



# RADON KAPLICALARINDA ALINAN RADYASYON DOZLARI VE KANSER RISKI?

Radyoaktif maddelerden özellikle radonun bol bulunduğu sularla ve radonlu buharla yapılan uygulamaları içeren kaplıcalarda eklem, boyun, bel ve omurga ağrıları, deri hastalıkları, nefes darlığı, kas çekilmesi gibi daha birçok hastalığın iyileştirilmesine, ağrıların dindirilmesine çalışıldığı eskiden beri biliniyor.

Hastalıkların radonlu sular ve radonlu buharla iyileştirilmesi çalışmaları, Avrupa'da ilk kez 1904'te ve daha sonraki yıllarda yapılan fizik ve tıp dallarındaki araştırmaların sonuçlarının Almanya'daki Bad Kreuznach kentinde açıklanmasıyla başlıyor.

1940 yılında Avusturya'daki Bad Gastein/Böckstein'de, altın aramak için açılan bir maden ocağında, altın yerine yeraltındaki havada yoğun miktarda radon bulunuyor. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra 1957'de romatizmanın radonlu su ve radonlu buharla iyileştirilmesi konusu tekrar gündeme geliyor. Daha sonra, çoğu biyofizikçiden oluşan bir uzman grubunun radonun kullanımıyla ilgili yaptığı toplantı sonuçları 'Radyoaktif İzotopların Hastalıkların İyileştirilmesinde Kullanımı' başlığıyla Bad Kreuznach Protokolü olarak 1987'de açıklanıyor.

Radon kaplıcalarında, radonlu suyla

la doldurulmuş havuzlarda hastalara, genellikle herbiri 20 dakika süreyle 2-4 hafta arasında bir kür programı uygulanıyor. Böylelikle deriden radon vücuda işlerken, hastalar, kapalı kaplıca havasındaki yüksek nemli ve radonlu buharı da solunumla akciğerlerine çekiyorlar. Bazı kaplıcalarda da hastanın vücudu radonlu buhar püskürtülerek yıkanmakta. Bunun sonucunda hem deriden ve hem de nefes yoluyla akciğerlerden radon kana giriyor. Bu uygulamalarla vücuttaki ağrıların git-gide azaldığı ve ilaçlara gerek kalmadığı ileri sürülmekte. Umulan bu olumlu etkiler nedeniyle, radonun vücutta 'ek bir radyasyon dozu' oluşturmasıysa kabullenilmekte. Benzer durum, rönt-

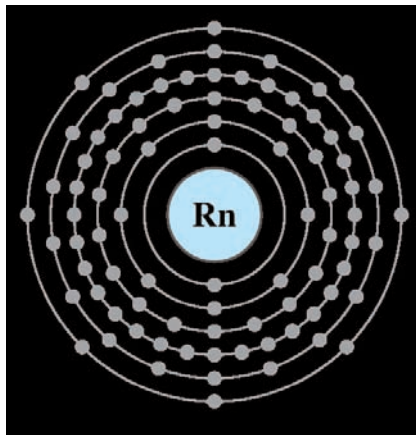
gen filmi çekiminde ya da başka radyasyon uygulamalarında da böyle (Kobalt 60 ışınlamalarında olduğu gibi).

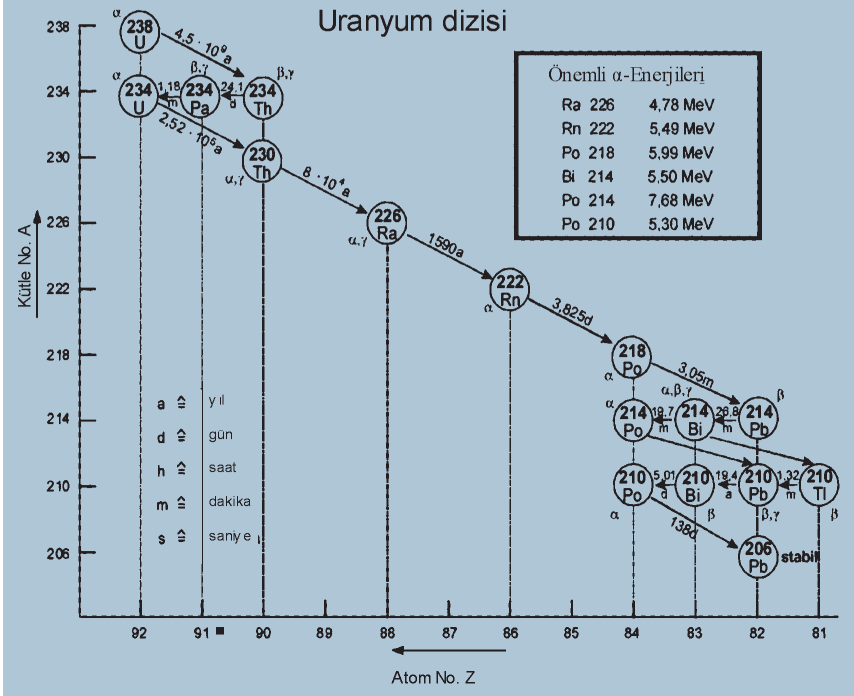
Bu yazıda, radonlu su ve radonlu buharın kullanıldığı kaplıcalarda alınabilecek bu 'ek radyasyon dozu', sürekli olarak almakta olduğumuz 'doğal radyasyon dozuyla' karşılaştırılıyor. Bu ek dozun oluşturabileceği kanser riski, özellikle Almanya'da yürütülen çalışmaların ışığında sunuluyor.

## Radon Nasıl Bir Madde?

### Özellikleri ve Vücuttaki Etkisi<sup>1</sup>

Radon, yeraltından ya gaz ya da suda erimiş olarak yeryüzüne çıkıyor. Şekilde görüldüğü gibi radonun en çok bulunan izotopu olan Radon 222, 'Uranyum Dizisinde', radyoaktif uranyum 238 izotopunun bozunumundan türeyen ürünlerden biri olan radyum 226'nın alfa ışını (helyum çekirdekleri) salması sonucu oluşuyor. Alfalar 2 proton ve 2 nötrondan oluştuklarından, bir adet alfa ışını salan Ra 226'dan kütle numarası 4 birim daha az olan Radon 222 ortaya çıkıyor. 3,8 günlük yarılanma süresi olan radyoaktif Rn 222 bozunarak kısa yarılanma süreli Polonyum 218, Kurşun 214, Bizmut 214 ve Polonyum 214 gibi ağır metalleri üretiyor (şekle bkz.)





Radyoaktif bir asal gaz olan radon, hücrelerdeki maddelerle kimyasal olarak etkileşmemesine karşılık, yaydığı alfa ışınları ve ürettiği ağır metallere vücudu etkiliyor. Bu nedenle radondan türeyen ağır metallerin vücuttaki etkileri, radonunkinden daha çok. Ağır metallere daha çok akciğerlerde yerleşiyorlar. 'Radyoaktif Denge' denen durumda, radon miktarıyla, ondan türeyen ağır metallere miktarları ya

da konsantrasyonları (derişimleri) aynı oluyor. Kapalı yerlerdeki radonlu havada bu ağır metallere hep var ve bunlar ya serbest dolaşmakta ya da havadaki aerosol gibi taneciklere tutunarak yüzeylere yapışıyorlar. Gerek bu nedenle, gerekse havalandırma sonucu radonlu havanın bulunduğu yerlerdeki ağır metallere konsantrasyonu radyoaktif denge durumundakinden daha az.



## Radyasyon Dozu Vücutta Nasıl Oluşuyor?

'Radyasyon Dozu' aslında iyonlayıcı radyasyonun vücutta oluşturabileceği etkinin bir ölçüsüdür. Radon kaplıcalarında vücudun aldığı radyasyon dozuna en büyük katkı, hücrelerde iyonizasyon yoluyla yoğun etkileşmeye neden olan alfa parçacıklarından kaynaklanır. Helyum atomunun çekirdeklerinden başka bir şey olmayan alfa parçacıkları 2 proton ve 2 nötrondan oluşur. Bunların hücrelere aktardığı enerji her mikrometre derinlik başına ortalama 150 keV olup, bu değer enerji elektronları için olan 0,2 keV değeriyle karşılaştırıldığında, alfa parçacıklarının hücreye 750 kat daha çok enerji aktardıkları görülüyor. Ancak alfa parçacıklarında çok az yol alabildiklerinden hücrelerin çoğu bunlardan etkilenmiyor (1 eV = 1 elektron Volt, radyasyon enerjisi birimi olup 1 elektronun 1 Voltluk potansiyel farkı altında kazanacağı çok küçük bir

enerji miktarı, 1 eV = 1,6 · 10<sup>-19</sup> Joule ; 1 keV = 10<sup>3</sup> eV ; 1 MeV = 10<sup>6</sup> eV).

Diğer yandan bir alfa taneciği 5 µm (mikrometre) büyüklüğündeki (çok yakınındaki) bir hücreyi geçerken hücrede 750 keV' luk, hücre için büyük bir enerji depoluyor. Bu, 25.000 adet iyonlaştırma demek (atom düzeyi için oldukça büyük). Bunun ise bir alfanın gidebileceği ve 35 µm' kadarlık yoldaki ardısıra gelen hücre tabakalarında büyük bir biyolojik etki yaratması beklenir.

Radondan türeyen kısa yarılanma süreli ağır metallere sonuncusu olan Polonyum 214'den, yarılanma süresi 22,3 yıl olan ve beta ışınları yayan Kurşun 210 oluşmakta. Ancak, bunun miktarı ve dolayısıyla etkisi, vücutta zaten bulunan ve beta yayan Potasyum 40'ın yanında çok küçük kalıyor.

Genellikle, radon kaplıcalarında 10 kez banyo yapıldığında alınabilecek radyasyon dozları hesaplanarak ortalama değerler elde edilmeye çalışılıyor.

Belirli bir radon konsantrasyonlu havada belirli bir süre kalan bir insan, orada kaldığı süre ya da saat (st) boyunca alfa parçacıklarıyla ışınlanacağından 'ışınlanma dozu'nun: Bq/m<sup>3</sup> x st olacağı açık.

Radyoaktivite birimi olan Becquerel (Bq), saniyede 1 parçalanma gösteren radyoaktif madde miktarı ya da onun radyoaktivitesidir.

Radyoaktif bozunma sırasında ortaya çıkan alfa parçacıkları yüksek enerjilerini hücrelere aktararak molekül ve atomlarda değişimlere neden olurlar. Radonlu buhar, solunum yoluyla akciğerlere ulaştığında, radon ve radondan türeyen ağır metallere yaydığı yüksek enerjili alfa parçacıkları vücutta ışınlıyorlar.

## Radon Kaplıcalarındaki Uygulamalar Hastalara Yararlı mı?

Radon, iyileştirme amacıyla vücuda üç yolla girer: deri, akciğerler ve mide-bağırsak derisi yollarıyla. Kaplıcaların havuz sularındaki radon, deri yoluyla kan dolaşımına girer. Ayrıca radon gazı (kuru) ve radon buharı uygulamalarıyla da radon hem deri ve hem de akciğerler yoluyla kan dolaşımına ulaşır.

Radonlu suların hastalara içirilmesiyle, radon mide-bağırsak derisi yoluyla kan dolaşımına girmekteyse de, bu yol daha az uygulanıyor.

Binalardaki havada radon konsantrasyonunun üst sınırı olarak genellikle 100 Bq/m<sup>3</sup> kabul edilirken, örneğin Avusturya'nın Gastein bölgesindeki maden ocaklarında havadaki radon konsantrasyonu, 740.000 Bq/m<sup>3</sup> kadar çok yüksek bir değer gösteriyor. Benzer özellikler gösteren maden ocakları, Almanya'nın Sachsen eyaletinde, Karaormanlar'da, Çekoslovakya'da, ABD'de ve daha birçok ülkede var.

Avrupadaki kaplıcalarda, 37°C kadar olan su sıcaklığıyla derideki kan dolaşımı uyarılarak, radonun vücuda deri yoluyla işlenmesi kolaylaştırılıyor. 34 - 41°C arasında radonlu buharın uygulandığı kaplıcalarda da radon yine deri yoluyla vücuda girmekte. Solunum yoluyla alınan miktar da çok az. En etkin radon uygulamalarıysa, su sıcaklığının 37 - 42 °C arasında ve havanın neme doymuş olduğu kaplıcalarda solunum ve deri yoluyla radonun vücuda kolayca işlenmesiyle sağlanıyor. Kaplıca sularındaki radon konsantrasyonu, çoğunlukla litrede 700 ile 1600 Bq arasında. Radon gazı uygulamalarında radon

Radon Uygulama Yöntemi	Eşdeğer Doz (mSv)		Etkin Doz (mSv)	Araştırmayı yapanlar
	Akciğerler	Deri		
<b>Radon Kaplıcası / Banyosu (Havuz Suyu Uygulaması / Kürü)</b>				
10 x 20 dakika <i>Gastein Yeraltı Termal Kaplıcasında (Avusturya)</i> (Suda : 662 Bq/litre <sup>222</sup> Rn)	<b>0,05</b>	<b>20</b>	<b>0,2</b>	Hofmann, 1999
10 x 20 dakika <i>Bad Schlemmer Termal-Kaplıcası /Almanya</i> 1550 (1300-1850) Bq/litre Radon suda)	<b>0,10</b>	<b>50</b>	<b>0,5</b>	Matthias, 2004; Hofmann, 1999; (süre araştırma)
<b>Radon Solunum Uygulaması (Kürü)</b>				
12 x 1 saat <i>Gastein Yeraltı Termal Kaplıcasında</i> (44 kBq/m <sup>3</sup> Radon Kaplıcadaki havada)	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>1,5</b>	Hofmann, 1997; Bu yazıdaki araştırma sonuçları
	-	-	<b>1,8</b>	Brandmaier, 2001

Çizelge 1: Radon kaplıcalarında HASTALARIN akciğerlerinin ve derilerinin aldığı Eşdeğer<sup>1</sup> ve Etkin<sup>1</sup> Dozlar (araştırmacıların yayımladığı Organ Doz değerlerinden gidilerek hesaplanmış olup, Çizelgedeki Radon Kaplıcalarını ve oralarındaki radon uygulama program ve sürelerini kapsamakta)<sup>5</sup>.

konsantrasyonu en azından 37.000 Bq/m<sup>3</sup> kadar.

Yukarıda belirtildiği gibi özellikle el, ayak ve omurga eklemlerindeki sertleşmenin ve sürekli romatizma ağrılarının (Bechterew hastalığı) giderilmesi, ayrıca kaslardaki sertleşme ve ağrılarının dindirilmesi, deri hastalıklarının giderilmesi, gözlerdeki yanmanın önlenmesi gibi daha bir çok hastalığa radon banyo uygulamalarının iyi geldiği ileri sürülmektedir.

Son zamanlarda radonun bu gibi hastalıkların iyileştirilmesinde etkili olduğu, nesnel klinik çalışmalarla da kanıtlanmaktadır. Buna bir örnek: Almanya'daki radon kaplıcası Schlemmer'da yapılan ve radonun etkinliğini saptamayı amaçlayan bir kontrol çalışmasında boyun ve omurga ağrılarını çeken 46 kişi, 4 hafta içinde herbiri 20 dakika süren 9 banyo alıyorlar (3000 Bq/litre'lik radon konsantrasyonundaki ve 37 °C' deki su sıcaklığında). Aynı bir hasta grubuna (kontrol grubu) aynı sıcaklıkta, aynı sürelerde radonsuz su (çeşme suyu) uygulanıyor. 4 haftalık uygulama sonrası her iki gruptaki hastalarda belirgin bir iyileşme görülmezken, hastalar evlerine döndükten 2 ile 4 ay sonra radonlu suyla uygulama gören gruptakilerin ağrılarının eskiye oranla azaldığı hastalarca bildiriliyor.

## Radon Vücutta Nasıl Etkili Oluyor?

Bu çeşit uygulamalar, hücre onarım ve yenileme mekanizmasını harekete geçirmeyi amaçlıyor. Radyoaktif bir asal gaz

olan radon, deri ve akciğerlerden vücuda fiziksel difüzyonla girdikten sonra, kan dolaşımıyla çabucak vücuda yayılıyor. Radon ve ondan türeyen ağır metal taneciklerinden salınan alfa, bir dizi etkileşme sonucu hücrelerde değişikliklere neden oluyorlar. Bunun sonucunda birçok hastanın iyileşme yolunda olduğu ya da kendini daha iyi hissettiği ileri sürülüyor. Radon izotopları içinde en yoğun olan Radon 222'nin 3,8 günlük fiziksel yarılanma süresine karşılık, biyolojik yarılanma süresi (vücuda giren miktarın vücuttan yarısının atılana kadar geçen süre) oldukça kısa olup sadece 30 dakika kadar. Radondan türeyen ağır metal tanecikleri özellikle akciğerlere yerleşip yaydıkları alfa ile ve diğer ışınlarla uzun süre vücuda etkili oluyorlar (Şekil-

## Deri ve Kana Geçen Radon Miktarı Ne Kadar?

Bir radon kaplıcasında deri yoluyla vücuda giren radon miktarı, nefesle akciğerlerden atılan havanın analiziyle belirlenebilir<sup>2</sup>.

Örneğin litrede 415 Bq'lık radon konsantrasyonlu bir termal suda 20 dakikalık bir banyo sırasında nefesle dışarı atılan havada ilk 5 ile 8 dakikalık sürede radon konsantrasyonunun gitgide artmakta olduğunu, 8 ile 20 dakika arasında ise 2,5 Bq/litre'lik kabaca sabit bir konsantrasyon oluştuğu saptanıyor<sup>3</sup>. Banyodan sonraki sürede nefesteki radon konsantrasyonunun epey azalarak 50 dakika sonunda nefesle atılan havada radonun pek kalmadığı izleniyor.

Dakikada 5 litrelik nefes alış veriş (ya da solunum debisi) 380 Bq'ın dışarı atılmasına karşılık gelmekte ki bunun da 250 Bq'ı 20 dakikalık banyo süresinde vücuttan atılmakta. Doğal yollarla vücuttan ayrıca atılan radon miktarının, yukarıda-

de sağ alttaki alfa yayan ağır metallerin yarılanma sürelerine ve çerçeve içindeki alfa enerjilerine bakınız).

## Vücutta Oluşan Radyasyon Dozları Ne Kadar?

Derideki bu konsantrasyon sonucu, 20 dakikalık bir banyo süresince, derinin ortalama olarak 0.8 µGy (mikrogray)'lık bir enerji dozu aldığı hesaplanıyor (Gray: Enerji dozu; 1 Gray = 1 Joule /1 kg)<sup>1</sup>.

20 dakikalık banyo süresince kandaki radon konsantrasyonu 17 Bq/litre ve banyodan sonraki 20 dakikadaysa ortalama değer 8 Bq/litre kabul edildiğinde, kan hücrelerinin alacağı ortalama enerji dozu 0,1 µGy kadar.

415 Bq/litre konsantrasyonlu banyo suyundan derinin dış yüzeyine tutunan radonun bozunma ürünlerinden (ağır metallerden) oluşan enerji dozunun, alfa spektrometrik ölçümlere göre 50 µGy olacağı hesaplanıyor.

Banyo suyundaki radon konsantrasyonu 1600 Bq/litre olduğunda ve böyle bir banyoya ardışık 10 kez girildiğinde, enerji dozunun en büyük bölümünü (2 mGy kadar) üst deri alırken, artakalan tüm deride ortalama soğurma sadece 30 µGy olup, kan hücrelerinin aldığı doz ise 4 µGy kadar.

Diğer yandan alfa parçacıklarının biyolojik etkinliğini göz önüne almak gerekiyor. Dokuda fazla yol alamadan soğrulan alfa parçacıkları, örneğin derinin üst yüzeyindeki hücrelere enerjilerinin tümünü aktarır, bu hücrelerin içlerinde etkili olurken, aynı enerji-deki gamalar pek etkili olmadan bu hü-

ki toplamın %10'u kadar olduğu kestirilmekte. Buradan 380+38 = 418 Bq bulunur ki bu da sudan vücuda giren radon miktarına eşit olmalı.

Tek bir radon atomunun kanda ortalama olarak 5 dakika kaldığından gidilerek (bu süre, banyo süresiyle karıştırılmamalı), 6 litrelik kan hacmi için, banyo süresince kandaki ortalama radon konsantrasyonunun kabaca 17 Bq/litre olacağı bulunur.

Bu yaklaşık değer, radonun bir miktarının ilgili dokularda depolanması nedeniyle azalır ki yapılan ölçümler de bunu doğruluyor<sup>4</sup>. Banyo süresince radonun sudaki ve kandaki konsantrasyonu arasında lineer eğimli bir bağıntı varsayılarak, difüzyonla deriye işlediği ve böylece deride ortalama 216 Bq/litre'lik bir konsantrasyon oluştuğu kabul ediliyor. Ayrıca radondan türeyen kısa yarılanma süreli radyoizotopların da deride kaldığı kabul edildiğinde, herbir radon atom çekirdeğinin bozunumundan toplam olarak 19,2 MeV'luk bir enerjinin deride soğurulduğu ya da bunun radyasyon dozunu oluşturduğu hesaplanıyor.

releri geçip gidiyorlar ve vücudun derindeki dokulara enerjilerini gitgide azalarak aktarıyorlar. Bu nedenle üst derinin aldığı örneğin 1 mGy'lik alfa enerji dozu, alfaların iyonizasyon yoğunluğunun bir ölçüsü olan kalite katsayısı 20 ile çarpılarak deri için 20 mSv'lik 'Eşdeğer Doz' ya da 'Organ Dozu' bulunuyor (Organ Dozu aslında iyonlayıcı ışınların bu organı etkileme derecesinin bir ölçüsüdür). Diğer yandan organların/dokuların radyasyona duyarlılığı farklı olduğundan, tüm vücudun etkilendiği dozu hesaplarken herbir organın 'Ağırlık Katsayısı'nı da gözönüne almak gerekiyor ki, bu, deri için 0,01 olduğundan 20 mSv'lik deri Eşdeğer Dozunun tüm Vücut Dozuna katkısı 0,2 mSv'lik Etkin Doz demek oluyor (Çizelge 1'in üst satırındaki değerlere bkz.). Burada Ağırlık Katsayısının anlamıysa örneğin derinin 1 Sv'lik eşdeğer doz almasıyla, tüm vücut ışınlanmasında vücudun 0,01 Sv 'lik doz alması sonucu heriki durumda da beklenen kanser riskinin kabaca aynı olması. Buradan 'Etkin Dozun', tüm organizmanın etkilenmesinin bir ölçüsü olduğu görülüyor. 1600 Bq/1 konsantrasyonundaki radonlu suda 10 kez banyo yapılması durumunda organlarda biriken ağır metallere ilgili organların alabileceği enerji dozlarının ise 1 ile 6 µGy arasında olabileceği hesaplanmaktadır.

## Etkin Dozun Doğal Radyasyon Dozuyla Karşılaştırılarak Değerlendirilmesi ve Kanser Riski?

Bir hastanın vücudunun etkilenebileceği etkin dozun büyüklüğü, ilgili radon kaplıcasındaki uygulama yöntemiyle su ve havadaki radon konsantrasyonuna bağlı olduğu yukarıda açıklandı (Bk. Çizelge 1).

Su banyosu uygulamasında (kürün-de) etkin doz bu örneklerde 0,2 ile 0,5

## Radyasyon Dozunu Azaltıcı Korunma Önlemleri Neler?

Radon kaplıcalarında, Radon 222 ve ondan türeyen özellikle kısa yarılanma süreli radyoizotopların yaydıkları alfaların, vücutta iyileştirme uygulamaları sırasında radyasyon dozları oluşturdukları ve bunlarla ilgili değerler yukarıda açıklandı.

Radyasyon riski hem hasta ve hem de kaplıcalarda görevli personel için hesaplanıp radyasyon dozunu azaltıcı korunma önlemleri alınmalı. Bu önlemler çok çeşitli olabilir:

– Hastayı korumakla ilgili olarak, doktorun,



mSv arasında kalırken, solunum yoluyla yapılan uygulamada bu 2 mSv kadar. Yılda en çok bir kez olabilecek radon uygulamasında alınabilecek etkin dozların, doğal kaynaklardan alınmakta olan yıllık ortalama 2,4 mSv'lik dozun epey altında kaldığı görülüyor<sup>6</sup>. Diğer yandan 'Doğal Radyasyon Dozu' dünyanın çeşitli yörelerinde genellikle yılda 1 ile 10 mSv arasında değişimler göstermekte olup bazı bölgelerde 10 mSv'in de çok üstünde dozlar izlenebiliyor. Buradan, yukarıdaki radon kaplıcalarında alınan 'etkin doz' ile 'doğal radyasyon dozu' toplamının, doğal radyasyon dozunun değişim aralığında kaldığı sonucu çıkıyor. Evrim biyolojisi yönünden, çok düşük değerlerdeki doğal radyasyon dozuna karşı hücrelerde uyum sağlama mekanizmasının bulunduğu ve canlıların çevrelerindeki yaşam koşullarına uyduğu kabul ediliyor. Bu kabul, akciğerlerdeki bir kanser riski için de geçerli

hastanın alabileceği dozu ve riski hesaplayarak, bunun hastaya yarar mı yoksa zarar mı getireceğini tartması ve radon uygulamasına buna göre karar vermesi

– Personeli korumakla ilgili olarak, yetkili radyasyon fizikçisinin, radyasyondan korunma yöntemlerini uygulaması gerekiyor ki, bu da radyasyondan korunma önlemlerinin optimize edilmesi ve dozun kabul edilebilir bir değerle sınırlandırılması demek (ICRP 1991)

– Kaplıcalarda ortaya çıkan radon konsantrasyonları, hastalar ve personel için geçerli olmakla birlikte, personel her hasta için çok daha kısa süre radonlu su ve buharla temasta olmalı ve özellikle yüksek radon konsantrasyonlu kaplıcalarda, birçok hasta için görev yapan personeli koruyucu önlemler alınmalı.

ve riskin çok düşük olduğunu aşağıdaki hesaplama da gösteriyor:

Aldığı radyasyon dozu nedeniyle akciğer kanserine yakalanıp bunun ölümle sonuçlanmasıyla ilgili olarak ICRP (1991)<sup>7</sup> bilimsel raporunda  $85 \times 10^{-4} / \text{Sv}$  değeri veriliyor. 'Risk katsayısı' denilen bu değer anlamı, örneğin 10.000 kişiden herbirinin akciğerleri 1 Sv'lik bir eşdeğer doz aldıklarında, bunlardan 'ortalama olarak 85'inde akciğer kanserinden ölüm görülebilir' kestirimi yapılıyor.

Kaplıcalarda radon solunum uygulaması gören hastalar için de yukarıdaki risk katsayısı kullanılarak bir risk hesabı yapılabilir:

Solunum uygulaması gören hastaların akciğerlerinin aldığı 10 mSv'e karşılık (Bk. Çizelge 1) orantıyla  $10 \times 10^{-3} \text{ Sv} \times 85 \times 10^{-4} / \text{Sv} = 0,00009$  ya da kabaca % 0,01 bulunur. Bunun anlamı her 10 000 kişiye yukarıdaki koşullarda radon solunumu uygulanması durumunda ortalama 1 kişinin akciğer kanserinden ölebileceği. Bu değer, Almanya'da kendiliğinden, ya da birdenbire ortaya çıkan akciğer kanseri ve sonrasındaki ölüm olasılığı yanında çok küçük kalıyor (Kadınlarda akciğer kanser riski %1,6, erkeklerde %6,8). Kadın ve erkekler için ortalama değer olarak % 4 alındığında, Almanya'da her 10.000 kişiden ortalama olarak 400'ünün herhangi bir nedenle akciğer kanserine yakalanıp öleceği sonucu çıkıyor. Buradan radon solunum uygulaması ek riski olarak:  $0,0001 : 0,04 = 1/400$  bulunur ki, bu da her 400 akciğer kanserinden ölüme karşılık, radon solunum uygulaması sonucu ortalama olarak 1 kişinin ölebileceği anlamına geliyor. Bu örnekteki, 400 kişiden hangisinin radon solunum uygulaması sonucu kansere yakalanıp ölebileceğini kanıtlamakla olanaksız.

Radon uygulama yöntemi	Etkin Doz/yıl (mSv)	Araştırmayı yapanlar
<b>Kaplıca / Banyo Uygulaması (kürü)</b> Sibyl kaplıcası Almanya 800 ± 380 Bq/m <sup>3</sup> Radon kaplıcadaki havada Kaplıca havuzlu salonunda yılda 2000 saat kalındığı varsayılarak	<b>En çok 2,5</b>	Haninger et al., 1998
Kaplıca havuzlu salonundaki 450 Bq/m <sup>3</sup> Radon kons. havada, yılda 400 saat kalındığı varsayılarak	<b>0,25</b>	Just et al., 2001; von Philipsborn, 2004

Çizelge 2: Kaplıcalarda PERSONELİN yılda aldığı Etkin Doz<sup>1</sup> değerleri<sup>6</sup>

Akciğerler ve başka organlar için belirlenen bu çeşit '**risk katsayıları**', Japonya'da 1945 yılında atılan atom bombalarından kurtulanlar üzerinde sürekli olarak yapılan epidemiyolojik çalışmalara dayanıyor. Japonya'da ortaya çıkan çok yüksek dozlardan gidilerek, başka yerlerdeki çok alçak dozlar için bulunan bu risk katsayıları çok kaba kestirimler olup, elde tutarlı başka bir seçenek olmadığından istatistiksel bir hesaplama aracı olarak kullanılıyor (Bkz: Tübitak Bilim ve Teknik Dergisi, Nisan 2006 Eki s.15).

## Türkiye'de Radon Kaplıcaları Var mı?

Türkiye'de Sağlık Bakanlığı'nın izniyle çalışan 80 kadar kaplıcada Avrupa'daki gibi radonlu su, radonlu gaz (kürü) ve buharla bir uygulama yapılmıyor ve bu konuda derinlemesine araştırmalar da bulunmuyor<sup>8</sup>. Gerek radon konsantrasyonları gerekse uygulama yöntemleriyle, hasta ve personelin alabilecekleri radyasyon dozlarıyla ilgili ayrıntılı bilgiler de (sınırlı bir tez çalışması dışında)<sup>9</sup> ne yazık ki yok. Ayrıca Türkiye'deki kaplıcalarla ilgili tanıtım yazılarında, bir radon uygulaması yapıldığı da zaten belirtilmiyor. Sadece bazı kaplıcaların sularında radon bulunduğu ve 'Bünyesinde radon (gençleştirici gaz!!) bulundurmasından dolayı hücreleri yenilemekte, hormonları aktive etmektedir' deniyor<sup>10</sup>.

Türkiye'de adı 'Radon Termal Banyosu' olan bir kaplıca Kuşadası Davutlar'da var. Ancak, bu kaplıcanın suyunda litrede 2 Bq radon bulunduğu<sup>11</sup> internet sayfasında veriliyor. Bu değer, birçok içme suyunun radon konsantrasyonu düzeyindeki kadar az olduğundan, bu kaplıcaya radon kaplıcası denemeyeceği açık. Nitekim İzmir ili içme ve kullanma sularındaki 0,3 ile 6 Bq/litre arasındaki Radon 222 değerleri, bu kaplıcanın suyundakinden daha yüksek<sup>12</sup>.

Türkiye'deki bazı kaplıcaların ve ve içmelerin sularında ölçülen<sup>13</sup> Radon 222 konsantrasyon değerleri, herbiri Bq/litre olarak:

**Kaplıcalar:** Kayseri Bayramhacı: 380; Muğla Köyceğiz Sultanıye: 335; Çanakkale Kestanel: 240; Afyon Sandıklı: 160 (Ölçüm yapılan birkaç başka kaplıcadaki radon değerleri litrede 100 Bq' den daha da az).

**İçmeler:** Ankara Beypazarı Dutlu Ve-zir İçmesi: 3171; Erzurum Hasankale (Pa-

sinler) maden suyu: 2921; Nevşehir Kozaklı Kozoğlu Hamamı: 3167; Nevşehir Kozaklı Uyuz Hamamı: 2299; Kırşehir Çiçekdağ Mahmutlu Büyük Hamam: 737; Nevşehir Kozaklı Belediye Hamamı: 615; Balıkesir Susurluk Kepekler Hamamı: 406; Kuşadası Güzelçamlı İçmecesesi: 3; Kuşadası Kemerli Kaynak 146; Kuşadası açık kaynak: 281; Kuşadası Sümerbank kaynağı: 88

Yukardaki tüm değerler ölçümlerin yapılmış olduğu günler için geçerli olup, zamanla değişimleri ve hata oranları henüz incelenememiştir.

Avrupa'daki radon uygulamalarının yapıldığı kaplıcalarda, radon konsantrasyonları genellikle litrede 666 ile 3000 Bq arasında değişiyor. Almanya'daki Kaplıcalar Yönetmeliği, Radon Kaplıcaları için en az radon konsantrasyonları olarak kaplıca suyunda 666 Bq/litre, kaplıca havasının



da da 37.000 Bq/m<sup>3</sup> değerlerini öngörüyor. Ancak bu düzeydeki oldukça yüksek konsantrasyonlardaki radonun vücuda etkisi beklendiğinden, Türkiye'de daha düşük radon değerleri gösteren kaplıcalardan hiçbiri 'Avrupa'daki radon kaplıcalarının' özelliğini taşıyor. Türkiye'deki yeni Kaplıcalar Yönetmeliği (R.G 9.12.2004 / 25665 ) böyle bir radon sınır değerini artık öngörmüyor. Ancak, böyle bir sınırın olmaması, düşük radon konsantrasyonlu kaplıcaları, radon kaplıcası sınıfına sokmakta ve az radonlu içme sularıyla bile sanki radon uygulaması yapılabiliyor sonucu çıkarılabiliyor. Yukarıdaki 'içmeler' adındaki sularsa, içme suları olarak kullanılmıyor, yalnızca geleneksel kaplıca tedavilerinde kullanılıyorlar<sup>14</sup>. Ancak bu iyileştirme programlarının, hastaların ve personelin fazla radyasyon dozu almalarını önleyecek önlemleri içerip içermediğinin araştırılması gerekiyor.

## Öneriler

Yukarıda hesaplanan çok küçük kanser riski değerlerine rağmen, koruyucu bir önlem olarak, yüksek radyoaktiviteli bir radon kaplıcasında ve uzun süreli uygulamalarda, ölçüm ve hesapların yapılması

yetkili doktor ve radyasyon fizikçilerinin belirlemelerine göre hastalara radon uygulamasının yapılması yapılmamasına (ya da hangi yöntem ve dozun uygulanacağına) karar verilmesi gerekir.

Diğer yandan yukarıda sıralanan 'İçmelerdeki' radon konsantrasyon değerleri çok yüksek. İçme sularındaki Radon 222 üst sınırı değeri 22 Bq/litre olduğundan, bu 'içmeler' adındaki sular hernekadar kaplıca suları olarak kullanıldığı belirtilmişse de, gerçekten çevredeki halk tarafından soğutulduktan sonra (radon miktarı bir miktar azalsa da), maden suları gibi içilip içilmediğini ve içilmemesi için herhangi bir önlem alınıp alınmadığının da araştırılması yararlı olur.

Türkiye'deki 80 kadar kaplıcadaki su ve kapalı yerlerin havasında radon ölçümlerinin yapılması, bunlardan radon değerleri yüksek olanlarda sistematik ölçümlerin (örneğin aylık) yapılarak hastalara uygulanan programların ve buralarda çalışan personelin çalışma koşullarının gözden geçirilerek, gerekiyorsa yukarıda açıklanan önlemlerin alınması önerilir. Bu amaçla, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'ndan, Türkiye'deki tüm kaplıcaları ve İçmeleri içeren, başta radon olmak üzere bir radyoaktivite ölçüm ve değerlendirme programını başlatıp ayrıntılı bilimsel ve teknik çalışmalara önayak olması ve gerekiyorsa halkı ve çalışanları koruyucu ilgili önlemleri aldırması beklenir. Üniversitelerin ilgili bölümlerinin ve diğer araştırma kurumlarının da çevrelerindeki kaplıcalarla ilgili olarak, bu çalışmalara katılması ve durumun bilimsel olarak derinlemesine incelenmesi ayrıca önerilir.

Fizik Y.Müh.Dr.Yüksel Atakan  
Almanya, ybatakan@gmail.com

### Kaynaklar:

- <sup>1</sup> Bu yazı boyunca kullanılan radyoaktivite, radyasyon, doz birim ve kavramlarıyla ilgili ayrıntılı bilgiler için Tübitak Bilim Teknik Dergisi Nisan 2006 sayısı Ekine bakılması
- <sup>2</sup> Janitzky (Krebs 1949, Dieterische Verlag, Wiesbaden) und Grunewald et al. (1995)'in ortaya koydukları yöntemle
- <sup>3</sup> Hofmann et al. (1999) Strahlenbelastung bei der Radontherapie; in Seminarband XXV "Umweltbelastung Radon" Kapitel Information Umwelt (1999); GSF.
- <sup>4</sup> Phillipsborn et al. 2000 First Measurements of Radon Transfer Water - Skin - Blood - Air. 2000, Verlag TÜV Rheinland, Köln, Band I, 354-363
- <sup>5</sup> A.Kaul, Radon als Heilmittel (Vorabdruck, Taslak 2004)
- <sup>6</sup> UNSCEAR, 2000; Kaul, 2003 Natürliche und zivilisatorische Strahlenexposition; in Handbuch Diagnostische Radiologie Strahlungsphysik Springer Verlag Berlin, 305-312
- <sup>7</sup> Uluslararası Radyolojik Korunma Kurulu Bilimsel Raporu.
- <sup>8</sup> Prof. M.Z.Karagülle, özel yazışma
- <sup>9</sup> N.Çelebi, Doktora Tezinin (1995) bir bölümü, özel yazışma
- <sup>10</sup> Kuşadası Davutlar Radon Termal Banyosu internet sayfasından
- <sup>11</sup> Sudan alınan örneğin bir laboratuvara yollanması ve geçen süreçte, sudaki radonun azalması sonucu 2 Bq/litre gerçek değeri göstermiyor (Testisen Sn.H.Demirhan ile olan tel. görüşmesi)
- <sup>12</sup> M.M.Saç, M.N.Kumru Ege Univ.Nükl.Bilim Enst.Izmir
- <sup>13</sup> Dr.N.Çelebi"değerli katkısıyla 5 ciltlik Türkiye Maden Suları kitaplarından alınan değerler
- <sup>14</sup> Prof.M.Z.Karagülle, özel yazışma