Radyasyon ve İnsan Üzerine Etkileri

Prof. Dr. Paşa Yalçın

Erzincan 2023

ÖN SÖZ

Türkiye Yazarlar Birliği Erzincan Şubesi tarafından yapılan dini, milli, kültürel ve sanatsal çalışmalar 2018 yılından bu yana Erzincan'da aralıksız olarak devam etmektedir.

Yapılan çalışmalar her ne kadar özet olarak gazetelerde, haber sitelerinde, sosyal medyada Türkiye Yazarlar Birliği Erzincan Şubesinin Web sayfası olan 'tyberzincan.gov.tr' adresinde yayınlanıyor olsa bile tam metin olarak yayınlanması konusundaki arzumuz, bu e- kitabın yayınlanmasını zaruri kılmıştır,

Bir sezon boyunca verilen seminerler, konferanslar, program sırasına göre bu kitapta yerini alabilmesi için çalışmalarımıza başlamış bulunuyoruz. Çalışmalarımız zaman içerisinde de maddi imkânların el vermesi durumunda e-kitaptan normal baskılı kitaba dönüştürülebilmesi için çalışmalarımızı sürdürmek arzusundayız. 2023 yılı başından itibaren çalışmalarımızı başlattık. Faydalı olacağını umuyoruz.

Çoğu akademisyen ve yazar olan arkadaşlarımızın bu çalışmaları aynı zamanda araştırmacılara da kaynaklık teşkil etmesi açısından önemsiyoruz. Elinizdeki kitapta ilgili programa dair bazı fotoğrafların da yer almaktadır. Bu vesile ile çalışmalarımızı ölümsüzleştirmek, gelecek nesillere aktarmak arzusundayız.

Yaptığımız bu çalışma öncelikle e-kitap olarak Yazarlar Birliği Erzincan Şubesinin Web sayfasında yer alacak, her yılın çalışması ayrı bir kitap olarak karşımıza çıkacaktır.

Böyle bir çalışmayı yaparken çalışmamızın gelecek nesillere ve günümüz insanına da fayda temin etmesini arzulamaktayız.

Kitabın hazırlanmasında emeği geçen başta konuşmacı arkadaşlarımıza kitabın konuşmalarını metin haline getiren şair ve yazar arkadaşlarımız ve bizlere teknik destek veren Mustafa Başgöze'ye teşekkürlerimizi sunuyoruz.

Faydalı olması ümit ve temenisi ile kitabımızın hayırlı olmasını diliyorum. 17 Ocak 2023

Halil İbrahim ÖZDEMİR

Türkiye Yazarlar Birliği Erzincan Şube Başkanı.

RADYASYON VE İNSAN ÜZERİNE ETKİLERİ

Prof. Dr. Paşa YALÇIN

(17 Şubat 2023 Cuma günü saat 19.30 da Türkiye Yazarlar Birliği Erzincan Şubesi Kültürevi'nde yapılan konuşma)

KONU BAŞLIKLARI

1 Radyasyon Tanımı ve Türleri

2 Radyasyon Kaynakları

2.1. Doğal radyasyon kaynakları

2.2. Yapay radyasyon kaynakları

3 Radyasyon Birimleri

3.1 Radyoaktivite birimi

3.2 Radyasyon (Işınlama) dozu birimi

3.3 Soğurulan Doz Birimi

3.4 Doz Eşdeğeri Birimi (Biyolojik Doz)

4. Radyolojik Tetkik ve Tanı Yöntemleri

4.1. İyonize radyasyonun kullanıldığı radyolojik tanı ve tetkikler

4.1.1. Röntgen

4.1.2. Bilgisayarlı tomografi

4.1.3. Pantomografi

4.1.4. Anjiyografi

4.1.5. Skopi

4.1.6. Kemik mineral dansitometri

4.1.7. Mamografi

4.1.8. Nükleer tıp

4.2. İyonize radyasyon kullanılmayan tanı ve tetkik yöntemleri

4.2.1. Ultrasonografi

4.2.2. Manyetik rezonans (MR)

5. Radyasyonun Zararlı Etkileri

5.1. Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

5.2. Radyasyonun biyolojik etkileri

5.2.1. Erken etkiler (Akut ışınlanma etkileri)

5.2.2 Gecikmiş etkiler (Kronik ışınlanma etkileri)

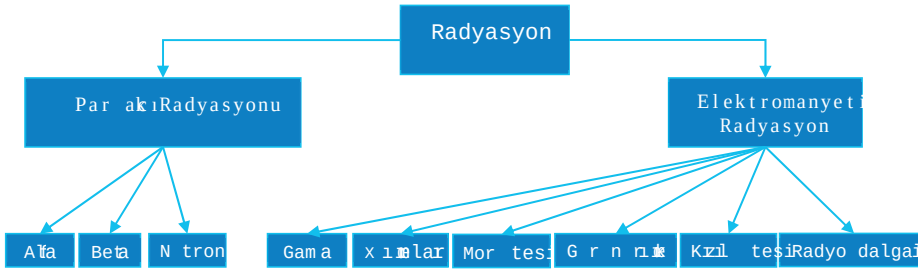
1. Radyasyon Tanımı ve Türleri

Radyasyon Nedir?

Farklı kullanım amaçlarına göre radyasyon birçok şekilde tanımlanmış olsa da esasen bu tanımlar genellikle aynı içerikler ifade ediyordur. Çoğunlukla radyasyon hangi amaçla kullanılacaksa o amaç etrafında tanımlamalar yapılmaktadır. Mesela; AFAT "Radyasyon ortamda taşınan enerji" olarak tanımlamış. Çekirdek fiziği için radyasyon tanımı; "Doğal yadayapay radyoaktif çekirdeklerin kararlı yapıya geçmek için ortama yaydıkları enerjidir". Bir başka tanımda "Radyasyon; iç dönüşüm geçiren atomlar tarafından yayımlanan, boşlukta ve madde içerisinde hareket edebilen enerji olarak tanımlanır.

Genel olarak radyasyon;elektromanyetik dalga ya da parçacık olarak kaynağından çevreye yayınlanan enerjidir. Bu enerji yayımlanan kaynağın özelliğine göre parçacık, elektromanyetik dalga yani foton olarak enerji paketleri şeklinde yayılır.

Radyoizotoplar iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan parçacık şeklinde veya elektromanyetik dalga şeklinde radyasyonlar yayarlar. Çoğunlukla parçacık olarak alfa ve beta parçacıkları yayınlayıp ortamı iyonlaştırırken, özellikle elektromanyetik dalga olarak da yaydıkları gama ve X-ışınları ortamın iyonlaşmasına sebep olabilir. Radyasyonun yapısına göre sınıflandırılması şematik olarak Şekil 1'deki gibi gösterebiliriz.



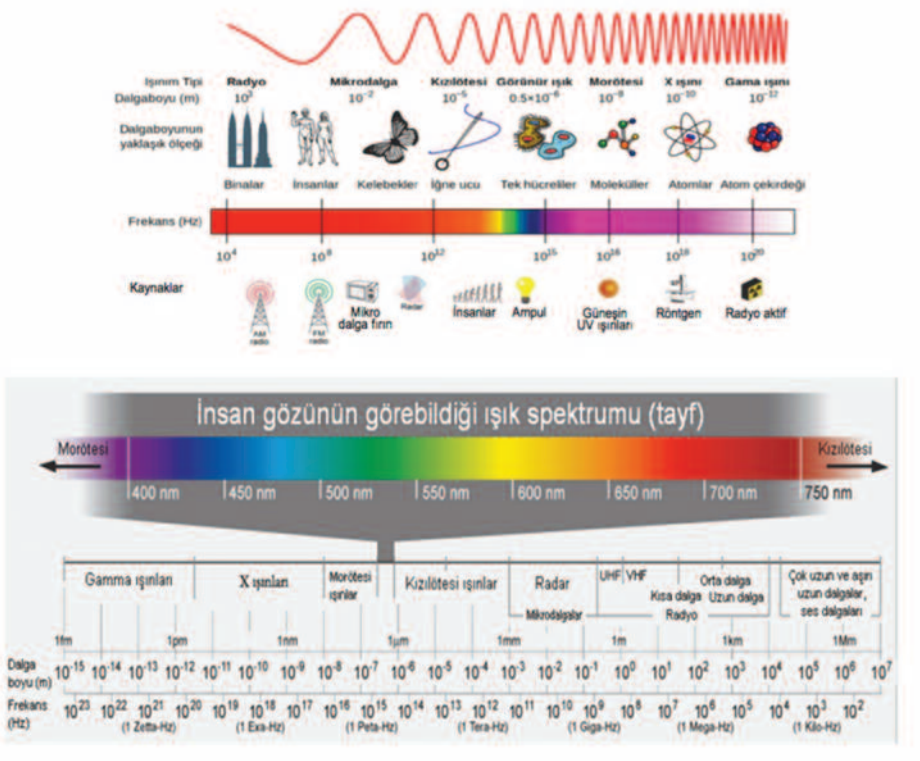
Şekil 1. Radyasyonun sınıflandırılması

Radyasyonu tanımlarken üç temel değişken kullanılır. Bunların ilki, radyasyonun kaynağı, ikincisi radyasyonun enerjisi, üçüncüsü de radyasyonun türüdür.

- ▷ Enerjisi (düşük ve yüksek enerjili radyasyon)
- ▷ Türü (parçacık radyasyonu ve elektromanyetik radyasyon)
- ▷ Kaynağı (doğal ve yapay radyasyon kaynakları)

İyonlaştırıcı radyasyon

Radyoizotoplardan yayınlanan radyasyon, ister parçacık halinde, isterse elektromanyetik dalga halinde olsun, karşılaştığı maddesel ortamda iyonlaştırma meydana getiriyorsa, yani maddede pozitif ve negatif iyonlar oluşturuyorsa bu tür radyasyonlara iyonlaştırıcı radyasyon denir. Bu radyasyonlardan parçacık halinde olanlar elektron, proton, nötron, beta (·´·ĤĠ ·´·Ġ) ve alfa parçacığıdır. Elektromanyetik dalga olup iyonlaştırma etkisine sahip olanlar ise X ve gama



Şekil 2. Elektromanyetik spektrum

ışınlarıdır. İyonizasyon, radyasyonun karşılaştığı tüm maddelerde (canlılar da dahil) meydana gelebilir. Yani iyonlaştırıcı radyasyonlar önlem alınmadığında tüm canlılar için tehlike arz etmektedir. Elektromanyetik dalga şeklindeki radyasyonların tümünü içeren elektromanyetik spektrum Şekil 2'de gösterilmiştir.

Alfa parçacığı; özellikle doğada bulunan doğal radyoaktif izotoplar tarafından ve atom numarası 82' den büyük olan radyoizotoplardan en çok yayınlanan ve kütlesi en büyük olan tanecik halindeki radyasyondur. Alfa parçacığı +2 yüklü He olduğu için maddesel ortamlarda çok hızlıca iyonlaştırma etkisi yapıp, çok ince yapılı maddeler tarafından bile durdurulabilir. Bu parçacıkların kütlelerinin büyük olması, maddesel ortamda ilerlerken enerjilerini çabuk kaybetmesine sebep olur. Bu yüzden radyasyon tehlikesi bulundurmazlar. Ancak, mide, solunum ve yaralar vasıtasıyla vücuda girdiklerinde tehlikeli olabilirler (Hekimoğlu ve Şahmaran, 2014).

Beta parçacıkları; doğal radyoaktif parçalanmanın devamı olarak, yani ilk parçalanmadan sonra kararlı hale geçemeyen radyoaktif çekirdeklerin peş peşe bozunmaları neticesinde, daha çok gözlenen ve özellikle yeterli enerjiye sahip olan çift oluşum etkilerinden üretilen, iyonlaştırma etkisine sahip parçacıklardır. Radyoaktif malzemenin yapısal özelliği sebebiyle β^- β^+ şeklinde yayınlanır.Alfa parçacığı ile karşılaştırınca hem enerjisi hem de kütlesinin küçük olması nedeniyle bu parçacıklar da canlıların derilerinin altına nüfus edemezler. Ancak uzun süre maruz kalındığında cilt yanıklarına ve deri kanserine sebep olabilir. "Bu tip beta yayınlayıcılar, solunum ya da sindirim yoluyla vücuda alındığı takdirde de tehlike oluşturabilirler" (Arıkan vd., 2010).

Elektromanyetik dalgalardan iyonlaştırma etkisine sahip olan X-ışınları, ya yüklü parçacıkların çok hızlı bir şekilde durdurulmaları esnasında ya da atomik yörüngelerdeki enerji durumlarına bağlı olarak (uyarılma durumları) elektron geçişleri sonucu üretilirler. Daha yüksek enerji seviyesinde bulunan elektronların, daha düşük enerji seviyeli durumlarına geçerken yayınlanmış olan elektromanyetik dalgalar olarak da bilinir. X-ışınlarının dalga boyları genellikle 0,1-100 Å aralığında değişmektedir. Günlük yaşantıda daha çok yıldızlardan ve uzaydan gelen X-ışınlarına maruz kalınmaktadır. "Fotoelektrik soğurulma, Compton saçılması (inkoherent saçılma), sintilasyon ve gaz iyonizasyonu ışığın tanecik özelliğini; hız, polarizasyon ve Rayleigh saçılması (koherent saçılma) dalga özelliğini gösterir." (Yalçın, 2002).

Gama ışınları, maddeyle karşılaşınca giricilik gücü oldukça fazla olan,

en yüksek enerjili elektromanyetik dalga halindeki iyonlaştırıcı radyasyondur. Gama ışınları, radyoaktif bozunma sonucu çekirdekten üretilir. Kararsız çekirdekler kararlı hale geçerken, alfa, beta gibi parçacıkları yayınlayınca, çekirdek bozunmasından meydana gelen diğer fazla enerjiyi gama ışını olarak yayar.

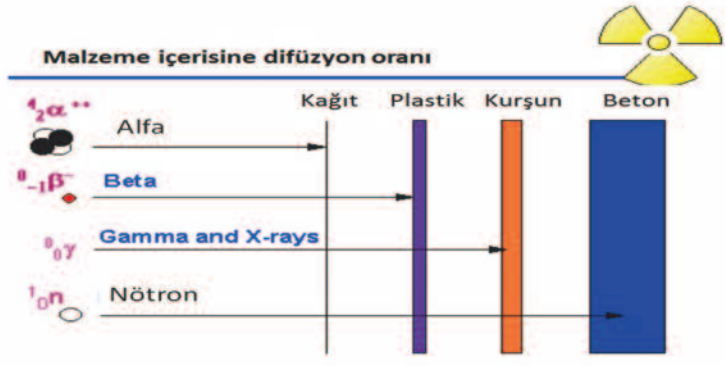
Gama ışınları; bir alan, etkili bir ortamla (elektrik ve manyetik alan) karşılaşınca, sapmaya uğramamasına rağmen karşılaştıkları maddelerin iyonlaşmalarına neden olabilir. Bu etki sonucunda, maddelerden karakteristik X-ışınları yayınlanmasına da neden olabilir. Bu ışınların enerjisi genellikle yüksek olduğu için, madde içinde giricilik etkileri de fazla olmaktadır. Bu ışınların zararlı etkilerini azaltmak için birkaç santim kalınlığında beton duvarlar, kurşun levhalar, kalın su kütleleri gibi soğurucular tarafından zırhlanabilir.

Nötronlar, günümüzde oldukça fazla kullanım alanına sahip olan parçacık hızlandırıcıları ile üretilip kullanılan atomun çekirdeğindeki bir parçacıktır. Elektrik olarak yüksüz olmasına rağmen, hızlandırıcılarla kullanılması sonucu maddesel ortamların iyonlaşmalarına sebebiyet verebilir. Bu parçacıklar eğer hızlandırıcılar vasıtasıyla üretiliyor ve kullanılıyorsa, özellikle canlı dokularına zarar verebilir. Bu zararı azaltmak için gerekli önlemler alınmalıdır.

Yukarıdaki iyonlaştırıcı radyasyon türleri hakkında yapılan açıklamalar dikkate alınarak, aşağıda Şekil 3'de verilen bu radyasyon türlerinin madde ile etkileşmesinde giriciliklerini göstermektedir. "Özellikle nükleer fisyon ve nükleer füzyon sırasında, kararsız atom çekirdeğinden yayınlanan nötrondur. Nötronlar kozmik ışınların bir bileşeni olmasının yanı sıra genellikle yapay olarak üretilir. Nötronlar elektriksel olarak yüksüz parçacıklar olmaları nedeniyle çok girici olabilirler ve madde veya doku ile etkileştiklerinde beta veya gama radyasyonlarının yayınlanmasına neden olurlar. Bu nedenle nötron radyasyonundan kaynaklanan ışınlanmanın azaltılması ciddi zırhlama gerektirir" (Arıkan vd., 2010).

İyonlaştırma etkisi olmayan radyasyonlar

Elektromanyetik spektrumun en düşük enerjili bölgesi olan radyo dalgalarından mor ötesi (UV) ışınlara kadar olan bölümü, madde ile etkileşmesi sonucu, maddede kısa zamanda herhangi bir iyonlaşma meydana getirmezler. Fakat bu radyasyonlardan özellikle mikrodalga, görünür bölge ve mor ötesi ışınlar madde ile uzun süre etkileşmeleri sonucu madde üzerinde bazı etkilerinden dolayı (HO-kutuplanması, ısı gibi) kolay iyonlaşmaya zemin hazırlayabilirler. Bu radyasyonlar, iyonlaştırıcı enerjilerinin küçük olması nedeniyle maddede iyonlaştırma meydana getiremezler ancak maddeyi oluşturan taneciklerin hareket



Şekil 3. Radyasyon türlerinin giricilik özellikleri (Hekimoğlu ve Şahmaran, 2014)

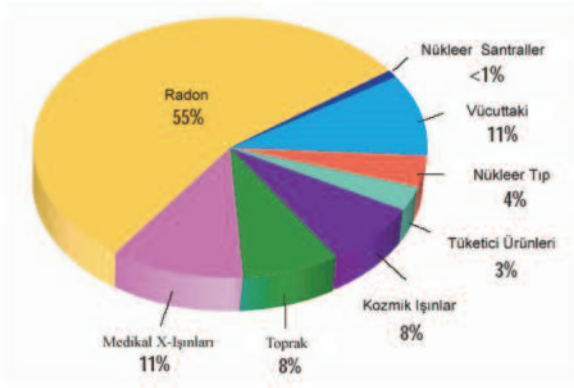
enerjilerini değiştirerek sıcaklığını artırırlar. Eğer enerjisi çok çok küçük değilse ve maddeyi de iyonlaştıracak kadar büyük değilse o zaman maddeyi sadece uyarmakla yetinirler. İletişim araçları, evde bulunan elektrik ve elektronik cihazlar, enerji nakil hatları, elektromanyetik dalga şeklindeki iyonlaştırıcı olmayan radyasyon kaynaklarına örnektir.

2. Radyasyon Kaynakları

Günlük yaşamda radyoaktif elementler normal ve kaçınılmaz olarak doğal radyasyon düzeyi oluşturmaktadır. Ancak 1900'lü yılların başında nükleer denemelerin ve çalışmaların başlaması ile canlıların maruz kaldığı radyasyon düzeyinde de bir artış gözlenmiştir. Radyasyon doğada kendiliğinden var olabildiği gibi, teknolojinin gelişmesi ve insanların çalışmaları ile yapay olarak da elde edilmektedir. Radyasyon yayan kaynakları Şekil 3'de gösterildiği gibi kaynağından yayıma ihtimaliyetleri dikkate alınarak yüzde oranları ile belirtilmiştir. Doğal ve yapay olmak üzere iki sınıfta inceleyebiliriz (Gençay, 1994).

2.1. Doğal radyasyon kaynakları

İnsanlar ve tüm canlılar, dünyamızı saran tüm maddesel ortamlardan, doğal yollarla radyasyon akımına maruz kalmaktadır. Uzay cisimlerinden kozmik ve X ışınları, toprak ve sudan Uranyum ve diğer radyoizotopların bozunması sonucu sıklıkla radon gazı yayılmaktadır. Doğal radyasyon zinciri bozunması vasıtası ile yiyip içtiğimiz yiyecek ve içeceklerden eser miktarda vücudumuza geçen radyasyon geçişi olmaktadır. Bu saydığımız doğal radyasyonların insan ve canlı vücudunda çoğu zaman zararlı etkileri olmakla birlikte faydaları da olmaktadır.



Şekil 4. Radyasyon kaynakları.

Uzaydan gelen özellikle kozmik ışınların büyük bir kısmı atmosfer katmanları tarafından engellenir. Bu yüzden uzaydan gelen kozmik ışınların zararlı etkileri deniz seviyesinden yukarı doğru çıktıkça artmaktadır. Örneğin uçakta çalışan ve sürekli uçuş yapan bir pilotun maruz kaldığı radyasyon dozu, deniz seviyesinde yakın bir yerde yaşayan bir insanın aldığı radyasyon dozunun yaklaşık 20 katı fazladır. "Günlük yaşantımızda, kozmik ışınlar nedeniyle maruz kaldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,39 mSv / yıl'dır." (IAEA, 1996).

Yenilenemeyen enerji kaynakları yakıldıklarında içlerindeki uzun ömürlü radyoaktif elementler havaya ve toprağa karışarak, az da olsa bir radyasyon tehlikesi oluşturmaktadır. "Doğada mevcut kısa ömürlü radyoaktif elementlerin yaydığı gama ışınlarının da katkısıyla topraktan maruz kaldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,46 mSv/yıl'dır" (IAEA, 1996). "Vücudumuzda bulunan radyoaktif elementlerden dolayı da belli bir radyasyon dozuna maruz kalırız. Bir yıl boyunca bu şekilde maruz kaldığımız iç radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,23 mSv kadardır" (IAEA, 1996).

Günlük yaşamda yiyecek ve içeceklerden (özellikle kabuklu yiyeceklerden) vücuda alınan radyasyon miktarının dünya ortalaması yaklaşık 0.25 mSv/yıl'dır (IAEA, 1996).

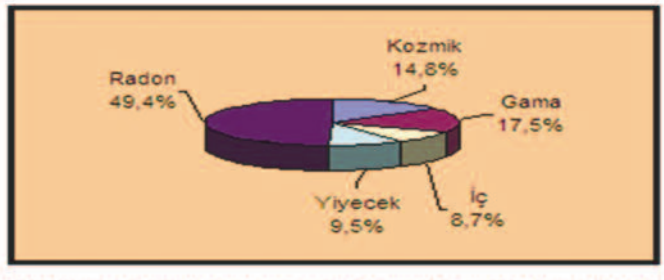
Yer kabuğu ve bileşenlerinde doğal radyasyon bozunma zincirinin temel ürünlerinden biri olan Ra elementinin bozunması sonucunda yayınlanan Radon gazı toprakta ve yapı malzemelerinde birikmektedir. Genellikle toprağın üst kısımlarına yükselen ve özellikle yaşanılan mekanlarda dış mekanlara göre yüzlerce

hatta binlerce kat birikmeye neden olur. Bu da insanların yüksek oranda Radon gazı teneffüs etmesine, akciğerlere geçici olarak yerleşip tüm dokuların radyasyona maruz kalmasına sebep olmaktadır.

"Radon gazından dolayı dünya genelinde maruz kalınan ortalama doz 1,3 mSv/yıl'dır" (IAEA, 1996). Doğal radyasyonun (Radon gazı hariç) vücutta zararlı bir etkisi görülmez.

Şekil 5'de doğal radyasyon kaynaklarının doğal radyasyon seviyesine katkıları oransal olarak gösterilmektedir.

Şekil 5. Doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küreselradyasyon dozlarının oransal değerleri (IAEA, 1996).



Şekil 5. Doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının oransal değerleri (IAEA, 1996).

Radyoaktif elementler ve bazılarını yarılanma süresi

- Radyum..... 1600 yıl
- Kurşun..... 24 dakika
- Polonyum..... 187 saniye
- Radon..... 3.8 gün
- Uranyum..... 4.5 milyar yıl
- İyot131..... 8 gün

Cr-51, Ga-67, Tc-99,

In-111, I-131, Xe-133,

Tl-201 sıvı, Cs-137, Ba-133 Am-241

2.2. Yapay radyasyon kaynakları

Yapay radyasyon, teknoloji ve bilimin gelişmesiyle, insan çalışmaları sonucunda doğaya ek olarak bırakılan radyoaktif maddeler nedeniyle oluşur. Doğal radyasyon kaynakları kontrol altına alınamazken, yapay radyasyon kaynakları insan çalışmaları sebebiyle yayınlandığı için kontrol altına alınabilmektedir. Yapay radyasyon kaynakları en çok tıpta kullanılmak üzere, günlük hayatta kullandığımız tüm elektrik elektronik cihazlar, nükleer bomba denemeleri, nükleer santral kazaları, nükleer güç üretimi sonucunda doğaya salınan radyoaktif maddeler, endüstriyel ürünler olmak üzere her alanda kullanılmaktadır. İnsanlar tarafından günlük sıklıkla üretilen ve kullanılan Şekil 6'de görüldüğü gibi radyasyon üreten birçok sistem vardır.

Şekil 6. İnsanlar tarafından üretilen ve kullanılan radyasyon kaynakları

3. Radyasyon Birimleri

Radyoizotop çekirdeklerin aktivitesini, yayınlanan radyasyonun madde tarafından soğurulma miktarını ve yayınlanan radyasyonun enerji değerini ölçmek için ölçü birimleri belirlenmiştir.

3.1. Radyoaktivite birimi

Bir radyoaktif maddenin birim zamandaki bozunma sayısına aktivite denir.Radyoizotopların bozunma hızı, Becquerel (Bq), Curie (Ci) ve Rutherford denilen birimlerle ölçülür. Saniyedeki bozunma hızına 1 Bq denir. Radyoaktivite ölçülmesinde daha çok kilobecquerel kullanılmaktadır (1 kBq=1000 Bq). Curie (Ci), 1 g radyum ile dengede bulunan radon miktarıdır. Bir gram radyum ile dengede bulunan radon miktarı $6,51.10^{-6}$ g'dır. Bu kadar radonun bir saniyede $3,7.10^{10}$ tane α parçacığı yayınladığı ölçülmüştür. Kısaca 1 Curie, saniyede $3,7.10^{10}$ parçalanma yapan radyoaktif çekirdeğin madde miktarının aktivitesi olarak tanımlanır. Ruthertford (Rd) ise Bir radyoaktif elementten, saniyede 10^6 parçalanma meydana gelmesine denir ve 1 rd=10^6 par/s olarak ifade edilir.

Klasik Birim: Curie (Ci)

SI Birim : Becquerel (Bq)

1 Ci=$3,7x10^{10}$ Bq

1 Bq=$2,7x10^{-11}$ Ci

3.2. Radyasyon (Işınlama) dozu birimi

Işınlanma düzeyi, radyasyonun belirli bir ortamda (hava) atomları iyonlaştırma (iyonizasyon meydana getirme) özelliğine dayanan bir ölçüdür ve elektromanyetik radyasyon için tanımlanmıştır.Havada iyonlaşma için ışınlama dozu olarak coulomb/kilogram (C/kg) veya Röntgen (R) birimleri tanımlanmıştır. Rontgen, normal hava şartlarında (0 ^oC ve 760 mm Hg basınçta) havanın 1 kg'ında 2.58x10-4 C' luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan x ve gama ışını miktarıdır. Herhangi bir maddede bırakılan enerji için soğurulan doz olarak da Gray (Gy) tanımlanmıştır.

İnsanın maruz kaldığı radyasyonun vücutta meydana getireceği zararlı biyolojik etkileri ölçen bir birim vardır. İnsan vücudu radyasyona maruz kaldığında, vücudunda enerji biriktirir. İnsanın maruz kaldığı radyasyonun vücutta yarattığı zararlı etkiler, kişinin kilosu, yaşı, cinsiyeti ve vücut yapısına göre farklılık gösterir. Aynı zamanda etkisi altında kalınan radyasyonun türüne ve enerjisine göre vücutta farklı oranda etkilere sebep olabilir. Ayrıca bazı organlar vücudun diğer bölümlerine ve organlarına göre hassasiyet anlamında farklılık gösterdiğinden, radyasyonun canlı vücudundaki etkileri yine farklılık göstermektedir. Bu değişkenlere bağlı olarak tüm bu durumları içine alan radyasyon dozu için eşdeğer doz veya tüm vücut söz konusu olduğunda, etkin eş değer doz tanımı kullanılmaktadır. Eşdeğer doz veya etkin eşdeğer doz biriminin adı sievert (Sv)'dir (1

sv=1 joule/kilogram). Radyoaktivite ve Radyasyon dozu birimleri ile ilgili diğer bilgiler Tablo 1' de verilmiştir.

Klasik Birim: Röntgen (R)

SI Birim : Coulomb/kg (C/kg)

1 C/kg = 3876 R

1 R = $2,58 \times 10^{-4}$

3.3. Soğurulan Doz Birimi

Radyasyon enerjisinin ortamda iyonizasyon nedeniyle enerji olarak depolandığı miktara soğrulan doz denir. Birim zamanda soğrulan doz miktarına soğrulan doz hızı denir.

Klasik Birim: rad (RadiationAbsorbedDose)

SI Birim : Gray(Gy)

1 Gy = 100 rad

1 rad = 0,01 Gy

Soğrulan doz hızı için;

Klasik Birim: rad/sn, mrad/saat vb.

SI Birim : Gy/sn, mGy/dakika vb.

3.4. Doz Eşdeğeri Birimi (Biyolojik Doz)

Vücutta toplanan enerjiyi, canlıda meydana gelen hasarı ve düşük doz düzeylerinde radyasyonun tipine ve enerjisine göre biyolojik hasarları ifade etmek için kullanılan ölçümdür.Soğrulan doz ile kalite faktörünün çarpımıdır.Çeşitli radyasyon türleri için kalite faktörleri Tablo 1'de verilmiştir.

Klasik Birim : Rem (Röntgen equivalentman)

SI Birim : Sievert (Sv)

1 Sv = 100 rem

1 rem = 0,01 Sv

Kalite Faktörü: Farklı radyasyon türlerinin biyolojik etkilerinin farklı olması nedeniyle, radyasyonun doku üzerindeki biyolojik etkisini hesaplamak için her radyasyon türü ve enerjisi için bir kalite faktörü (Q) tanımlanmıştır. Çeşitli radyasyon türleri için kalite faktörleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 1.Çeşitli Radyasyon Türleri için Kalite Faktörleri Tablosu (AFAD)

Radyasyon Türü	Kalite Faktörü (Q)
χ ışınları	1
γ ışınları	1
β ışınları	1
α ışınları	20
Elektronlar	1
Protonlar	2
Nötronlar	5-20

Doku ve Organ Ağırlık Faktörleri; Aynı miktarda radyasyona maruz bırakılan doku ve organlardaki etkiler farklıdır. Bu yüzden doku ve organ ağırlık faktörleri (WT) belirlenmiştir. Doku ve organ ağırlık faktörleri Tablo 2'de verilmiştir.

"Dünya genelinde doğal radyasyon kaynakları nedeniyle alınan yıllık etkin doz 2,4 mSv'dir. Tıp alanında çalışan radyasyon görevlilerinin aldıkları dozun yıllık ortalaması 1 - 5 mSv civarındadır. Çernobil nedeniyle Türk Halkının aldığı kişisel doz ortalaması 0.5 mSv'dir" (Hakemoğlu ve Şahmaran, 2014). Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan ortalama radyasyon doz değerleri

Işınlanma Kaynağı	Yıllık Etkin Doz Değeri (mSv)

Ortalama Değişim Aralığı

Doku ve Organ Ağırlık Faktörleri; Aynı miktarda radyasyona maruz bırakılan doku ve organlardaki etkiler farklıdır. Bu yüzden doku ve organ ağırlık faktörleri (WT) belirlenmiştir. Doku ve organ ağırlık faktörleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Doku ve Organ Ağırlık Faktörleri Tablosu (AFAD)

Doku veya Organ	W_T
Testisler	0,20
Kolon	0,12
Kemik İliği	0,12
Akciğer	0,12
Mide	0,12
Mesane	0,05
Meme	0,05
Tiroid	0,05
Karaciğer	0,05
Deri	0,01

Tablo 3. Radyoaktivite ölçüm ve birimlerine ait dönüşüm değerleri

Ölçülen Büyüklük	Birim	SI birim sembolü	Özel birimi ve sembolü	Dönüşüm değerleri
Işınlama (Exposure)	Coulomb/kg	C/kg	Röntgen (R)	1 R=2,58.10^{-4} C/Kg 1 C/Kg=3,876.10^{3} R
Absorbe doz	Gray	Gy	Rad (rad)	100 rad=1 Gy 1 rad=100 erg/g 1 rad=10^{-2} Gy
Eşdeğer doz	Sievert (Sv)	J/kg	rem	100 rem=1 Sv
Aktivite	Becquerel (Bq)	s^{-1}	Curie (Ci)	1 Ci=3,7.10^{10} Bq
	Ruthertford (rd)	rd	Parç/s	1 Bq=27.03.10^{-12} Ci 1 rd=10^{6} par/s
Sipesifik Aktivite	Curie/g	Ci/g	Ci/g	1 Ci/g=37.10^{12} Bq/ kg 1 Bq/kg=27.10^{-15}

KOZMİK RADYASYON

- **Foton bileşeni** 0,28
- **Nötron bileşeni** 0,10

KOZMOJENİK RADYOİZOTOPLAR 0,01

Toplam	0,39	0,3-1[(a)]
0,3 – 1,0 (a)		
YERYÜZÜ KAYNAKLI DIŞ IŞINLANMA		
• **Bina dışı**	0,07	
• **Bina içi**	0,41	
Toplam	0,48	0,3- 0,6 [(b)]
SOLUNUM YOLU İLE IŞINLANMA		
• **Uranyum ve Toryum serileri**		0,006
• **Radon (Rn -222)**	1,15	
• **Toron (Rn -220)**	0,10	
Toplam	1,26	0,2-10[(c)]
BESLENME YOLU İLE IŞINLANMA		
• **K-40**	0,17	
• **Uranyum ve Toryum serileri**	0,12	
Toplam	0,29	0,2-0,8 [(d)]
GENEL TOPLAM 2,4 1 – 10		

*(IAEA, 1998)

4. Radyolojik Tetkik ve Tanı Yöntemleri

Radyolojik tetkik ve tanı yöntemleri, kullanılan enerji türü, vücutta etkileşmesi ve görüntü teknolojisine göre çeşitli şekilde sınıflandırılabilir (Tuncel, 2011). Radyolojik tanı ve tetkik yöntemleri, kullanılan enerji türüne göre, iyonize radyasyon kullanılan tanı ve tetkikler ile iyonize olmayan radyasyonun kullanıldığı tanı ve tetkikler olmak üzere iki sınıfta incelenir.

4.1. İyonize radyasyonun kullanıldığı radyolojik tanı ve tetkikler

4.1.1. Röntgen

Röntgen tüpünden çıkan X-ışınları uygulama yapılan bölgeye nüfus ederken, bir kısmı absorbe olur ve dijital algılayıcı üzerine düşerek görüntü oluşur. İki boyutlu görüntü eldeedilen bu yöntemde bazen kontrast madde ile daha detaylı

çekimler yapılabilmektedir.

4.1.2. Bilgisayarlı tomografi

Vücut içindeki alanların ayrıntılı görüntülerini ve taramalarını oluşturmak için röntgen ışını kullanılan bir sistemdir. Vücudun farklı açılarından röntgen ışınları sayesinde alınan görüntüler, organ, kemik veya diğer dokuların ince bir kesit şeklinde görüntülenmesini sağlar (Huda, 2007).

4.1.3. Pantomografi

Eğri ve kavisli yüzeylerin panoramik radyogramlarının elde edilmesini sağlayan görüntüleme yöntemidir. Diş hekimliğinde kullanılır (Oyar ve Gülsoy, 2003).

4.1.4. Anjiyografi

Dolaşım sistemi rahatsızlıklarında damar içine kontrast madde verilerek tüm dokuların grafilerinin çekildiği yöntemdir. Bu yöntemle tıkanan damarların da açılması mümkün olduğundan hem tanı hem de tedavide kullanılmaktadır.

4.1.5. Skopi

Genellikle içi boş organlara kontrast madde verilerek floresan ekranda hareketli görüntü elde edilen yöntemdir.

4.1.6. Kemik mineral dansitometri

X veya Gama ışınları kullanılarak, kemiğin mineral yoğunluğunun ölçümünde kullanılan yöntemdir.

4.1.7. Mamografi

Radyoloji tüplerinde değişiklik yapılarak verilen radyasyonun azaltılıp, memenin yumuşak dokusunun incelendiği yöntemdir. Bu yöntemle yumuşak doku sıkıştırılarak farklı açılardan görüntüleme yapılabilmektedir.

X-ışını cihazı ile yapılan bazı radyolojik testler sonucunda hastaların maruz kalacağı etkin doz miktarları Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. X-ışını cihazıyla yapılan radyolojik incelemelerde hastalarınmaruz kaldığı ortalama etkin doz değerleri

Radyolojik İncelemenin Adı	Etkin Doz (mSv)
Anjiyografi	20,0 mSv
BT	5,0 mSv
Üriner sistem	3,90 mSv
Kolesistografi	2,00 mSv
Lomber	1,80 mSv
Thorax-fluoroskopisi	1,10 mSv
Pelvis	0,83 mSv
Mamografi	0,50 mSv
Thorax	0,14 mSv
Kraniyum	0,10 mSv
Diş röntgeni	0,10 mSv

*(Kumaş, 2009).

Tablo 3 incelendiğinde, hastayı en çok radyasyona maruz bırakan uygulamanın anjiyografi olduğu görülmektedir. Yine maruz kalınan radyasyon miktarının fazla olduğu bir diğer test de, hastalardan en çok istenilen testlerden biri olan BT'dir. Diğer uygulamaların sebep olduğu etkin doz oranları yine Tablo 5'de verilmiştir.

4.1.8. Nükleer tıp

Radyoaktif elementlerin hastalıkların tedavisinde kullanıldığı tıp dalına nükleer tıp denir. Nükleer tıp ilk olarak 1800'lü yıllarda İngiliz kimyager John Dalton tarafından atom teorisi araştırmalarına, 1895'de Röntgen'in X-ışınlarını bulması ve 1928'de Lawrence'ın siklotronu yapmasına kadar dayanmaktadır. 1934 yılında Marie Curie'nin yapay radyoaktiviteyi bulması ile Nükleer tıp alanında büyük bir gelişme sağlamıştır. Tüm bunlara rağmen gerçek anlamda nükleer tıbbın başlangıcı, 1940'lı yıllarda zehirli guatr tedavisinde radyoaktif iyodun kullanılmasıdır.

Nükleer tıpta radyasyonun kullanım alanları şu şekilde sıralanabilir;

Nöroloji alanda,

▷ Bunama durumlarında tanı tedavisinde,

▷ Boyunda ve beyinde bulunan damar ameliyatlarının değerlendirilmesi için,

▷ Epilepsi ve sara hastalıkları ameliyatında,

▷ Felç durumlarında tanı tedavisinde,

Onkoloji alanında,

▷ Tümörlerin tespitinde,

▷ Tümör evrelerinin belirlenmesinde,

▷ Kemik kanserlerinde ağrıların tedavisinde,

Ortopedi alanında,

▷ Kemik enfeksiyonunda,

▷ Kırıkların tespitinde,

Böbrek uygulamalarında,

▷ İdrar kaçışının tespit edilmesinde,

▷ İdrar yollarındaki tıkanıklığın tespitinde,

▷ Böbrek enfeksiyonlarının sebeplerinin incelenmesinde,

Kardiyoloji alanında,

▷ Koroner arter hastalıklarının tanısı,

▷ By-pass cerrahisi sonunda durum değerlendirmesinde,

Akciğer uygulamaları,

▷ Pulmoneremboli tanı ve tedavisinde,

Diğer uygulamalar,

▷ Mide rahatsızlıkları ve yemek borusu hastalıklarında,

▷ Bağırsakta meydana gelen deformasyon,

▷ Lenf sistemi ve yollarının incelenmesi,

▷ Gözyaşı bezleri ve gözyaşı yollarının incelenmesi,

▷ Tükrük bezi fonksiyonlarının incelenmesi,

▷ Safra kesesi rahatsızlıkları.

Nükleer tıp alanında yapılan radyasyon uygulamaları, hastaların tanı, teşhis ve tedavisinde oldukça önemli olmasına rağmen, bu uygulamalar hastanın radyasyona maruz kalmasına sebep olmaktadır. Bazı radyolojik incelemelerde alınan radyasyon doz miktarı fazla iken, bazı uygulamalarda ise daha azdır. Tanı, teşhis ve tedavi sürecinde kullanılacak yöntem kararı verilirken, hastanın maruz kalacağı radyasyon miktarı da göz önüne alınmalıdır.

4.2. İyonize radyasyon kullanılmayan tanı ve tetkik yöntemleri

4.2.1. Ultrasonografi

Ultrasonografi, ultrason kullanılarak elde edilen görüntülerdir. Birçok hastalığın ön teşhisinde kullanılan, ancak daha çok karın organları gibi ses dalgalarının kolayca geçebileceği konumdaki organların tetkikinde etkili bir inceleme yöntemi olarak kullanılır.

4.2.2. Manyetik rezonans (MR)

Çok güçlü bir manyetik alan oluşturularak, bu manyetik alan içindeki organizmada gerçekleşen atomik- moleküler düzeydeki etkileşimlerin bilgisayara kaydedilmesi ve görüntüleme ünitesinde resimlere dönüştürülmesi ile görüntünün elde edildiği yöntemdir(Kaya vd., 1997).

5. Radyasyonun Zararlı Etkileri

Kumaş (2009) tarafından "3. Radyoloji Teknisyenleri Mesleki Eğitim Toplantıları"ndayayınlanan çalışmaya göre, 08 Kasım 1895 tarihinde Alman fizikçi Prof. Dr. Wilhelm Conrad Röntgen tarafından X-ışınlarının keşfedilmesi, öncelikli olarak radyoloji bilim dalının doğmasına vesile olmuştur. X-ışınlarının keşfi ise tıp alanında yeni bir çağ başlatmıştır. Fakat bu olumlu gelişmelerin yanı sıra, hesap edilmeyen bazı olumsuzluklarla karşılaşılmıştır. Radyasyon ile yeni tanışıldığı dönemlerde henüz radyasyonun zararlı etkilerinin farkına varılmadığı için, o dönemde radyasyonun sebep olduğu birçok sağlık sorunları ortaya çıkmaya başlamıştır. 1895 yılında Röntgen'in X-ışınını bulduğunu açıklamasının ilk ayında radyasyon yanığı durumlarıyla karşılaşıldı.

Fransız fizikçi Becquerel, radyoaktif maddeler üzerinde çalıştığı dönemlerde gömleğinin cebinde bulunan radyum numunesi ile kendini yakmıştır. Becquerel'in radyasyon olgusu temellerinin atmasının üzerine Radyum elementi üzerine çalışan Marie ve Pierre Curie, çalışmaları esnasında ciddi oranda cilt ya-

nıklarına maruz kalmışlardır. Bu çalışmalar ve kazalar neticesinde radyasyonun insan ve canlı sağlığına tehlike boyutunda zararları olduğu anlaşılmıştır. “1905 yıllarında artık aşırı dozda radyasyonun canlıda kansere neden olduğu gerçeği birçok tıp dergilerinde yayınlanmaya başlamıştır” (Steven ve Elwin, 1999). O yıllarda elleri radyasyona maruz kalan birçok insan ellerini kaybetmiş ve kanserin yayılmaması için yüzlerce çalışanın uzuvları kesilmiştir. Birçok radyasyon alanında çalışan insan da bu sebepten ölmüştür.

Yine 1920’lerde radyumun kullanıldığı saat fabrikalarında, radyum boyaları çalışanlar üzerinde iç radyasyon etkisi yaratmış ve kemiklere yerleşen radyum sebebiyle kemik kanserinden birçok kişi ölmüştür. Radyasyonun bu tür sağlığa zararlı etkilerinin gözlenmesinin ardından, Amerikalı genetikçi Herman Joseph Müller tarafından radyasyonun genlerde değişiklik yaptığı ve mutasyona neden olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple kendisine 1946 yılında Nobel Tıp Ödülü verilmiştir.

Radyasyon üzerine yaptığı çalışmalarla bilime ve teknolojiye çok büyük katkılar sağlayan Fransız fizikçi Marie Curie, aşırı dozda radyasyona bağlı lösemi nedeniyle ölmüştür.

Atom reaktörü ile ilgili çalışmalar ilk 1942’li yıllarda ABD’de İtalyan asıllı fizikçi EnricoFermi yönetiminde gerçekleştirilmiştir.

İlk atom bombası, ABD tarafından 2. Dünya Savaşı'nın Pasifik Muhabereleri esnasında, Japonya'nın Hiroşima şehrine 6 Ağustos 1945 tarihinde atılmıştır ve on binlerce insanın canına mal olmuştur. Atom bombası, atıldığı anda 80 bin ve 1945 yılı sonuna dek ise 140 bin insanın hayatını kaybetmesine neden olmuştur. Dışarıdan yardım için şehre giren insanlar da yoğun radyoaktif yağmuru nedeni ile hayatını kaybetmiştir. Bu radyoaktif yağmur sebebi ile yalnızca insanlar değil, bunlarla beraber şehrin tüm hava, iklim, toprak bitki örtüsü yapısı bozulmuştur.

İkinci atom bombası yine ABD Hava Kuvvetleri tarafından, Japonya’nın Nagazaki kentine atılarak, en az 70 bin kişinin ölümüne neden olmuştur.

1957 yılında İngiltere’de Windscale nükleer santrali de reaktörlerin ısısının aşırı yükselmesi sonucunda alev almıştır. İşçiler diğer yöntemlerle yangını söndüremeyince su ile söndürmeyi denemiş ve daha büyük kazaya sebep olmuştur. Bu olay sonucunda 200 işçinin yarısı ölümcül olmak üzere kansere yakalanmıştır.

1979 yılında ABD'nin Pennsilvanya eyaletinde Three Mile Island Nükleer santralinde hem teknik hem insan hataları sonucunda çekirdek erimeye başlamıştır. Alınan yanlış önlemler sonucunda reaktörlerin ısısı 2371°C'ye yükselerek, yoğun bir radyoaktif gaz salınımına sebep olmuştur.

1986 yılında Ukrayna'nın Çernobil eyaletinde kurulmuş olan Çernobil Nükleer Santrali'nde yanlış yapılan bir deney sonucunda, büyük bir nükleer kaza meydana gelmiştir. Patlamaya denetim dışı bir çekirdek tepkimesinin sebep olduğu kuvvetli ihtimaller arasındadır. Bu patlamanın hemen ardından 31 kişi hayatını kaybetmiş, uzun vadede de binlerce insanın etkilendiği belirtilmiştir (IAEA, 1996).

Dünya genelinde 1945 yılından 1997 yılına kadar kayıtlara geçen tam 137 radyasyon kazası yaşanmıştır.

5.1. Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

Günümüzde radyasyon, sağlık başta olmak üzere birçok alanda insan hayatını kolaylaştıran teknolojilerde kullanılmasına rağmen, insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri göz ardı edilemeyecek kadar önemlidir. Radyasyona maruz kalan insanların vücutlarında, etkisi altında kaldığı radyasyonun enerji türü ve yoğunluğuna göre cilt yanıkları, doğal ömür süresinin kısalması, kanser ve kalıtımsal bozukluklar, vücutta toksik birikme gibi birçok hastalık meydana gelebilmektedir. Hatta yüksek dozda radyasyona maruz kalındığında ani ölümlere bile rastlanmaktadır.

Bilim insanları uzun yıllar boyunca radyasyonun canlı vücudundaki olumsuz etkileri üzerine çalışmalar yapmaktadır. Hiroşima ve Nagazaki'ye atılan atom bombaları, Çernobil faciası, Three Mile Island nükleer kazası, Windscale nükleer kazası gibi yüksek dozda radyasyon yayınlanmasına sebep olan olaylar üzerinde yapılan araştırmalarda, uzun yıllar boyunca radyasyonun etkilerinin sürdüğü görülmüştür. Bu da kazaların üzerinden yıllar geçmesine rağmen, yayınlanan radyasyonun uzun yıllar canlı sağlığını tehdit ettiğini göstermektedir.

X-ışınlarının ilk keşfedildiği zamanlarda, radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileri tam olarak bilinmediği için ilk bir ay içinde radyasyon yanığı olaylarına rastlanmıştır. Bunun üzerine Radyum elementi ile çalışan bilim insanları Becquerel, Marie ve Pierre Curie gerekli önlemleri almadıkları için, ciddi şekilde cilt yanıklarına maruz kalmıştır. Yaşanan bu talihsiz kazaların ardından radyasyonun insan sağlığını tehdit ettiği gerçeği ile yüzleşilmiş ve bununla ilgili önlem-

ler alınması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Günümüzde radyasyonun insan sağlığı üzerinde yaratabileceği zararlı etkiler uzun zamandır bilinmektedir. Bu etkiler radyasyon yanıkları, radyasyon hastalıkları, doğal ömür süresinin kısalması, kanser ve kalıtımsal bozukluklardır. Hatta çok büyük miktarlarda radyasyon dozuna maruz kalınması halinde ani ölümlere bile rastlamak mümkündür. Radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileri hücresel boyutta olabildiği gibi herhangi bir organ ya da uzvun kaybolmasına dahi sebep olabilmektedir.

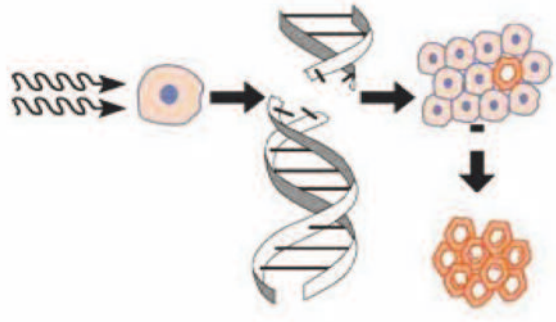
6.2. Radyasyonun biyolojik etkileri

Tüm organizmalar sistemlerden, sistemler organlardan, organlar dokulardan, dokular ise hücrelerden meydana gelmektedir. Yani temel yapı taşımız hücredir. Hücre en küçük canlı birimimizdir. Hücre temel olarak üç bölümden meydana gelmektedir. Bunlar Şekil 7'de görüldüğü gibi hücre zarı, sitoplazma ve çekirdektir. Çekirdek, hücrenin yönetim merkezidir. İçerisinde tüm kalıtsal bilgi ve şifremizin bulunduğu, hücre davranışları ile ilgili şifreler içeren kromozomlar bulunur. Kromozomlar da DNA zincirinin histon denilen bir proteinle sarılması ile oluşmuştur.Hücrenin tüm işlevi, davranışları ve yapısı DNA tarafından kontrol edilmektedir.

Şekil 7. Hücrenin kısımları görseli

İyonlaştırıcı radyasyon, canlı hücre tarafından soğurulduğu durumda, canlıda biyolojik bir hasara neden olur. Soğurulma sonucunda molekül boyutunda iyonlaşma ve uyarılma meydana gelir. Bu durum da DNA'da kırılma ya da hücre içinde toksin üremesine sebep olur. Eğer hasar çok büyük değil ise, DNA kendi yapısındaki hasarı onarabilir. Onarım sırasında herhangi bir aksaklık ile DNA üzerinde yanlış şifreleme meydana gelebilir. Eğer hasar onarılamayacak kadar büyükse, Şekil 7'de verildiği gibi DNA üzerinde mutasyona ve gen bozukluklarına da sebep olabilir.

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



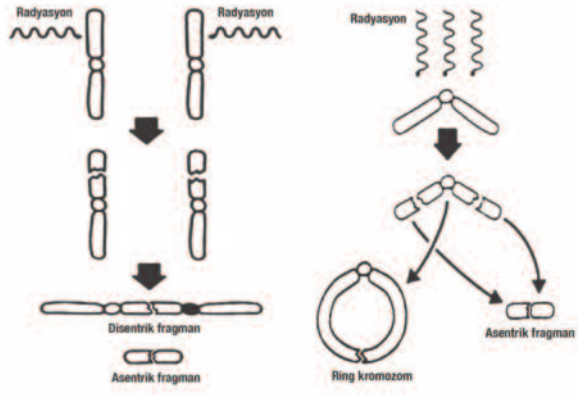
Şekil 8. Radyasyon-hücre etkileşmesi

Radyasyon; kromozomların kırılmasına, birbirlerine yapışmasına, kenetlenmesine ve kıvrılmasına yol açabilir. Kromozom kırıkları yeniden organize olabilir, aynı kalabilir veya bir başka kromozomla birleşebilir. Tüm bu değişiklikler Şekil 9 ve 10'da gösterildiği gibi mutasyonla sonuçlanabilir veya hücrenin ölümüne yol açabilir.

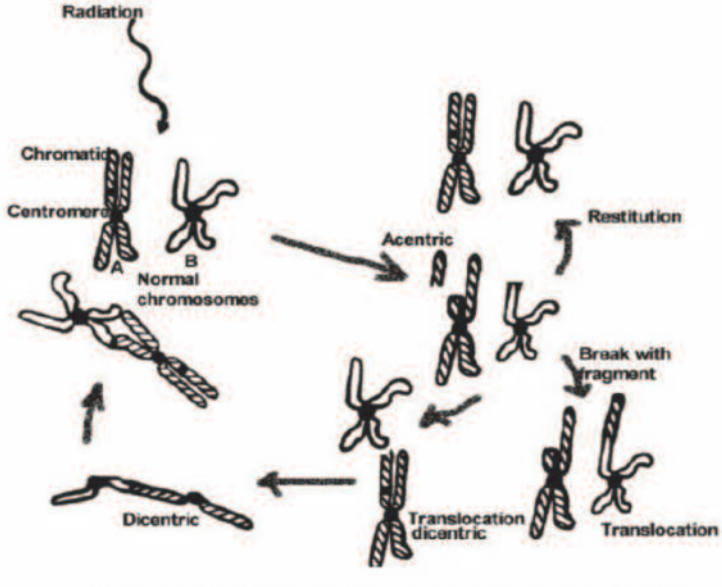
Hücre ile etkileşen radyasyon hücre kromozomunda hasarlara sebep olduğunda, hücrede bir takım biyolojik etkilerin oluşmasına neden olur. Bu biyolojik etkilerin bir kısmı kalıtımsal olurken, bir kısmı da bedensel olmaktadır. Bedensel etkiler canlının vücudunda herhangi bir aksaklık, hasar ya da hastalığa sebep olması olarak tanımlanabilir. Kalıtımsal etkiler ise, canlının kromozomunda meydana gelen değişiklik nedeni ile nesilden nesile aktarılma durumudur. Bedensel ve kalıtımsal etkiler de, erken ve gecikmiş etkiler olarak iki farklı kategoride incelenebilir.

5.2.1. Erken etkiler (Akut ışınlanma etkileri)

Canlı vücudunun belli bir bölgesi ya da tamamı yüksek dozda radyasyona maruz kalırsa, kısa zaman içinde radyasyonun sebep olduğu büyük hasarlar, has-



Şekil 9. Radyasyon etkisi ile kromozomlarda meydana gelen farklı değişim şekilleri



Şekil 10. İyonize radyasyona bağlı kromozom bozuklukları

talıklar hatta ölümlere sebep olur. Bu etkiye erken etkiler (akut ışınlama etkileri) adı verilir. Hiroşima ve Nagazaki'ye atılan atom bombaları ve yaşanılan nükleer santral kazalarında radyasyona direkt maruz kalan insanlar, akut ışınlama etkisi nedeniyle kısa zaman içinde ölmüştür. "İstatistikler, dünya genelinde 1945 ile 1997 yılları arasında, araştırma, tıp, nükleer ve diğer endüstriyel alanlarda radyasyon çalışanlarının yanı sıra, halktan kişileri de kapsayan 140'ı ölümcül (28'i Çernobil kurbanı) olmak üzere yüzlerce kişinin yaralandığı 137 radyasyon kazası

meydana geldiğini göstermektedir" (Yaşar, 1999). Günümüzde radyasyonun zararlı etkileri nedeniyle, alınan birçok önleme rağmen hala radyasyon kazaları yaşanmaktadır.

Akut ışınlanma sonucunda canlı vücudunda meydana gelen etkiler, akut radyasyon sendromu olarak adlandırılır. İnsan vücudu bir defada 1 mSv'den daha düşük dozda radyasyona maruz kalırsa, vücutta gözlemlenebilen herhangi bir hasar meydana getirmez. Radyasyon dozu artıkça kısa zamanda (örneğin birkaç saat) kişide mide bulantısı, kusma, ishal, baş dönmesi; daha uzun vadede ise (örneğin birkaç hafta) saç dökülmesi, geçici kısırlık, iştahsızlık, iç kanama, halsizlik gibi etkiler gözlemlenebilir. Ancak bir hafta ya da bundan daha kısa bir zamanda 7 mSv kadar dozda radyasyona maruz kalırsa, kemikler kan hücresi üretimini durdurur ve bir hafta gibi kısa bir zamanda ölümle sonuçlanabilir.

Eğer canlı vücudunun yalnızca bir kısmı kaza ya da farklı bir sebeple kısa zamanda yüksek dozda radyasyona maruz kalırsa, vücudun bu bölümünde ciddi hasarlar meydana gelebilir. Özellikle radyasyon kaynağına yakınlaştıkça, radyasyonun şiddeti artmasına rağmen, yüksek dozda radyasyon insan vücudunda bunu hissettirebilecek bir etki yaratmaz. Genellikle kazalar, bu şekilde radyasyon kaynağına çok kısa bir zaman için bile olsa fazla yakınlaşmaktan, radyasyon kaynağını direkt elle tutmaktan, ya da radyasyon kaynağını giysilerin cebi gibi, vücuda çok yakın bir yerde taşımaktan kaynaklı olabilir. Hasarın şiddeti de radyasyonun şiddetine, türüne, giriciliğine, radyasyona maruz kalan doku ya da organa göre farklılık gösterir.

Eğer insan vücudunun herhangi bir bölgesi 3-7 Gray arasında bir doza maruz kalırsa, eritem (cilt kızarıklığı) oluşur. Aynı doza saç derisi maruz kaldığında, saç üreten hücrelerin zarar görmesi sonucunda saç dökülmeleri meydana gelir. 7 Gray ve üstü dozlarda etkileri kalıcı olabilir.

a) 5 gün sonra oluşan kızarıklığı

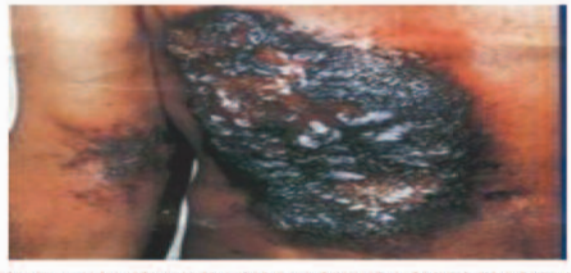
b) 11 gün sonra oluşan kızarıklıklar

Şekil 11. Ir-192 radyoaktif kaynağını iş önlüğünün cebinde taşıyan işçinin

5 ve 11 gün sonraki deri görüntüleri (TAEK, 2019)

Şekil 11. a ve b incelendiğinde vücuduna oldukça yakın tutulan radyoizotopun sebep olduğu kızarıklıklar gösterilmiştir. Görüldüğü üzere 11 gün sonraki çekilen görselde cilt kızarıklığı iyice belirginleşmektedir. Kazanın üzerinden üç hafta geçmesi durumunda ciltte görülen deri dökülmeleri Şekil 12'de görülmektedir.

Şekil 12. 21 gün sonra ışınlanan bölgesinde meydana gelen deri dökülmesi (TAEK, 2019)



Şekil 12. 21 gün sonra ışınlanan bölgesinde meydana gelen deri dökülmesi (TAEK, 2019)

Eğer vücudun bir bölgesi 15-25 Gy aralığında bir doza maruz kalırsa bölgede Şekil 13'de görüldüğü gibi su kabarcıkları oluşur.

Şekil 13. 20 ila 30 Gy arasında bir doza maruz kalmış bir işçinin ellerinde meydana gelen yanık ve su kabarcıkları (TAEK, 2019)

Vücudun maruz kaldığı doz miktarı 20 Gy üzerine çıkarsa bu bölgede

Şekil 13. 20 ila 30 Gy arasında bir doza maruz kalmış bir işçinin ellerinde meydana gelen yanık ve su kabarcıkları (TAEK, 2019)

artık kapanmayan yaralar yani ülserler meydana gelir. Aşağıdaki Şekil 14'de 1979 yıllarında 28 Ci'lik bir Ir-192 kaynağını arka cebinde taşıyan bir işçinin kalçasında açılan yaranın 19 ay süresince seyri verilmiştir.

(a) Olayın üzerinden 31 gün geçmiş hali

(b) Olaydan 50 gün sonra yaranın bacak alınan bir deri parçasıyla kapatılmış hali

(c) Olaydan 6 ay sonrası.

(d) olaydan 19 ay sonra yaranın yeniden deri parçasıyla kapatılmış hali

Şekil 14. Arka cebinde 28 Ci'lik Ir-192 kaynağını 45 dakika taşıyan bir kişinin kalçasında meydana gelen radyasyon yanığının gelişimi (TAEK, 2019)

Eğer vücut bir seferde 25 Sv'den daha yüksek dozda bir radyasyona maruz kalırsa bölgede nekroz (doku ölümü) meydana gelir. Fakat birkaç hafta içinde 50-100 mS aralığında bir doza maruz kalınırsa, iltihaplanma, deride kuruma, kaşıntı, kronik tahriş oluşur ve nadiren de olsa tamamen iyileşir. Ancak radyasyon maruziyeti devam ederse dokunun iyileşme gücü iyice zayıflayarak cilt kanseri oluşur.

Bir kerede 25 Sv'den daha fazla doz alındığında, bölgede doku ölümü (nekroz) meydana gelir. Birkaç hafta veya daha uzun bir süre içinde 50 ila 100 Sv'lik bir doza maruz kalındığında kronik tahriş, iltihaplanma, kuruma ve kaşıntı oluşur. Bu durum bir kere oluşmuşsa, nadir olarak tamamen iyileşir. Aşağıdaki Şekil 15'de yüksek dozda uzun süre radyasyona maruz kalan bir radyoloğun ellerini göstermektedir.

Şekil 15 İlk radyologlardan birinin sağ elinin görüntüsü (TAEK, 2019)

X-ışınlarının keşfedilmesinin üzerinden 3 yıl geçmesinin ardından, bu radyoloğun ellerinde su kabarcıkları ve yanıklar meydana gelmiştir. Çalışmalara devam eden radyoloğun parmakları yaklaşık 30 yıl sonrasında görseldeki şekilde kesilmiştir ve 1 yıl içinde kanserden ölmüştür. Bu gibi durumlar defalarca kez,

Şekil 15 İlk radyologlardan birinin sağ elinin görüntüsü (TAEK, 2019)

toplamda onlarca gray şiddetinde radyasyona maruz kalınması halinde meydana gelir.

Hamilelik sürecinde de ışınlamaya maruz kalma durumu, hamilelik başlangıcının 0-8 günleri aralığında ise bebeğin ölümüne, 8- 56 gün aralığında ise bebeğin büyümesinin gecikmesine, 14-105 gün aralığında ise kafa küçüklüğü, zihinsel engel, felç gibi nörolojik sorunlara sebep olabilmektedir (IAEA, 2001).

Vücudun radyasyona karşı en çok duyarlılık gösterdiği organ ve dokularının başında göz merceği gelmektedir. 0,5-2 Sv aralığındaki bir doz fark edilebilecek düzeyde bir saydamlık kaybına neden olabilirken, 5 Sv üzerinde katarakta neden olabilir.

5.2.2 Gecikmiş etkiler (Kronik ışınlanma etkileri)

Radyasyona uzunca bir süre içinde aralıklı olarak düşük dozlarda maruz kalınması sonucunda gecikmiş etkiler görülür. Buna kronik ışınlama etkileri de denir. Kronik ışınlanma sonucu oluşan etkiler uzun yıllar sonucu ortaya çıkabilir. Bunun sebebi düşük doz dahi olsa tekrarlanan ışınlamalarda, bir sonraki ışınlamaya kadar organizmanın hasarı onaramaması ve hasarın gittikçe artmasıdır.Akut ışınlama etkileri her ne kadar ürkütücü olsa da bir kaza yada ihmal sonucunda görüldüğü için nadir rastlanan durumlardandır. Fakat kronik ışınlama etkileri özellikle sağlık çalışanlarında sık görülmesi muhtemel olan bir etki çeşididir. 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 kalıtımsal bozukluklara rastlanılabilir.

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.

Radyasyonun kansere sebep olduğu birçok bilim insanı tarafından kabul edilmektedir. Bir insan kanser olduktan sonra, kansere hangi dış ya da iç etkilerin sebep olduğu tespit edilememektedir. Bu sebeple yapılan araştırmalar genellikle normalden daha yüksek dozlarda radyasyona maruz kalan bireyler üzerinde yürütülmektedir. Fakat elde edilen sonuçlar da kesinlik içermemekle beraber, ancak risk tahmini olarak belirtilmektedir.

Radyasyon tüm doku ve organlarda kanser riskine sebep olmasına rağmen, bazı dokuların radyasyonun etkilerine yönelik hassasiyeti daha yüksektir. "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" (TAEK, 2004). Bu çalışmada aynı zamanda iyi huylu deri ve tiroid kanserleri ile yüksek dozda radyasyon maruziyeti arasında bir ilişki olduğu tespit edilmekle beraber, rahim,pankreas,rektum, safra kesesi, gırtlak, prostat bezi, böbrek veya böbrek pelvisi kanserleriyle ölüm oranları ile kayda değer bir istatistiki sonuç elde edilememiştir. "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, birçok lösemi çeşidi için radyasyon ilişkisi dikkat çekmektedir."(TAEK, 2004).

Araştırma verileri incelendiğinde, cinsiyet değişkenine göre kanserli tümör oluşum risklerindeki farklılıklar çok anlamlı olmasa da, kadınlarda tümör oluşumu erkeklere nazaran daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca ışınlama yaşı genç olanların kendinden yaşlılara göre kansere yakalanma riskleri daha yüksektir. Elde edilen bu verilere rağmen riskler oranı, vücudun farklı doku ve organlarında da farklılık göstermektedir.

Birleşmiş Milletlerin radyasyonun etkileriyle ilgili çalışmalar yapan bir

kuruluşu olan United Nations ScientificCommitte on theEffects of AtomicRadiation (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 ışınlanmalar 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,tiroid bezi kanseridir. Işınlanma yaşının artmasıyla tiroid 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 (McGuire ve Peabody, 1986).

Tablo 6'de her yaş ve cinsiyetten kişilerin farklı ve doku organları için ölümcül kansere yakalanma, hasar oranları ve ölüm oranları verilmiştir.

Tablo 6. Radyasyona maruz kalmış her yaş ve cinsiyetten kişilerin oluşturduğu bir grup için farklı organ ve dokuların oluşacak hasara nisbi katkıları

DOKU	Ölümcül Kanser (%Sv-1)	Ölüm Oranı (%)	Yaşam Kaybı (yıl)	Hasar (%Sv-1)
Mesane	0,3	50	9,8	0,29
Kemik iliği	0,5	99	30,9	1,04

Kemik yüzeyi	0,05	70	15	0,07
Göğüs	0,2	50	18,2	0,36
K.bağırsak	0,85	55	12,5	1,03
Karaciğer	0,15	95	15	0,16
Akciğer	0,85	95	13,5	0,80
Yemek borusu	0,3	95	11,5	0,24
Dişi üreme bezi	0,1	70	16,8	0,15
Deri	0,02	0,2	15	0,04
Mide	1,1	90	12,4	1
Troid	0,08	10	15	0,15
Geri kalanlar	0,5	71	13,7	0,59
Yumurtalık	1,0	-	20	1,33

*(IAEA, 1998)

İnsan ırkının yüksek oranda doğal mutasyonu sebebiyle, insan grupları üzerinde radyasyon kaynaklı riskler belirlenememektedir. Ancak insanlar için yapılan tahminler, hayvanlar üzerinde yürütülen birtakım çalışmalardan elde edilen bilgilerin uyarlanmasına dayanmaktadır. Elde edilen bu verilere göre örneğin 1 Sv'lik bir dozun sebep olacağı ek genetik riskin %1,3 olacağı tahmin edilmektedir. Bu risk de, kanser riskine nazaran çok daha önemsiz olduğunu göstermektedir.

ICRP belli aralıklar ile hem halkın hem sağlık çalışanlarının maruz kaldığı radyasyon miktarı ile ilgili veriler toplayarak, risk tahminleri yapmaktadır. Yapılan son tahminlere göre, radyasyon çalışanlarının 18-64 yaş arası 47 yıllık çalışma yaşamı boyunca yıllık sırasıyla 10, 20, 30 ve 50 mSv'lik dozlara maruz kalırlar.Halktan kişilerin ise ortalama 70 yıllık bir yaşam süresi boyunca yıllık 1, 2, 3 ve 5 mSv'lik dozlara maruz kalmaları halinde ortaya çıkabilecek sonuçlar sırasıyla Tablo 7 ve Tablo 8'da özetlenmektedir.

Tablo 7. Radyasyon çalışanların ışınlanması sonucu doz değerine bağlı oluşabilecek hasarın nitelikleri

Yıllık Etkin Doz (mSv)	10	20	30	50

Yaklaşık Ömür Dozu (Sv)	0,5	1	1,4	2,4
Ölümle Sonuçlanma Olasılığı (%)	1,8	3,6	5,3	8,6
Ölümcül Olmayan Kanser Katkısı (%)	0,36	0,72	1,06	1,72
Kalıtımsal Etkilerin Katkısı (%)	0,36	0,72	1,06	1,72
TOPLAM	2,5	5	7,4	12
Ölüme Bağlı Ömür Kaybı (yıl)	13	13	13	13
18 Yaşından İtibaren Tahmini Ortalama Yaşam Süresi Kaybı (yıl)	0,2	0,5	0,7	1,1

*(IAEA, 1998)

Tablo 8. Halktan kişilerin ışınlanması sonucu doz değerine bağlı oluşabilecek hasarın nitelikleri

Yıllık Etkin Doz (mSv)	1	2	3	5
Yaklaşık Ömür Dozu (mSv)	70	140	210	350
Ölümle Sonuçlanma Olasılığı (%)	0,4	0,8	1,1	2
Ölümcül Olmayan Kanser Katkısı (%)	0,08	0,16	0,22	0,40
Kalıtımsal Etkilerin Katkısı (%)	0,11	0,21	0,29	0,53
TOPLAM	0,59	1,17	1,61	2,93
Ölüme Bağlı Ömür Kaybı (yıl)	13	13	13	13
Doğumdan İtibaren Tahmini Ortalama Yaşam Süresi Kaybı (yıl)	0,05	0,11	0,16	0,3

*(IAEA, 1998)

ICRP belirtilen bu risk seviyelerine dayanarak, hem halk için, hem de sağlık çalışanları için vücudun maruz kalacağı doz sınırları belirlemiştir. Bu sınırlar Tablo 9'de verilmiştir.

Tablo 9. Radyasyon çalışanları ve halk için doz sınırları

Radyasyon

	Çalışanları		Halk
Etkin Doz Sınırı	Ardışık 5 yılın ortalaması	20 msv	1 mSv
	Herhangi bir yılda	50 mSv	5 mSv
Yıllık Organ Eşdeğer Doz Sınırı	Göz merceği	150 mSv	15 mSv
	Deri (cm2)	500 mSv	50 mSv
	Eller ve ayaklar	500 mSv	50 mSv
	Hamile bir Radyasyon Çalışanının Abdomen (Karın) Eşdeğer Dozu	Hamileliğin bildirilmesinden sonra 2 mSv	-

*(IAEA, 1998)

KAYNAKÇA

AFAD; https://www.afad.gov.tr/kbrn/radyasyon-nedir

Arıkan, İ.H., Yücel, B., Özdemir, T., Demirel, H., Oğuz, F., Koç, Z. ve TAEK-RSGD. (2010) Türkiye'deki çevre radyoaktivitesinin izlenmesi, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Ankara.

GençayŞ.(1994) Nükleer Elektrik ve Çevre, Elektrik Enerjisi ve Teknolojileri Sempozyumu, İTÜ Yayınları, İstanbul.

Hekimoğlu, B. ve Şahmaran, T. (2014) “Radyasyon Güvenlik Klavuzu”, TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU ÇNAEM/TAEK, Ankara.

Huda, W. (2007) “Radiationdosesandrisks in chestcomputedtomographyexaminations”, Proceedings of theAmericanThoracicSociety, 4, 316-320.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (1996) “RadiationSafety”, IAEA Division of Public Information, 96-00725, IAEA/PI/A47E.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (1998) “Planning theMedicalResponsetoRadiologicalAccidents”, Safety Report Serie No:4, Vienna.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA (2001) “Energy, ElectricityandNuclearPowerEstimatesforthePeriodupto 2020”, Reference Data Series No:1,Vienna.

Kaya T.,Adapınar B., Özkan R., (1997), Temel Radyoloji Tekniği. Güneş & Nobel,Bursa, 224s.

Kumaş A. (2009) "Radyasyonun organizma üzerindeki zararlı etkileri", Radyoloji Teknisyenleri Eğitim Toplantıları, Antalya, 13-22. Last Access Date: 10.06.2019

McGuire S. andPeabody C. (1986) "Workingsafely in gama radiography, training manuel forındustrialradiographers", U.S NuclearRegilatoryCommission, USA, NUREG/BR-0024.

Oyar, O. ve Gülsoy, U.K. (2003) Tıbbi Görüntüleme Fiziği, Ankara Baskı Rekmay, 5, 600, Ankara.

Steven B.,Elwin R. andTilson E.D. (1999) PracticalRadiationProtectionandAppliedRadiobiology 2e 2nd Edition, Saunders, USA.

United Nations ScientificCommitte on theEffects of AtomicRadiation (UNSCEAR)

TAEK (2004) Endüstride Radyasyondan Korunma, TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU ANAEM/TAEK, Ankara.

TAEK. "Radyasyon ve biz". http://www.taek.gov.tr/ogrenci/r07.htm Son erişim tarihi: 08.09.2019

Tuncel, E. (2011) Klinik Radyoloji, Nobel Kitabevi, İstanbul.

Yalçın P. (2002) "Radyoaktif bozunma sonucu meydana gelen gama, K ve L X-ışınları için emisyonihtimallerininn ölçülmesi", Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Erzurum.

Yaşar, S. (1999) "Radyasyon ve Radyasyondan Korunmak", TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU ÇNAEM/TAEK, Ankara

3.7 km
2.25 km
2 km
1.6 km
0.1 mikrosievert
Deniz seviyesi
0.03 mikrosievert

TEŞEKKÜR BELGESİ
Prof. Dr. Paşa YALÇIN