

RADYASYONDAN KORUNMA

Ertuğrul YILMAZ

HDM Kalite Kontrol Teknolojileri Hizmetleri Ltd.
Çobanyıldızı sok. 100 Yıl APT.
06680- Kavaklıdere
Ankara, Türkiye

Tel: 312 467 25 27
Fax: 312 467 25 28
e-mail: yilmaz@hdm.com.tr

ÖZET

Radyasyon günümüzde bir çok yararlı amaç için kullanılmaktadır. Radyasyonun bu yararlı yönü olduğu gibi, canlı organizmalara zarar verme özelliğinden dolayı, kullanımı sırasında bu zararlı yönü de dikkate alınmalıdır. Tecrübeler göstermiştir ki, eğer, radyasyonun etki ve tehlikeleri iyi anlaşılır, bu tehlikeleri minimuma indirgeyecek önlemler alınırsa radyasyon ile güvenli bir biçimde çalışmak mümkündür.

Radyasyon insan duyu organlarınca -görme, duyma, tat alma, koklama ve dokunma- saptanamaz bir tehlikedir. Bu yüzden, belli bir çalışma alanındaki radyasyon değeri, radyasyon uyarı ve ölçüm cihazları yardımıyla saptanmalı ve radyasyondan korunma kuralları mutlaka uygulanmalıdır.

ABSTRACT

Penetrating radiation serves many useful purposes, but it can also damage or destroy living organism, and these effect must be considered when radiation is used. Experience has shown that radiation can be used safely if its dangers are understood and and work with radiation to planned to minimize these dangers and eliminate unnecessary exposure.

The human sense -hearing, sight, taste, smell and touch- cannot detect ionization radiation. Therefore, we must use radiation detection and measuring devices to determine the radiation levels present in any situation and also we must apply and radiation protection rules.

Keywords: Radiation protection, Biological effects, Dose limits, Regulations, Formulas

RADYASYONDAN KORUNMA

GİRİŞ

Genelde insanların radyasyona bakış açıları, radyasyonun ve onun tehlikeleri hakkında bir şey bilmemekten kaynaklanan "bana hiç bir şey olmaz" mantığıdır, ya da, fobik derecedeki bir korku ile "radyasyona uğraşmama, bulaşmama ve radyasyona karşı olma!" mantığıdır.

Mesleği, endüstriyel radyografik yöntemle malzemelerin tahribatsız muayenesi olan bizlerin radyasyonla uğraşmama şansı yoktur. Bu yüzden yapmamız gereken, "bana bir şey olmaz mantığı ile çalışmak yerine, radyasyon ve tehlikeleri hakkında tüm bilgileri edinip, bilginin verdiği cesaretle, radyasyondan fobik derecede korkmadan, kendimizi ve çevremizi radyasyonun tehlikelerinden koruyarak işimizi yapmak olmalıdır.

1. RADYASYON NEDİR?

Radyasyon, radyoaktif atom çekirdeğinin parçalanması ve bu arada kendisi yeni bir atom çekirdeğine dönüşürken çevresine alfa (α), beta (β) ve gama (δ) ışınları yaymasıdır. Alfa ışını 2 proton ve 2 nötrondan oluşan bir helyum çekirdeğidir, diğerlerine göre daha ağırdır ve pozitif yüklüdür. Beta ışını negatif yüklü elektronlardan oluşur ve alfa'ya göre daha hafiftir. Gama ışınları ise salt enerjiden oluşan elektromanyetik ışınlardır.

Bu ışınlar dışında endüstride kullanılan X-ışınları da vardır. X-ışınları (röntgen ışınları), X-ışını tüplerinde elektriksel olarak üretilirler. Endüstride kullanılan gama ışınları ise Ir-192, Co-60 v.b. izotopların bozunması sonucunda elde edilirler. X ve gama ışınlarının ayrımı gerçekte tarihseldir ve bu iki ışınım türünün özellikleri arasında üretim ve oluşum şekli dışında hiç bir fark yoktur.

Radyasyonun ses, ısı, ışık etkileri yoktur, gözle görülemezler, duyulamazlar, hissedilemezler yani hiç bir duyu organımızla algılayamayacağımız bir tehlikedir. Yüksek enerjileri, nüfuz etme kapasiteleri ve iyonlaştırma özelliklerinden dolayı kolaylıkla canlı organizmalara nüfuz edip, organizmaları oluşturan hücrelere zarar verebilirler.

2. IŞINIM BİYOLOJİSİ

2.1. Radyasyonun Tahrip Mekanizması:

Tüm canlı organizmalarının yapı taşları hücrelerdir. Farklı canlı türlerine göre hücrelerde farklılıklar olmakla birlikte hücre yapıları genelde birbirine benzerler. Hücre yapısını, hücre çeperi, hücre sıvısı (proto yada stoplazma) ve hücre çekirdeği olmak üzere üçe ayırabiliriz. Hücre çeperi Oksijen ve besin geçişine izin verip, hücre sıvısı ve hücre çekirdeğini çevreleyen bir duvar gibidir. Hücre sıvısının % 80'i sudan oluşmaktadır. Bu sıvının içerisinde çeşitli tuzlar, yağlar ve besin maddeleri bulunur. Oksijen ve besin transferini sağlayan enzimler de bu sıvının içerisinde bulunmaktadır.

Hücrenin en önemli yapılarından biri de tüm hücre işlevlerinin kontrol edildiği ve organizmanın tüm kalıtsal bilgilerinin de toplandığı, kromozomları içeren hücre çekirdeğidir. Hücre çekirdeğinin bu özelliğinden dolayı radyasyondan korunmada ayrı bir önemi vardır. Hücre çekirdeğine ulaşan yeterli enerji seviyesindeki bir radyoaktif ışınım ya hücrenin tamamen ölmesine ya da kromozom yapısının değişimine sebep olabilir. Kromozom yapılarındaki bu değişim kalıtım bilgilerinin değişimine de sebep olur. Bu değişime "mutasyon" denir. Tüm canlılar doğal ortama adapte olabilmek için mutasyona uğramak zorundadırlar. Fakat burada bahsedilen mutasyon olumlu değil olumsuz bir değişimdir. Radyasyonun sebep olabileceği (bence) en olumsuz sonuçtur.

Hücre sıvısının yüzde sekseninin sudan oluştuğunu belirtmiştik. Radyoaktif ışınım, iyonlaştırıcı özelliğinden dolayı, su moleküllerini birbirinden ayırarak yeni moleküller (OH, H, H₂O₂, HO₂) meydana getirebilir. Bu oluşan yeni moleküllere 'Radikal Hidrojensuperoksit', 'Oksijenlisu' yada 'Hücre zehiri' adı verilir. Hücre zehiri protoplazmadaki önemli molekülleri (enzimleri vb.) tahrip eder. Bunun sonucu hücre ölür veya bölünemez olur. Bölünemeyen hücreler giderek büyüyerek dev hücreler oluştur ve yeterince beslenemedikleri için ölürlere (doku ölümü=nekroz). Hücrelerin bu yolla tahrip edilmesine radyasyonun doğrudan, etkisi denir. Kromozomların yapışkan hal alıp kırılarak hasara uğramasında dolaylı (direct) etki olarak tanımlanır ve oluşma olasılığı diğerine oranla daha azdır.

2.2. Vücudumuzun Radyasyona Hassasiyeti:

Belli bir doz miktarı vücudun farklı organları için farklı etki gösterir. Yani vücudumuzun radyasyona hassasiyeti organdan-organa, bölümden-bölüme değişir. Örneğin, hücre değişimi hızlı olan kan ve kanın üretildiği ilikler ve embriyo radyasyona karşı çok hassastırlar. Bunun tersine ciğer hücreleri ya da deriler hücre değişimi fazla olmadığından daha az hassastırlar.

Vücudun tamamı 0.25 Sv'lik bir radyasyona (öldürücü dozun otuzda biri) maruz kalırsa vucuttaki lenfositlerin büyük bir bölümü ölür. Bunun sonucunda vücudun mikroplara karşı direnci kaybolur. Bu durum geçicidir ve ışınlanma sonrası günlerde dalak, lenf bezleri ve kemik iliğinde canlı kalabilmiş ana hücreler yeni lenfositler yapar.

0.5 Sv'lik bir ışınlanma ise hayalar ve yumurtalıklardaki üreme hücrelerinin hemen hepsini öldürür, böylece kişi geçici kısırlaşmış olur. Daha fazla dozlardaki ışınlanma(4 Sv) kalıcı kısırlaşmaya dahi sebep olabilir.

Vücudumuzun radyasyona hassasiyeti Tablo 1'de gösterilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken husus, organların radyasyondan etkilendiği alt sınır değerleri çok daha başka değişkenlere de bağlı olduğundan daha az miktardaki doz değerleri de hasara yol açabilirler. Bu değerler hasara yol açma olasılığı yüksek, en düşük doz değerleridir.

2.3. Radyasyonun Genel Etki ve Belirtileri:

Vücudun dıştan gelen yüksek dozda radyasyona maruz kalması sonucunda "Akut Radyasyon Hastalığı" belirtileri görülmeye başlanır. Bu belirtiler, radyasyona maruz kalmış kişide görülen (somatik) ve diğer kuşaklarda görülen (genetik) etkiler diye kabaca ikiye ayrılabilir.(Bak. Tablo-2)

Tablo 1 : Vücudumuzun (Organ, Vücut bölümleri) radyasyona hassasiyeti

Radyasyon Hassasiyeti	Organ (Vücut Bölümleri)	İlk (hafif) Etki Dozu, Sievert (Sv)	Ağır hasar dozu Sievert (Sv)
Yüksek	Lenf Damarları Dokular Lenf Düğümleri Dalak	0.25 - 0.5	4 – 8
Yüksek	İlik Kan Hücreleri	0.5 - 1	5
Yüksek	Hayalar	0.5	3 – 4
Yüksek	Yumurtalıklar	0.5	3.5 – 4
Yüksek	Deri	0.25	0.25 – 3
Orta	Mukoza	3	8.5 – 18
Az	Sinir sistemi Ciğer	1 - 40	30 – 60

Tablo 2 : Radyasyonun genel etkileri

	Somatik	Genetik
İlk belirtiler	Kan hücrelerinde azalma Cilt yanıkları Saç dökülmesi, Ölüm	Gelişme çağındaki yapı bozuklukları
Sonraki etkiler	Lösemi Kanser Hayat süresinin kısalması (yaşlılık belirtileri)	Diğer kuşaklara (torunlara) Etki

2.3.1. Somatik Etkiler:

Yüksek dozda radyasyona maruz kalmış bir kişide (Örn: 3 Sv) aşağıdaki belirtiler görülür.

2.3.1.1. Kan Belirtileri:

İlk 48 saatte kanda lenfosit sayısı azalır (lenfosit sayısı $< 1000/\text{mm}^3$) ve alyuvar öncesi hücreler (retikülosit) kaybolur. İlk 2 haftada bazı akyuvarların (granülosit) sayısı giderek azalır, 30 gün sonra akyuvar sayısı çok düşer. Kanın pıhtı yapıcı hücreleri de (trombositler) akyuvarlara benzer şekilde azalır. Her çeşit mikroplu hastalık, ateş, apseler, ağız boğaz iltihapları, herhangi bir yerden kanama, deride çürükler (ekimoz) ve 1 mm büyüklüğünde kanamalar (peteşi) görülür. Üçüncü hafta saçlı deride ağrı ve saç dökülmesi başlar. Bulantı, kusma, zayıflama, ve yorgunluk vardır, iyileşme haftalar ve aylar alabilir yada hasta kanama ve enfeksiyonlar sonucu ölebilir.

2.3.1.2. Mide-Barsak Belirtileri:

Radyasyon alınmasından bir kaç saat sonra iştahsızlık, bulantı, kusma ve ishal olur. Bir kaç gün süren bir iyileşmeden sonra bu belirtiler ateş ve kanamalarla tekrarlayabilir. Bu hastalar, kanlı bir ishale (kolit) ölebilirler.

2.3.1.3. Deri Belirtileri:

Deride kızarma, yanma, kaşınma, yanık yaraları ve kıl dökülmesi olur.

2.3.1.4. Geç belirtiler:

Radyasyonun alınmasından 50 gün sonra üreme hücrelerinin ölümü sonrası kısırlık, aylar ve yıllar sonra gözde perde (katarakt), kemik iliği yetmezliği, deride incelme, kuruluk, nasırlar ve deri kanserleri, hamile kadınlarda düşük veya anormal çocuk doğması, 18 yaşın altındaki çocuklarda beden ve zeka gelişmesinin yavaşlaması vb. belirtiler görülebilir. Tablo 3'te doz değerlerine göre somatik belirti ve etkiler özetlenmiştir.

Tablo 3: Doz değerlerine göre somatik belirti ve etkiler.

Vücut Bölgesi		Doz Değeri mili Sievert (mSv)	Belirti ve Etkiler
Bütün Vücut		0-500	Gözlenebilir hasar yok
		500-2000	Radyasyon hastalığı 1 (Bulantı, kusma, halsizlik, kanda değişmeler)
		2000-4500	Radyasyon hastalığı 2 (30-60 gün sonra %50'den az ölüm olasılığı, tedavi gereklidir)
		4500-6000	Radyasyon hastalığı 3 (30 gün sonra % 50 ölüm olasılığı, tedavi gereklidir)
		6000'den fazla	Radyasyon hastalığı 4-5 (30 gün içinde %100 ölüm, tedavi gereklidir)
Vücutun Bir Kısmı	Derinin Işınlanması	200	Saç dökülmesi
		3000	1. derece yanık
		10000	2. derece yanık
		50000	3. derece yanık
	Hayaların Işınlanması	300-600	Geçici kısırlık (3 Hafta)
		6000	Sürekli kısırlık
	Yumurtalıkların Işınlanması	1700	Geçici kısırlık (3 Hafta)
3000		Sürekli kısırlık	
Gözlerin Işınlanması	-----	Göze perde inmesi (Katarakt)	

2.3.2. Genetik Etkiler:

Üreme hücrelerinin ışınlanması sonucunda, ışınlanan kişiden sonraki nesillerde görülen etkilerdir. Küçük radyasyon dozları bile üreme hücrelerinde değişikliklere (mutasyon) neden olabilir. Mutasyonlar bir defa olduklarında kalıcıdır. Sınır doz değeri olmayan bu etkiler bir kaç nesil sonraya kadar ortaya çıkabilir.

3. RADYASYONDAN KORUNMA YASALARI

Radyasyon ve radyoaktif maddelerin kullanılması sonucu meydana gelebilecek tehlikeli durumlardan korunmak için tüm ülkeler yasal düzenlemeler yapmışlardır. Ülkemizde Radyasyon Sağlığı ve güvenliği konusundaki tüzük ve yönetmeliklerin hazırlanması görevi Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) na verilmiştir. "İyonlaştırıcı radyasyon kaynaklarını bulunduran, kullanan, imal, ithal ve ihraç eden, alan, satan, taşıyan ve depolayan, resmi, özel kurum ve kuruluşlar ve gerçek kişilerce uyulması gereken kurallar" hazırlanan tüzükte belirtilmiştir.

Bu tüzük uyarınca, radyasyondan etkilenebilecek insanlar üç gruba ayrılmış ve yıllık maksimum doz değerleri şöyle belirtilmiştir:

A- Görevi gereği, radyasyon kaynaklarıyla çalışan ve radyasyona maruz kalan kişilerin, iç ve dış radyasyon kaynaklarından bütün vucutlarının alacağı **yıllık doz 5 rem'i (50 mSv)** geçmeyecektir.

B- Radyasyon görevlisi sayılmayan kişilerin maruz kalacakları ve toplumdaki diğer kişilerin maruz kalacakları iç ve dış radyasyon dozları toplamı, bütün vucut için, **yılda 0.5 rem'i (5 mSv)** geçmeyecektir.

Madde 6- Onsekiz (18) yaşından küçükler, bu tüzük kapsamına giren işlerde çalıştırılmazlar.

Tablo 4'te, Alman radyasyondan korunma kuralları uyarınca radyasyona maruz kalabilecek insan gruplarının alabilecekleri maksimum doz değerleri verilmiştir. Tabloda belirtilen "Çalışma grubu A" yıllık ışınlamaların doz eşdeğer sınırlarının onda üçünü geçebileceği çalışma alanlarında çalışanları, "Çalışma grubu B" ise yıllık ışınlamaların doz eşdeğer sınırlarının onda üçünü aşılmasının beklenmediği çalışma alanlarında çalışanları, tanımlamaktadır.

İnsan vücudu için zararlı radyasyon alt sınırı genel olarak 0.25 Sv olarak saptanmıştır. Ama yinede insan vücudu için hiç bir hasara yol açmayacak radyasyon alt sınırının olmadığı akıldan çıkartılmayıp, mümkün olduğunca radyasyondan kaçınılmalıdır.

Tablo 4: Alman radyasyondan korunma kuralları uyarınca radyasyona maruz kalabilecek insan gruplarının alabilecekleri maksimum doz değerleri.

İNSAN GRUPLARI		VÜCUT BÖLGESİ	Doz Sınır Değeri (Bir Çalışma Yılı -2000saat- Süresinde)	Doz Sınır Değeri (Birbirini takip eden 3 ay içinde)
1.Mesleği gereği radyasyonla çalışanlar	Çalışma Grubu A ¹	Tüm Vücut	50 mSv	25 mSv
		Vücudun bir bölümü	500 mSv	250 mSv
	Çalışma Grubu B ²	Tüm Vücut	15 mSv	7.5 mSv
		Vücudun bir bölümü	150 m Sv	75 mSv
2.Radyasyonda özellikle korunması gereken insanlar	a)18 yaşın altındakiler	Tüm Vücut	5 mSv	-----
	b)Hamileler	Rahim	-----	5 mSv/ay
3.Kontrol ve gözetim bölgesindekiler		Tüm Vücut	5 mSv	-----
4. Diğer kişiler		Tüm Vücut	1.5 mSv	-----

4. RADYASYON KAYNAKLARI:

Endüstride kullanılan radyoaktif maddelerin yaydığı radyasyon dışındaki kaynakları üç ana başlık altında toplayabiliriz.

4.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

4.1.1. Kozmik yada atmosferdeki radyasyon: Bize en yakın yıldız Güneş, saniyede milyarlarca hidrojen bombasının patladığı bir radyasyon kaynağıdır. Dünyaya ulaşan bu radyasyonun önemli bir bölümü atmosfer (özellikle ozon tabakası) tarafından soğrulur. Aynı zamanda hidrojen atomları radyoaktif izotop (H3) haline dönüşür. Bu yüzden atmosferimiz de bir radyoaktif kaynağıdır. Atmosferdeki radyasyon; deniz seviyesinde yaklaşık 0.3 mSv/yıl ve 1500 metre de ise yaklaşık 0.5 mSv/yıl kadardır.

4.1.2. Yerküre doğal radyasyonu: Yeryüzündeki doğal radyasyon, Uranyum, Thorium, Radyum gibi radyoaktif maddelerin ve Potasyum 40, Karbon 14 gibi izotopların yaydığı radyasyondur ve yılda yaklaşık 0,2 mSv değerindedir. Yeryüzünde en yüksek radyasyon değerine sahip bölge Hindistan'ın Kerela bölgesidir ve bu bölgede yılda 25 mSv.radyasyon ölçülmüştür.

Potasyum 40 ve Karbon 14 izotoplarının hemen hemen her maddede olduğunu düşünecek olursak her maddeyi bir radyoaktif kaynak olarak ta düşünebiliriz. Örneğin: Kum 0 - 100 µ Sv/yıl, beton 100 - 200 µ Sv/yıl, kaya 200 - 400 µ Sv/yıl, Granit 400-2000 µSv/yıl oranında radyasyon yayarlar.

4.2. Tıbbi Amaçla Kullanılan Radyasyon Kaynakları: Tıbbi amaçlı, teşhise yönelik röntgen ışınları ikinci en büyük radyasyon kaynağıdır. Bir göğüs yada diş röntgeni bize 0,1 mSv kadar radyasyon verir. Aynı şekilde kalça kemiği çevresi 0.9 mSv, karın 1.5 mSv, omurga röntgeninin çekilmesi 4 mSv'lik radyasyon verir.

4.3. Diğer Radyasyon Kaynakları: İnsan vücudu da içerdiği Potasyum40 ve Karbon14 izotoplarından dolayı bir radyasyon kaynağıdır ve yaklaşık 120 Bequerel/kg oranında radyasyon yayarlar. Bunun dışında, televizyon seyretmek, fosforlu aletler (saat) kullanmak, uçak yoculukları ile yıllık yaklaşık 0.01 mSv'lik radyasyon alırız.

5. RADYASYONUN TEHLİKELERİNE FARKLI BİR BAKIŞ

1 milirem'e (10 micro sievert) maruz kalmak , yedi milyon radyasyon parçacığı tarafından çarpılmak demektir. Herkese, hayatının her saniyesinde, yaklaşık 15000 radyasyon parçacığı çarpmaktadır. Yıllık toplamları 500 milyarı, tüm ömür boyunca da sayıları 40 trilyonu bulan bu parçacıklar doğal kaynaklardan gelir. Bu parçacıkların her biri kanser yapma potansiyeline sahiptir ve hep söylenildiği gibi "hiç bir radyasyon seviyesi tamamen güvenli değildir". Peki nasıl oluyorda hepimiz kanserden ölmüyoruz? Bu sorunun cevabı, parçacıkların kansere yol açabilmesi için büyük miktarlarda olması gerektiği değildir. Bizi kurtaran şey aslında, bu parçacıkların birinin kansere yol açma olasılığının çok düşük olmasıdır: Bu parçacıkların birinin kansere yol açma olasılığı 50 katrilyonda birdir. Kanserlerin sadece yüzde birinin yarısı, bize hayatımız boyunca çarpan radyasyon parçacıklarından kaynaklanır.

Alınan her 1 milirem (10 microsievvert) radyasyon, kanserden ölme riskini 8 milyonda bir oranında artırır. Bu risk, ortalama ömrümüzün 1.2 dakika kısalması anlamına gelir. Ortalama ömrümüzü aynı ölçüde kısaltan diğer etkinlikler ise şöyledir: Sokakta üç kez karşıdan karşıya geçmek, bir sigaradan yaklaşık üç nefes almak (her sigara ortalma ömrü 10 dak. kısaltır), kilolu birinin fazladan 10 kalori alması (örn: tereyağlı bir ekmekten ısırılmış bir parça), 4.5 km. fazla araba kullanmak.

Radyasyonun genetik etkilerini diğer etkinliklerimizle kıyaslarsak; 38.85 gram alkol, genetik olarak 140 mrem (1.4 mSv)'lik radyasyona, aynı şekilde, bir fincan kahve 2.4 mrem (24 microSv)'lik radyasyona eşittir. Ayrıca yapılan araştırmalar 1 mrem (10 microSv)'lik radyasyonun kısırlığa sebep olma olasılığının, beş saat pantolon giymekle aynı olduğunu göstermektedir.

Yazımızın başında, genelde insanların radyasyona bakış açılarının, ya "bana hiç bir şey olmaz" mantığıdır, ya da, fobik derecedeki bir korku ile "radyasyonla uğraşmama, bulaşmama ve radyasyona karşı olma!" olduğundan bahsetmiştik. İnsanların bu bakış açısı aşağıdaki "gerçeğe" verilen tepkiye benzemektedir.

"Bir sigara insan ömrünü yaklaşık 25 microSv'lik radyasyon kadar kısaltıyor."

Yukarıdaki gerçeğe sigara içmeyenlerin yorumu:

"Yani 25 microSv. insan vücudun da bir sigara içimi kadar bir hasara yol açıyorsa bu sigara içenler çıldırması olmalı."

Yukarıdaki gerçeğe sigara içenlerin yorumu:

"Yani 25 microSv. insan vücudun da bir sigara içimi kadar bir hasara yol açıyorsa bu radyasyon sanıldığı kadar tehlikeli değilmiş."

İnsanların doğasında olan gerçekleri kendilerince yorumlama ve davranışlarını kendi yorumlarına göre ayarlama olgusu burada da kendini göstermektedir. Bu açıdan bakınca radyasyondan korunmanın kişinin kendi sorumluluğu olduğu, davranışlarından doğacak zararın en çok kendisini etkileyeceği düşünülebilir. Ancak radyasyondan korunma(ma) daki davranışlar sadece kişinin kendisini etkilemekle kalmaz, başkalarına da zarar verebileceği için sadece bu işte çalışanın kendi sorumluluğunda değil işverenin de sorumluluğundadır.

6. IŞINIM FİZİĞİ

6.1. Genel Birimler:

10^{12}	→	Tera (T)	1 saat(h) = 60 dakika (dak)
10^9	→	Giga (G)	1 dakika = 60 saniye (s)
10^6	→	Mega (M)	
10^3	→	Kilo (K)	1 Çalışma yılı = 50 hafta
1			1 Çalışma haftası = 5 gün
10^{-3}	→	mili (m)	1 Çalışma günü = 8 saat
10^{-6}	→	micro (μ)	1 Çalışma yılı = 2000 saat
10^{-9}	→	nano (n)	
10^{-12}	→	pico (p)	

6.2. Radyasyon Birimleri ve Tanımları:

6.2.1. Aktivite (A): Radyoaktif bir maddenin saniyedeki bozunum sayısıdır. Birimi Bequerel (Bq), eski birimi Curie (Ci) dir. Curie, 1 gr. Radyumun aktivitesi olarak tanımlanır ve 1 gr Radyum saniyede 37×10^9 bozunuma uğradığına göre ;

$$1 \text{ Curie} = 37 \times 10^9 \text{ Bequerel dir.}$$

6.2.2. İyonlaşma Dozu (J): X veya Gamma ışınlarının, normal hava koşullarında (0 C°, 760 mmHg), 1Kg. havada oluşturduğu iyon miktarıdır.

Birimi: Amper x saniye / kg = Coulomb/kg. , eski birimi, Röntgen (R) dir.

Röntgen, normal hava koşullarında (0 C, 760 mmHg), 1kg. havada $2,58 \times 10^{-4}$ coulomb' luk iyon oluşturan X veya Gamma ışınlarının miktarı olduğuna göre;

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ Coulomb/kg dir.}$$

6.2.3. Enerji (Absorblama, Soğrulma) Doz Birimi (D): İyonlaşma dozu sadece X ve Gamma ışınlarının havadan geçerken soğrulan dozu ölçmek için tanımlanmıştır. Yüksek enerjili x-ışınlarının alfa, beta v.b. ışınlarının herhangi bir maddeden geçerken soğrulan enerjisinin ölçümünde Röntgen ve Coulomb/kg yetersiz kalmıştır. Bu nedenle radyasyonun cinsinden, enerjisinden ve soğurucu ortamdan bağımsız yeni bir birime (Gray) gerek duyulmuştur.

1 Gray(Gy), ışınlanan maddenin 1 kg' ına , 1 Joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır.

Eski birim Rad (rd) ise ışınlanan maddenin 1 kg' ına 10^{-2} Joule'lük enerji veren radyasyon miktarı olduğuna göre;

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} / \text{kg} = 10^{-2} \text{ rad}$$

veya $1 \text{ rad} = 10^2 \text{ Gy}$ dir.

6.2.4. Eşdeğer Personel Dozu (H): Radyasyonun bir maddede oluşturacağı etkiler soğrulan enerjisine (D) bağlıdır. Ancak biyolojik bir maddede görülen etkiler başka faktörlere de bağlı olduğundan, soğrulan doz biyolojik etkiyi hesaba katacak bir takım faktörler ile çarpılarak bulunabilir.

$$H = D \times q$$

q = biyolojik faktör katsayısı (x ve gamma ışınları için bire eşittir)

Eşdeğer (Personel) Doz birimi Sievert (Sv) = J/kg dır, eski birim ise Rem (rem) dir.

Sievert biyolojik bir maddenin 1 kg.'ına 1 Joullük enerji veren radyasyon miktarıdır.

Rem (Röntgen Equivalent Man) ise biyolojik bir maddenin 1 kg'ına 0,01 Joullük enerji veren radyasyon miktarı olduğuna göre;

1 Rem (rem) = 0,01 joule / kg
 Sievert (Sv) = Joule / kg

1 Rem (rem) = 0,01 Sievert (Sv)
 1 Sievert (Sv) = 100 Rem (rem)

İyonlaşma, Enerji ve Personel Dozlarının birbirlerine dönüşümleri ise şöyledir:

Eski Birimler: 1R \cong 1 rd \cong 1 rem

Yeni Birimler: 0,258x10⁻³ As/kg \cong 0,01 Gy \cong 0,01 Sv

Tablo-5. Eski Birimlerin Yeni Birimlere Dönüşüm Tablosu

Fiziksel Büyüklükler	Eski Birim	Yeni Birim	Eski-Yeni Dönüşümü
Aktivite (A)	Curie Ci	Bequerel 1Bq=1/s	1Ci=37x10 ⁹ Bq 1Ci=37 GBq
İyonlaşma Dozu (J)	Röntgen R	Ampersaniye/kg As/kg	1R=0,258x10 ⁻³ As/kg
Enerji (soğrulma) Dozu (D)	rad rd	Gray Gy=Joule/kg	1 rd= 0,01 J/kg 1rd= 0,01 Gy
Personel Eşdeğer Dozu (H)	rem rem	Sievert= Joule/kg 1 Sv = 1J /kg	1 rem= 0,01J/kg 1 rem= 0,01 Sv

6.3. Radyasyondan Korunmada Hesaplamalar ve Bilinmesi Gereken Formüller:

Endüstriyel radyografik muayenede yüksek radyasyon veren cihazlar kullanıldığından, yeterli radyasyondan korunma önlemleri alınmadığı takdirde, çalışan personelin ve/veya çevredeki insanların yüksek radyasyon alma tehlikesi her zaman vardır. Bu yüzden, bu alanda çalışan pesonelin radyasyonun tehlikeleri, alınması gereken önlemler ve gerekli hesaplamalar konusunda eğitilmiş olması gerekmektedir. Doz hesaplamalarıyla amaç radyasyon dozunu yalnız, izin verilen maksimum değer in altında tutarak çalışmak olmayıp, bu değeri mümkün olduğunca düşük seviyelerde tutmaya çalışmak olmalıdır.

Belirli bir radyasyon alanında çalışırken alacağımız dozu minimumda tutmak için üç temel prensip vardır:

1. Mümkün olduğunca az sürelerde radyasyona maruz kalmak (zaman),
2. Radyasyon kaynağından mümkün olduğunca uzaklaşmak (uzaklık),
3. Radyasyon kaynağı ile aramıza, radyasyonu mümkün olduğunca zayıflatacak engel koymak (zırhlama)

6.3.1. Zaman: 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:

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

$$J = j \times t = (Sievert / Saat) \times Saat = (Sv / h) \times h = Sv \quad (1)$$

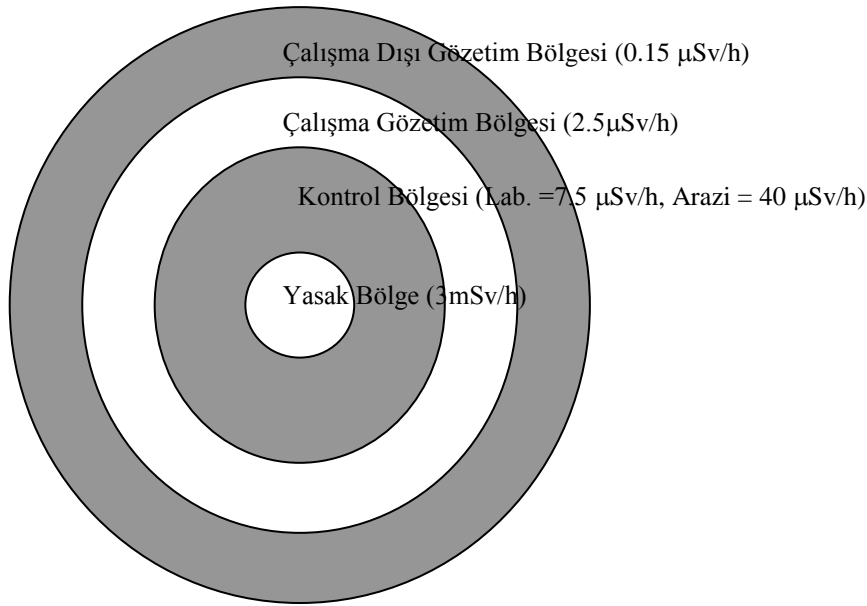
6.3.2. Uzaklık(Çalışma Bölgeleri): Radyoaktif kaynağa olan uzaklığımız arttıkça alacağımız radyasyon miktarı da azalır. Bu yüzden, radyasyondan korunma kuralları uyarınca çalışma bölgeleri ve bu bölgelerdeki maksimum doz değerleri belirlenmiştir. Şekil 1'de Alman radyasyondan korunma kurallarına göre çalışma bölgeleri gösterilmiştir. Bu bölgeler sırasıyla, yasak bölge, kontrol bölgesi, çalışma gözetim bölgesi ve çalışma dışı gözetim bölgesidir.

Yasak bölge (A): 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 izotopun takılıp dışarıda kalması durumunda film çeken personel bu bölgeye girip olaya müdahale edemez.

Kontrol bölgesi (B): Doz hızı laboratuvar koşullarında 7.5, arazi koşullarında 40 µSv/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 (C): Doz hızı 2.5 µSv/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 µSv/h'lik bölgeyi tanımlar.



Şekil 1. Radyasyon Çalışma Bölgeleri

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.

6.3.2.1. Doz Hızı Sabiti (Γ): Belirli bir gama kaynağının ışınım şiddeti 1 Gbq'lik bir aktivite için, 1 metre uzaklıktaki doz hızıyla belirlenir. Buna doz hızı sabiti denir. X-ışınları cihazları ışınım şiddeti (doz hızı sabiti) ise, 1 mA'lik tüp akımı için, 1 metre uzaklıktaki doz hızıyla belirlenir.

:

$$\Gamma_{\text{gama}} = \frac{\text{Doz Hızı} \times (\text{Uzaklık})^2}{\text{Aktivite}} = \frac{j \times (a)^2}{A} \quad (2)$$

$$= \frac{\text{Sv} / \text{h} \times \text{m}^2}{\text{Gbq}} = \frac{\text{Sv} \times \text{m}^2}{\text{h} \times \text{Gbq}}$$

$$\begin{aligned}
 \text{X-ışınları için } \Gamma_{\text{x-ışını}} &= \frac{\text{Doz Hızı} \times (\text{Uzaklık})^2}{\text{Tüp Akımı}} = \frac{j \times (a)^2}{mA} \\
 &= \frac{Sv / h \times m^2}{mA} = \frac{Sv \times m^2}{h \times mA}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Işınım kaynaklarının doz hızı sabitleri Tablo-6 ve Tablo-7'de verilmiştir.

Tablo-6. İzotopların doz hızı sabitleri (DIN 54 115 Kısım 1)

İzotop	Co-60	Ir-192	Tm-170	Se-75	Yb-169
Doz hızı Sabiti, Γ_{gama} $\frac{Sv \times m^2}{h \times Gbq}$	0.35	0.13	0.00079	0.05	0.049

Tablo-7.Sabit gerilimli X-ışını cihazının doz hızı sabitleri (DIN 54 113, Kısım 3)

Enerji (kV)	60	100	150	200	250	300	350	400
Doz hızı Sabiti, $\Gamma_{\text{x-ışını}}$ $\frac{Sv \times m^2}{dak \times mA}$	0.3	2	6.5	13	20	30	40	50

6.3.2.2. Yarı Ömür: Bir radyoaktif kaynağın başlangıç aktivitesinin yarısına düşmesi için geçen süredir. Tüm izotopların yarı ömürleri farklıdır. İzotopların yarı ömür süreleri Tablo-8'de verilmiştir.

$$A = A_0 / 2^n \tag{4}$$

A_0 = başlangıç aktivitesi, A = aktivite,
 n = yarı ömür sayısı ($n=1,2,3,\dots$)

Tablo-8. İzotopların yarı ömür süreleri

İzotop	Co-60	Ir-192	Tm-170	Se-75	Yb-169
Yarı Ömür	5.2 yıl	74 gün	125 gün	118.5 gün	31 gün

6.3.2.3. Ters Kare Kuralı: Radyoaktif kaynaktan uzaklaştıkça ışınım şiddeti uzaklığın karesi oranında azalır. (Uzaklık iki katına çıktığında ışınım şiddeti dört kat azalır.)

$$j_1 / j_2 = (a_2)^2 / (a_1)^2 \tag{5}$$

j_1 = Birinci uzaklıktaki doz hızı, j_2 = İkinci uzaklıktaki doz hızı
 a_1 = Birinci uzaklık, a_2 = İkinci uzaklık

6.3.3. Zırlama:

6.3.3.1 Zayıflatma Oranı (F_N): Her radyoaktif ışınım enerjisine, geçtiği malzemenin cinsine ve kalınlığına bağlı olarak zayıflar. Malzemeden geçen ışınım şiddetinin malzemeye gelen ışınım şiddetine oranına zayıflatma oranı denir.

$$F_N = j_0 / j \quad (6)$$

(j_0 = gelen ışınım doz hızı, j = malzemeden geçen ışınım doz hızı)

6.3.3.2. Yarı Değer Kalınlığı (HVL): Geçen ışınım şiddetini malzemeye gelen ışınım şiddetinin yarısına düşürebilmek için gereken malzeme kalınlığıdır. (Bakınız Tablo-9)

$$j = j_0 / 2^n \quad (7)$$

j_0 = gelen ışınım doz hızı, j = malzemeden geçen ışınım doz hızı,
 n = yarı değer kalınlığı sayısı ($n=1,2,3,\dots$)

Tablo-9. Malzemelerin yarı değer kalınlıkları (DIN 54 115, Kısım 1)

Malzeme Cinsi	Yarı değer kalınlığı(HVL), mm			
	Co 60	Ir 192	Yb 169	Tm 170
Aluminyum	70	50	27	20
Beton	70	50	27	----
Çelik	24	14	9	5
Kurşun	13	3	0.8	0.6
Tungsten	10	2.5	----	0.09
Uranyum	6	2.3	----	0.035

6.3.3.3. Onda Bir Değer Kalınlığı(TVL): Geçen ışınım şiddetini malzemeye gelen ışınım şiddetinin onda birine düşürebilmek için gereken malzeme kalınlığıdır. (Bakınız Tablo-10)

$$j = j_0 / 10^n \quad (8)$$

j_0 = gelen ışınım doz hızı, j = malzemeden geçen ışınım doz hızı,
 n = yarı değer kalınlığı sayısı ($n=1,2,3,\dots$)

Tablo-10. Malzemelerin ışınım kaynağı cinslerine göre onda bir değer kalınlıkları

Malzeme Cinsi	Onda bir değer kalınlığı(TVL), mm					
	100 kV	250 kV	400kV	Ir 192	Co 60	Cs 137
Beton	55	90	100	142	220	169
Kurşun	0.9	3	8	20	40	23

7. RADYASYONDAN KORUNMA İÇİN DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN GENEL HUSUSLAR

1. Işınlama süresi mümkün olduğunca kısa olmalıdır ve gereksiz ışınlamalardan kaçınılmalıdır.
2. Kapalı bir ortamda çalışılıyorsa, bu ortamda yiyecek ve içecek bulundurulmamalı ve bu ortamda yemek yenmemelidir.
3. Bu işle çalışan personel teorik ve pratik olarak çok iyi eğitilmeli. Örneğin, ucunda izotop olmayan bir kılavuz ile uzun süre pratik yaptırılmalıdır. Böylece izotopun dışarıda kaldığı süre kısaltılabilir ve olası kaza riski azaltılabilir.
4. Kurşun plaka ve benzeri donanım kullanılarak çekimlerde çok iyi zırhlama (perdeleme) yapılmalı ve mutlaka kolimatör kullanılmalıdır.
5. Kolimatör ile izotop koruyucu kabı arasındaki mesafe mümkün olduğunca kısa tutulmalı, izotopun kolimatöre gitme süresi en çok 10 saniye olmalıdır.
6. Kullanılan tüm donanımın bakımı düzenli olarak yapılmalı özellikle klavuz kablosunda hiç bir hasarın olmamasına dikkat edilmelidir.
7. Çalışma bölgesi (40 $\mu\text{Sv/h}$ lik çalışma bölgesi) uyarı işaretleri ile (şeritler, uyarıcı ışıklar v.b.) belirlenmeli ve bu bölgeye girişler kontrol altında tutulmalıdır. (Bkz.Şekil 1)
8. Tüm çalışanların üzerinde kalem dozimetresi, film dozimetre, uyarıcı (beeper) ve mümkünse doz hızı ölçer olmalıdır.
9. Her çalışma günü sonunda kalem dozimetrede okunan doz değerleri herkesin radyasyondan korunma defterine işlenmelidir.
10. Film dozimetrelere ayda bir ilgili kuruluşa gönderilerek sonuçlar yine deftere işlenmelidir.
11. Bu işte çalışacak personel işe başlamadan önce check-up yaptırmalı, özellikle kan sayımı değerleri personel dosyasında saklanmalıdır.
12. Radyoaktif izotoplar özel bir araçla ve gerekli korumalar alınarak (çelik yada kurşun bir kutu içersinde) taşınmalı ve aracın üzerinde radyoaktif madde taşındığına dair işaretler yapıştırılmalıdır. Genel ulaşım araçları kesinlikle kullanılmamalıdır.
13. Gidilecek yere trafik kurallarına uyararak, mümkün olan en kısa süre içinde , en kısa yoldan ve en güvenli bir biçimde gidilmelidir.
14. Olası bir kaza durumunda (örneğin çekirdeğin dışarıda kalması) mümkün olan en kısa zamanda bölgeden uzaklaşılmalı, 2,5 $\mu\text{Sv/h}$ doz hızı sınırı işaretlenerek hiç kimsenin bu bölgeden içeri girmemesi sağlanmalı, gerekli kuruluşlara (karakol ve Atom Enerjisi Kurumu Sağlık Fiziki Bölümü Tel: 0212 548 40 50) haber verilmelidir.

8. KAYNAKLAR

- Aslan Selçuk, Nükleer Bombalar ve Radyasyon Tehlikeleri, Bilim ve Teknik, Eylül,1986
- Becker George L., Radiographic NDT, Du Pont NDT System, E.I.du Pont de Nemours & Co.,Inc.
- Cohen Bernard L., Çok Geç Olmadan; Bir Bilim Adamının Gözüyle Nükleer Enerji, Tübitak Popüler Bilim Kitapları 10, 1995
- Endüstride Radyasyondan Korunma Kurs Notları, ÇNAEM,1990
- Halmshaw R., Industrial Radiology,Theory and Practice, Applied Science Publishers, London and New Jersey.
- Strahlenschutz für prüfer, Grundkursus Unterlagen, DGZfP, Ausgabe 1990
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Radyasyon Güvenliği Tüzüğü



Ertuğrul YILMAZ*
Ankalite Kalite Kontrol Ltd. Şti.
Ankara, TÜRKİYE
0312 666 07 48
ertugrul@ankalite.com.tr
www.ankalite.com.tr