



Kişisel Dozimetreler

Personal Dosimeters

Alptuğ Özer Yüksel¹, Bilal Kovan², Semra Özdemir³

¹Ankara Bilkent Şehir Hastanesi, Nükleer Tıp Kliniği, Ankara, Türkiye

²İstanbul Üniversitesi, İstanbul Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

³Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Çanakkale, Türkiye

Öz

Radyasyon güvenliği, radyasyon çalışanlarının bireysel sağlık koruması ve iş güvenliği ve yasal zorunluluklar açısından birincil önceliğe sahiptir. Kişisel dozimetreler, radyasyonla çalışan bireylerin iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalma seviyelerini ölçmek, izlemek ve kayıt altına almak amacıyla kullanılan hayati öneme sahip ekipmanlardır. Yasal zorunluluk veya bireysel radyasyon korunumu açısından kişisel dozimetrelerin teknolojik gelişmelerle birlikte artan doğruluk, taşınabilirlik ve kullanıcı dostu özelliklerine sahip olması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kişisel dozimetre, aktif dozimetre, TLD, OSL, elektrometre, mosfet

Abstract

Radiation safety holds primary importance in terms of the individual health protection of radiation workers, occupational safety, and legal obligations. Personal dosimeters are vital equipment used to measure, monitor, and record the levels of exposure to ionizing radiation for individuals working with radiation. From the perspective of legal requirements or individual radiation protection, personal dosimeters must incorporate advancements in technology to offer increased accuracy, portability, and user-friendly features.

Keywords: Personal dosimeter, active dosimeter, TLD, OSL, electrometer, mosfet

Giriş

Radyasyon, modern dünyanın vazgeçilmez bir parçası olan tıbbi görüntüleme, tedavi, nükleer enerji üretimi ve endüstriyel süreçlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu teknolojiler, insanlar için potansiyel bir risk unsuru olan iyonlaştırıcı radyasyonu da beraberinde getirir. Radyasyon güvenliğinin temel amacı “deterministik etkileri önlemek” ve “stokastik etkilerin meydana gelme olasılığını sınırlamak” olarak tanımlanabilir. Radyasyon maruziyetini kontrol etmek, hem hasta hem de çalışan sağlığını korumak için esas olmakla birlikte doğru güvenlik önlemleri alınmazsa, kısa veya uzun vadeli sağlık riskleri doğabilir. Bu sebeple; radyasyondan korunma için Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu'nun

(*International Commission on Radiological Protection - ICRP*) belirlediği 3 temel prensip vardır (1);

- Gerekçeleştirme (*justification*),
- Optimizasyon (*as low as reasonably achievable - ALARA*),
- Doz sınırlamaları (*limitations*).

1. Gerekçeleştirme

Maruz kalınacak radyasyonun etkileri göz önünde bulundurularak net bir fayda sağlamayan hiçbir radyasyon uygulamasına izin verilmemelidir. Yani, radyasyon uygulamasının zararlı etkileri göz önünde bulundurulmalı, uygulamanın gerçekten kabul edilir olup olmadığı belirlenmeli, uygulama sonucunda ortaya

Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Med. Fiz. Uzm. Alptuğ Özer Yüksel, Ankara Bilkent Şehir Hastanesi, Nükleer Tıp Kliniği, Ankara, Türkiye

E-posta: alptug.ozeryuksel@gmail.com ORCID ID: orcid.org/0000-0002-9748-6208

Geliş Tarihi/Received: 14.01.2025 Kabul Tarihi/Accepted: 10.03.2025 Yayınlanma Tarihi/Publication Date: 18.03.2025

Cite this article as/Atf: Yüksel AÖ, Kovan B, Özdemir S. Personal dosimeters. Nucl Med Semin. 2025;11:48-57



Copyright© 2025 Yazar. Türkiye Nükleer Tıp Derneği adına Galenos Yayınevi tarafından yayımlanmıştır. Creative Commons Atıf-GayriTicari 4.0 Uluslararası (CC BY-NC 4.0) Uluslararası Lisansı ile lisanslanmış, açık erişimli bir makedir.

Copyright© 2025 The Author. Published by Galenos Publishing House on behalf of Turkish Nuclear Medicine Society. This is an open access article under the Creative Commons AttributionNonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

çıkabilecek olumsuz etkiler bir bedel olarak görülmeli ve bu bedel uygulama sonrası elde edilecek fayda ile kıyaslanmalıdır.

2. Optimizasyon/ALARA

Optimizasyon prensibine göre, yukarıda bahsedilen bedel-fayda kıyaslamasının sonucu olarak gerekli olduğu onaylanmış radyasyon uygulaması sırasında mümkün olan en düşük dozun alınması sağlanmalıdır. Bunun için sosyo-ekonomik faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır.

- **Zaman:** Radyasyon kaynağının bulunduğu ortamda kalma süresi mümkün olduğu kadar kısa tutulmalıdır.
- **Mesafe:** Maruz kalınan radyasyon dozu, uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak azaldığından radyoaktif kaynaklardan mümkün olduğunca uzak mesafede durulmalıdır.
- **Zırhlama:** Radyoaktif ortamda optimum zırhlama yapılmalı, kurşun önlük, kurşun eldiven, enjektör taşıyıcı, kurşun cam kullanılmalıdır. Bu ortamları çevreleyen duvarların yeterli beton kalınlığı ve kurşun zırhlaması olmalıdır.

3. Doz Sınırlamaları

Kişilerin maruz kaldıkları doz eşdeğeri miktarı belirli doz sınırlarını aşmamalıdır. Bu prensip bir kişinin maruz kalabileceği etkin eşdeğer dozun kesin bir şekilde sınırlandırılmasını gerektirir. Bu sınırlar, kanser ve kalıtsal hasarlar gibi olasılığa bağlı etkilerin ortaya çıkışını kontrol altına almak için belirlenmiş olup, kişilerin ve gelecek nesillerin kabul edilmeyecek bir risk altına girmesini engeller.

Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu (*International Atomic Energy Agency* - IAEA) ve ICRP'nin radyasyon güvenliği standartları, Avrupa Atom Enerjisi Topluluğu (*European Atomic Energy Community-Euratom*) bünyesinde radyasyon güvenliği konusunda yayımlanan temel direktifler, kişisel dozimetre kullanımını detaylandırmaktadır. Türkiye'de kişisel dozimetre zorunluluğu Nükleer Düzenleme Kurumu tarafından yayımlanan "Radyasyondan Korunma Yönetmeliği", radyasyon çalışanları için kişisel dozimetre kullanımını zorunlu kılmaktadır. Yönetmelik, her çalışanın uygun şekilde dozimetre kullanmasını, periyodik kontrolünü ve doz limitlerinin aşılmamasını denetler (2).

Radyasyon kaynaklarıyla çalışan ve normal çalışma koşullarında toplum üyeleri için belirlenen doz sınırları

dahilinde, yılda 1 mSv'yi aşan etkin doz veya göz merceği, deri, el ve ayaklar için yıllık eşdeğer doz sınırlarının 1/10'undan fazla maruz kalma riski taşıyan bireyler, radyasyon görevlisi olarak sınıflandırılır. Buna ek olarak, yıllık dozun 1 mSv'yi aşma olasılığı bulunan bölgeler, "radyasyon alanı" olarak tanımlanır. Radyasyon alanları, denetimli ve gözetimli alanlar olmak üzere iki kategoriye ayrılır. Denetimli alanlar, radyasyon görevlilerinin giriş ve çıkışlarının özel denetime tabi olduğu, çalışmanın radyasyondan korunma açısından belirli kurallara bağlı olduğu ve görev gereği radyasyona maruz kalan bireylerin beş yıllık ortalama yıllık dozunun 6 mSv'yi aşabileceği alanlardır. Bu alanda çalışanların dozimetre kullanması zorunludur.

Gözetimli alanlar ise, radyasyon görevlilerinin yıllık doz sınırlarının 1 mSv'yi aşma ihtimali bulunan fakat 6 mSv'yi geçmesi beklenmeyen alanlardır. Bu alanlarda kişisel doz ölçümüne gerek yoktur; ancak çevresel radyasyonun izlenmesi zorunludur. Radyasyona maruz kalan kişilerin çalışma koşulları, "Çalışma Koşulu A" ve "Çalışma Koşulu B" olarak iki gruba ayrılır. "Çalışma Koşulu A", yılda 6 mSv'yi aşan etkin doza veya göz merceği, deri, el ve ayaklar için yıllık eşdeğer doz sınırlarının 3/10'undan fazla doza maruz kalma olasılığını ifade eder. "Çalışma Koşulu B" ise, "Çalışma Koşulu A" da belirtilen değerleri aşmayan radyasyon dozuna maruz kalma durumunu tanımlar (3).

Kişisel izleme, radyasyon alanında çalışan bireylerin çalışma süresince maruz kaldıkları radyasyon dozunun ölçülmesini ifade eder. Radyasyonla çalışanların maruz kaldıkları dozların mümkün olan en düşük seviyede tutulması ve radyasyon doz limitlerinin aşılmaması için kişisel dozların izlenmesi önemlidir. Radyasyon kaynaklarının kullanıldığı kapalı ve açık alanlarda yapılan doz hızı ölçümleri, çalışanların bu alanlardaki süreleri ve potansiyel ışınlamalar göz önüne alınarak önceden değerlendirilmelidir. Böylece, bireylerin bir yılda alabilecekleri doz hesaplanabilir.

Bireylerin maruz kaldığı radyasyon ölçümleri kişisel dozimetreler ile gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle, radyasyonla çalışan profesyonellerin sağlıklarını korumak ve maruz kalınan doz miktarını belirlemek için kişisel dozimetreler büyük bir öneme sahiptir. Kişisel dozimetreler, bireylerin radyasyona maruz kalma seviyelerini sürekli ve güvenilir bir şekilde ölçerek hem yasal gereksinimlerin yerine getirilmesini sağlar hem de uzun vadeli sağlık risklerini minimize eder (1).

Kişisel Dozimetrelerin Önemi

- **Radyasyon Maruziyetini İzleme:** Dozimetreler, radyasyon çalışanlarının maruz kaldığı radyasyon dozunu sürekli olarak izler ve çalışanların güvenli sınırlar içinde kalmasını sağlar.
- **Yasal Zorunluluk:** Kişisel dozimetre kullanımı, Türkiye’de ve uluslararası alanda yönetmeliklerle zorunlu kılınmıştır. Dozimetreler, iş güvenliği denetimlerinin ve radyasyon güvenliği yönetmeliklerinin bir parçasıdır.
- **Sağlık Risklerini Azaltma:** Radyasyonun sağlık üzerindeki olumsuz etkilerini (örneğin; kanser riski) en aza indirmek için çalışanların maruz kaldıkları radyasyon miktarı yakından izlenir.
- **Uzun Vadeli Takip:** Çalışanların radyasyona maruz kalma geçmişi kayıt altına alınır ve uzun vadeli izlem sağlanır. Böylece radyasyon çalışanlarının tüm meslek hayatları boyunca ne kadar radyasyona maruz kaldıkları görülebilir.

Dozimetreleri aktif ve pasif olmak üzere iki sınıfa ayırabiliriz.

Pasif Dozimetreler

En yaygın kullanılan pasif dozimetreler, termolüminesans dozimetreler (TLD) ve optik uyarmalı dozimetreler (OSL) olup, özellikleri aşağıda açıklanmıştır:

1. Termolüminesans Dozimetreler

TLD’nin çalışma işleyişini 3 aşamada değerlendirirsek;

a. Enerji Yakalama (Tuzaklama)

Termolüminesans, fosforlar adı verilen belirli kristal malzemelerin fiziksel özelliklerinden biridir. Bu kristallerin termolüminesans özelliği, kristal içindeki yapı bozuklukları ya da kristale yabancı atomların eklenmesi sonucunda yasak enerji düzeylerinin ortaya çıkmasıyla oluşur.

b. Enerji Depolama

Radyasyonun enerjisi elektronları bu tuzaklara çektiği için, kristal radyasyon enerjisini bir anlamda “depolar”. Elektronlar, bu tuzaklarda kalır ve serbest kalmadıkları sürece malzeme radyasyonun etkisini içinde taşır.

TLD’de kullanılan fosforlar arasında en yaygın olanları lityum florür (LiF), lityum borat ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$), kalsiyum florür (CaF_2) ve kalsiyum sülfat (CaSO_4) yer almaktadır. CaSO_4 ve CaF_2 oldukça hassas dedektörlerdir; ancak doku eşdeğeri özellik göstermemektedirler. LiF, 100 μSv ile 5

Sv aralığında doğrusal bir cevap verirken, 1 kSv’ye kadar da kullanılabilir. $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ise daha geniş bir doz aralığında daha tutarlı bir yanıt sunar ve termal nötronlara karşı daha duyarlıdır. Her iki malzeme de yaklaşık doku eşdeğeri özellik taşır ve bu malzemelerden üretilen TLD karmaşık filtre sistemlerine ihtiyaç duymaz.

c. Enerjinin Serbest Bırakılması (Işık Yayılması)

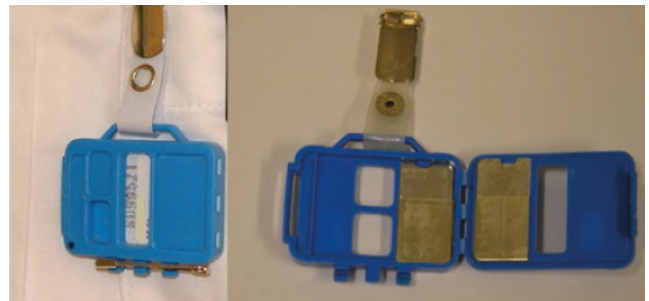
Bu malzemeler, iyonlaştırıcı radyasyondan enerjiyi soğurur ve 100 °C ile 200 °C arasında ısıtıldığında bu enerjiyi ışık olarak yayar. Yayılan foton miktarı, soğurulan doz ile orantılıdır; bu nedenle açığa çıkan ışık şiddeti ölçülerek maddenin soğurduğu radyasyon miktarı belirlenebilir.

TLD’nin toz, çip, disk ve çubuk gibi farklı formları bulunmaktadır. Bu dozimetreler yeniden kullanılabilir. TLD okumak için, fosfor kristaline ek olarak bir TLD fırını ve okuyucuya ihtiyaç vardır. Bu dozimetreler çevresel koşullardan etkilenmez ancak ikinci bir okumaya olanak tanımaz; dolayısıyla depolanan bilgiler silinir. Termolüminesans malzemeler, Şekil 1’de görüldüğü gibi genellikle farklı vücut bölgelerinin dozlarını ölçmek amacıyla kullanılır.

Disk şeklinde hazırlanan dozimetrelerin çapı 15 mm’den daha az, kalınlığı ise 0,5 mm’dir; çip şeklindeki dozimetreler ise 3 mm² boyutunda olup kalınlıkları yaklaşık 1 mm civarındadır. Sonuç olarak, TLD, termolüminesans özelliği gösteren bir kristalin uygun filtreler ve taşıyıcı ile birlikte çeşitli radyasyon türlerini belirlemek için kullanılan dozimetrelerdir.

d. Termolüminesans Dozimetrelerin (TLD) Avantajları

- Yüksek hassasiyet: TLD düşük doz seviyelerini ölçmede yüksek hassasiyet sunar.
- Geniş doz aralığı: Çok düşük dozlardan yüksek dozlara kadar geniş bir ölçüm aralığına sahiptir.



Şekil 1. TLD: Termolüminesans dozimetreler

- Yeniden kullanılabilirlik: TLD yeniden ısıtılma işleminden geçirilerek defalarca kullanılabilir.
- Küçük boyut ve taşınabilirlik: Küçük boyutları sayesinde taşınması ve kullanımı kolaydır.
- Enerji bağımsızlığı: Geniş bir enerji spektrumunda tutarlı sonuçlar verir.
- Uzun süreli stabilite: Depolanan doz bilgisi zamanla bozulmadan uzun süre saklanabilir.
- Harici etkilere dayanıklılık: Nem, sıcaklık ve diğer çevresel etkilere karşı dayanıklıdır.

e. Termoluminesans Dozimetrelerin Dezavantajları

- Anlık okuma sağlamaması: TLD anlık doz okuması yapamaz, analiz için laboratuvar ortamında ısıtılma işlemi gereklidir.
- Tek kullanımlık veri saklama: Bir kez okunan doz bilgisi sıfırlanır ve tekrar erişilemez.
- Uzmanlık gereksinimi: Ölçüm ve analiz için özel ekipman ve eğitimli personel gerektirir.
- Yüksek başlangıç maliyeti: TLD okuyucu cihazları yüksek maliyetli olabilir.
- Karmaşık kalibrasyon: Kalibrasyon işlemleri detaylı ve zaman alıcıdır.
- Düşük zaman çözünürlüğü: Doz bilgisi, ölçüm süresi boyunca toplam doz olarak kaydedilir, zaman içinde doz değişiklikleri hakkında bilgi vermez.

2. Optik Uyarmalı Dozimetreler

OSL'nin çalışma işleyişini 3 aşamada değerlendirirsek;

a. Enerji Yakalama (Tuzaklama)

OSL'de kullanılan malzemeler genellikle alüminyum oksit gibi fosforlu malzemelerdir. Radyasyon, OSL malzemesinin içindeki elektronları daha yüksek enerji seviyelerine çıkarır ve elektron tuzaklarına hapseder. Bu tuzaklar, malzemedeki yapısal kusurlardan kaynaklanır. Elektronlar, radyasyonun enerjisini alarak bu tuzaklarda sabit kalır, tıpkı TLD olduğu gibi enerji depolarlar.

b. Enerjinin Serbest Bırakılması (Işık Yayılması)

OSL cihazı, bu tuzaklanmış elektronları serbest bırakmak için lazer veya başka bir ışık kaynağı kullanır. Malzeme ışık demeti kullanarak luminesans sağlamasıyla uyarıldığında, elektronlar serbest kalır ve foton (ışık) yayarlar. Yayınlanan ışık miktarı, maruz kalınan radyasyon dozuna orantılıdır. Ne kadar çok radyasyon, o kadar çok tuzaklanan elektron ve dolayısıyla o kadar çok ışık yayılan enerji anlamına gelir. Bu ışık yayılımı bir dedektör

tarafından ölçülür ve alınan veriye göre radyasyon dozu hesaplanır.

c. Anında Ölçüm

OSL teknolojisi, TLD'den farklı olarak, ısıtma gerektirmediği için ışık kaynağıyla çok hızlı ölçümler yapılabilir. Bu, doz ölçümünün daha hızlı ve tekrarlanabilir olmasını sağlar. OSL dozimetreleri, düşük dozlarda yüksek duyarlılık sunmaları ve tekrar okuma imkanı sağlamaları nedeniyle tercih edilmektedir. Geniş bir doz aralığında oldukça hassas olan OSL'nin doz cevapları lineer olup, açılabilir bağımlılıkları düzeltme gerektirse de enerjiye bağlı değildir.

d. Optik Uyarmalı Dozimetrelerin Avantajları

- Yüksek hassasiyet ve doğruluk: OSL dozimetreler, özellikle düşük doz ölçümlerinde yüksek hassasiyet sağlar.
- Anlık veri okuma imkanı: Okuma işlemi sırasında dozimetre zarar görmez, böylece aynı dozimetre tekrar okunabilir.
- Yeniden kullanılabilirlik: Dozimetre yeniden sıfırlanarak defalarca kullanılabilir.
- Geniş doz ve enerji aralığı: Çok düşük dozlardan yüksek dozlara kadar geniş bir ölçüm aralığına sahiptir ve farklı radyasyon türleriyle çalışabilir.
- Hızlı okuma süresi: Analiz işlemi kısa sürede tamamlanabilir.
- Stabil veri saklama: Depolanan doz bilgisi, uzun süre güvenilir bir şekilde korunabilir.
- Kompakt ve taşınabilir: Küçük boyutları sayesinde kolayca taşınabilir ve kullanıcı dostudur.
- Gelişmiş çevresel dayanıklılık: Çevresel faktörlere, özellikle nem ve sıcaklığa karşı dayanıklıdır.
- Rutin kalibrasyon gerektirmez: Çoğu durumda ek bir kalibrasyon işlemi gerekmez.

e. Optik Uyarmalı Dozimetrelerin Dezavantajları

- Yüksek başlangıç maliyeti: OSL okuyucuları ve ilgili ekipmanlar genellikle pahalıdır.
- Anlık izleme yapamama: Dozimetreler sürekli izleme sağlayamaz, sadece analiz için okuyucu cihazına ihtiyaç duyar.
- Teknoloji bağımlılığı: Özel cihaz ve yazılımlar gerektirir, bu da maliyet ve teknik uzmanlık ihtiyacını artırır.
- Enerji bağımlılığı: Bazı radyasyon türlerinde enerji bağımlılığı gösterebilir, bu da ek düzeltme faktörleri gerektirebilir.

- Düşük zaman çözünürlüğü: Doz birikim süresi boyunca toplam dozu ölçer, zaman içindeki değişimlerin detaylı izlenmesi mümkün değildir.
- Karmaşık veri analizi: Ölçümlerin doğru bir şekilde değerlendirilmesi için uzmanlık ve deneyim gereklidir.

Aktif Dozimetreler

Aktif dozimetreler, çalışma sırasında anlık okuma yapabilen ve alarmlı özellik taşıyan cihazlardır. Bu özellikleri, beklenmedik durumlara karşı önlem alınmasına olanak tanır.

Özellikle girişimsel radyolojik çalışmalarda, açık veya kapalı kaynak kullanılan tıbbi ve endüstriyel uygulamalarda ani veya hızlı doz değişimlerini kontrol etmek ve uygulamaya özgü dozları ölçmek için aktif dozimetreler tercih edilmektedir. Radyoaktif kaynak içeren cihazlarla yapılan çalışmalarda, kaynakların dışarıda kalması, kaybolması, düşmesi, kilit mekanizmasının açık kalması veya arızalı olması gibi durumlarla başa çıkmak için radyasyon görevlileri, anlık okuma yapabilen (elektronik alarmlı) aktif dozimetreleri kullanmalıdır (Şekil 2).

Aktif dozimetreler, yüksek radyasyon varlığında kullanıcıyı uyarmak için uygun bir alarm seviyesine ayarlanmalıdır. Ancak, bu dozimetreler pasif dozimetrelerin veya radyasyon alanlarının seviyesini ölçen cihazların yerini alamaz ve yalnızca uygulamaya özgü ek olarak kullanılmalıdır. Her kullanım sonrasında, aktif dozimetrenin tahsis edildiği kişi ve okunan doz değerleri kayıt altına alınmalı ve dozimetreler, bir sonraki kullanım

için uygun koşullarda saklanmalıdır. Aktif dozimetreleri de ikiye ayırmamız mümkündür;

1. Elektrometre Tabanlı Dozimetreler

Bu cihazlar, radyasyona maruz kaldıklarında elektriksel değişiklikleri ölçen sensörler kullanır. Genellikle gerçek zamanlı doz izleme sağlarlar. Elektrometreler, iyonizasyon sonucu oluşan elektriksel değişiklikleri ölçer.

2. MOSFET Tabanlı Dozimetreler

Metal oksit yarı iletken alan etkili transistör (*metal-oxide-semiconductor field-effect transistor* - MOSFET) kullanarak radyasyona maruz kaldığında transistörün voltajında değişiklik meydana gelir. Bu değişiklik radyasyon dozuna çevrilir. MOSFET'ler, yarı iletken malzemelerde radyasyonun sebep olduğu voltaj değişikliklerini ölçer. Bu voltaj değişiklikleri doğrudan radyasyon dozuna çevrilir.

Güncel Yaklaşımlar ve Yeni Teknolojiler

Son yıllarda, kişisel dozimetri alanında bazı yenilikçi yaklaşımlar dikkat çekmektedir.

Bluetooth ile Aktif Dozimetreler: Yeni nesil aktif dozimetreler, Bluetooth teknolojisi ile gerçek zamanlı verileri mobil cihazlara aktarabilir ve merkez bir izleme sistemiyle entegre olabilir.

Biyolojik Dozimetreler: Biyolojik bazlı dozimetreler, bireyin biyomarkerlerinin analiz edilmesi yoluyla maruz kaldığı radyasyon miktarını ölçmeyi amaçlamaktadır. Bu, özellikle acil durumlarda veya yüksek doz maruziyetlerinde faydalı olabilir.

Dozimetrelerin Kullanımı

- Tüm vücut radyasyon dozunun ölçülmesi için dozimetreler, çalışma önlüğünün üst cebine, yakaya veya kemere (dozimetre öne gelecek şekilde) klips ile tutturulmalıdır. Kurşun önlük kullanıldığında, dozimetreler bu önlüğün altında yer almalıdır. Ayrıca, kullanım esnasında dozimetrenin önüne herhangi bir cisim (kalem, isimlik vb.) gelmemesine özen gösterilmelidir.
- Yüzük dozimetreleri, kontaminasyonu önlemek amacıyla eldivenin altına takılmalı ve kristalin bulunduğu şeffaf kısım dışa gelecek şekilde yerleştirilmelidir.



Şekil 2. Aktif dozimetre örnekleri

- Kristal, taşıyıcısından çıkarılmamalı; taşıyıcı üzerine yazı yazılmamalı ve etiket yapıştırılmamalıdır.
- Dozimetreler, yüksek sıcaklık, yüksek basınç, su veya fiziksel hasar gibi olumsuz etkilere maruz bırakılmamalıdır.
- Kullanım dışı kaldıklarında dozimetreler, radyasyondan uzak, korunaklı bir alanda saklanmalı ve eve ya da başka bir yere götürülmemelidir.
- Dozimetreler, kullanılmadıkları süre boyunca kesinlikle radyasyona maruz bırakılmamalıdır.
- Dozimetreler, kullanıcı tarafından radyasyon alanı dışında, radyasyondan korunma sorumlusunun önceden belirlediği bir yerde saklanmalı; personel, buradan alarak kullanmalı ve iş bitiminde aynı yere bırakmalıdır.
- Dozimetrelerin kullanılmadığı zamanlarda radyasyon alanında bırakılması veya unutulması durumunda, dozimetrede ölçülen değerin kullanıcının gerçekte maruz kalınan doz olmayacağı dikkate alınmalıdır. Bu durumda, dozimetri servisi radyasyondan korunma sorumlusuna bildirilmelidir. Dozimetre, derhal dozimetri servisine iade edilmeli ve yeni bir pasif dozimetre temin edilmelidir.
- Dozimetreler zamanında toplanıp dağıtılmalı ve her birinin kullanıldığı yer (vücut, el, baş, göz) belirtilerek dozimetri servisine iade edilmelidir. Eğer farklı amaçlarla (araştırma, ortam dozu ölçümü vb.) kullanılan dozimetreler mevcutsa veya olağan dışı bir durum yaşıyorsa, bu konuda dozimetri servisine bilgi verilmeli ve kayıtların ayrı tutulması sağlanmalıdır.
- Dozimetrelerin herhangi bir hasar gördüğü veya kontamine olduğu durumlar, radyasyondan korunma sorumlusuna bildirilmelidir. Ayrıca, dozimetri servisi de bilgilendirilmelidir. Hasar gören veya kontamine olan dozimetreler, derhal dozimetri servisine iade edilmeli ve yeni bir pasif dozimetre temin edilmelidir.
- Çalışma sırasında olağan dışı bir durum meydana gelirse ya da mevzuatta belirtilen değerlerin üzerinde bir doza maruz kalındığı düşünülüyorsa, bu durum derhal radyasyondan korunma sorumlusuna veya yetkili kişilere bildirilmelidir. Dozimetrenin acil olarak değerlendirilmesi istenerek dozimetri servisine gönderilmesi gerekmektedir.
- Değerlendirme sonuçlarına göre, aylık 2 mSv doz değerinin aşılması durumunda, bu dozimetrelerin

tahsis edildiği kişiler ve çalışma koşulları radyasyondan korunma sorumlusunun değerlendirmesine tabi tutulmalıdır. İnceleme düzeyinin üzerinde bu dozun nedeninin araştırılması ve gerekli düzeltici önlemlerin alınması sağlanmalıdır.

- Radyasyonla çalışanların kişisel doz kayıtları tutulmalı ve doz değerlendirme sonuçları çalışanlara bildirilmelidir. Çalışanların kendi kişisel doz kayıtlarına erişimlerinin sağlanması önemlidir. Ayrıca, radyasyonla çalışanların kişisel doz kayıtlarının yetkili kurumlara ve gerektiğinde sağlık etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla sağlık kuruluşlarına verilmek üzere güncel ve hazır halde bulundurulması gerekmektedir.

Uygulama veya faaliyete özgü dozimetrelerin (tüm vücut, yüzük, bilek, baş, göz gibi) nasıl kullanılacağına dair talimatlar oluşturulmalı, kullanıcılar belirlenmeli ve dozimetrelerin tedarik, dağıtım, toplama süreçleri ile dozimetri hizmeti veren kuruluşa iletilmesi sağlanmalıdır. Ayrıca, gelen sonuçların ilgili kişilere ulaştırılması, değerlendirilmesi ve gerekirse doz azaltıcı tekniklerin gözden geçirilerek uygulanması gibi işlemlere ilişkin görev ve sorumluluklar radyasyondan korunma programlarında yer almalıdır. Radyasyondan korunma programında, inceleme seviyesinin üzerinde doz alındığında veya beklenenden fazla radyasyona maruz kalma şüphesi olduğunda izlenecek yöntemler de belirlenmelidir.

Kişisel Takip Süreçleri

Kişisel dozimetreler, aktif (kalem dozimetreleri, elektronik dozimetreler) ve pasif (film dozimetreleri, TLD, OSL) olmak üzere iki gruba ayrılır. Kişisel dozlar, pasif dozimetreler kullanılarak kişinin toplam vücut dozunu tespit etmek için TLD ve OSL dozimetreleri ile deri ve el dozunu belirlemek amacıyla yüzük dozimetreleri ile en fazla iki aylık dönemler halinde ölçülmelidir.

“Çalışma Koşulu A” olarak sınıflandırılan radyasyon görevlileri, mutlaka tüm vücut pasif (TLD veya OSL) dozimetre kullanmalıdır. Bölgesel eşdeğer dozların (göz, boyun-tiroit bölgesi, el-bilek) ölçülmesi gereken durumlarda ayrıca önlük üstü dozimetreler sağlanmalı ve dozimetre tipleri ile kullanılacak vücut bölgeleri belirtilmelidir. Dozimetreler, “Dozimetre Dağıtım Listesi”nde belirtilen numaraya uygun olarak dozimetreleri kullanacak kişilere teslim edilmelidir. Yeni döneme ait dozimetre kullanıcıya verildiğinde, bir önceki dönemde kullanılan dozimetre

teslim alınmalı ve toplanan dozimetreler en kısa sürede dozimetri hizmeti sunan kuruluşa gönderilmelidir. Kişisel dozimetreler yalnızca birey tarafından kullanılmalı, başkalarının kullanımına izin verilmemelidir (3).

Kullanıcı değişikliği veya ekleme durumunda, bu durum dozimetri hizmeti sağlanan kuruluşa derhal bildirilmelidir. Kullanıcı değişikliği söz konusu olduğunda, dozimetre yeni bir kullanıcıya teslim edilmeden önce, bu dozimetrenin önceki kullanıcı tarafından radyasyon alanında hiç kullanılmamış olması gereklidir. Eğer dozimetre daha önce kullanıldıysa, kullanım süresi dikkate alınmaksızın değerlendirilip dozimetri servisine geri gönderilmelidir; yeni kullanıcı için mutlaka yeni bir dozimetre temin edilmelidir.

Kişisel Doz Sınırları

Radyasyon dozimetrisindeki temel öge emilen soğurulan doz D 'dir (ve doz hızı dD/dt). Bu durum tamamen fiziksel bir varlıktır ve küçük bir (doku) hacminde soğurulan E enerjisinin (joule, J), ilgili hacmin m kütlesine (kg) bölünmesiyle tanımlanır. Bu nedenle D 'nin birimi J/kg 'dır ancak gray (Gy) olarak tanımlanır. Radyasyonun biyolojik etkileri yalnızca verilen enerji miktarına değil, aynı zamanda radyasyonun özelliklerine bağlı olan mikroskobik düzeydeki dağılımına da bağlıdır. Bu nedenle soğurulan dozun bir organ veya doku (T) üzerinden ortalaması alınır ve eşdeğer doz H_T 'yi verecek şekilde radyasyon ağırlık faktörü w_R gibi bir faktörle tanımlanır (1).

w_R faktörü, Nükleer Tıp'taki çoğu uygulamayı kapsayan fotonlar (X -ışını ve gama) ve elektronlar (β^- veya β^+) için 1 değerindedir. Radyasyondan korunmada alfa parçacıkları için 20 değeri uygulanır. Eşdeğer dozu, soğurulan dozdan ayırt etmek için H_T birimi sievert (Sv) olarak değiştirilir. Tek bir "risk parametresi" oluşturmak için, H_T değerleri son olarak bireysel organların radyasyon hassasiyetini yansıtan doku faktörleri w_T kullanılarak birlikte tanımlanır. Ortaya çıkan sonuç, tüm vücut maruziyeti için sınırlar belirlenirken kullanılan etkin H dozudur (Sv).

Radyasyondan korunmada pratik kullanım için aşağıdaki "operasyonel" varlıklar tanımlanmıştır. Dokuda 10 mm derinlikteki eşdeğer doza karşılık gelen ortam doz eşdeğeri $H^*(10)$ (Sv), malzeme ve kişisel doz eşdeğeri $H_p(d)$ (Sv), vücutta belirli bir noktanın altındaki yumuşak dokuda d derinliğindeki eşdeğer doz olarak tanımlanır. İlgili d değerleri, $d=10$ mm (etkin dozu tahmin etmek için kullanılır), $d=0,07$ mm (deri dozu için kullanılır) ve $d=0,3$ mm'dir (göz merceğine uygulanan doz için). Radyasyon çalışanları ve halk için yıllık radyasyon doz limitleri Tablo 1'de verilmiştir (4).

Doz Aşımı Olan Süreçler

Uluslararası ve ulusal mevzuatlarda tanımlanan inceleme düzeyi, "üzerinde daha fazla inceleme yapılmasını gerektiren eşdeğer doz, etkin doz veya vücuda alınma miktarlarıdır". Bu düzey, bir ay için yıllık eşdeğer doz sınırının 1/10'u olarak belirlenmiştir ve radyasyon görevlileri için aylık 2 mSv'dir. Ülkemizde dozimetrelerin değerlendirme sonuçları, dozimetri servisleri tarafından Nükleer Düzenleme Kurumu (NDK) bünyesindeki Merkezi Doz Kayıt Sistemi'ne aktarılmakta ve bu dozların incelenmesi, başka bir deyişle mesleki ışınlanmaların takibi, dozimetre hizmeti vermek üzere NDK'dan uygunluk belgesi almış kuruluşların Merkezi Doz Kayıt Sistemi'ne aktardıkları verilerin incelenmesi ile gerçekleştirilmektedir. Yapılan incelemelerde yönetmelikte belirtilen doz sınırlarının aşılması veya aşılmasından şüphe duyulması halinde, ilgili kuruluşlar NDK tarafından denetlenmektedir.

Doz değerlendirme sonuçlarının aylık 2 mSv'yi aşması durumunda, dozimetri hizmeti alan kuruluşlar aşağıdaki adımları izlemelidir (5):

- Kişiye tahsis edilmiş dozimetrede ölçülen dozun nedeni (dozimetre hatalı kullanımı, kasıtlı ışınlama, çalışma koşullarının uygunluğu, cihaz/sistem hatası vb.) araştırılmalıdır.

Tablo 1. Yıllık doz sınırları

Etkin doz		Radyasyon görevlileri (mSv)	Halk (mSv)
Tüm vücut (yıllık)		50	1
Tüm vücut (5 yılın ortalaması)		20	1
Göz merceği (yıllık)	Eski	150	15
	Yeni	20 mSv, 5 yılın ortalaması ve herhangi bir yılda maksimum 50 mSv	15 (yıl)
El, ayak ve tüm deri (yıllık)		500	50

- Doz değerlerinin, dozimetrenin hatalı kullanımından veya kasıtlı ışınlamalardan kaynaklanıp kaynaklanmadığı tespit edilene kadar, kişinin radyasyon alanında çalışmasına izin verilmemelidir.
- Eğer dozimetrenin hatalı kullanıldığı veya kasıtlı bir ışınlama tespit edilirse, kullanıcının ve radyasyondan korunma sorumlusunun imzasını taşıyan bir açıklayıcı bilgi içeren Araştırma Formu doldurulmalı ve belirtilen süre içinde dozimetre hizmeti veren kuruluşa gönderilerek kayıt altına alınmalıdır. Radyasyondan korunma sorumlusuyla lisans sahibi, dozimetreyi kullanan kişiyi konu hakkında bilgilendirerek hatalı kullanım veya kasıtlı ışınlamanın tekrarlanmaması için gerekli önlemleri almalıdır.
- Dozimetre hatalı kullanıldıysa veya kasıtlı ışınlama durumu tekrar ederse, çalışma planları ve talimatlar gözden geçirilmeli, yeniden hazırlanarak uygulanmalı ve hizmet içi eğitim verilmelidir. Bu konuda idari bir inceleme yapılmalı ve NDK'ya bilgi verilmelidir.
- Eğer dozimetrede ölçülen dozun, hatalı kullanım veya kasıtlı ışınlamadan kaynaklanmadığı belirlenirse ve doz aşımının çalışma koşullarından kaynaklandığı tespit edilirse, kişinin sağlık tetkikleri ve gerekirse tedavi süreci başlatılmalıdır. Ölçülen doz değeri 100 mSv ve üzerindeyse, “radyasyon alanında çalışmasında sakınca bulunmadığına” dair referans sağlık hastanesinden rapor alınana kadar, kişinin radyasyon alanında çalışmasına izin verilmemelidir. Ayrıca, mevzuatta belirtilen doz sınırları aşılmadan, temel güvenlik standartlarına uygun olarak çalışma planı yeniden düzenlenmeli, gerekli düzeltici önlemler alınmalı ve talimatlar güncellenmelidir. Çalışanlara radyasyondan korunma ve lisans koşullarıyla ilgili yeniden hizmet içi eğitim verilmelidir. Alınan “radyasyon alanında çalışmasında sakınca bulunmadığına” dair rapor, derhal NDK'ya iletilmelidir.
- Olağandışı veya şüpheli durumlar meydana geldiğinde, dozimetreler değerlendirilmek üzere hızla hizmet alınan dozimetri servisine gönderilmelidir.
- İnceleme düzeyinin üzerinde doz değeri tespit edilen kişilerin sonraki hizmet dönemlerinde de dozimetre değerlendirme sonuçları, kuruluşun radyasyondan

korunma sorumlusuyla takip edilmeli ve durumun tekrarlanmaması sağlanmalıdır.

Araştırma Formlarının Doldurulması

Doz değerlendirme sonuçları aylık 2 mSv'yi geçtiğinde, dozimetri hizmeti alan kuruluşlar, dozimetri servisi tarafından kendilerine gönderilen araştırma formunu şu şekilde doldurmalıdır (5):

- “Dozimetre hizmeti alan kişi tarafından doldurulacaktır” ifadesinin yer aldığı bölüm, ilgili hususlara dikkat edilerek, dozimetri hizmeti alan kişi tarafından doldurulmalıdır.
- “Dozimetre hizmeti alan kuruluşun radyasyondan korunma sorumlusuyla doldurulacaktır” ifadesi bulunan bölüm ise radyasyondan korunma sorumlusunca doldurulmalıdır. Formun doldurulmasının ardından, radyasyondan korunma sorumlusunun dozimetre sonucuna ilişkin değerlendirmeleri (dozimetrenin hatalı kullanımı, kasıtlı ışınlanma veya dozun çalışma koşullarından kaynaklandığı) formda belirtilmelidir.

Form eksiksiz bir şekilde doldurulduktan sonra, dozimetre kullanıcısı ve radyasyondan korunma sorumlusunca imzalanarak, en geç 15 gün içinde hizmet alınan dozimetre servisine gönderilmelidir.

Değerlendirme Formlarının Doldurulması

Dozimetre servisi, dozimetri hizmeti alan kuruluşta gelen araştırma formunu inceledikten sonra, doz değerinin hatalı kullanım, kasıtlı ışınlanma veya çalışma koşullarından kaynaklanıp kaynaklanmadığına dair görüşlerini içeren bir değerlendirme formu hazırlamalıdır. Bu form, ilgili dozimetre kullanıcısının son 12 aya ait doz değerleri ile varsa son beş yıla ait doz verilerini de içermelidir. Eğer doz değeri, dozimetrenin hatalı kullanımı veya kasıtlı ışınlamadan kaynaklanmıyorsa, dozimetri servisi bu değerlendirme raporunu ve araştırma formunun birer kopyasını hızlıca NDK'ya göndermelidir.

Önceki hizmet dönemlerinde, kullanıcıya tahsis edilen dozimetre kayıtlarında hatalı kullanım veya kasıtlı ışınlanma nedeniyle inceleme düzeyi üzerinde bir doz değeri tespit edilirse, dozimetri servisi bu dönemlerdeki tahmini doz değerlerini göz önünde bulundurarak yıllık doz değerlerini belirlemeli ve raporda yıllık ile beş yıllık doz verilerini buna göre düzenlemelidir (5).

Dozimetre Tedarik Sağlayıcılarının Uygunluk Değerlendirmesi

Kişisel dozimetre hizmeti vermek için uygunluk belgesi almak üzere başvuran kuruluşların akredite olmaları zorunludur. Bu başvurular, NDK tarafından “Dozimetri Hizmeti Verecek Kuruluşlara İlişkin Usul ve Esaslar” çerçevesinde incelenir. Başvurunun uygun bulunması halinde yerinde bir inceleme yapılır. İnceleme, teknik altyapının yeterliliğinin belirlenmesinin ardından, Merkezi Doz Kayıt Sistemi'ne veri aktarma işlemlerinin test edilmesiyle devam eder. Bu işlemler de uygun bulunursa, ilgili kuruluşa uygunluk belgesi verilir (5).

Dozimetre Tedarik Sağlayıcıların Sorumlulukları

- NDK'dan Dozimetre Servisi Uygunluk Belgesi almış olan dozimetre servisi, hizmet alan kuruluşa yapılan sözleşmeye uygun olarak, en fazla iki aylık dönemlerde dozimetreleri dağıtmak ve değerlendirmek üzere toplamakla yükümlüdür.
- Dozimetrelerin teknik özelliklerine göre doğru kullanımlarına dair talimatları hazırlamak, kullanıcıları bilgilendirmek ve hizmet verdiği kişi/kuruluşların dozimetreleri bu talimatlara uygun bir şekilde kullanmalarını sağlamakla da sorumludur.
- Dozimetrelerin okunması ve dozların değerlendirilmesi tamamlandıktan sonra, sonuç raporlarını en geç 10 gün içinde hizmet verdiği kişi/kuruluşa yazılı olarak iletmelidir. Ayrıca, eğer inceleme düzeyi dozu olarak kabul edilen aylık 2 mSv değerinin aşılması söz konusu olursa, bu dozimetrelerin tahsis edildiği kişilerin isimleri ve çalışma koşulları radyasyondan korunma sorumlusunun incelemesine tabi tutulmalıdır. İnceleme düzeyinin aşılma nedenleri araştırılmalı ve gerekli düzeltici tedbirler alınmalıdır.
- Doz sonuçlarını kaydetmeli ve faaliyette bulunduğu süre boyunca saklamalıdır. Dozimetre hizmeti alan kişiler kuruluştan ayrıldıklarında ya da talep ettiklerinde, onlara ait güncel ve birikmiş doz bilgileri ilgili kişilere rapor şeklinde sunulmalıdır.
- Dozimetre hizmetinin yürütülmesi sırasında ortaya çıkan ve bir hizmet döneminde çözülemeyen sorunlar, hizmet alan kişi/kuruluşlara ve NDK'ya bildirilmelidir.

Doz Sonuç Raporları

Dozimetre hizmeti veren kuruluşlar tarafından hazırlanan doz sonuç raporları, TS-EN ISO/IEC 17025 standardına uygun olarak gerekli bilgilerin yanı sıra aşağıdaki unsurları da içermelidir (5):

- Dozimetre kullanıcısının adı ve soyadı
- Kullanıcının çalıştığı kuruluşun adı, adresi ve kodu
- Kullanıcının yaptığı iş (radyasyona maruz kalma nedeni)
- Dozimetrenin kullanıldığı tarih aralığı
- Dozimetre kullanım süresi
- Dozimetre tipi ve numarası
- Kullanılan vücut bölgesi
- Kişisel doz eşdeğeri gibi bilgiler

Kayıp dozimetrelere ilişkin açıklamalar, iade edilmeyen veya kullanılmadan iade edilen dozimetrelere dair bilgilerle birlikte, ilgili periyoda ait doz sonuç raporunda belirtilmelidir. Bir kişinin birden fazla dozimetre kullanması durumunda, her bir dozimetreye ait sonuçlar raporda ayrı ayrı yer almalıdır.

Dozimetre sonuçları, mevzuat gerekliliklerine uygun olarak, dozimetri hizmeti alan kişi veya kuruluşlar tarafından da kaydedilmeli ve bu kayıtlar en az 30 yıl süreyle saklanmalıdır. Kişilere ait doz kayıtlarının uzun vadeli tutulmasının sağladığı avantajlar şunlardır:

- Doz artışı durumunda lisans sahibini veya radyasyondan korunma sorumlusunu uyararak gerekli önlemlerin alınmasını sağlar.
- Kişisel doz sonuçları, doz sınırlarını aşmadığında mevzuata uygunluğu belgelemiş olur.
- Çalışanların maruz kaldıkları dozları karşılaştırma imkanı sunarak, işverene en düşük dozların alınmasını sağlamaya yönelik iyi uygulamaları gösterir.
- Çalışanların işten ayrılmasının ardından radyasyon kaynaklı sağlık sorunları durumunda, hem çalışanların hem de işverenin uzun zaman sonra tekrar tıbbi ve hukuki olarak değerlendirilebilmesini sağlar.
- İyonlaştırıcı radyasyonun biyolojik etkilerine yönelik çalışmalar ile epidemiyolojik araştırmalara veri sağlar.

Sonuç

Radyasyon güvenliği, özellikle sağlık, endüstri ve enerji alanlarında önemli bir rol oynamaktadır. Radyasyonun insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinden korunmak için, uluslararası alanda belirlenen güvenlik standartlarına uyulması gerekmektedir. ICRP tarafından belirlenen üç temel prensip-gerekçelendirme, optimizasyon ve doz sınırlamaları-radyasyon güvenliğinin temel yapı taşlarını oluşturur. Bu prensiplerin doğru bir şekilde uygulanması, insanların maruz kaldığı radyasyon dozlarının yönetilmesi açısından büyük önem taşır.

Kişisel dozimetreler, radyasyon güvenliğinin etkin bir şekilde sağlanmasında en önemli araçlardan biridir. Bu dozimetreler, bireylerin maruz kaldığı radyasyon dozlarını ölçerek, hem yasal gereklilikleri yerine getirmeyi sağlar hem de sağlık açısından olası riskleri en aza indirir. Pasif ve aktif dozimetreler, her iki türün de farklı avantajları vardır ve her iki sistem de kullanıcıların dozlarının izlenmesini mümkün kılar. Pasif dozimetreler genellikle uzun süreli ölçümler için kullanılırken, aktif dozimetreler daha anlık veriler sağlayarak anında müdahale olanağı tanır.

Radyasyon güvenliği alanında kişisel dozimetrelerin kullanımı, Radyasyondan Korunma Yönetmeliği ile düzenlenmiştir. Bu yönetmelik, özellikle radyasyonla çalışan kişilerin dozlarının izlenmesi ve doz limitlerinin aşılmaması için gerekli tedbirlerin alınmasını zorunlu kılar. Bu tedbirler, sadece yasal yükümlülükleri yerine getirmekle kalmaz, aynı zamanda bireylerin sağlıklarını korumak için de kritik öneme sahiptir. Dozimetre kullanımı sayesinde, radyasyon görevlilerinin maruz

kaldığı dozlar doğru bir şekilde izlenebilir ve bu sayede uzun vadeli sağlık riskleri minimize edilebilir.

Kişisel dozimetrelerin kullanımı, radyasyon güvenliğini sağlamak, doz limitlerini kontrol etmek ve sağlık risklerini en aza indirmek için hayati bir araçtır. Bu nedenle, düzenli ve doğru dozimetre kullanımı, hem bireylerin sağlığını korumak hem de ulusal güvenlik standartlarına uygunluğu sağlamak adına büyük önem taşır.

Dipnotlar

Çıkar Çatışması: Yazarlar tarafından çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Kaynaklar

1. International Atomic Energy Agency. Nuclear medicine physics. Vienna: IAEA, Vienna; 2015. Web:<http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10368/Nuclear-Medicine-Physics-A-Handbook-for-Teachers-and-Students>. Accessed 1 March, 2017.
2. European Council Directive 2013/59/Euratom on basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom. EUR-Lex. 2014;57:1-73.
3. Nükleer Tıp uygulamalarında radyasyondan korunma programına ilişkin kılavuz (RSGD-KLV-030). TAEK. Available link: <https://webim.ndk.gov.tr/file/fc3f3a04-990c-40cf-b2b4-bf2b8a33c326>
4. Quality control of nuclear medicine instrumentation and protocol standardisation, radiation protection measurement equipment (chapter 12). EANM. 2017:154-165.
5. Kişisel dozimetre kullanımına ilişkin kılavuz (RSGD-KLV-016). TAEK. Available link: <https://webim.ndk.gov.tr/file/2ea0444b-f83d-4569-823c-85c083f6cf18>