemli hususlar arasında radyoaktivite/doz ile ilgili niceliklerin ve birimlerin bilinmesi, gerekli ölçümlerin yapılabilmesini, ölçüm sonuçlarının değerlendirilebilmesi gelmektedir.

3.1. Eşdeğer doz ve etkin doz birimleri

Farklı iyonlaştırıcı radyasyon tiplerinin biyolojik ortamda etkileşimi ve dolayısıyla bırakacağı biyolojik etkileri farklıdır. Aynı miktarda soğurulmuş dozlar dolayısıyla eşit miktarda depolanan enerji, aynı biyolojik etkiye neden olmayabilir. Örneğin aynı dokuda aynı doz değerinde alfa, beta, nötron parçacıklarının veya fotonların oluşturacakları biyolojik etkiler farklı olacaktır. Bu nedenle biyolojik dokuda iyonlaştırıcı radyasyonun farklı tiplerinin vereceği hasar potansiyellerini aynı prensipler esas alınarak inceleyebilmek amacıyla, yeni bir niceliğe ihtiyaç duyulmuştur. Bu yeni nicelik "eşdeğer doz" olup, birimi de İsveçli fizikçi Rolf Sievert' e (1896 - 1966) atfen "sievert" dir.

Radyasyonun doku üzerindeki biyolojik etkisini yani eşdeğer dozu hesaplayabilmek için, her radyasyon çeşidi ve enerjisi için bir kalite çarpanı olan radyasyon ağırlık faktörleri Q_R tanımlanmıştır (ICRP Publication 92, 2003). Böylece radyasyon tipinin doz şiddeti ile beraber bağlı biyolojik hasar oluşturma etkinliği hesaba katılmış olur.

Çizelge 1'de görüldüğü üzere, fotonlar ve beta parçacıkları için radyasyon ağırlık faktörü 1 olup, bu radyasyon tipleri için soğurulmuş doz ve eşdeğer doz sayısal olarak eşit olmaktadır. Alfa parçacıkları ve 100 keV-2 MeV enerji aralığındaki nötronlar için bu faktör 20'dir, böylece eşdeğer doz soğurulmuş dozun 20 katı olacaktır.

Tablo 1. Radyasyon ağırlık faktörleri (Q_R)

Radyasyon Tipi		Q_R
Foton (x ve γ), β parçacıkları		1
Nötron	$E_n < 10$ keV	5
	10 keV-100keV	10
	100 keV-2 MeV	20
	2 MeV-20 MeV	10
Proton	$E_p > 2$ MeV	5
	α -parçacıkları	20

İnsan vücudunun farklı organlarının ve dokularının iyonlaştırıcı radyasyona karşı hassasiyetlerinin farklı olması eşdeğer dozu hesaplamakla birlikte, insan vücudundaki toplam biyolojik dozu temsil eden ve ağırlıklı eşdeğer dozların toplamı olan "etkin dozu"

hesaplama önemli bir etkidir. Etkin dozu belirlemek için her organ için belirlenmiş farklı doku ağırlık faktörleri kullanılır (W_T) (ICRP Publication 92, 2003). Çizelge 2'de doku veya organlara ait doku ağırlık faktörleri verilmiştir.

Etkin doz radyasyonun enerji ve tipini dikkate alırken aynı zamandan doku ve organ hassasiyetlerinin de dikkate alındığı ve böylece, biyolojik doz değerini, vücuttaki çeşitli doz eşdeğerlerinin tek bir skaler değer ile ifade edilmesini sağlayan önemli bir radyasyon güvenliği niceliğidir.

Organ eşdeğer dozunun (H_T) ve etkin dozun (E) matematiksel ifadeleri;

$$H_T = \sum_R Q_R \cdot D_{T,R} \quad (1)$$

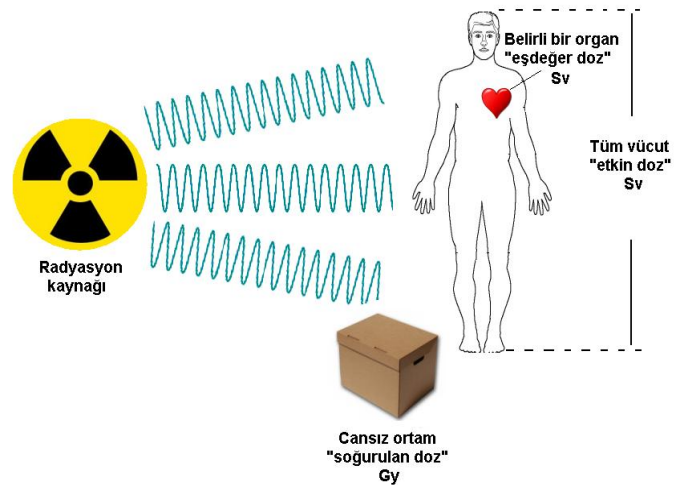
$$E = \sum_T Q_T \cdot H_T \quad (2)$$

şekindedir. SI birimi sievert (Sv), özel birimi ise rem'dir. Sv ile rem arasında

$$1 \text{ Rem} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

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

dönüşümü vardır. Böylece bu son nicelik ve birimlerle, iyonlaştırıcı radyasyonla çalışanların veya toplum bireylerinin toplam radyasyon dozunun ifade edilmesi sağlanmıştır (Şekil 3). Bir grup veya toplumdaki her bireyin herhangi bir radyasyon kaynağından aldığı etkin dozun toplamına da "kollektif etkin doz" adı verilir. Kollektif etkin doz değeri yıllık ortalama etkin doz değeri ile kişi sayısının çarpımı sonucundan elde edildiğinden birim olarak "insan-sievert", sembolü de insan-Sv'dir.



Şekil 3. Soğurulan doz, eşdeğer doz ve etkin doz**Tablo 2.** Doku ağırlık faktörleri (W_T)

Doku veya organ	Doku ağırlık faktörü (W_T)
Yumurtalık ve testis	0.20
Kırmızı kemik iliği	0.12
Kalın bağırsak	0.12
Akciğer	0.12
Mide	0.12
Mesane	0.05
Meme	0.05
Karaciğer	0.05
Yemek borusu	0.05
Tiroit	0.05
Cilt	0.01
Kemik yüzeyi	0.01
Diğer	0.05
Toplam	1.00

3.2. ICRP Doz sınırlama sistemi

Radyasyondan korunma sistemi, ICRP' nin belirlemiş olduğu üç önemli ilke üzerine kurulmuştur. Bunlar; 1- *Doğrulama*: Radyasyon uygulamasındaki net faydayı, 2- *Optimizasyon*: En az maruziyet ile uygulamada en yüksek sonuç elde etmeyi, 3- *Doz Sınırları*: Belirli zaman diliminde kişilerin radyasyona maruziyetlerindeki sınır değerleri ifade etmektedir.

1- *Doğrulama* ilkesine göre, kişilere veya topluluklara, radyasyon uygulamalarındayarak sağlamayan hiçbir radyasyon uygulamalarına izin verilmez. *Doğrulama* ilkesine önemli örneklerden birisi, Ülkemizde nükleer güç santrali kurulması ile ilgili değerlendirmedir. Burada, santral kurulumu için yapılacak harcama, santralin radyasyon kaynağı özelliğinden kaynaklanan ilave harcamalar, santralin ömrünü tamamlamasından sonraki sökülme, atık

problemi vb. harcamalar, dikkate alındıktan sonra, net bir fayda sağlandığından emin olunmasının araştırılması ve değerlendirilmesi bu ilke kapsamındadır. Ayrıca, bu ilke içerisinde yer alan yarar kavramı, maddeyle ölçülen değerlerle birlikte niceliksel olarak ifade edilemeyen yararları da kapsayan bir kavramdır. Zarar ise madde ile ölçülebilen veya insan ve çevre hasarlarını kapsayan olumsuzlukların toplamının ifadesidir. Sonuç olarak ise Yarar-zarar hesabının değerlendirilmesinde toplum esas alınmalıdır.

Doğrulama ilkesinin uygulanmasında önemli örneklerden birisi de radyasyonun tıbbi uygulamalarında yer alır. Mesleki, yasal ve sağlık sigortası amaçlı radyolojik uygulamalar klinik bir bulgu yoksa ve kişinin sağlığı ile ilgili önemli bir bilgi beklenmiyorsa, toplum taramaları kişiler için belirli bir avantaj veya topluma ekonomik ve sosyal olarak net bir fayda sağlamıyorsa toplum veya kişiler üzerinde herhangi bir tıbbi radyasyon uygulamasına izin verilmemelidir.

Güncel örneklerden birisi de en son yaşanan Japonya'daki Fukushima Nükleer Santral Kazası sonrası; kaza bölgesinden 20 km mesafeye kadar olan mesafede yaşayanların tahliye edilmesi, 20-30 km arasında yaşayanların tahliye edilmemesi kaza sonrası "müdahale" için doğrulanmış kararlardır.

2- *Optimizasyon* ilkesine göre iyonlaştırıcı radyasyon uygulamalarında, uygulamada net yarar en yüksek tutmak üzere, ışınlanan kişilerin sayısı, bireysel dozun büyüklüğü ve ekonomik ve sosyal faktörler dikkate alınarak, mümkün olan en düşük dozun alınmasının başarılması gereklidir. Bu ilke aynı zamanda ALARA (As Low As Reasonably Achievable) "Mümkün olan en düşük dozun alınmasının başarılması" prensibi olarak da bilinir. Optimizasyon ilkesini sağlayabilmede en önemli parametreler kullanılan cihazlar ve uygulanan yöntemlerdir. Kullanılan yöntemde sistemin tek bir parçasının hatasının acilen tespit edilebileceği ve cihazlar ise özellikle planlanmayan ışınlanmalar nedeniyle kişisel dozun ve insan hatalarının minimize edilebileceği özellikte olmalıdır. Optimizasyonu sağlamada diğer önemli hususlar, lisans/izin sahibi, cihazda ortaya çıkacak hatalar ile olası insan hataları konusunda firmalarından bilgi alınmalıdır. Olası hatalar ile ilgili her türlü önlem alınmalıdır. Kalibrasyon, kalite temini ve cihazların kullanımı konusunda ilgili personelin eğitimi sağlanmalıdır.

3- *Doz Sınırları*: Kişilerin radyasyon dozları normal uygulamalarda yıllık doz sınırlarını aşmamalıdır. Doz sınırları: Birincil Sınırlar, İkincil Sınırlar, Doz Eşdeğer İndeksleri, Türetilmiş Sınırlar, İzin Verilen Sınırlar, İşletme Sınırları olarak gruplandırılır. Bunlardan iyonlaştırıcı radyasyonla çalışanlar ve halk için en çok kullanılan sınırlar Birincil ve İkincil Sınırlardır.

- Birincil sınırlar: Radyasyon görevlilerinin veya toplum bireylerinin alabileceği yıllık doz sınırlarıdır. Bu sınırlar:

Radyasyon Görevlileri İçin

- Etkin doz : 20mSv/yıl (5 yılın ortalaması), 50 mSv/yıl (tek yıl için)
- Eşdeğer Doz :150mSv/yıl (göz için)
- Eşdeğer Doz :500mSv/yıl (Cilt, el, ayak için)

Halk İçin

- Etkin doz :1mSv/yıl (5 yılın ortalaması), 5 mSv/yıl (tek yıl için)
- Eşdeğer Doz :15mSv/yıl (göz için)
- Eşdeğer Doz :50mSv/yıl (Cilt, el, ayak için)

şeklindedir.

- İkincil sınırlar: İç ışınlanma olasılığına yönelik sınır değerlerdir ve her bir radyonüklit için bu değerler tablolar halinde belirlenmiştir. Bu sınırlarda ALI tanımı önemlidir. ALI: Radyoaktif maddelerin Becquerel (Bq) cinsinden yıllık olarak vücuda alınabilir sınır değerleridir (ALI kelimesi İngilizce "Annual Limits on Intake" cümlesindeki baş harflerden oluşur).

Doz sınırlamalarında diğer önemli hususlara aşağıda değinilmiştir:

Genç çalışanlar için:

- 16 yaşından küçükler mesleki ışınlanmalara maruz kalınacak işlerde çalıştırılmaz.
- 18 yaşın altındakiler gözetim altında olmadıkça ve eğitim maksatları dışındakontrollü alanlarda çalıştırılmaz.

Hamile çalışanlar için:

- Doz sınırları normal çalışma şartlarında kadın veya erkek için farklı değildir.
- Çalışma koşulları embriyo veya fetüsün halk için izin verilecek düzeyi aşmayacağı şekilde (1mSv) korunmasını sağlayacak şekilde ayarlanmalıdır.
- Hamileliğin anlaşılmasından sonra dış ışınlanmalarda; abdomen yüzeyi için doz sınırı (hamileliğin sonuna kadar) 2mSv ve iç ışınlanmalar için 1/20 ALI tavsiye edilmektedir.

Tıbbi ışınlanmalardan alınan dozlar yıllık doz sınırına dâhil edilmeyeceği unutulmamalıdır.

3.3. Müdahale İçin Radyasyondan Korunma Sistemi

Radyasyondan korunma sisteminde müdahale durumları, toplum ışınlanmaları için, kaza sonrası için, mesleki ışınlanmalar için ve acil durumlar için tanımlanmıştır. Müdahaleye başlamadan önce, Doğrulama ve Optimizasyon kriterleri uygulanır ancak, doz sınırları uygulanmaz. Müdahalede bulunan çalışanların korunması için, müdahale durumunda ışınlanacak personelin yetkili otorite tarafından belirlenen tek yıllık dozun aşılmasına izin verilmez. Ancak, hayat kurtarma ve ciddi yaralanmaların önlenmesi, toplam dozunun azaltılması, ciddi hasarların önlenmesi durumları bu koşulun dışında değerlendirilmelidir. Hayat kurtarmaya yönelik durumlar dışında, yıllık dozun iki katını aşmayacak planlamalar yapılır. Deterministik etkileri önlemek amacıyla yıllık dozun on katını aşmayacak şekilde planlamalar yapılır.

3.4. Radyasyon Alanları

Maruz kalınacak yıllık dozun 1 mSv değerini geçme olasılığı bulunan alanlar "Radyasyon Alanı" olarak değerlendirilir. Bu alanlar da Denetimli Alanlar ve Gözetimli Alanlar olarak ikiye ayrılır(Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği, 2000). Denetimli Alanlar, 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. Denetimli alan fiziksel olarak ayrılır. Alana giriş noktasına ve uygun yerlere "Radyasyon uyarı sembolü" ve "uygun talimatlar" asılır. Yerel kurallar ve prosedürler ile korunma ve güvenlik önlemleri oluşturulur. Alana giriş kilit v.b. şekilde sınırlandırılır. Alana girişte koruyucu giysi, ölçüm cihazı vb malzemeleri bulunduracak imkânlar sağlanır. Önlemlerin yeterliliği sürekli denetlenir. Gözetimli Alanlar, yıllık doz sınırlarının 1/20'sinin aşılma olasılığı olup, 3/10'unun aşılması beklenmeyen, kişisel doz ölçümünü gerektirmeyen, çevresel radyasyonun izlenmesini gerektiren alanlardır. Bu alanlar belirlenerek, giriş noktalarına uygun uyarı işaretleri konulur. Alan doz ölçümleri rutin olarak yapılır.

3.5. Ülkemizde Radyasyon Alanlarındaki Yerel Kurallar ve İç Denetim İçin, İşveren, Lisans/İzin Sahibinin Başlıca Sorumlulukları

Radyasyon alanlarındaki çalışma ve faaliyetler için, işveren, lisans/izin sahibi, yerel kurallar ve prosedürleri yazılı olarak hazırlanmak yükümlülükleri arasındadır(Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği, 2000). Bu kurallar ve prosedürler araştırma ve yetkilendirme, müdahale ve bunlar

aşıldığında yapılması gerekenleri kapsamaktadır. Bu koşulların yerine geldiğinin gözlemlendiği sistemler kurularak, tehlike durumu hakkında eğitim ve talimatnameler sunulur, çalışanlara önlük, eldiven, organ zırhı gibi uygun koruyucu donanımlar sağlanır.

Kişisel ölçüm ve doz değerlendirilmesi için, çalışanların kişisel doz ölçümlerinin yapılması için "Yetkili bir dozimetre servisi" ile gerekli irtibatı sağlamak işveren, lisans/izin sahibinin başlıca sorumlulukları arasında yer alır (Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği, 2000). İşyerlerinin ölçülmesi için deşyeri ölçüm programı oluşturmak gerekir. Bu kapsamda, ölçüm yöntemleri, ölçüm alınacak yerler, ölçüm sıklığı, referans seviyeler aşılması halinde yapılacak işler belirlenir ve ölçümler kayıt altında tutulur.

Sağlık gözetimi için işveren, lisans/izin sahibi, Düzenleyici Kuruluşça belirlenen çerçevede sağlık gözetimi için gerekli düzenlemeleri yapmakla ayrıca sorumludur. Sağlık gözetim programları; mesleki sağlığın genel prensipleri ve çalışanın başlangıçta ve süregelen durumunu değerlendirmek üzere oluşturulur.

Kayıtlar için işveren, lisans/izin sahibi, her çalışan için ışınlanma kayıtlarının tutulmasından, kişilerin aldıkları dozlar hakkında bilgilendirilmesinden, kaza ve olaylara ilişkin dozlar ayrıca rapor edilmesinden, kayıtların gizliliğinin sağlanmasından sorumlu olup, ilgili kayıtlar en az 30 yıl saklanması ülkemizde yasal mevzuatla belirlenmiştir (Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği, 2000).

Ülkemizde iyonlaştırıcı radyasyon uygulamalarında görevli, Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği'nde tanımlanmış olan, "Radyasyondan Korunma Görevlisinin"

- İşleyişi Denetlemek,
- Yerel kurallar ve uygulamalar için önerilerde bulunmak,
- Eğitim gereksinimlerini belirlemek ve eğitim programında yer almak,
- Görevleri tanımlamak,
- Eksiklikleri lisans sahibine bildirmek,
- Denetçilerle birlikte çalışmak ve iç ve dış denetimleri kolaylaştırmak,
- Cihazın alınması ve tesisin tasarlanmasında görev almak,
- Kişileri ve alanları izlemek,
- Kişisel kayıtların tutulmasını sağlamak,
- İnceleme düzeyinin aşıldığı durumları araştırmak, soruşturma yapmak,
- Acil durum işlemleri için tatbikatlar yapmak,

başlıca görevleri arasındadır.

4. Türkiye'de İyonlaştırıcı Radyasyonla Çalışanların Radyasyondan Korunma Eğitimleri

Ülkemizde nükleer ve radyasyon teknolojileri konularında vasıflı insan gücüne sahip olma ve bu vasıfları mevzuata uygun bir şekilde belgelendirmek, bunun yanında nükleer bilimler ve nükleer teknoloji alanlarında sunulan hizmetlerin uluslararası geçerliliği olan düzeyde yetkinliğe sahip olarak, ülkemizdeki nükleer faaliyetlerin düzenleme ve denetleme işlevini en üst düzeyde yerine getirebilmek son derece önemlidir.

2690 sayılı Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) Kanununun belirlemiş olduğu kapsamda (TAEK Kanunu, 1982) TAEK Başkanlığının onayladığı stratejiler, planlar ve programlar çerçevesinde; radyasyondan korunma, radyasyon güvenliği, nükleer güç, nükleer güvenlik, nükleer emniyet, nükleer güvence, nükleer teknoloji, nükleer/radyasyon uygulamaları gibi TAEK'in görev alanına giren konularda ulusal ve uluslararası eğitimler, Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezinde (ANAEM) ve koordinatörlüğünde düzenlenmektedir. Böylece, Nükleer ve radyolojik alanlarda görev yapacak kişilerin, almış oldukları temel ve akademik eğitim sonrası, çalıştığı alana uygun vasıflara sahip olacak şekilde yetiştirilmesini sağlanmakla birlikte görev yapmakta olan kişilerin verilen eğitimlerle bilgi ve farkındalıkları artırılmaktadır. TAEK tarafından radyasyondan korunmaya yönelik eğitimlerin uygulanmasına dair usul ve esasları hakkında, 03 Mayıs 2013 tarihinde bir genelge ile yayımlanmış bulunmaktadır (TAEK, 2013).

ANAEM tarafından verilen, İyonlaştırıcı radyasyonla çalışanlara yönelik "Radyasyondan Korunma Eğitimleri" meslek gruplarına göre sınıflandırılmış olup, farklı eğitim programları farklı sürelerde uygulanmaktadır. Verilen bir kısım eğitimlerde, eğitim sonrasında kursiyerler TAEK tarafından yazılı sınava tabi tutulmakta, sınav sonucuna göre de başarı veya katılım sertifikası ile kursiyerler sertifikalandırılmaktadır (Zeyrek, C. T. ve Akbiyık, H., 2012).

5. Ülkemizdeki Radyasyon Kaynakları ve Mesleki Maruziyet

Atom enerjisinin barışçıl amaçlarla ülke yararına kullanılmasında izlenecek ulusal politikanın esaslarını ve bu konudaki plan ve programları belirleyerek Başbakan'ın onayına sunmak; ülkenin bilimsel, teknik ve ekonomik kalkınmasında atom enerjisinden yararlanılmasını mümkün kılacak her türlü araştırma, geliştirme, inceleme ve çalışmayı yapmak ve yaptırmak, bu alanda yapılacak çalışmalarını koordine ve teşvik etmekle birlikte, radyasyon cihazları, radyoaktif maddeler, özel bölünebilir maddeler ve benzeri iyonlaştırıcı

radyasyon kaynakları kullanarak yapılan çalışmalarda iyonlaştırıcı radyasyonların zararlarına karşı korunmayı sağlayıcı ilkeleri ve önlemleri ve hukuki sorumluluk sınırlarını saptamak, radyoaktif maddeleri ve radyasyon cihazlarını bulunduran, kullanan, bunları ithal ve ihraç eden, taşıyan, depolayan, ticaretini yapan resmi ve özel kurum, kuruluş ve kişilere ruhsata esas olacak lisans vermek, radyasyon güvenliği bakımından bunları denetlemek; bu görevlerin yerine getirilmesi sırasında sigorta yükümlülüğü koymak; radyasyon güvenliği mevzuatına aykırı hallerde, verilmiş olan lisansı geçici veya sürekli olarak iptal etmek; söz konusu kurum ve kuruluş hakkında, gerekirse kapatma kararı almak ve genel hukuk esasları dahilinde kanuni kovuşturmaya geçilmesini sağlamak görevi ülkemizde 13 Temmuz 1982 tarihli 17753 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan 2690 Sayılı Kanunla, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'na (TAEK) verilmiştir (TAEK Kanunu, 1982).

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) kayıtlarına göre, 2010 yılı sonu itibarıyla ülke genelinde toplam 9.432 kuruluştaki X-ışınları, kapalı ve açık radyoaktif maddeler ile kapalı radyoaktif madde bulunduran cihazlar kullanılmaktadır. Mevcut radyasyon kaynaklarının % 76'si tıpta, % 24'ü ise endüstride ve diğer alanlarda kullanılmaktadır (Türkiye'de Radyasyon Kaynakları, 2011). 2011 yılı sonu itibarıyla toplamda 12.383 tıbbi radyoloji cihazı ve 4.152 dış hekimliğinde kullanılan radyoloji cihazı ile 251 adet radyoterapi cihazı bulunmaktadır. Ülkemizde açık kaynakların kullanıldığı 35'i yataklı I-131 tedavisi uygulanan merkez olmak üzere 366 adet nükleer tıp laboratuvarı ve FDG (Florodeoksiglikoz) üretimini yapan 12 üretim tesisi bulunmaktadır.

Yine kayıtlara göre 2011 yılı sonu itibarıyla ülkemizde toplam 679 endüstriyel radyografi/radyoskopi cihazı, 3091 adet sabit nükleer ölçüm cihazı ile 243 adet taşınabilir yoğunluk ve nem ölçüm cihazı bulunmaktadır. Ayrıca güvenlik amacıyla kullanılan 2.762 adet paket/bagaj kontrol cihazı ve 10 adet tır tarama sistemi bulunmaktadır. Ülkemizde gıda, tıbbi malzemeler ve diğer ürünlerin radyasyon ile ışınlanması amacıyla çalışmakta olan 4 ışınlama tesisi mevcuttur (Türkiye'de Radyasyon Kaynakları, 2011).

Tüm bu radyasyon yayan kaynak ve cihazlarla çalışanların radyasyon güvenliğinin sağlanması hayati önem taşımaktadır. İyonlaştırıcı radyasyonla çalışanların mesleki olarak aldıkları dozların sürekli takip edilmesi ve bu dozların en aza indirilmesi gerekmektedir. Türkiye'de yasal yönetmelik gereği (Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği 2000) iyonlaştırıcı radyasyonla çalışanların kişisel dozimetre kullanımları zorunludur. 2004 yılında yapılan Türkiye'de iyonlaştırıcı radyasyonla çalışanların mesleki maruziyetlerinin detaylı olarak

değerlendirildiği bir çalışma yapılmıştır (Gündüz, H., Zeyrek, C. T., Aksu, L. ve Işık, S., 2004). Bu çalışmada, Türkiye'de 1995 - 1999 yılları arasında iyonlaştırıcı radyasyonla çalışan 20.621 kişinin film dozimetre sonuçları değerlendirilmiştir. Radyasyon görevlileri endüstri (%8,24), tıp (%90,20) ve araştırma-egitim (%1,56) sektörü olmak üzere üç ana başlıkta değerlendirilmiştir. Her bir sektördeki radyasyon görevlilerinin yıllık ortalama doz miktarları sırasıyla 0,14, 0,38 and 0,08 mSv olarak belirlenmiştir. 2005 yılında yapılan benzer bir çalışmada da 2003 yılı içerisinde kişisel dozimetre olarak termoluminesansdozimetreler (TLD) kullanan radyasyon görevlilerinin doz sonuçları değerlendirilmiştir (Zeyrek, C. T. ve Gündüz, H., 2005). Bu çalışmada da 3721 radyasyon görevlisine ait dozimetre sonuçları verilmiştir. Bu çalışmada da iyonlaştırıcı radyasyonla çalışanların %0,9'nun 5 mSv etkin dozu 18 aştıkları halde radyasyon görevlileri için belirlenmiş olan 50 mSv yıllık doz sınırını aşan herhangi bir çalışan olmadığı görülmüştür.

6. Tartışma ve Sonuç

İyonlaştırıcı radyasyondan korunma sisteminin detaylarını veren bu çalışma ile dünyada iyonlaştırıcı radyasyonla ilgili bilimsel yapıda ve uluslararası geçerliliği olan bir sistemin detayları sunulmuş, ülkemizdeki uygulamalarına yönelik bilgiler verilmiştir.

İnsanlar radyasyon uygulaması gerektiren tüm ışınlamalara yönelik doz sınırlarıyla ve risk değerlendirmesiyle kontrol altına alınması gerekmektedir. Burada gelecek nesilleri de kapsayacak şekilde hiç kimsenin istenmeyen radyasyon riskine maruz bırakılmaması amaçlanmaktadır. Sistemin hedefi, radyasyon görevlilerinin, halkın ve çevrenin radyasyonun zararlı etkilerinden korunmasıdır. Radyasyondan korunma ve güvenliğin sağlanması ise ancak konu ilgili bir sistemin kurulması ve sürekliliğinin sağlanmasıyla mümkündür. Sistem, radyoaktivite/doz ile ilgili niceliklerin ve birimlerin bilinmesini, gerekli ölçümlerin yapılabilmesini, ölçüm sonuçlarının değerlendirilebilmesini gerektirir.

Kaynaklar

FoodAndAgricultureOrganization of The United Nations, International AtomicEnergyAgency, International LabourOrganisation, OECD NuclearEnergyAgency, PanAmericanHealthOrganization, World HealthOrganization, RadiationProtectionandtheSafety of RadiationSources. 1996. Safety Series No. 120, IAEA, Vienna.

International Commission on Radiological Protection, General Principles for the Radiation Protection of Workers, 1997. Publication No. 75, Pergamon Press, Oxford and New York.

The Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. 2007 ICRP publication 103.

International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU: <http://www.icru.org/>.

The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR: <http://www.unscear.org/> (Erişim tarihi: 29.11.2013).

Radiation, People and Environment, 2004. IAEA/PI/A.75/04-00391.

ICRP Publication 92: Relative Biological Effectiveness (RBE), Quality Factor (Q), and Radiation Weighting Factor (WR), NOV-2003, ELSEVIER.

Food and Agriculture Organization of The United Nations, International Atomic Energy Agency, International Labour Organisation, OECD Nuclear Energy Agency, World Health Organization, Pan American Health Organization, World Health Organization, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, 1996. Safety Series No. 115, IAEA, Vienna.

ICRP Publication 60: 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Oxford, Pergamon Press.

Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği, Resmi Gazete No: 23999, 24.03.2000.

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Kanunu, Resmi Gazete Tarih/ No: 13 Temmuz 1982/ 17753 Kanun No: 2690.

Radyasyondan korunmaya yönelik eğitimlerin uygulanmasına dair usul ve esaslar, 03 Mayıs 2013, <http://www.taek.gov.tr/> (Erişim tarihi: 29.11.2013).

Zeyrek, C. T. ve Akbıyık, H., 2012. Letter to the Editor- Commentary On Education And Training: Radiation Protection Courses For Diagnostic Radiology In Turkey, Radiation Protection Dosimetry, 150, 02, 262-265.

Türkiye'de Radyasyon Kaynakları, 2011, Teknik Rapor, TAEK, 19.09.2012/3-2.

Gündüz, H., Zeyrek, C. T., Aksu, L., Işak, S., 2004. Occupational exposure to ionising radiation in the region of Anatolia, Turkey for the period 1995-1999. Radiation Protection Dosimetry, 108, 4, 293-301.

Zeyrek, C. T., Gündüz, H., 2005. Occupational exposure to ionising radiation with the thermoluminescence dosimetry system in Turkey, in 2003, Radiation Protection Dosimetry, 113, 04, 374-380.

Semboller

$D_{T,R}$	Soğurulan doz (Sv)
E	Etkin dozun (Sv)
E_n	Nötron enerjisi (eV)
E_p	Proton enerjisi (eV)
H_T	Organ eşdeğer dozu (Sv)
Q_R	Radyasyon ağırlık faktörü
W_T	Doku ağırlık faktörü
α	Alfa parçacığı
β	Beta parçacığı
γ	Gama radyasyonu
X	X ışını radyasyonu

Altsimgeler

T	Doku türü
R	Radyasyon çeşidi
n	Nötron
p	Proton