

İyonlaştırıcı Radyasyon ve Korunma Yöntemleri

Bahattin ÇİMEN, Mehmet ERDOĞAN*, Rıza OĞUL

Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Konya

*e-mail: merdogan@selcuk.edu.tr

Öz: İyonlaştırıcı radyasyon, bir atomun yörüngesinden elektron kopararak atomun yüklü veya iyonize olmasına neden olacak düzeyde yeterli enerji taşıyan radyasyon olarak tanımlanır. Başlıca iyonlaştırıcı radyasyonlar, gama ışınları, X-ışınları, alfa, beta, nötron ve elektromanyetik spektrumun yüksek enerji ultraviyole kısmını içeren ışınlardan oluşur. Bununla birlikte, elektromanyetik spektrumun düşük enerji ultraviyole kısmı, görünür bölge ışınları ve görünür laser ışınlarının tamamı, kızılötesi, mikrodalgalar ve radyo dalgaları iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak bilinir. İyonlaştırıcı radyasyon bölgesi net bir şekilde tanımlanmamıştır. Çünkü atomların ve moleküllerin iyonlaşma enerjileri farklı farklıdır. Buna göre 10 eV değeri iyonlaştırıcı olmayan radyasyon enerjisi için anlaşılmalı bir üst sınır değerdir. Örneğin, su molekülü için iyonlaştırıcı olmayan radyasyon enerji eşik değeri 33 eV olarak göz önüne alınır. Bu tür radyasyonlar hakkındaki bilgiler, canlılara olan negatif etkilerin ve çevresel tedbirlerin belirlenmesinde önemlidir. İyonlaştırıcı radyasyon görünür bölgede olmadığı için insan duyuları ile detekte edilemez bu yüzden radyasyon sayaçlarına ihtiyaç duyulur. Bu çalışmada, iyonlaştırıcı radyasyonun temel özellikleri ile çevreye etkileri ve çevre güvenliği açısından alınacak tedbirler incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Alfa radyasyonu, Beta radyasyonu, Gama radyasyonu, Çevresel güvenlik, İyonlaştırıcı radyasyon

Ionizing Radiation and Protection Methods

Abstract: Ionizing radiation is defined as the radiation providing the enough energy to free electrons from an atom. The main ionizing radiations consists of rays containing gamma rays, x-rays, alpha, beta, neutron, and higher ultraviolet part of the electromegnetic spectrum. However, the lower ultraviolet part of the electromagnetic spectrum, visible region rays, and all visible laser rays, infrared, microwaves and radio waves are known as non-ionizing radiation. Ionizing radiation region is not clearly defined. Because the ionization energies of atoms and molecules are different. Accordingly, 10 eV is considered as an apparent upper limit to be non-ionizing energy. For example, the non-ionizing radiation energy threshold value for the water molecule is taken as 33 eV. Knowledge of these types of radiation is important for the information about the negative effects on living beings, and for the determination of possible environmental precautions. Since ionizing radiation is not in the visible region, it can not be detected by human senses, so radiation detection instruments are needed. In this study, the basic properties of ionizing radiation, the effects on the environment and the measures to be taken in terms of environmental safety have been examined.

Keywords: Alpha radiation, Beta radiation, Gamma radiation, Environmental security, Ionizing radiation

1. Giriş

Radyasyon, yüksek hızda parçacıkların ve elektromanyetik dalgaların enerjisi olarak tanımlanır; iyonize ve iyonize olmayan radyasyon olarak iki gruba ayrılır.

İyonize radyasyon, kütleli yapıya sahip parçacık radyasyonu ve foton enerjili dalga karakterinde elektromanyetik radyasyon olmak üzere iki gruba ayrılır. Alfa (α) ve beta (β) parçacıkları, elektron, proton ve

nötronlar parçacık türü iyonize radyasyon tiplerini oluşturur. Yüksek enerjili mor ötesi ışınlar, x ve γ ışınları ise, iyonlaştırıcı yeteneğe sahip yüksek enerjili fotonlardan oluşan elektromanyetik radyasyonlardır. Tüm canlılar doğal kaynaklardan iyonize radyasyona maruz kalırlar ve bu durum doğal yaşamın vazgeçilmez bir özelliğidir. Doğal radyasyon, karasal ve kozmik radyasyonları içeren dış radyasyon ile iç radyasyonları içermektedir. Doğal radyasyon kaynaklarının yanında, çoğunlukla medikal uygulamaların sebep olduğu yapay radyasyon maruziyeti de toplam radyasyon maruziyetinin % 20'lik kısmını oluş-turmaktadır (UNSCEAR, 2000; UNSCEAR, 2008).

Radyasyon kaynakları canlılar üzerinde olumsuz etkiler meydana getirmesine rağmen tıpta teşhis ve tedavi amaçlı, endüstride, nükleer reaktörlerde ve çeşitli araştırma faaliyetlerinde faydalı amaçlar için de kullanılmaktadır. Radyasyonun bu tür kullanımları, çalışanların etkili bir şekilde radyasyondan korunmalarını ve güvenliklerinin sağlanmasını gerektirmektedir. Bu bağlamda radyasyon maruziyeti ölçümlerinin gerekliliği ortaya çıkmış ve radyasyon ile ilgili sınırlayıcı birimler geliştirilmiştir. Bu tür çalışmalar yapmakta olan başlıca uluslararası kuruluşlar; 1957 yılında kurulan Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA)(www.iaea.org), 1928 yılında

kurulan iyonize radyasyon maruziyeti sonucunda oluşabilecek kanser gibi hastalıkların önlenmesi çalışmalarını yürüten Uluslararası Radyolojiksel Korunma Komisyonu (ICRP) (www.icrp.org), 1955 yılında Birleşmiş Milletler tarafından iyonize radyasyonun etkilerini belirlemek için kurulan Atomik Radyasyonun Etkileri Üzerine Bilimsel Komisyon (UNSCEAR) (www.unscear.org) ve 1970 yılında kurulan insan sağlığı ve çevreyi korumak için kurulan Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA) (www.epa.gov) olarak yazılabilir. Ülkemizde ise insan ve çevrenin radyasyondan korunması ile ilgili faaliyetler 1956 yılında kurulan Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) tarafından gerçekleştirilmektedir (www.taek.gov.tr).

Bu çalışmamızda iyonlaştırıcı radyasyon ve çeşitleri hakkında bilgi verilerek dünyada iyonlaştırıcı radyasyonla ilgili uluslararası kuruluşların belirlemiş oldukları korunma yöntemlerinden bahsedilerek, ülkemizdeki uygulamalarına yönelik bilgiler verilmiştir.

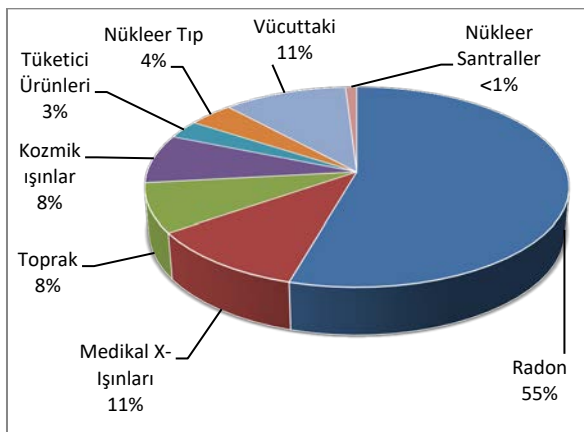
1. Radyasyon

Radyasyon parçacıklar veya elektromanyetik dalgalar yoluyla enerji transferidir. Radyasyonu sınıflandırmada radyasyonun enerjisi, türü ve kaynağı olmak üzere üç ana parametre kullanılır. Radyasyonun enerjisi, etkileştiği ortamdaki bir atomdan elektron koparabilecek seviyede ise yüksek enerjili ya da iyonize olarak da

tanımlanır. Alfa, beta ve nötron parçacık türü radyasyonlar ile yüksek enerjili morötesi ışınlar, gama ışınları ve x-ışınlarını içeren elektromanyetik dalga türündeki radyasyonlar iyonize özelliğe sahiptirler. Düşük enerjili ya da iyonize olmayan radyasyonlar ise etkileştiği madde içindeki atomlardan elektron koparamazlar. Elektromanyetik spektrumda yer alan mikrodalgalar, görünür ışık, kızılötesi ve düşük enerjili morötesi ışık gibi radyasyonlar iyonize olmayan radyasyonlara örnektir.

1.1. Radyasyon Kaynakları

Yeryüzündeki tüm canlılar ve cansızlar havada, suda, toprakta, hatta kendi vücutları içerisindeki doğal radyasyon kaynakları ve bunlara ek olarak insanlar tarafından üretilen yapay radyasyon kaynaklarının her gün ışınımına maruz kalmaktadırlar. Doğal radyasyon kaynaklarından maruziyet %80 oranında iken insan yapımı radyasyon kaynaklarından maruziyet %20 oranındadır (UNSCEAR, 2008).



Şekil 1. Radyasyon Kaynakları (USNRC, 1987)

1.1.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

Doğal Radyasyon, insanların herhangi bir katkısı olmadan doğada kendiliğinden oluşan radyasyonlardır. Doğal radyasyon maruziyetinin iki ana kaynağı vardır. Bunlar, atmosfere giren yüksek enerjili kozmik ışın parçacıkları ve yer kabuğunda bulunan radyoaktif çekirdeklerdir. Dış uzaydan gelen yüksek enerjili parçacıklardan kaynaklanan doğal radyasyon maruziyeti kozmik radyasyon olarak adlandırılır ve insanların maruz kaldığı yıllık doz 0.39 mSv'dir. Karasal kaynaklı doğal radyasyon kaynakları, granitik, volkanik ve fosfat kayaçları içeren topraklardan üretilen çevresel malzemelerde ve insanların kendi vücutlarının içinde bulunabilir. İnsan vücudunun yer kabuğu kaynaklı radyasyon maruziyeti uranyum-238 (U-238) ve toryum-232 (Th-232) doğal radyoaktif serilerinde yer alan radyoizotoplar ile potasyum-40 (K-40) radyoizotopundan yayınlanan gama ışınları kaynaklıdır. Yerküre kaynaklı alınan yıllık etkin doz 0.46 mSv'dir. Vücut içi radyasyon maruziyeti ise canlıların vücudunda doğal olarak bulunan K-40, karbon-14 (C-14), radyum-226 (Ra-226) gibi radyoaktif izotoplar tarafından yayılan radyasyondur. Radon hariç vücut içi ışınlanmadan kaynaklanan yıllık etkin doz ise 0.23 mSv'dir. En önemli ve birinci doğal radyasyon kaynağı Şekil 1'de görüldüğü gibi radon ve bozunum ürünleridir. Radon,

yerkürede bulunan U-238 doğal radyoaktif bozunum zincirinde yer alan bilinen en ağır radyoaktif bir soygazdır. Radon gazından dolayı dünya genelinde maruz kalınan yıllık etkin doz 1.3 mSv'dir (UNSCEAR, 2000; UNSCEAR, 2008).

1.1.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

Doğada mevcut olmayan bazı radyasyon kaynakları yapay yollarla da üretilebilmektedir. Şekil 1'de görüldüğü gibi ana kaynağını medikal X- ışınlarının oluşturduğu yapay radyasyon maruziyetinin yıllık etkin doz değeri 0.4 mSv değerindedir (UNSCEAR, 2000).

2. İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunma Yöntemleri

Radyasyonun bilimde, sanayide, tarımda ve tıpta kullanılması ile birlikte radyasyon korunması kurallarının geliştirilmiştir. Çalışanlar için radyasyondan korunma ile ilgili temel kriterleri oluşturan ICRP (International Commission on Radiological Protection) kuruluşu, diğer uluslararası radyasyondan korunma örgütleri ile işbirliği içinde çalışmalarına devam etmekte olup insanların radyasyon maruziyetini azaltmak için Müsade Edilebilir Maksimum Dozlar (MEMD) ifadesini kullanmış ve bu değerleri sürekli tavsiye raporları ile güncellemektedir (Sowby, 1965).

2.1. İyonlaştırıcı Radyasyon Doz Birimleri

İyonlaştırıcı radyasyonların hiç biri normal yollardan ölçülemediği için varlıkları ve büyüklükleri ancak özel aygıtlar yardımı ile anlaşılabilir. Bütün radyasyon saptama yöntemleri, radyasyonun içinden geçtikleri ortamlarda iyonizasyon oluşturma özelliklerine dayanmaktadır. Her fiziksel ölçü bir sayısal değerle tanımlanır ve birimlendirilir. Radyasyon ölçme aygıtları ile içinde iyonizasyon oluşturulan ortamda ortaya çıkan iyonizasyona ilişkin ölçülür ve sayısal değerlere ulaşılır. Bu değerler ortamların farklılığından dolayı farklı birimlerle ifade edilmiştir. Bu yöntemler çevre, hasta ve çalışan dozu ölçümünde kullanılır. Radyasyonun, ortamdaki farklı iyonizasyonlarının farklı değerlendirilmelerinde ise radyasyon birimleri de farklı isimlendirilir. Geleneksel radyasyon birimleri, 1986 yılından itibaren köklü bir değişikliğe uğrayarak, bu tarihten geçerli olmak üzere Uluslararası Birim Sistemi (SI) kullanılmıştır. Radyasyonu ölçmek ve radyasyondan korunmak amaçlı kullanılan tanımlamalar ve birimleri şu şekildedir;

- Aktivite: Bir radyoaktif izotopun her bir birim zaman içinde parçalanma miktarını göstermektedir. Parçalanmanın boyutları olmadığı için aktivite saniye başına ölçülür ve SI birim sisteminde birimi Becquerel (Bq)'dir. Eski birimi Cuire (Ci) olan aktivitenin bu iki birim

- arasındaki bağıntısı $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ şeklindedir (ICRP, 1977; ICRP, 2012).
- **Işınlama:** Bir ortamda bulunan radyasyon düzeyini belirlemek için maruz kalınan radyasyon miktarı ölçmektedir. Bu, x veya gama ışınının havada neden olduğu iyonizasyon miktarıdır. Uluslararası kabul edilen ilk ışınlama birimi Röntgendir ve R ile sembolize edilir. SI birim sisteminde ışınlamanın birimi coulomb/kg'dır ve bu iki birim arasındaki bağıntı, $1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ Coulomb/kg}$ şeklindedir (ICRP, 1977).
 - **Soğurulmuş Doz Birimi:** Materyalin bir birim kütlesinde depo edilen enerjinin ölçüsüdür. Herhangi bir radyasyonu ölçebilmektedir. Soğurulmuş doz eski birimlerde rad ile tanımlanmış iken, SI birim sisteminde birimi gray (Gy)'dir ve $1 \text{ Gy} = 1 \text{ Joule/kg}$ a eşittir. Gray ve Joule/kg arasındaki bağıntı $1 \text{ Gray} = 100 \text{ Rad}$ ile ifade edilir (ICRP, 1977; ICRP, 2012).
 - **Eşdeğer Doz Birimi:** İyonlaştırıcı radyasyonların biyolojik madde üzerindeki etkisini belirtmek amacıyla kullanılmaktadır. Biyolojik etki radyasyonun geçişte bıraktığı enerjile doğru orantılı olur. Eşdeğer dozun eski birimi "roentgen equivalent man" İngilizce kelimelerin ilk harflerinden oluşan rem'dir, SI birim sisteminde ise

Sievert (Sv) ile birimlendirilmiştir ve bu iki birim arasındaki bağıntı, $1 \text{ Sievert} = 100 \text{ Rem}$ ile verilir. Radyasyon türlerinin oluşturduğu biyolojik etkilerin değişimi w_R ile gösterilmek üzere, soğurulmuş doz ile eşdeğer doz arasındaki dönüşüm Denklem (1) ile verilir (ICRP, 2012).

$$H = D w_R \quad (1)$$

Denklem 1'de H eşdeğer dozu, D soğurulmuş doz ve w_R ise radyasyon ağırlık faktörünü ifade etmektedir.

- **Etkin Doz Eşdeğeri:** Vücuda ışınlandığında birden fazla doku iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalırsa, oluşan etkilerde sağlığa zararlı toplam etki bulunabilir. Bu etkiye etkin doz denir ve herbir dokunun gelen radyasyon türüne karşı hassasiyetini gösteren doku ağırlık faktörü w_T ile herbir dokunun eşdeğer dozunun çarpımı ile hesaplanır (Denklem (2) (ICRP, 2012).

$$E = \sum w_T H_T \quad (2)$$

Denklem 2'de E etkin dozu, w_T T dokusu veya organı için ağırlık faktörünü ve H_T ise T doku veya organdaki eşdeğer dozu göstermektedir.

- **Yüklenen Etkin Doz Eşdeğeri:** Dolaylı yollarla vücut içerisine bir tek radyoaktif maddenin alınmasından sonra 50 yıl süresince toplanabilecek etkin doz eşdeğeridir.

- Kollektif Doz Eşdeğeri: Toplumun radyasyona maruz kalması halinde kullanılan değerdir (Demir, 2000).

2.2. İyonlaştırıcı Radyasyon Korunmasında Temel Prensipler

İnsanların radyasyon maruziyeti gerektiren uygulamalardan korunmaları için ICRP tarafından üç temel ilke oluşturulmuştur (ICRP, 1977). Bu ilkeler şu şekildedir;

- Gerekliklik: Radyasyonun zararından dolayı pozitif bir fayda sağlamayan hiçbir uygulamaya izin verilmemelidir.
- Optimizasyon: Maruz kalınacak dozun mümkün oldukça düşük tutulması sağlanmalıdır. Bu ilke ALARA (As Low As Reasonably Achievable) prensibi, yani “mümkün olan en düşük dozun alınmasının başarılması” ilkesi olarak da bilinir.
- Doz Sınırları: Kişilerin alınmasına izin verilen dozlar sınırlandırılmalıdır.

2.3. Doz Sınırları

Radyasyondan korunmanın sınırlarını belirlemek amacıyla, uluslararası kuruluşlar müsaade edilebilir maksimum dozlar için tavsiye raporları yayınlamaktadır. ICRP tarafından 1990 yılında yayınlanan tavsiye raporunda radyasyon görevlileri ve halk için yıllık etkin doz ve eşdeğer doz sınır değerleri Çizelge 1’de verilmiştir (ICRP, 1977).

Çizelge 1. Maksimum Müsaade Edilebilir Doz (ICRP, 1977).

	Görevli	Halk	
Yıllık Etkin Doz	20 mSv	1 mSv	
Yıllık Eşdeğer Doz	Göz	150 mSv	15 mSv
	Cilt	500 mSv	50 mSv
	Kol-Bacak	500 mSv	50 mSv

2.4. İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunma

Radyasyon çalışanları çeşitli radyasyon ışınlarına maruz kalmaktadır. Tıpta radyasyon alanlarında çalışanlar ve radyoaktif maddeler kullanarak teşhis ve tedavi yapanlar bu ışınlara daha çok maruz kalırlar. Radyasyon çalışanlarının radyasyon dozu ölçen cihazlarla sürekli olarak kontrol edilmeleri gerekmektedir. Radyasyon çalışanlarının ışınların zarar etkilerini önlemek için çeşitli koruyucu aygıtlarda kullanılmalıdır. Radyasyon çalışanlarının maruz kaldığı radyasyon dozları dozimetrelerle ölçülerek 5 yılın ortalaması olarak yılda izin verilen 20 mSv’lik doz sınırını geçenler uyarılmalıdır (MEGEP MEB, 2011).

2.4.1. Koruyucu Aygıtlar

Radyasyondan korunmak için genellikle; paravanlar, gonadal koruyucular, kurşun camlar, kurşun önlük, eldiven, gözlük ve boyunluk kullanılmaktadır. Koruyucu aygıtların kalınlıkları 0.25-0.5-1 mm gibi kurşun eşdeğerinde olduklarında korumaktadır. Kurşun önlük olarak kolaylık

açısından en çok 0.50 mm kurşun eşdeğeri koruyucu önlükler tercih edilir. Bunun üzerindeki (1 mm, 2 mm vb.) önlükler daha iyi korudukları halde oldukça ağır oldukları için pek kullanılmaz. Kurşun koruyucuların içerisindeki kurşun tabakalarının zarar görmemesi için kurşun önlükler katlanmamalı, saklanırken askıya asılarak bekletilmelidir (Ege Üni. Tıp Fak. Has., 2014).

2.4.2. Dozimetreler

Radyasyonu ölçmemize yarayan aletlere, dozimetre denilmektedir. İyonlaştırıcı ışınlarla çalışan personelin, çalışırken en azından bir film dozimetresini göğsüne yerleştirmeleri gereklidir. Taşınabilir büyüklükteki dozimetreler vücudun ışına daha fazla maruz kalan bölgelerinde çalışırken takılır (bilek, parmaklar gibi). Işınların çeşitli etkilerine göre dozimetrelerin çalışması değişmektedir. Radyoloji tanısında, kullanım amaçlarına göre değişen farklı dozimetrelerde bulunmaktadır. Bunlardan başlıcaları; Katı (filmler) dozimetreler, kullanılan en eski radyasyon ölçüm tekniğidir. Diğer yöntemlere göre daha ucuz olduğu gibi filmin ve canlı dokunun radyasyona karşı duyarlılıkları birbirine yakındır. Sıvı dozimetreler, sıvıda radyasyon etkisiyle meydana gelen kimyasal değişiklikleri ölçmektedir. Gazlı dozimetreler, bilinen en yaygın ölçüm yöntemlerinden olup gazlı ortamlardaki iyonlaştırıcı radyasyonun

oluşturduğu iyonizasyonu ölçmektedir. TLD (Termolüminesans Dozimetreler) dozimetreleri, personel takibinde kullanılmaktadır. Termolüminesans maddenin radyasyona maruz kaldığında soğurduğu enerjiyi ısı uygulandığında görülebilir ışığa dönüştürmesi özelliğinden dolayı radyasyon dozu ölçülebilmektedir. (MEGEP MEB, 2011)

2.5. İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunmak İçin Alınması Gereken Temel Önlemler

Dış radyasyondan korunmak için uluslararası kuruluşların belirlemiş olduğu bazı kurallar vardır. Bu kurallar, mesafe, zırlama (koruyucu engel) ve zaman'dır (www.epa.gov).

- Mesafe (Uzaklık): Radyasyon kaynağından uzaklaştıkça radyasyonun şiddeti mesafenin karesi ile ters orantılı olarak azalmaktadır. Bu nedenle; özellikle radyasyon görevlilerinin radyasyon kaynağından mümkün oldukça uzak mesafede çalışmayı ilke olarak benimsemesi gereklidir.
- Zırlama (Koruyucu Engel): Radyasyon kaynağının şiddetini azaltmak için önüne konulan engele zırlama denir. Radyasyon ışımalarının türüne göre değişik koruyucu engeller kullanılmaktadır. Bu nedenle çekim esnasında; kurşun önlük, kurşun eldiven, kurşun gözlük, kurşun paravanlar, kurşun camlar ve gonadal

koruyucular gibi koruyucu ekipmanlar kullanılmalıdır.

- Zaman (Süre): Radyasyondan alınan doz miktarı ile zaman doğru orantılı olduğundan, radyasyon ışımasına ne kadar az süre maruz kalınırsa o kadar az doz alınır. Radyasyon çalışanlarının daha önceden plan yapması gereklidir. Çünkü deneme-yanılma yoluyla sonuca gitmek gereksiz yere daha çok radyasyon alınmasına neden olmaktadır.

3. Sonuç

Bu çalışmada radyasyonla ilgili temel bilgilerden bahsedilmiştir. Alınan radyasyonun dozunun ne kadar olduğu ve ne kadar süre maruz kalındığına bağlı olarak, biyolojik etkilerinin yıllar sonra bile ortaya çıkabileceğini bilinmeli ve aynı zamanda insanlara bu konuda bilgi verilmelidir. İyonlaştırıcı radyasyondan nasıl korunmamız gerektiği hakkında bilgiler verilmiştir. Dünyada iyonlaştırıcı radyasyonla ilgili uluslararası kuruluşların

ortak kararıyla belirlenmiş olan ve dünya ülkeleri tarafından benimsenip uygulanan sistemin detayları anlatılmıştır. İnsanlar radyasyon ışınlamalarını tam olarak kontrol altına alamadığı için doz sınırlarıyla ve risk değerlendirmesiyle kontrol altında tutabilmektedir. Buradaki amaç gelecek nesilleri de kapsayarak hiç kimsenin istenmeyen iyonlaştırıcı radyasyon riskine maruz bırakılmamasıdır. Uygulanan sisteminin hedefi ise, radyasyon görevlilerinin, halkın ve çevrenin iyonlaştırıcı radyasyonun ışınlarının zararlı etkilerinden korunmasını sağlamaktır. Radyasyondan korunma ve güvenliğin sağlanabilmesi için konu ilgili bir sistemin kurulması ve sürekliliğinin sağlanması gereklidir. Radyasyondan korunabilmenin yöntemi, radyasyon dozu ile ilgili niceliklerin ve birimlerin iyi bilinmesini, gerekli ölçümlerin yapılabilmesini, ölçüm sonuçlarının değerlendirilebilmesini gerektirmektedir.

Kaynaklar

- Demir M (2000). Nükleer tıp fiziği. *İstanbul Üniversitesi Yayınları*, İstanbul.
- Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi (2014). Radyasyon Güvenliği El Kitabı, 20.
- ICRP (1977). Recommendations of the ICRP. ICRP Publication 26. Ann. ICRP 1 (3).
- ICRP (2012). Compendium of dose coefficients based on ICRP Publication 60.

MEGEP MEB (2011). Radyoloji, radyasyondan korunma. 725TTT057, Ankara

Sowby FD (1965). The recommendations of ICRP. *ICRP Publications 9*, Pergamon Press
1399.

UNSCEAR (2000). (United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation).
Sources, effects and risk of ionizing radiation. United Nations, New York.

UNSCEAR (2008). (United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation).
Sources and effects of ionizing radiation. United Nations, New York.

USNRC (United States Nuclear Regulatory Commission), Report No. 93, Ionizing radiation
exposure of the population of the United States, 1987.

<https://www.iaea.org/about/overview/history/> (Erişim Tarihi: 24. 01. 2017)

http://www.unscear.org/unscear/en/about_us.html/ (Erişim Tarihi: 24. 01. 2017)

<http://www.taek.gov.tr/kurumsal/taek-in-vizyonu.html/> (Erişim Tarihi: 24. 01. 2017)

<https://www.epa.gov/radiation/protecting-yourself-radiatio> (Erişim tarihi: 24. 01. 2017)

<http://www.icrp.org/index.asp/> (Erişim Tarihi: 24. 01. 2017)

<https://www.epa.gov/history/> (Erişim Tarihi:24.01.2017)