

# Radon kaplıcalarındaki uygulamalar hastalara yararlı mı?

## Yüksel Atakan,Dr.Radyasyon Fizikçisi Almanya

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

Radonlu suların hastalara içirilmesiyle, radon mide-barsak derisi yoluyla kan dolaşımına girmekte ise de bu yol daha az uygulanıyor.

Binalardaki havada radon derişiminin üst sınırı olarak genellikle 100 Bq/m<sup>3</sup> kabul edilirken, örneğin Avusturyadaki Gastein bölgesindeki maden ocaklarındaki havada radon derişimi 740.000 Bq/m<sup>3</sup> kadar çok yüksek bir değer gösteriyor. Benzer özellikler gösteren maden ocakları Almanyanın Sachsen eyaletinde, Karaormanlarda, Çekoslovakya'da, ABD'de ve daha birçok ülkede var.

Avrupadaki kaplıcalarda, 37°C kadar olan su sıcaklığıyla derideki kan dolaşımı uyarılarak vücuda deri yoluyla radonun işlemesi kolaylaştırılıyor. 34 - 41°C arasında radonlu buharın uygulandığı kaplıcalarda da radon yine deri yoluyla vücuda girmekte, solunum yoluyla alınan miktar ise çok az. En etkin radon uygulamaları ise, su sıcaklığının 37 - 42 °C arasında ve havanın neme doymuş olduğu kaplıcalarda solunum ve deri yoluyla radonun vücuda kolayca işlemesiyle sağlanıyor. Kaplıca sularındaki radon derişimi çoğunlukla litrede 700 ile 1600 Bq arasında. Radon gazı uygulamalarında radon derişimi en azından 37.000 Bq/m<sup>3</sup> kadar.

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

Son zamanlarda radonun bu gibi hastalıkların iyileştirilmesinde etkili olduğu, nesnel klinik çalışmalarla da kanıtlanmakta. Buna bir örnek: Almanyadaki Radon Kaplıcası Schlemma'da yapılan ve radonun etkinliğini saptamayı amaçlayan bir kontrol çalışmasında boyun ve omurga ağrıları çeken 46 kişi, 4 hafta içinde herbiri 20 dakika süren 9 banyo alıyorlar (3.000 Bq/litre'lik radon derişimindeki ve 37 °C'deki su sıcaklığında). Aynı 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 ağrıların 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.

### Radyasyon dozu vücutta nasıl oluşuyor?

'Radyasyon Dozu' aslında iyonlaştırıcı radyasyonun vücutta oluşturabileceği etkinin bir ölçüsü. Radon kaplıcalarında vücudun aldığı radyasyon dozuna en büyük katkı, hücrelerde iyonizasyon yoluyla yoğun etkileşmeye neden olan alfa'dan kaynaklanıyor. Helyum atomunun çekirdeklerinden başka birşey olmayan alfa 2 proton ve 2 nötrondan oluşuyor. Bunların hücrelere aktardığı enerji her mikrometre

derinlik başına ortalama  $150 \text{ keV}^{-1}$  olup, bu değer enerjik elektronlar için olan  $0,2 \text{ keV}$  değeriyle karşılaştırıldığında, alfaların hücreye 750 kat daha çok enerji aktardıkları görülüyor. Ancak alfalar dokularda çok az yol alabildiklerinden hücrelerin çoğu bunlardan etkilenmiyor ( $1 \text{ eV}=1$  elektron Volt, radyasyon enerjisi birimi olup 1 elektronun 1 Voltluk potansiyel farkı altında kazanacağı çok küçük bir enerji miktarı,  $1 \text{ eV}=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Joule}$  ;  $1 \text{ keV}=10^3 \text{ eV}$  ;  $1 \text{ MeV}=10^6 \text{ eV}$ ).

Diğer yandan bir alfa taneciği  $5 \mu\text{m}$  büyüklüğündeki (çok yakınındaki) bir hücreyi geçerken hücrede  $750 \text{ keV}^{-1}$  luk, hücre için büyük bir enerji depoluyor. Bu, 25 .000 adet iyonlaştırma demek (atom düzeyi için oldukça büyük). Bunun ise bir alfanın gidebileceği ve  $35 \mu\text{m}^{-1}$  kadarlık yoldaki ardısıra gelen hücre tabakalarında büyük bir biyolojik etki yaratması beklenir (Bkz.Ek 2).

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

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

### **Deri ve kana geçen radon miktarı ne kadar?**

Bir radon kaplıcasında deri yoluyla vücuda giren radon miktarı, nefesle akciğerlerden atılan havanın analiziyle belirlenebiliyor<sup>1</sup>.

Örneğin litrede  $415 \text{ Bq}^{-1}$  lik radon derişimli bir termal suda 20 dakikalık bir banyo sırasında nefesle dışarı atılan havada ilk 5 ile 8 dakikalık sürede radon derişiminin gitgide artmakta olduğunu, 8 ile 20 dakika arasında ise  $2,5 \text{ Bq/litre}^{-1}$  lik kabaca sabit bir derişim oluştuğu saptanıyor<sup>2</sup>. Banyodan sonraki sürede nefesteki radon derişiminin epey azalarak 50 dakika sonunda nefesle atılan havada radonun pek kalmadığı izleniyor.

Dakikada 5 litrelik nefes alış veriş (ya da solunum debisi)  $380 \text{ Bq}$ 'in dışarı atılmasına karşılık gelmekte ki bunun da  $250 \text{ Bq}$ 'i 20 dakikalık banyo süresinde vücuttan atılmakta. Doğal yollarla vücuttan ayrıca atılan radon miktarının, yukardaki toplamın %10'u kadar olduğu kestirilmekte. Buradan  $380+38 = 418 \text{ Bq}$  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 derişiminin kabaca  $17 \text{ Bq/litre}$  olacağı bulunur.

Bu yaklaşık değer, radonun bir miktarının ilgili dokularda depolanması nedeniyle azalır ki yapılan ölçümler de bunu doğruluyor<sup>3</sup>. Banyo süresince radonun sudaki ve kandaki derişimi arasında lineer eğimli bir bağıntı varsayılarak, difüzyonla deriye işlediği ve böylece deride ortalama  $216 \text{ Bq/litre}^{-1}$  lik bir derişim oluştuğu kabul ediliyor. Ayrıca radondan türeyen kısa yarılanma süreli radyoizotopların da deride kaldığı kabul edildiğinde, herbir radon atom çekirdeğinin bozunumundan toplam olarak  $19,2 \text{ MeV}^{-1}$  luk bir enerjinin deride soğurulduğu ya da bunun radyasyon dozunu oluşturduğu hesaplanıyor.

Radondan türeyen ağır metal tanecikleri ise özellikle akciğerlere yerleşip yaydıkları alfalarla ve diğer ışınlarla uzun süre vücuda etkili oluyorlar (Şekil 4.3'ün sağ altındaki alfa yayan ağır metallerin

<sup>1</sup> Janitzky (Krebs 1949, Dieterische Verlag, Wiesbaden) und Grunewald et al. (1995)'in ortaya koydukları yöntemle

<sup>2</sup> Hofmann et al. (1999) Strahlenbelastung bei der Radontherapie; in Seminarband XXV "Umweltbelastung Radon" Kapitel Information Umwelt (1999); GSF.

<sup>3</sup> Philipsborn et al. 2000 First Measurements of Radon Transfer Water - Skin - Blood - Air. 2000, Verlag TÜV Rheinland, Köln, Band I, 354-363

yarılanma sürelerine ve çerçeve içindeki alfa enerjilerine bkz.). Radon izotopları içinde en yoğun olan Rn 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.

### **Radon'un vücutta oluşturduğu radyasyon dozu ne kadar?**

Derideki bu derişim sonucu, 20 dakikalık bir banyo süresince, derinin ortalama olarak 0.8  $\mu\text{Gy}$  lik bir enerji dozu aldığı hesaplanıyor (Gray: Enerji dozu; 1 Gray = 1 Joule /1 kg, Bkz. Ek 2)

20 dakikalık banyo süresince kandaki radon derişimi 17 Bq / litre ve banyodan sonraki 20 dakikada ise ortalama değer 8 Bq / litre kabul edildiğinde, kan hücrelerinin alacağı ortalama enerji dozu 0,1 $\mu\text{Gy}$  kadar.

415 Bq/litre derişimli banyo suyundan derinin dışyüzeyine tutunan radonun bozunma ürünlerinden (ağır metallerden) oluşan enerji dozunun, alfa spekrometrik ölçümlere göre 50  $\mu\text{Gy}$  olacağı hesaplanıyor.

Banyo suyundaki radon derişimi 1.600 Bq/litre olduğunda ve böyle bir banyoya ardısıra 10 kez girildiğinde, enerji dozunun en büyük bölümünü (2 mGy kadar) üstderi alırken, artakalan tüm deride ortalama soğurma sadece 30  $\mu\text{Gy}$  olup, kan hücrelerinin aldığı doz ise 4  $\mu\text{Gy}$  kadar.

Diğer yandan alfaların biyolojik etkinliğini gözönüne almak gerekiyor. Dokuda fazla yol alamadan soğrulan alfalar örneğin derinin üst yüzeyindeki hücrelere enerjilerinin tümünü aktarıp, bu hücrelerin içlerinde etkili olurlarken aynı enerjideki gamalar pek etkili olmadan bu hücreleri geçip gidiyorlar ve vücudun derinlerindeki 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 iyonlaştırıcı ışınların bu organı etkileme derecesinin bir ölçüsü). Diğer yandan organların / dokuların radyasyona duyarlığı farklı olduğundan, tüm vücudun etkilendiği dozu hesaplariken 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 anlamı ise 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. 1.600 Bq/l derişimindeki radonlu suda 10 kez banyo yapılması durumunda organlarda biriken ağır metallerden ilgili organların alabileceği enerji dozlarının ise 1 ile 6  $\mu\text{Gy}$  arasında olabileceği hesaplanıyor.

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

**Çizelge 3:** Radon kaplıcalarında hastaların akciğerlerinin ve derilerinin aldığı Eşdeğer ve Etkin Dozlar (Bkz.Ek 2) araştırmacıların yayımladığı Organ Doz değerlerinden gidilerek hesaplanmış olup, çizelgedeki radon kaplıcalarını ve oralardaki radon uygulama program ve uygulama sürelerini kapsıyor). /<sup>4</sup>

<sup>4</sup> A.Kaul, Radon als Heilmittel (Vorabdruck, Taslak 2004)

Radon uygulama yöntemi	Etkin Doz/yıl (mSv)	Araştırmayı yapanlar
<p><b>Kaplıca / Banyo Uygulaması (kürü)</b></p> <p>Sibyl kaplıcası Almanya 800 ± 380 Bq/m<sup>3</sup> Rn 222 kaplıcadaki havada</p> <p>Kaplıca havuzlu salonunda yılda 2000 saat kalındığı varsayılarak</p> <p>Kaplıca havuzlu salonundaki 450 Bq/m<sup>3</sup> Rn 222 kons. havada, yılda 400 saat kalındığı varsayılarak</p>	<p><b>En çok 2,5</b></p> <p><b>0,25</b></p>	<p>Haninger et al., 1998</p> <p>Just et al., 2001; von Philipsborn, 2004</p>

**Çizelge 4:** Kaplıcalarda personelin yılda aldığı Etkin Doz değerleri/Bkz. Ek 2/

#### **Radyasyon Dozunu Azaltıcı Korunma Önlemleri Neler?**

Radon kaplıcalarında, Radon 222 ve ondan türeyen özellikle kısa yarılanma süreli radyoizotopların yaydıkları alfa parçacıklarının, 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 olabiliyor:

- Hastayı korumakla ilgili olarak, doktorun, 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 derişimleri, 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 derişimli kaplıcalarda, birçok hasta için görev yapan personeli koruyucu önlemler alınmalı.

#### **Etkin Dozun, Doğal Radyasyon Dozuyla Karşılaştırılarak Değerlendirilmesi ve Kanseri Riski ?**

Bir hastanın vücudunun etkilenebileceği etkin dozun büyüklüğü, ilgili radon kaplıcasındaki uygulama yöntemiyle su ve havadaki radon derişimine bağlı olduğu yukarıda açıklandı .

Su banyosu uygulamasında (küründe) Etkin Doz bu örneklerde 0,2 ile 0,5 mSv arasında kalırken, solunum yoluyla yapılan uygulamada bu 2 mSv kadar. Yılda en çok bir kez olabilecek radon

uygulanmasında alınabilecek etkin dozların, doğal kaynaklardan alınmakta olan yıllık ortalama 2,4 mSv'lik dozun epey altında kaldığı görülüyor<sup>5</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 yukardaki 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 kanser riski için de geçerli ve riskin çok düşük olduğunu aşağıdaki hesaplama da gösteriyor.

Akciğerlerin aldığı radyasyon dozu nedeniyle akciğer kanserine yakalanıp bunun ölümlerle sonuçlanmasıyla ilgili olarak ICRP(1991)<sup>6</sup> bilimsel raporunda  $85 \times 10^{-4}$  /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 yapıyor.

Kaplıcalarda radon solunum uygulaması gören hastalar için de yukardaki 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 yukardaki koşullarda radon solunumu uygulanması durumunda ortalama 1 kişinin akciğer kanserinden ölebileceği. Bu değer, Almanyada 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, Almanyada 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 kanıtlamak ise olanaksız.

Akciğerler ve başka organlar için belirlenen bu çeşit '**risk katsayıları**', Japonyada 1945 yılında atılan atom bombalarından kurtulanlar üzerinde sürekli olarak yapılan epidemiyolojik çalışmalara dayanıyor. Japonyada 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 (Ayrıntılı açıklamalar için **bkz:Bölüm 2 ve Ek 11**).

### **Türkiyede Avrupadakilere Benzer Radon Kaplıcaları var mı?**

Türkiyedeki Sağlık Bakanlığının izniyle çalışan 80 kadar kaplıcada Avrupadaki gibi radonlu su, radonlu gaz (kürü) ve buharla bir uygulama yapılmıyor ve bu konuda derinlemesine araştırmalar da bulunmuyor<sup>7</sup>. Gerek radon derişimleri gerekse uygulama yöntemleriyle, hasta ve personelin alabilecekleri radyasyon dozlarıyla ilgili ayrıntılı bilgiler de (sınırlı bir tez çalışması dışında)<sup>8</sup> ne yazık ki yok. Ayrıca Türkiyedeki kaplıcalarla ilgili tanıtım yazılarında, bir radon uygulaması yapıldığı da zaten belirtilmiyor. Sadece bazı kaplıcaların sularında radon bulunduğu ve 'Bünyesinde Radon (gençleştirilen gaz) bulundurmasından dolayı hücreleri yenilemekte, hormonları aktive etmektedir' deniyor<sup>9</sup>.

<sup>5</sup> UNSCEAR, 2000; Kaul, 2003 Natürliche und zivilisatorische Strahlenexposition; in Handbuch Diagnostische Radiologie Strahlungsphysik Springer Verlag Berlin, 305-312

<sup>6</sup> Uluslararası Radyolojik Korunma Kurulu Bilimsel Raporu.

<sup>7</sup> Prof. M.Z.Karagülle, özel yazışma

<sup>8</sup> N.Çelebi, Doktora Tezinin (1995) bir bölümü, özel yazışma

<sup>9</sup> Kuşadası Davutlar Radon Termal Banyosu internet sayfasından

Türkiyede adı 'Radon Termal Banyosu' olan bir kaplıca Kuşadası Davutlar'da var. Ancak bu kaplıcanın suyunda litrede 2 Bq radon bulunduğu<sup>10</sup> internet sayfasında veriliyor. Bu değer, birçok içme suyunun radon derişim düzeyindeki kadar az olduğundan bu kaplıcaya radon kaplıcası denemeyeceği açık. Nitekim İzmir İli içme ve kullanma sularındaki 0,3 ile 6 Bq/litre arasındaki Radon 222 değerleri bu kaplıcanın suyundakinden daha yüksek<sup>11</sup>.

Türkiyedeki bazı kaplıcaların ve ve içmelerin sularında ölçülen<sup>12</sup> radon 222 derişim değerleri, **herbiri Bq/litre olarak :**

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

**İçmeler:** Ankara Beypazarı Dutlu Vezir İçmesi : 3171 ; Erzurum Hasankale (Pasinler) maden suyu: 2921; Nevşehir Kozaklı Kozoğlu Hamamı : 3167 ; NevşehirKozaklı Uyuz Hamamı: 2299 ; Kırşehir Çiçekdağ Mahmutlu Büyük Hamam: 737; Nevşehir Kozaklı Belediye Hamamı: 615 ; Balıkesir Susurluk Kepekler Hamamı: 406; Kuşadası Güzelçamlı İçmecesı: 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 incelenememiş.

Avrupadaki radon uygulamalarının yapıldığı kaplıcalarda, radon derişimleri genellikle litrede 666 ile 3000 Bq arasında değişiyor. Almanyadaki Kaplıcalar Yönetmeliği, Radon Kaplıcaları için en az radon derişimleri olarak kaplıca suyunda 666 Bq/litre, kaplıca havasında da 37 000 Bq/m<sup>3</sup> değerlerini öngörüyor. Ancak bu düzeydeki oldukça yüksek derişimleri radonun vücuda etkisi beklendiğinden Türkiyede daha düşük radon değerleri gösteren kaplıcalardan hiçbiri 'Avrupadaki radon kaplıcalarının' özelliğini taşıyor. Türkiyedeki yeni Kaplıcalar Yönetmeliği (R.G 9.12.2004 / 25665 ) böyle bir radon sınır değerini artık öngörmüyor. Ancak, böyle bir sınırın olmaması, düşük radon derişimli kaplıcaları, radon kaplıcası sınıfına sokmakta ve az radonlu içme sularıyla bile sanki radon uygulaması yapılabilir sonucu çıkarılabiliyor. Yukardaki 'içmeler' adındaki sular ise, içme suları olarak kullanılmıyor, yalnızca geleneksel kaplıca tedavilerinde kullanılıyorlar<sup>13</sup>. Ancak bu iyileştirme programlarının, hastaların ve personelin fazla radyasyon dozu almalarını önleyecek önlemleri içerip içermediğinin araştırılması gerekiyor.

#### **Bazı kaplıcalardaki radyoaktivite değerleri (N.Çelebi-Dip Notuna bkz):**

Kaplıca	Toplam Alpha derişimi (pCi/litre)	Toplam Beta derişimi (pCi/litre)	Ra-226 (pCi/litre)	Rn-222 (pCi/litre)
Afyon Sandıklı Çelikli Hamam	97,58 ±3.43	52,18± 3,05	12,65	4331
Konya ilgin kaplıcası	30,59± 2,45	15,21± 2,63	6,21	2210
Kayseri bayramhacı kaplıcası	17,27± 2,72	24,02± 3,80	3,16	10243
Rize-Çamlıhemşin, Ayder Kaplıcası	1,71± 0,51	9,82± 2,15	0,20	2146

<sup>10</sup> Sudan alınan örneğin bir laboratuvara yollanması ve geçen sürede, sudaki radonun azalması sonucu 2 Bq/litre gerçek değeri göstermiyor (Tesisten Sn.H.Demirhan ile olan tel. görüşmesi)

<sup>11</sup> M.M.Saç, M.N.Kumru Ege Univ.Nükl.Bilim Enst.İzmir

<sup>12</sup>Dr.N.Çelebi"değerli katkısıyla 5 ciltlik Türkiye Maden Suları kitaplarından alınan **değerler ve Developing Measurement Techniques for Uranium, Radium and Radon in Environmental Samples. Ph.D.Thesis. I.U. Science and Engineering Faculty, Physics Department, 1995./** İşaretili olan dışındakiler için referans :İ.Ü. Tıp Fakültesi, Hidro-klimatoloji Kürsüsü

Türkiye Maden Suları 12/1971, Kağıt Basım İşleri A.Ş., İstanbul ( 5 ciltlik kitap)

<sup>13</sup> Prof.M.Z.Karagülle, özel yazışma

Siirt –Hista Kaplıcası	491,08 ±18,76	112,50± 5,77	63,46	1471,0
İzmir-Balçova Agamemnon	5,75± 1,24	17,38 ±1,14		68
İzmir Dikili Nebiler İlıcası	10,27± 1,31	10,77± 1,45		1377
Muğla köyceğiz sultaniye	170,48± 14,62	148,12± 12,70	53,52	9052
Tunceli-Mazgirt, Bağın Kaplıcası	75,42± 0,42	51,35± 5,88	6,63	41
Çanakkale Kestanbol Kaplıcası (Çelebi)	19,38 Bq/L	25,92 Bq/L	3,06 Bq/L	243.3 Bq/L

### Öneriler

Yukarda hesaplanan çok küçük kanser riski değerlerine rağmen, koruyucu bir önlem olarak, yüksek radyoaktif bir radon kaplıcasında ve uzun süreli uygulamalarda, ölçüm ve hesapların yapıp yetkili doktor ve radyasyon fizikçilerinin belirlemelerine göre hastalara radon uygulamasının yapıp yapılmamasına (ya da hangi yöntem ve dozun uygulanacağına) karar verilmesi gerekir.

Diğer yandan yukarda sıralanan 'İçmelerdeki' radon derişim değerleri çok yüksek. İçme sularındaki Rn 222 üstsınır değeri 22 Bq/litre olduğundan bu 'içmeler' adındaki sular hernekadar kaplıca suları olarak kullanıldığı belirtilmiş ise 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.

Türkiyedeki 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 yukarda açıklanan önlemlerin alınması önerilir. Bu amaçla, Türkiye Atom Enerjisi Kurumundan, Türkiyedeki tüm kaplıcaları ve içmeleri içeren, başta radon olmak üzere bir radyoaktivite ölçüm ve değerlendirme programını başlatıp ayrıntılı bilimsel ve teknik çalışmalara önyak 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