

# Sulardaki Radyoaktivite ve Sağlık

Dr. Törel OĞUR  
Radyoloji Uzmanı  
Ankara, 2010

## Sularda Radyasyon

- Radyoaktif parçacıklardan kaynaklanan iyonizan radyasyon
- Genelde düşük düzeylidir
- Diğer çevresel radyoaktiviteyle birlikte incelenmelidir

## Sularda Radyasyon

- 1 yıllık içme suyuyla alınan radyasyon miktarı 0.1 mSv düzeyini geçmemelidir.
- Yıllık maksimum alınabilecek radyasyon miktarı 1 mSv.dir.

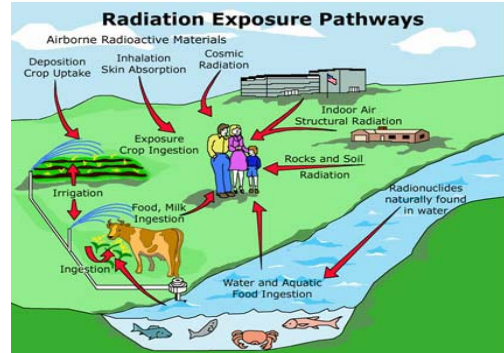
## Sularda Radyasyon

İçme suyu ile yılda 0.1mSv radyasyona maruz kalmanın ömür boyu kansere yakalanma ve ciddi herediter hasara neden olma riskinin üst düzeyi yaklaşık olarak 1/10000 olarak hesaplanmaktadır.

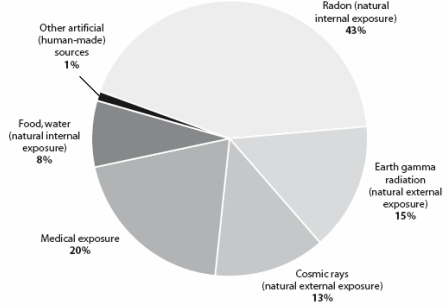
Yerkürenin farklı bölgelerinde radyasyona maruz kalma düzeyleri son derece farklılık göstermekle birlikte, ortalama maruziyet düzeyi 2.4 mSv/yı olarak hesaplanmaktadır, bu nedenle de 0.1 mSv/yıl maruziyet oldukça düşük bir etkilim olarak kabul edilmektedir.

## Çevresel Radyasyon Kaynakları

- Çevresel radyasyon
  - Doğal
  - İnsan nedeni
- Radyoaktif maddeler yerkürenin her yerinde (*uranyum, toryum ve potasyum-40 gibi*).
- Madencilik ve irrigasyon
- Radyasyonun çok büyük bir kısmı doğal kaynaklıdır
  - kozmik ve karasal radyasyon
  - solunum ve sindirim yoluyla radyoaktif parçacıkların alınması



### Radyasyon maruziyetinin (2.4 mSv/yıl) kaynakları ve dağılımı



Çevreye ve dolayısıyla sulara radyasyon bulaşmasına neden olan insan kaynaklı etkenlerin başında tıbbi tanı amaçlı radyasyon kullanımı gelir.

Yıllık medikal radyasyon maruziyeti kişi başına 0.4 mSv civarındadır.

Nükleer enerji üretimi ve nükleer bomba denemeleri de çevresel radyasyon maruziyetine katkıda bulunabilir:

- nükleer bomba denemeleri : 0.005 mSv
- Çernobil kazası : 0.002 mSv
- Nükleer enerji üretimi: 0.0002 mSv

### BAZI UYGULAMALAR SONUCU ALINAN RADYASYON DOZLARI

TETKİK Radyoloji	Etkin Doz Eşdeğeri (mSv)	TETKİK Nükleer Tip	Etkin Doz Eşdeğeri (mSv)
Akciğer Grafisi	0.14 - 0.04	Kemik	1.1 - 6.8
Akciğer Skopisi	0.98 - 0.29	Beyin	0.6 - 11.3
Kanın	1.1 - 0.22	Kalp	3.0 - 11.7
Barsak	4.1 - 5	Karaciğer/Dalak	0.9 - 2.2
Anjiyografi	6.8	Akciğer	1.1 - 1.4
Mamografi	1	Böbrek	0.01 - 2.1
BT	4.3	Troid Uptake	1.5 - 3.1

### Maruziyet Düzeyini Etkileyen Faktörler

- Deniz seviyesinden yükseklik,
- Topraktaki radyoaktif partiküller tipi ve miktarı
- Havadaki radyoaktif parçacıkların miktarı
- Yiyecek ve sulardaki radyoaktif maddelerin miktarı
- Solunan hava ve tüketilen yiyecek/içecek miktarı
- Bazı bölgelerde (Kerala (Hindistan), Pocos del Caldas platosu (Brezilya)) maruz kalınan çevresel radyasyon düzeyin 24 mSv/yıl düzeyine ulaşmaktadır. Bu bölgelerde yaşayanlarda olumsuz bir sağlık etkisine rastlanmamıştır.

### BAZI BÖLGELERİN DOĞAL RADYASYON SEVİYELERİ

Akkuyu	00.40 mSv / yıl
Ankara	00.68 mSv / yıl
Erzurum	01.04 mSv / yıl
Uludağ	01.23 mSv / yıl
Ağrıdağı	02.00 mSv / yıl
Karaormanlar (Almanya)	18.00 mSv / yıl
Hindistan	26.00 mSv / yıl
Atlantik kıyıları (Brezilya)	87.00 mSv / yıl

### Sulardaki radyoaktivite kaynakları

- Doğal olarak bulunabilen radyoaktif maddeler (toryum ve uranyum yıkım ürünleri) ve özellikle radyum-226/228
- Doğal radyoaktif maddelerin suya karışmasına neden olan insani faaliyetler (madencilik, mineral tuzların işleme süreçleri ve fosfatlı gübre üretimi)
- Nükleer enerji üretimi sırasında ortama verilebilecek radyonüklidler
- Kontrolsüz bir şekilde üretilen, tüketilen ve atılan radyonüklidler (tıbbi veya endüstriyel)
- Geçmişte ortama kontrolsüz bir şekilde bırakılan radyoaktif materyaller

## İçme Suyu Aracılı Radyasyona Bağlı Sağlık Etkileri

- Düşük veya orta düzey radyasyona uzun süreli maruziyet
- Genetik malformasyonlarda artma
- <0.1 mSv/yıl radyonüklid içeren sular
- Bütün vücudun veya vücudun büyük bir bölümünün çok yüksek dozda radyasyona maruz kalması sonucu kan hücre sayısında azalma ve ölüm görülebilmektedir, ancak içme suyu ile böyle bir etkinin meydana gelmesi mümkün değildir.

## Sınır Değerlerin Hesaplanması

$$GL = \frac{IDC}{h_{ing} \times q}$$

- GL = sudaki radyonüklid için sınır değer (Bq/litre),  
 IDC = bireysel doz kriteri (0.1 mSv/yıl),  
 $h_{ing}$  = yetişkinler için emilim katsayısı (mSv/Bq),  
 q = yıllık içilen su miktarı (~730 litre/yıl).

## Sınır Değerler

Radionuclides	Guidance level (Bq/litre)*	Radionuclides	Guidance level (Bq/litre)*	Radionuclides	Guidance level (Bq/litre)*
<sup>2</sup> H	10 000	<sup>99m</sup> Tc	100	<sup>147</sup> Pm	100
<sup>7</sup> Be	10 000	<sup>95</sup> Tc	100	<sup>151</sup> Gm	1000
<sup>12</sup> C	100	<sup>97</sup> Ru	1000	<sup>152</sup> Gm	100
<sup>23</sup> Na	100	<sup>106</sup> Ru	100	<sup>152</sup> Eu	100
<sup>32</sup> P	100	<sup>109</sup> Ru	10	<sup>154</sup> Eu	100
<sup>33</sup> P	1 000	<sup>108</sup> Rh	1000	<sup>155</sup> Eu	1000
<sup>35</sup> S	100	<sup>109</sup> Pd	1000	<sup>153</sup> Gd	1000
<sup>36</sup> Cl	100	<sup>106</sup> Ag	100	<sup>148</sup> Tb	100
<sup>40</sup> Ca	100	<sup>110m</sup> Ag	100	<sup>148</sup> Er	1000
<sup>47</sup> Ca	100	<sup>111</sup> Ag	100	<sup>171</sup> Tm	1000
<sup>46</sup> Sc	100	<sup>105</sup> Cd	100	<sup>159</sup> Tb	1000
<sup>45</sup> Sc	100	<sup>113</sup> Cd	100	<sup>162</sup> Ta	100
<sup>48</sup> Sc	100	<sup>115m</sup> Cd	100	<sup>181</sup> W	1000
<sup>46</sup> V	100	<sup>111</sup> In	1000	<sup>185</sup> W	1000
<sup>51</sup> Cr	10 000	<sup>114m</sup> In	100	<sup>186</sup> Re	100
<sup>52</sup> Mn	100	<sup>113</sup> Sn	100	<sup>187</sup> Os	100
<sup>53</sup> Mn	10 000	<sup>125</sup> Sn	100	<sup>191</sup> Os	100
<sup>54</sup> Mn	100	<sup>125</sup> Sb	100	<sup>192</sup> Os	100

## Sınır Değerler

Radionuclides	Guidance level (Bq/litre)*	Radionuclides	Guidance level (Bq/litre)*	Radionuclides	Guidance level (Bq/litre)*
<sup>59</sup> Fe	1 000	<sup>124</sup> Sb	100	<sup>190</sup> Pt	100
<sup>59</sup> Fe	100	<sup>125</sup> Sb	100	<sup>192</sup> Pt	100
<sup>60</sup> Co	100	<sup>124m</sup> Te	100	<sup>191</sup> Pt	1000
<sup>57</sup> Co	1 000	<sup>127</sup> Te	1000	<sup>193m</sup> Pt	1000
<sup>58</sup> Co	100	<sup>129m</sup> Te	100	<sup>198</sup> Au	100
<sup>59</sup> Co	1 000	<sup>130</sup> Te	1000	<sup>199</sup> Au	1000
<sup>60</sup> Ni	1 000	<sup>132m</sup> Te	100	<sup>197</sup> Hg	1000
<sup>61</sup> Ni	1 000	<sup>131</sup> Te	1000	<sup>203</sup> Hg	100
<sup>62</sup> Zn	100	<sup>131m</sup> Te	100	<sup>203</sup> Tl	1000
<sup>71</sup> Ge	10 000	<sup>132</sup> Te	100	<sup>201</sup> Tl	1000
<sup>75</sup> As	1 000	<sup>129</sup> I	10	<sup>202</sup> Tl	1000
<sup>75</sup> As	100	<sup>129</sup> I	10	<sup>208</sup> Tl	100
<sup>75</sup> As	100	<sup>129</sup> I	1	<sup>209</sup> Pb	1000
<sup>75</sup> As	1 000	<sup>131</sup> I	10	<sup>210</sup> Pb	0.1
<sup>75</sup> Se	100	<sup>133</sup> Cs	1000	<sup>210</sup> Bi	100
<sup>81</sup> Rb	100	<sup>134</sup> Cs	1000	<sup>210</sup> Bi	100
<sup>86</sup> Rb	100	<sup>132</sup> Cs	100	<sup>210</sup> Po	100
<sup>89</sup> Sr	100	<sup>134</sup> Cs	10	<sup>210</sup> Po	0.1
<sup>90</sup> Sr	100	<sup>135</sup> Cs	100	<sup>210</sup> Pb	1
<sup>90</sup> Sr	10	<sup>136</sup> Cs	100	<sup>210</sup> Pb	1
<sup>91</sup> Y	100	<sup>137</sup> Cs	10	<sup>210</sup> Pb	1
<sup>91</sup> Y	100	<sup>137</sup> Ba	1000	<sup>210</sup> Pb	0.1
<sup>92</sup> Zr	100	<sup>140</sup> Ba	100	<sup>210</sup> Pb	10
<sup>92</sup> Zr	100	<sup>140</sup> La	100	<sup>210</sup> Pb	1
<sup>94</sup> Nb	1 000	<sup>141</sup> La	100	<sup>210</sup> Pb	0.1
<sup>94</sup> Nb	100	<sup>142</sup> Ce	100	<sup>210</sup> Pb	1
<sup>94</sup> Nb	100	<sup>142</sup> Ce	100	<sup>210</sup> Pb	1000
<sup>96</sup> Mo	100	<sup>144</sup> Ce	10	<sup>210</sup> Pb	1
<sup>96</sup> Mo	100	<sup>144</sup> Pr	100	<sup>210</sup> Pb	1
<sup>96</sup> Mo	100	<sup>146</sup> Pr	100	<sup>210</sup> Pb	100
<sup>96</sup> Mo	1000	<sup>147</sup> Pr	1000	<sup>210</sup> Pb	100

## Sınır Değerler

Radionuclides	Guidance level (Bq/litre)	Radionuclides	Guidance level (Bq/litre)	Radionuclides	Guidance level (Bq/litre)
<sup>231</sup> Pa <sup>b</sup>	0.1	<sup>238</sup> Pu	1	<sup>241</sup> Cm	1
<sup>231</sup> Pa	100	<sup>239</sup> Pu	1	<sup>242</sup> Cm	0.1
<sup>232</sup> U	1	<sup>240</sup> Pu	10	<sup>243</sup> Bk	100
<sup>232</sup> U	1000	<sup>241</sup> Pu	1	<sup>243</sup> Cf	100
<sup>232</sup> U	1	<sup>242</sup> Pu	1	<sup>243</sup> Cf	10
<sup>232</sup> U	1	<sup>244</sup> Pu	1	<sup>243</sup> Cf	1
<sup>234</sup> U <sup>b</sup>	1	<sup>241</sup> Am	1	<sup>250</sup> Cf	1
<sup>234</sup> U <sup>b</sup>	1	<sup>242</sup> Am	1000	<sup>251</sup> Cf	1
<sup>238</sup> U <sup>b</sup>	1	<sup>243</sup> Am	1	<sup>252</sup> Cf	1
<sup>238</sup> U	100	<sup>244</sup> Am	1	<sup>252</sup> Cf	100
<sup>238</sup> U	10	<sup>242</sup> Cm	10	<sup>254</sup> Cf	1
<sup>238</sup> U <sup>b,c</sup>	10	<sup>243</sup> Cm	1	<sup>255</sup> Es	10
<sup>237</sup> Np	1	<sup>244</sup> Cm	1	<sup>254</sup> Es	10
<sup>237</sup> Np	100	<sup>245</sup> Cm	1	<sup>254m</sup> Es	10
<sup>238</sup> Np	1	<sup>246</sup> Cm	1		
<sup>238</sup> Pu	1				
<sup>239</sup> Pu	1000				

## Çocuklar için sınır değerler

- Emilim katsayısı çocuklarda metabolik hızın yüksek olması ve emilimin yüksek olması gibi nedenlerde daha yüksek olmakla birlikte, toplam tüketilen su miktarı daha düşük olduğundan hesaplanan sınır değerlerin aynı olduğu kabul edilmektedir.
- Sonuç olarak 0.1 mSv/yıl değeri tüm yaş grupları için geçerlidir.

## Potasyum - 40

- Potasyum-40 bir beta salıdır ve doğadaki potasyumun sabit bir bölümünü oluşturur.
- Esansiyel bir element olan potasyum temel olarak besinlerden alınır, alım miktarından bağımsız olarak vücutta sabit bir düzeyde bulundurulur.
- Potasyum-40'ın spesifik aktivitesi 30.7 Bq/g (1 gram potasyum için).
- Potasyum-40 beta aktivite dışında radyoaktivite de gösterir ve uygulamalarda 1 gram potasyum için potasyum-40 beta aktivitesi 27.6 Bq/g olarak hesaplanır.

## Radon



## Radon

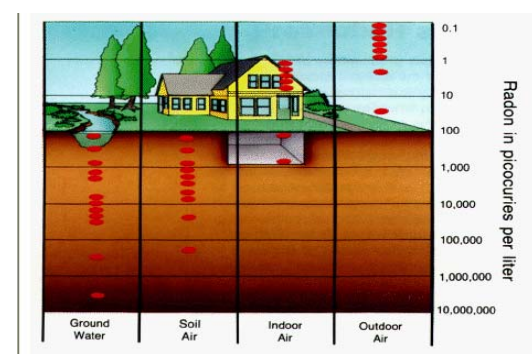
- Doğal radyasyonun en önemli kaynağı
- Uranyum radyonüklid zincirinin bir parçası
- Suda çözülmüş gaz halinde bulunur.
- Radon-222
- Yerkürenin her yerinde bulunmakla birlikte özellikle toprağa yakın yerlerde havada ve yapılarda bulunur.

## Radon

- Toprak altındaki kaya tabakaları sürekli olarak yer altı sularına radon karışmasına neden olurlar.
- Yüzeyle ulaşan sulardaki radonun önemli bir kısmı atmosfere salınır.
- Yer altı sularında ortalama 20 Bq/L
- Şebeke sularında 0.4 Bq/L
- Bazı içme kuyularında >160 Bq/L.  
Az sayıda suda >10 kBq/L.nin

## Radon

- Yer altı sularından kaynaklanan radon, maruz kalınan toplam radonla karşılaştırıldığında genelde çok düşük miktarlarda
- Sulardan kaynaklanan radon  
Çözülmüş gaz şeklinde sindirim yoluyla  
Radon (ve kardeş radyonüklidler) solunum yoluyla
- Radon maruziyeti genelde ortam havasının solunması yoluyla olmaktadır.
- Radon gazı genelde evlerde, özellikle de bodrumlarda yüksek düzeylere ulaşabilmektedir.



## Radon

- Sulardaki radonu uzaklaştırmanın temel yöntemi suyun havalandırılması (özellikle yer altı sularında)
- Yapılan çalışmalar sudan kaynaklanan radon maruziyetinin 0.027 mSv (0.025 mSv/yıl inhalasyon & 0.002 mSv/yıl sindirim yoluyla alım) civarında olduğunu göstermektedir
- Ortam havasından alınan radon miktarı 1.1 mSv/yıl.dır

Radon Konsantrasyon Limitleri (Bq/m<sup>3</sup>)

A.B.D.	150	Hindistan	150	Norveç	200
Almanya	250	İngiltere	200	Rusya	200
Avustralya	200	İrlanda	200	<b>Türkiye</b>	<b>400</b>
Çin	200	İsveç	200	AB*	400
Danimarka	400	Kanada	800	ICRP**	400
Fransa	400	Lüksemburg	250	WHO***	100

\*Avrupa Birliği, \*\*Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi, \*\*\*Dünya Sağlık Örgütü

## Radon ve KANSER

- Kapalı ortam radon etkilenimi ve akciğer kanseri gelişimi arasında ilişki bulunmakta olup radon sigaradan sonra en önemli akciğer kanseri nedenidir.
- Her 100 Bq/m<sup>3</sup> radon artışı için akciğer kanseri gelişiminde %16 artış
- Akciğer kanseri ölümlerinin %9'u  
Tüm kanser ölümlerinin %2'si
- Her yıl meydana gelen 160.000 akciğer kanseri ölümünün 21.000'i
- Amerika'da akciğer kanserine bağlı 160 ölümün evlerde kullanılan sulardaki radonun ortama salınması nedeniyle oluştuğu tahmin edilmektedir. Yine Amerika'da yıllık 13000 mide kanserine bağlı ölümün 20'sinin içme sularıyla alınan radona bağlı geliştiği ileri sürülmektedir.

## Radon

- Tüm yeni su kaynakları radon açısından kontrol edilmelidir.
- Büyük su kaynaklarında radon üreten minerallerin varlığı biliniyorsa düzenli aralıklarla radon ölçümü yapılmalıdır.
- 100 Bq/L düzeyinin üzerinde radon içeren sular takibe alınmalı ve uygun arıtma işlemleri uygulanmalıdır:
  - Airstripping (sudaki uçucu bileşiklerin sudan uzaklaştırılması) (>%99)
  - Havalandırma (%67-99)
  - Karbon adsorpsiyon yöntemi (?): Adsorbe edilen radon <sup>210</sup>Pb gibi diğer radyoaktif bileşiklere dönüşebilir, ayrıca atık bertaraf sorunu ortaya çıkabilir.

## Radon

Kaynatma işlemi sudaki radonun tamamen uzaklaşmasını sağlar;  
**Kaynamış Sularda Radon BULUNMAZ.**

## Sulardaki radyoaktivite düzeylerinin takip ve kontrolü

- Radyonüklidlerin ölçümü teknik olarak zor, pahalı ve elde edilecek değerler son derece düşüktür
- Suların radyoaktivite yönünden takibinde öncelikle alfa ve beta formundaki toplam radyasyon düzeyi ölçülmeli

### Sulardaki radyoaktivite düzeylerinin takip ve kontrolü

- <0.5 Bq/L alfa radyoaktivite
- <1 Bq/L beta radyoaktivite
- 0.1 mSv/yıl düzeyine yakın maruziyet

### Sulardaki radyoaktivite düzeylerinin takip ve kontrolü

- Tarama limitlerinin aşıldığı durumlarda:
  - Limit aşımına neden olan radyonüklid tespit edilmeli ve aktivitesi hesaplanmalıdır.

Suyun içilmemesi için yıl boyunca aynı radyonüklidin sürekli yüksek miktarda bulunması gerekir ki, nadirdir.

Düzenli takiplerde yükseklik saptanmaya devam edilirse ilgili maddeyi uzaklaştırıcı yöntemler kullanılmalıdır.

$$\sum_i \frac{C_i}{GL_i} \leq 1$$

$C_i$  = radyonüklidin aktivitesi  
 $GL_i$  = tabloya göre sınır değeri

- Suda radyoaktivite düşünüldüğünde:
  - Aktivite düzeyinin limitlerin altında olduğu durumlarda (Bq/L) genel olarak alfa ve/veya beta aktivite takibi yapılmalı,
  - Genel ölçüm değerleri limitlerin üzerine çıktığında ayrıntılı radyonüklit ölçümü yapılmalı ve her biri ayrı ayrı değerlendirilmelidir.

*İlginize teşekkür ederim*