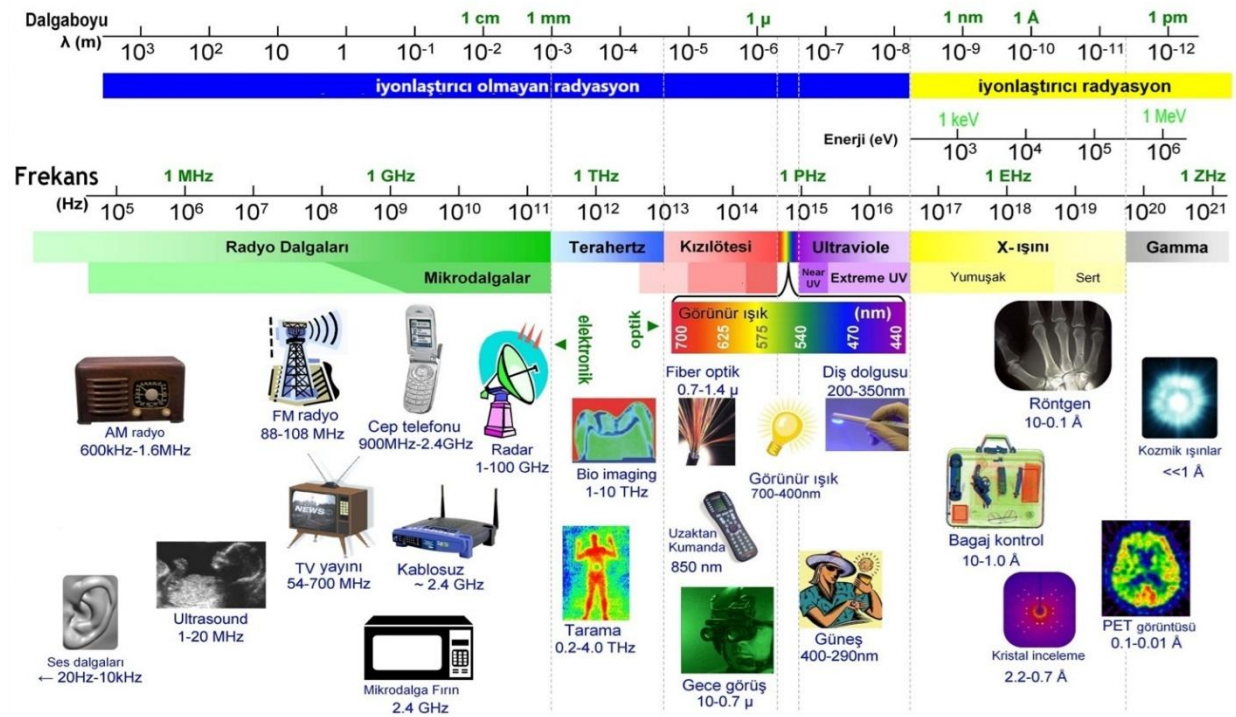


Radyasyon

Radyasyon, dalgalar veya parçacıklar halinde bir yerden başka bir yere hareket eden bir enerji çeşididir.

Radyasyonu temel olarak iki şekilde sınıflandırabiliriz. Bunlar “**parçacık**” ve “**dalga**” tipi radyasyonlardır. Parçacık radyasyonu; belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden minik parçacıkları ifade eder. Bunlar hızla giden mermilere benzerler, ancak gözle görülemeyecek kadar küçüktürler. Dalga tipi radyasyon; belli bir enerjiye sahip ancak kütlesiz radyasyon çeşididir. Bunlar, titreşim yaparak ilerleyen elektrik ve manyetik enerji dalgaları gibidir. Görünür ışık dalga tipi radyasyonun bir çeşididir. Bütün dalga tipi radyasyonlar ışık hızıyla (3×10^8 m/saniye) hareket ederler. Gözlerimizin fark edebileceği en yüksek enerjili ışık mor renkli ışıktır. Radyasyonun enerjisi arttıkça ışık rengi mor renk ötesine gider ve morötesi olarak adlandırılır. Morötesi ışığı göremez veya hissedemeyiz.

Parçacık ve dalga tipi radyasyonları da kullanım alanları ve etkilerini dikkate alarak “**iyonlaştırıcı olmayan**” ve “**iyonlaştırıcı**” radyasyonlar olarak iki gruba ayırmamız mümkündür.



İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon

İyonlaştırıcı olmayan radyasyon, madde veya canlı organizmalarda elektronları atomlardan veya moleküllerden ayıracak kadar enerjik olmayan daha düşük enerjili radyasyondur. Bununla birlikte, enerjisi bu molekülleri titreştirebilir ve böylece ısı üretebilir. Örneğin mikrodalga fırınlar bu şekilde çalışır.

Çoğu insan için iyonlaştırıcı olmayan radyasyon sağlıkları için bir risk oluşturmaz. Ancak, bazı iyonlaştırıcı olmayan radyasyon kaynaklarıyla düzenli temas halinde olan çalışanların, örneğin üretilen ısıdan korunmak için özel önlemlere ihtiyacı olabilir.

İyonlaştırıcı olmayan radyasyonun diğer bazı örnekleri arasında radyo dalgaları ve görünür ışık yer alır. Görünür ışık, insan gözünün algılayabildiği bir iyonlaştırıcı olmayan radyasyon çeşididir. Radyo dalgaları ise gözlerimiz ve diğer duyularımız tarafından görülemeyen ancak geleneksel radyolar tarafından deşifre edilebilen bir tür iyonlaştırıcı olmayan radyasyondur.

İyonlaştırıcı Radyasyon

İyonlaştırıcı radyasyon, elektronları atomlardan veya moleküllerden koparabilecek enerjiye sahip bir radyasyon türüdür ve canlı organizmalar da dahil olmak üzere madde ile etkileşime girdiğinde atom seviyesinde değişikliklere neden olur. Bu tür değişiklikler genellikle iyonların (elektrik yüklü atomlar veya moleküller) üretimini içerir - dolayısıyla “iyonlaştırıcı” radyasyon terimi kullanılır.

İyon meydana gelmesi yani iyonizasyon olayı herhangi bir maddede meydana gelebileceği gibi insanlar dahil tüm canlılarda da oluşabilir. O halde iyonlaştırıcı radyasyonlar, önlem alınmadığı takdirde tüm canlılar için zararlı olabilecek radyasyon çeşitleridir. Başlıca beş iyonlaştırıcı radyasyon çeşidi vardır. Bunlar, **Alfa parçacıkları**, **Beta parçacıkları**, **X ışınları**, **Gama ışınları** ve **Nötronlardır**.

Yüksek dozlarda, iyonlaştırıcı radyasyon vücudumuzdaki hücrelere veya organlara zarar verebilir ve hatta ölüme neden olabilir. Doğru kullanım ve dozlarda ve gerekli koruyucu önlemlerle, bu tür radyasyonun enerji üretimi, endüstri, araştırma ve kanser gibi çeşitli hastalıkların tıbbi teşhis ve tedavisi gibi birçok faydalı kullanımı vardır.

İyonlaştırıcı Radyasyon Kaynakları

İnsanoğlu varoluşundan bu yana sürekli olarak radyasyonla iç içe yaşamak zorunda kalmıştır.

Dünyanın oluşumuyla birlikte tabiatta yerini alan çok uzun ömürlü (milyarlarca yıl) radyoaktif elementler yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmuşlardır. Maruz kalınan doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirleyen birçok neden vardır. Yaşanılan yer, bu yerin toprak yapısı, barınılan binalarda kullanılan malzemeler, mevsimler, kutuplara olan uzaklık ve hava şartları bu nedenlerden bazılarıdır. Yağmur, kar, alçak basınç, yüksek basınç ve rüzgar yönü gibi etkenler de doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirler

Geçtiğimiz yüzyılda bu doğal düzey, nükleer bomba denemeleri ve bazı teknolojik ürünlerin kullanımı ile bir hayli artış göstermiştir.

Radyasyon kaynaklarını, **doğal** ve **yapay** olmak üzere, iki sınıfa ayırabiliriz.

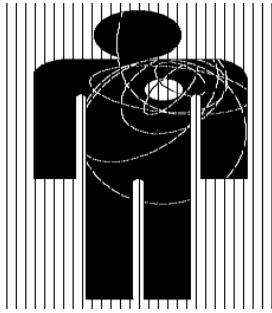
Doğal Radyasyon Kaynakları

Doğal radyasyonun bir kısmını uzaydan gelen **kozmetik ışınlar** oluşturur. Bu ışınların büyük bir kısmı dünya atmosferinden geçmeye çalışırken tutulurlar. Sadece küçük bir miktarı yerküreye ulaşır. Bir dağın tepesinde veya havada yol alan bir uçakta bulunan bir kişi, deniz seviyesinde bulunan bir kişiden çok daha fazla kozmetik ışına maruz kalır. Bu yüzden bir pilot, uçuş süresi boyunca, deniz seviyesinde çalışan bir kişinin maruz kaldığı doğal radyasyon düzeyinden

yaklaşık 20 kat daha fazla bir radyasyon dozuna maruz kalır. Günlük yaşantımızda, kozmik ışınlar nedeniyle maruz kaldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması **0.39 mSv / yıl**'dır.



Fosil yakıtlar doğal ve uzun ömürlü radyoaktif elementler içerirler. Bu tür elementler yakıt içinde iken bir radyasyon tehlikesi yaratmazlar. Ancak fosil yakıtlar yakıldıklarında bu elementler atmosfere yayılır ve daha sonra toprağa dönerek doğal radyasyon düzeyinde az da olsa bir artışa neden olur. Doğada mevcut kısa ömürlü radyoaktif elementlerin yaydığı **gama ışınlarının** da katkısıyla topraktan maruz kaldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması **0.46 mSv/yıl** dır



Vücudumuzda bulunan radyoaktif elementlerden (özelikle Potasyum-40 radyoaktif elementinden) dolayı da belli bir radyasyon dozuna maruz kalırız. Bir yıl boyunca bu şekilde maruz kaldığımız **iç (dahili) radyasyon dozunun** dünya ortalaması **0.23 mSv** kadardır

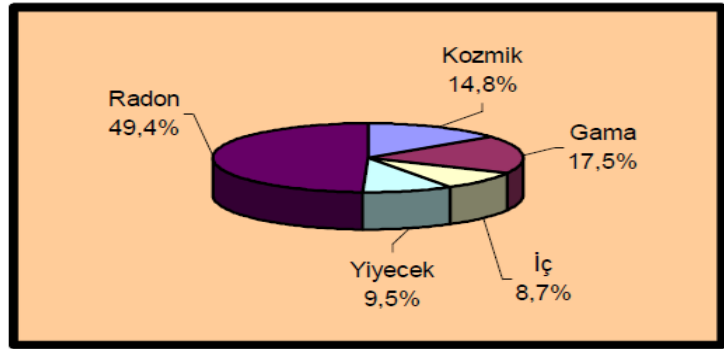
Yiyecek, içecek ve teneffüs ettiğimiz havadan maruz kaldığımız dozun dünya ortalaması yaklaşık **0.25 mSv/yıl**'dır. Özellikle kabuklu yiyecekler daha fazla radyoaktif madde içerirler ve bu ürünleri fazla miktarda tüketen insanlar bu ortalamanın üzerinde bir radyasyon dozu alırlar.



Doğal radyasyon düzeyini arttıran en önemli sebeplerden biri, yer kabuğunda yaygın bir şekilde bulunan radyoaktif radyum elementinin (Ra226) bozunması sırasında salınan “radon gazı”dır. Bu bozunma sırasında oluşan diğer radyoaktif maddeler toprak içerisinde kalırken maalesef radon toprak yüzeyine doğru yükselir. Eğer bu gaz, yayılmalar sonucu seyrelirse herhangi bir sorun oluşturmaz. Ancak, radon gazının yayıldığı yüzey üzerinde bulunan evlerde iyi bir havalandırma sisteminin olması gerekir. Böyle bir havalandırma yoksa radon gazı evin içinde dışarıdakinden yüz kat hatta bin kat daha fazla olacaktır. Bu gaz teneffüs edildiği takdirde akciğerlere

geçici olarak yerleşip tüm dokuların radyasyona maruz kalmasına neden olabilir.

Radon gazından dolayı dünya genelinde maruz kalınan ortalama doz 1.3 mSv/yıl'dır. Radon gazı hariç doğal radyasyonun sağlık üzerinde zararlı bir etkisi görülmez. Yandaki grafikte doğal radyasyon kaynaklarının doğal radyasyon seviyesine katkıları oransal olarak gösterilmektedir.



Tabloda ise değişik bölgelerde ölçülen doğal radyasyon seviyeleri verilmektedir.

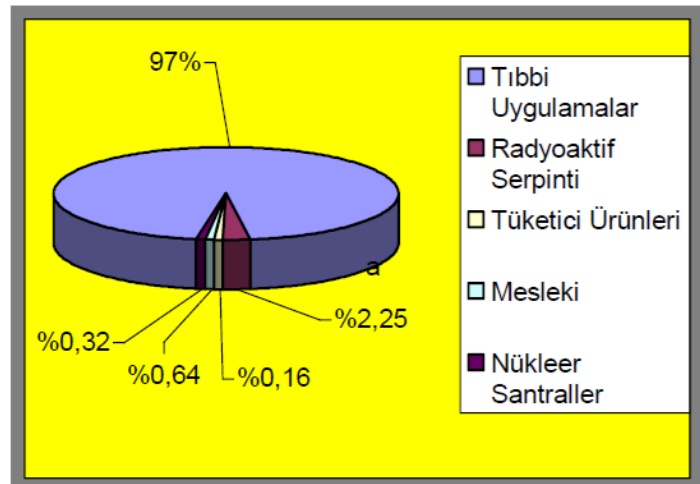
Mersin (Akkuyu)	0.53 mSv/yıl
Ankara	0.44 mSv/yıl
İğdır (Alican)	0.88 mSv/yıl
Çanakkale	1.23 mSv/yıl
Kars (Digor)	1.58 mSv/yıl
Hindistan (Kerela)	15.80 mSv/yıl
İran(Ramsar)	148.92 mSv/yıl
Brezilya (Guarapari kumsalları)	788.40 mSv/yıl

Yapay Radyasyon Kaynakları

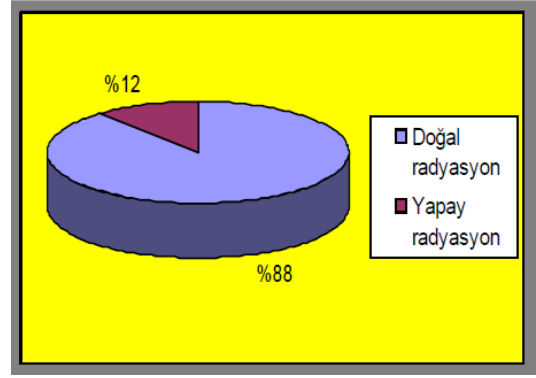
Gelişmiş endüstriyel ekonomilerin ve yüksek yaşam standartlarının, doğada mevcut olmayan bazı radyasyon kaynakları kullanılmadan süreklilik gösterebileceğini düşünmek şimdilik pek mümkün gözükmemektedir. İşte bu yüzden insanoğlu, teknolojik gelişiminin gereği olarak, bazı radyasyon kaynaklarını yapay yollarla üretme ihtiyacı duymuştur. Bu kaynaklar, bir çok işin daha iyi, daha kolay, daha çabuk, daha ucuz ve daha basit yapılmasına olanak sağlar. Bazı durumlarda ise alternatifleri yok gibidir.

Yapay radyasyon kaynakları da tıpkı doğal radyasyon kaynakları gibi belli miktarlarda radyasyon dozuna maruz kalınmasına neden olurlar. Ancak bu doz miktarı, talebe bağlı olarak artsa da, doğal kaynaklardan alınan doza göre çok daha düşüktür. Doğal radyasyon kaynaklarının aksine tamamen kontrol altında olmaları da maruz kalınacak doz miktarı açısından önemli bir özelliktir.

Tıbbi, zirai ve endüstriyel amaçla kullanılan X ışınları ve yapay radyoaktif maddeler, nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler, çok az da olsa nükleer güç üretiminden salınan radyoaktif maddeler ile bazı tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler bilinen başlıca yapay radyasyon kaynaklarıdır. Grafikte yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının oransal değerleri gösterilmektedir.



Grafikte, doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının maruz kalınan küresel radyasyon dozuna oransal katkıları gösterilmektedir. Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan radyasyon dozunun dünya ortalaması 2.7 mSv/yıl'dır. Bu dozun, radyasyon kaynaklarına göre dağılımı ise aşağıdaki gibidir



Doğada mevcut elementlerin atomlarının bir kısmı kararlı diğer bir kısmı ise kararsız çekirdeklere sahiptirler. Kararlı bir çekirdekte, çoğu durumda nötron sayısı (N) proton sayısından (Z) biraz daha yüksek ve N/Z oranı yaklaşık olarak 1,50 civarındadır. Kararlı bir çekirdekte, proton ve nötronlar birbirlerine nükleer kuvvetlerle o kadar sıkı bağlıdırlar ki hiçbir parçacık çekirdek dışına kaçamaz. Bu durumda, çekirdek dengede kalacaktır. Ancak, çekirdek dengede değilse yani kararsız ise, fazla bir enerjiye sahip olacak ve parçacıkları bir arada kalamayacaktır. Kısa bir süre içinde veya daha uzun bir süre sonra bu fazla enerjisini boşaltacaktır.

En basit çekirdek olan Hidrojen ($^1\text{H}_1$) çekirdeğinin dışındaki tüm çekirdekler nötron ve protonlardan oluşmuştur. Nötron/Proton oranı hafif izotoplarda 1 iken, ağır çekirdeklere doğru gidildikçe bu oran artmaktadır. Bu oran arttıkça çekirdeklerin artık kararlı olmadığı bir yere ulaşılır. En ağır kararlı çekirdek bir bizmut izotopudur ($^{83}\text{Bi}_{207}$). Daha ağır çekirdekler sahip oldukları fazla enerjiden dolayı kararsızdırlar. Böyle çekirdeklere radyoaktif çekirdek veya radyoizotop adı verilir. Bunlar fazla enerjilerinden kurtulmaya ve kararlı duruma geçmeye çalışırlar. Bu olaya radyoaktivite veya radyoaktif parçalanma denir.

Radyoaktivite kontrol edilemeyen bir olaydır. Herhangi bir şekilde müdahale edilip yavaşlatılamaz veya durdurulamaz. Üstel bir fonksiyon şeklindeki zayıflayan bir tempo ile azalarak kendiliğinden tükeninceye kadar devam eder. Radyoaktivite olayı doğal ve yapay olarak iki farklı şekilde meydana gelebilir.

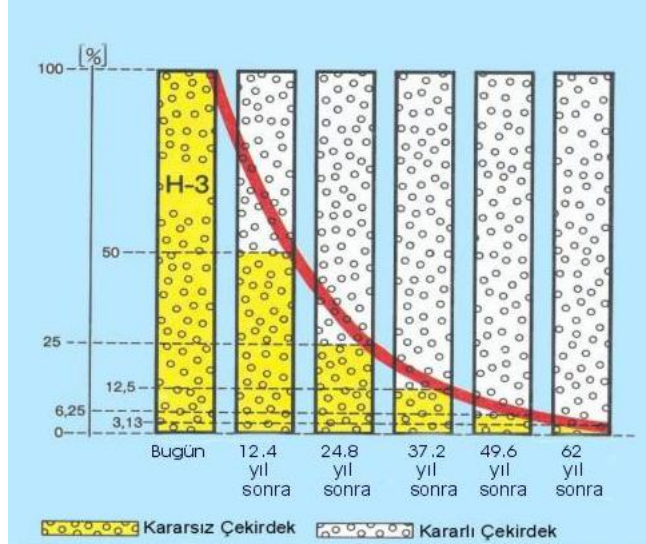
Doğada mevcut bulunan kararsız elementler kararlı yapıya geçmeye çalışırken, hiçbir dış müdahale olmadan, sahip oldukları fazla enerjilerini çekirdeklerinden dışarı salarlar. Böyle elementlere doğal radyoaktif elementler, bunların enerji salma olayına da doğal radyoaktivite denir. Doğada kararlı olarak bulunan izotoplar da yapay yollarla kararsız (radyoaktif) hale getirilebilirler. Radyoaktif hale gelen çekirdek parçalanmaya uğrar. Bu olay yapay radyoaktivite olarak adlandırılır.

Yarılanma Süresi

Radyoaktif izotopların en belirgin özelliklerinden biri, başlangıçta sahip oldukları kararsız atomlarının sayısının yarıya inmesi için belli bir zamana ihtiyaç duymalarıdır. Kararsız atom sayısının yarıya inmesi için geçmesi gereken süre “yarılanma süresi” olarak adlandırılır ve “ $T_{1/2}$ ” ile gösterilir. Her radyoizotopun kendine özgü bir yarılanma süresi vardır ve bu süre hiçbir dış güç tarafından değiştirilemez.

Kararsız atom sayısı yarıya inen bir radyoizotopun başlangıçta yaydığı radyasyon miktarı da yarıya inecektir. Radyoizotopun aktivitesi, bir yarılanma süresi sonra başlangıç aktivitesinin yarısına, iki yarılanma süresi sonra başlangıç aktivitesinin dörtte birine ($1/2 \times 1/2 = 1/4$), üç yarılanma süresi sonra ise başlangıç aktivitesinin sekizde birine ($1/2 \times 1/2 \times 1/2 = 1/8$) iner. Bu azalma, n yarılanma süresi sayısı olmak üzere $1/2^n$ şeklinde devam eder. On yarılanma süresi sonra radyoizotopun aktivitesi başlangıç aktivitesinin $1/2^{10}$ 'u kadar olacaktır. Pratikte 7 veya 8 yarı ömür sonra bir radyoizotopun aktivitesinin tamamen sona erdiği düşünülse de teoride aktivitenin tükenene kadar sonsuza dek aynı hızla azalarak devam ettiği varsayılır.

Şekilde, örnek olarak, başlangıçta 100 radyoaktif çekirdeğe sahip olan bir Trityum(H^3) radyoizotopun bozunum eğrisi gösterilmektedir. Trityum'un yarılanma süresi 12.4 yıldır. 12.4 yılın sonunda bu radyoaktif çekirdek sayısı elliye düşecektir. İkinci 12.4 yılın sonunda ise bu sayı 25 olacak ve radyoaktif çekirdek sayısındaki azalma (radyoizotopun aktivitesindeki azalma) bu şekilde devam edecektir.



Her radyoizotopun kendine özgü bir yarılanma süresi olduğunu daha önce belirtmiştik. Örneğin Kobalt-60'ın (Co^{60}) yarılanma süresi 5.3 yıldır. Başlangıçta 100 birim aktiviteye sahip bir Co^{60} radyoizotopunun 5.3 yıl sonraki aktivitesi 50 birime, 10.6 yıl sonraki aktivitesi 25 birime, 15.9 yıl sonraki aktivitesi 12.5 birime düşecek ve düşüş bu şekilde devam edecektir.

Radyoizotopların yarılanma süresini bilmek birçok durumda büyük önem taşır. Örneğin, en son 2-3 ay önce kullanılarak muhafaza altına alınmış yarılanma süresi 75 gün olan bir İridyum radyoizotopunun ($Ir192$) aktivitesinin geçen bu 2-3 aylık zaman içerisinde yarıya indiğini herhangi bir ölçüm yapmadan bilebiliriz. Detektör de bu değeri gösteriyorsa her şey yolunda demektir. Ancak, muhafaza altındaki izotop $Ir192$ değil de Co^{60} olmuş olsa ve detektörde okunan değer 2-3 ay önce okunan değer yarsını gösteriyor olsa idi, o zaman bir sorunla karşı karşıya olduğumuz sonucuna varırdık. Bu durumda, ilk olarak, ya cihazımızın doğru çalışmadığı veya Co^{60} radyoizotopunun muhafaza altına alındığı kap içerisinde bulunmadığına ya da kap içerisinde başka bir radyoizotop bulunduğuna karar verirdik.

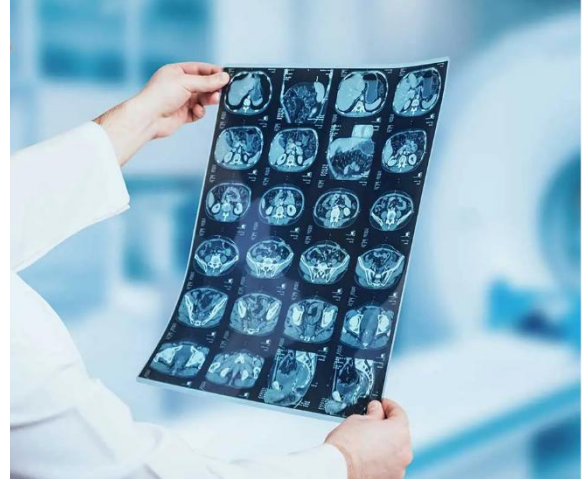
Radyasyonun Yaşantımızdaki Yeri

Son elli yıl içerisinde radyasyondan faydalanılarak yapılan çalışmalar yaşam standartlarımızın gelişmesine önemli katkılarda bulunmuştur. Bu bölümde, radyasyonun hangi alanlarda ne şekilde kullanıldığını ve bunun sonucu olarak ne kadarlık bir radyasyon dozuna maruz kalınacağını açıklamaya çalışacağız.

Tıbbi Uygulamalar

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.

Radyasyonun tıbbi alanda halen kullanılmakta olan ve gün geçtikçe geliştirilen en eski çeşidi X ışınlarıdır. Genellikle hastalıkların teşhisi amacıyla kullanılan X ışınları, hastadan geçirilerek hastalıklı bölgenin görüntüsü resimde görüldüğü gibi röntgen filmi olarak da adlandırılan radyografi filmi şeklinde elde edilir. Tıpta **Radyoloji** olarak adlandırılan bu yöntem hastalıkların teşhisinde son derece yaygın bir şekilde kullanılmakta ve her yıl X ışınlarıyla milyonlarca kişi muayene edilmektedir. Bazı radyolojik tetkikler sonucu hastaların maruz kaldığı etkin dozlar, tetkik çeşidine ve ülkelerin tıbbi açıdan gelişmişlik seviyelerine göre, aşağıdaki Tabloda özetlenmektedir.



TETKİKLER	HER BİR TETKİKTE MARUZ KALINAN ETKİN DOZ (mSv)			
	Seviye 1*	Seviye 2**	Seviye 3-4***	Dünya
Göğüs Radyografisi	0.14	0.14	0.20	0.14
Göğüs Fotofloroskopisi	0.65	0.65	0.65	0.65
Göğüs Floroskopisi	1.1	1.1	1.1	1.1
Kol,bacak ve eklemler	0.06	0.06	0.1	0.06
Omurga	Bel	1.8	2	1.8
	Göğüs	1.4	1.5	1.4
	Boyun	0.27	0.3	0.27
Kalça ve Kalça eklemi	0.83	0.83	1	0.83
Kafa	0.1	0.1	0.15	0.1
Karın	0.5	0.6	1	0.55
Üst sindirim sistemi	3.6	4	4	3.7
Alt sindirim sistemi	6.4	6.4	6.4	6.4
Safra kesesi grafisi	2	2	2	2
Üriner sistem grafisi	3.7	3.9	4	3.7
Mamografi	0.5	0.5	0.5	0.5
Bilgisayarlı Tomografi	8.8	5	5	8.6
Anjiyografi	12	12	12	12
Cerrahi işlemler	20	20	20	20
Diş	0.02	0.1	0.1	0.03

* Seviye 1; Doktor başına 1000'den az hasta düşen ülkeler

** Seviye 2; Doktor başına 1000-3000 arası hasta düşen ülkeler (Ülkemiz de bu gruptadır.)

*** Seviye 3; Doktor başına 3000-10000 arası hasta düşen ülkeler

Seviye 4; Doktor başına 10000'den fazla hasta düşen ülkeler

Vücuttaki organ veya dokuların işlevleriyle ilgili çalışmalar yapmak üzere bazı radyoaktif maddeler kullanılır. Bu yöntemle yapılan çalışmalar **Nükleer Tıp** olarak adlandırılır. Bu tür çalışmalarda radyoaktif madde, vücuda enjekte edildiği zaman incelenecek dokuda toplanmasını ve geçici bir süre buraya yerleşmesini sağlayacak bir kimyasal madde ile birleştirilir. Radyoaktif maddenin vücuttaki dağılımı veya akışı Gama kamera adı verilen cihazlarla gözlenir. Bu cihaz vücuda enjekte edilen radyoaktif maddeden salınan gama ışınlarını algılayarak incelenen dokunun görüntüsünü oluşturur. Bu görüntünün incelenmesi sonucunda doku hakkında bilgi edinilir. Bu tür teşhislerde maruz kalınan doz, radyoizotopun cinsine ve miktarına göre değişir. Bazı tanısal amaçlı nükleer tıp uygulamalarında

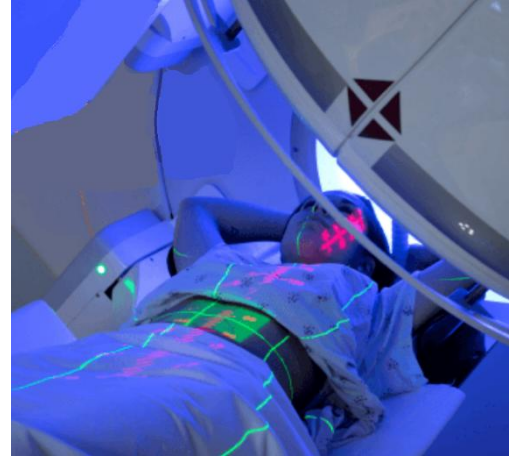


Bu görüntünün incelenmesi sonucunda doku hakkında bilgi edinilir. Bu tür teşhislerde maruz kalınan doz, radyoizotopun cinsine ve miktarına göre değişir. Bazı tanısal amaçlı nükleer tıp uygulamalarında

hastaların maruz kaldığı etkin dozlar, tetkik çeşidine ve ülkelerin tıbbi açıdan gelişmişlik seviyelerine göre, aşağıdaki Tabloda özetlenmektedir.

İŞLEMLER		KULLANILAN RADYOİZOTOPLAR	HER BİR İŞLEMDE MARUZ KALINAN ETKİN DOZ (mSv)				
			Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4	Dünya
Kemik		Tc^{99m}	4.5	4.5	4	4	4.5
Kalp-Damar		Tc^{99m} , Ti^{201}	8	8	12	12	8
Akciğer perfüzyonu		Tc^{99m}	1.5	2	2	2	1.5
Akciğer ventilasyonu		Tc^{99m} , Kr^{81m} , Xe^{133}	1	1	1	1	1
Troid	scan	Tc^{99m} , I^{131}/I^{135}	2	10	30	30	3.4
	uptake	I^{131} , I^{123}/I^{125}	15	20	30	30	15
Böbrek		Tc^{99m} , I^{131}/I^{123}	1.5	3	3	3	1.9
Karaciğer/Dalak		Tc^{99m}	1.7	2	2	2	1.7
Beyin		Tc^{99m}	6	6	6	6	6
Her bir işlemde hastanın maruz kaldığı ortalama etkin doz			4.3	6.7	20	20	4.6

Radyasyonun tıptaki bir diğer kullanım alanı kanserli hücrelerin tedavi edilmesi çalışmalarıdır. Tıpta bu uygulamalar **radoterapi** olarak adlandırılırlar. Yüksek enerjili X ışınları veya Co-60 ve benzeri gama ışını yayan radyoaktif maddelerin kullanıldığı radyoterapide, radyolojide alınan radyasyon dozunun binlerce katı radyasyon dozuna (kanserin türüne göre 60.000 mSv'e kadar çıkılabilir) ihtiyaç duyulur. Sağlıklı hücrelerin de bu dozun tamamını almasını önlemek için kanserli doku birkaç yönden ışınlanır.



Radyasyonun tıbbi uygulamaları, toplum için en çok radyasyon dozuna maruz kalınan yapay radyasyon kaynağını oluşturur. Tıbbi uygulamalar sonucu halkın maruz kaldığı yıllık ortalama radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.3 mSv'tir

Endüstriyel Uygulamalar

Radyasyon endüstriyel alanda oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Örneğin, X ve gama ışınlarından yararlanılarak röntgen filmleri çekilen endüstriyel ürünlerin (borular, buhar kazanları, her türlü makine aksamaları, vs.) herhangi bir hata içerip içermediği tespit edilebilmektedir. Bu işlemler, özel olarak imal edilmiş X ışını üreten veya gama ışını yayan radyoizotop içeren cihazlarla yapılmaktadır. X ışını ile yapılan çalışmalar X ışını grafi, gama ışınları ile yapılan çalışmalar ise gama grafi olarak, her ikisi birden radyografi olarak adlandırılırlar.



Radyografi çalışmalarının yanısıra yine birçok sanayi ürününün (demir, çelik, lastik, kağıt, plastik, çimento, şeker, vs.) üretim aşamasındaki seviye, nem ve yoğunluk ölçümleri radyasyondan yararlanılarak yapılmaktadır.



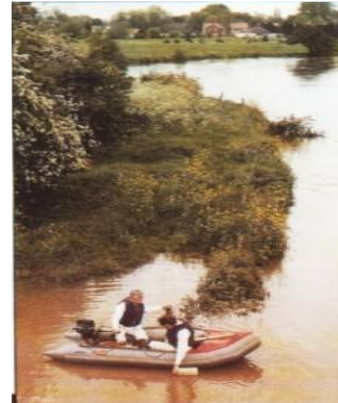
Tek kullanımlık atılabilir tıbbi malzemelerin özel tesislerdeki radyasyonla sterilizasyonu (mikroorganizmalardan arındırılması), klasik sterilizasyon yöntemlerine göre kıyaslanmayacak derecede başarılı ve çok daha güvenilir olarak gerçekleştirilmektedir. Yine benzer tesislerde yapılan gıda ışınlamaları ile yiyecek maddelerinin daha uzun süre dayanmaları sağlanmaktadır.



Radyasyonun zirai alanlarda kullanılması genellikle tohum ıslahı şeklinde olmaktadır. Radyasyondan yararlanılarak mutasyona uğratılan tohumlar daha verimli ve dayanıklı hale getirilmektedirler.



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 yapılmaktadır.



Radyasyon üniversite ve diğer araştırma merkezlerinde araştırma amaçlı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Haberleşme uyduları ve uzay roketleri için gerekli enerji uzun ömürlü nükleer pillerle sağlanır. Malzeme işaretlemedeki radyoaktif teknikler genetik araştırmalar ve genetik mühendislik dahil bir çok alanda kullanılmaktadır. Arkeolojik nesnelerin yaş tayininde radyoaktif maddeler önemli rol oynar.



Radyasyonun bu alanlarda kullanılması sonucu halkın maruz kaldığı yıllık ortalama dozun dünya ortalaması sadece 0.001 mSv civarındadır.

Radyoaktif 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. Radyoaktif serpintilerden maruz kalınan yıllık ortalama dozun dünya ortalaması 0.007 mSv'dir. Bununla birlikte, yer üstü ve hatta yer altında yapılan bu tür denemeler bölgesel kirliliğe neden olmaktadır.



Nükleer Güç Santralleri

Özellikle son zamanlarda sıkça tartışılmakta olan nükleer güç santralleri, günümüzdeki küresel enerji üretiminin %15.9'unu sağlamaktadır. Avrupa Birliği ülkelerinde bu oran %30'lara ulaşmaktadır. Fransa sahip olduğu enerjinin %76.4'ünü nükleer güç



santrallerinden karşılamaktadır. 1999 yılı itibarıyla çoğu gelişmiş olan 31 ülkede toplam 438 nükleer güç santrali bulunmaktadır. Bunlara ilaveten de halen 11 ülkede 33 santralin yapımı devam etmektedir [9]. Uranyumdan oluşan nükleer santral yakıtının madenciliği, işlenmesi, santralde kullanılması ve atık haline geldikten sonra depolanması esnasında çevreye çok az miktarda radyoaktif madde salınır. Bu salınımlardan maruz kalınan yıllık ortalama dozun dünya ortalaması 0.008 mSv'dir.

Salınan radyoaktif maddenin çeşidi ve katı, sıvı veya gaz şeklinde olup olmadığı tamamen yapılan işleme bağlıdır. Örneğin, nükleer güç istasyonları, besin zinciri ile insanlara ulaşan C^{14} ve S^{35} salarlar. Sıvı salınımlar, özellikle kabuklu deniz ürünleriyle insanlara ulaşan radyoaktif maddeler içerirler.

Bunlardan dolayı maruz kalınabilecek yıllık doz 1 mSv ile sınırlandırılmıştır. Bu doz, mevcut nükleer santraller civarında bu güne kadar yapılan ölçümlere göre yıllık olarak en fazla 0.4 mSv'e kadar çıkabilmektedir.

Normal işleyişleri esnasında yukarıda da belirtildiği gibi belli bir bölgesel kirliliğe sebep olabilen nükleer santraller, meydana gelebilecek kazalar sonucunda da çevreye bir miktar radyoaktif madde salabilirler.

Tüketici Ürünleri

Duman detektörleri, fosforlu saatler, paratonerler ve lüks lambası fitilleri gibi bazı tüketici ürünleri az miktarlarda da olsa radyoaktif madde içerirler. Kömür ve fosfat kayaları uranyum, radyum, potasyum-40 ve toryum içerirler. Fosfatın gübre ve kömürün yakıt olarak kullanılması esnasında çevreye az da olsa belli bir radyasyon dozu verilir. Bu tür kaynaklardan maruz kalınan yıllık ortalama dozun dünya ortalaması 0.0005 mSv'tir.



İyonlaştırıcı Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

Radyasyonun insan sağlığı üzerinde yaratabileceği zararlı etkiler uzun zamandır bilinmektedir. Bu etkiler radyasyon yanıkları, radyasyon hastalıkları, doğal ömür süresinin kısalması, kanser ve kalıtsal bozukluklardır. Hatta, çok büyük miktarlarda radyasyon dozuna maruz kalınması halinde ani ölümlere bile rastlamak mümkündür.

Bilim adamları 70 yıldan fazla bir süredir, radyasyonun bu tip etkileri üzerinde çalışmaktadır. Tıbbi ve endüstriyel uygulamalardan, radyasyon kazalarından ve Hiroşima ile Nagazaki'ye atılan atom bombalarından maruz kalınan radyasyonun etkileri aralıksız bir şekilde araştırılmaktadır. Bunların yanı sıra, denek olarak kullanılan hayvanlar üzerindeki radyasyon etkileriyle ilgili çalışmalar da devam etmektedir.

Radyasyon yanığı olaylarına ilk kez, 1895 yılında Röntgen'in X ışınını bulduğunu açıkladığı ilk ay içerisinde rastlanmaya başlanmıştır. Doğal radyoaktiviteyle çalışan ilk araştırmacılarda da bu tür etkiler görülmüştür.

Örneğin Becquerel, cebinde taşıdığı bir radyum numunesiyle kendi kendini yakmış, Marie ve Pierre Curie radyumla yaptıkları çalışmalar esnasında ciddi şekilde cilt yanıklarına maruz kalmışlardır. Bu çalışmaların başlamasını takip eden iki üç yıl içerisinde ise radyasyondan korunmak gerektiği artık yaygın bir şekilde anlaşılmıştır. Bu konuda uyarılan radyasyon çalışanlarının bazıları gerekli önlemleri almışlarsa da önlem almayanlar da olmuş ve sonuç olarak da bu kişiler ciddi radyasyon yanıklarına maruz kalmışlardır.

1905 yılına gelindiğinde artık aşırı derecede radyasyon dozunun kansere de neden olduğu birçok tıp dergisinde yayınlanan onlarca bilimsel makaleyle ispatlanmaya başlanmıştı. O tarihlerde elleri defalarca radyasyona maruz kalan bir çok işçi ölümcül deri kanserine yakalanmış, kanserin yayılmasını önlemek için 100'den fazla kişinin organları kesilmiş ve bir çok radyolog ise bu tip deri kanserinden ölmüştür. Bay ve bayan Curie'lerin her ikisinin ölümüne, belki de radyasyonun sebep olduğu, kan kanseri neden olmuştur.

1920'lerin sonuna gelindiğinde, böcekler üzerinde yapılan araştırma sonuçları radyasyonun genetik bozukluklara da neden olduğunu ortaya koymaktaydı. Bu gerçeği ortaya çıkaran Herman Müller daha sonra Nobel barış ödülü kazanmıştır.

Radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileriyle ilgili olarak son yüz yıldır yapılan sayısız araştırmalar sonucunda, her ne kadar yüksek şiddetli ışınlamaların yaratabileceği hasarlar hakkında önemli bilgilere ulaşılabilmiş olursa da düşük şiddetli ışınlamalar için aynı şeyi söylemek ne yazık ki şu an için pek mümkün görünmemektedir

Sağlık Üzerindeki Etkilerin Sınıflandırılması

Radyasyonun hücre ile etkileşmesi sonucunda kromozomda meydana gelen hasarlar bir takım biyolojik etkilerin oluşmasına yol açarlar. Bu etkiler, **bedensel** ve **kalıtsal etkilerdir**. Işınlanan kişinin kendi bedeninde meydana gelebilecek hasarlar **bedensel etkiler**, kendisinden sonraki nesillerde çıkabilecek hasarlar ise **kalıtsal etkiler** olarak adlandırılır. Bedensel ve kalıtsal etkiler de **erken** ve **gecikmiş** etkiler olarak iki farklı kategoride incelenebilir. Erken etkiler, kısa bir süre içinde ve bir defada yüksek dozlara maruz kalınması sonucunda kısa bir zaman aralığı içerisinde ortaya çıkabilecek hasarlardır. Gecikmiş etkiler ise uzunca bir süre aralıklı olarak düşük dozlara maruz kalınması sonucu ortaya çıkarlar. Erken etkiler **akut ışınlama etkileri**, gecikmiş etkiler ise **kronik ışınlama etkileri** olarak da adlandırılırlar.

Akut Radyasyon Sendromları

Vücudun tamamının veya büyük bir bölümünün akut bir ışınlamaya maruz kalması sonucunda gelişen **Akut Radyasyon Sendromları (ARS)** iyonlaştırıcı radyasyonların en önemli **deterministik** etkisidir. Gövdenin maruz kalabileceği **1 Sv veya daha az miktarlardaki radyasyon dozu** fark edilebilir ciddi bir hastalık belirtisi oluşturmaz. Doz arttıkça, ışınlamadan sonraki ilk birkaç saat içinde **mide bulantısı, kusma, ishal, baş ağrısı, ateş, bilinç kaybı** ve **kan hücresi sayısında azalma** gibi belirtiler oluşur. İki veya üç hafta sonra **saç dökülmesi, iştahsızlık, genel halsizlik, kendini kötü hissetme, iç kanama, yüksek ateş, katarak** ve erkeklerde **geçici kısırlık** gibi diğer belirtiler de görülebilecektir.

Eğer tüm vücut, birkaç gün veya daha az bir süre içerisinde **7 Sv'i aşan bir radyasyon dozuna** maruz kalmışsa kan hücreleri üreten **kemik ilikleri hasar** görecek, yeterli hücre üretemez duruma gelecek ve büyük ihtimalle birkaç hafta içerisinde **ölüm** olayı meydana gelecektir

Bölgesel Radyasyon Hasarları

Vücudun belli bir bölgesinin, , genellikle bir kaza sonucu, kısa bir sürede ve bir defada yüksek dozlara maruz kalması sonucu görülen etkiler **Bölgesel Radyasyon Hasarları** olarak adlandırılır. Bu tür kazalarda genellikle eller ve parmaklar, nadiren de vücudun diğer kısımları etkilenir.

Eldeki yanıklar, radyasyon kaynağına dokunulması veya elin birkaç saniye için bile olsa kaynağa çok yaklaştırması sonucu meydana gelir. Kaynak duyularla hissedilebilecek bir sıcaklığa sahip değildir, ancak kaynağa yaklaşıldıkça radyasyon şiddeti artar. Yanığa sebep olan ısı değil kaynağın radyasyon şiddetidir ve bunu hissedemeyiz. Ne yazık ki, vücut ısıya gösterdiği refleksi radyasyon şiddetine göstermez. Bu yüzden ısıda olduğu gibi derhal geri çekilme gibi bir şans yoktur.

Bölgesel ışınlamalar sonucu meydana gelen bu hasarlar, akut radyasyon sendromlarına göre daha sık karşılaşılan olaylardır. Hasarın şiddeti, radyasyonun nüfuz etme kabiliyetine, dozun şiddetine, maruz kalınan bölgeye ve bu bölgenin büyüklüğüne göre değişir.

Aşağıdaki tabloda, gama radyasyonu veya yüksek enerjili X ışınlarına maruz kalınması sonucu meydana gelebilecek Bölgesel Radyasyon Hasarları topluca gösterilmektedir.

SAFHA/BELİRTİ	DOZ ARALIĞI (Gy)	BELİRGİNLEŞME ZAMANI (gün)
Eritem	3-10	14-21
Epilasyon	>3	14-18
Kuru Deri Dökülmesi	8-12	25-30
Yaş Deri Dökülmesi	15-20	20-28
Su Kabarcığı Oluşumu	15-25	15-25
Ülser(Açık yaralar)	>20	14-21
Nekroz (Doku ölümü)	>25	>21

Gecikmiş Etkiler (Kronik Işınlanma Etkileri)

Akut ışınlanma etkileri her ne kadar yukarıda anlatıldığı gibi ürkütücü gözükse de bunlara neden olan ve genellikle bir kaza sonucu meydana gelen yüksek dozlu ışınlamaların nadiren görülmesi sevindiricidir. Radyasyona en fazla maruz kalan kişiler olan radyasyon çalışanlarının kontrollü olarak aldıkları düşük dozların bu tür etkileri yoktur. Ancak, bu kişilerin uzunca bir süre içinde aralıklı olarak düşük dozlara maruz kalması yani kronik olarak ışınlanması sonucu meydana gelebilecek etkiler yıllar sonra ortaya çıkabilir. Bunun sebebi ise, doz düşük dahi olsa tekrarlanan ışınlamalarda organizmanın bir sonraki ışınlamaya kadar hasarı onaramaması ve hasarın gittikçe artmasıdır.

Kronik olarak ışınlanan kişilerde, yıllar sonra, katarak ve kanser vakaları görülebileceği gibi doğal ömür sürelerinde de bir kısalma söz konusu olabilir. Ayrıca, bu kişilerin kendilerinden sonraki nesillerinde kalıtsal bozukluklara rastlanabilir.

Göz merceğinin, uzun yıllar boyunca yıllık olarak 0.1 Sv'in üzerinde bir doza maruz kalması gözde fark edilebilir bir opasite (saydamlık kaybı) oluşumuna neden olabilirken bu doz 0.15 Sv'in üzerine çıktığında katarakt meydana gelebilir.

Hayvanlar üzerinde yapılan deneyler, radyasyonun yaşlanmayı hızlandırdığını ve buna bağlı olarak da doğal yaşam süresinde belli bir kısalmanın söz konusu olabileceğini ortaya koymaktadır. Bu deney sonuçlarının insanlara ekstrapole edilmesiyle yapılan çalışmalar, bu etkinin insanlar için de doğru olduğunu göstermektedir.

Birçok bilim adamı, ne kadar az olduğunu önemsemeksizin, radyasyon ışınlamalarının kanser riski taşıdığını kabul eder. Bir kişi kansere yakalandıktan sonra bunun nedeninin ne olduğunu anlamak bugün için imkansızdır. Radyasyonun sebep olduğu kanseri, başka bir etmenin sebep olduğu kanserden ayırt etmek mümkün değildir. Bu yüzden, radyasyonun sebep olduğu kanserle ilgili çalışmalar, ortalama doğal radyasyon seviyesinden çok daha fazla bir doza maruz kaldıkları tespit edilmiş kanserli hasta grupları üzerinde sürdürülmektedir. Kişisel olarak maruz kaldıkları dozlar aşağı yukarı tahmin edilebilen bu gruplardan elde edilen verilerle bir risk tahmini yapmak mümkün olabilmektedir. Sözü edilen bu gruplar, atom bombasından sağ kalanları, tıbbi ışınlamaya maruz kalan hastaları, mesleği gereği ışınlananları, çevreye yayılan atıklardan etkilenenleri ve çok yüksek rakımlarda yaşayanları kapsamaktadır.

Vücudun bazı bölgeleri diğerlerine nazaran daha meyilli olsa da, radyasyon hemen hemen her doku ve organda kansere yol açabilir. Atom bombasından sağ kalanlar üzerinde yapılan Ortalama Ömür Çalışmaları mide, kalın bağırsak, karaciğer, akciğer, göğüs, dişi üreme bezi ve mesane kanserleri kadar tüm katı tümörler için de radyasyonun istatistiki olarak kayda değer etkilerini ortaya koyarak kanser vakaları ile ölüm oranlarının benzer olduğunu göstermektedir. Vaka verileri, aynı zamanda, iyi huylu deri ve troid kanserleri için de aşırı radyasyon riskleriyle ilgili bazı kanıtlar sunmaktadır. Bu çalışmada rektum, safra kesesi, pankreas, gırtlak, rahim, prostat bezi, böbrek veya böbrek pelvisi kanserleriyle ilgili vaka veya ölüm oranları için istatistiki olarak kayda değer riskler görülmemektedir. Çalışmada, bir çok lösemi çeşidi için radyasyon ilişkisi dikkat çekmektedir.

Cinsiyetten dolayı tümör oluşum riskindeki farklılıklar çok büyük olmasa ve vücut bölgelerine göre değişse de tümörlerin çoğu için mutlak risk kadınlarda erkeklerde daha yüksektir. Işınlama yaşı daha genç olan kişilerin kansere yakalanma riskleri kendilerinden yaşlılara göre daha yüksektir. Yine de bu risk vücut bölgesine göre değişiklikler gösterir.

Birleşmiş Milletlerin radyasyonun etkileriyle ilgili çalışmalar yapan bir kuruluşu olan United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileriyle ilgili mevcut verilere dayanarak radyasyon kaynaklı kanser için bazı risk tahminleri türetmiştir. Bu tahminlere göre, 1 Sv'lik (düşük LET değerli) akut doza maruz kalmış her yaştan ve her cinsiyetten insanların oluşturduğu bir grup için, kanserden dolayı ölüm riskinin erkeklerde %9 kadınlarda %13 olduğu öne sürülmektedir. Kronik ışınlamalar için bu tahminler, %50 oranında azaltılabilmektedir. Işınlanan çocuklar için kanser riski, tüm yaşlarda ışınlananlar için yapılan tahminlerin iki katıdır. Lösemi için yaşam boyu risk tahminleri daha az değişkendir. 1 Sv'lik akut doz sonrası her iki cinsiyet için lösemiden dolayı ölüm riski %1 olarak alınabilmektedir. Akut dozlarda, 1 Sv'ten 0.1 Sv'e 10 katlık bir azalma riskte 20 katlık bir azalmaya neden olmaktadır. Çocuklarda özel öneme sahip radyasyon kaynaklı bir kanser türü de troid bezi kanseridir. Işınlama yaşının artmasıyla troid kanserine yakalanma riskinin azaldığına dair güçlü bulgular vardır, ve 15 yaşın altındaki çocuklar için bu

risk yetişkinlere göre çok daha fazladır. Çocuk grupları arasında, 0-5 yaşındakiler 10-14 yaşındakilere göre 5 kat daha duyarlıdır.

Radyasyon ve Aslan Avcı Eski Kurşun Fabrikası

İzmir ili, Gaziemir ilçesi, Emrez Mahallesi sınırlarında bulunan Aslan Avcı Döküm Sanayi ve Tic. A.Ş.'ye ait eski kurşun fabrikası 1940 yılında faaliyete geçmiş, atık akümülatörlerden kurşun geri kazanımı yapan ve 2010 yılında faaliyetine son veren bir işletmedir. Anılan fabrika faaliyet süresi boyunca kurşun geri dönüşümünden yarı/tam mamul ve saf külçe kurşun (99,985Pb) üretimi yapmıştır.



Üretim işlemleri, tesise kabul edilen kurşun hammaddesinin potalarda ergitilmesi ve bir takım kimyasal işlemlere tabi tutularak rafine kurşun elde edilmesinden ibaret olup; kurşun hammaddesi olarak atık akümülatörlerin yanı sıra hurda metal olarak tabir edilen kurşun atıklar kullanılmış, üretim sürecinde yüklü miktarda kurşun cürufu oluşmuştur.

Anılan fabrika sahasına atık gömüldüğü ihbarı üzerine ve 2007 yılında İzmir Valiliği Mülga Çevre ve Orman İl Müdürlüğü tarafından yapılan incelemeler sonucunda, Aslan Avcı Döküm ve San. A.Ş.'nin faaliyetleri sonucu oluşan tehlikeli cüruf atıklarını lisanslı tehlikeli atık bertaraf tesislerine gönderme yükümlülüğü bulunmasına rağmen, 14.03.2005 tarih ve 25755

sayılı Mülga Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği hükümlerine aykırı olarak fabrikanın faaliyet gösterdiği alana gömdüğü tespit edilmiştir.

2008 yılında, söz konusu tehlikeli atıkların lisanslı bertaraf tesisine gönderilmesi işlemlerine başlanmıştır. Ancak atıkların lisanslı bertaraf tesisine kabulü sırasında atıklarda radyasyon tespiti yapılmış olup, ilgili kurum olan Mülga Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Başkanlığı (Mülga TAEK) tarafından bu durum İzmir Valiliği Mülga Çevre ve Orman İl Müdürlüğü'ne 17/06/2008 tarihinde bildirilmiştir. Ayrıca, Mülga TAEK tarafından malzemenin ayıklanması ve Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Atık İşleme Tesisine gönderilmesine yönelik, kurum tarafından görevlendirilen uzmanların çalışacağı bildirilmiştir.

12-15.10.2010 tarihlerinde Mülga TAEK tarafından tesiste yapılan incelemede atıklardaki radyoaktif kaynağın **Europium 152 (Eu-152) ve Europium 154 (Eu-154)** olduğu tespit edilmiştir.

Europium

12-15.10.2010 tarihlerinde Mülga TAEK tarafından Aslan Avcı Döküm Sanayi ve Tic. A.Ş.'ye ait eski kurşun fabrikası sahasında yapılan incelemede atıklarda Europium 152 (Eu-152) ve Europium 154 (Eu-154) radyoaktif kaynağı tespit edildiği yukarıda belirtilmiştir.

Europium gümüşü beyaz bir metaldir. Lantanit serisinin en yumuşak, en az yoğun ve en uçucu üyesidir ve yüksek sıcaklıklarda (150 ila 180°C) havada tutuşur.

Doğada, Europium iki kararlı izotop olarak ortaya çıkar. Europium-153 doğal europiumun %52'sini, europium-151 ise kalan % 48'ini oluşturur.

On dört ana radyoaktif izotopundan sadece dördünün yarı ömrü potansiyel endişe yaratacak kadar uzundur. Diğer tüm Europium izotoplarının yarı ömürleri dört aydan daha azdır. Bu dört uzun ömürlü izotoptan üçü (europium-152, europium-154 ve europium-155) uranyum ve plütonyumun parçalanması ile üretilir. Anılan üç izotopun yarı ömürleri 5 ila 13 yıl arasında değişir ve bir beta parçacığı yayarak bozunurlar. Europium-152 bozunmalarının bir kısmı (%28) elektron yakalama yoluyla gerçekleşir. Europium-152 ve Europium-154 bozunumlarına gama ışınları şeklinde önemli miktarda enerji eşlik eder.

Eu-152 ve Eu-154, Uranyumun fisyonu sonucunda veya Eu-151 ve Eu-153'ün nükleer rektörlerde nötron aktivasyonu ile elde edilir.

Europium-152 (Eu-152)

Eu-152, Uranyumun fisyonu sonucunda veya Eu-151'in nükleer rektörlerde nötron aktivasyonu ile elde edilir. Eu-152, beta ve gama ışınları yayarak bozunur. Gama enerjileri çoklu tepe değerlerine sahiptir, bu da onu gama spektroskopisinde yaygın olarak kullanılan bir kalibrasyon kaynağı yapar.



Eu-152'nin yarı ömrü 13,33 yıl, Özgül Aktivitesi 176 Ci/g (6.53 TBq/g), 1 Ci aktiviteye sahip Eu-152 kaynağından 1 m uzaklıktaki doz hızı 4,58 mSv/h'dir.

Eu-152'nin önemli gama enerjileri ve yayınlanma olasılıkları aşağıdaki Tabloda verilmiştir.

İzotop	Enerji (keV)	Yayınlanma olasılığı %	İzotop	Enerji (keV)	Yayınlanma olasılığı %
Eu-152	121,8	28,41	Eu-152	108,6	10,13
Eu-152	244,7	7,55	Eu-152	108,6	10,13
Eu-152	344,3	26,58	Eu-152	109,0	1,731
Eu-152	411,1	2,237	Eu-152	111,2	13,4
Eu-152	444,0	3,125	Eu-152	121,3	1,415
Eu-152	778,9	12,96	Eu-152	129,9	1,632
Eu-152	867,4	4,241	Eu-152	1.408,0	20,85
Eu-152	964,1	14,62	Eu-152	108,6	10,13

Eu-152 (Europium-152), nadir toprak elementlerinden biri olan europium'un bir izotopudur ve bazı özel uygulamalarda kullanılır. Nötronları absorbe etmedeki etkinliği nedeniyle birincil kullanım alanı nükleer reaktör kontrol çubuklarıdır. Nadir ve dolayısıyla çok pahalı olduğu için diğer kullanımları sınırlıdır. Bu izotopun başlıca kullanımları şunlardır:

- Nükleer Tıp:** Eu-152, medikal görüntüleme ve radyoterapi için izotop olarak kullanılır. Özellikle radyasyon terapilerinde ve bazı teşhis yöntemlerinde yer alabilmektedir.
- Nükleer Araştırmalar:** Eu-152, nükleer fizik araştırmalarında ve radyasyon güvenliği çalışmalarında kullanılan bir kalibrasyon kaynağıdır.
- Işıklandırma:** Europium'un bileşikleri, floresan ışık kaynaklarında, özellikle HDTV ve LED ekranlarda kırmızı ışık üretiminde kullanılır.
- Malzeme Bilimi:** Eu-152, bazı malzemelerin özelliklerini incelemek ve geliştirmek için araştırmalarda kullanılabilmektedir.
- Nükleer Enerji Uygulamaları:** Nükleer reaktörlerde ve atık yönetiminde, nükleer süreçlerin izlenmesinde referans izotopu olarak kullanılabilmektedir.

Europium-154 (Eu-154)

Europium-154 (Eu-154), yapay olarak üretilen bir radyoizotoptur ve tabiatta doğal olarak bulunmaz. Bu izotop, nükleer reaktörlerde nükleer fisyon ürünlerinden biri olarak oluşur ve hem beta (β) hem de gama (γ) radyasyonu yayarak bozunur.

Eu-154'ün yarı ömrü 8,6 yıl, Özgül Aktivitesi 264 Ci/g (9,76TBq/g), 1 Ci aktiviteye sahip Eu-154 kaynağından 1 m uzaklıktaki doz hızı 5,19 mSv/h'dir.

Eu-154'ün önemli gama enerjileri ve yayınlanma olasılıkları aşağıdaki Tabloda verilmiştir

İzotop	Enerji (keV)	Yayınlanma olasılığı %	İzotop	Enerji (keV)	Yayınlanma olasılığı %
Eu-154	123,1	40,4	Eu-154	996,3	10,5
Eu-154	247,9	6,89	Eu-154	1.004,7	17,85
Eu-154	591,8	4,95	Eu-154	1.246,1	0,862
Eu-154	692,4	1,79	Eu-154	1.274,4	34,9
Eu-154	723,3	20,05	Eu-154	1.596,5	1,783
Eu-154	756,8	4,53			

Eu-152 ve E-154 Kaynaklarının Aslan Avcı Kurşun Fabrikasındaki Varlığının Olası Sebepleri

1. Hurda Metal ve Atık Akümülatörler:

- Fabrikanın üretim süreçlerinde atık akümülatörler ve hurda metal kullanıldığı bilinmektedir. Bu hurda metaller veya akümülatörler, başka bir kaynaktan radyoaktif kontaminasyon taşımış olabilir,
- Özellikle hurda metal sektörü, zaman zaman radyasyona maruz kalmış veya radyoaktif materyaller içeren atıkların bilinçsizce toplanmasına ve geri dönüştürülmesine sebep olabilir. Radyasyona maruz kalmış hurda metaller, radyoaktif izotopların bu fabrikaya taşınmasına yol açmış olabilir.

2. Yanlışlıkla veya Bilinçsizce Karışma:

- Endüstriyel veya tıbbi uygulamalarda kullanılan radyoaktif kaynaklar bazen yanlışlıkla hurda metal yığınlarına karışabilir. Bu kaynaklar, rafinerilere veya geri dönüşüm tesislerine ulaşarak radyoaktif izotopların yayılmasına neden olabilir.
- Özellikle radyoaktif izotop içeren cihazlar veya materyaller (örneğin, tıbbi veya endüstriyel radyasyon ölçüm cihazları) kontrolsüz bir şekilde elden çıkarılmış ve hurda malzeme olarak geri dönüşüm sürecine girmiş olabilir.

3. Eski Radyoaktif Kullanım veya Kaza:

- Fabrikanın ya da bir başka endüstriyel tesisin geçmişte radyoaktif materyal kullanımıyla ilgili eski bir kaza ya da hatalı bertaraf işlemleri olmuş olabilir. Radyoaktif atıklar veya kontamine olmuş malzemeler, bilinçsizce fabrikada ya da çevresinde gömülmüş olabilir.
- Eğer fabrikanın yakınında nükleer faaliyetlerle ilgili geçmişte bir olay ya da atık bertarafı olmuşsa, bu durum da radyoaktif izotopların bölgeye taşınmasına neden olmuş olabilir.

4. Yetersiz Radyasyon Kontrolü:

- Hurda metal ithalatı ve geri dönüşümü sırasında yeterli radyasyon kontrolleri yapılmadıysa, Eu-152 ve Eu-154 gibi radyoaktif izotoplar fark edilmeden üretim sürecine dahil edilmiş olabilir.

- Radyoaktif izotopların, hurda metalin geldiği yerden (örneğin, savaş bölgeleri, endüstriyel alanlar veya eski nükleer tesislerden) taşınması ihtimali de göz ardı edilmemelidir.