

**T.C.
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI**

ÇEVRE SAĞLIĞI

**RADYASYON KİRLİLİĞİ
850CK0033**

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.....	ii
GİRİŞ	1
ÖĞRENME FAALİYETİ-1	3
1. RADYASYON KAYNAKLARI	3
1.1. Radyasyon Çeşitleri	3
1.1.1. İyonlaştırıcı Radyasyon.....	3
1.1.2. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonlar	6
1.2. Radyasyon Kaynakları	7
1.2.1. Doğal Radyasyon Kaynakları	7
1.2.2. Yapay Radyasyon Kaynakları.....	10
1.3. İyonlaştırıcı Radyasyonun Ölçümü	16
1.3.1. Radyasyon Birimleri	17
1.3.2. Radyasyon Ölçüm Sistemleri.....	17
1.3.3. Çevre Radyoaktivite Ölçümünün Amaçları	20
1.4. Radyasyon Denetimi	20
1.4.1. Denetime Bağlı İşler.....	20
1.4.2. Denetim Sonuçları.....	21
UYGULAMA FAALİYETİ	22
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	23
ÖĞRENME FAALİYETİ-2	24
2. RADYASYONUN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ	24
2.1. Radyasyonun Biyolojik Etkileri	24
2.1.1. Erken Etkiler.....	25
2.1.2. Kronik Etkiler.....	25
2.2. Radyasyonun Hücre ile Etkileşimi	26
2.3. Radyasyonun Kromozoma Etkileri	26
2.4. İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunma	27
2.4.1. İç Radyasyona Karşı Korunma	28
2.4.2. Dış Radyasyona Karşı Korunma.....	28
UYGULAMA FAALİYETİ	30
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	31
ÖĞRENME FAALİYETİ-3	32
3. RADYASYON ATIKLARININ ZARARSIZ HALE GETİRİLMESİ	32
3.1. Radyoaktif Atık Tipleri.....	33
3.2. Radyoaktif Madde Kullanımından Oluşan Atıkların Çevreye Verilme Sınırları.....	34
3.2.1. Sıvı Radyoaktif Atıkların Kanalizasyon Sistemine Verilme Sınırları	34
3.2.2. Katı ve Gaz Halindeki Atıkların Çevreye Verilme Sınırları	35
3.3. Radyoaktif Atıklarla İlgili Uyulması Gerekli Hususlar	35
3.4. Radyoaktif Atıkların Toplanması	37
3.5. Radyoaktif Atık Yönetimi	38
UYGULAMA FAALİYETİ	43
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	45
MODÜL DEĞERLENDİRME	47
CEVAP ANAHTARLARI	49
KAYNAKÇA.....	50

AÇIKLAMALAR

KOD	850CK0033
ALAN	Çevre Sağlığı
DAL/MESLEK	Çevre Sağlığı Teknisyenliği
MODÜLÜN ADI	Radyasyon Kirliliği
MODÜLÜN TANIMI	Yürürlükteki mevzuat doğrultusunda radyasyon kirlilik kaynakları, radyasyon kirliliğinin insan sağlığına olan etkileri ve radyasyon atıklarının zararsız hale getirilmesine yönelik bilgilerin verildiği öğrenme materyalidir.
SÜRE	40/16
ÖNKOŞUL	
YETERLİK	Radyasyon kirliliği ile mücadele işlemlerini yürütmek.
MODÜLÜN AMACI	Genel Amaç Yürürlükteki mevzuata uygun olarak radyasyon kirlilik kontrollerini yapabileceksiniz. Amaçlar <ol style="list-style-type: none">1. Gerekli donanım sağlandığında radyasyon kirlilik kaynaklarını tespit edebileceksiniz.2. Gerekli donanım sağlandığında radyasyon kirliliğinin insan sağlığına olan etkilerini kontrol edebileceksiniz.3. Gerekli donanım sağlandığında radyasyon atıklarının zararsız hale getirilmesine yönelik gerekli kontrolleri yapabileceksiniz.
EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI	Donanım: Radyasyon kaynakları ile ilgili görüntüler, numune alma ekipmanı, numune gönderme kabı, numune alma ile ilgili slayt, radyasyon ölçüm cihazı, tutanak, bilgisayar, kişisel koruyucu ekipman. Ortam: Sınıf, teknik laboratuvar, radyasyon kaynakları.
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	Modülün içinde yer alan, her faaliyetten sonra verilen ölçme araçları ile kazandığınız bilgileri ölçerek kendi kendinizi değerlendireceksiniz. Öğretmen, modülün sonunda, ölçme aracı (test, çoktan seçmeli, doğru-yanlış, v.b) kullanarak modül uygulamaları ile kazandığınız bilgi ve becerileri ölçerek sizi değerlendirecektir

GİRİŞ

Sevgili Öğrenci,

Radyoaktif atıklar, kaynağı ne olursa olsun insan sağlığı ve çevre için zararlı, özel işlem gerektiren atıklardır. İnsanlar tüm yaşamları boyunca radyasyonla iç içe olmuşlardır. Radyasyon kaynakları var olduğu müddetçe radyasyon var olacak ve bundan kaçınmak mümkün olmayacaktır. Radyasyon teknolojisi toplumsal yaşamı kolaylaştırmasının yanında maruziyete bağlı birçok sağlık sorununu da beraberinde getirmiştir.

Radyoaktivite kirliliği, çevre sorunlarının bir bölümünü teşkil eder. Biyolojik sistemlere yönelik etki göstererek ve kolaylıkla besin zincirine girerek canlılarda büyük hasarlara neden olmaktadır.

Bu modül sonunda kazanacağınız yeterlikle; radyasyon çeşitleri, radyoaktif atıkların özellikleri, radyasyon kaynakları, radyasyon ölçüm sistemleri, radyasyon denetimi, radyasyonun insan sağlığına etkileri ve radyasyon atıklarının zararsız hale getirilmesi konularını öğreneceksiniz.



ÖĞRENME FAALİYETİ-1

AMAÇ

Gerekli donanım sağlandığında, radyasyon kirlilik kaynaklarını tespit edebileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Çevrenizdeki radyasyon kaynaklarını araştırınız.
- Bulduğunuz çevrede bir hastaneye giderek tıbbi alandaki radyasyon uygulamalarını araştırınız.
- Baz istasyonlarının zarar etkilerini önlemek amacı ile alınan tedbirleri araştırınız.

1. RADYASYON KAYNAKLARI

Radyasyon; doğal ya da yapay radyoaktif çekirdeklerin kararlı yapıya geçebilmek için dışarı saldıkları hızlı parçacıklar ve elektromanyetik dalga şeklinde taşınan fazla enerjilerdir. İnsanoğlu varoluşundan bu yana sürekli olarak radyasyonla iç içe yaşamak zorunda kalmıştır. Dünyanın oluşumuyla birlikte tabiatta yerini alan çok uzun ömürlü radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuştur. Günümüzde bu doğal düzey, nükleer bomba denemeleri ve bazı teknolojik ürünlerin kullanımı ile artış göstermiştir.

İnsanlar, uzay ve güneşten gelen kozmik ışınlar, yer kabuğunda bulunan radyoizotoplar dolayısıyla toprak ve yapı malzemeleri, su ve gıdalar gibi doğal kaynaklardan ışın alır. Bunlara ilave olarak enerji üretimi, tıp, endüstri, araştırma, tarım, hayvancılık gibi pek çok alanda kullanımı kaçınılmaz olan yapay kaynaklar nedeni ile radyasyona maruz kalınır.

1.1. Radyasyon Çeşitleri

Radyasyon çeşitleri, iyonlaştırıcı radyasyon ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak iki aşamada incelenir;

1.1.1. İyonlaştırıcı Radyasyon

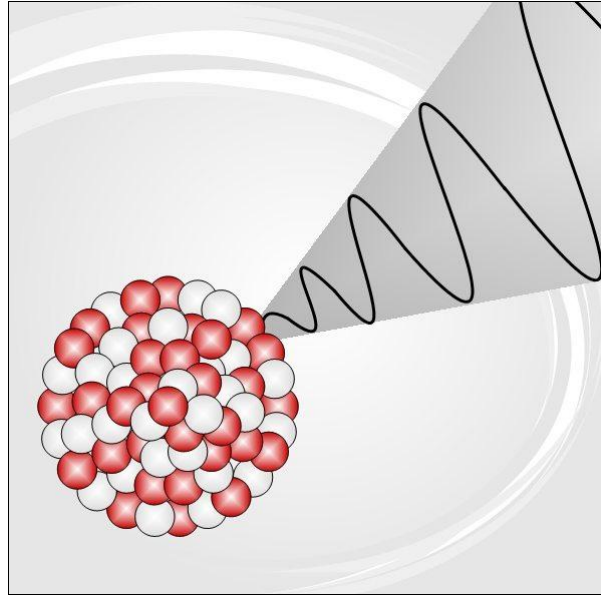
İyonlaştırıcı radyasyon; maddesel ortamdan geçerken madde ile etkileşerek iyon çiftleri oluşturabilen X-ışını, gama ışını gibi elektromanyetik ışınlarla kinetik enerjileri olan yüklü parçacıklar, ağır iyonlar ve serbest nötronlar gibi tanecik karakterli ışınımlardır.

Çarptığı maddede yüklü parçacıklar (iyonlar) oluşturabilir. Önlem alınmadığı takdirde tüm canlılar için zararlıdır. İyonlaştırıcı radyasyon ikiye ayrılır:

1.1.1.1. Elektromanyetik Radyasyonlar

Gama ve X ışınları elektromanyetik radyasyonlardır. Bunların dalga boyları çok küçük fakat enerjileri yüksektir.

- **Gama (&) ışınları:** Gama ışınlarının kaynağı atomun çekirdeğidir. Radyoaktif bozunmalar ya da nükleer reaksiyonlar sonucu oluşan kararsız atom çekirdeklerinden yayılan bir çeşit elektromanyetik ışınlardır. Bu ışınlar atom çekirdeğinin enerji seviyelerindeki farklılıklardan meydana gelir. Manyetik alanda sapmadıkları için belirli bir elektrikle yüklü değildir. Gama ışınları, beta ışınlarından daha yüksek enerjili ve dolayısıyla daha nüfuz edici ışınlardır. Birkaç santimetre kalınlığındaki kurşun tuğlalarla sadece belli bir kısmı durdurulabilir.



Resim 1.1: Gama Işınları

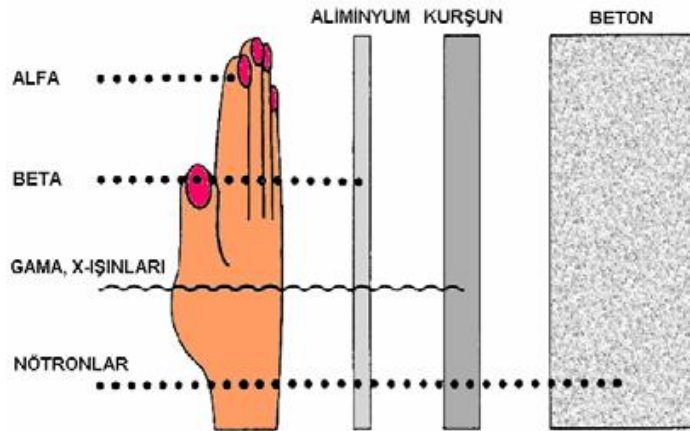
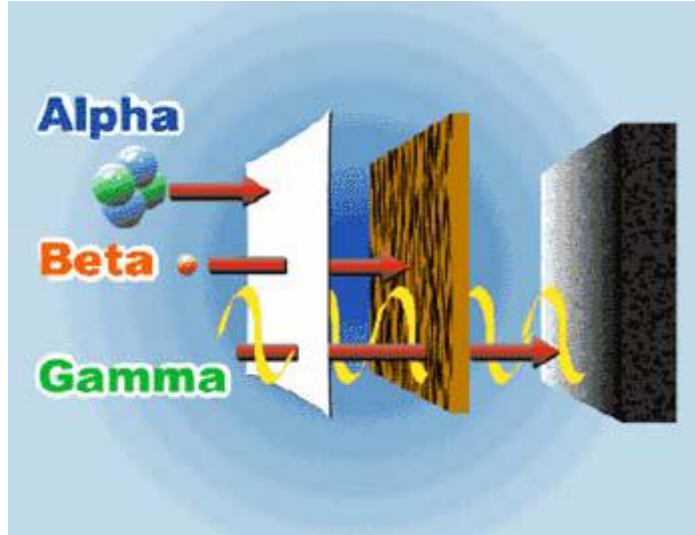
- **X Işınları:** Röntgen ışınları da denilen X ışınları, görünür ışık dalgaları ve mor ötesi ışınları gibi dalga şeklindedir. Bir atoma dışarıdan gelen veya gönderilen yüksek enerjili elektronlar o atomun ilk halkalarından elektronlar koparır. Atomdan kopan bu elektronun yerine daha yüksek seviyelerden (üst halkalardan) elektronlar atlayarak kopan elektronun yerindeki boşluğu doldurur. Bu sırada ortaya çıkan enerji fazlalığı X ışını şeklinde dışarı salınır. X ışını yapay olarak, röntgen tüplerinde de elde edilir.



Resim 1.2: Röntgen- x ışınları

1.1.1.2. Parçacıklı Radyasyon

- **Alfa (α)parçacıkları:** Alfa parçacığı iki proton ve iki nötrondan oluşmuş bir helyum (2He_4) çekirdeğidir ve pozitif yüklüdür. Alfa parçacıklarını çok küçük kalınlıktaki maddelerle (örneğin ince bir kağıt tabaka ile) durdurmak mümkündür. Bu yüzden de normal olarak dış radyasyon tehlikesi yaratmaz. Ancak sindirim, solunum veya deri ve mukozadaki yaralar yoluyla vücuda girerse tehlike oluşturur.
- **Beta (β)parçacıkları:** Beta ışınları, atom çekirdeğinin parçalanmasıyla oluşur. Pozitif veya negatif yüklü elektronlardır. Beta parçacıkları belli bir yük ve kütleye sahip olduklarından madde içerisinden geçerken iyonlaşmaya sebep olurlar. Bu iyonlaşma, alfa parçacıklarının oluşturduğu iyonlaşma kadar yoğun değildir. Bunlardan korunmak için ince alüminyum levhadan yapılmış bir zırh malzemesi yeterlidir.
- **Serbest nötronlar:** Bunlar radyasyonla oluşan yüksüz parçacıklardır. Bu nedenle her maddeye kolayca girer. Doğrudan iyonlaştırıcı özellikleri yoktur. Ancak bu serbest nötronların, girdikleri maddelerin nötronları ile etkileşimleri sonucu α β & ve x ışınları gibi ışınımlar oluşturur. Bu ışınlar ise etkileşme sonucu girdiği maddenin atomundan koparak iyonlaşmayı gerçekleştirir.



Resim 1. 3: Radyasyon çeşitlerine göre soğurulma

1.1.2. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonlar

İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar, yeteri kadar enerjiye sahip olmadıkları için iyonlaştırıcı radyasyon kadar etkili olmaz. Radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızıl ötesi ışık, mor ötesi ışık (ultraviyole) ve görünür ışık iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak isimlendirilir. Elektrik enerjisi ileten ya da enerjiyle çalışan her türlü araç ve gereç, çalışma durumunda çevresinde bir elektromanyetik alan oluşturur.

İyonlaştırıcı olmayan radyasyon kaynaklarının yarattığı manyetik alan, kaynakların yoğunluğuna ve frekanslarına bağlı olarak değişiklik gösterir. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon kaynaklarını ultraviyole ışınları ve EMR nitelikli radyasyon şeklinde sınıflandırılır.

1.1.2.1. Ultraviyole Işımları (Mor Ötesi Işık)

Ultraviyole ışınlarının asıl kaynağı güneştir. UV ışınları güneş tam doğarken daha çok yayılır. UV ışınları beyaz elbise giyilerek engellenebilir. Bazen bu ışınlar kar veya kumdan yansyarak kar ve güneş körlüğü yapabilir. UV'nin derine inmesi(giriciliği) az olduğu için büyük oranda deri ve gözleri etkiler. Gözlerimizin fark edebileceği en yüksek enerjili ışık mor renkli ışıktır. Deri kanserlerinin %80'i UV ışınlarından kaynaklanır.

1.1.2.2. EMR Nitelikli Radyasyon

Radyo dalgaları, mikrodalgalar mobil ve cep telefonları, radyo FM ve TV vericileri, radarlar, trafolar, mikrodalga fırınlar, bilgisayarlar ve akım taşıyan kablolar bu gruba girer.

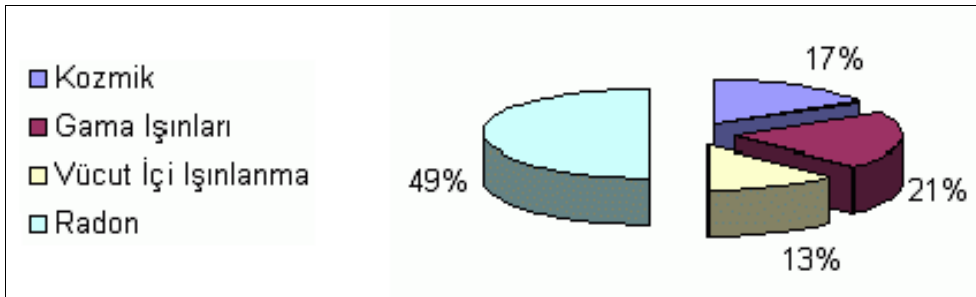
1.2. Radyasyon Kaynakları

İnsanoğlu ve diğler canlılar, milyonlarca yıldan beri evrenden gelen kozmik ışınlar ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden yayılan radyasyonla ışınlanmakta olup varoluşlarından bu yana sürekli olarak doğal radyasyonla iç içe yaşarlar.

Radyasyon kaynağı, radyoaktif maddelerle iyonlaştırıcı radyasyon yayan veya üreten aygıtlardır. Radyasyon kaynakları doğal ve yapay radyasyon kaynakları olarak ikiye ayrılır.

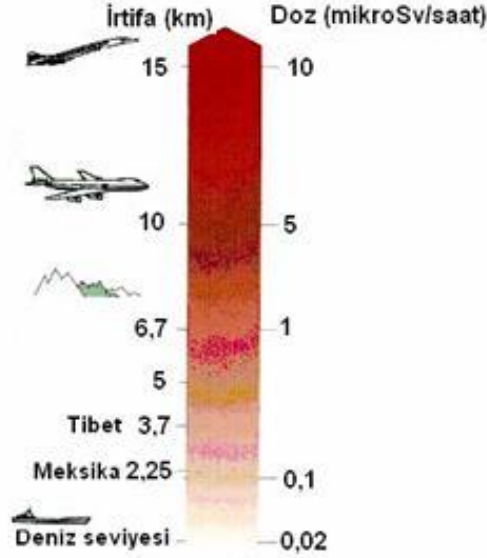
1.2.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

Vücudumuza solunum ve sindirim yolu ile hava, su, bitkisel ve hayvansal besinlerde az da olsa bulunan radyoaktif maddeler alınır ve zamanla çeşitli organlarda birikir. Kozmik ışınlardan ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden etkilenen insan vücudu, hem iç hem de dış radyasyon ışınlanmasına maruz kalır.



Şekil 1.1: Doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozlarının oransal değerleri

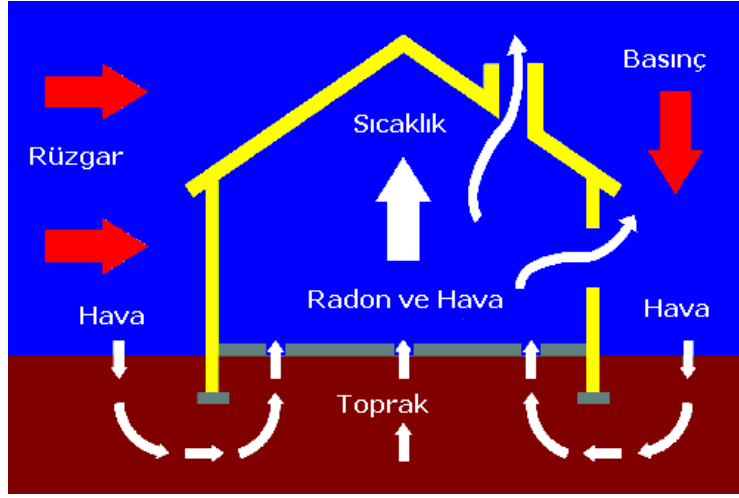
- **Kozmik ışınlar:** Dünyamız uzaydan gelen yüksek enerjili parçacıklara sürekli olarak maruz kalır. Yüksek enerjili parçacıkların büyük bir çoğunluğu atmosfere ulaşan protonlardır. Güneşin aktif durumuna, yerin manyetik alanına ve yerküreden yüksekliğe bağlı olarak kozmik ışınların yoğunluğu değişir. Protonlar elektrik yüklü parçacıklar olduklarından atmosfere ulaştıklarında dünyanın manyetik alanının etkisine girer. Bu nedenle kozmik ışın yoğunluğu ekvatorlardan kutuplara gidildikçe artar. Böylece, insanların aldığı radyasyon enlem arttıkça artar. Bu ışınların büyük bir kısmı dünya atmosferinden geçmeye çalışırken tutulur. Bu nedenle, deniz seviyesine yaklaştıkça kozmik ışınların yoğunluğu azalır. Uçuş yüksekliğindeki kozmik ışın yoğunluğu yer seviyesine oranla daha fazla olduğundan, uçakla yapılan seyahatlerde daha fazla kozmik ışına maruz kalınır. Uçuşlarda alınan radyasyon dozu uçuş sürerine, uçuş rotasına ve yüksekliğe bağlı olarak değişir.



Şekil 1.2: Kozmik ışınlardan alınan radyasyon dozunun yüksekliğe göre değişimi

- **Vücut içi ışınlama:** Yeryüzünde doğal olarak bulunan radyoizotopların solunum ve sindirim yolu ile alınmasıdır. Solunum yolu ile iç ışınlanmanın en önemli bileşenini radon ürünleri oluşturur.

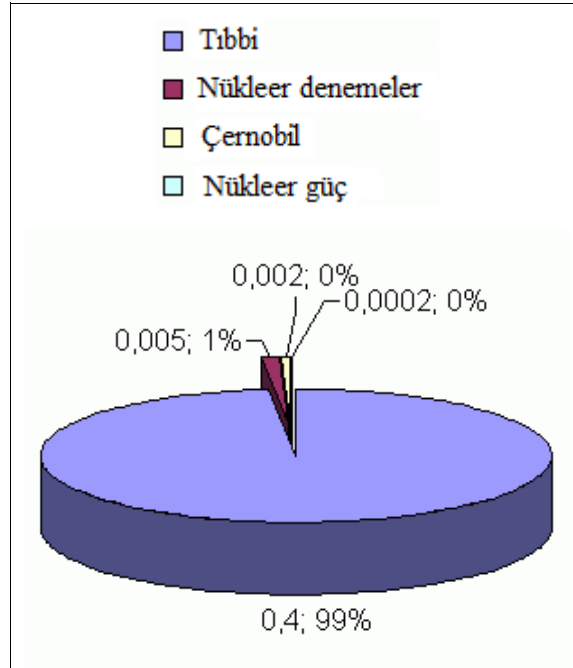
- **Gama ışını:** Atom çekirdeği içindeki proton ve nötronların yeniden düzenlenmesi sonucu oluşur. Işık hızına yakın hıza sahip olan, elektriksel yükü sıfır olan ve maddelerin içinden neredeyse hiç etkileşmeden geçebilen temel parçacıklardır. Tehlikelerine karşılık, gama ışınlarından çeşitli yararlar da sağlanır. Tıpta; beyin, tiroit bezi, böbrek, karaciğer ve pankreas gibi organlardaki düzensizlikleri araştırmak amacı ile X ışınları yerine kullanılır. Gama ışınlarından, organizma içindeki kanserli dokuları yok etmede de yararlanılır. Söz konusu ışınlar, endüstride döküm ve kaynak işlerinin denetiminde de işe yarar. En enerjik dalgalar olarak bilinen gama ışınları; en kısa dalga boylarına sahiptir. Ancak buna bağlı olarak da en yüksek frekanslara ve en büyük foton enerjisine sahiptir. Gama ışınları nükleer reaksiyonla üretilebilir. Madde içinden geçtiklerinde maddenin atomları ve molekülleri dışındaki elektronların tamamına çarparlar. Bu çarpışma sonucunda meydana getirdikleri iyonlaşmadan dolayı gama ışınlarına bazen iyonize radyasyon da denir.
- **Radon:** Renksiz, kokusuz, tatsız, 86 atom numarası ile periyodik cetvelin soy gazlar sınıfında yer alan radon; kaya, toprak ve sudaki doğal uranyumun radyoaktif bozunması sonucunda oluşur. Bu bozunma zincirinin ana atomları bütün doğal malzemelerde bulunabilir. Bundan dolayı radon, tüm yüzey kaya ve toprak parçalarından ve yapı malzemelerinden ortama salınır. Radonun reaktivitesi zayıftır. Bu nedenle solunumla dokulara kimyasal olarak bağlanmaz. Ayrıca, dokulardaki çözünürlüğü çok düşüktür. Ancak, radon bozunma ürünleri, toz ve diğer parçacıklara tutunarak radyoaktif aerosoller oluşturur. Bu nedenle, taşınarak solunum yoluyla alınabilir. Solunum borusunda olan bozunma sonucunda, bronş epitelindeki radyasyon dozu artar. Zaman içerisinde kansere sebep olur. Binalardaki radon kaynağının büyük bir kısmı, binanın temelindeki toprak ve kayalardır. Radon ve diğer gazlar, toprak boyunca yükselir, binanın altında hapsolür. Hapsolan bu gazlar, basınç oluşturur. Evlerdeki hava basıncı genelde topraktaki basınçtan daha düşüktür. Binanın altındaki bu yüksek basınç nedeniyle gazlar yerden ve duvarlardan, daha çok çatlak ve boşluklardan, bina içlerine sızar. Radon miktarı, ölçüm cihazları ile saptanır. Her ülke veya uluslararası örgütler evlerde müsaade edilebilir seviyedeki miktarı belirlemiştir. Söz konusu limit değerlerin aşılması halinde, radon konsantrasyonunu düşürücü tedbirlerin alınması tavsiye edilir. Uluslararası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartları (IAEA-BSS) çerçevesinde, radon için tavsiye edilen düzeyler 200-600 Bq /m³ olarak belirlenmiştir. Türkiye'de müsaade edilebilir radon konsantrasyonu ise 400 Bq /m³'tür. Yeryüzüne çıkan toprak gazının ihtiva ettiği radon miktarı, yeraltı sularında olduğu gibi önemli deprem habercilerindedir.



Resim.1.4: Radonun ev ortamına giriş yolları

1.2.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

- **Tıbbi alandaki radyasyon uygulamaları:** Radyasyonla görüntü elde edebilme ve radyasyonun hücre veya tümörleri yok edebilme yeteneğine sahip olması temeline dayanır. Bu iki özelliğinden dolayı radyasyon hastalıkların teşhis ve tedavisinde önemli rol oynar.



Şekil 1.3: Yapay radyasyon kaynakları

- **Tanısal radyoloji:** Radyasyonun tıbbi alanda yaygın olarak kullanılan çeşidi X ışınlarıdır. Genellikle hastalıkların teşhisi amacıyla kullanılır.



Resim 1.5: Tanısal radyoloji uygulaması

- **Nükleer tıp:** Vücuttaki organ veya dokuların işlevleriyle ilgili çalışmalar yapmak için incelenecek dokuda toplanmasını ve geçici bir süre buraya yerleşmesini sağlayacak radyoaktif madde verilir. Radyoaktif maddenin vücuttaki dağılımı veya akışı, radyoaktif maddeden salınan gama ışınlarını algılayacak özelliklere sahip cihazlarla tespit edilir.



Resim 1.6: Nükleer tıp uygulaması

- **Radyoterapi:** Kanserli hücrelerin tedavisinde etkin olarak kullanılır. Yaygın olarak yüksek enerjili elektron hızlandırıcılar ve Co-60 radyoaktif kaynaklı cihazlar kullanılır.



Resim1.7: Radyoterapi uygulaması

TETKİK Radyoloji	Etkin Doz Eşdeğeri (mSv)	TETKİK Nükleer Tıp	Etkin Doz Eşdeğeri (mSv)
Akciğer Grafisi	0.14 -0.04	Kemik	1.1 – 6.8
Akciğer Skopisi	0.98 – 0.29	Beyin	0.6 – 11.3
Karın	1.1 – 0.22	Kalp	3.0 – 11.7
Barsak	4.1 – 5	Karaciğer/Dalak	0.9 – 2.2
Anjiyografi	6.8	Akciğer	1.1 – 1.4
Mamografi	1	Böbrek	0.01 – 2.1
BT	4.3	Troid Uptake	1.5 – 3.1

Tablo 1.1: Bazı uygulamalar sonucu alınan radyasyon dozları

- **Endüstriyel uygulamalar:** X ve gama ışınlarından yararlanılarak röntgen filmleri çekilen endüstriyel ürünlerin (borular, buhar kazanları, her türlü makine aksamları, vs.) her hangi bir hata içerip içermediği tespit edilir. Bu yöntemle birçok sanayi ürününün (demir, çelik, lastik, kâğıt, plastik, çimento, şeker, vs.) üretim aşamasındaki seviye, kalınlık, nem ve yoğunluk ölçümleri yapılır. Işınlama tesislerinde, gıda ışınlaması, tek kullanımlık atılabilir tıbbi malzemelerin sterilizasyonu yapılır.



Resim 1.8: X-ışını radyografi

Havaalanı ve yol yapımı gibi çalışmalarda zemin malzemesinin nem ve yoğunluk ölçümleri radyasyondan yararlanılarak yapılır.

Güvenlik amaçlı uygulamalarda özellikle havaalanı, kargo, gümrük, liman, gibi yerlerde kolilerin, bagajların görüntülenebilmesi amacıyla yaygın olarak kullanılır.



Resim 1.9: Bagaj kontrol

- **Araştırma amaçlı radyoaktif kaynak kullanımı:** Özellikle üniversitelerde açık veya kapalı radyoaktif kaynak kullanılarak DNA üzerinde çalışmalar yapılır. Tarım alanında radyasyondan yararlanılarak mutasyona uğratılan tohumlar daha verimli ve dayanıklı hale getirilir. Tohum ıslahı genetik mühendisliği, DSİ tarafından akarsularda debi ölçümü, barajlarda su kaçaklarının tespiti, yeraltı sularının hareketlerinin takibi gibi diğer endüstriyel uygulamalar radyasyon sayesinde hem daha ucuz hem de daha kolay bir şekilde yapılır. Petrol aramalarında belirli derinliklerdeki nem ve yoğunluk ölçümünde de radyasyon kullanılır.

- **Nükleer serpinti:** Atmosferde gerçekleştirilen nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen radyoaktif serpintiler, radyoaktif çevre kirliliğine neden olan en büyük yapay radyasyon kaynağıdır. Ancak 1960'lı yılların başlarında bu yolla maruz kalınan radyasyon dozu günümüzde nispeten azalmıştır. Bununla birlikte, yer üstü ve hatta yer altında yapılan bu tür denemeler bölgesel kirliliğe neden olur.
- **Radyoaktif yağışlar:** Nükleer patlamaların atmosfere yaydığı radyoaktif maddelerin çeşitli biçimlerde yeryüzüne inmesidir.



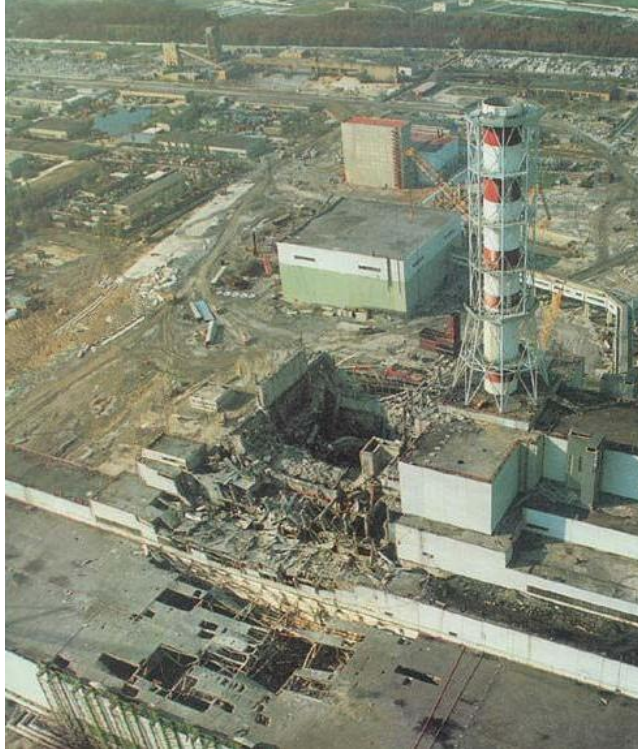
Resim 1.10: Nükleer serpinti

- **Nükleer güç santralleri:** Ağır radyoaktif (uranyum gibi) atomların bir nötronun çarpması ile daha küçük atomlara bölünmesi (filyon) veya hafif radyoaktif atomların birleşerek daha ağır atomları oluşturması (füzyon) sonucu büyük miktarda enerji açığa çıkar. Bu enerjiye nükleer enerji denir. Nükleer reaktörlerde filyon reaksiyonu ile edilen enerji elektriğe çevrilir. Güneşteki reaksiyonlar ise füzyon reaksiyonudur. Bu reaksiyonun yarattığı sıcaklık filyon reaksiyonundakinden çok daha fazladır. Bu yüzden bu sıcaklığı kontrol edebilecek bir füzyon reaktörü henüz kurulamamıştır.



Resim 1.11: Nükleer güç santralleri

- **Radyasyon kazası:** İstenmeyen bir olay sonucu, radyasyon korunması standartlarıyla belirlenen sınırların çok üzerinde radyasyon dozu alınması veya radyoaktif bulaşma meydana gelmesidir. Nükleer reaktör kazaları canlılara zarar veren en ciddi radyasyon kaynağıdır. Ukrayna'nın Çernobil kentindeki nükleer güç reaktöründe 26 Nisan 1986 günü nükleer kaza meydana geldi. Reaktördeki zirkonyum ve grafitin yüksek sıcaklıktaki buharla karşılaşması ile oluşan hidrojenin yanması sonucu çok büyük oranda radyoaktif madde atmosfere karıştı.



Resim 1.12: Çernobil reaktör kazası

Nükleer kalıntıların ürettiği radyoaktif bulut patlamadan sonra tüm Avrupa üzerine yayılmış ve Çernobil'den yaklaşık 1100 km uzaklıkta radyoaktif parçacıklara rastlanmıştır.

- **Tüketici ürünleri:** Televizyonlar, duman detektörleri, fosforlu saatler, paratonerler ve lüks lambası fitilleri gibi bazı tüketici ürünleri az miktarlarda da olsa radyoaktif madde içerir. Fosfatın gübre ve kömüründe yakıt olarak kullanılması çevreye az da olsa radyasyon dozu verir. Ayrıca cep telefonu, ince ekran televizyonlar, saç kurutma makineleri gibi elektronik aletler radyasyon yayarak sağlığı tehdit eder.



Resim1.13: Radyasyon yayan bazı elektronik ürünler

1.3. İyonlaştırıcı Radyasyonun Ölçümü

Radyasyonun varlığının anlaşılması duyu organları ile mümkün olmadığından, algılanması ve ölçümleri radyasyona hassas cihazlar ile yapılır. Radyasyonun ölçülmesinin temeli, radyasyon ile maddenin etkileşmesi esasına dayanır.

Radyasyon dozu, hedef kütle tarafından, belli bir sürede, soğurulan veya alınan radyasyon miktarıdır.

1.3.1. Radyasyon Birimleri

Radyasyon birimleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır.

➤ Aktivite Birimi

- **Özel birim:** Curiedir. (Ci) Curie, saniyede 3.7×10^{10} parçalanma veya bozunma gösteren maddenin aktivitesidir.
- **SI (uluslar arası birimler sistemi) birimi:** Becquereldir. (Bq) Bequerel, saniyede 1 parçalanma yapan çekirdeğin aktivitesidir.

➤ Işınlama Birimi

- **Özel birim:** Röntgendir. (R) Röntgen, normal hava şartlarında havanın 1 kg'ında 2.58×10^{-4} C' luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan x ve gama ışını miktarıdır.
- **SI birimi:** Coulomb/kg'dır.

➤ Soğurulma Doz Birimi

- **Özel birim:** Rad'dır. Rad, ışınlanan maddenin 1 kg'ına 10^{-4} joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır. Soğurulan enerji parçacık veya foton olabilir.
- **SI birimi:** Gray (Gy) Gray, ışınlanan maddenin 1 kg'ına 1joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır.

➤ Doz Eşdeğer Birimi

- **Özel birim:** Rem. Ram, Soğurulan Doz x Faktörler

Farklı tip radyasyonlardan soğurulan enerjiler eşit olsa bile biyolojik etkileri farklı olabilir.

- **SI birimi:** Sievert (Sv) Sievert, 1 Gray'lık x veya gamma ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren radyasyon miktarıdır.

1.3.2. Radyasyon Ölçüm Sistemleri

Radyoaktif olarak bilinen atomların çekirdeği kararsız olduklarından radyoaktivite özelliği gösterir. Kararsız çekirdekler parçalanır ve parçalanma sonucu yeni bir çekirdek ve parçalanma ürünleri meydana gelir. Atom çekirdeklerindeki bu değişiklikler sonucu radyasyon yayılır. Radyasyon ölçümü, radyasyonla maddenin etkiletişimi prensibine dayanır. Bu etkileşim dedektör materyalini ya iyonize etme ya da uyarma şeklinde olur.

Ölçüm sistemleri radyasyonun etkiletiştiği ortama göre üç gruba ayrılır.

1.3.2.1. Gazlı Dedektörler

Gazlı dedektörler, yüklü parçacıkların gaz odalarında iyonizasyon oluşturmaları prensibine dayanır. Bu prensiple çalışan üç tür dedektör vardır.

➤ İyon Odası Dedektörü

İyon odası dedektörü; α , β ışınları ve γ parçacıkları ölçümünde kullanılır. Alçak radyasyon şiddetine duyarlı olmamakla beraber yüksek doz şiddetlerini ölçmede son derece yararlıdır. Çeşitli radyasyonları ayırt etme özelliği yoktur. 60-300 voltluk çalışma aralığında etkindir.

Gaz olarak genellikle atmosfer basıncında hava kullanılır. Göstergeleri, genellikle C/kg. sn, (x) R/h veya (x) Sv/h dir.

➤ Geiger-Müller Dedektörü

Geiger-müller dedektörü ile az iyonlaşma meydana getiren yüklü parçacıklar ve düşük enerjili X ve Gama ışınları ölçülür. Yüksek duyarlılığa sahiptir. Radyasyon sızıntı kaynağının belirlenmesinde kullanılan ilk dedektör tipidir.

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.



Resim 1.14: Geiger-Müller Dedektörü

➤ Orantılı Sayaçlar

Bu tip dedektörler ile düşük enerjili X ve Gama ışınları, iyon odasına açılan naylon veya mikalardan yapılmış ince pencere ile alfa parçacıklarının ölçümü yapılır. Orantılı cihazların α ve β radyasyonlarını ayırt etme özelliği vardır.

1.3.2.2. Sintilasyon Dedektörleri (Pırlıdama)

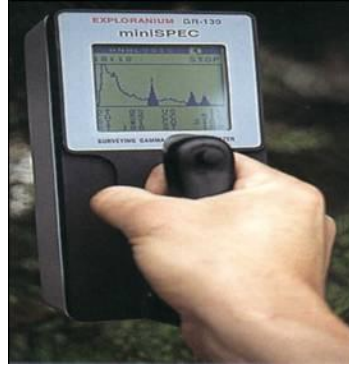
Elektrona verilen enerji, onu ortamdaki yerinden koparmaya yeterli olmadığı zaman uyarılan elektron, tekrar eski haline dönerken görünür ışık yayar. Sintilasyon fosforlarının yaydığı ışık, foto çoğaltıcı tüpler tarafından toplanarak, voltaj pulsu haline getirilir. Meydana gelen pulsun büyüklüğü radyasyonun enerjisi ile orantılıdır. Sayım ve aynı zamanda enerji ayırımı için kullanılır. Bu dedektörlerde foto çoğaltıcı tüpü ve kullanılan fosforu değiştirmek suretiyle değişik tipte radyasyonların dedeksiyonu mümkündür.



Resim 1.15: Sintilasyon dedektörleri

➤ Yarı İletken Dedektörler

Yarı iletken dedektörler, silisyum (Si) ve Germanyum (Ge) gibi yarı iletken maddelerden yapılır. Bu dedektörler radyasyonun maddelerde oluşturduğu iyonizasyon ilkesi ile çalışır. Genellikle radyasyonun enerjisini ölçmek için kullanılırlar.



Resim 1.16: Yarı iletken dedektörler

➤ Nötron Dedektörleri

Diğer radyasyonların ölçüldüğü sistemlerle (n, α), (n, β), (n,p) ve (n, γ) reaksiyonları sonucunda oluşan ikincil iyonlayıcı ışınlar ölçülür.

Nötron etkileşmesinden doğan izotopun kendisi radyoaktif olabileceğinden bu yöntem çoğunlukla indium, tantal ve altın plakaları bir araya getirerek kaza dozimetresinde kullanılır.

1.3.3. Çevre Radyoaktivite Ölçümünün Amaçları

- İnsanların maruz kaldığı radyasyon seviyelerini belirlemek,
- İnsanların ne kadar radyasyona maruz kaldığına yönelik güvenilir bir veri tabanı oluşturmak,
- Çevresel radyasyon seviyesindeki önemli değişiklikleri tespit etmek,
- Çevrede bulunan radyonüklidlerin davranışını anlamak,
- Çevre radyoaktivite değişimlerini gözlemlemek ve kayıt etmek,
- Çevredeki doğal ve insan yapımı radyonüklid potansiyelini kullanmak,
- Sürdürülebilir kalkınmayı sağlamada insanın çevreye etkisini kestirerek bilimsel temel kurmak,
- Radyasyondan korunma standartlarını belirlemek,
- Çevre radyoaktivitesi ile ilgili tüm olguları paylaşmaktır.

1.4. Radyasyon Denetimi

İlgili tüzük ve yönetmelikler kapsamına giren radyasyon kaynaklarının; bulundurulması, kullanılması, imal, ithal ve ihraç edilmesi, alınması, satılması, taşınması, depolanması, radyasyon kaynaklarıyla çalışılabilmesi, ilgili kurum tarafından verilecek lisansa bağlıdır. Bu lisans, başvurusu yapılan kaynakların, ilgili kurum tarafından onaylanan kişilerin sorumluluğu altında ve başvuruda belirtilen adreste faaliyetini kapsar. Bu işler, diğer bakanlık ve/veya kuruluşlardan da izin, ruhsat veya bir belge alınmasını gerektiriyor ise bunların verilmesi, ilgili kurum tarafından lisans verilmesi önkoşuluna bağlıdır.

- **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 ikiye ayrılır.
 - **Çalışma durumu A alanları;** yıllık ışınlamaların doz eşdeğer sınırlarının onda üçünü geçebileceği alanlar.
 - **Çalışma durumu B alanları;** yıllık ışınlamaların doz eşdeğer sınırlarının onda üçünü geçemeyeceği alanlar.
- **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.

1.4.1. Denetime Bağlı İşler

Çalışma alanları bakımından, Tüzük ve Yönetmelik hükümlerine göre lisans almış resmi ve özel kurum ve kuruluşlar ile gerçek kişiler Türkiye Atom Enerjisi Kurum'un denetimine bağlıdır. Kurum uzmanları bu amaçla, ilgili yer ve tesislere girmek, gerekli gördükleri belgeleri istemek ve incelemek yetkisine sahiptirler. Denetim sırasında ilgililer, uzmanlara her türlü kolaylığı göstermekle yükümlüdür.

Denetim, haberli veya habersiz olarak her zaman yapılabilir. Denetimler aşağıdaki hususları kapsar:

- Radyasyon kaynaklarının bulundurulduğu yerlerin fiziksel yönden incelenmesi,
- Çeşitli yer ve noktalarda, radyasyon dozları, radyasyon düzeyleri, radyoaktif madde miktarları ve/veya konsantrasyonlarının ölçülmesi,
- Lisansın genel koşulları ile her lisans türü için ilgili bölümlerde verilen özel koşullara uyulup uyulmadığının tespiti,
- Kayıtların bu ilgili yönetmelikte öngörülen şekilde ve usulüne uygun olarak tutulup tutulmadığının incelenmesi,
- Radyasyon kaynak ve kullanım alanlarında, toplum ve çevrenin sağlığını korumak üzere mevzuatta öngörülen önlemlerin alınıp alınmadığının incelenmesi,
- Radyasyon kaynaklarının ülkeye giriş, çıkış, taşınma ve transit geçişi sırasında, ilgili mevzuat hükümleri ile radyasyon güvenliğine ilişkin diğer mevzuat hükümlerine uyulup uyulmadığının incelenmesi.

1.4.2. Denetim Sonuçları

İlgili kurum uzmanlarınca yapılan denetimler sonucu düzenlenen rapor, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Radyasyon Sağlığı ve Güvenliği Dairesi'nce değerlendirilir. Bu değerlendirme sonucunda, lisans koşulları ve radyasyon güvenliği mevzuat hükümlerine uyulmadığı tespit edildiğinde, eksiklik ve sakıncaların giderilmesi için üç aya kadar bir süre belirlenerek lisansın geçici olarak iptaline karar verilir. İlgili kurum başkanlığınca onaylanan karar lisans sahibine bildirilir. Verilen süre içinde saptanan eksiklik ve sakıncaların giderilmesi halinde lisansın geçici iptal kararı kaldırılır.

UYGULAMA FAALİYETİ

Gerekli donanım sağlandığında radyasyon kirlilik kaynaklarını tespit ediniz.

İşlem Basamakları	Öneriler
➤ Radyasyon çeşitlerini ayırt ediniz.	➤ İyonlaştırıcı radyasyon çeşitlerini incelemelisiniz. ➤ İyonlaştırıcı olmayan radyasyon çeşitlerini incelemelisiniz.
➤ Radyoaktivite ve radyasyon kaynaklarını ayırt ediniz.	➤ Doğal radyasyon kaynaklarını incelemelisiniz. ➤ Yapay radyasyon kaynaklarını incelemelisiniz.
➤ Radyasyon kullanım alanlarını tespit ediniz.	➤ Tıp alanındaki uygulamaları incelemelisiniz. ➤ Endüstriyel alanındaki uygulamaları incelemelisiniz. ➤ Araştırma amaçlı uygulamaları incelemelisiniz.
➤ Radyasyon ölçüm aletlerinin kullanım alanlarını ayırt ediniz.	➤ Gazlı dedektörlerin kullanım alanlarını incelemelisiniz. ➤ Sintilasyon dedektörlerin kullanım alanlarını incelemelisiniz.
➤ Riskli bölgelerde radyasyon kontrolü yapınız.	➤ Ölçüm için gerekli ekipmanları hazırlamalısınız. ➤ Gerekli güvenlik tedbirlerini almalısınız. ➤ Mevzuata uygun radyasyon ölçümü yapmalısınız.
➤ Radyasyon denetimi ve korunma önlemleri ile ilgili kurum ve kuruluşların işlevlerini tespit ediniz.	➤ Türkiye Atom Enerji Kurumunun görevlerini incelemelisiniz. ➤ Enerji Bakanlığının radyasyon ile ilgili görev ve sorumluluklarını incelemelisiniz. ➤ Çevre Bakanlığının radyasyon ile ilgili görev ve sorumluluklarını incelemelisiniz. ➤ Sağlık Bakanlığının radyasyon ile ilgili görev ve sorumluluklarını incelemelisiniz.
➤ Kontrol sonuçlarını ilgili kurum kuruluşlara gönderiniz.	➤ Sonuçları ilgili kurum ve kuruluşlara eksiksiz ve zamanında göndermelisiniz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyarak doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Aşağıdakilerden hangisi, dalga boyları çok küçük fakat enerjileri yüksek ışınlardır?
A) Gama ışını
B) Alfa parçacıkları
C) Beta parçacıkları
D) Serbest nötronlar
E) Ultraviyole ışınları
2. Binalarda limit değerlerde bulunabilen gaz aşağıdakilerden hangisidir?
A) Helyum
B) Radon
C) Neon
D) Argon
E) Kripton
3. Aşağıdakilerden hangisi, doğal radyasyon kaynaklarındandır?
A) Tanısal radyoloji
B) Nükleer tıp
C) Radyoterapi
D) Gama ışınları
E) Endüstriyel uygulamalar
4. Aşağıdakilerden hangisi, insan sağlığını tehdit eden tüketici ürünlerden değildir?
A) Cep telefonu
B) İnce ekran televizyonlar
C) Saç kurutma makineleri
D) Fosforlu saatler
E) Bitkiler
5. Radyoaktivite ölçümünün amaçlarından değildir?
A) Çevrede bulunan radyonüklidlerin davranışını anlamak
B) Radyasyondan korunma standartlarına uyum sağlamak
C) Denetimlerde düzenlenen raporları Tarım Bakanlığına göndermek
D) Çevre radyoaktivite değişimini gözlemlemek ve kayıt etmek
E) Çevre radyoaktivitesi ile ilgili tüm olguları halk ile paylaşmak

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

Gerekli donanım sağlandığında, radyasyon kirliliğinin insan sağlığına olan etkilerini kontrol edebileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Çevrenizde bulunan bir sağlık kuruluşunun radyoloji ünitesine giderek radyasyon maruziyetlerine karşı alınan korunma önlemlerini araştırınız.
- Radyasyona maruz kalma sonucu ortaya çıkan sağlık sorunlarını araştırınız.

2. RADYASYONUN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ

Uzayda yüksek hızla hareket eden ışınlar, kolaylıkla insan vücuduna nüfuz ederek vücudu oluşturan biyolojik hücrelere hasar verebilir. Ayrıca, bu ışınlar hücrelerin kimyasal yapılarını da değiştirebilir. Özellikle elektrik yüklü ışınlar çok kısa süre içinde hücre moleküllerini parçalayıp iyonlarına ayrıştırabilir. Bununla birlikte, etrafta bulunan diğer hücreleri de fizyolojik görevlerini yapamaz duruma getirebilir. Bütün bunların sonucunda radyasyona maruz kalan hücre ya işlevini yitirir veya ölür. Yüksek radyasyon sonucu çok sayıda hücrenin aniden ölmesi veya normal çalışmasının bozulması canlının sağlığını önemli ölçüde etkiler.

Kemik iliği, dalak, kan ve üreme hücreleri gibi hayati önem taşıyan hücrelerde radyasyonun etkisi daha erken görülür. Bu hücreler daha çabuk çoğaldığından hücredeki hasar, uzun bir zaman dilimi içerisinde tümör olarak sonuçlanabilir. Böylece radyasyonun kanserojen etkisi ortaya çıkar.

Radyasyonun en büyük tehlikesi hücre çekirdeğindeki DNA'ların bozulmasıdır. DNA'lardan oluşan kromozom yapılarının mutasyona uğraması sonucunda ebeveyne benzemeyen yeni bir genotip ortaya çıkar. Eğer bu durum, bireyin üreme hücrelerinde gerçekleşirse bu değişiklik gelecek nesillere de aktarılır.

2.1. Radyasyonun Biyolojik Etkileri

Radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkilerin bazıları; radyasyon yanıkları, kanser ve gelecek nesillerdeki genetik bozukluklardır. Hatta çok büyük miktarda radyasyon dozuna maruz kalınması ani ölümlere yol açar.

Radyasyonun biyolojik etkileri, erken ve kronik etkiler olarak ikiye ayrılır.

2.1.1. Erken Etkiler

Erken etkiler; vücudun tamamının veya büyük bir bölümünün genellikle radyasyon kazasına maruz kalınması sonucu meydana gelen ışınlanmalardır. Çok büyük dozlardaki radyasyon, birkaç saat veya birkaç hafta içerisinde sağlık üzerinde zararlı etki gösterebilir. Erken etkiler, öldürücü olabilen radyasyon yanıkları ve radyasyon hastalıklarıdır. Genel olarak; akut radyasyon sendromları ve bölgesel radyasyon hasarları olarak sınıflandırılır.

- **Akut radyasyon sendromları (ARS):** İyonlaştırıcı radyasyonların en önemli etkisidir. Lenfositler radyasyona karşı en duyarlı kan hücreleridir. Lenfosit sayısındaki en küçük bir düşme, erken teşhis aşamasındaki ışınlanma seviyesini gösteren en yararlı laboratuvar testidir.
- **Bölgesel radyasyon hasarları:** Vücudun belli bir bölgesinin kısa sürede, yüksek dozda radyasyona maruz kalması sonucu görülür. ARS' larına göre daha sık karşılaşılr.



Resim2.1: Bölgesel radyasyon hasarı

2.1.2. Kronik Etkiler

Düşük dozların etkileri yıllar sonra ortaya çıkabilir. Bunun sebebi, doz düşük dahi olsa tekrarlanan ışınlanmalarda organizmanın bir sonraki ışınlanmaya kadar hasarı onaramaması ve hasarın gittikçe artmasıdır.

Kronik olarak ışınlanan kişilerde, yıllar sonra katarakt, malignite, doğal ömür sürelerinde kısalma ile sonraki nesillerinde kalıtsal bozukluklara rastlanabilir.



Resim 2.2: Radyasyonun kronik etkileri

2.2. Radyasyonun Hücre ile Etkileşimi

İyonlaştırıcı radyasyonun soğurulması sonucu hedef moleküllerde iyonlaşma ve uyarılmalar meydana gelir. Bu iyonlaşmalar, DNA zincirlerinde kırılmalara ve hücre içerisinde kimyasal toksinlerin üremesine neden olabilir. Kırılmaların hemen ardından bir onarım faaliyeti başlar. Hasar çok büyük değilse DNA’ da meydana gelen kırılmalar onarılabilir. Ancak bu onarım esnasında da hatalar oluşabilir ve yanlış şifre bilgiler içeren kromozomlar meydana gelebilir.

Her hücre tipinin radyasyona duyarlılığı farklıdır. Sık bölünen ve bir organ ya da dokuya ait hücrelerin özelliklerini yansıtmayan, nitelikleri belirsiz olan (indiferansiye) over ve testisin germinal hücreleri, hematopoetik sistem hücreleri, gastrointestinal sistem epitel hücrelerinin duyarlılığı fazla iken, bölünmeyen ve üst diferansiasyon gösteren karaciger, böbrek, kartilaj, kas, sinir hücrelerinin duyarlılığı daha azdır.

Diferansiasyon; ayrışmamış bir hücrenin (örn; bir kök hücrenin) vücuttaki spesifik bir hücreye dönüşme işlemine verilen addır.

2.3. Radyasyonun Kromozoma Etkileri

Vücutun birçok organ veya dokusu, önemli sayıda hücre kaybına rağmen faaliyetlerini normal bir şekilde sürdürür. Yine de hücre kaybı belli bir sayının üzerine çıktığında ışınlanan kişilerde gözlenebilir hasarlar meydana gelir. Etki eşliğini aşan akut doz almış kişilerde ortaya çıkan bu hasarlara deterministik (belirlenimlilik) etkiler denir. Kanser ve genetik etkiler, radyasyonun stokastik etkileridir ve belli bir eşik doz yoktur.

Kromozom hasarlarına etki eden faktörler;

- Radyasyonun çeşidi, enerjisi, doz hızı ve maruziyet süresi,
- Organizmanın yaşı, cinsiyeti, sağlık durumu, oksijen konsantrasyon durumu, sık bölünen ve bölünme safhasında veya tam olarak farklılaşmamış hücrelere sahip olmasıdır.

2.4. İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunma

Radyasyondan korunmanın ana prensibi, ekonomik ve sosyal faktörler göz önünde bulundurularak mümkün olan en düşük doza maruziyettir. Bu ilke, ALARA (As Low As Reasonably Achievable) olarak bilinir.

Monitoring, iyonlaştırıcı radyasyonların ve radyoaktif kontaminasyonun varlığını ve derecesini tayin etmektir.

➤ **Personel Monitoring**

Personel monitoring, kişiler tarafından alınan toplam vücut dozunun rutin olarak ölçülmesidir. Bunun temel amacı:

- Personelin maruz kaldığı kişisel radyasyon dozlarının maksimum müsaade edilen seviyenin altında tutulabilmesi için, alınan dozları ölçmek ve kayıtlarını tutmak,
- Personele, radyasyon bakımından sağlığının korunduğu güvencesini vermek,
- Kuruluş ve personel arasındaki fazla doz alma anlaşmazlıklarında kanuni koruma imkânı sağlamak.

➤ **Alan Monitoring**

Alan monitoring, maruz kalınacak yıllık dozun 1 mSv (milisivert, radyasyon birimidir) değerini geçme olasılığı bulunan alanlar radyasyon alanı olarak nitelendirilir. Radyasyon alanları radyasyon düzeylerine göre 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 yıllık doz sınırlarının 3/10'undan (6 mSv) fazla radyasyon dozuna maruz kalabilecekleri alanlardır.
- **Gözetimli alanlar:** Radyasyon görevlileri için yıllık doz sınırlarının 1/20'sinin aşılma olasılığı olup 3/10'unun aşılması beklenmeyen, kişisel doz ölçümünü gerektirmeyen fakat çevresel radyasyonun izlenmesini gerektiren alanlardır.



Resim 2.3: Radyasyon uyarı işaretleri

Radyasyondan korunma yöntemleri iç radyasyona ve dış radyasyona karşı korunma olarak incelenir.

2.4.1. İç Radyasyona Karşı Korunma

İç radyasyonla kirlenme; (internal kontaminasyon) radyoaktif maddelerin solunum, sindirim, mukoza ya da deri bütünlüğünün bozulması sonucu vücuda girmesi ile oluşur. Vücuda giren bir radyoaktif madde, vücutta bulunduğu süre boyunca ışınlama yapar. Bu nedenle, iç radyasyon tehlikesinden korunmak için, ortamın, giysilerin ve cildin radyoaktif madde ile bulaşmasını, radyoaktif maddenin yiyecek ve solunum yoluyla vücuda girmesini önleyici önlemler alınması gerekir. Bu önlemler arasında; özel solunum cihazlarının kullanılması, tam yüz maske ve filtrelerinin kullanılması, koruyucu elbiseler giyilmesi, imkan olmaması durumunda mendil, havlu ve benzeri ile solunum yollarının kapatılması, kirlenen bölgedeki gıda ve suların tüketilmemesi sayılabilir.

2.4.2. Dış Radyasyona Karşı Korunma

Dış radyasyona karşı korunmak için başlıca üç yöntem vardır.

- **Uzaklık:** Noktasal kaynaklardan yayınlanan radyasyon şiddetleri kaynaktan olan uzaklığa bağlı olarak azaldığından uzaklık iyi bir korunma aracıdır. Ters kare kanunu, radyasyon dozu uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak değişir.
- **Zaman:** Radyasyon dozu miktarı radyasyon kaynağının yanında geçirilecek süre ile orantılı olarak arttığından kaynak yakınında mümkün olduğunca kısa süre kalınmalıdır.
- **Zırhlama:** Dış radyasyon tehlikelerinden korunmanın en etkin yöntemi zırhlamadır. Radyasyonun şiddetini azaltmak için radyasyon kaynağı ile kişi arasına uygun özelliklerde koruyucu engel konulmalıdır. Zırhlama toprak, beton, çelik, kurşun gibi koruyuculuğu yüksek materyal kullanılarak yapılabilir.

Radyasyon korunmasında kullanılan, doz sınırlama sisteminin üç temel ilkesi aşağıda verilmiştir;

- **Uygulamaların gerekliliği:** Işınlanmanın zararlı sonuçları göz önünde bulundurularak, net bir fayda sağlamayan hiçbir radyasyon uygulamasına izin verilemez.
- **Radyasyon korunmasının optimizasyonu:** Tedavi amaçlı tıbbi işınlamalar hariç, radyasyon işınlaması gerektiren uygulamalarda bireysel dozların büyüklüğü, işınlanacak kişilerin sayısı, olası tüm işınlamalar için, ekonomik ve sosyal faktörler göz önünde bulundurularak mümkün olan en düşük dozun alınması sağlanmalıdır.
- **Doz sınırlaması:** Bireylerin normal işınlamaları, izin verilen tüm işınlamaların neden olduğu ilgili organ ya da dokudaki eşdeğer doz ile etkin doz, mevzuatta belirtilen yıllık doz sınırlarını aşamaz.
 - **Radyasyon Görevlileri için Doz Sınırlaması**
 - Etkin doz, birbirini takip eden beş yılın ortalaması 20 mSv (bütün vücut)
 - Herhangi bir yılda, 50 mSv (bütün vücut)
 - Eşdeğer doz, göz merceği için yılda 150 mSv
 - Eşdeğer doz, eller, ayaklar ve cilt için yılda 500 mSv
 - **Toplum Üyesi Kişiler için Doz Sınırlaması**
 - Etkin doz, yılda 1 mSv (bütün vücut)
 - Birbirini takip eden 5 yılın ortalaması 1 mSv değerini geçmemek koşulu ile özel durumlarda yılda 5 mSv (bütün vücut)
 - Eşdeğer doz, göz merceği için yılda 15 mSv
 - Eşdeğer doz, eller, ayaklar ve cilt için yılda 50 mSv

18 yaşından küçükler radyasyon görevlisi olarak çalıştırılmazlar.

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

Tablo 2.1: ICRP'nin önerilerine göre müsaade edilen maksimum doz

UYGULAMA FAALİYETİ

Radyasyon kirliliğın insan sağlığına olan etkilerini kontrol ediniz.

İşlem Basamakları	Öneriler
➤ Radyasyonun insan sağlığına olan etkilerini tespit ediniz.	<ul style="list-style-type: none">➤ Radyasyonun biyolojik etkilerini incelemelisiniz.➤ Radyasyonun hücre üzerine olan etkilerini incelemelisiniz.➤ Radyasyonun kromozom üzerine olan etkilerini incelemelisiniz.
➤ İyonlaştırıcı radyasyondan korunma önlemlerini tespit ediniz.	<ul style="list-style-type: none">➤ İç radyasyona karşı alınan korunma önlemlerini incelemelisiniz.➤ Dış radyasyona karşı alınan korunma önlemlerini incelemelisiniz.
➤ Radyasyon sınır değerlerini ayırt ediniz.	<ul style="list-style-type: none">➤ Radyasyon görevlileri için müsaade edilen sınır değerleri incelemelisiniz.➤ Toplum üyesi kişiler için müsaade edilen sınır değerleri incelemelisiniz.➤ 18 yaşından küçükler için müsaade edilen sınır değerleri incelemelisiniz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyarak doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Aşağıdakilerden hangisi, radyasyonun insan üzerine olan erken etkilerindendir?
A) Malignite
B) Katarakt
C) Kalıtsal bozukluklar
D) Yaşam süresinde kısalma
E) Radyasyon yanıkları
2. Aşağıdakilerden hangisi, radyasyon ile çalışan kişilerin maruz kaldıkları yıllık doz miktarıdır?
A) 6 mSv
B) 15 mSv
C) 20 mSv
D) 50mSv
E) 150mSv
3. Aşağıdakilerden hangisi, dış radyasyona karşı korunma yöntemlerinden değildir?
A) Zırhlama
B) Etkinlik (ALARA)
C) Uzaklık
D) Zaman
E) Ters Kare Kanunu
4. ICRP'nin önerilerine göre görevlilere müsaade edilen yıllık etkin doz, aşağıdakilerden hangisidir?
A) 1mSv
B) 15 mSv
C) 20 mSv
D) 50 mSv
E) 500 mSv
5. Aşağıdakilerden hangisi, ALARA İlkesini ifade eder?
A) Dış tehlikelerden korunmanın etkin yolu
B) Radyasyon kaynağının yanında geçirilecek süre
C) Ekonomik ve sosyal faktörleri göz önünde bulundurularak, yapılacak bütün radyasyon ışınlamalarında maruz kalınan radyasyonunun mümkün olan en alt düzeyde tutulması
D) Net bir fayda sağlayan hiçbir radyasyon uygulamasına izin verilmez
E) Vücuda giren bir radyoaktif madde vücutta bulunduğu süre boyunca ışınlama yapar.

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

Radyasyon atıklarının zararsız hale getirilmesine yönelik gerekli kontrolleri yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Sağlık kuruluşlarında radyoaktif atıkların zararsızlaşması için yapılan çalışmaları araştırınız.
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumunun görev ve sorumluluklarını araştırınız.

3. RADYASYON ATIKLARININ ZARARSIZ HALE GETİRİLMESİ

Nükleer maddelerin kullanımı sonucunda radyoaktif atıklar oluşur. Radyoaktif atıklar güvenli, ekonomik, çevrenin ve halkın kabul edebileceği bir şekilde yönetilmek zorundadır.

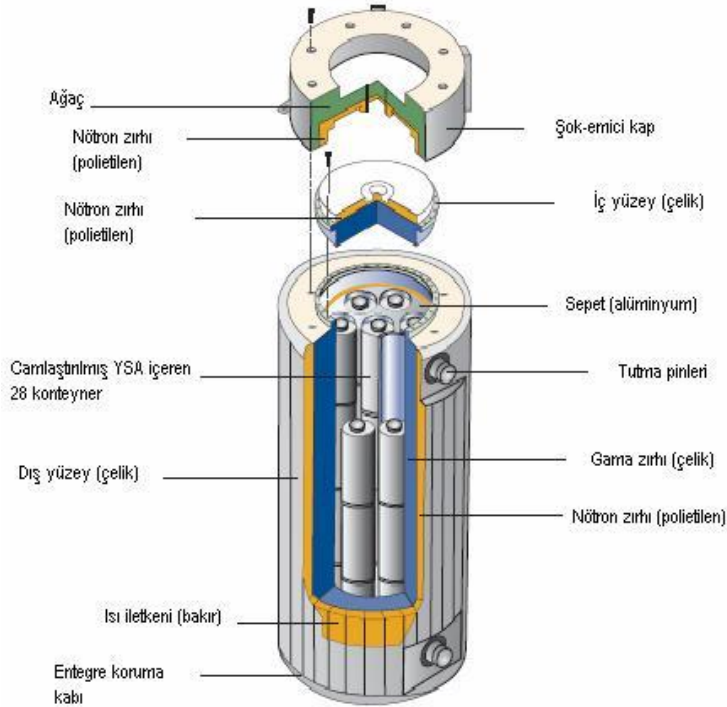
Radyasyon atıkları ile ilgili bazı terimler aşağıda verilmiştir:

- **Radyoaktif atık:** Tekrar kullanılması düşünülmeyen, her türlü radyoaktif madde veya radyoaktif madde ile bulaşmış diğer malzemelerdir.
- **Lisans sahibi:** Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği hükümleri uyarınca radyoaktif maddeleri bulundurmaya ve kullanmaya üzere ilgili kurumdan lisans almış resmi veya özel kişi ya da kuruluşlardır.
- **Kapalı radyoaktif kaynak:** Katı halde bulunan, normal kullanım ve olası kaza koşullarında sızdırmazlığı sağlamak üzere bir kapsül içerisine kapatılmış ya da kaplama malzemesi ile kaplanmış radyoaktif maddedir.
- **ALI:** Radyoaktif maddelerin Becquerel (Bq) cinsinden yıllık olarak vücuda alınabilir sınır değerleri ifade eder. (ALI kelimesi İngilizce “Annual Limits on Intake” olarak ifade edilen kelimelerin baş harfleridir.)
- **ALI_{min}:** Radyoaktif maddelerin vücuda sindirim ve/veya solunum sistemleri yolu ile alınabileceği kabul edilerek, iki farklı ALI değeri belirlenmiştir. İlgili yönetmelikte verilmiş olan ALI_{min} değerleri söz konusu iki değer arasında düşük olanı ifade eder.
- **Yarılanma süresi:** Bir radyoaktif maddenin başlangıçtaki aktivite değerinin yarıya düşmesi için geçen süredir.
- **Çevreye verilme:** İlgili mevzuatta açıklanan şekilde ve belirtilen sınırları aşmayan miktardaki sıvı atıkların kanalizasyon sistemine, katı atıkların tıbbi atık bertaraf tesislerine, buhar, aerosol ve toz parçacıkları gibi gaz halindeki atıkların atmosfere bırakılmasını ifade eder.

3.1. Radyoaktif Atık Tipleri

Radyoaktif atıklar taşınma, depolama ve atık düzenlemelerini kolaylaştırmak için içerdiği radyoaktif malzemenin konsantrasyonu ve radyoaktiflik süresi dikkate alınarak sınıflandırılır.

- **Düşük seviyeli atıklar (DSA);** işçi tulumları, taşıma kapları, enjektör gibi malzemelerin az miktardaki kısa ömürlü radyoaktivite ile teması sonucu oluşur. Bu tür atıklarda temasta lastik eldiven kullanılmalıdır. Nükleer güç santrallerinin hizmetten çıkarılması sırasında oluşan birçok atık bu sınıfa girer.
- **Orta seviyeli atıklar (OSA);** nükleer malzeme ile birlikte kullanılmış donanım veya radyoaktif akışkanların temizlenmesinde kullanılmış endüstriyel malzemelerdir. Bunlar ihmal edilebilir düzeyde ısı üretirler, fakat kısa veya uzun süreli radyasyon yayarlar. Korunmak için zırhlanma gerekir. Kullanılmış nükleer yakıtların yeniden işlenmesi sırasında yakıtın çözülme metal kısımlarını içeren atıklar bu kategoride yer alır.
- **Yüksek seviyeli atıklar (YSA);** yüksek seviyeli atık kategorisi, yeniden işlenilmeyecek olan kullanılmış nükleer yakıt (KNY) ve yeniden işleme uygulamasının kalıntılarından oluşur. Fisyon reaksiyonu sonucunda ortaya çıkan yüksek derecede radyoaktif ve uzun ömürlü elementleri içerirler.



Resim 3.1: Yüksek seviyeli atık (YSA) taşıma kabı

3.2. Radyoaktif Madde Kullanımından Oluşan Atıkların Çevreye Verilme Sınırları

Radyoaktif atıkların yönetimi ve bertarafı her yerde ulusal bir sorumluluk olarak ele alınmıştır. Her ne kadar radyoaktif atık yönetimi için değişik ulusal yaklaşımlar olsa da uluslararası iş birliği ile bir dizi temel ilkeler ve yükümlülükler oluşturulmuştur.

3.2.1. Sıvı Radyoaktif Atıkların Kanalizasyon Sistemine Verilme Sınırları

Sıvı radyoaktif atıkların başlıca kaynakları, radyoizotop laboratuvarları, kimyasal ayırma tesisleri, su ile soğutulan reaktörler, değişme odaları ve dekontaminasyon çamaşırhaneleridir. Radyoizotop laboratuvarları dışında bütün bu kaynaklardan gelen sıvı atıklar genellikle radyoaktif kirli su sistemi ile toplama tanklarına gönderilir. Radyoaktif atıkların fiziksel yarı ömürleri ve aktivite seviyelerine göre ayırmak üzere değişik toplama kapları kullanılır. Radyoaktif bozulmaları sırasında gaz meydana getiren maddeler özel kaplara toplanmalıdır. Radyoaktif olmayan atıklarla karıştırılmamalı, organik ve inorganik atıklar bir arada toplanmamalıdır.

Sıvı atıklar lisans sahibinin sorumluluğunda kurum mevzuatında belirtilen hükümlerin yerine getirilmesi koşuluyla konsantrasyon değerlerinin uygun görülmesini takiben yalnız kanalizasyon sistemine verilebilir.

Sıvı radyoaktif atıkların kanalizasyon sistemine verilme koşulları;

- Bir kuruluşun bir defada kanalizasyon sistemine verebileceği atıklardaki toplam radyoaktivite miktarı yönetmelikte belirtilen ALI_{min} değerinin 2.5 katından fazla olmamalı ve 100 MBq değerini geçmemeli.
- Laboratuvarlar için sintilasyon çözeltileri ve benzeri organik çözeltiler ihtiva eden sıvı atıklarda alfa radyoaktivitesi bulunmamalı.
- Bir kuruluşun bir ayda kanalizasyon sistemine verebileceği atıklardaki radyoaktivite miktarı yönetmelikte belirtilen ALI_{min} değerinin 25 katından fazla olmamalı.
- Atığın birden fazla radyoizotop içermesi durumunda, her bir radyoizotopun aktivitesinin kendi ALI_{min} değerine oranı hesaplandıktan sonra bu oranların toplamı alınır. Bu atıkların kanalizasyon sistemine verilebilmesi için, bu toplam her bir verilme için 2.5'den, bir aylık toplam verilme için 25'den büyük olmamalı.
- Hastanede yatırılarak I-131 tedavisi gören hastaların idrar ve dışkılarını ihtiva eden sıvı atıklar kanalizasyon sistemine hastane çıkışında tek bir noktadan bağlanır, radyasyon uyarı işareti konular, düzenli olarak ölçüm yapılır. Bu noktadaki I-131 konsantrasyonu mililitrede 10 Bq değerini geçmemelidir.

3.2.2. Katı ve Gaz Halindeki Atıkların Çevreye Verilme Sınırları

Toplama bakımından katı atıklar aktivite seviyelerine göre ayrılır. Alçak seviyeli atıklar, kağıt veya plastik torbalarla kaplanmış kutulara konulur. Bu kutular bir programa göre belirli zamanlarda toplanır. Atıklar toplandıktan sonra alçak aktiviteli katı atıkların hacmi, yakma (insinerasyon) veya sıkıştırma (kopresyon) yoluyla küçültülür. Yakma işlemi yapılacaksa alçak seviyeli atıklar (kâğıt bez giysi ve benzeri) yakılabilir. Yüksek aktiviteli katı atıklar zırhlanmış kaplar içine konulur ve radyasyon şiddetleri maksimum müsaade edilen seviyeleri aştığı zaman toplanır. Bu kaplar genel olarak toplandıktan hemen sonra gömülür veya bozulma yoluyla aktivitelerinin azalması için depolanır.

Katı radyoaktif maddeler aşağıdaki sınırlar dahilinde lisans sahibinin sorumluluğunda çevreye verilir.

- Tıbbi atık bertaraf tesislerine gönderilecek katı atık torbalarının yüzeyindeki radyasyon doz hızı hiçbir şekilde 1 $\mu\text{Sv/saat}$ değerini aşmamalıdır. Ölçümler, atılan radyoaktif maddenin yaydığı radyasyonu ölçebilecek uygun dedüksiyon cihazı ile yapılır.
- Alfa yayınlayan katı atıklar hiçbir şekilde çevreye verilmemeli, bu tür atıklar için ilgili kuruma başvuruda bulunulmalıdır.
- Gaz halindeki atıklar lisans sahibi sorumluluğunda tesisin projelendirilmesi ve lisanslanması aşamalarında belirlenmiş olan koşullar çerçevesinde atmosfere verilir.

3.3. Radyoaktif Atıklarla İlgili Uyulması Gerekli Hususlar

Radyoaktif atıklar ile uyulması gereken hususlar, atığın sıvı, katı ve gaz halinde olmasına göre farklılık gösterir.

➤ Sıvı Radyoaktif Atıklarla İlgili Uyulması Gerekli Hususlar

Lisans sahibi sıvı radyoaktif atıkları, atık su sistemine bırakmadan önce aşağıdaki hususları yerine getirmek zorundadır.

- Sıvı radyoaktif atıklar, ünite içerisinde belirlenecek ve altında (T) dirsek olmayan bir lavabodan atık su sistemine bırakılır. Bu bırakma sırasında sıvı atıklar en az 10 katı kadar su ile seyreltilir. Bu lavabo üzerine uluslararası standart radyoaktif madde işareti takılır. Bu lavaboda radyoaktif olmayan çalışmalar yürütülmez.
- Atık su sistemine bırakılacak bütün radyoaktif sıvılar su içerisinde çözülebilir ve dağılıbilir özellikte olmalıdır. Radyoaktif sıvı, çözünmeyen katı parçacık veya tortu bulunduruyorsa, kanalizasyona bırakmadan önce filtre edilir. Filtre işleminde kullanılan malzeme katı atık olarak işleme tabi tutulur.

- Asidik çözeltiler, atık su sistemine bırakılmadan önce nötralize edilir.
- Atık su sistemine bırakılan sıvı, zehirli maddeleri veya diğer kimyasal maddeleri bulunduruyorsa lisans sahibi tarafından atık su sistemine bırakılmadan önce bölgesel yetkili otoritelerden izin alınır.

➤ **Katı ve Gaz Halindeki Radyoaktif Atıklarla İlgili Uyulması Gerekli Hususlar**

Lisans sahibi katı radyoaktif atıkları belediyelerin denetimindeki çöp imha alanlarına göndermeden önce aşağıdaki hususları yerine getirmek zorundadır.

- Günlük çalışmalar için kullanılacak olan katı radyoaktif atık biriktirme kabının kapağı, ayak pedalı ile açılır olmalıdır, kapağın açılması ve kapanması için el kullanılmaz. Kullanılan radyoaktif maddenin yaydığı radyasyonun tipine ve enerjisine göre atık biriktirme kabının iç kısımları, kapağı ve tabanı da dahil olmak üzere kurşun ve benzeri uygun malzeme ile zırhlanmalıdır. Kabin dış yüzeyinde, uluslararası standart radyasyon uyarı işareti bulunmalıdır. Kabin büyüklüğü ve geometrik şekli oluşan radyoaktif atığın miktarına göre lisans sahibi tarafından belirlenir.
- Atık biriktirme kabının içerisine yeterli büyüklükte ve uç kısımları kabin üst kısmından dışarıya taşacak şekilde bir plastik torba yerleştirilir.
- Radyoaktif katı atık biriktirme kabının bulunduğu ortamda, radyoaktif olmayan katı atıklar için ayrı bir biriktirme kabı bulundurulur. Radyoaktif olmayan atıklar hiçbir şekilde radyoaktif atık biriktirme kaplarına atılmazlar. Şüpheli atıklar radyoaktif olarak kabul edilir.
- Biriktirme kabı dolduğunda plastik torbanın ağzı sıkı bir şekilde kapatılarak verilen etiket doldurularak yapıştırılır. Uzun süreli atık bekletme yerlerine nakledilir.
- Radyoaktif atıklar içerisine tehlikeli kimyasal maddeler veya başka zehirleyici maddeler karıştırılmaz. Ancak kaçınılmaz olarak meydana gelen karışımlar etiketler üzerinde belirtilir.
- Torbalar, ilgili kurum tarafından onaylanmış uzun süreli atık bekletme yerlerine nakledilerek üzerlerindeki etiketlere göre bekletilir. Uzun süreli atık bekletme yerleri bina içerisinde bodrum katı gibi fazla kullanılmayan bir oda şeklinde olabileceği gibi bina dışında girişi kontrollü ayrı bir baraka veya beton kümbet şeklinde de yapılabilir. Buharlaşma yapabilecek atıklar için havalandırma sistemi sağlanır.
- Katı radyoaktif atıklar uzun süreli bekletme depolarında plastik torbaların yüzeylerindeki radyasyon doz şiddeti 5 $\mu\text{Sv/saat}$ (0.5 mR/saat) değerine düşüncüye kadar bekletilirler. Lisans sahibi bu değeri ölçebilmek üzere gerekli aletleri temin eder.

- Katı atık torbaları, kırılmaya, delinmeye ve taşınmaya karşı dayanıklı 150 mikron kalınlığında kırmızı plastik torbalara konulur. Bu torbaların üzerinde görülebilecek büyüklükte ve her iki yüzünde Uluslararası Klinik Atıklar amblemi bulunur.
- Bu atıkların tesis içerisinde taşıma işlemi sırasında, atık bacaları ve yürüyen bantlar kullanılmaz ve atık torbaları elde taşınmaz. Atık torbaları tekerlekli, paslanmaz çelikten yapılmış ve bu iş için ayrılmış araçlar ile toplanır ve taşınır. Bu atıklar, evsel nitelikli atıklar ile aynı araca yüklenmez.
- Biriktirilmiş, bekletilmiş, torbalanmış ve gerekli radyasyon ölçümleri yapılmış katı atıklar, gönderici tarafından, diğer tıbbi atıklara uygulanan işlemler çerçevesinde belediye denetimi altındaki çöp imha alanlarına gönderilir.
- Bu atıklar belediye denetimi altındaki çöp imha alanlarında, ilgili mevzuata göre işleme tabi tutulur.
- Lisans sahibi, gaz atıkları atmosfere salıvermek için ilgili kurumca önceden onaylanmış olan proje çerçevesinde uygun bir sistem kurmakla yükümlüdür.

3.4. Radyoaktif Atıkların Toplanması

Radyoaktif atıklar, genellikle radyoaktif elementlerin kullanıldığı tıp, nükleer sanayi, nükleer santraller ve nükleer silah denemeleri ile oluşur. Radyoaktif elementler parçalanabilme özelliğinden dolayı, atıldıkları ortamda da ışımaya devam ederek çevreye zarar verir. Bu nedenle radyoaktif atıkların oluşumunu azaltmak ve ortaya çıkan atıkların çevreye zarar vermeyecek şekilde düzenlenmesini sağlayan uygulamalar önem taşımaktadır.



Resim 3.2: Atıkların toplanması ve radyasyon ölçümü

➤ **Radyoaktif Atık Kapları**

Atık kapları, laboratuvar masası, tezgâhlar, radyokimyasal çeker ocaklar ve eldiven kutuları çalışma alanlarından en az 2 metre uzağa konulmalıdır. Bütün atık kapları radyasyon tehlike sembolü ile işaretlenmeli ve üzerlerine katı veya sıvı radyoaktif atık yazısı yazılmalıdır. Tüm radyoaktif atıkların kayıtları eksiksiz olarak tutulmalıdır. Kayıtlarda materyalin cinsi, miktarı, aktivite seviyesi, atılma tarihi ve radyoaktif maddeyi depolayan kişinin ismi belirtilmelidir.

Sıvı atıkların toplandığı kaplar, 20 litre hacminde galvanize sacdan yapılmış, taşıma sapı ve flanşlı bir kapağı olan güğümlerdir. Kabın içine, ağzına esnek bir boru tespit edilmiş polietilen bir torba yerleştirilir. Torba dolduğu zaman, esnek boru bağlanarak kapatılır ve flanşlı kapakla örtülür.

➤ **Radyoaktif Atık Kaplarının Monitoringi**

Radyoaktif atık kapları içindeki atıkların radyasyon şiddetlerini tayin etmek üzere sağlık fiziki personeli tarafından periyodik olarak radyasyon monitöre edilir. Aktif atık kaplarının dış yüzeylerindeki radyasyon şiddeti 2,5 mR /saat 'i geçiyorsa veya atık kabı çalışma alanlarında depolanıyorsa zırhlamaları gereklidir.

Kabın dışındaki alfa kontaminasyonu 150 cm'lik bir yüzey üzerinde, dakikada 7500 bozulmayı geçmemelidir. Bu seviyeler aşıldığı takdirde, kabın dış yüzü uygun bir çözücü ve ıslatılmış bir bez parçası ile silinerek dekontamine edilir. Kontaminasyon müsaade edilen seviyenin altına düşüncüye kadar bu işleme devam edilmesi ve işlemde kullanılan bezlerin kap içine atılması gereklidir.

3.5. Radyoaktif Atık Yönetimi

Radyoaktif atık yönetiminde amaç, atıkların zararsız duruma gelinceye kadar biriktirilerek hacimlerini küçültmek için, mümkün olduğu kadar konsantre etmektir. Atıklar başlangıçta çok sıcak olduğundan ilk yapılacak iş bu atıkların soğutulmasıdır. Belirli bir süreden sonra sıcaklık düşer ve atıklar için işlem yapılır.

Radyoaktif atık yönetiminin işlevleri aşağıda açıklanmıştır.

➤ **Radyoaktif Atıkların Seyreltilmesi (Dilüsyon)**

Radyoizotop laboratuvarları, su ile soğutulan reaktörler, değişme odaları, dekontaminasyon çamaşırhaneleri ve benzeri yerlerde meydana gelen alçak aktiviteli sıvı atıklar geçici depolamadan sonra ve çevreye verilmeden önce seyreltilir. Daha fazla seyreltme, dağıtmadan (dispersiyon) sonra yapılır.

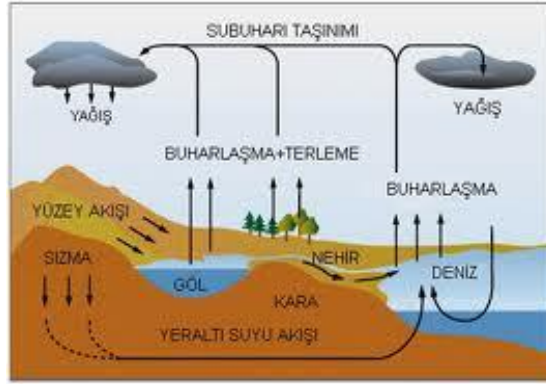
➤ **Radyoaktif Atıkların Yoğunlaştırılması (Konsantrasyon)**

Yoğunlaştırma, radyoaktif maddeleri daha küçük bir hacme indiren veya toplam atık hacmini azaltan herhangi bir atık işleme metodudur.

Radyoaktif atıklar, seyreltilme ve dağıtılmaları pratik olmadığı veya imkânsız olduğu zaman yoğunlaştırma metodu ile işlem görür. Yoğunlaştırmak için kullanılacak metodun hem tehlikesiz hem de ekonomik olması gerekir. Gerek katı gerekse yüksek aktiviteli sıvı atıkların yoğunlaştırma yoluyla işlenmesi çok kullanılan bir metottur.

Başlıca yoğunlaştırma metotları:

- **Buharlaştırma (evaporasyon):** Buharlaştırma, sulu ve heterojen sıvı atıklar için en geniş şekilde kullanılan yoğunlaştırma metodudur. Bu işlem, atık sıvıların uygun bir aktivite konsantrasyonuna erişinceye kadar kaynatılmasından ibarettir. Meydana gelen buhar, dışarı çekilerek yoğunlaştırılır. Yoğunlaşan buharın aktivitesi yeteri kadar az ise çevreye verilebilir.



Resim 3.3: Buharlaştırma

- **İyon değişimi:** Radyoaktif atıkların konsantrasyonunda iyon değişimi işlemi uygulanır. Bu metotta çoğunlukla sentetik iyon değiştirici reçineler ve bazı killi topraklar kullanılır. İyon değişimi metodu, genel olarak küçük hacimde homojen sıvı atıklara uygulanırsa da içindeki çözülmüş madde konsantrasyonları düşük olan büyük hacimli sıvı atıklarda da uygulanabilir.

- **Sıkıştırma (kompresyon):** Alçak aktiviteli katı atıklar genel olarak sıkıştırma (kompresyon) veya yakma yoluyla yoğunlaştırılabilir. Tipik bir nükleer ya da radyolojik tesiste meydana gelen katı atıkların çoğunluğu sıkıştırılabilir cinstendir. Tesiste balyalama metodu kullanılıyorsa katı atıklar toplama yerinde sıkıştırılabilme özelliklerine göre ayrılır. Sıkıştırılması mümkün olmayan maddeler ise diğerlerinden ayrılarak tahta sandıklara yerleştirilir. Yüksek aktiviteli eşyalar ise ayrı bir yere depolanarak bozulma ile aktivitelerinin azalması için depolanır. Geri kalan atıklar ve kapların içine konulan plastik astarlar atık balyalanmaya hazırdır. Balyalama işlemi, balya makinesinin en az 4 saat çalışmasını gerektirecek kadar sıkıştırılabilir.
- **Yakma (insinerasyon):** Yakma ile kağıt, bez, giysiler, hayvan leşleri ve benzeri yanabilen maddelerin hacimlerinde önemli bir azalma sağlanır. Büyük parça, eşya ve teçhizat genel olarak yakılmaz, dekontamine edilir. Radyoaktif atıkların yakılmasında meydana gelen yan ürünler (baca gazları ve küller) radyoaktif olduğundan bunların zararsız hale getirilmesi son derece önemlidir. Bacadan dışarı, çevreye verilen duman ve gazların hava kontaminasyonu için maksimum müsaade edilen konsantrasyonları aşmaması gerekir.

➤ **Radyoaktif Atıkların Depolanması**

Depolama, atıkların gelecekte yeniden işleme amacına göre farklılık gösterir. Böylece güvenlik için aktif izleme, bakım ve kurumsal kontroller sürdürülmelidir. Radyoaktif atıkların depolanması, ara depolama ve nihai depolama şeklinde yapılır.

- **Ara depolama (Geçici depolama):** Ara depolama özellikle, hemen işleme, ambalajlama ve zararsız hale getirmek için aktivite seviyesi çok yüksek olduğu halde, bir süre geçici depolama ile aktivitesi yeter derece de kalabilecek atıklar ALI_{min} için uygundur. Bu nedenle geçici depolama kısa yarı ömürlü izotopları içeren atıklara uygulanabilir. Radyoaktif atıkların ara depolanması, radyasyon ve ısı üretiminin azalmasını sağlar. Atıklara uygulanacak bekleme süresi bir gün ile birkaç yıl arasında değişebilir.



Resim 3.4: Radyoaktif atık varilleri

- **Nihai depolama (Son depolama):**Nihai depolama radyoaktif atık yönetiminin son adımıdır. Genellikle bu işlem, geri alma amacı olmaksızın atıkları bertaraf etmek, uzun süre izleme ve gözetmeye gerek görmeden çevreden güvenli bir şekilde izole ederek muhafaza etmek olarak tanımlanır. Radyoaktif atıklar özel olarak hazırlanmış tesislere gömülür ve radyoaktif olmayan atıklarla karıştırılmaz.



Resim 3.5: Camlaştırılmış yüksek seviyeli atık depolama tesisi

Radyoaktif atıklar, kara ve okyanus ortamlarında depolanır. Yüksek seviyeli atıkların yeraltında giderimi, derin jeolojik formasyonlarda sağlanır. Aktivitesi düşük ve hızla azalan atıklar daha az derin formasyonlarda ve yüzeyde bertaraf edilir. Bu durumda genellikle birkaç yüzyıl, halk açısından hiçbir risk taşımayınca kadar atığın kontrolüne ve izlenmesine devam edilir. Su hareketleri radyonüklitleri taşıyabileceği için özellikle yer altı suyu hareketinin az olduğu veya mümkünse hiç olmadığı derin yer altı yapılarında atık giderimi yapılmalıdır.

Radyoaktif atıkların depolanmasında aranan jeolojik özellikler;

- Seçilen kayanın düşük permeabiliteli ve az kırıklı bir yapıda olması,
- Seçilen kaya türünün her türlü kimyasal sızıntıyı absorblamada ve ısı dağıtımında yeterli özellikte olması,
- Seçilen formasyonun değerli mineraller içermemesi, şimdi ve sonrası için ekonomik bir değeri olmaması,
- Bölgesel yer altı suyunun akışının olmadığı veya yaşam alanından uzağa yönlendirilmiş olması,
- Fazla yağmur almayan bir bölge olması,
- Havalandırma bölgesinin kalın olması,
- Erozyon riskinin olmaması ve çok düşük olması,
- Deprem olasılığı veya volkanik aktivite ihtimalinin çok düşük olması,
- Gelecekte bölgede oluşabilecek iklim değişikliklerinin yeraltı suyu oluşumuna etkisi olmaması.

Okyanus ortamında depolamada ise doğrudan denize boşaltma, derin okyanus tabanlarına, kıta eşiklerindeki kanyonlara ve derin okyanus havzalarına gömülerek yapılır.

UYGULAMA FAALİYETİ

Radyasyon atıklarının zararsız hale getirilmesine yönelik gerekli kontrolleri yapınız.

İşlem Basamakları	Öneriler
<p>➤ Radyoaktif atıkları ayırt ediniz.</p>	<p>➤ Düşük seviyeli atıkların özelliklerini incelemelisiniz.</p> <p>➤ Orta seviyeli atıkların özelliklerini incelemelisiniz.</p> <p>➤ Yüksek seviyeli atıkların özelliklerini incelemelisiniz.</p>
<p>➤ Radyoaktif madde kullanımından oluşan atıkların çevreye verilme sınırlarını tespit ediniz.</p>	<p>➤ Sıvı atıkların kanalizasyon sistemine verilme sınırlarını incelemelisiniz.</p> <p>➤ Katı ve gaz halindeki atıkların çevreye verilme sınırlarını incelemelisiniz.</p>
<p>➤ Radyoaktif atıkların biriktirme ve muhafaza yerlerini kontrol ediniz.</p>	<p>➤ Atık biriktirme kabının içerisine yeterli büyüklükte plastik torba yerleştirilip yerleştirilmediğini incelemelisiniz.</p> <p>➤ Biriktirme kabı dolduğunda plastik torbanın ağzı sıkı bir şekilde kapatılarak verilen etiket doldurularak yapıştırılıp yapıştırılmadığını incelemelisiniz.</p> <p>➤ Uzun süreli atık bekletme yerlerinin bina içerisinde bodrum katı, bina dışında girişi kontrollü ayrı bir baraka veya beton kümbet şeklinde de olup olmadığını incelemelisiniz.</p> <p>➤ Radyoaktif atıklar içerisine tehlikeli kimyasal maddeler veya başka zehirleyici maddeler karıştırılıp karıştırılmadığını incelemelisiniz.</p> <p>➤ Katı radyoaktif atıkların uzun süreli bekletme depolarında plastik torbaların yüzeylerindeki radyasyon doz şiddeti 5 $\mu\text{Sv/saat}$ (0.5 mR/saat) değerine düşüncüye kadar bekletilip bekletilmediğini incelemelisiniz.</p>

<p>➤ Radyoaktif atıkların uygun araç ve taşıtlarla taşındığını kontrol ediniz.</p>	<p>➤ Tesis içerisinde taşıma işlemi sırasında atık bacaları ve yürüyen bantların kullanılıp kullanılmadığını incelemelisiniz.</p> <p>➤ Atık torbalarının elde taşınıp taşınmadığını incelemelisiniz.</p> <p>➤ Atık torbalarının tekerlekli, paslanmaz çelikten yapılmış ve bu iş için ayrılmış araçlar ile taşınıp taşınmadığını incelemelisiniz.</p>
<p>➤ Radyoaktif atıkların uygun bir şekilde izale ve imha edildiklerini kontrol ediniz.</p>	<p>➤ Radyoaktif atıkların ara depolanmasını incelemelisiniz.</p> <p>➤ Radyoaktif atıkların nihai depolamasını incelemelisiniz.</p>

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyarak doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Aşağıdakilerden hangisi, bir radyoaktif maddenin başlangıçtaki aktivite değerinin yarıya düşmesi için geçen süredir?
A) Yarılanma süresi
B) Çevreye verilme
C) ALI
D) Lisans sahibi
E) Radyoaktif atık
2. Aşağıdakilerden hangisi, düşük seviyeli atıklardan değildir?
A) İşçi tulumları
B) Taşıma kapları
C) Enjektör
D) Yeniden işlenilmeyecek olan kullanılmış nükleer yakıt
E) Nükleer güç santrallerinin hizmetten çıkarılması sırasında oluşan atık
3. Aşağıdakilerden hangisi, sıvı radyoaktif atıklarla ilgili uyulması gerekli hususlardan değildir?
A) Sıvı radyoaktif atıklar, ünite içerisinde belirlenecek ve altında (T) dirsek olmayan bir lavabodan atık su sistemine bırakılır.
B) Atık biriktirme kabının içerisine yeterli büyüklükte ve uç kısımları kabın üst kısmından dışarıya taşacak şekilde bir plastik torba yerleştirilir.
C) Atık su sistemine bırakılacak bütün radyoaktif sıvılar su içerisinde çözülebilir ve dağılabilir özellikte olmalıdır.
D) Asidik çözeltiler atık su sistemine bırakılmadan önce nötralize edilir.
E) Atık su sistemine bırakılan sıvı, zehirli maddeleri veya diğer kimyasal maddeleri bulunduruyorsa lisans sahibi tarafından atık su sistemine bırakılmadan önce bölgesel yetkili otoritelerden izin alınır.
4. Aşağıdakilerden hangisi, gaz halindeki radyoaktif atıklarla ilgili uyulması gerekli hususlardandır?
A) Günlük çalışmalar için kullanılacak olan katı radyoaktif atık biriktirme kabının kapağı ayak pedalı ile açılır olmalıdır.
B) Atık biriktirme kabının içerisine yeterli büyüklükte ve uç kısımları kabın üst kısmından dışarıya taşacak şekilde bir plastik torba yerleştirilir.
C) Lisans sahibi, gaz atıkları atmosfere salıvermek için ilgili kurumca önceden onaylanmış olan proje çerçevesinde uygun bir sistem kurmakla yükümlüdür.
D) Radyoaktif atıklar içerisine tehlikeli kimyasal maddeler veya başka zehirleyici maddeler karıştırılmaz.
E) Atıkları tesis içerisinde taşıma işlemi sırasında atık bacaları ve yürüyen bantlar kullanılmaz.

5. Radyasyon kirliliğinin değerlendirmesini yapan kurum, aşağıdakilerden hangisidir?
- A) Tarım Bakanlığı
 - B) Çevre ve Orman Bakanlığı
 - C) Sağlık Bakanlığı
 - D) Milli Eğitim Bakanlığı
 - E) Türkiye Atom Enerjisi Kurumu

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. Aşağıdakilerden hangisi, sıvı atıkların toplandığı atık kapların özelliklerindendir?
A) Çalışma alanlarından en az 1 metre uzaklıkta bulunması
B) Radyasyon tehlike sembol ve işaretlerinin bulunmaması
C) Kabin içine bez bir torba yerleştirilmesi
D) 20 litre hacminde galvenize saçtan yapılmış, taşıma sapı ve flanşlı bir kapağı olan güğümler
E) Atılma tarihi ve radyoaktif maddeyi depolayan kişinin ismi belirtilmemesi
2. Aşağıdakilerden hangisi, atık kaplarının kayıtlarında yapılması gereken hususlardandır?
A) Radyoaktif maddeyi depolayan kişinin ismi belirtilmeli
B) Atık kabı çalışma alanlarında depolanıyorsa zırhlanmaları gereklidir
C) Kabin dış yüzü uygun bir çözücü ve ıslatılmış bir bez parçası ile silinerek dekontamine edilmesi lazımdır
D) Seyreltme metodu genel olarak alçak aktiviteli sıvı atıklara uygulanır
E) Buharlaştırma, sulu ve heterojen sıvı atıklar için en geniş şekilde kullanılan yoğunlaştırma metodu
3. Aşağıdakilerden hangisi, radyoaktif maddeleri daha küçük bir hacme indiren veya toplam atık hacmini azaltan herhangi bir atık işleme metodlarından değildir?
A) Birlikte Çökme (kompresipitasyon)
B) İyon Değişimi
C) Sıkıştırma
D) Yoğunlaştırma
E) Seyreltme
4. Aşağıdakilerden hangisi iç radyasyondan korunmak için alınan önlemlerden değildir?
A) Özel solunum cihazların kullanılması
B) Tam yüz maske ve filtrelerin kullanılması
C) Koruyucu elbise giyilmesi
D) Toprak, beton, çelik ve kurşun gibi koruyuculuğu yüksek materyal kullanma
E) Bölgedeki gıda ve suların tüketilmemesi
5. Çevre kirliliğine neden olan en büyük radyasyon kaynağı aşağıdakilerden hangisidir?
A) Nükleer serpinti
B) Nükleer güç santralleri
C) Tüketici ürünleri
D) Geiger-Müller dedektörleri
E) Sintilasyon dedektörleri

6. Aşağıdakilerden hangisi radyasyon birimlerinden değildir?
- A) Curie
 - B) Joule
 - C) Becquerel
 - D) Sievert
 - E) Gray
7. Aşağıdakilerden hangisi, nihai depolamayı ifade eder?
- A) Atıklara uygulanacak bekleme süresi bir gün ile birkaç yıl arasında değişebilir.
 - B) Geri alma amacı olmaksızın atıkları bertaraf etmek, uzun süre izleme ve gözetmeye gerek görmeden çevreden güvenli bir şekilde izole ederek muhafaza etmektir.
 - C) Kısa yarı ömürlü izotopları içeren atıklara uygulanabilir.
 - D) Radyasyon ve ısı üretiminin azalmasını sağlar.
 - E) Hemen işleme, ambalajlama ve zararsız hale getirmek için aktivite seviyesi çok yüksek olduğu halde, depolama ile aktivitesi yeter derece de kalabilecek atıklar için uygundur.

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	B
3	D
4	E
5	C

ÖĞRENME FAALİYETİ 2'NİN CEVAP ANAHTARI

1	E
2	A
3	B
4	D
5	C

ÖĞRENME FAALİYETİ 3'ÜN CEVAP ANAHTARI

1	A
2	D
3	B
4	C
5	E

MODÜL DEĞERLENDİRME CEVAP ANAHTARI

1	D
2	A
3	E
4	D
5	A
6	B
7	B

KAYNAKÇA

- BONCUKOĞLU Recep, **Radyoaktif Atıkların Arıtılması**, A.Ü. Yayını, Erzurum, 2002.
- TEKBAŞ Ömer Faruk, **Çevre Sağlığı**, Gülhane Askeri Tıp Akademisi Basımevi, Ankara, 2010.
- Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği
- Radyasyon Doz Limitleri Hakkında Yönetmelik
- Radyoaktif Madde Kullanımdan Oluşan Atıklara İlişkin Yönetmelik
- <http://www.taek.gov.tr>
- sdu.edu.tr
- www.nukleerbilimler.hacettepe.edu.tr
- www.atauni.edu.tr
- www.ctf.edu.tr