



# Radyasyon Tespiti ve Ölçümü

## Radiation Detection and Measurement

Semra Dönmez

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

### Öz

Radyasyon, duyu organları ile hissedilebilen bir olgu değildir; görülmez, duyulmaz, hissedilmez ve dokunarak algılanmaz. Teşhis, tedavi, radyasyondan korunma ve olası radyasyon kazası durumlarında; radyasyonun tipini, enerjisini, şiddetini ölçmek ve varlığını belirlemek için özel geliştirilmiş cihazlar kullanılmaktadır. Bu makalede radyasyonun tespiti ve ölçümü ile ilgili cihazlar, bu cihazların kullanım alanları ve sağladıkları bilgiler anlatılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Radyasyon, dedektör, radyasyon ölçümü

### Abstract

Radiation is not a phenomenon that can be sensed, it is invisible, inaudible, imperceptible, and it cannot be perceived by contact. In cases of diagnosis, treatment, radiation protection, and possible radiation accidents, specially designed instruments are used to determine the presence and type of the radiation, and to measure the energy and intensity of the radiation. This article focuses on the instruments used to detect and measure radiation, the areas of usage of those instruments, and the data they provide.

**Keywords:** Radiation, detector, radiation measurement.

### Radyasyon Nedir

Radyasyon, dalga ya da parçacık şeklinde uzayda enerji yayınlanmasındır. Bazı atomlar, çekirdeğindeki nötron ve proton sayılarının dengesiz olması sonucu kararsızdır. Proton nötron sayısındaki dengesizlik atom çekirdeğinde ilave enerjiye neden olur. Bu enerji fazlalığı radyasyon (ışınım) olarak salınır. Bu salınım çekirdekteki proton sayısı nötron sayısı ile dengeleninceye yani kararlı hale gelene kadar devam eder. Atom, kararlı hale geçme süreci içerisinde enerjisini değişik şekillerde kaybeder ve farklı elementlere dönüşür. Ortaya çıkan enerjiye "radyasyon", bu sürece ise "radyoaktif parçalanma" (bozunma) adı verilir (1).

Radyasyon iyonize ve iyonize olmayan radyasyon olarak sınıflandırılmaktadır. İyonize olan radyasyon, karşılaştığı atomun yörüngelerinden elektron kopararak iyon çiftleri oluşturan radyasyondur. İyonize radyasyon, parçacık ve dalga tipi olmak üzere ikiye ayrılır:

**Parçacık tipi radyasyon:** Belirgin bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden parçacıkları ifade eder. Alfa ( $\alpha$ ) ve beta ( $\beta^+$ ,  $\beta^-$ ) radyasyonları bu grubun en bilinen tipleridir.

**Dalga tipi radyasyon:** Belli bir enerjiye sahip ancak kütsüz radyasyon çeşididir. Bu grupta X ve gama ( $\gamma$ ) ışınları bulunur; farkları X ışınının atomu çevreleyen elektron bulutunda, gama ışınının ise atomun çekirdeğinde meydana gelmesidir.

İyonize olmayan radyasyon (noniyonize radyasyon), etkileşime girdiği maddede iyonlar oluşturmayan radyasyondur. Radyo dalgaları, mikro dalgalar, kızıl ve mor ötesi ışık ve görünür ışık bu tip radyasyon örnekleridir (2,3).

### Radyasyon Ölçüm Cihazları (Radyasyon Dedektörleri)

Radyasyonun varlığının anlaşılması duyu organları ile mümkün olmadığından, algılanması ve ölçümleri

#### Yazışma Adresi/Address for Correspondence

Dr. Semra Dönmez, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

**E-posta:** semdonmez@yahoo.com **ORCID ID:** orcid.org/0000-0002-3386-4644

©Telif Hakkı 2017 Türkiye Nükleer Tıp Derneği / Nükleer Tıp Seminerleri, Galenos Yayınevi tarafından yayınlanmıştır.

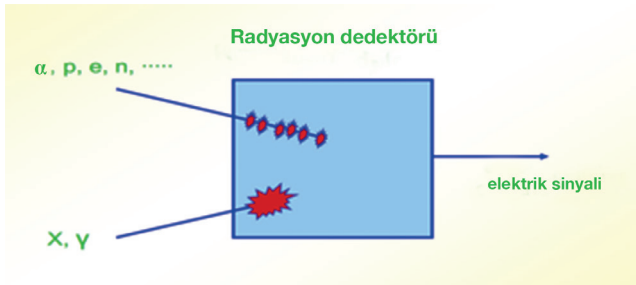
radyasyona hassas cihazlar ile yapılır. Radyasyonun ölçülmesinin temeli, radyasyon ile maddenin etkileşmesi esasına dayanır. Bu maksatla geliştirilmiş olan aygıtlara genel olarak radyasyon dedektörü adı verilir. Radyasyon, bir maddenin içerisinden geçerken maddenin atom veya molekülleri ile etkileşerek enerjisinin bir kısmını veya tamamını etkilediği ortamda kimyasal, fotokimyasal, iyonizasyon, fosforesans, floresans gibi olaylara neden olarak kaybeder. Dedektörler, radyasyonun içlerinde sebep olduğu iyonlaştırma ve uyarma mekanizmalarının elektrik sinyallerine çevrilmesi prensibiyle çalışırlar (Şekil 1) (4).

Radyasyon dedektörleri, ortamda radyasyon olup olmadığını, belli bir zamanda dedektör yüzeyine çarpan parçacık sayısını, her parçacığın enerjisini, radyoaktif kaynağın parçalanma hızını, aktivitesini, miktarını, yarı ömrünü belirlemede ve kişisel doz ölçme cihazları ile canlı eşdeğer doz bilgisi hakkında bilgilenmemize olanak tanır (5).

## Radyasyon Ölçüm Cihazlarının Genel Özellikleri

Bir dedektörün radyoaktif bir parçacık ile etkileşmesi çok kısa bir sürede gerçekleşir. Bu süre gazlarda nanosaniye, katılarda pikosaniye düzeyindedir. Etkileşim sonunda dedektörün aktif hacmi üzerinde bir elektrik yükü oluşur. Oluşan elektrik yüklerinin toplanarak elektrik sinyali oluşturması uygulanan elektrik alan ile gerçekleştirilir. Yüklerin toplanması için gerekli süre, farklı dedektörler için farklılık gösterir. Farklı radyasyon dedektör tiplerinden bahsetmeden önce tüm tipler için geçerli özellikler aşağıda açıklanmıştır (6).

**Dedektör verimi:** Tüm radyasyon dedektörleri aktif hacimleri ile etkileşen her radyasyon için bir çıkış sinyali verir. Yüklü parçacıkların etkileşiminde meydana gelen iyon çiftlerinin sayısı dedektör çıkışında yeterli büyüklükte bir puls oluşturur ve sayım etkinliği %100'e yakındır. Yüksüz parçacıklar ise dedektörde birçok etkileşim yaparak uzun mesafeler katettiklerinden sayım etkinlikleri daha düşüktür.



Şekil 1. Radyasyon ölçüm cihazları çalışma prensibi  
α: Alfa

**Dedektör ölü zamanı:** Cihazın arka arkaya gelen iki etkileşimi anlamlandırabilmesi için gerekli zamana denir. Ölü zamanı büyük olan cihazlar özellikle yüksek şiddetteki radyasyon alanlarında kullanılmamalıdır.

**Dedektör enerji rezolüsyonu:** Dedektörün farklı enerjilere sahip iki radyasyonu birbirinden ayırt edebilme yeteneğidir.

## Dedektörde Kullanılan Modlar

**Puls modu:** Dedekte edilen her bir parçacık veya ışın başına tek bir voltaj sinyali yükseltilerek ölçülür. Radyasyon şiddeti yeterince düşük olduğunda her bir etkileşimin neden olduğu akımları puls'lar halinde ayrı ayrı dedekte etmek mümkün olur. Çoğu uygulamada her bir etkileşim ile meydana gelen akım, gelen radyasyonun bıraktığı enerji ile orantılıdır. Gelen radyasyonun enerjisi ölçülmek istendiğinde bu mod kullanılır.

**Akım modu:** Elektrik akımının bir ampermetre ile okunmasıdır. Dedektör içerisinde belli bir zaman aralığında etkileşimle oluşan elektriksel yükün ortalamasını kullanır. Bu modda çalışan cihazlar, dedektörün cevap verme süresi boyunca meydana gelen akımların ortalamasını alarak değer verir (7).

## Çalışma Prensibine Göre Radyasyon Dedektörleri

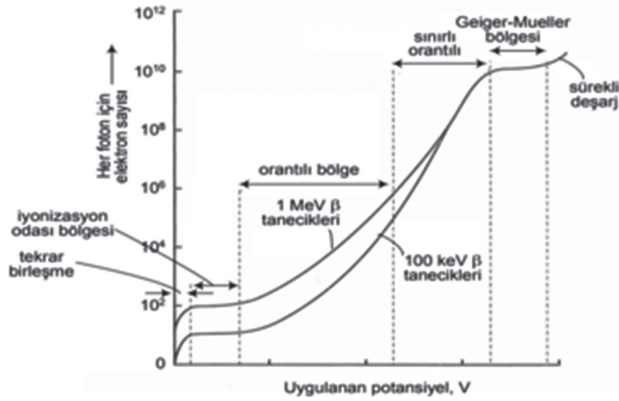
**Gaz dolu dedektörler:** Gaz doldurulmuş dedektörler iyonizasyon dedektörleri olarak da adlandırılırlar. Radyasyonun oluşturduğu iyonizasyon akımını ölçerler. İyonlaştırıcı radyasyonun gaz ortamı içerisinde oluşturduğu iyonlar, elektrik olarak yüklü parçacıklardır. Silindirik bir kap içerisine yüksek basınçta genellikle hava, helyum, argon gibi bir gaz doldurulmuştur. Bu gaz anod (pozitif) ve katod (negatif) olarak bilinen iki elektrot arasına sıkıştırılır. Zıt yüklü olan bu elektrotlar arasında bir manyetik alan yaratılır. İyonlaştırıcı radyasyon gaz molekülleri ile etkileşerek gazı iyonlarına ayırır. Pozitif iyonlar katoda, negatif iyonlar anoda göç eder ve iki zıt kutup arasında bir iyon ya da iyonizasyon akımı meydana gelir. Oluşan bu akımın şiddeti gelen radyasyonun şiddeti ile orantılı olarak değişir. Gaz dolu dedektörler, pozitif ve negatif elektrotlar arasındaki uygulanan gerilim farkına göre; iyon odası, orantılı sayaç ve Geiger-Müller dedektörleri olarak üçe ayrılır (8,9,10). Gaz dolu dedektörlerin farklı çalışma bölgeleri Şekil 2'de gösterilmiştir.

**İyon odası:** İyon akımının okunması prensibine göre çalışan iyon odaları radyasyonun oluşturduğu ortalama iyonizasyonu algılayacak şekilde tasarlanmıştır.

Radyasyonun oluşturduğu iyonizasyon akımları çok küçük olduklarından ayrı ayrı ölçülmeyip, gelen radyasyonun ortalama şiddeti elde edilir. İyonizasyonun zaman içerisindeki oluşum hızının, direkt akım ölçümüne uygun olmayacak şekilde yavaş olması durumunda puls tipi çalışma modu tercih edilir. Gaz olarak genellikle atmosfer basıncında hava kullanılır. Doz hızı ölçümü, radyasyon alan dedektörü, doz kalibratörü ve cep dozimetresi iyon odası prensibiyle çalışan radyasyon ölçüm cihazlarıdır (Şekil 3).

**Orantılı sayaçlar:** Yapısal olarak iyon odası prensibi ile çalışırlar. Aralarındaki fark orantılı sayaçlarda daha yüksek gerilim uygulanmasıdır. Gelen radyasyonun oluşturduğu orijinal iyon çiftlerinin gaz atomları ile etkileşmeleri prensibine göre ve puls modunda çalışırlar. Farklı enerjilere sahip radyasyon kaynaklarının oluşturdukları iyonlaşma sonucu oluşan elektrik akımı farklı olacağından enerjinin ayırt edilmesini sağlarlar. Çalışma voltajı orantılı bölgede olup, meydana gelen yüksek alan şiddeti ile anottaki yük miktarı, dolayısıyla voltaj pulsu büyüktür. Bu tip dedektörlerle; düşük enerjili X ve gama ışınları, iyon odasına açılan naylon veya mikalardan yapılmış ince pencere ile alfa parçacıklarının ölçümü yapılır. Orantılı cihazların alfa ve beta radyasyonlarını ayırt etme özelliği vardır.

**Geiger-Müller:** Yüksek gerilim ile çalışan iyon odalarıdır. Uygulanan yüksek gerilimden dolayı Geiger-



Şekil 2. Gaz dolu dedektörlerin çalışma bölgeleri  
β: Beta



Şekil 3. Radyasyon ölçüm cihazları

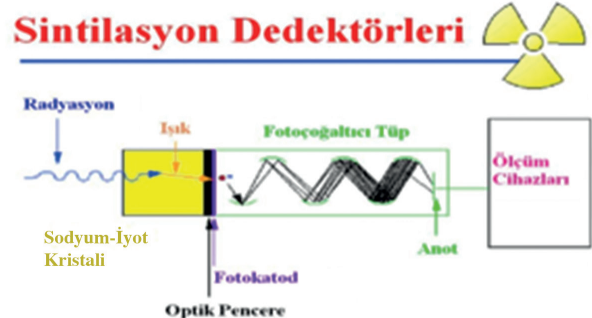
Müller dedektörleri radyasyonun enerjisinden bağımsız olarak bir sinyal üretir. İyonlaşma miktarı az olan yüklü parçacıklar, düşük enerjili X ve gama ışınları ölçülür. Bu dedektörle parçacık enerjisinin ölçülmesi ve parçacık cinslerinin bir birinden ayrılması söz konusu değildir. Odanın önüne yerleştirilen bir zırh ile beta parçacıkları tutulup, yalnız gama ışınları sayılabilir. Radyasyonun ve radyoaktif kirlenmenin tespit edilebilmesi amacıyla kullanılır. Survey metre ve alan monitörleri Geiger-Müller tipi dedektörlere sahip radyasyon ölçüm cihazlarıdır.

**Sintilasyon dedektörleri:** Bu dedektörler, aldıkları radyasyonun miktarıyla orantılı olarak görülebilir ışık salar. Bu ışığın miktarı fotoçoğaltıcı tüpler ile ölçülerek radyasyon miktarı belirlenir. Sintilasyon fosforlarının yaydığı ışık, foto çoğaltıcı tüpler tarafından toplanarak, voltaj pulsu haline getirilir (Şekil 4). Meydana gelen pulsun büyüklüğü radyasyonun enerjisi ile orantılıdır. Bu dedektörler sayım ve aynı zamanda enerji ayırımı için kullanılır.

Bu dedektörlerde foto çoğaltıcı tüpü ve kullanılan fosforu değiştirmek suretiyle değişik tipte radyasyonların dedeksiyonu mümkündür. Bunlar:

- Alfa parçacıklarını ölçmek için gümüşle aktive edilmiş ZnS fosforu,
- Beta parçacıklarını ölçmek için naftalin ve stilben,
- Düşük enerjili X ve gama ışını ölçmek için Talyumla aktive edilmiş NaI kristali kullanılır.

Sintilatör materyallerinin nükleer tıpta yaygın olan iki tipi vardır. Bunlar katı kristal formundaki inorganik sintilatörler, sıvı formdaki organik sintilatörlerdir. İnorganiklerin ışık verimi ve doğrusallığı iyi, cevap zamanları yavaştır. Organik sintilatörler ise daha az ışık veriminde ama çok hızlıdırlar. Yüksek atom numarası ve yoğunlukları inorganik sintilatörleri gama spektroskopisinde uygun yaparken, organik sintilatörleri beta spektroskopisi ve hızlı nötron dedeksiyonunda tercih edilirler (5,8,10).



Şekil 4. Sintilasyon dedektörleri

**Yarı iletken dedektörler:** Yarı iletken dedektörler, gaz dolu dedektörler ile benzer şekilde çalışan ancak bu dedektörlerde gaz yerine katı madde kullanılan dedektörlerdir. En yaygın kullanılan yarı iletken dedektörler silikon ve germanyumdan yapılmışlardır. Diğer dedektörlerden en üstün özellikleri enerji ayırma güçlerinin son derece yüksek olmasıdır. Günümüzde cerrahi gama problemleri yarı iletken dedektör yapısındadır. Sintilasyon kristalli NaI(Tl) dedektörlerine alternatif olarak daha az radyofarmasötik kullanarak daha kısa sürede sintigrafik görüntüler elde edilmektedir (10).

**Nötron dedektörleri:** Nötronlar doğaları gereği iyonlaşmaya ya da uyardırmaya sebep olmazlar ve atomların elektronları ile etkileşmezler. Tespit edilmeleri zor olan nötronlar doğrudan ölçülemezler. Nötronların tespit edilebilmeleri için atom çekirdeği ile etkileşmeleri gereklidir. Bu dedektörlerle nötron etkileşmesi sonucu oluşan ikincil iyonlaştırıcı ışınlar ölçülür. Nötronlar yüksüz olduğundan, nötron dedektöründe bir nötron-iyonizasyon tanecik dönüştürücüsü bulunur. Gelen nötronlar tarafından dönüştürücü malzeme yakalanır ve burada nükleer bir reaksiyonla algılanabilecek iyon tanecikler meydana gelir.

Nötron dedektörler orantılı sayıcılarıdır; çünkü, yaratılan yükün toplam miktarı, orijinal nötronlardan çıkarılması gereken yük miktarıyla orantılıdır. Nötron etkileşmesinden doğan izotopun kendisi radyoaktif olabileceğinden bu yöntem çoğunlukla indium, tantal ve altın plakaları bir araya getirerek kaza dozimetresinde kullanılır (6,8). Bazı nötron dedektörleri şunlardır:

- BF3 orantılı sayaçları.
- Helyum orantılı sayaçları.
- Gaz çarpışma orantılı sayaçları.
- Kabarcık dedektörleri.

**Dozimetreler:** Dozimetre, radyasyonun canlılar üzerindeki etkilerini tespit etmede kullanılan dedektörlerdir. Alfa parçacıkları dış ışınlama ile radyasyon maruziyetinde deri tarafından doğal bir zırhlamaya uğradığından, dozimetreler X ışını, gama, beta ve nötron ışınlamalarının doz ölçümlerini yapmak üzere kullanılmaktadır. Dozimetre seçimi radyasyon tipine, enerji aralığına, ölçüm menziline ve açısına, cevap süresine bağlıdır. Radyasyonun özelliklerine göre çeşitli maddelerde meydana getirdikleri renklenme, ağartma iyonlaştırma ve enerji soğurması gibi etkilerinden yararlanılarak ölçümleri sağlanır. Dozimetreler radyasyon dozu bilgisinin okunma mekanizmasına bağlı olarak iki sınıfta incelenebilir:

#### A. Doğrudan Okunabilen (Aktif) Dozimetreler

**Cep dozimetreleri:** X ışını veya gama ışınlarına maruz kalma durumlarında anlık doz bilgisi sağlayabilen dozimetrelerdir. Cep dozimetresi iki elektrot ihtiva eden bir iyon odasıdır. Oda içine giren radyasyon duyarlı hacim içinde iyonizasyon meydana getirir ve elektroskobu deşarj eder. Bu dozimetrelerin dezavantajı; üzerinde toz, kir, düşme, sarsılma durumlarında deşarja uğramalarıdır ve bu istenmeyen bir olaydır. Genellikle X ve gama radyasyonlarını okur. Beta, alfa duvarları kalın olduğundan okunmaz. İki çeşit cep dozimetresi vardır (12):

**Direkt okunabilen cep dozimetreleri:** Bu dozimetreler kalem şeklinde olduğundan "kalem dozimetre" diye de adlandırılırlar (Şekil 5). Bu tip dozimetrelerin hemen radyasyon cevabı verebilme ve yeniden kullanılabilme gibi avantajlı özellikleri olsa da, sınırlı doz ölçüm aralığı, kalıcı bir kayıt oluşturamama ve fiziksel darbelerden kolayca etkilenebilme ve fazla maliyetli olma gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

**Dijital elektronik cep dozimetreleri:** Dijital elektronik cep dozimetreleri, genellikle Geiger-Müller sayaçları kullanan, doz ve doz hızı gibi bilgileri kaydedebilme özelliğine sahip olan dozimetrelerdir. Cihazın programlandığı doz limit değeri, dedektör çıkışında toplanan radyasyon miktarı bilgisine göre örtüştüğü zaman, dedektör sistemindeki yükler elektronik ve dijital göstergeli bir sayaçta sayılarak maruz kalınan radyasyon dozu ve doz hızı görüntülenir. Bazı dijital elektronik dozimetreler sesli alarm sistemi içerirler ve dedektörün saptadığı her radyasyon olayında kesik kesik seslerle, belirlenen eşik değere ulaşıldığında ise sürekli bir alarm sesiyle uyarı verirler.



Şekil 5. Kalem tipi dozimetre

### B. İşlemden Geçirilerek Okunabilen (Pasif) Dozimetreler

**Film dozimetreler:** Gama ışını, X ışını, beta ve nötron parçacıklarının dozimetrik ölçümlerinde kullanılabilen bir dozimetredir (Şekil 6). Burada dedektör olarak kullanılan materyal radyasyona duyarlı ince bir film tabakasıdır. Bu film asetat bir tabanın her iki yüzünü kaplayan jelatin bir emülsiyondan oluşur ve ışık, su buharı (nem) ve diğer kimyasal buharları geçirmeyen bir zarf içinde yer alır. Her iki taraftaki emülsiyon tabakası gümüş-brom kristalleri içerir. Bu kristaller radyasyona maruz kaldıklarında gümüş ve brom iyonları arasında elektron alışverişi olur ve bu olay filmin banyo işlemi sonucu optik karama olarak gözlenir. Bu optik karamanın yoğunluğu da radyasyon şiddetiyle doğru orantılı olarak değişir ve bu yoğunluk densitometre ile ölçülerek sayısal bir karşılık bulur. Son olarak mevcut yoğunluk değeri, daha önce belli enerjilerde bilinen radyasyon miktarıyla elde edilen karamaların yoğunluklarıyla karşılaştırılarak radyasyon doz birimine çevrilir. Film dozimetreler sıcaklık ve nem gibi hava şartlarından ve ışıktan kötü etkilenirler (13).

**Termolüminesans dozimetreler (TLD):** TLD film dozimetrelerin yerine sıkça kullanılmakta olan dozimetrelerdir (Şekil 7). Film dozimetreler gibi belirli periyodik kullanım süreleri vardır ve doz değerlendirmesi için işleme tabi tutulurlar. TLD katı halde kristallerden oluşan bir tabakadır. İyonlaştırıcı radyasyon kristalle etkileştikten sonra, kristal ısıtılır ve kristaldeki tuzaklanmış elektronlar iyonlaştırıcı radyasyon enerjisine eşdeğer bir enerjide görünür ışık fotonu yayarlar. Isı enerjisiyle tetiklenen bu olay termolüminesans olarak adlandırılır. Yayılan ışık fotonları fotoçoğaltıcı tüpler aracılığıyla sayılmaktadır. Foton sayısının radyasyon miktarıyla lineer artışı radyasyon dozunun değerlendirilmesinde doz-optik yoğunluk doğrusallığının söz konusu olmadığı film dozimetrelere göre büyük kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca TLD'lerin film dozimetrelerden en büyük farkları yeniden kullanılabilir olmalarıdır. Diğer taraftan TLD'lerde doz okumasının sadece bir kez yapılabilmesi, tekrar ölçüm alınmadan önce sıfırlanmaları gerekliliği ve morötesi ışınlardan etkilenmeleri de dezavantajlarıdır (13).

**Optik olarak uyarılmış/optik uyarmalı lüminesans dozimetreler:** Bu dozimetreler TLD ile radyasyonla etkileşim mekanizmasında çok büyük benzerlik gösteren, sadece radyasyon bilgisi alınırken ısı yerine ışığın kullanıldığı bir mekanizmaya sahip dozimetrelerdir (Şekil 8) (14).

Radyasyon kaynakları ile yapılan çalışmalarda radyasyona maruz kalan kişilerin radyasyon güvenliğini

sağlamak amacıyla doz ölçümü yapılması gerekmektedir. Doz ölçümü dozimetre olarak tanımlanan ve eşdeğer radyasyon dozu bilgisini veren kişisel izleme cihazlarıyla yapılmaktadır. Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği madde 20 ve 21'de (Çalışma Koşulu A: Yılda 6 mSv'den daha fazla etkin doza veya göz merceği, deri, el ve ayaklar için yıllık eşdeğer doz sınırlarının 3/10'undan daha fazla doza maruz kalma olasılığı bulunan çalışma koşuludur.



Şekil 6. Film dozimetre



Şekil 7. Termolüminesans dozimetre



Şekil 8. Optik uyarmalı lüminesans dozimetre

**Çalışma Koşulu B:** Çalışma Koşulu A'da verilen değerleri aşmayacak şekilde radyasyon dozuna maruz kalma olasılığı bulunan çalışma koşuludur.

**Madde 21 Kişisel Dozimetre Zorunluluğu:** Çalışma Koşulu A durumunda görev yapan kişilerin, kişisel dozimetre kullanması zorunludur.) kişisel dozimetre kullanma zorunluluğu belirtilmiştir (15).

### Sonuç

Bu yazıda, radyasyonun etkisinin ve şiddetinin sayısal veya görüntüsel olarak değerlendirilebilmesi için, radyasyon ölçüm cihazlarının kullanım amaçları ve sağladıkları bilgiler açıklanarak, parçacığın cinsine, enerjisine ve kullanılacağı radyasyon ortamına göre hangi cihazın seçilmesi ve kullanılması önerilmiştir.

**Finansal Destek:** Yazar tarafından finansal destek alınmadığı bildirilmiştir.

### Kaynaklar

1. Bor D. Radyasyon Nedir? 2015.
2. Togay YE. Radyasyon ve Biz, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Yayınları 2002:2-12.
3. İnce MZ. Tanısal Radyolojide Radasyondan Korunma, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Yayınları 2002:2-34.
4. Gündüz Y. Radyolojik Tehditler Radyasyonun Ölçülmesi, 2015.
5. Knoll GF. Radiation Detection and Measurement. Third Edition Wiley, 2000.
6. Demir M. Nükleer Tıp Fiziği ve Klinik Uygulamaları, Dördüncü Baskı, İstanbul 2014.
7. Akkaş A. Radyasyon Ölçüm Cihazları, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, 2013.
8. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu.
9. Powsner RA, Powsner ER. Essential Nuclear Medicine Physics, Blackwell Publishing.
10. Bor D. Radyasyon Dedeksiyon ve Ölçüm Yöntemleri Ders Notları, Ankara.
11. Gündüz H. Radyasyon Güvenliği, Korunma Yöntemleri Ve Dozimetre Kullanıda Dikkat Edilecek Hususlar, TAEK / Sarayköy Nükleer Araştırma Merkezi (SANAEM).
12. Nondestructive Testing Resource Center, Pocket Dosimeter, [https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/RadiationSafety/radiation\\_safety\\_equipment/pocket\\_dosimeter.htm](https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/RadiationSafety/radiation_safety_equipment/pocket_dosimeter.htm)
13. Shani G. Radiation Dosimetry - Instrumentation and Methods.
14. Bhatt BC. Thermoluminescence, optically stimulated luminescence and radiophotoluminescence dosimetry: An overall perspective, 2012.
15. Resmi Gazete, Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği.