

Bu makale, 2008. Uluslararası Katılımlı Tıbbi Jeoloji Sempozyumu Kitabı (Editör: Dr. Eşref Atabey), ISBN: 978-975-7946-33-5, Sayfa: 51-63 yayımlanmıştır.

Doğal radyoaktivite, doğal radyasyon ve insanda oluşturduğu dozlar *Natural radioactivity, natural radiation and radiation doses in human body*

Yüksel ATAKAN

Radyasyon Fizikçisi-Danışman-Heppenheim-Almanya

Öz

Yer kabuğunun yapısında dünyanın oluşumundan beri bulunan radyoaktif elementler ve bunların çevrelerine yaydığı radyasyonlar ile uzaydan gelen yüksek enerjili kozmik ışınlar doğal radyasyonları oluşturuyor. Toprak, su, hava, bitki örtüsü, besinler ve yapı malzemesi gibi daha birçok ortamda bulunan doğal radyoaktif maddeler vücudumuzu dıştan ve içten ışınlıyorlar. Herçeşit toprakta kilogram başına ortalama olarak 500 Bq düzeyinde doğal radyoaktif madde bulunmakta. En önemlileri Potasyum 40, Radium 226 ve Toryum 232 radyoizotoplarıdır. Yeryüzündeki doğal radyoaktif maddelerin çoğunun yarılanma süreleri kabaca yerküresinin jeolojik yaşı kadar (10^9 yıldan çok) olmakla birlikte bunlardan türeyen radyoizotoplar çok daha kısa yarılanma süreli. İnsanı etkileyenler içinde en önemlisi uranyum ve toryum'dan türeyen radon gazı. Yerel radyasyonların kozmik ışınlarla birlikte insanda bir yılda oluşturduğu ortalama doz dünya ortalaması olarak 2,4 mSv (mili Sievert).

Bu sunumun başında konuya yabancı olanlar için, radyasyon fiziğinin temel kavram ve birimleriyle radyasyon dozu açıklanıyor ve son bölümde de radyasyon dozunun insanda oluşturabileceği kanser riski tartışılıyor.

Abstract

Radiation from natural radioactive isotopes which are present in the earth crust since its formation and the cosmic rays with very high energy are the natural ionizing radiations. Natural radioactive isotopes are found in soil, rocks, water, air, vegetation, building material, food in small amounts and irradiate us from outside as well as from inside of our body. Some types of soil contains about 500 Bq/kg radioactivity. The important natural radioactive isotopes are potassium 40, uranium 235, uranium 238 and thorium 232 (primordial radionuclides), with their relatively short lived daughter radionuclides radium 226, radon 222 and radon 220 (thoron). The primordial radionuclides have radioactive decay half lives that are approximately Earth's age. The most important radioisotope for humans are radon and thoron gases which originate from the U 238 and thorium natural series. The yearly natural world-average-dose of a person is about 2,4 mSv, the half of it comes through radon.

At the beginning of this contribution the fundamentals of radiation physics with the units used are presented and at the last part the cancer risk due to the radiation dose is discussed.

Anahtar Sözcükler: 1. Radyasyon, 2. Doğal Radyasyon, 3. Radyasyon Dozu, 4. Radyasyon kanser riski

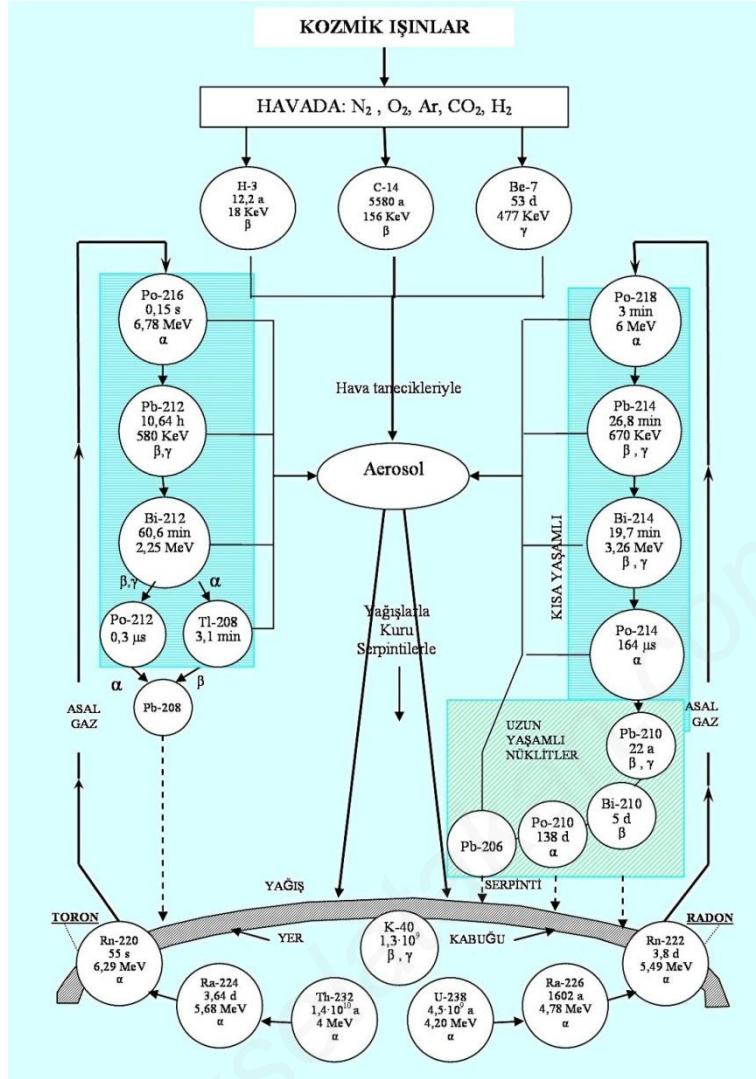
İyonlayıcı doğal radyasyonlar (iyonlayıcı doğal ışınlar)

Kaynağı doğada olan radyasyonlar, güneşten, yıldızlardan gelen kozmik ışınlar ile kayalarda, toprakta, havada, suda, bitkilerde, besinlerde ve tüm canlıların yapısında bulunan doğal radyoaktif maddelerden yayılan radyasyonlardır (Şekil-1).

İyonlayıcı radyasyon (iyonlayıcı ışınlar)

Her çeşit ışının, cinsine göre az ya da çok enerji içerdiğini, duruma göre ya elektromanyetik dalgadan ya da tanecik akımından oluşmuş gibi davrandığını son yüz yıldır biliyoruz. Işınlardan enerjisi yüksek olduğunda, bunlar maddenin yapısındaki atom ve moleküllere girerek, enerjilerini iyon çiftleri oluşturarak maddeye aktarıyorlar. Aktarılan bu enerji miktarına, 'vücudun' veya 'belirli bir organın' aldığı ya da soğurduğu 'radyasyon dozu' ve enerjileri çok yüksek olan bu çeşit girici ışınlar da 'iyonlayıcı radyasyonlar' ya da 'iyonlayıcı ışınlar' diyoruz. Çoğunlukla bu çeşit girici ışınlar, 'radyoaktif madde' olarak bilinen Uranyum, Radyum, Radyoiyot, Tritium gibi 'kararsız atom çekirdeklerinden', nükleer parçacık hızlandırıcılarından, Röntgen aygıtlarından kaynaklanıyor ya da uzaydan gelen 'Kozmik Işınlardan' oluşuyorlar.

Aslında insan, milyonlarca yıldan beridir uzaydan gelen kozmik ışınlar ile çevresinde ve vücudunda bulunan, 'Doğal Radyoaktif Maddelerden' yayılan radyasyonlarla birlikte yaşamakta. Vücudumuza solunum ve sindirim yollarıyla, hava, su, tüm bitkisel ve hayvansal besinlerde az da olsa bulunan, radyoaktif maddeler girmekte, bunlar zamanla çeşitli organlarda birikmekte. Vücudumuzda her saniye 9000 adet kadar atom çekirdeği parçalanıyor (günde 800 milyona yakın!) ve her parçalanmada ortaya çıkan enerjileri yüksek radyasyonlar, insan vücudunu 'içten' ısıtıyorlar. Ayrıca kozmik ışınların ve çevremizdeki herçeşit maddenin içindeki radyoaktif maddelerden salınan ışınlar da sürekli olarak 'dıştan' hedef olmaktayız. Vücudumuzdan yayınlanan radyasyonlar da, çevremizde bize yakın kişileri az da olsa ısıtmaktalar. Öte yandan, bir röntgen filmi çektiğimizde, vücudumuza 100 milyar kadar ışın girmesine rağmen vücutta 'belirgin bir hasar' ya da hastalık başgöstermiyor. Her ne kadar hücreler, radyasyonlara karşı gerekli savunmayı yaparak kendilerini korumakta iseler de giriciliği yüksek iyonlayıcı ışınların, hücre ve organlarda hasar oluşturabilmesi, düşük dozlarda çok seyrek olarak da kanser gibi ölümle sonuçlanabilecek hastalıklara yol açması olasılığı var.



Şekil-1 Doğal radyonüklitlerin oluşumu, radyoaktif bozunmaları ve dağılımları

Bu çeşit ışınların insan vücudunda oluşturduğu radyasyon dozunu belirlemede kullanılan kavram ve birimler, konuya yabancı olanlar için yararlı olabileceğinden aşağıda veriliyor.

Radyoaktivite, radyasyon dozu kavram ve birimleri

Radyoaktif bir maddenin yayınladığı ışınlar yoluyla gösterdiği etkinliğe radyoaktivite, ya da aktivite diyoruz.

Radyoaktivite ölçüsü, radyoaktif bir maddenin atom çekirdeğindeki zaman birimindeki parçalanma ya da bozunma sayısı olup birimi Becquerel (Bq)

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ adet çekirdek parçalanması} / 1 \text{ saniye}$$

Eski birim : 1 Curie:

Saniyede $3,7 \cdot 10^{10}$ adet çekirdek bozunması

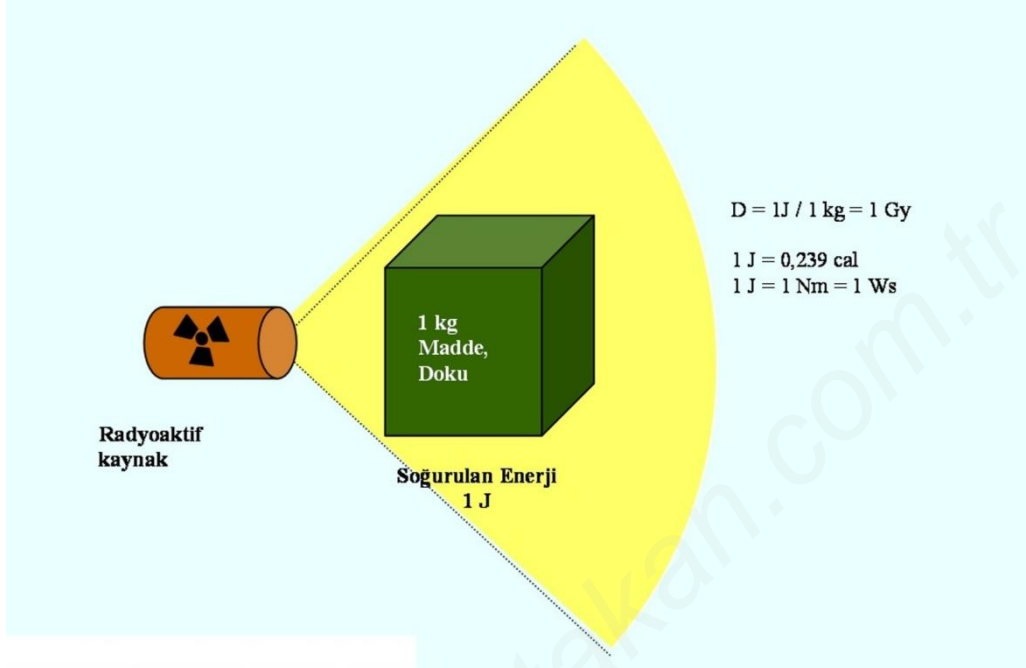
Enerji Dozu, radyasyonun herhangi bir maddedeki soğrulma dozu olup, birimi **Gray**’dir.

1 Gray herhangi bir maddenin kilogramı başına 1 Joule enerji soğurumuna eşdeğer .1 Joule günlük kullanımda oldukça küçük bir enerji miktarı: örneğin 100 gramlık bir çikolata paketini yerden 1 m yüksekliğe kaldırdığımızda 1 Joule’lük enerji harcamış oluruz. Ancak bu enerji iyonlayıcı ışınlarla hücrelerimize aktarıldığında durum değişiyor, çünkü hücrenin yapısındaki molekül ve atomların durumu bu enerjiyle değişiyor ve hücrenin normal yapısı bozulabiliyor.

1 Gy = 1 J/kg madde (örneğin vücut dokusu)

Eşdeğer Doz : Birimi => Sievert(Sv)
(Şekil-2).

Eşdeğer Doz : Birimi => Sievert (Sv)



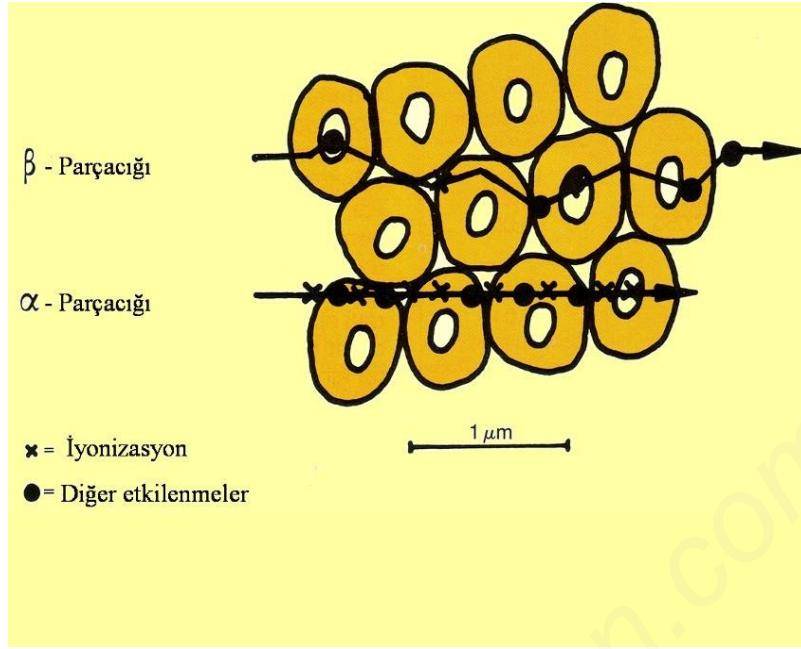
Şekil-2 Enerji dozu birimi : Gray

Eşdeğer doz, iyonlayıcı ışınların biyolojik etkinliğinin bir ölçüsü. Vücutta aynı ‘enerji dozunu’ oluşturan α , β , γ gibi iyonlayıcı ışınlar vücuttaki doku ve hücrelerde farklı bozunmalara (hasarlara) yol açabiliyorlar. Örneğin kütleleri büyük Alfa’lar deriyi geçerken enerjilerinin büyük bir bölümünü ya da tümünü dıştaki hücrelere aktararak bunlarda bozunmaya neden olabiliyor. Bu nedenle alfaların hücrelerde oluşturduğu ‘iyonizasyon yoğunluğu’ çok büyük olduğundan ‘sık ya da yoğun iyonlayıcılar’ olarak da adlandırılıyorlar. Aynı enerji dozunu (Gy) oluşturan Beta’lar ise, kütlelerinin çok daha küçük olmaları sonucu, daha derinlerdeki hücrelere kadar girebildiklerinden, enerji soğurumu, yolları boyunca birçok hücrede oluyor. Betalara, bu nedenle ‘seyrek iyonlayıcılar’ deniyor. Böylece hücre başına düşen enerji soğurumu (ya da iyonizasyon yoğunluğu) azalıyor ve bunun sonucu olarak hücreler daha az bozunmaya uğruyor. Buradan Alfa’ların ‘biyolojik etkinliğinin’, Beta’lara göre çok daha büyük olduğu görülüyor. Bu biyolojik etkinliği gözönüne alan ‘Kalite Katsayıları’, iyonlayıcı ışınların cinslerine göre Uluslararası Radyasyon Güvenlik Kurulunca (ICRP) belirleniyor :

Beta ve Gama’lar için : 1

Alfa’lar için 20

Yüksek enerjili proton ve nötronlar için (enerjilerine göre) : 5 ile 20 arası



Şekil-3 Beta ve alfaların hücrelerle etkileşmesi. Betalar bir hücreyle sadece 1 kez etkileşirlerken, aynı enerjideki alfalar için bu 1000 kadar

Bunun sonucu olarak ‘Biyolojik Etkinliği’ de hesaba katan **Eşdeğer Doz (H)** kavramı ortaya çıkıyor ki bu da Gy cinsinden Enerji Dozunun, kalite katsayısıyla çarpımından başka bir şey değildir : **H (Sv)= Enerji Dozu (Gy) · Kalite Katsayısı (q)**.

Kalite katsayısının birimsiz olmasına rağmen, ‘Enerji Dozuyla’ ‘Eşdeğer Dozu’ ayımsamak için, Eşdeğer doz ¹ (**H**) birimi olarak Gray yerine **Sievert** ² seçilmiştir.

Sievert’ lik dozlar hücreler için büyük dozlar olduğundan daha çok **mSv** ve **μSv** kullanılıyor :

$$1 \text{ mSv} = 10^{-3} \text{ Sv} ; \quad 1 \text{ μSv} = 10^{-6} \text{ Sv}.$$

Eski birim 1 rem (rad equivalent man) = 0,01 Sievert ; 1 Sv = 100 rem

Şekil 2 beta ve alfaların, hücrelerle etkileşmelerini gösteriyor.

Etkin Doz : Birimi => Sievert(Sv)

Vücudun çeşitli organ ve dokularının radyasyona duyarlılığı farklı olduğundan, bunları karşılaştırabilmek ve vücudun tümünün etkilendiği dozu belirleyebilmek için ‘Etkin Doz’ kavramı türetilmiştir. Etkin doz, bir organ ya da doku için ‘Eşdeğer Dozun’, o dokunun radyasyona duyarlılığını gözönüne alan ‘Ağırlık Katsayısıyla’ çarpımından oluşmakta ve birimi Eşdeğer Doz birimiyle aynı: Sievert. ‘Etkin Doz’ ile, ‘herbir organ ve dokunun’ ya da ‘tüm vücudun’ ışınlaması durumunda ortaya çıkabilecek ‘rastgele hasar riski’ gözönüne alınmış oluyor. Böylece ağırlık katsayıları, ışınlanan ilgili organların ya da dokuların tüm vücuttaki rastgele hasar riskine olan katkılarını gösteriyor.

¹ H : İngilizce Hazard (hasar, bozunma) sözcüğünden.

Aslında ingilizce ‘Hazard’, arapça ‘hasar’ sözcüğünden türeme.

² İsveçli Tıp Doktoru ve Fizikçi **Sievert** Rolf (1896-1966) adından

Topluluk dozu (kollektif doz)

Bir topluluğun tümünün ışınlanmasında, kişi başına alınan dozun o topluluktaki insan sayısı ile çarpımı sonucu hesaplanan doz. Topluluk Dozu radyasyon risk hesapları için önemli.

Kozmik ışınlar : Güneş ve yıldızlardan kaynaklanan yüksek enerjili kozmik ışınlar daha çok (%93) hızlı protonlardan (hidrojen atomu çekirdeklerinden) ve daha az da (%6,3) alfalardan (helyum atomu çekirdeklerinden) ve bir miktar da Tritiyum ve Carbon 14 çekirdeklerinden oluşuyor. Bunlar atmosferdeki hava molekülleriyle ve atomlarıyla çarpışarak yeni çekirdekler üretilip, enerjilerini gitgide aktararak azalıyor ya da yitiriliyorlar. Bunun sonunda, kozmik ışınlardan ikincil ve daha sonraki bir dizi tepkimelerle üretilen protonlar, nötronlar, elektronlar, mezonlar, gamalar (fotonlar) gibi daha bir çok ışınlar yeryüzüne ulaşmakta.. Deniz düzeyinden yükseldikçe kozmik ışınların şiddeti iyice artıyor: her 1500 metrede 2 katına çıkıyor ve dolayısıyla yüksek yerleşim yerlerinde oturanların, uçak personelinin, uzun uçuş yapan işadamlarının alacakları radyasyon dozu da artıyor.

Deniz düzeyindeki bir yerleşim yerinde yıllık ortalama 0,25-0,3 mSv olan kozmik ışınlardan kaynaklanan radyasyon dozu, 3 000 m'de 1,1 ve 10 000 m yüksekliğinde ise ortalama 44 mSv'e yükselmektedir ki bu da saatte 0,005 mSv (= 5 mikro Sievert)'lik bir dozhızı demektir (Deniz düzeyindeki değerin 150 katına yakın). Bu nedenle kozmik ışınlardan, uçak personelinin aldığı radyasyon dozları, nükleer reaktörlerde, nükleer tıpta ve diğer nükleer araştırma merkezlerindeki personel gruplarının (radyasyonla uğraşanların) aldıkları yıllık ortalama dozların çok üstünde olup, örneğin Almanyadaki 30 000 kişilik uçak personeli en çok radyasyon dozu alan grubu oluşturuyor.

Yerkabuğu kaynaklı radyasyonlar

İnsanın çevresindeki toprak, su, hava ve yapı malzemesi gibi daha birçok ortamda doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerden yayılan radyasyonlar. Yeryüzündeki doğal radyoaktif maddelerin çoğunun yarılanma süreleri kabaca yerküresinin jeolojik yaşı kadar (10^9 yıldan çok) olmakla birlikte bunlardan türeyen radyoizotoplar çok daha kısa yarılanma süreli. Yer kabuğunda bulunan önemli radyoaktif maddeler olarak Toryum, Uranyum-Aktinyum ve Uranyum-Radyum Dizilerindeki radyoizotoplar sayılabilir ki bunların tümü bir dizi radyoaktif bozunma (parçalanma) sonucunda Kurşuna (Pb) dönüşerek, atom çekirdekleri kararlı duruma geçerek son buluyorlar.

Çizelge-1 Primordial radyonüklitler (yerkabuğunun oluşumundan beri bulunanlar)

Nüklit	Simge	Yarılanma Süresi	Doğada bulunma oranları
Uranyum 235	^{235}U	$7,04 \times 10^8$ yıl	0,72% (Toplam doğal uranyumun)
Uranyum 238	^{238}U	$4,47 \times 10^9$ yıl	99,27% (Toplam doğal uranyumun); Toplam doğal uranyum (genellikle kayalarda): 0,5 - 4,7 ppm
Toryum 232	^{232}Th	$1,41 \times 10^{10}$ yıl	1,6 - 20 ppm genellikle kayalarda, ortalama olarak: 10,7 ppm (= 11 g / 10 ton)
Radyum 226	^{226}Ra	1600 yıl	Kireçtaşı: 16 Bq/kg ; kayalarda: 48 Bq/kg
Radon 222	^{222}Rn	3,82 gün	Asal Gaz; ABD'de açık havada yıllık ortalama derişimi : $0,6 \text{ Bq/m}^3$ - 28 Bq/m^3)
Potasyum 40	^{40}K	$1,28 \times 10^9$ yıl	Toprakta : 37-1100 Bq/kg (Yerkabuğunun %2'i potasyum, bunun da %0,01 K-40)

Çizelge-2 Kozmik kaynaklı radyonüklitler

Nüklit	Simge	Yarılanma Süresi	Kaynak	Doğal Radyoaktiviteleri
Karbon 14	^{14}C	5730 yr	Kozmik ışın tepkimeleri, $^{14}\text{N}(\text{n},\text{p})^{14}\text{C}$	0,22 Bq/g organik maddede
Hidrojen 3 (Tritiyum)	^3H	12,3 yr	Kozmik ışınların N and O ile çarpışmalarıyla oluşan $^6\text{Li}(\text{n}, \alpha)^3\text{H}$	$1,2 \times 10^{-3}$ Bq/kg
Berilyum 7	^7Be	53,28 gün	Kozmik ışınların N and O ile çarpışmalarıyla	0,01 Bq/kg

Çizelge-3 10 cm kalınlığıdaki 1 km² 'lik topraktaki ortalama radyoaktivite

Nüklit	Ort.Aktivite/kg	Nüklit kütlesi	Radyoaktivite x 10 ⁹ Bq
Uranyum	25 Bq/kg	286 kg	4,0
Toryum	40 Bq/kg	1527 kg	6,8
Potasyum 40	400 Bq/kg	260 kg	65,1
Radyum	48 Bq/kg	0,22 g	8,2
Radon	10 kBq/m ³ Toprak	1,43 µg	0,96
Toplam:			>85 Milyar Bq

Kaya ve Toprak cinsi	Özgül Radyoaktivite (Bq/kg)		Kuru madde
	K-40	Th-232	U-238
Granit	1000	80	60
Bazalt	250	10	10
Kireçtaşı/Kalker	90	7	30
Kumtaşı	350	10	20
Kilyaprak taşı	700	50	40
Gri toprak	650	50	35
Kara toprak	400	40	20
Ağartma Toprağı	150	10	7
Bataklık	100	7	7

Kaynak: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Umwelt-radioaktivität und Strahlenbelastung, Jahresbericht 1995

Çizelge -4 Çeşitli kaya ve toprak cinslerinin tipik özgül radyoaktiviteleri (Yerine göre, değerler büyük ölçüde değişebilir)

Yapı malzemesindeki doğal radyoaktivite ve sınırlamalar

Taş, tuğla, beton gibi yapı malzemeleri yer kabuğundan kaynaklanan birçok radyoaktif maddeyi yerine göre az ya da çok içerebiliyor. Bunlardan, radyasyon fiziği ve biyolojisi yönünden en önemlileri:

Ra-226, Th- 232 ve K-40

Herhangibir yapı malzemesinin, vücutta oluşturabileceği radyasyon dozuna bir sınırlama getirmek amacıyla radyum eşdeğerini (Ra_{eq}) temel alan ve Leningrad Ölçütü (B) de denilen aşağıdaki bağıntı kullanılmakta. Bu bağıntıdaki Ra, Th ve K simgeleri malzemenin kilogramı başına olan ilgili özgül radyoaktiviteleri göstermekte.

$$B = Ra/370 + Th/259 + K/4800 = 0,0027 Ra + 0,00386 Th + 0,00021 K$$

B nin iki yanı 370 ile çarpıldığında, ilgili bilimsel yayınlarda çok karşılaşılan ve Radyum Eşdeğeri (Ra_{eq}) adındaki aşağıdaki bağıntı ortaya çıkıyor:

$$Ra_{eq} = B \times 370 = Ra + Th (370/259) + K (370/4800) = Ra + 1,43 Th + 0,077 K$$

Bu bağıntı, ilgili yapı malzemesinde kg başına 370 Bq Ra-226, 259 Bq Th-232 ve 4810 Bq K-40 miktarlarındaki özgül radyoaktivitelerden herbirinin aynı gama dozunu oluşturduğunu gözönüne almakta. Bu bağıntının kaynağı, genellikle sınır değer olarak alınan 370 Bq/kg'lık Ra-226 özgül aktivitesinin altındaki maddelerin serbest dolaşımına izin verilmesi ve bu değer üstündekiler için ise yetkili kurumlara bildiri zorunluluğu. Buradan görüldüğü gibi malzemede sadece radyum bulunsaydı 370 Bq'lık sınır değer aşılması için ilgili malzemedeki radyum radyoaktivitesinin 370 Bq'ın altında kalma zorunluluğu sonucu B'nin 1 den küçük olması gerekirdi ya da en çok : $B = 370/370 = 1$ olabilirdi. Malzemede radyumun yanı sıra genellikle Th ve K da bulunduğundan tüm toplam için B'nin ancak 1 den küçük olması durumunda malzeme için 370 Bq'lık sınır değer korunabiliyor ve bu bir yapı malzemesi sınıflandırma ölçütü oluyor. Ancak bu bir ilk sınıflandırma olup kritik durumlarda, malzemedeki diğer tüm radyoizotopların ölçülmesi ve yapılan binanın ne amaçla ve içinde ne süre kalınacağına hesaba katılması gerekir. Bu ölçüt, hem dıştan ve hem de içten radyasyonlarla ışınlama durumunda geçerli olduğundan, malzemenin yaydığı **radon** gazından oluşan katkı da kritik durumlarda ölçülüp belirlenmelidir. Bu nedenle vücudun dıştan ve içten ışınlaması gözönüne alınarak, herbir ışınlama yolu için B/2 değeri alınması doğru olur.

Örnek : B'nin beton için belirlenmesi:

Yapı malzemesinde radyonüklit ölçümleri genellikle gama spektrometresiyle yapılıyor.

Ortalama özgül aktiviteler : 30 Bq/kg Ra-226, 23 Bq/kg Th-232 ve 450 Bq/kg K-40 için

B= 0,26 bulunur ve 1'den ve hatta 0,5 den küçük olan bu değer, betonun yapı malzemesi olarak kullanılmasında, radonun katkısı dahil, bir sakınca olmadığını gösteriyor. Ancak herhangi bir beton için bu ortalama değer geçerli olamayacağından, kullanılacak beton için ölçümlerin ve hesaplamaların yapılarak karar verilmesi gerekir.

Radyonüklit	Topraktaki Özgül Aktivite başına Etkin Doz hızı (nSv/h / Bq/kg)	Enerji dozu başına Etkin Doz (Sv/Gy)
K-40	0,033	0,709
Th-232 dizisi	0,51	0,695
U-238 dizisi	0,35	0,672

Çizelge-5 Toprağın 5-15 cm kadar üst yüzeyinde bulunan önemli radyonüklitlerden kaynaklanan 1 m yükseklikteki etkin gama dozhızları (UNSCEAR 2000)

Not: Ölçü sonuçlarından o yöredeki kozmik ışın dozhızının düşülmesi gerekir.

Ölçülen Dozhızından gidilerek Topraktaki Radyoaktiviteyi kabaca belirlemek

Çizelge-5'de herbir radyonüklit için topraktaki özgül radyoaktivite başına, topraktan yaklaşık olarak 1m yükseklikte ölçülen etkin doz hızı değerleri (UNSCEAR 2000) veriliyor. Görüldüğü gibi önemli katkılar Th-232 ve U-238 dizilerindeki radyonüklitlerden kaynaklanmakta, K-40'ın katkısı bunların yanında çok az ve 0,033 nSv/h değeri ölçü hatalarına bile girebilir.

Ölçülen dozhızının topraktaki Th-232 ve U-238 dizilerindeki radyonüklitlerden, aşağıdaki oranlarda kaynaklandığı varsayılırsa:

Th-232 dizisindeki radyonüklitlerin dozhızına katkısı: $0,51 / (0,51+0,35) = \%60$

U-238 dizisindeki radyonüklitlerin dozhızına katkısı: $0,35 / (0,51+0,35) = \%40$ bulunur.

Çizelgedeki değerlerden ve ölçülen dozhızından gidilerek topraktaki özgül radyoaktiviteler Bq/kg olarak orantıyla kabaca belirlenebilir.

Örnek:

Çanakkale Hantepe kıyısında 2006'da farklı iki yerde ölçülen doz hızlarından 600 nSv/h ve 10 000 nSv/h değerleri için sırasıyla:

1. $(600 \text{ nSv/h} \times 0,60)/0,51 = 706 \text{ Bq/kg}$ ve $11\ 765 \text{ Bq/kg}$ **Th-232 dizisi radyonüklitleri**
2. $(600 \text{ nSv/h} \times 0,40)/0,35 = 686 \text{ Bq/kg}$ ve $6\ 860 \text{ Bq/kg}$ **U-238 dizisi radyonüklitleri**

Bu değerler TAEK Hantepe 2006 ölçümleriyle uyumludur. Hantepe plajı sahil kumunda ölçülen 11 000 nSv/h dozhızına karşılık topraktaki toplam özgül radyoaktivitenin 10 000 Bq/kg'dan daha büyük olduğu Çanakkale Radyasyon ve Çevre Sempozyumu 2006 kitabında yer almakta (Bkz. Sayfa 14 ve 16 / Ş.Can TAEK)

Vücuttaki Radyoaktivite

İnsan vücudunun ortalama toplam radyoaktivitesi 9000 Bq kadardır. Vücuda solunum ve sindirim yollarıyla giren radyoaktif maddeler farklı organlarda farklı miktarlarda biriktiklerinden, radyoaktivite vücudun her yerinde aynı değil. Vücudun radyoaktivitesine katkıda bulunan önemli radyoizotoplar olarak, doğal radyoaktif maddelerden Potasyum 40 (K40) ile evlerin havasındaki Radon (Rn 220 '=*Toron*' ve Rn 222), Uranyum-Radyum ve Toryum dizilerinden oluşan bozunum

ürünleri ile yapay kaynaklı Sezyum 137 radyoizotopu sayılabilir. Vücudun toplam içten ışınlanma dozu ortalama olarak yılda kişi başına 1,5 mSv olup bunun büyük miktarı radon ve torondan kaynaklanmakta.

Doğal Radyasyonların İnsan Vücudunda Oluşturduğu Dozlar

Aşağıdaki Çizelge-6'da kozmik ışınların ve doğal radyoizotopların vücudu dıştan ve içten ışınlaması sonucunda oluşan yıllık etkin ortalama doz değerleri (kişi başına) gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, toplam ortalama değer yılda 2,4 mSv dir.

Doğal Radyasyon Kaynağı	Ortalama yıllık etkin doz (mSv)	Değişim/Salınım aralığı (mSv)
DIŞTAN IŞINLANMA		
Kozmik ışınlar	0,4	0,3 – 1,0
Yerel gama ışınları	0,5	0,3 – 0,6
İÇTEN IŞINLANMA		
Solunum (çokçası Radon)	1,2	0,2 – 10
Sindirim	0,3	0,2 – 0,8
TOPLAM	2,4	1 - 10

Çizelge-6 Doğal radyasyon kaynaklarının oluşturduğu ortalama radyasyon dozları³.

Bu çizelgedeki değerler dünya ortalaması olup, bölgesel değişim aralıkları görüldüğü gibi büyük.

Radyasyonun Vücutta Hasar Oluşturma Olasılığı (Riski)

Radyasyonun vücutta oluşturabileceği hasarın derecesi (büyüklüğü) ya da hasar oluşma olasılığı (riski) genellikle aşağıdaki etkenlere bağlı :

- Dozun büyüklüğü : Doz arttıkça, risk de artar
- Dozun süresi : ‘Belirli bir Dozun’ alındığı süre arttıkça, etkisi azalır ve bu nedenle risk de azalır
- İyonlayıcı ışının cinsi : Aynı enerji dozundaki yoğun iyonlayıcı ışınlar (Alfalar gibi), seyrek iyonlayıcı ışınlarla göre (beta, gama) daha etkin olduklarından, yoğun iyonlayıcılarla risk artar
- Hedef dokunun cinsi ya da duyarlılığı : Doku ne kadar farklılık gösterirse iyonlayıcı ışınlarla karşı direnci artar
- Işınlanan canlının yaşı : Organlarının oluşmakta olduğu embriyo, anne karnındaki bebekler ve çocuklar iyonlayıcı ışınlarla, yetişkinlerden çok daha duyarlılar.

Gövdesel (somatik) hasar erken (ani, birdenbire) ya da geç ortaya çıkabiliyor. Geç ortaya çıkan bir hasar kötü huylu ya da iyi huylu bir tümör şeklinde olabiliyor.

Gövdesel hasarlar sadece radyasyon dozu alan kişide görülüyor. Işınlanmanın etkisiyle o kişinin kalıtım hücrelerinde de hasarlar ortaya çıkabiliyor.

Bugüne kadar yapılan çalışmalar 200 mSv’in altındaki etkin dozların vücutta belirgin bir hasara neden olmadığını göstermekte. Düşük dozlarda kanser ve genetik hasarların ortaya çıkıp çıkmayacağı bilinmemekle birlikte, düşük dozların vücuda iyi gelebileceğini ileri süren bilim insanları da var. Kitlesel ışınlamalarda bir hasarın ilerde ortaya çıkma olasılığı ise doz arttıkça artmakta.

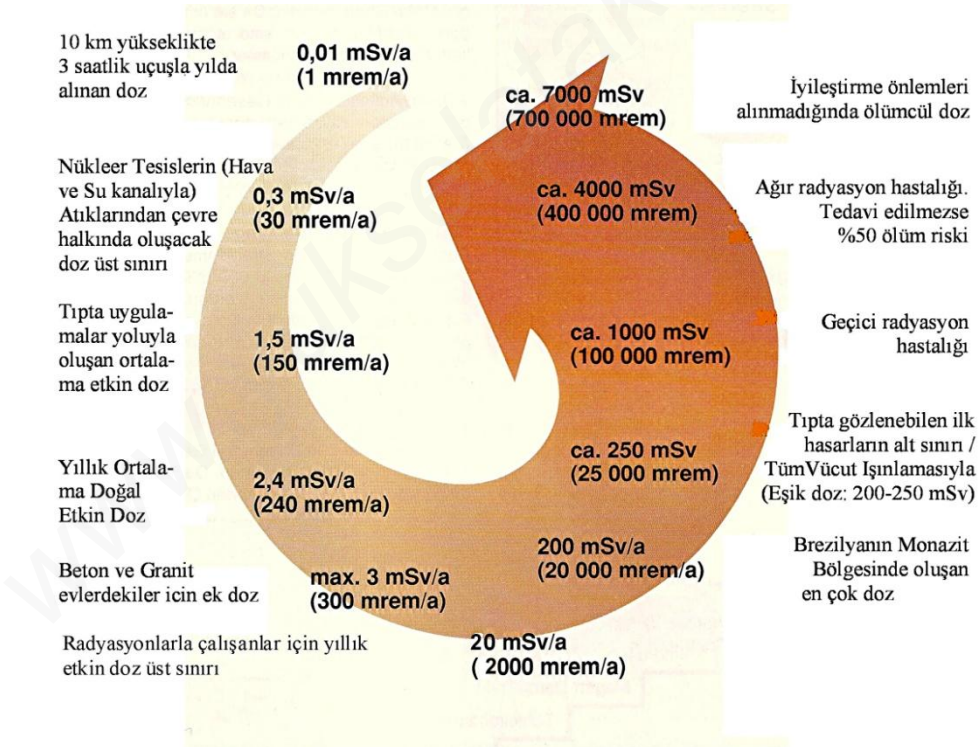
³ UNSCEAR : Birleşmiş Milletlerin atomik radyasyonun etkilerini inceleyen bilimsel alt kurulu

Doz sınır değerleri

Tüm vücut ışınlaması durumunda bugün halk için yılda ortalama etkin doz sınır değeri, kişi başına olmak üzere 1 mSv, radyasyonlarla çalışanlar için ise bu değer 20 mSv’dir. Ayrıca çeşitli organlar için daha yüksek doz sınır değerleri öngörülmüştür. Örneğin cilt, el ve ayaklar için yukardaki tek yıl değerlerinin 10 katı yıllık ortalama eşdeğer doz sınır değerleridir. Bu son değerlerin daha yüksek olmasının nedeni, ilgili doku ve hücrelerin vücuttaki işlevleriyle ilgili farklılıklar, radyasyona duyarlılıkları (ya da dirençleri), kendilerini yenileyebilmeleriyle ilgilidir (örneğin hasara uğrayan deri hücrelerinin kendilerini yenileyebilmeleri gibi).

Halk ve radyasyonla uğraşanlar arasındaki doz sınır değerlerindeki farklılığın nedeni ise, halkın çok daha büyük bir kitle oluşturması ve sürekli radyasyon denetimi altında olamamasının doğuracağı sakıncalar. Ayrıca radyasyonla ilgili geç hasarların ortaya çıkmasındaki risk, doz düşük olmasına rağmen kişi sayısı arttığında çoğalmakta. Bu nedenle çevredeki halkın çok daha az ışınlamasına özen gösterilerek ilgili önlemler alınması gerekmektedir.

Sınır değerler, erişilmesi hedeflenen değerler olarak değil, alınan makul, yararlı, etkin önlemlerle, mümkün olduğunca bu değerlerin altında kalınması gerektiği anlamını taşıyor. Örneğin radyasyonlarla çalışanlar için yukardaki 20 mSv’lik sınır değerden, 19,9 mSv ‘zararsız olduğu için izin verilebilir’, 20,1 mSv ise ‘zararlı olacağı için izin verilemez’ şeklinde yanlış bir sonucun da çıkarılmaması, ve makul ölçüde sınır değerlerin çok altında kalınması gereği açıktır. Bu da, bugün birçok nükleer merkezde benimsenen ve radyasyonla çalışanların aldığı düşük ortalama dozlarla da kanıtlanan yöntemdir. Şekil 4, çeşitli radyasyon dozları, sınır değerler ve yüksek dozların olası etkilerini gösteriyor.



Şekil-4 Çeşitli radyasyon dozları, sınır değerler ve yüksek dozların olası etkileri

Radyasyon dozuyla ilgili sağlık riski kestirimi ve belirsizlikler

Doğal radyasyondan etkilenen halkın ve nükleer tesislerde çalışanların alabileceği düzeylerdeki oldukça düşük dozların oluşturabileceği etki ve risk belirlenemediği için, yüksek dozlarla ilgili bulgulardan gidilerek çeşitli yaklaşımlar (ekstrapolasyon) yapılması gerekiyor. Diğer yandan ilgili bölgedeki halk için başka nedenlerle kanser ve kan kanserinin aniden ortaya çıkma sıklık ve

çokluğunun araştırmalarla ortaya konulması, bunların ne kadarının iyonlayıcı ışınlar yoluyla oluştuğunun kestirilebilmesi için önemli olmakta. Sadece yüksek dozlar için geçerli olabilen ‘Doz / Etki Bağlantılarından (Eğrilerinden)’ alçak dozlara doğru bu eğriler uzatılarak (ekstrapolasyonla) kestirimler ancak kitlesel ışınlanma durumu için yapılabilenekte.

Uluslararası radyasyon kurumlarının kanser riskiyle ilgili belirlemeleri

Radyasyon fiziğinde ‘Risk’ dendiğinde, ışınlanan topluluktaki ‘rastgele herhangi bir kişide’ kanser, kan kanseri ya da kalıtımda başgösterecek bir ‘hasar olasılığı’ anlaşıyor. Hasar olasılığının başgöstermesiyle doz arasındaki bağlantı ise ‘Risk katsayısı’ olarak adlandırılıyor.

Alçak dozların zamanla (süreğen) alındığı durumlarda, hücrelerin zamanla onarım işlevlerinin devreye girip etkiyi ya da bozunmayı azaltacağı ya da ortadan kaldıracılabileceği gözönüne alınarak risk katsayıları yarıya indiriliyor ve ışınlanan tüm kitle için ortalama olarak ICRP⁴:

$$\% 5 / 1 \text{ Sv} \quad \text{öneriyor.}$$

Bunun anlamı radyasyonla ışınlanma sonucu 100 kişinin herbirinin vücudu 1 Sv’lik bir etkin doz aldıklarında, bunlardan herhangi beşinde kanserden ölüm beklenebilir.

Başka bir örnek:Radyasyonlarla ışınlanan 100 000 kişilik bir topluluktaki her kişi zamanla 10 mSv’lik toplam bir doz almış ise : $100\,000 \text{ kişi} \times 0,010 \text{ Sv/kişi} \times 0,05/\text{Sv} = 50 \text{ kişi}$ (100 000 kişi içindeki rastgele 50 kişinin yaşam sürelerinin sonuna kadar kanserden ölebileceği anlaşılmalı). Buradan benzer olarak, örneğin yıllık doğal radyasyon dozunun alt sınırı olan 1 mSv’in etkisiyle 5 kişinin kanserden ölebileceği kestirilebilir.

Radyasyon fiziğinde risk kavramı - herhangi bir madde ne koşullarda radyoaktif ?

Çizelge-7 ‘Radyoaktif madde olmanın’ alt sınırının hesaplanmasına iki örnek

KİŞİ BAŞINA YILLIK KABUL EDİLEBİLİR RİSK	ICRP RİSK KATSAYISI	RADYASYON FİZİĞİNDE GÖZARDI EDİLEBİLECEK DOZ
$1 / 10^6 - 1 / 10 \times 10^6$	0,05 / Sv	2 - 20 $\mu\text{Sv} / \text{yıl}$

Açıklama:

%5 risk, vücutça yılda alınan 1 Sv’lik etkin dozdan kaynaklandığından, orantıyla: milyonda bir riski oluşturabilecek etkin doz olarak:

$$10^{-6} / (5 \times 10^{-2} / 1 \text{ Sv}) = 20 \mu\text{Sv} / \text{yıl} \text{ ve } 10 \text{ milyonda bir risk için doz } 2 \mu\text{Sv} / \text{yıl}$$

10 milyon kişinin herbiri yılda 2 μSv ’lik doz alıyorsa, hesapla, bunlardan 1 kişinin kansere yakalanıp ölebileceği anlaşılmalı.

YILLIK DOĞAL RADYASYON DOZUNUN ALT SINIR DEĞERİ	YILLIK DOĞAL RADYASYON DOZU DEĞİŞİMİ (minimum)	RADYASYON FİZİĞİNDE GÖZARDI EDİLEBİLECEK DOZ
1 mSv	% 1 - % 5	10 – 50 $\mu\text{Sv} / \text{yıl}$

Bundan çıkarılacak sonuç:

İçinde radyoaktif nükleitler bulunan herhangi bir maddenin saçtığı radyasyonlar sonucu bir kişinin vücudunda dıştan ışınlanmayla yılda 50 μSv ’in altında bir etkin doz oluşuyorsa, bu çeşit bir maddenin

⁴ Uluslararası radyasyondan korunma kurulu

radioaktivitesi gözardı edilebilir ve bu madde radyoaktif madde sınıflamasından çıkarılıp serbest dolaşıma bırakılır. 50 μSv 'lik değer tüm yıl boyunca sürekli dıştan ışınlama için ortalama olarak saatte 6 nSv'lik bir dozhızı demek ($= 50/8760$ saat/yıl).Öte yandan insan sürekli değil, örneğin yılda 1000 saat kadar bu tip bir maddeden ışınlanıyorsa, bu madde için ortalama saatte dozhızı 50 nSv ($=50 \mu\text{Sv}/1000$) olacağından alt sınır değer yükselmiş olur.

Buradan da görülüyor ki, önemli olan herhangi bir maddenin ne kadar radyoaktif olduğu değil, o maddeden insanın ışınlanması sonucu vücutta oluşan dozun büyüklüğü radyasyon fiziğinde temel bir ölçü olmakta ve tüm sınır değerler benzer yaklaşımlarla belirlenmekte.

Sonuç

Doğal radyasyon dozundaki değişimler de gözönüne alınarak tüm bir yıla yayılan 1-10 mSv'lik dozlarda, vücudumuzdaki hücreler, kurdukları savunma ve ayarlama mekanizmalarıyla yaşamayı öğrenmiş olmalı ki insanlar başlangıçtan beri doğal radyasyonlarla sorunsuz olarak yaşamaktalar.

Kaynaklar

Tübitak Bilim Teknik Dergisi Nisan 2006 Eki-İyonlayıcı Radyasyon

Radionuclide concentrations in food and environment (book edited by M-Pöschl and Leo M.L.Nollet, Taylor and Francis, 2007)