

**T.C.
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI**

RADYOLOJİ

**RADYASYONUN ZARARLI ETKİLERİ
725TTT055**

Ankara, 2011

- Bu modül, mesleki ve teknik eğitim okul/kurumlarında uygulanan Çerçeve Öğretim Programlarında yer alan yeterlikleri kazandırmaya yönelik olarak öğrencilere rehberlik etmek amacıyla hazırlanmış bireysel öğrenme materyalidir.
- Millî Eğitim Bakanlığınca ücretsiz olarak verilmiştir.
- **PARA İLE SATILMAZ.**

İÇİNDEKİLER

AÇIKLAMALAR.....	iii
GİRİŞ	1
ÖĞRENME FAALİYETİ-1	3
1. RADYASYONUN BİYOLOJİK ETKİLERİ.....	3
1.1. İyonizasyon Radyasyonun Biyolojik Etkileri	4
1.2. Radyasyonun Biyolojik Sistemler Üzerine Etkileri	5
1.2.1. Hematopoetik Sistem.....	6
1.2.2. Lenfatik Sistem.....	6
1.2.3. Reprodüktif Sistem	6
1.2.4. Gastrointestinal Sistem	7
1.2.5. Deri	7
1.2.6. Göz.....	9
1.2.7. Merkezi Sinir Sistem.....	9
1.2.8. Diğer Organlar.....	10
1.3. Doza Bağlı Etkiler	10
1.4. Yüksek Doz Radyasyonun Biyolojik Etkileri.....	13
UYGULAMA FAALİYETİ.....	15
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME.....	16
ÖĞRENME FAALİYETİ-2	17
2. RADYASYONUN TEMEL İLKELERİ.....	17
2.1. Radyasyondan Korunmada Temel İlkeler	17
2.2. Radyasyon Zaman, Mesafe ve Zırhlama İlişkilerine Dair İlkeler.....	19
UYGULAMA FAALİYETİ.....	24
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME.....	25
ÖĞRENME FAALİYETİ-3	26
3. RADYASYON BİRİMLERİ.....	26
3.1. Röntgen (R)	26
3.2. Coulomb/kilogram (c/kg).....	27
3.3. Curie (Ci).....	27
3.4. Becquerel (Bq).....	27
3.5. Radyasyon Absorblama Dozu (RAD).....	27
3.6. Gray (Gy)	27
3.7. İnsan Eş Değer Dozu (REM).....	27
3.8. Sievert (Sv).....	27
3.9. Radyasyon Enerji Birimi /Elektron Volt (Ev)	28
UYGULAMA FAALİYETİ.....	29
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME.....	30
ÖĞRENME FAALİYETİ-4	31
4. RADYASYONDAN KORUNMADA TEMEL GÜVENLİK STANDARTLARINA DAİR MEVZUAT	31
4.1. Radyasyondan Korunmada Temel Güvenlik Standartları	31
4.2. Radyasyon Tüzüğü.....	33
4.2.1. Genel Hükümler	33
4.2.2. Radyasyon Güvenliği Temel Standartları	35

4.2.3. Lisansa Bağlı İşler	35
4.2.4. Denetime Bağlı İşler	35
4.3. Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği	35
4.3.1. Muafiyet Sınırları İçerisinde Olduğu Hâlde İzin Verilmeyen Maddeler.....	35
4.3.2. Yıllık Doz Sınırları	36
4.3.3. Çocuk Doğurma Çağındaki Radyasyon Görevlileri İçin Doz Sınırları.....	36
4.3.4. Radyasyon Alanlarının Sınıflandırılması	36
4.3.5. Öğrenciler.....	37
4.3.6. Ziyaretçiler	37
4.3.7. Çalışma Koşulları	37
4.3.8. Kişisel Dozimetre Zorunluluğu	37
4.3.9. Koruyucu Giysi ve Teçhizat.....	37
4.4. Tıbbi Gözetim.....	37
4.4.1. Hastanın Radyasyon Güvenliği	38
4.4.2. Sürekli Işınlanmalar	38
UYGULAMA FAALİYETİ.....	39
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	40
MODÜL DEĞERLENDİRME.....	41
CEVAP ANAHTARLARI.....	43
KAYNAKÇA	44

AÇIKLAMALAR

KOD	725TTT055
ALAN	Radyoloji
DAL/MESLEK	Radyoloji Teknisyenliği
MODÜLÜN ADI	Radyasyonun Zararlı Etkileri
MODÜLÜN TANIMI	Radyasyonun biyolojik etkileri, radyasyondan korunma ilkeleri (Radyoproteksiyon) ilgili bilgi ve becerilerin kazandırıldığı bir öğrenme materyalidir.
SÜRE	40/16
ÖN KOŞUL	Temel Radyasyon Fiziği dersi modüllerini başarmış olmak
YETERLİK	Radyasyonun zararlı etkilerini ayırt etmek
MODÜLÜN AMACI	Genel amaç Bu modül ile gerekli ortam sağlandığında, radyasyonun biyolojik etkilerini, radyasyondan korunmada temel ilkelerini, radyasyon doz birimlerini ayırt ederek ve temel güvenlik standartlarını esas alarak radyasyondan korunma önlemlerini alabileceksiniz. Amaçlar <ol style="list-style-type: none">1. Radyasyonun biyolojik etkilerini ayırt edebileceksiniz.2. Radyasyondan korunmada temel ilkelerini ayırt edebileceksiniz.3. Radyasyon doz birimlerini ayırt edebileceksiniz.4. Radyasyondan korunmada temel güvenlik standartlarını esas alarak radyasyondan korunabileceksiniz.
EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI	Donanım: Radyografi cihazı, kaset, film, kurşun önlük, gözlük, boyunluk, dozimetre, vb. araç-gerecin bulunduğu radyasyon güvenlik önlemleri alınmış radyoloji laboratuvarı Ortam: Derslik, radyoloji laboratuvarı
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	Modül içinde yer alan her öğrenme faaliyetinden sonra verilen ölçme araçları ile kendinizi değerlendireceksiniz. Öğretmen modül sonunda ölçme aracı (çoktan seçmeli test, doğru-yanlış testi, boşluk doldurma, eşleştirme vb.) kullanarak modül uygulamaları ile kazandığınız bilgi ve becerileri ölçerek sizi değerlendirecektir.

GİRİŞ

Sevgili Öğrenci,

Tüm canlılar, yaşamları boyunca gerek doğal yollardan, gerekse teknolojik gelişmelerin getirdiği radyasyona maruz kalmaktadır. Solunum ve sindirim yoluyla aldığımız internal radyonüklidlerden ve kozmik ışıklardan gelen partikül ve foton her gün vücudumuzdan geçmektedir. 19. yüzyılın sonlarına doğru x- ışınları ve radyoaktivitenin keşfiyle birlikte tıbbi alanda kullanılmasıyla, yaklaşık doğal radyasyonun % 15' i kadar insan yapımı radyasyona maruz kalmaktayız. Tıbbi röntgen çekimi, radyasyon kazaları ve radyoterapi ile maruz kalınan düşük doz radyasyonun etkileri ile ilgili bilimsel araştırmalar yarım yüzyılı aşkın bir süredir yoğun olarak sürdürülmektedir.

Bu modül çalışması sonundaki kazanımlarınız radyasyonun biyolojik etkileri ve radyasyondan korunma ile ilgili size önemli katkılar sağlayacaktır.

ÖĞRENME FAALİYETİ-1

AMAÇ

Bu faaliyette verilen bilgi ve becerilerle radyasyonun biyolojik etkilerini öğrenerek radyasyondan korunma önlemlerini alabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

İyonize radyasyonun insan organizmasında yaptığı fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişiklikleri çeşitli kaynaklardan araştırıp sınıf ortamında arkadaşlarınızla paylaşınız.

1. RADYASYONUN BİYOLOJİK ETKİLERİ

1895 yılında Röntgen tarafından X ışınlarının ve 1900 yıllarının başında Curie tarafından radyoaktivitenin keşfinden sonra radyasyon, radyasyonun etkileri ve korunma konularına ilgi artmıştır. Radyasyonun insan sağlığı üzerine ilk etkileri, X ışınının keşfinden 6 ay sonra görülmeye başlamıştır. Radyasyona maruz kalan insanlarda yapılan gözlemler sonucunda, radyasyon dozu ile biyolojik etkisi arasında belirgin bir ilişki olduğu görülmüştür. Aşırı derecede radyasyon dozunun kansere neden olduğu 1902 yılında birçok tıp dergisinde yayınlanıp bilimsel makalelerle ispatlanmaya başlamıştır. Hayvanlar üzerinde 1920'lerin sonunda yapılan deneyler sonucunda, radyasyonun genetik bozukluklara neden olduğu anlaşılmıştır.

İyonize radyasyonun canlı üzerine etkilerini “radyobiyojji” bilim dalı inceler. Canlılar üzerine radyasyonun etkisi moleküler ve hücresel düzeylerde, fiziksel, kimyasal ve biyolojik olaylar çeşitli değişikliklere yol açmaktadır. Bu değişiklikler, radyasyonun cinsine, miktarına ve süresine göre onarılabilen veya kalıcı tipte olabilir.

İyonlaştırıcı radyasyonlar, X ve gama ışınları, alfa, beta parçacıkları, nötronlar içinden geçtikleri hücrelerde önce moleküler düzeyde değişikliğe sebep olur. Hücre içerisindeki molekülleri ve atomları iyonize ederek uyarır (Ekzite hâle geçirir.). Fazla enerjilerini bu moleküllere aktararak temel seviyeye inmeye çalışır. İyonize radyasyonların gittikleri yol boyunca birim uzaklık başına neden oldukları enerji salınımlarına **lineer enerji transferi** (LET) denir. LET genellikle iyonize radyasyonun yükü ve hızının fonksiyonu olarak da kabul edilir. İyonize radyasyonun yükü artıp hızı azaldıkça LET'i artar. Örneğin, alfa parçacığının hızı düşük, yükü ise 2 pozitifdir. Beta parçacığının ise hızı yüksek, yükü negatiftir. Bu nedenle alfa parçacığının LET'i beta parçacığınıninkinde daha yüksektir. Genel olarak LET arttıkça radyasyonun öldürücü (letal) etkileri de artar.

1.1. İyonizasyon Radyasyonun Biyolojik Etkileri

İyonlaştırıcı radyasyon tarafından kaybedilen enerji, radyasyonun geçtiği madde içerisinde uyarma ve iyonlaşma enerjisi olarak çıkmaktadır. Bu işlem, radyasyonun moleküler düzeyde, hücresel düzeyde ve biyolojik sistemler üzerine etkileri olarak değişiklik göstermektedir.

➤ İyonize Radyasyonun Moleküler Düzeyde Etkileri

Moleküler değişiklik; doğrudan (direkt) veya dolaylı (indirekt) yolla olur. Direkt yolda, değişikliğe uğrayan molekül doğrudan doğruya iyonize radyasyona maruz kalır ve ekzite duruma geçer. İndirekt yolla ise iyonize radyasyon sonucu oluşan bazı ara ürünler başka bir dizi kimyasal reaksiyona girerek moleküllerin değişmesine neden olur (İyonize radyasyonun hücrede bol miktarda bulunan su molekülünün ayrışmasına sebep olarak serbest radikallerin oluşumuna yol açtığı düşünülmektedir.).

Burada oluşan hidrojen ve hidroksil grupları iyon olmayıp kısa ömürlü ve oldukça reaktif radikallerdir. Bu radikallerin iyonizasyon sonucu kovalent bağları nedeniyle en dış elektron yörüngelerinde boşluklar vardır. Bu nedenle boşlukları doldurabilecek başka atomlar arar ve yüksek reaktiviteleri yüzünden tekrar birbirleriyle de birleşebilir.

Bu durumda oluşan ürünler (örneğin hidrojen peroksit) çok kuvvetli oksitleyici olarak hücre içindeki önemli moleküllerle reaksiyona girip onların yapısını ve fonksiyonunu bozar. Radyasyonun reaksiyona girdiği molekül tamamıyla rastlantısaldır ve herhangi bir karbonhidrat, lipit, protein, enzim veya DNA ya da RNA gibi bir nükleit asit olabilir. Örneğin, serbest bir hidroksil radikali, karbonhidrat ve lipitlerle doymuş ya da doymamış bağları bozarak polimer yapılarını değiştirebilir. Proteinlerde ise özellikle aminoasitlerin yan zincirleri ile reaksiyona girerek proteinin yapısını ve fonksiyonunu bozabilir (denatürasyon). Karbonhidrat, lipit ve proteinler hücre içinde bolca bulduklarından genellikle radyasyona maruz kalmada kritik hedef olmaz. Radyasyon için asıl kritik hedefler, hücre zarı yapısında bulunan karmaşık yapıdaki lipitler, metabolik olarak önemli enzimler ve nükleik asitlerdir. Bunların hasara uğraması ve fonksiyonların bozulması hücrenin normal fonksiyonunu yitirmesi ve ölümüne yol açabilir.

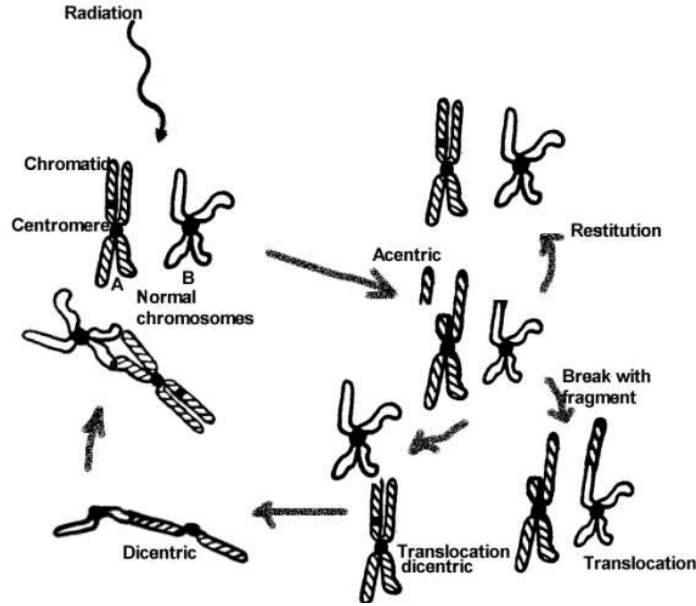
➤ Radyasyonun Hücresel Düzeyde Etkileri

Radyasyona dirençli hiçbir hücre yoktur. Hücreyi oluşturan yapılardan çekirdek ve özellikle de bölünme hâlindeki kromozomlar, radyasyona hücre sitoplazmasına göre çok daha duyarlıdır. Radyasyonun hücre düzeyindeki en belirgin etkilerinden biri hücre büyümesini baskılamasıdır. Özellikle hücre bölünmesi sırasında (mitoz) radyasyona maruz kalan hücrelerde büyüme kesintiye uğrar. Genel olarak mitotik (bölünme) aktivitesi fazla olan hücrelerin radyasyona duyarlılığının da fazla olduğu düşünülür.

Radyasyon; kromozomların kırılmasına, birbirlerine yapışmasına, kenetlenmesine ve kıvrılmasına yol açabilir. Kromozom kırıkları yeniden organize olabilir, aynı kalabilir veya bir başka kromozomla birleşebilir. Tüm bu değişiklikler mutasyonla sonuçlanabilir veya hücrenin ölümüne yol açabilir.

Radyasyon bundan başka dev hücre oluşumuna da sebep olabilir (giant cell). Bölünme başlamadan önce radyasyona maruz kalan hücreler artık bölünmez. Metabolik aktiviteleri bir süre daha devam edebilir ve bölünmedikleri için büyümeye devam eder. Dev hücreler hâline gelip sonunda ölür.

Oksijen, ısı ve basınç gibi çevresel faktörlerin artışı da hücrelerin radyasyona duyarlılığını artırır.



Şekil 1.1: İyonizan radyasyona bağlı kromozal aberasyonlar

1.2. Radyasyonun Biyolojik Sistemler Üzerine Etkileri

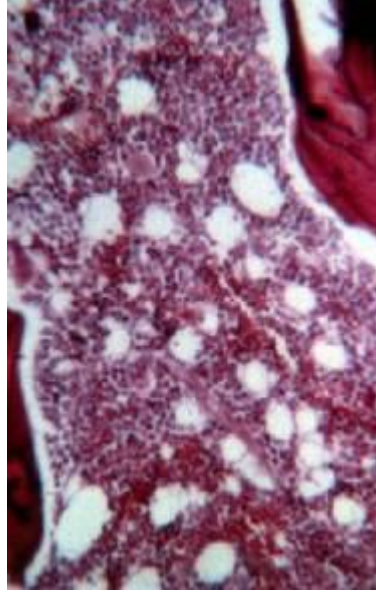
Biyolojik sistemleri oluşturan hücreler, radyasyonun etkisine göre üç grupta incelenebilir. Prekürsör hücreler, farklılaşmakta olan hücreler ve olgun hücreler. Bu hücrelerin herhangi bir biyolojik sistemdeki sayısal oranlarına göre radyasyonun o sistem üzerindeki etkisi değişiklik gösterir.

- **Prekürsör hücreler:** Bunlara ana hücre veya immatür hücre de denir. Genellikle mitotik olarak aktiftir. Radyasyona çok duyarlıdır. Bunlar, hematopoetik sistem (kan hücreleri yapıcı doku ve organların oluşturduğu sistemdir.) ve spermatogonia (intestinal kripta) hücreleridir.
- **Farklılaşmakta olan hücreler:** Ana hücrelerden gelişen ve genel özelliklerini kaybederek bazı özel nitelikler kazanmaya başlamış hücreler (hematopoetik serinin prekürsör hücreleri, endotel hücreleri, fibroblastlar) dir. Bunlarda da bölünme olur ve radyasyona duyarlıdır.
- **Olgun hücreler:** Belirli bir fonksiyonu olan hücrelerdir. Mitotik aktiviteleri çok azdır ve rölatif olarak radyasyona dirençlidir (karaciğer hepatositleri, böbrek, tükürük bezi epiteli, nöronlar, eritrositler, kas hücreleri).

1.2.1. Hematopoetik Sistem

Kan hücrelerini yapan organlar (kemik iliği, lenf bezleri) radyasyona son derece hassastır. Tüm kan hücreleri ve plateletleri oluşturan kemik iliğindeki ana hücreler (stem cell), dalak, karaciğer, lenf nodları, timusda bulunan lenfoid dokular radyasyona aşırı hassastır. Lenfositler, radyasyona oldukça hassas olup normal titerlerinden (2100/ml) ışınlama sonrası ölçülebilir düşüş kaydedilebilir. Ve bu doz seviyelerini gösterir. 100 m gray (Gy) gibi düşük dozlarda sirkülasyondaki lenfosit popülasyonunda ölçülebilir düşüş görülür.

Dolaşımdaki olgunlaşmış kan hücreleri ise prekürsörlerine göre rölatif olarak radyasyona daha dirençlidir. Beyaz kan hücreleri, bunlardan da özellikle lökositler en çok duyarlı olanıdır. Bunları sırasıyla eritrosit ve trombositler izler. Etki pansitopenidir. Pratikte, radyasyonun etkilerini araştırmada, periferik kan sayımı özellikle de lökosit sayımı ve periferik yayma yol gösterici olur.



Resim 1.1: İyonizasyon radyasyonun kemik iliğine etkisi

1.2.2. Lenfatik Sistem

Dalak, lenf bezleri ve timus, radyasyona oldukça duyarlıdır. Dalak da radyasyona bağlı olarak mitotik aktivite inhibisyona uğrar, kütlesi azalır. Lenf bezlerinde ise küçülme meydana gelir. Alınan doza göre şişme, ödem ve hemoraji görülebilir. Timusun boyutları ve aktivitesi azalır.

1.2.3. Reprodüktif Sistem

Reprodüktif sistem hücreleri radyasyon etkilerine son derece hassastır. Erkeklerde ana hücreler ve çoğalmakta olan spermatogonia oldukça duyarlıdır.

Doz hızının erkekte sterilite insidansına etkisi alışılmadık şekildedir. Dozun fraksiyonel veya uzamış şekilde verilmesi hayvanlarda kalıcı sterilite (kısırlık) oluşturmada daha etkili bulunmuştur. Farelerde günde 30 mGy olmak üzere 150 günde 4500 mGy verildiğinde kalıcı sterilite oluşurken 4500 mGy'lik akut doz sadece geçici steriliteye neden olmaktadır. Farelerde 8 Gy'lik dozun 5 günlük periyoda yayılması kalıcı steriliteye neden olurken aynı total doz, akut olarak verildiğinde sadece geçici steriliteye yol açar.

Kadınlarda radyasyon hem ovumu ve hem de gelişmekte olan follüküleri harap eder. Bu, hormon üretimini azaltır. Bu nedenle kadında radyojenik steriliteye, seksüel karakteristiklerde değişimler ile yapay menapoz eşlik eder. Total doz, doz hızı ve yaş önemli faktörlerdir. Genç bayanlarda sterlite yaşlılara oranla daha iyi düzelebilmektedir. 2 Gy'lik doz, 40 yaşın üzerindeki bayanlarda kalıcı steriliteye yol açarken 35 yaş ve altındakilerde geçici steriliteye neden olur. 40 yaşın üzerindeki bayanların %90'ında 1,5 Gy'de menapoz görülür. 1,5-5 Gy ile ışınlanan genç bayanların %50'sinde menapoz oluşur.

1.2.4. Gastrointestinal Sistem

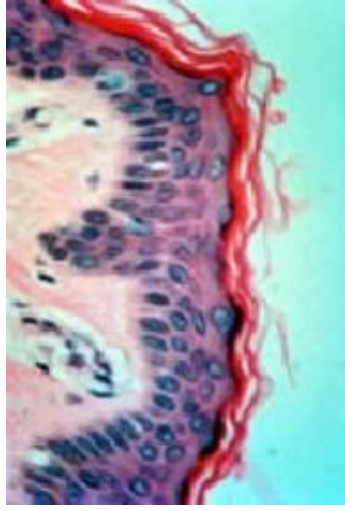
Mukoza epiteli radyasyona oldukça hassastır. Bu hassasiyet, hematopoetik sistem ve gonodlarınki (cinsiyet bezi) kadar değildir. İlk önce mitoz durur. Ödem, dejenerasyon ve nekroz görülür. Bu değişiklikler bulantı, kusma, ishal ve iştahsızlıkla seyreden belirtilere neden olur. Ayrıca mukus, pepsin ve asit salgısında azalma, emilimde bozulma gibi fonksiyonel değişiklikler de meydana gelir.



Resim 1.2: Radyasyonun gastrointestinal sisteme etkisi

1.2.5. Deri

Deri, radyosensitif bir organdır. Deriye radyobiyojik etkiler; total doza, doz hızına ve radyasyon kalitesine bağlıdır. Radyasyon etkilerini eritem (deride kızarıklık), tırnak ve saçlarda değişiklikler, kıllanmada azalma gibi belirtilerle gösterir. Yüksek dozlarda ise pigmentasyonda bozulma, ülserasyon ve dermatit oluşabilir.



Resim 1.3: İyonizasyon radyasyonun deri üzerine etkisi

Radyasyonun deri üzerindeki etkileri aşağıda sıralanmıştır.

- **Başlangıç eritemi:** Ciltte kızarıklık, histamin salınımının neden olduğu kapiller dilatasyon nedeniyle günler içinde ortaya çıkar.
- **Kuru desquamasyon:** Ciltte, yağ ve ter bezlerinin sekresyonunun azalması ve vasküler hasara bağlı olarak pul pul dökülmeler görülür.
- **Radyasyon eritemi (Erytma proper):** Üçüncü ve dördüncü haftadan sonra ağrı ve yanma ile birlikte kızarma ve ödem oluşur. Bu dermisteki ince vasküler yapıdaki tıkanmalara bağlı olarak görülür.
- **Islak desquamasyon:** 15-20 Gy'lik yüksek dozlarda epidermiste blisterler (içinde seröz sıvı bulunan küçük deri kabarcığı) oluşur, kalıcı tüy dökülmesi ve ödem oluşur. Bunun nedeni vasküler yapı ve bağ dokusundaki şiddetli hasardır.
- **Nekrozis:** Çok yüksek dozlarda, radyasyona özgü eritemden sonra dermiste nekrozis olur. Arteriyollerdeki tıkanmalara bağlı değişiklikler, enfeksiyon, cilt altı yağ hücrelerinin harabiyetine bağlı olarak da nekrozis gelişebilir.
- **Geç etkiler:** Yüksek dozlarda radyasyon alındığında, bir yıl sonra deride atrofi (küçülme), derin fibrozis (bağ doku oluşumu), hiperpigmentasyon ve kuruluk görülür.

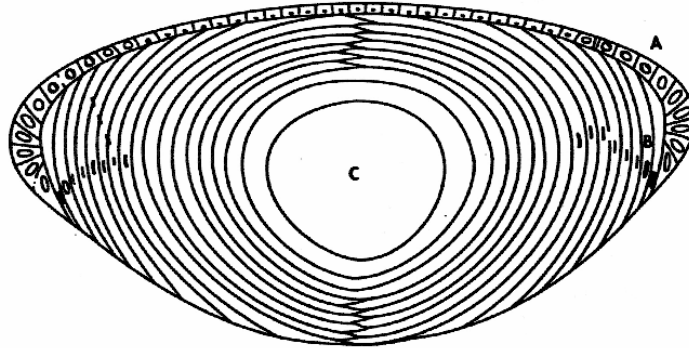
Çok yüksek dozlarda oluşan nekrotik hasar ekstremitelerin veya ciltte geniş alanların kaybına neden olabilir. Daha düşük dozlarda kronik ışınlama epidermisin kalınlaşması ile karakterize hiperkeratozis, sık ülserasyonlar, kötü iyileşme ve azalmış vaskülarizasyon ile doku tabakasının zayıflamasına yol açabilir.

Semptomlar	Doz Aralığı (Gy)	Başlangıç Zamanı (gün)
Eritem	3-10	14-21
Epilasyon	> 3	14-18
Islak desquamasyon	15 – 20	20 – 28
Blister oluşumu	15 – 25	15 – 25
Cilt ülserasyonu	> 20	14 – 21
Nekrozis (derin penetrasyon)	> 25	> 21

Tablo 1: Lokal radyasyon yaralanmalarında alınan doza bağlı olarak derideki hasarların ve klinik bulguların başlangıç zamanı

1.2.6. Göz

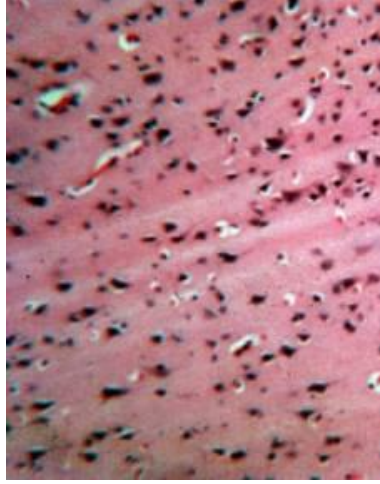
Gözün radyasyona en hassas bölümü lenstir. İyonize radyasyon, 2-6 Gy gibi düşük dozlarda katarakt formasyonuna neden olan lens hasarına yol açar. Lensin anterior bölgesindeki bölünen epitel, göç eden, uzayan ve transparan fiberlere (sinir yada kas lifi) organize olarak lense yapan hücreleri oluşturur. Transparan fiberler lens nukleusuna doğru içeriye doğru hareket eder. Hücreleri uzaklaştıracak başka bir mekanizma olmadığı için radyasyondan hasar görmüş hücreler posteriora ve iç kısımlara doğru saydam olarak hareket eder ve katarakt oluşur. Önemli özelliği, doğal olarak oluşan kataraktan özel görünüşü ile ayırt edilebilmesidir. Oluşması için sınır doz değeri vardır. Tüm çalışma hayatı boyunca 15 Sv total doz limitinin altında kalındığında veya 2 Gy'nin altında tek ışınlamada radyasyona bağlı katarakt gözlenmez. 2.5-6 Gy'lik tek bir dozdan sonra katarakt oluşması için latent periyod ortalama 8 yıldır.



Şekil 1.2: İnsan lensinin şematik çizimi.

1.2.7. Merkezi Sinir Sistem

Radyasyona en dirençli sistemdir. Beyin, medulla spinalise göre daha hassastır. Ancak bu hassasiyet çok yüksek dozlarda oluşur.



Resim 1.4: İyonizasyon radyasyonunun sinir sistemine etkileri

1.2.8. Diğer Organlar

Kalp, böbrek, karaciğer, pankreas, gibi organlar radyasyona dirençlidir. Ancak çok yüksek dozlarda kanama, enfarkt, nekroz ve ödem gibi değişiklikler meydana gelebilir.

1.3. Doza Bağlı Etkiler

Maruz kalınan radyasyonun miktarına göre gözlenen etkiler iki grupta incelenebilir.

➤ Düşük doz radyasyonun biyolojik etkileri

Radyoloji ve nükleer tıp tetkiklerinde maruz kalınan radyasyon, genellikle birkaç rad'ı geçmez ve düşük doz radyasyon olarak kabul edilir. Düşük doz radyasyonun insan üzerindeki etkilerini direkt olarak kanıtlamak mümkün değildir. Bu nedenle yapılan sayısal analizler de %100 doğru sonuç vermez. Eldeki bilgilerin çoğu Japonya'daki atom bombasından kurtulan kişilerin veya radyoterapi gören hastaların uzun süreli izlenmesi yoluyla elde edilmiştir. Genel olarak hâkim olan görüş, radyasyonun oluşturduğu riskin düşük dozlarda bile alınan radyasyon dozuyla direkt orantılı olduğudur. Düşük doz radyasyonun biyolojik etkileri üç başlık altında toplanabilir. Genetik etkiler, kanser indüksiyonu, fetus ve embriyo üzerine etkilerdir.

• Genetik etkiler

Radyasyon, canlıların genetik materyali (kromozomlar ve DNA) üzerinde kalıcı değişikliklere yol açabilir. Buna **mutasyon** denir. Mutasyon, somatik hücrelerde olursa o hücre ölür veya fonksiyon kaybı görülür. Ancak bu bir sonraki jenerasyona aktarılmaz. Gonat hücrelerinde ise radyasyon sonucu oluşan mutasyon, sonraki jenerasyonlara da aktarılır ve onları etkiler. Radyasyona maruz kalan kromozomlarda ya yapısal ve sayısal değişiklikler oluşur ya da **DNA'** yı oluşturan kök ve şeker kısmında kırık veya eklenmeler meydana gelir.

Düşük bir radyasyon dozu, örneğin 10 rad, kromozomlarda sapma ve hatalara yol açabilir (aberasyon). Aberasyonlar ya kromozomlarda olabilir (mitozdan sonra fakat DNA sentezinden önceki dönemde) veya kromatitte olur (sentezden sonra mitozdan önce). Bu değişikliklerin sıklığı, genellikle radyasyonun dozuna bağlıdır. Kromozom sapmaları terminal delesyon (uçtan kopma), ara kırıkları ve silinmeleri (intertisyel delesyonlar), inversiyon (ters yere lokalize olma), halka veya disentrik kromozom şeklinde olabilir. Kromatitte ise aberasyonlar anafazda köprüleşme ve translokasyon (kromozom üzerindeki genetik materyalin yer değiştirmesi) şeklindedir.

Yapılan çeşitli araştırmalar, radyasyonun mutajenik etkisini oluşturmada herhangi bir eşik dozun olmadığını göstermiştir. Yani herhangi bir radyasyon dozu mutasyona neden olabilmektedir. Ancak doz hızı azaldıkça, mutasyon hızı da azalmaktadır ve daha düşük dozlarda premutasyonel hasarın daha çok onarıldığı ve daha az mutasyon olduğu söylenmektedir. Ayrıca yapılan çalışmalara göre özellikle germ hücrelerinin immatür dönemleri radyasyonun oluşturduğu mutasyona daha dirençli, matür ositler ve spermatogonialar ise daha duyarlıdır.

- **Kanseronejik etkiler**

Radyasyonun, özellikle düşük doz radyasyonun somatik hücreler üzerindeki önemli bir etkisi de kanser oluşturma potansiyelidir. Genetik etkisinde olduğu gibi burada da belli bir eşik dozu yoktur. Kanser yapıcı etki dokuların hassasiyetine, radyasyona maruz kalınan yaşa ve cinse göre değişiklikler gösterir. Örneğin Japonya'da Hiroşima'ya atılan atom bombasından kurtulanlar arasında akut lenfoblastik lösemi, akut ve kronik miyeloblastik lösemi gibi kemik iliği kanserleri, ayrıca tiroid ve meme kanserleri insidansında artış olduğu bildirilmiştir. Meme kanserleri ayrıca çok sayıda floroskopik incelemeye maruz kalan akciğer tüberkülozlu hastalarda veya postpartum (doğum sonrası) mastit nedeniyle radyasyon tedavisi uygulanan özellikle 30 yaşın altındaki kimselerde artan oranda görülmektedir. Baş ve boyundaki lenfoid hiperplazi nedeniyle radyasyon tedavisi gören çocuklarda da ileri yaşlarda tiroid kanseri görülme sıklığının arttığı bildirilmiştir. Bu şekilde yüksek doz radyasyona maruz kalma sonucu artan kanser insidansı örnekleri çoğaltılabilir. Örneğin, P-32 orto-fosfat ile polistemia vera için tedavi edilenlerde lösemi insidansı, kemoterapötiklerle tedavi görenlere göre daha yüksek bulunmuştur. Yine radyumla saat kadranı boyayan kimselerde alfa radyasyonu nedeniyle osteosarkoma yakalanma riskinin arttığı bildirilmiştir.

Düşük doz radyasyonlarda ise örneğin X veya gama ışınlarıyla 1 rad'lık tüm vücut radyasyonuna maruz kalan 10 000 kişide kansere bağlı ölüm sadece 1 artmaktadır. Yani radyasyona maruz kalmayan 10 000 kişiden 1600' ü kanserden ölmekte iken, bunlar 1 rad'lık radyasyona maruz kaldıklarında 1601 kişi kanserden ölmektedir.

Radyasyonun kanser oluşturma mekanizması henüz bilinmemektedir. Mutasyon yoluyla veya latent onkojenik virusları aktive ederek kansere yol açtığına dair görüşler öne sürülmüştür.

- **Embriyo ve fetus üzerine etkileri**

Gebelik sırasında fetusun önemli miktarlarda radyasyona maruz kalması, konjenital anomaliler, büyüme geriliği, doğum sonrası kanser riskinde artma ve ölüme neden olur. Fetusun radyasyona maruz kaldığı evre de etkilidir. Fertilizasyondan sonraki ilk 7-10 günde embriyo, özellikle radyasyonun öldürücü etkisine duyarlıdır. Bu dönemde radyasyona maruz kaldığında embriyo ya hiç etkilenmez ya da gebelik düşükle sonuçlanır. Gebeliğin 2-8. haftaları majör organogenezis (embriyoda organ ve organ sistemlerinin oluşması) dönemidir. Bu devrede mitotik aktivite çok hızlı olup radyasyonun teratojenik etkisi de fazladır. Büyüme geriliği, organ anomalileri, ölüm ve ileri dönemde kanser yapıcı etki ortaya çıkarabilir. 8-40. haftalarda (fetal periyot) birden çok organda görülebilen teratojenik etki azalır. Ancak büyüme geriliği özellikle sinir sisteminde daha belirgin olmak üzere fonksiyon bozuklukları ve postnatal neoplastik eğilim gelişebilir.

Tanısal nükleer tıp tetkiklerinin çoğunda, özellikle İyot-131 dışında fetusun aldığı doz genellikle 1 rad'dan azdır. 10 rad'lık bir fetal doz, konjenital malformasyonlar, gelişme geriliği ve fetal ölüm insidasında az bir artışa neden olur. Ancak kanserojen ve mutajenik etki de muhtemelen bir artış beklenebilir. Verilen radyoaktivitenin yarı ömrü ve gama enerjisi gibi fiziksel özellikleri dışında plasentadan geçip geçmemesi de önem taşır. Özellikle selenyum 75 selenometionin radyoaktif asil gazlar, iyonik kalsiyum, stronsiyum-85 ve talyum-201 plasentayı kolayca geçer. Ancak bunlardan da tehlikelisi İyot-131'dir. İyot-131 plasentayı serbestçe geçebildiği gibi fetusun tiroidi de radyoaktif iyodu annenininkine göre 6-7 kat fazla tutar. Bu da fetusta tiroid destrüksiyonuna (harap olma) egzofthalmi ve mikrosefaliye (başın, normale oranla çok küçük oluşu) neden olabilir. Karaciğer sintigrafisinde kullanılan sülfür kolloidler, böbrek ve beyin sintigrafisinde kullanılan DTPA (Dietilen Triamin Tenta Asetikası) ve akciğer sintigrafisinde kullanılan makroagregatlar plasentayı geçemediklerinden daha az tehlikelidir.

Son yıllarda teknolojik gelişmelerle birlikte radyolojik yöntemlerin tanısal görüntüleme yanı sıra çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanılmaya başlaması radyasyondan korunma kurallarının önemini daha da artırmıştır.

Özellikle radyasyon kullanılan yöntemlerin (floroskopi, anjiyografi, radyofrekans ablasyon vb.) radyasyon ve radyasyondan korunma konusunda yeterli eğitim almayan kişilerce bilinçsiz şekilde kullanılması, işlemi yapan hekim, teknisyen, hasta ve yardımcı personelin de risk almasına neden olmaktadır.

Özet olarak günümüzde embriyo ve fetus üzerindeki diğer sigara, alkol, çeşitli ilaçlar, beslenme bozuklukları ve çevre gibi risk faktörlerinin yanında radyasyonun tek başına kesin bir risk faktörü olduğunu söylemek güçtür. Ancak fetus üzerinde hasar olasılığını artırdığı ve bu olasılığın artan dozla daha da arttığı söylenebilir.

Gestasyonel yaş	Dönem	Radyojenik etkileri
0-9 günler	Preimplantasyon	Ya hep ya hiç
10 gün 6hafta	Organogenesis	Konjenital anomaliler Gelişim geriliği
6 hafta 40 hafta	Fötal	Gelişim geriliği, mikrosefali,mental retardasyon

Tablo 1.2: Gestasyonel yaşa göre radyasyon etkileri

1.4. Yüksek Doz Radyasyonun Biyolojik Etkileri

Yüksek doz radyasyonun etkileri akut somatik etkiler ve kronik somatik etkiler şeklindedir.

➤ Akut somatik etkiler

Birkaç dakika ile birkaç saatlik bir sürede, bir defada tüm vücudun büyük miktarlarda radyasyona maruz kalması sonucu oluşan klinik belirtiler ve laboratuvar bulgularının tümüne akut radyasyon sendromu denilmektedir. Akut radyasyon sendromu şu evrelerden oluşur:

- **Başlangıç evresi:** 0-48 saat arasında olur. İştahsızlık, bulantı, terleme, yorgunluk gibi belirtiler ortaya çıkar.
- **Lavent evre:** 48 saat ile 2-3 hafta arasında görülür. Birinci evredeki bulgularda düzelme ile seyreder.
- **Ağır hastalık evresi:** 2-3 hafta ile 6-8. hafta arasında görülür. Ateş, enfeksiyon, cilt hassasiyeti, saç dökülmesi, hemoraji, diare, letarji, şuur ve algılamada bozukluklar, kardiyovasküler kollaps ortaya çıkabilir. Bu bulguların ortaya çıkışı tamamıyla alınan doza bağlıdır.
- **İyileşme evresi:** 6-8 haftadan birkaç aya kadar sürebilir.

Akut radyasyona maruz kalmada fonksiyonu ilk bozulan sistem, hematopoetik sistemdir (100-500 rad). Hedef organ kemik iliğidir. Kemik iliğindeki hücresel yapılar azalır ve yağlı ilik ile yer değiştirir. Bu yağlı madde, kemik iliğini tamamen doldurabilir. Belirtiler 2-3 hafta içinde ortaya çıkar. Anemi, kanamalar, immün sistemde zayıflama sonucu yorgunluk, ateş, lökopeni, trombositopenik purpura (Kılcal damarların, deri içine kanamaları) oluşabilir. Ölüm 3-8 haftada meydana gelir.

Eğer radyasyon dozu biraz daha yüksekse gastrointestinal etkiler ortaya çıkar (500-2000 rad). İntüestinal villuslar etkilenirler. Rejenere olmaya çalışsalar bile anormal hücreler oluşur. 3-5 gün içinde yorgunluk, iştahsızlık, bulantı, kusma, ishal, ateş, dehidrasyon, elektrolit kaybı, dolaşım kollaps olabilir. 3-14 gün içinde ölümle sonuçlanabilir.

2000-3000 rad gibi çok yüksek dozlarda ise rölatif olarak daha dirençli olan merkezi sinir sisteminde oluşan hasar ölüme yol açar. Etkiler 15 dk.-3 saat içinde ortaya çıkar. Letarji, tremor (titreme), konvülsiyon, ataksi, koma gelişebilir. Kan beyin bariyeri yıkılır. Ödem, vaskülit ve kafa içi basıncında artma olur. Ölüm 2 gün içinde gelişir. Aslında bu dozda hematopoetik sistem etkilenmiştir. Ancak beyin hasarı nedeniyle çok kısa sürede ölüm oluştuğu için hematolojik bozuklukların ortaya çıkmasına zaman kalmaz.

Bu bulgular genellikle dışarıdan alınan radyasyon dozu ile oluşur. Vücut içerisinden gelen radyasyon sonucu da benzer şekilde akut radyasyon sendromu meydana gelebilir (örneğin yüksek doz Au-198 ve P-32 tedavisi sırasında). Ancak genel olarak içeriden alınan radyasyonla gerçek anlamda akut radyasyon sendromu olmaz, daha çok uzun süreli ve düşük doza bağlı kronik etkiler meydana gelir.

Etkinin Tipi	ICRP (1990)	NCRP
Akut somatik etki (kansere ve kalıtsal etki için yıllık efektif doz)	Ardışık 5 yıllık ortalama 2 rem (20 mSv)/ yıl, bir yılda 50 mSv aşmamalıdır.	5 rem (50 mSv)
Kronik somatik etki için kümülatif efektif doz		1 rem x yaş yıl 10 mSv x yaş yıl
Doku için yıllık efektif doz (non-stokastik etki)		
Lens	15 rem (150 mSv)	15 rem (150 mSv)
Diğer tüm organlar (deri, eller vb)	50 rem (500 mSv)	50 rem (500 mSv)

Tablo 1.2: Radyasyon çalışanları için MPD değerleri

➤ **Kronik somatik etkiler**

Radyasyonun kronik somatik etkileri arasında ciltte değişiklikler, yanıklar, dermatitlerin kansere dönüşümü, yaşam kalitesinin düşmesi, fizyolojik yaşlanma sürecinin hızlanması, lösemi insidansında artış, selim ve habis tümör insidansında artış sayılabilir.



Resim 1.5: İyonizasyon radyasyonunun deride kronik somatik etkisi

UYGULAMA FAALİYETİ

Aşağıdaki işlem basamaklarını tamamladığınızda radyasyonun biyolojik etkilerini öğrenerek radyasyondan korunma önlemlerini alınız.

İşlem Basamakları	Öneriler
➤ Işınlamalarda gereklilik ilkesine uyunuz.	➤ Ülkemizde Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK), Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (ICRP) önerilerini İnternet ortamında ve diğer kaynaklardan okuyunuz.
➤ Optimizasyon ilkesi doğrultusunda hastaları mümkün olan en az radyasyon dozuna maruz bırakınız.	➤ ICRP tarafından belirlenen Tüzük ve Yönetmelikleri İnternet ortamından ve diğer kaynaklardan okuyunuz.
➤ Doz limitleri ilkesi esas alınarak belirlenmiş doz (MPD) değer sınırlarını aşmayınız.	➤ ICRP tarafından önerilen ve ulusal yönetmeliklere giren en son doz sınırlarını İnternet ortamından ve diğer kaynaklardan okuyunuz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyarak doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Aşağıdakilerden hangisi iyonize radyasyonların gittikleri yol boyunca birim uzaklık başına neden oldukları enerji salınımıdır?
A) LET
B) İzotop
C) Madde
D) Atom
E) Aktivite
2. Direkt yolda değişikliğe uğrayan molekül, doğrudan doğruya iyonize radyasyona maruz kaldığında hangi duruma geçer?
A) Mutasyon
B) Letal
C) Ekzite
D) Kovalent
E) Aberasyon
3. Aşağıdakilerden hangisi akut radyasyona maruz kalmada fonksiyonu ilk bozulan sistemdir?
A) Merkezi sinir sistemi
B) Diğer organlar
C) Gastrointestinal sistem
D) Reprodüktif sistem
E) Hematopoetik
4. Gebelik sırasında fetusun önemli miktarlarda radyasyona maruz kalması aşağıdaki hangi fonksiyon bozukluklarını ortaya çıkarır?
A) Pepsin ve asit salgısında azalma
B) Lenf bezlerinde küçülme
C) Yanıklar
D) Konjenital anomaliler, büyüme geriliği
E) Emilimde bozulma
5. Düşük doz radyasyonun somatik hücreler üzerinde oluşturduğu etki aşağıdaki seçeneklerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?
A) Kanser
B) Nefrit
C) Astım
D) Siroz
E) Pnomöni

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz

ÖĞRENME FAALİYETİ-2

AMAÇ

Bu faaliyette verilen kazanımlarla radyasyondan korunma önlemlerini alabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

Ülkemizde Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK), Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (ICRP) önerilerini İnternet ortamında ve diğer kaynaklardan araştırarak arkadaşlarınızla paylaşınız.

2. RADYASYONUN TEMEL İLKELERİ

Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICRP), Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) ve benzeri çeşitli bağımsız kuruluşlar, iyonlaştırıcı radyasyondan korunma ile ilgili olarak elli yıldan fazla bir süreden beri tavsiye niteliğinde yayınlar yapmaktadır. Bu tavsiyelerin yaptırım gücü olmamasına rağmen, ülkeler bu tavsiyelere kendi koşullarına göre uyar ve yürürlüğe koyar.

Alara prensibi, tüm radyasyon dozlarının mümkün olduğu kadar düşük tutulması gerektiğini tanımlar.

ICRP'nin 60 numaralı raporunda ve IAEA'nın Temel Güvenlik Standartları ismi altında yayımladığı BSS-115 nu.lu yayınında radyasyon korunması ile ilgili önerilen üç temel ilke verilmiştir.

2.1. Radyasyondan Korunmada Temel İlkeler

Radyasyondan korunmada temel ilkeler, doz sınırlama sistemi ilkeleri ile radyasyonun zaman, mesafe ve zırlama ilkeleri olarak incelenir.

- **Doz sınırlama sistemi ilkeleri**
 - **Gereklilik ilkesi**

Radyasyonun zararlı etkileri göz önünde bulundurularak radyasyon ışınlanmasını gerektiren uygulama yapılmasının gerçekten kabul edilir olup olmadığıdır. Kullanım amacına karşılık radyasyonun ortaya çıkabilecek olumsuz etkisi önemli bir bedel olarak görülmelidir ve bu uygulama sonunda elde edilecek fayda ile kıyaslanmalıdır. Aynı amaca

radyasyon içermeyen diğer teknikler kullanılarak ulaşılabiliyorsa bu fayda-bedel analizi bu teknikler için de yapılmalıdır.

Bu nedenle uygulamaların kabul edilebilirliğinin kararı çok önemli olup radyasyondan korunmanın ötesinde bu konuda yetkili otoritelerin ilke bazında bir anlayışı geliştirmelerini gerektirmektedir. Örnek olarak hükümetlerin elektrik üretiminde nükleer gücün kullanılması konusunda verdikleri karar gösterilebilir.

Nükleer güç programları çevreye salıverilecek radyoaktivite çalışanlar tarafından alınacak dozlar, bir radyolojik kaza meydana gelmesi riski ve çıkacak yüksek aktiviteli atıklar göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Çevre kirliliği, asit yağmurları, çok yüksek miktarlardaki atıklar, maden kazaları, mesleki hastalıklar gibi olumsuz etkiler göz önünde bulundurulmalıdır. Radyasyonun etkisi, bu tür çok yönlü analizlerde kararı etkileyen sadece bir parametre olmakla birlikte verilecek karara temel teşkil etmeli ve gereken önem verilmelidir.

X-ışınlarının tıp alanında kullanılmasından doğan kişisel ve kollektif dozların yüksek olmasına karşılık sağladığı faydalar şüphe götürmez. Bununla beraber, herhangi bir tıbbi işlemin kabul edilebilirliği ayrıca değerlendirilmelidir. Örneğin bir organın kanser tedavisinde uygulanan X-ışınları daha fazla kanser oluşumuna sebep olabilir ve bu riskin tedavinin getirisinden yüksek olduğu durumlarda bu kabul edilemez. Ayrıca hamilelerin tıbbi amaçlı ışınlanmaları kararı çok dikkatli verilmeli ve hassas teknikler kullanılmalıdır.

Bunların yanı sıra çocuk oyuncakları, giysiler ile kozmetik ürünlerinin radyoaktif madde içermesi gibi durumlar kesinlikle kabul edilemez.

- **Optimizasyon ilkesi**

Ülkenin ekonomik ve sosyal faktörleri göz önünde bulundurularak aşırıya kaçmadan mümkün olabilecek en düşük dozun alınımının sağlanmasıdır. Bu şekilde yetkili otoritenin belirlediği doz sınırlarının altında kalmak şartıyla alınabilecek en az doz sağlanabilmesi için mümkün olabilecek tüm önlemlerin alınması amaçlanmaktadır.

Radyasyondan korunma ile ilgili olarak bu yaklaşım tarzı 30 yılı aşkın bir süredir geliştirilmektedir. Görevi gereği radyasyonla çalışanlar için çalışma şartlarına bağlı olarak alınan dozlar değişmekle birlikte radyasyon görevlileri ve toplum üyesi kişiler için yıllık ortalama doz sınırları belirlenmiştir. Ortalama olarak alınan dozlar zaten bu değerlerin çok altında kalmaktadır.

Bu düşük dozlar, değişik faktörlerin katkısı ile ortaya çıkmış bulunmaktadır. Belirlenen doz sınırlarının gereği olarak alınacak ortalama dozlar da doğal olarak düşük olacaktır. Çalışma alanlarında düzenlenen korunma sistemleri sayesinde görevlilerin maruz kaldıkları dozlar da sınırların oldukça altında olmaktadır. Toplumun ışınlanmasına neden olan uygulamalar ise en yüksek ışınlanmaya maruz kalması eklenen kişilerin dozları değerlendirilerek ve konulan sınırların altında bu dozları mümkün olduğunca indirme ilkesi esas alınarak kontrol altına alınır.

- **Doz limitleri ilkesi**

Radyasyon uygulamalarının kullanılıp kullanılmayacağına karar verilirken uygun yaklaşım bedel fayda analizi yöntemidir. Radyasyondan korunma bu yöntem önemli gelişmeler kaydetmektedir. Bu yöntem sayesinde gelecekte sağlanacak doz seviyeleri üzerindeki etkisini tahmin etmek zordur. Bu yaklaşım, radyasyonun zararlı etkilerinin parasal açıdan değerlendirilmesini gerektirir. Radyasyonun zararlı etkilerinin parasal karşılığı, etkileri azaltmak için yapılması gereken harcamalar ile doğrudan karşılaştırılır. Radyasyonun zararlı etki oluşturma riski kollektif doz ile belirlenir.

Analizlerde kollektif dozlar kullanılsa da, insan sağlığı üzerindeki ölüme kadar varan zararlı etkilere parasal olarak değer biçmenin getirdiği etik zorluklar göz ardı edilemez. Bu zorluk, gelecek nesillerde ortaya çıkabilecek zararları hesaba katma gereği ile daha da artar. Bu sayısal analiz, alternatif önlemlerin getireceği sonuçların değerlendirilmesiyle açıklığa kavuşturulabilir ancak yine de duyarlı bir irdeleme yapmak gerekir. Radyasyondan korunmada bu tür etik zorluklar garip değildir. Parasal kaynakların daha iyi bir şekilde kullanılıp kullanılmayacağını göstermesidir.

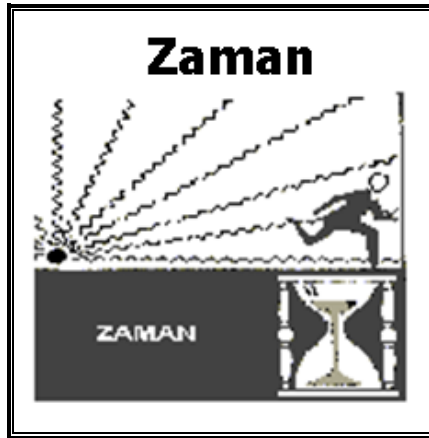
2.2. Radyasyon Zaman, Mesafe ve Zırhlama İlişkilerine Dair İlkeler

Tıbbi ve endüstriyel alanlarda çalışanların radyasyon tehlikesinden korunmak için dikkat edilmesi gerekli olan üç kural vardır.

- **Doz-zaman ilişkisi:** Radyasyondan alınan doz miktarı ile zaman doğru orantılı olduğundan, bir radyoaktif kaynağın yanında harcadığımız zaman ne kadar kısa olursa, o kadar az doz almış oluruz. Bu amaçla, pozlama süreleri mümkün olduğunca kısa tutulmalı ve gereksiz ışınlamalardan (tekrar çekimlerinden) kaçınılmalıdır. Belirli bir sürede alınan doz miktarı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır:

$$\text{Doz} = \text{Doz hızı} \times \text{Zaman}$$

$$J = j \times t = (\text{Sievert} / \text{Saat}) \times \text{Saat} = (\text{Sv} / \text{h} = \text{Sv})$$



Resim 2.1: Doz zaman ilişkisi

- **Doz-mesafe ilişkisi:** Radyoaktif kaynağa olan uzaklığımız arttıkça alacağımız radyasyon miktarı da azalır. Bu yüzden, radyasyondan korunma kuralları uyarınca çalışma bölgeleri ve bu bölgelerdeki maksimum doz değerleri belirlenmiştir. Alman radyasyondan korunma kurallarına göre çalışma bölgeleri gösterilmiştir. Bu bölgeler sırasıyla, yasak bölge, kontrol bölgesi, çalışma gözetim bölgesi ve çalışma dışı gözetim bölgesidir.
- **Yasak bölge:** Doz hızı 3mSv/h'lik bölgeyi tanımlar ve bu bölgeye özel cihaz ve giysili yetkili kişiler dışında hiç kimse giremez. Bu şu anlama gelmektedir: Herhangi bir kaza durumunda, örneğin izotopuntakılıp dışarıda kalması durumunda film çeken personel bu bölgeye girip olaya müdahale edemez.
 - **Kontrol bölgesi:** Doz hızı laboratuvar koşullarında 7.5, arazi koşullarında 40 μ Sv/h'lik bölgeyi tanımlar. Bu bölge radyasyon uyarı işaretleri (şeritleri) ile belirlenmeli ve bu bölgeye film çeken personel dışında hiç kimse girmemelidir.
 - **Çalışma gözetim bölgesi:** Doz hızı 2.5 μ Sv/h'lik bölgeyi tanımlar. Radyoaktif kaynağın kumanda edildiği bölgedir. Bu bölgede de film çeken personel dışında hiç kimsenin olmaması gerekmektedir.
 - **Çalışma dışı gözetim bölgesi (D):** Doz hızı 0.15 μ Sv/h'lik bölgeyi tanımlar.

Radyasyon Çalışma Bölgeleri

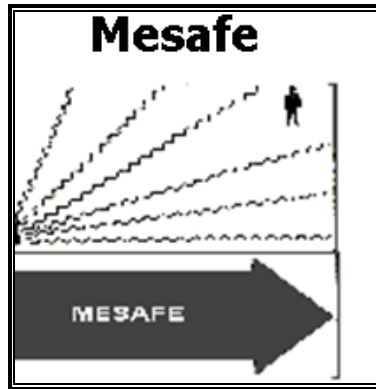
Yasak Bölge (3mSv/h)

Çalışma Gözetim Bölgesi (2.5 μ Sv/h)

Çalışma Dışı Gözetim Bölgesi (0.15 μ Sv/h)

Kontrol Bölgesi (Lab. =7.5 μ Sv/h, Arazi = 40 μ Sv/h)

Çalışma bölgelerinin radyoaktif kaynaktan ne kadar uzaklıkta olduğu radyoaktif kaynak cinsine, gama ışını kaynağı ise aktivitesine, X-ışını cihazı ise akım değeri ve kV değerine bağlıdır. Tabii ki bir de arada ışınımı zayıflatacak engel (zırhlama) olup olmamasına bağlıdır. Çalışma bölgelerinin ışınım kaynağından uzaklığı doz hızı ölçer cihazıyla ölçülerek saptanabildiği gibi doz hızı sabiti formülü ile de teorik olarak saptanabilir.



Resim 2.2: Doz-mesafe ilişkisi

- **Doz-bariyer (zırlama) ilişkisi:** Mesafe ve zaman ile birlikte zırhlama (radyasyon kaynağı ile canlı arasına uygun kalınlıkta soğurucu malzeme yerleştirme) dış radyasyonlardan korunmada oldukça önemli yer tutar. Kullanılacak maddenin cins ve kalınlığı radyasyonun türü, enerjisi, akışı, radyasyon kaynağının boyutu ve şiddetine bağlıdır.



Resim 2.3: Doz-bariyer (zırlama) ilişkisi

- **Alfa ışınlarının zırhlaması:** Karşılaştıkları ortamda enerjilerini çok çabuk kaybetmeleri sebebiyle alfa parçacıklarının giricilikleri ve menzilleri oldukça küçüktür. Enerjileri 7.5 MeV'in altındaki alfa ışınlarını durdurmak için karton, 0.5 mm kalınlığında alüminyum yaprak veya yaklaşık olarak 0.07 kg/m² kalınlığa sahip olan insan derisi yeterlidir. Yüksek enerjili alfa parçacıkları havada birkaç cm yol alabilir. Bu tür parçacıklar cildin alt tabakalarına kadar nüfuz edebilir.
- **Beta parçacıklarının zırhlaması:** Beta parçacıkları oldukça küçük kütleye ve alfa parçacıklarının yarısı büyüklüğünde yüke sahiptir. Buna göre, belirli bir enerjiye sahip beta parçacıkları aynı enerjili alfa parçacıklarına göre oldukça yüksek hıza sahiptir ve bunlar herhangi bir soğurucu madde içinde alfa parçacıklarına göre çok daha derine nüfuz eder. Beta parçacıklarının madde içinde enerji kaybı mekanizmaları alfa parçacıklarınkine benzer. Ancak, beta radyasyonuna karşı zırhlama söz konusu olduğunda *bremstrahlung* adı verilen elektromanyetik radyasyonun ortaya çıkması ilave problem oluşturur. Bir atomda meydana gelen *bremstrahlung* olayının frekansı beta parçacığının kütlesiyle ters, maddenin atom numarasının karesiyle doğru orantılı olarak artar. Bu, beta radyasyonuna karşı zırhlama söz konusu olduğunda *bremstrahlung* olayını azaltmak için düşük atom numaralı (Z) malzemelerin kullanılması gerektiği sonucunu verir. Bir beta kaynağı, enerjileri 0'dan başlayıp karakteristik bir maksimum enerjiye uzanan beta ışınları yayımlar. Ortalama beta enerjisi çoğu durumlarda yaklaşık 1/3Emaks'tır. Beta parçacıklarının nüfuz gücü enerjilerine bağlıdır. Örneğin 1 MeV enerjili bir beta parçacığı havada yaklaşık 3.5 m yol alır.

Bu nedenle beta radyasyonundan korunmada kullanılacak malzemenin seçimi ve kalınlığı en yüksek enerjili beta parçacığının enerjisine (örneğin Sr-90 0.546 MeV'lik beta yayınlar) her hangi bir bremsstrahlung karşı zırhlanmaya bağlıdır. Aşağıdaki tabloda çeşitli enerjide beta radyasyonunu soğurabilecek maddelerin kalınlıkları cm cinsinden verilmiştir.

Enerji (MeV)	Plastik	Beton	Alüminyum
0.5	0.254	0.127	0.127
1.0	0.508	0.254	0.254
2.0	0.762	0.508	0.508
3.0	1.016	0.762	0.762

Tablo 2.1: Çeşitli enerjide beta radyasyonunu soğurabilecek maddelerin kalınlıkları cm cinsi

Bremsstrahlung olayı enerjileri 1 MeV'in üzerindeki beta parçacıkları için önem kazanır. Küçük atom numaralı elementten yapılan bir kap içine konacak beta kaynağından oluşabilecek bremsstrahlung ışınlarının tutulması için kabın etrafı büyük atom numaralı zırh malzemesiyle çevrilmelidir. Gıysiler beta parçacıkları için zırh malzemesi görevi görmezler. Alüminyum ve kauçuk gibi maddeler zırhlamada en önemli olanlardır.

- **Gama ve X-ışınlarının zırhlanması:** Gama ışınları, maddeden geçerken alfa ve beta parçacıkları gibi enerjilerini sürekli şekilde kaybetmez. Elektromanyetik karakterdeki bu ışınların madde ile etkileşimleri fotoelektrik olay, Compton olayı, çift oluşumu veya bunların kombinasyonu ile olur. Fotoelektrik olay, düşük enerjili bir fotonun (< 1 MeV) ağır element atomlarının elektronlarıyla çarpışması sonucu oluşur. Bu olayda fotonun tüm enerjisi çarptığı elektrona yörüngeden koparmada ve elektrona kinetik enerji kazandırmada harcanır. Ortam atomlarının ağırlığının rol oynamadığı Compton olayının oluşumunda orta enerjili (5 MeV'e kadar) fotonlar etkilidir. Bu olayda gelen foton soğurucu madde atomlarının dış yörüngelerindeki bir elektrona koparak ona bir miktar kinetik enerji kazandırır. Foton, kalan enerjisiyle yoluna devam eder. Çift oluşumu enerjileri 1.02 MeV'in üzerindeki fotonların (özellikle % MeV'in üstünde) oluşturduğu bir olaydır. Bu olayda yüksek atom numaralı elementler önem kazanır. Gelen foton atom çekirdeğinin elektrik alanında elektron ve onun anti parçacığı olan pozitrona dönüşür. Serbest bir elektrona karşılaşılan pozitron elektrona birleşir ve yok olur (*annihilation* veya *yok olma*). Bu olay sonucunda da her birinin enerjisi 0.511 MeV olan iki foton oluşur. Gama ışınları, alfa ve beta parçacıklarına göre madde içinde daha derinlere nüfuz eder. Gama radyasyonu zırhlama maddesinden geçerken üstel olarak azalır. Bu nedenle teorik olarak zırh malzemesinin kalınlığı ne olursa olsun gama ışınları tamamıyla soğurulmaz. Ancak alınacak dozu kabul edilebilir bir seviyeye çekebilecek kalınlık seçmek mümkündür.

Elektromanyetik radyasyonların zırhlanmasında demir, çelik, tungsten, altın, beton ve kurşun gibi yüksek atom numaralı maddelerin kullanımı uygundur. Ancak pratikte ekonomik nedenlerden dolayı en çok kurşun ve beton kullanılır.

- **Nötronların zırhlanması:** Gama ışınları gibi nötronların da giricilikleri fazladır. Nötronlar yüksüzdür ve bu nedenle soğurucu atomların elektrik alanından etkilenmez. Nötronlar enerjilerini büyük ölçüde zırhlama malzemesiyle yaptıkları esnek ve esnek olmayan saçılmalarla kaybeder.

Esnek saçılmada nötronlar hedef çekirdek ile çarpışır ve iki bilardo topunun çarpışmasına benzer şekilde saçılır. Çarpışma esnasında nötron başlangıçtaki enerjisinin bir kısmını kaybeder ve bu enerji hedef çekirdeğe aktarılır. Enerji kaybı $2m/(1+m)^2$ ifadesiyle hesaplanır. Burada m nötron kütlesinin çarpıştığı çekirdek kütlesine oranını verir. Örnek vermek gerekirse enerjisi 1 MeV'den küçük olan bir nötron, bir hidrojen çekirdeğiyle çarpıştırsa yaklaşık olarak enerjisinin yarısını kaybeder. Esnek saçılma yoluyla nötronları yavaşlatmakta hafif elementler en etkilidir. Bu nedenle hidrojen oranı yüksek su, beton, plastik gibi malzemelerin kullanılması en uygundur. Nötronların yakalanmasında ise lityum ve bor kullanılır.

Enerjisi 1 - 10 MeV arasında olan nötronlar ortam atomlarıyla esnek olmayan çarpışmalar meydana getirir. Elastik olmayan saçılmalarda gelen nötronlar enerjilerinin bir kısmını saçılmaya yol açan malzemeye aktarır ve hedef çekirdekleri uyarır. Uyarılmış hedef çekirdekler taban durumuna geçerken gama ışınları yayınlamaya başlar. Nötron yakalanması nötronların hedef çekirdekleri tarafından yakalanması ve uyarılmış çekirdeğin başka bir parçacık veya gama ışını aracılığıyla uyarılmış durumundan kurtulması işlemidir. Bu tür nötronların zırhlanmasında hem hafif hem de ağır çekirdekli malzeme kullanılır. En uygun malzeme çiftleri parafin+kadmiyum veya parafin+kurşundur. Nötronların zırhlanmasında örneğin demir parçacıkları içeren çimentodan da yararlanılabilir. Enerjisi 0.01 MeV'den küçük nötronlar demir çekirdeği tarafından 'soğurulur' veya çimento içindeki hidrojen çekirdeği ile birleşerek döteryum çekirdeğine dönüşür.

UYGULAMA FAALİYETİ

Aşağıdaki işlem basamaklarını tamamlayınız. Radyasyondan korunma önlemlerini alınız.

İşlem Basamakları	Öneriler
➤ Doz zaman ilişkisini dikkate alarak zorunlu olmadıkça radyasyon ortamından uzak durunuz.	➤ Pozlama sürelerini mümkün olduğunca kısa tutunuz ve gereksiz ışınlamalar yapmamaya dikkat ediniz.
➤ Doz-mesafe ilişkisini dikkate alarak radyasyon kaynağından mümkün oldukça uzak durunuz.	➤ Radyasyondan korunma kuralları uyarınca çalışma bölgeleri ve bu bölgelerdeki maksimum doz değerlerini dikkate alınız.
➤ Doz-bariyer (zırhlama) ilişkisini dikkate alarak farklı radyasyonlara karşı farklı bariyer (zırhlama) araç gereci kullanınız.	➤ Primer ve sekonder radyasyonları dikkate alarak radyasyondan korunmada değişik bariyer malzemelerinden yararlanınız.
➤ Radyasyon çalışma alanlarının sınıflandırılmasında öngörülen kurallara uyulmasını sağlayınız.	➤ Radyasyon güvenliği yönetmeliğinin madde 15'i İnternet ortamında veya diğer kaynaklardan okuyunuz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyarak doğru seçeneği işaretleyiniz.

- Alara prensibinin tanımı hangi seçenekte doğru verilmiştir?
A) Tehlike durum planını açıklar
B) Tüm radyasyon dozlarının mümkün olduğu kadar düşük tutulması gerektiğini
C) Işınlamaya maruz kalabilecek kritik gruplara erişilmesi gerektiğini
D) Radyasyon kaynaklarının bakım ve onarımını
E) Radyasyon ölçüm programlarını açıklar
- Belirli bir sürede alınan doz miktarı aşağıdaki hangi formül yardımıyla hesaplanır?
A) Doz = Doz hızı × Zaman
 $J = j \times t = (\text{Sievert} / \text{Saat}) \times \text{Saat} = (\text{Sv} / \text{h} = \text{Sv}$
B) Zaman = Doz x saat
C) $J = \text{Doz} = (\text{Sievert} / \text{Saat}) \times \text{Saat} = (\text{Sv} / \text{h} = \text{Sv}$
D) Zaman = Doz x saat
 $J = \text{Doz} = (\text{Sievert} / \text{Saat}) \times \text{Saat}$
E) $\text{Doz} = x \text{ Saat} = (\text{Sv} / \text{h} = \text{Sv}$
 $J = (\text{Sievert} / \text{Saat}) \times \text{Saat}$
- Ülkenin ekonomik ve sosyal faktörleri göz önünde bulundurularak aşırıya kaçmadan mümkün olabilecek en düşük dozun alınması aşağıdaki hangi doz sınırlama sistemi ilkesini kapsamaktadır?
A) Gereklilik ilkesi
B) Limit ilkesi
C) Doz limit ilkesi
D) Optimizasyon ilkesi
E) Gereklilik limit ilkesi
- Aşağıdakilerden hangisi doz limit ilkesinin yöntemidir?
A) Gereklilik analiz
B) Bedel – fayda analiz
C) Limit – doz analiz
D) Fayda – doz analiz
E) Bedel – doz analiz
- Aşağıdakilerden hangisi radyoaktif kaynağın kumanda edildiği bölgedir?
A) Yasak bölge
B) Kontrol bölge
C) Çalışma gözetim bölgesi
D) Çalışma dışı kontrol bölgesi
E) Kontrol dışı çalışma bölgesi

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz

ÖĞRENME FAALİYETİ-3

AMAÇ

Bu faaliyette verilen bilgi ve becerilerle tüm dünyada kullanılan radyasyon birimlerini kullanabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi (ICRU) Tarafından Radyasyon çalışmalarında kullanılan Işınlama Dozu (Röntgen), Aktivite (CURİE), Soğrulma Dozu(Rad) ve Doz Eş değeri (Rem) birimlerini İnternet ve diğer kaynaklardan araştırarak sınıf ortamında arkadaşlarınızla paylaşınız.

3. RADYASYON BİRİMLERİ

Radyoaktif bir cismin radyoaktivite miktarını ve radyasyon kaynağının yayınladığı radyasyon (ışın) dozunu ölçmek için özel birimler tanımlanmıştır.

Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi (ICRU) tarafından radyasyon çalışmalarında kullanılan ışınlama dozu (röntgen), aktivite (Curie), soğrulma dozu (Rad) ve doz eş değeri (Rem) birimleri belirlenmiştir.

Eski radyasyon ölçü birimleri yerine, tüm dünyada ortak kullanılan MKS sistemini esas alan Uluslararası Birimler Sistemi (SI) kullanılmaktadır.

Terim	Birimi	
	Eski	Yeni
Aktivite	Curie, Cİ	Becquerel, Bq
Işınlama Dozu	Röntgen/ Saat, R/s	Coulomb/kilogram, C/kg
Soğrulmuş Doz	Radiation absorbed dose, rad	Gray, Gy
Doz Eş değeri	Röntgen equivalent man, rem	Sievert, Sv

Tablo 2.1: Radyasyon ölçü birimleri

3.1. Röntgen (R)

Bir ortamda bulunan radyasyon düzeyini belirlemek için maruz kalınan radyasyon miktarı ölçülür. Bu, X veya gama ışınının havada neden olduğu iyonizasyon miktarıdır. 1 Röntgen (R) 0,001293 gramlık havada 1 elektrostatik birimlik iyon oluşturan X veya gama ışını miktardır. Radyasyonun şiddetini (intensitesini) ölçmez, sayısal olarak ölçer. Mili ve

mikro alt birimleri vardır. Ayrıca maruz kalma hızı olarak belirtilen bir birim vardır ki bu örneğin 1 R/dk. ise 1 dakikalık sürede oluşan iyonizasyon miktarını gösterir.

3.2. Coulomb/kilogram (c/kg)

Normal hava şartlarında havanın 1 kg'ında 1 Coulomb'luk elektrik yükü değerinde normal hava (+) ve (-) iyonlar oluşturan X veya gama radyasyonu miktarıdır.

$$1 \text{ C / kg} = 3876 \text{ R} \quad 1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C / kg} \quad 10^4$$

3.3. Curie (Ci)

$$3.7 \times 10^{10} \text{ parçalanma} / 1 \text{ saniye (parçalanma meydana getiren radyoaktivite miktarı)}$$

3.4. Becquerel (Bq)

1 parçalanma / 1 saniye 1 Ci = 3.7 x 10¹⁰ Becquerel 1Ci =37 GBq (Saniyede 1 adet parçalanma gösteren radyoaktif madde miktarıdır.)

3.5. Radyasyon Absorblama Dozu (RAD)

Işınlanan maddenin 1 kilogramında 10² Joule'lik enerji soğurulması meydana getiren radyasyon miktarıdır.

3.6. Gray (Gy)

Işınlanan maddenin 1 kilogramında 1 Joule'lik enerji meydana getiren radyasyon miktarıdır.

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad} \quad 1 \text{ rad} = 0,01 \text{ Gy}$$

3.7. İnsan Eş Değer Dozu (REM)

Röntgen Equivalent Man (Rem); 1 Röntgenlik X veya gama ışını ile aynı biyolojik etkiyi oluşturan herhangi radyasyon miktarıdır.

Rem, radyobiyojide ve organizmadaki radyasyon miktarını ölçmede kullanılan birimdir. Rem biriminin ast katı olarak mili rem (mR) kullanılır.

3.8. Sievert (Sv)

1 Gy'lik X ve gama ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır.

$$Sv = (Gy) \times (WR)^*$$

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

$$1 \text{ rem} = 0.01Sv^*R$$

“Radyasyon ağırlık faktörü” olarak adlandırılır. Farklı radyasyonların biyolojik etkilerindeki farklılıkları hesaba katmak ve aynı zamanda radyasyondan korunma hesaplarını basitleştirmek için kullanılan bir faktördür. Sievert çok büyük biri olduğundan genelde ast birimi olan mili sievert (mSv) kullanılır.

3.9. Radyasyon Enerji Birimi /Elektron Volt (Ev)

Farklı tiplerdeki radyasyon enerjilerini tanımlayabilmek için elektron- volt (eV) olarak bilinen bir birim kullanılır. Bir voltluk potansiyel farkı ile hızlandırılmış bir elektronun enerjisine bir elektron-volt denir. Böylelikle, 1000 volt, 1000 eV’a kadar olan enerji spektrumlu X ışınları yaratacaktır. 10 000 eV’a kadar olan enerji spektrumlu X ışınları oluşacaktır.

1 eV’in 1000 katına 1 kilo elektron volt (KeV), 1 milyon katına ise Mega elektronvolt (MeV) denir.

Örneğin;

1000 eV 1 kiloelektron-volt (1keV)

10000 eV 10 kiloelektron –volt (10keV)

1000000 eV 10 megaelektron –volt (1MeV)

5000000 eV 5 megaelektron –volt (5MeV) olarak yazılır.

UYGULAMA FAALİYETİ

Aşağıdaki işlem basamaklarını tamamlayınız. Radyasyon birimlerini kullanınız.

İşlem Basamakları	Öneriler
<p>➤ Eski radyasyon ölçü birimleri yerine, tüm dünyada ortak kullanılan birimler sistemini kullanınız.</p>	<p>➤ MKS sistemini esas alan Uluslararası Birimler Sistemi (SI) kullanınız.</p>
<p>➤ Radyoaktivite miktarını ve radyasyon kaynağının yayınladığı radyasyon (ışın) dozunu ölçmek için tanımlanan özel birimleri kullanınız.</p>	<p>➤ ICRU tarafından radyasyon çalışmalarında kullanılan ışınlama dozu (röntgen), aktivite (Curie), soğrulma dozu (Rad) ve doz eş değeri (Rem) birimlerini unutmayınız.</p>
<p>➤ Radyasyonların biyolojik etkilerindeki farklılıkları hesaba katmak ve aynı zamanda radyasyondan korunma hesaplarını basitleştirmek için Sieverti kullanınız.</p>	<p>➤ Ast birimi olan mili sieverti (mSv) kullanınız.</p>

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyarak doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Gy'lik X ve gama ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarını meydana getiren birim aşağıdakilerden hangisidir?
A) REM
B) Sv
C) Gry
D) Ray
E) Ci
2. Farklı tiplerdeki radyasyon enerjilerini tanımlayabilmek için aşağıdaki hangi birim kullanılır?
A) kev
B) Mev
C) Ev
D) Sv
E) Bq
3. Rem biriminin ast katı olarak aşağıdakilerden hangisi kullanılır?
A) mr
B) Rem
C) mSv
D) Bq
E) c/kg
4. Aşağıdakilerden hangisi bir ortamda bulunan radyasyon düzeyini belirlemek için maruz kalınan radyasyon miktarını ölçen birimdir?
A) Sv
B) Bq
C) c/kg
D) R
E) mr
5. Aşağıdakilerden hangisi radyasyon birimlerinden değildir?
A) Mev
B) mr
C) R
D) c/kg
E) Sv

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-4

AMAÇ

Bu faaliyette verilen bilgi ve becerilerle radyasyondan korunmada temel güvenlik standartlarında yapılması gerekenleri ayrıntılı olarak öğrenebileceksiniz.

ARAŞTIRMA

Avrupa Birliği Tarafından "Council Directive Euratom 96/29" ile düzenlemeler yapılmış ve Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu tarafından Temel Güvenlik Kuralları serisi olarak yapılması gerekenleri ayrıntılı olarak İnternet ortamında veya değişik kaynaklardan araştırarak sınıf ortamında arkadaşlarınızla paylaşınız.

4. RADYASYONDAN KORUNMADA TEMEL GÜVENLİK STANDARTLARINA DAİR MEVZUAT

4.1. Radyasyondan Korunmada Temel Güvenlik Standartları

Radyoloji alanında X ışını kullanarak teşhis ve tedavi amacıyla birçok cihaz kullanılmaktadır. Bu cihazlar, kullandıkları X ışını nedeniyle hastalara kullanım amaçlarına bağlı olarak değişik oranda ışın vermektedir. Radyasyonun tıbbi uygulamaları, toplum için en çok radyasyon dozuna maruz kalınan üst sınır doz (MPD) değerleri uluslararası standartlara uygun olarak belirlenmektedir.

Radyasyon Güvenliği ve Radyasyondan Korunmanın birincil amacı, ışınlamaların yararlı uygulamalarını gereğinden çok sınırlamadan, insan yapısı iyonize radyasyonun zararlı etkilerine karşı uygun koruma standardı sağlamaktır. Konu ile ilgili olarak Avrupa Birliği Tarafından "Council Directive Euratom 96/29" ile düzenlemeler yapılmış ve Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu tarafından Temel Güvenlik Kuralları serisi olarak da yapılması gerekenler ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Etkinin Tipi	ICRP (1990)	NCRP
Stokastik etki için yıllık efektif doz	0.1 rem (1 mSv)	
Sürekli veya sık		0.1 rem (1 mSv)
Nadir maruziyet		0.5 rem (5 mSv)
Eğitim sırasında		0.1 rem (1 mSv)
Doku için yıllık efektif doz (non-stokastik etki)	1.5 rem (15 mSv)	5 rem (50 mSv)
Lens	5 rem (50 mSv)	5 rem (50 mSv)
Ekstremiteler		

Tablo 2.3: Toplumdaki kişiler için MPD değerleri

➤ **Radyasyon görevlileri için temel güvenlik standartları**

Radyasyon görevlileri için etkin doz sınırı 50 mSv/ yıl, ardışık beş yılın ortalama 20 mSv olarak belirlenmiştir. El, ayak ve deri için yıllık eş değer doz 500 mSv, göz merceği için 150 mSv'dir.

Hamileliği belirlenmiş kadın görevlilerin, çalışma şartlarının yeniden düzenlenmesi amacıyla yönetime haber verilir. Hamileliğin bildirilmesi engel teşkil etmez. Gerekirse çalışma koşulları yeniden düzenlenir. Doğacak çocuğun alacağı dozun mümkün olduğu kadar düşük düzeyde tutulması eş değer doz sınırı 1 mSv (0,1 Rem) olarak sınırlandırılmıştır ve toplum için belirlenen doz sınırlarına uyulması olarak belirlenmiştir. Emzirme dönemindeki kadın çalışanlar, radyoaktif riski taşıyan işlerde çalıştırılmaz.

➤ **Stajyer öğrenciler için temel güvenlik standartları**

TAEK mevzuatı gereği, 18 yaşından küçük radyasyon uygulaması işinde çalıştırılmaz. Eğitim amaçlı olmak koşuluyla, eğitimleri radyasyon kaynaklarının kullanılmasını gerektiren 16-18 yaş arası stajyerler ve öğrenciler için etkin doz herhangi bir yılda 6 mSv'i geçemez. Ancak el, ayak, deri için yıllık eş değer doz sınırı 150 mSv, göz merceği için 50 mSv olarak sınırlandırmıştır.

➤ **Toplum üyeleri için temel güvenlik standartları**

Toplum üyesi kişiler için etkin doz yılda 1 mSv'i geçemez. Özel durumlarda; ardışık beş yılın ortalaması 1 mSv olmak üzere yılda 5 mSv'e kadar izin verilir. Cilt için yıllık eş değer doz sınırı 50 mSv'dir. Göz merceği için 50 mSv olarak sınırlandırılmıştır.

➤ **Diğer bazı güvenlik standartları**

Görevli tüm personel, tanı ve tedavinin gerektirdiği radyasyon güvenliği konularında eğitilmiş olmalıdır. Gerek görülen hâllerde tıbbi tanı ve tedavi altındaki hastalara gönüllü ve bilinçli olmak koşuluyla yardım etmek isteyen veya hasta ziyareti için gelen kişilerin alacakları etkin doz, tanı ve tedavi süresince 5 mSv olarak belirlenmiştir.

Doğal radyasyon kaynağı radon solunumuyla alınan dozun yıllık dünya ortalaması 1.3 mSv olarak belirlemiştir. Günümüzde enerji korumaya yönelik iyi havalandırılmayan evler ve iş yerlerinin yapılması radondan alınan radyasyon miktarını artırmaktadır.

Radyasyondan korunma, Ulusal ve Uluslararası Yasa, Tüzük ve Yönetmeliklerle sağlanmaktadır. ICRP (Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu) dünya genelinde radyasyon ve biyolojik etkileri üzerine yapılan araştırmaların sonuçlarına dayanarak radyasyondan korunmanın daha etkin yapılması için yayınladığı öneriler ışığında Ulusal Yasa, Tüzük ve Yönetmelikleri güncelleştirmektedir.

4.2. Radyasyon Tüzüğü

Bakanlar Kurulu'nun 24.07.1985 tarih ve 85/9727 Sayılı kararıyla kabul edilen bu Tüzük, 07.09.1985 tarih ve 18861 Sayılı Resmî gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

İyonlaştırıcı radyasyon kaynaklarını bulunduran, kullanan, imal, ithal ve ihraç eden, alan, satan, taşıyan ve depolayan, resmî, özel kurum ve kuruluşlar ve gerçek kişilerce uyulması gereken kurallar bu Tüzükte gösterilmiştir. Önemli olan bu Tüzük, 27 maddeden oluşup Bakanlar Kurulu tarafından yürütülmektedir.

4.2.1. Genel Hükümler

➤ **Madde 2-** Bu Tüzükte geçen terimlerin ve kısaltmaların anlamları aşağıda belirtilmiştir:

- İyonlaştırıcı radyasyonlar, maddesel ortamdan geçerken onunla etkileşerek iyon çiftleri oluşturabilen X-ışını, gama ışını gibi elektromanyetik ışınlarla, kinetik enerjileri olan yüklü parçacıklar, ağır iyonlar ve serbest nötronlar gibi tanecik karakterli ışınımlardır. Ses dalgalarıyla, elektromanyetik spektrumun morötesi ve daha büyük dalga boylu bölgesi, bu tanımın kapsamı dışındadır. Bu Tüzükte iyonlaştırıcı radyasyon terimi yerine radyasyon sözcüğü kullanılmıştır.

- Radyoaktivite birimleri, Curie (Ci) ve Becquerel (Bq) dir: 1 Curie, saniyede $3,7 \times 10^{10}$ parçalanma veren radyoaktivitedir. Becquerel, saniyedeki parçalanma sayısıdır. 1 Becquerel $2,7 \times 10^{-11}$ Curie'dir.
- Rem (rem), radyasyon korunmasında kullanılan biyolojik eş değer doz birimidir. Soğurulan dozla kalite faktörünün çarpımına eşittir. Rad (rad), soğurulan doz birimidir. 1 gram madde içinde 100 erg'lik enerji soğurulması meydana getiren herhangi bir radyasyon dozudur.
- Radyasyon kaynağı, iyonlaştırıcı radyasyon yayınlayan radyoaktif maddelerle radyasyon yayınlayıcı veya üretici aygıtlardır.
- Radyoaktif maddeler, bir veya birden çok iyonlaştırıcı radyasyon yayınlarak çekirdekleri kendiliğinden bozunmaya uğrayan bir izotopu, alaşım, karışım, çözelti veya bileşik olarak içeren maddelerdir.
- Radyasyon yayıcı aygıtlar, bir veya birkaç tür iyonlaştırıcı radyasyonu, belirli güvenlik önlemleri içerisinde ve denetim altında yaymak amacıyla yapılmış olan ve radyoaktif madde içeren aygıtlardır.
- Radyasyon üretici aygıtlar, elektriksel, elektronik, manyetik veya elektromekanik yöntemlerden biriyle yüklü parçacık veya ağır iyonları hızlandırarak belirli güvenlik önlemleri içerisinde ve denetim altında iyonlaştırıcı radyasyon üretmek üzere yapılmış röntgen makineleri, betatron, lineer akseleratör, siklotron ve nötron jeneratörü gibi aygıtlardır.
- Özgül aktivite, bir radyoaktif maddenin 1 gramlık kütesinin Curie veya 1 kilogramlık kütesinin becquerel cinsinden ifade edilen aktivite yoğunluğudur.
- Denetimli alanlar, radyasyon güvenliği bakımından giriş ve çıkışların özel denetime ve içerisindeki çalışmaların özel kurallara bağlı olduğu alanlardır.
- Radyasyon alanları, içinde çalışan kişilerin iyonlaştırıcı radyasyonlara maruz kaldığı alanlardır. Bunlar maruz kalınan ışınlama düzeyine göre:
 - Yıllık ışınlanmaların doz eş değer sınırlarının onda üçünü geçebileceği "çalışma durumu A alanları"
 - Yıllık ışınlanmaların doz eş değer sınırlarının onda üçünün aşılmasının hiç beklenmediği "çalışma durumu B alanları" olmak üzere ikiye ayrılır.
- Radyasyon görevlisi, sürekli olarak denetimli alanlarda veya radyasyon kaynaklarıyla çalışan kişidir.

Denetimli alanlarda veya radyasyon kaynaklarıyla geçici olarak veya ara sıra çalışan kişiler radyasyon görevlisi sayılmazlar.

- Radyasyon kazası, istenmeyen bir olay sonucu radyasyon korunması standartlarıyla belirlenen sınırların çok üzerinde radyasyon dozu alınması veya radyoaktif bulaşma meydana gelmesidir.
- Radyoaktif yağışlar, nükleer patlamaların atmosfere yaydığı radyoaktif maddelerin çeşitli biçimlerde yeryüzüne inmesidir.
- Kurum, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu anlamına gelir.

Tüzükte kullanılan diğer terimlerin anlamları, Nükleer Tanımlar Yönetmeliği'nde belirtilir.

4.2.2. Radyasyon Güvenliği Temel Standartları

- **Madde 5-** Radyasyon güvenliğine ilişkin ilke ve tedbirler aşağıda belirtilen radyasyon korunması temel standartlarına göre düzenlenir:
 - Görevi gereği, radyasyon kaynaklarıyla çalışan veya radyasyona maruz kalan kişilerin, iç ve dış radyasyon kaynaklarından bütün vücutlarının alacağı yıllık doz 5 rem'i geçmeyecektir.
 - Radyasyon görevlisi sayılmayan kişilerin ve toplumdaki diğer kişilerin maruz kalacakları iç ve dış radyasyonun dozları toplamı, bütün vücut için, yılda 0.5 rem'i geçmeyecektir.
- **Madde 6-** Yaş sınırlaması 18 yaşından küçükler, bu Tüzük kapsamına giren işlerde çalıştırılmaz.

4.2.3. Lisansa Bağlı İşler

- **Madde 7-** Bu Tüzük kapsamına giren radyasyon kaynaklarının bulundurulması, kullanılması, imal, ithal ve ihraç edilmesi, alınması, satılması, taşınması, depolanması ve radyasyon kaynaklarıyla çalışabilmesi, Kurumca verilecek lisansa bağlıdır.

Bu işler, diğer bakanlık ve kuruluşlardan da izin, ruhsat veya belge alınmasını gerektiriyorsa bunların verilmesi Kurumca lisans verilmesi ön koşuluna bağlıdır.

4.2.4. Denetime Bağlı İşler

- **Madde 18-** Çalışma alanları bakımından bu Tüzük kapsamına giren resmî, özel kurum ve kuruluşlar ve gerçek kişiler, Kurumun denetimine bağlıdır.

4.3. Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği

Bu Yönetmelik, Resmî Gazetede 24.03.2000 tarihli 23999 sayılı ve 2690 sayılı Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Kanunu'nun 4. maddesinin (d) bendine dayanılarak hazırlanmıştır.

Yönetmeliğin amacı, iyonlaştırıcı radyasyon ışınlamalarına karşı kişileri ve çevrenin radyasyon güvenliğini sağlamak ile ilgili hükümleri içermektedir. Bu yönetmelikte geçen tanımlar aşağıda verilmiştir.

4.3.1. Muafiyet Sınırları İçerisinde Olduğu Hâlde İzin Verilmeyen Maddeler

- **Madde 6-** Radyoaktif madde içeren oyuncaklar, kırtasiye malzemeleri, giysiler, kozmetikler, ev eşyaları ve benzeri malzemelerin ithali, ihracı, imali, bulundurulması, kullanılması ve depolanması yasaktır. Aksi takdirde bu Yönetmeliğin 75'inci maddesi hükümleri uygulanır.

4.3.2. Yıllık Doz Sınırları

- **Madde 10-** Yıllık doz sınırları sağlığa zarar vermeyecek şekilde uluslararası standartlara uygun olarak Kurum tarafından radyasyon görevlileri ve toplum üyesi kişiler için ayrı ayrı belirlenmiştir. Yıllık toplam doz aynı yıl içindeki dış ışınlama ile iç ışınlamadan alınan dozların toplamıdır. Kişilerin, denetim altındaki kaynaklar ve uygulamalardan dolayı bu sınırların üzerinde radyasyon dozuna maruz kalmalarına izin verilemez ve bu sınırlara tıbbi ışınlamalar ve doğal radyasyon nedeniyle maruz kalınacak dozlar dâhil edilemez.

4.3.3. Çocuk Doğurma Çağındaki Radyasyon Görevlileri İçin Doz Sınırları

- **Madde 12-** Çocuk doğurma çağındaki radyasyon görevlilerinin maruz kaldıkları radyasyon dozunun mümkün olduğu kadar düşük düzeyde tutulması için gerekli önlemlerin alınması zorunludur. Hamileliği belirlenmiş olan radyasyon görevlileri ancak gözetimli alanlarda çalıştırılır. Fetusu korumak amacıyla, hamile radyasyon görevlisinin batin yüzeyi için hamilelik boyunca ilave eş değer doz sınırı 1 mSv'dir.

4.3.4. Radyasyon Alanlarının Sınıflandırılması

- **Madde 15-** Maruz kalınacak yıllık dozun 1 mSv değerini geçme olasılığı bulunan alanlar radyasyon alanı olarak nitelendirilir ve radyasyon alanları radyasyon düzeylerine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılır.
 - **Denetimli Alanlar:** Radyasyon görevlilerinin giriş ve çıkışlarının özel denetime, çalışmalarının radyasyon korunması bakımından özel kurallara bağlı olduğu ve görevi gereği radyasyon ile çalışan kişilerin ardışık beş yılın ortalama yıllık doz sınırlarının 3/10'undan fazla radyasyon dozuna maruz kalabilecekleri alanlardır.

Denetimli alanların girişlerinde ve bu alanlarda aşağıda belirtilen radyasyon uyarı levhaları bulunması zorunludur.

- Radyasyon alanı olduğunu gösteren temel radyasyon sembelleri,
- Radyasyona maruz kalma tehlikesinin büyüklüğünü ve özelliklerini anlaşılabilir şekilde göstermek üzere gerekli bilgi, simge ve renkleri taşıyan işaretler,
- Denetimli alanlar içinde radyasyon ve bulaşma tehlikesi bulunan bölgelerde geçirilecek sürenin sınırlandırılması ile koruyucu giysi ve araçlar kullanılması gerekliliğini gösteren uyarı işaretleridir.
- **Gözetimli Alanlar:** Radyasyon görevlileri için yıllık doz sınırlarının 1/20'sinin aşılma olasılığıdır. 3/10'unun aşılması beklenmeyen, kişisel doz ölçümünü gerektirmeyen fakat çevresel radyasyonun izlenmesini gerektiren alanlardır.

4.3.5. Öğrenciler

- **Madde 17-** 16-18 yaşları arasındaki öğrenci ve stajyerlere sadece gözetimli alanlarda eğitim izni verilebilir. Öğrenci ve stajyerlerin doz sınırları bu Yönetmeliğin 10'uncu maddesi (c) bendinde belirtilmektedir.

4.3.6. Ziyaretçiler

- **Madde 18-** Ziyaretçiler denetimli alanlara kesinlikle giremez. Gözetimli alanlara ise radyasyon korunması sorumlusundan izin almadan giremez. İzin verilen ziyaretçilerin giriş ve çıkış saatlerinin kayıtlarının tutulması radyasyon korunması sorumlusu tarafından sağlanır.

4.3.7. Çalışma Koşulları

- **Madde 20 -** Görevleri gereği radyasyona maruz kalan kişilerin çalışma koşulları aşağıdaki şekilde sınıflandırılır.
 - **Çalışma Koşulu A:** Yılda 6 mSv'den daha fazla etkin doza veya göz merceği, cilt, el ve ayaklar için yıllık eş değer doz sınırlarının 3/10'undan daha fazla doza maruz kalma olasılığı bulunan çalışma koşuludur.
 - **Çalışma Koşulu B:** Çalışma Koşulu A'da verilen değerleri aşmayacak şekilde radyasyon dozuna maruz kalma olasılığı bulunan çalışma koşuludur.

4.3.8. Kişisel Dozimetre Zorunluluğu

- **Madde 21-** (29 Eylül 2004 tarih ve 25598 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Radyasyon Güvenliği Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik ile değiştirilmiştir) Yıllık dozun, izin verilen düzeyin 3/10'unu aşma olasılığı bulunan çalışma koşulu A durumunda görev yapan kişilerin, kişisel dozimetre kullanması zorunludur.

4.3.9. Koruyucu Giysi ve Teçhizat

- **Madde 22-** Yapılan işin niteliğine uygun koruyucu ve teçhizat kullanılır.

4.4. Tıbbi Gözetim

- **Madde 23-** Radyasyon görevlilerinin bu Yönetmeliğin 15'inci maddesinde belirtilen alanlarda işe başlamadan önce bu Yönetmeliğin 51'inci maddesinin (d) bendinde belirtilen sağlık raporu istenir. Ayrıca hematolojik, dermatolojik ve hekim tarafından gerekli görülmesi hâlinde radyolojik tetkikleri yapılır. Denetimli alanlarda görev yapanların hematolojik tetkikleri yılda en az bir kez yapılır. Kurum tarafından gerekli görüldüğü hâllerde ise bu süre kısaltılır ve raporları saklanır.

4.4.1. Hastanın Radyasyon Güvenliği

- **Madde 24-** Tanı ve tedavi amacıyla radyasyon uygulamalarının amacına ulaşması öncelikli olmak üzere hastanın radyasyon güvenliğini sağlamak üzere aşağıdaki hususlara uyulur.
 - Hekimin yazılı kararı olmayan hiçbir ışınlama yapılamaz.
 - Hastanın alacağı veya alması gereken doz miktarının tayini ve tıbbi ışınlama süresince hastanın radyasyon güvenliğini sağlamak üzere gerekli tüm bilgiler hekim tarafından yazılı olarak önceden belirlenir ve bunlar kesinlikle uygulanır.
 - Görevli tüm personel, tanı ve tedavinin gerektirdiği radyasyon güvenliği konularında eğitilmiş olmalıdır.
 - Hastanın radyasyon güvenliğinin sağlanması ile ilgili her türlü denetim Kurum tarafından yapılır.
 - Kalibrasyon, dozimetri ve cihazların kalite kontrolü bu konuda yetkili kişilerin denetimi altında yapılır.

4.4.2. Sürekli Işınlanmalar

- **Madde 49-** Sürekli ışınlanmanın mevcut olduğu durumlarda aşağıdaki eylem düzeyleri uygulanır.

Sürekli ışınlanmalar için eylem düzeyleri organ veya doku eş değer doz hızı, (Gy/yıl)

Gonadlar 0.2

Göz merceği 0.1

Kemik iliği 0.4

UYGULAMA FAALİYETİ

Aşağıdaki işlem basamaklarını tamamlayınız. Radyasyondan korunmada temel güvenlik standartlarında yapılması gerekenlerini ayrıntılı olarak yapınız.

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none">➤ Temel güvenlik standartların esas olarak standart doz sınırlarını aşmayınız.	<ul style="list-style-type: none">➤ Radyasyondan korunmada izin verilen üst sınır doz (MPD) değerlerini İnternet ve diğer kaynaklardan okuyunuz.
<ul style="list-style-type: none">➤ Çocuk doğurma çağındaki radyasyon görevlileri için mevzuatta öngörülen kuralların uygulanmasını sağlayınız.	<ul style="list-style-type: none">➤ 24.03.2000 tarihli 23999 sayılı ve 2690 sayılı Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Kanunu'nun 4. maddesinin (d) bendindeki Madde 12'yi okuyunuz.
<ul style="list-style-type: none">➤ Hamileliği belirlenmiş olan radyasyon görevlilerini sadece gözetimli alanlarda çalıştırınız.	<ul style="list-style-type: none">➤ Fetusu korumak amacıyla, hamile eş değer doz sınırının 1 mSv düşük düzeyde çalıştırılmasına dikkat ediniz.
<ul style="list-style-type: none">➤ TAEK mevzuatı gereği yıllık etkin dozun 5 katından fazla radyasyon dozu almış radyasyon görevlileri ile çocuk doğurma çağındaki radyasyon görevlilerine özel durumlar için planlanmış ışınlamalarda görev vermeyiniz.	<ul style="list-style-type: none">➤ TAEK'nun belirlemiş olduğu yıllık etkin dozu dikkate alınız.
<ul style="list-style-type: none">➤ Eğitimleri radyasyon kaynaklarının kullanımı gerektiren (16-18) yaş grubu stajyer ve öğrenciler sadece gözetimli alanlarda çalıştırınız.	<ul style="list-style-type: none">➤ 24.03.2000 tarihli 23999 sayılı ve 2690 sayılı Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Kanunu'nun 4. maddesinin (d) bendindeki Madde 17'yi okuyunuz.
<ul style="list-style-type: none">➤ Toplum üyeleri için etkin doz sınırlarını aşmayınız.	<ul style="list-style-type: none">➤ Etkin dozun, yılda 5 mSv olduğunu unutmayınız.
<ul style="list-style-type: none">➤ Tıbbi tanı veya tedavi altındaki hastalara bilinçli olarak yardım etmek isteyen veya ziyaretçi olarak gelen kişilerin mevzuatla belirleme doz değeri sınırlarını aşmayınız.	<ul style="list-style-type: none">➤ 24.03.2000 tarihli 23999 sayılı ve 2690 sayılı Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Kanunu'nun 4. maddesinin (d) bendindeki Madde 24'ü okuyunuz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyarak doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Denetimli alanlarda görev yapanların hematolojik tetkikleri yılda en az kaç kez yapılır?
A) 3
B) 2
C) 5
D) 1
E) 6
2. Radyasyon görevlileri için etkin doz sınırı hangi seçenekte doğru verilmiştir?
A) 110 mSv
B) 100 mSv
C) 90 mSv
D) 80 mSv
E) 50 mSv
3. Stajyerler ve öğrenciler için bir yıllık etkin doz hangi seçenekte doğru verilmiştir?
A) 30 mSv
B) 40 mSv
C) 6 mSv
D) 25 mSv
E) 20 mSv
4. Radyasyon görevlileri için el, ayak ve deri için yıllık eş değer doz hangi seçenekte doğru verilmiştir?
A) 800 mSv
B) 900 mSv
C) 600 mSv
D) 750 mSv
E) 500 mSv
5. Aşağıdakilerden hangisi doz hızı $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 'lik bölgeyi tanımlar?
A) Yasak bölge
B) Kontrol bölge
C) Çalışma dışı gözetim
D) Çalışma gözetim
E) Kontrol dışı bölge

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise “Modül Değerlendirme” ye geçiniz

MODÜL DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyarak doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Işınlanan maddenin 1 kilogramında 1 Joule'lik enerji meydana getiren radyasyon birimi hangisidir?
A) Becquerel (Bq)
B) Sievert (Sv)
C) Curie (Ci)
D) Gray (Gy)
E) REM
2. Radyobiyojide ve organizmadaki radyasyon miktarını ölçmede kullanılan birim hangi seçenekte doğru verilmiştir?
A) Gray (Gy)
B) Elektron Volt (Ev)
C) REM
D) Coulomb / kilogram (c/kg)
E) Sievert (Sv)
3. Lösemi, radyasyonun hangi tür etkisi sonucu gelişebilir?
A) Somatik etki
B) Genetik etki
C) Direk etki
D) İndirek etki
E) Genetik-direkt etki
4. Radyasyonun hemateopoitik sistem üzerindeki etkisi nasıldır?
A) Pansitopeni
B) Hemofili
C) Tromboz
D) Alerji
E) Siroz
5. Biyolojik sistemleri oluşturan hücreler radyasyonun etkisine göre kaç grupta incelenir?
A) 5
B) 4
C) 3
D) 8
E) 7

6. Fetusu korumak amacıyla, hamile radyasyon görevlisinin batın yüzeyi için hamilelik boyunca ilave eş değer doz sınırı hangi seçenekte doğru verilmiştir?
A) 11 mSv'dir
B) 10 mSv'dir
C) 6 mSv'dir
D) 7 mSv'dir
E) 1 mSv'dir
7. Farklı tiplerdeki radyasyon enerjilerini tanımlayabilmek için kullanılan birim hangi seçenekte doğru verilmiştir?
A) Sievert (Sv)
B) Curie (Ci)
C) REM
D) Elektron Volt (Ev)
E) Gray (Gy)
8. İyonize radyasyonun canlılar üzerine etkilerini inceleyen bilim dalı hangi seçenekte doğru verilmiştir?
A) Mikrobiyoloji
B) Biyoloji
C) Radyobioloji
D) Etomoloji
E) Bakteriyoloji
9. Aşağıdakilerden hangisi 0-48 saat arasında oluşan akut radyasyon sendromu evresidir?
A) Lavent evresi
B) Başlangıç evresi
C) Ağır hastalık evresi
D) İyileşme evresi
E) Başlangıç- iyileşme evresi
10. Aşağıdakilerden hangisi 6-8 haftadan birkaç aya kadar süren akut radyasyon sendromu evresidir?
A) Lavent evresi
B) Başlangıç evresi
C) Ağır hastalık evresi
D) İyileşme evresi
E) Lavent – başlangıç evresi

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki modüle geçmek için öğretmeninize başvurunuz.

CEVAP ANAHTARLARI

ÖĞRENME FAALİYETİ 1'İN CEVAP ANAHTARI

1	A
2	C
3	E
4	D
5	A

ÖĞRENME FAALİYETİ 2'NİN CEVAP ANAHTARI

1	B
2	A
3	D
4	B
5	C

ÖĞRENME FAALİYETİ 3'ÜN CEVAP ANAHTARI

1	B
2	C
3	A
4	D
5	A

ÖĞRENME FAALİYETİ 4'ÜN CEVAP ANAHTARI

1	D
2	E
3	C
4	E
5	D

MODÜL DEĞERLENDİRME CEVAP ANAHTARI

1	D
2	C
3	A
4	A
5	C
6	E
7	D
8	C
9	B
10	D

KAYNAKÇA

- MUHSİN Köksal, **Radyasyon Güvenliği**, TAEK yayınları.
- TAEK yayınları, **Tamısal Radyolojide Radyasyondan Korunma notları**, Ankara, 2002.
- YAŞAR Sedat, **Radyasyon ve Radyasyondan Korunmak**, TAEK yayınları İstanbul 1999.
- www.taek.gov.tr.
- <http://w3.gazi.edu.tr/mkaradas/ebruseyrek.pdf>.