



Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynakları, Kişisel Doza Katkıları

Natural and Artificial Radiation Sources and Personal Dose Additives

Tuğba Hacıosmanoğlu

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

Öz

Radyasyon hareket halindeki enerji olarak tanımlanır. Evrenin oluşumundan itibaren bütün yaşayan canlılar ve bizler radyasyona az veya çok seviyede maruz kalmaktayız. Havada, tükettiğimiz gıdalarda ve içeceklerde doğal olarak radyoaktivite vardır. Güneş ışınları radyasyonun en bilinen formudur. Birçok insan hayatı boyunca doğal radyasyonun yanı sıra yapay radyasyon kaynaklarından da etkilenmektedir. Yapay radyasyon kaynakları gerek medikal gerek mesleki olsun hayatımızda çok yer kaplamaktadır. Birçoğumuz için de radyasyon kaynaklarını içeren ürünlerin kullanımından kaynaklanan doz maruziyeti söz konusudur.

Anahtar Kelimeler: Radyasyon, radyasyon kaynakları, radyasyon maruziyeti

Abstract

Radiation is defined as the energy in motion. Since the creation of the universe, all living creatures and humans are exposed to radiation in more or less levels. There is radioactivity naturally in the air, in the foods we consume, and in beverages. Sunshine is one of the most familiar forms of radiation. Many people are affected by natural radiation as well as artificial radiation sources throughout their lives. Artificial radiation sources take up a lot of our lives, either medical or vocational. For many of us, there is a dose exposure caused by the use of products containing radiation sources.

Keywords: Radiation, sources of radiation, radiation exposure

Doğal Radyasyon

Radyasyon doğanın bir parçasıdır. Güneş en çok bilinen doğal radyasyon kaynağıdır. Radyasyon kaynaklarını doğal ve yapay kaynaklar olarak sınıflandırabiliriz. Maruz kaldığımız radyasyonun %88'i doğal kaynaklardan oluşur (Şekil 1) (1).

1955 yılında kurulan ve atmosferde gerçekleştirilen nükleer silah testlerinden kaynaklanan radyoaktif serpentinin potansiyel sağlık etkilerini değerlendirmek üzere çalışmalarını yürüten Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi'ne (UNSCEAR) göre doğal radyasyon 4 ana başlıkta incelenmektedir (2):

- Kozmik radyasyon.
- Karasal radyasyon (terrestrial).
- Solunan radyasyon (inhalasyon).
- Yiyeceklerle alınan radyasyon (ingestion).

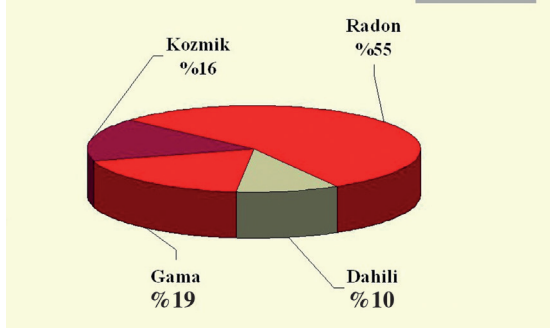
Kozmik radyasyon: Kozmik ışınlar; dünyamızın dış atmosferine belli miktarda ulaşan yüksek enerjili protonlar olarak tanımlanabilir. Dünyamız ve yaşayan tüm canlılar bu enerji ile sürekli ışınlanmaktadır. Kozmik radyasyon; protonlar, alfa parçacıkları elektronlar ile yüksek enerjili diğer parçacıkların karışımıdır. Neredeyse ışık hızına yakın hızla ve tüm yönlerden dünyayı ışınlarlar. Atmosfer, dünya yüzeyine doğru salınan kozmik radyasyonu engelleyici ve büyük

Yazışma Adresi/Address for Correspondence

Dr. Tuğba Hacıosmanoğlu, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

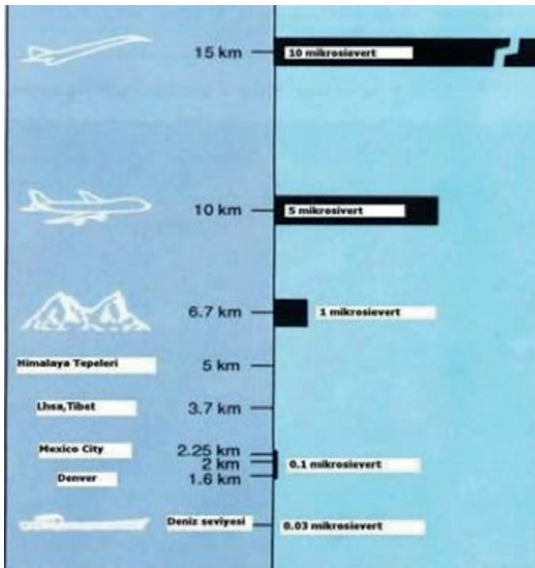
E-posta: tubiki76@yahoo.com.tr **ORCID ID:** orcid.org/0000-0002-2006-8817

©Telif Hakkı 2017 Türkiye Nükleer Tıp Derneği / Nükleer Tıp Seminerleri, Galenos Yayınevi tarafından yayınlanmıştır.



Şekil 1. Doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon dozlarının oransal değerleri

oranda azaltıcı bir koruyucu katman olarak görev yapar. Kozmik radyasyonun dünyamızla etkileşimi sonucunda radyasyon yağmuru şeklinde bir manyetik alan oluşur. Bu alan, dünyanın manyetik alanındaki değişiklikler sebebiyle farklı düzeyde etkiler oluşturur (3). UNSCEAR, yer seviyesindeki kozmik ışınlardan kaynaklanan yıllık etkin dozu, enlem ve yükseklikteki değişimi dikkate alarak ortalama 0,4 mSv civarında hesaplamıştır (4). Bu değer Amerika kıtası için yıllık 0,3 mSv olarak hesaplanmıştır (2). Dağ tepesinde ya da havada yol almak, deniz seviyesinde bulunmaya oranla daha fazla radyasyona maruz kalmaya sebeptir. Bir pilot uçuş süresi boyunca deniz seviyesinde çalışan insanın maruz kalacağı radyasyon düzeyinden yaklaşık 20 kat daha fazla radyasyona maruz kalacaktır (5). Günlük yaşantımızda kozmik ışınlar sebebiyle maruz kaldığımız radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,39 mSv/yıldır (Şekil 2) (5).



Şekil 2. Kozmik ışınlardan bir saatte alınan radyasyon dozunun yüksekliğe göre değişimi

Karasal radyasyon (radon, terrestrial): Dünya oluşumu sırasında birçok radyoaktif maddeden meydana gelmiştir. Bu andan itibaren kısa yarı ömürlü olanlar tükenirken oldukça uzun yarı ömürlü olanlar kalmış olup doğal olarak oluşan bu radyonüklidler; uranyum, toryum ve onların bozunum ürünlerini örneğin; radonu içerir. Dünyamızda yerkabuğunda yaygın ve fazla miktarda bulunan radyoaktif radyum elementinin (Ra-226) bozunması sırasında salınan “radon gazı” doğal radyasyon düzeyini artıran en önemli sebeplerden biridir. Kayalarda ve toprakta bulunan bu doğal radyoaktif materyal bir insanın yıllık olarak alacağı bütün radyoaktif kaynak dozlarının toplamının (doğal+yapay) %8’ini oluşturmaktadır (6). Radon soygaz olduğu için (soygaz=kimyasal olarak hiç bir tepkimeye girmeyen gaz) topraktan havaya salınır. Salınma sonucu seyrelirse sorun yoktur. Tablo 1’de bazı bölgelere ait doğal radyasyon doz seviyeleri verilmiştir.

Radon gazı dünya atmosferinin doğal parçasıdır. Radon gazı dışında doğal radyasyonun sağlık üzerinde zararlı etkisi yoktur. Radon gazı birikiminin zararlı etkilerinin önlenmesi için binaların iyice havalandırılması gerekmektedir. Binalarda ısı yalıtımı için kullanılan malzemeler nedeniyle binalardaki radon yoğunluğu bina dışına göre yüksek olabilmektedir. Bu yoğunluk yerel jeolojik yapıya, ülkelerdeki coğrafi değişikliklere ve hatta binadan binaya farklılıklar gösterir. Dünya genelinde radon bozunum ürünleri nedeniyle maruz kalınan yıllık ortalama etkin dozun yaklaşık 1,2 mSv olduğu tahmin edilmektedir (4). Coğrafi değişiklikler nedeniyle alınan etkin dozun farklılık göstermesi nedeniyle, Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu ve Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu tarafından dünya genelinde radon gazı nedeniyle alınan doz düzeyinin düşürülmesi maksatlı enlem düzeylerinin (Bqm-3) kullanılması tavsiye edilmiştir (4). Bu enlem düzeyleri genellikle evlerdeki radon değişiminin ortalama değerinin on katı olan 200-600 Bq/m³ aralığında olmalıdır (4). Yaşadığı ortamda yüksek

Tablo 1. Bazı bölgelerdeki doğal radyasyon doz düzeyleri

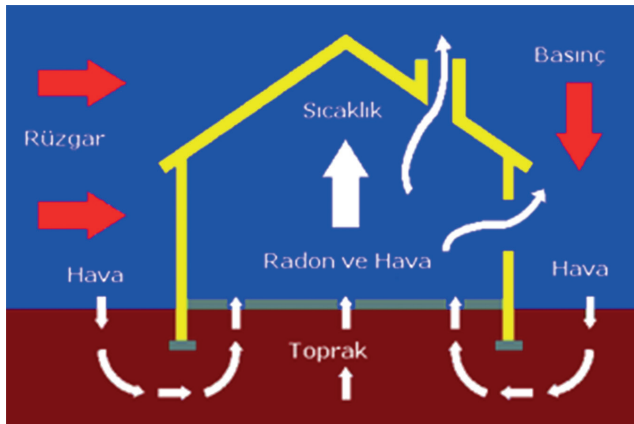
Mersin (Akkuyu)	0,53 mSv/yıl
Ankara	0,44 mSv/yıl
Iğdır	0,88 mSv/yıl
Çanakkale	1,23 mSv/yıl
Kars	1,58 mSv /yıl
Hindistan (Kerala)	15,80 mSv/yıl
İran (Ramsar)	148,92 mSv/yıl
Brezilya	788,40 mSv/yıl

düzye radon seviyesi tespit edilen kişiler için yerden hava girişini engellemek uygun bir çözümdür. Bunun için bina altındaki basıncın azaltılması gerekmektedir. Bazı bölgelerdeki evlerde radon gazı nedeniyle maruz kalınan doğal radyasyon dozu önemli ölçüde yüksek olabilmesine karşın bahsedilen önlemlerin alınarak dozun azaltılması sağlanabilir. Bu önlemlere ek olarak yeni inşa edilen binalarda yüksek gaz konsantrasyonundan kaçınmak mümkün olabilir (Şekil 3).

İnsanların çoğunun kapalı alanlarda, ofislerde, okullarda artan doğal radyasyon seviyesi nedeniyle günlük doz değeri seviyesinde artış gözlenmektedir. Bu değer yıllık yaklaşık 5 mSv'dir (4). Binaların ısıtılıp soğutulması nedeniyle binalarda bulunan radon gazı seviyesi de değişiklik göstermektedir.

Solunan radyasyon (inhalasyon): Radyoaktif materyaller toprakta, suda ve besinlerde de bulunmaktadır. Uranyum, toryum ve bunların bozunum ürünleri hemen hemen heryerededir. Bu maddelerden bazıları yiyecek ve su ile vücuda alınırken radon gibi diğer radyoaktif maddeler yukarıda anlatıldığı gibi soluma yoluyla vücuda girerler. Fosil yakıtlar radyoaktif elementler içerir. Bu tür elementler yakıt içinde iken tehlikesizdir. Ancak yakıldıklarında atmosfere yayılır toprağa döner ve doğal radyasyon düzeyinde bir artışa neden olurlar. Doğada bulunan kısa ömürlü radyoaktif elementlerin yaydığı gama ışınının da katkısıyla topraktan maruz kalınan radyasyon dozunun dünya ortalaması 0,46 mSv/yıldır (5).

Yiyeceklerle alınan radyasyon: Tüm kozmik, karasal radyasyon ve radon katkısının yanı sıra insan vücudunda DNA molekülünün önemli bir parçası olan potasyum-40 ve karbon-14 doğal radyoaktif element olarak bulunmaktadır. Ayrıca K-40 ve C-14 elementlerini



Şekil 3. Radonun ev ortamına giriş yolları

<http://www.populermekal.com/saglikguvenlik/images/>

bir çok yiyecek de vücudumuza almaktayız. Bir çok besinde yüksek miktarda bulunan bunlar gibi radyoaktif elementlerin insan vücudundaki düzeyleri yaşanan bölge ve beslenme alışkanlığına bağlı olarak da değişiklik göstermektedir. Değişik gıda gruplarının 500 gramında bulunan potasyum-40 miktarları Tablo 2'de gösterilmiştir. Vücudumuzda bulunan radyoaktif elementler nedeniyle bir yıl boyunca maruz kaldığımız iç ışınlanma dozunun dünya ortalaması 0,23 mSv'dir (5). Bitkisel ve hayvansal gıdalarla vücudumuza yaklaşık olarak ortalama 40 Bq/kg'lık bir aktivite almaktayız (4). Bir insan vücudunda bulunan radyoaktif izotop miktarları Tablo 3'te belirtilmiştir.

Doğal radyasyondan kaynaklanan toplam ortalama yıllık etkin doz yaklaşık 2,4 mSv'dir (Tablo 4). Ancak dozlar büyük ölçüde değişebilir (4). Bazı ülkelerdeki ulusal doz ortalamaları yıllık 10 mSv'nin üzerindedir ve bazı bölgelerde genellikle radonun bozunum ürünlerinin yüksek düzeyde olduğu binalar nedeniyle kişisel dozlar yılda 100 mSv'yi aşabilir (4).

Yapay Radyasyon

Toplumsal ve teknolojik gelişmeler nedeniyle insanoğlu bazı radyasyon kaynaklarını yapay yollarla

Tablo 2. Değişik gıda gruplarının 500 gramında bulunan potasyum-40 miktarları

Yiyecek	Bq/500 gr
Kırmızı et	56
Havuç	63
Patates	63
Muz	65
Lima fasulyesi	86
Brezilya fıncığı	103

Handbook of Radiation Measurement and Protection, Brodsky, A. CRC Press 1978

Tablo 3. Yetmiş kilogram ağırlığındaki bir insan vücudundaki radyoaktif izotop miktarları

İzotop	Radyoaktivite miktarı(Bq)
Uranyum	2,32
Toryum	0,213
Potasyum-40	4,0
Radyum-226	1,13
Karbon-14	3,7
Tritiyum	234
Polonyum-210	403,5

ICRP-23, UNSCEAR 2000, ICRP-30

üretmiştir. Günümüzde toplam radyasyon maruziyetinin %21'i yapay kaynaklardan gerçekleşmektedir (7). Gelişmiş ülkelerde yapay radyasyon kaynaklarından olan radyasyon maruziyetinin %50 kadarını medikal görüntüleme oluşturmaktadır (7). Yapay radyasyon alanlarını şu şekilde sınıflandırmak mümkündür:

- Tıbbi kaynaklar.
- Nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpiniler.
- Nükleer güç üretiminden salınan radyoaktif maddeler.
- Tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler.

Yapay radyasyon kaynaklarından olan ışınlanmanın büyük çoğunluğunu medikal uygulamalar oluşturmaktadır. En yaygın olan tanısal radyoloji adıyla bilinen X-ray grafilerdir. Radyasyon kaynaklarına göre alınan dozun dağılımı ise Tablo 5'te verilmiştir.

X ışını tetkiklerinde cihazın ürettiği radyasyon kemik ve yumuşak dokularda farklı yoğunluklarda nüfuz eder ve film üzerinde yapısal bilgi verecek olan görüntü oluşur. En çok X ışını ile film çekilen bölge olan göğüs filminde alınan doz ortalama 0,1 mSv'dir (4). Tablo 6 ve Tablo 7'de radyolojiye ait hasta dozları verilmiştir. Radyolojik tetkikler arasında en fazla doz veren tetkik girişimsel

radyolojidir. Bu işlemde hekim, hastanın organını işlem sırasında görebilmek için hastaya sürekli X ışını verir. Bu işlem sırasında hastaya 10-100 mSv arasında doz verilir (4), dikkat edilmezse cerrah içinde yüksek doz riski mevcuttur.

Nükleer tıp tetkiklerinde vücuttaki organ veya dokuların işlevleriyle ilgili tetkikler yapılır. Tanı ve tedavi olarak ayrılan bu işlemlerden tanı amaçlı uygulamada; hastaya enjeksiyon yoluyla farmasötik gibi bir taşıyıcıya bağlanmış gama ışını yayan radyonüklid verilir. Dedektör olarak gama kameralar kullanılarak radyofarmasötüğün hareketi izlenir. Tedavi amaçlı kullanılan radyonüklidlerde hastaya çok daha yüksek aktivite ve organ ya da dokuya çok daha yüksek dozlar verilir (Tablo 8).

Kanserli hücrelerin tedavi edildiği bir diğer alan olan radyoretapide, yüksek enerjili X ışınları yada Co-60 gibi gama ışını yayan radyoaktif maddeler kullanılır. Radyasyon Onkolojisinde etkin tedavi için radyolojide alınan radyasyon dozunun binlerce katı değerinde radyasyon dozuna (kanser türüne göre 60,000 mSv'ye kadar çıkabilir) ihtiyaç duyulur (5). Radyasyon onkolojisinde dokular için öngörülen dozlar birkaç haftalık periyotta normal olarak fraksiyonlar halinde genellikle 20-60 Gy arasında verilir (4).

Tablo 4. Doğal radyasyondan kaynaklanan yıllık etkin dozlar

Kaynak	Dünya ortalaması Doz (mSv)	Doz aralığı Doz (mSv)
Kozmik radyasyon	0,4	0,3-1,0
Gama radyasyonu	0,5	0,3-0,6
Radon solunumu	1,2	0,2-10
İç ışınlanma	0,3	0,2-0,8
Toplam (yaklaşık)	2,4	1,0-10

UNSCEAR 2000 yılı raporu

Tablo 5. Dünya nüfusunun tüm radyasyon kaynaklarından aldığı yıllık ortalama doz (4,8)

Kozmik ışınlar	0,4 mSv
Gama ışınları	0,5 mSv
İç ışınlanma	0,3 mSv
Radon	1,2 mSv
Tıbbi ışınlanma	0,4 mSv
Atmosferde gerçekleştirilen nükleer testler	0,005 mSv
Çernobil	0,002 mSv
Nükleer santraller	0,0002 mSv
Toplam değer (yaklaşık)	2,8 mSv

Tablo 6. Konvansiyonel X ışını ve bilgisayarlı tomografi tetkiklerinde hasta dozları

Tetkik	Konvansiyonel X-ışını dozu (mSv)	BT dozu (mSv)
Baş	0,07	2
Diş	<0,1	-
Göğüs	0,1	10
Abdomen	0,5	10
Pelvis	0,8	10
Alt omur	2	5
Barsağın alt kısmı	6	-
Kol bacak ve eklemler	0,06	-

BT: Bilgisayarlı tomografi
UNSCEAR 2000

Tablo 7. Tanısal radyolojide Uluslararası Atom Enerji Ajansı rehber doz seviyeleri

Tetkik	Film başına yüzey giriş dozu (mGy)
Lomber omurlar (AP)	10
Göğüs (PA)	0,4
Kafatası (PA)	5

BSS (1996 Ek-3 sf:279)

Tüm bu uygulamaların yanı sıra günümüzde endüstriyel alanda X ve gama ışınlarından faydalanılarak endüstriyel ürünlerin herhangi bir arızası olup olmadığı tespit edilmektedir. Radyasyon endüstride yaygın olarak:

Tablo 8. Nükleer tıpta bazı organ tetkiklerinde tipik hasta dozları

İşlem/Taranan organ	Etkin doz (mSv)
Tiroid (I-131)	10
Beyin	7
Kemik	4
Tiroid, akciğer	1
Karaciğer, böbrek	1
UNSCEAR 2000 (Cilt 1 Tablo 42'den alınan yuvarlatılmış değerler)	

Tablo 9. Çeşitli meslekler için yıllık ortalama etkin dozlar

Kaynak (yapay kaynaklar)	Doz (mSv)
Nükleer endüstri	
Uranyum madenciliği	4,5
Uranyum öğütme	3,3
Zenginleştirme	0,1
Yakıt üretimi	1
Nükleer reaktörler	1,4
Yeniden işleme	1,5
Tıbbi kullanımlar	
Radyoloji	0,5
Dış hekimliği	0,06
Nükleer tıp	0,8
Radyoterapi	0,6
Endüstriyel kaynaklar	
Işınlama	0,1
Radyografi	1,6
İzotop üretimi	1,9
Kuyu işletme	0,4
Hızlandırıcılar	0,8
Aydınlatma	0,4
Doğal kaynaklar	
Radon kaynakları	
Kömür maden ocakları	0,7
Metal madeni ocakları	2,7
Toprak üzerindeki binalar (radon)	4,8
Kozmik kaynaklar	
Sivil uçuş personeli	3
1990-1994 verileri UNSCEAR 2000 cilt 1, ek-E Tablo 12	

- Kaynak ve ek yerlerinin radyografisi,
- Paket ve çantaların güvenlik kontrolü,
- Kap içindkilerin seviye ölçümü,
- Bazı tıbbi malzemelerin sterilizasyonu,
- Kağıt üretiminde statifi engelleme,
- Numunelerin kalite kontrol amaçlı analizi alanlarında kullanılmaktadır.

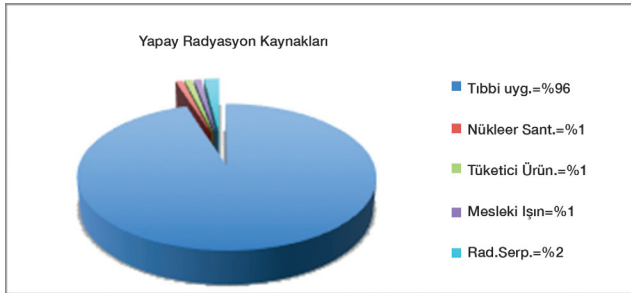
Mesleki olarak oldukça fazla alanda iyonlaştırıcı radyasyon kaynakları bulunmaktadır (Tablo 9). Üretim ve hizmet endüstrisinde, savunma alanlarında, araştırma merkezlerinde ve nükleer güç endüstrisinde mesleki radyasyon kullanımı yaygındır. Yapay radyasyon kaynakları ile mesleği gereği ışınlanan tüm çalışanların maruz kaldıkları ortalama doz yılda 1 mSv civarındadır (4). Madencilik hariç olmak üzere yapay kaynaklardan alınan ortalama doz birçok mesleki ışınlama tipi için nükleer endüstri de dahil olmak üzere yıllık yaklaşık 2 mSv'nin altındadır (4).

Günümüzde işyerlerinde mesleki olarak radyasyonla çalışanlar için etkin doz herhangi bir yılda 50 mSv'yi, ardışık beş yılın ortalaması ise 20 mSv'yi geçemez (Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği, 2000). Toplum üyesi kişiler için yapay kaynaklardan kazara ışınlanma sonucu yıllık 1 mSv'den fazla doz alınması olası değildir (Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği, 2000). Tüketici ürünlerinden olan duman dedektörleri ve fosforlu saatler gibi radyoaktif madde içeren ürünlerin kullanımında yıllık doz en fazla 1 µSv'dir (4).

Tüm dünyada yapay radyasyon kaynaklarıyla çalışanlar için ortalama doz 0,6 mSv ve doğal radyasyon kaynaklarına maruz kalan çalışanlar için 1,8 mSv'dir (4). Bu rakamlar birleştiğinde çalışanlar için küresel ortalama doz yılda 1,3 mSv'dir. Bu değer tüm dünya nüfusuna yayıldığında yılda yaklaşık 0,002 mSv'lik doza karşılık gelmektedir ve bu değer tüm kaynaklardan gelen 2,8 mSv'lik doza küçük bir katkıda olmaktadır (4). Radyasyonun tıbbi uygulamaları toplum içinde 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'dir (Şekil 4) (8).

UNSCEAR 2000 yılı inceleme raporuna göre; dünya nüfusunun ortalaması alınmış yıllık doz değeri toplamda 2,8 mSv'dir (9). Bu toplam doz değerinin:

- %14'ü doğal kozmik ışınlamalar,
- %18'i doğal dış ışınlamalar,
- %11'i doğal iç ışınlamalar,



Şekil 4. Yapay radyasyon kaynaklarından maruz kalınan küresel radyasyon doz oranları (8)

- %14'ü tıbbi ışınlamalar,
- %0,25'i nükleer endüstri,
- %43'ü doğal radon,
- %14'ü doğal kozmik ışınlamalar oluşturmaktadır (9).

Finansal Destek: Yazar tarafından finansal destek alınmadığı bildirilmiştir.

Kaynaklar

1. Sabri Hızarcı. TAEK Radyasyon Sağlığı ve Güvenliği Dairesi. Radyasyon Kaynakları Ve Radyasyondan Korunma.
2. Canadian Nuclear Safety Commission. <http://nuclearsafety.gc.ca/eng/>
3. Natural and Man-made Radiation Sources, Health Physics Society, Power Reactor Section. Naturalplain.
4. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. Radyasyon, İnsan ve Çevre: TAEK, Nisan 2009.
5. <http://www.taek.gov.tr>
6. Background Radiation Natural versus Man-Made. Washington State Dept of Health, Fact Sheet 2002:1-7.
7. <http://www.iaea.org/index.html>
8. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY; Radiation Safety, IAEA Division of Public Information, 96-00725 IAEA/PI/A47E, 1996.
9. UNSCEAR 2000 Report on Sources and Effects of Ionizing Radiation to the General Assembly (2 Volumes), United Nations, Vienna 2000.