



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy  
2011, Volume: 6, Number: 4, Article Number: 1A0266

**ENGINEERING SCIENCES**

Received: June 2011  
Accepted: October 2011  
Series : 1A  
ISSN : 1308-7231  
© 2010 [www.newwsa.com](http://www.newwsa.com)

**Sadık Sezgin Ozan**  
**Cevdet Emin Ekinci**  
Firat University  
sezginozan@gmail.com  
Elazig-Turkey

**YAPILARDA RADON FENOMENİ VE RADON-SAĞLIK İLİŞKİSİ**

**ÖZET**

Bu çalışmada, yapılarda Radon konusu irdelenmiştir. Radon, günlük hayatta sürekli maruz kaldığımız radyasyonun yaklaşık %50'sini oluşturan ve topraktaki Uranyum'un bozunma zincirinin bir halkası olan renksiz, kokusuz ve duyu organlarıyla algılanamayan radyoaktif bir gazdır. Kayaçlardaki Uranyumun bozunması sonucu ortaya çıkan Radon gazı, difüzyon yoluyla toprağa, oradan da atmosfere veya ortama yayılmaktadır. Gazın birikmesiyle, Radon yoğunluğu kapalı mekânlarda veya iyi havalandırılmayan yerlerde kritik değerlere ulaşabilmektedir. Radon, yüksek dozlarda maruz kalındığında özellikle akciğer kanseri başta olmak üzere birçok tehlike yaratmaktadır. Konuyla ilgili çalışmalarda radyasyon limit değerlerinin gözden geçirilmesi önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Radon, İç Ortam Hava Kalitesi, Sularda Radon, Binalarda Radon, Yapıda Konfor Şartları

**RADON PHENOMENON IN BUILDINGS AND RADON-HEALTH RELATION**

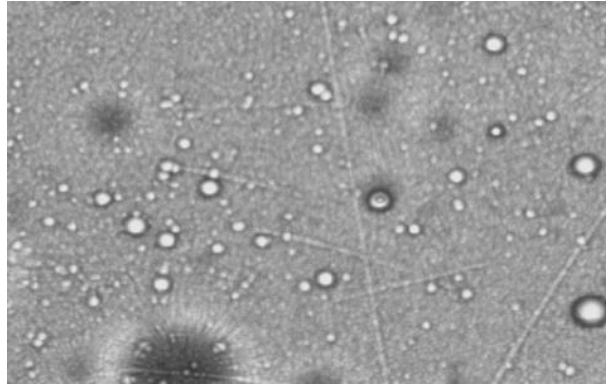
**ABSTRACT**

In this study, Radon in buildings was examined. Radon which contains %50 of radiation we are exposed in daily life and in the decay chain of Uranium available in rocks and soil, is a colorless, odorless and a radioactive gas that cannot be observed by human sense. The Radon gas produced by the decay of U238 in rocks diffuses into soil and then into atmosphere or environment. When accumulates in closed localities or in unventilated places Radon concentrations may reach to critical values. When Radon absorbed in high dose it can create a lot of ricks especially lung cancer risk. It is suggesting, review of limits in studies about Radon

**Keywords:** Radon, Indoor Air Quality, Radon in Water, Radon in Buildings, Comfort Conditions in Building

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Radon; Uranyum-238'in bozunması ile ortaya çıkan Radyum-226'dan oluşur ve Uranyum serisindeki yegane radyoaktif gazdır. Uranyum yeryüzündeki tüm kayalarda ve topraklarda bulunmaktadır. Başka bir deyişle bir bölgede Uranyum'un varlığı Radon gazının habercisidir. Radyum'un; uzun yarı ömürlü olması Radon oluşumunda büyük bir etmendir. Uranyum'un ve dolayısı ile Radyum ve Radon'un toprak ve kayalardaki miktarı bölgeden bölgeye değişiklik göstermektedir. Yerküre yüzeyinde herhangi bir yerde bulunabilir. Coğrafik bölgenin jeolojik yapısıyla yakından ilişkili olarak çevreye yayılım göstermektedir. Renksiz, kokusuz, tatsız ve duyu organlarımızla farkına varamayacağımız Radon, alfa salımı (Şekil 1) yaparak yine radyoaktif bir element olan Plutonyum'a dönüşür.



Şekil 1. Alfa salınımı yapan radon'un metal plaka üzerinde etkisi  
(Figure 1. The alfa radiation effect of radon on a metal sheet)

1899 yılında Ernest Rutherford ve 1900 yılında Friedrich Ernest Dorn tarafından keşfedilen Radon'un yoğunluğu 0°C derecede 9.72 g/l'dir. Havadan yedi buçuk kez, Hidrojen'den ise 100 kez daha ağırdır, -61,8°C derecede sıvılaşır ve -71°C derecede donar. Daha çok soğutulacak olursa yumuşak sarı bir renk vererek parlar. Sıvı hava sıcaklığı olan -195°C derecede turuncu-kırmızı arası renk alır [1 ve 2].

İnsanların maruz kaldığı radyasyonun yaklaşık %80'i doğal ortamdan kaynaklanmakta ve bu doğal radyasyona en önemli katkıyı Radon gazı yapmaktadır. Bu etki kozmik kaynaklı veya yer kabuğu kaynaklı olabilir. Doğada kendiliğinden var olan ve milyarlarca yıl yarı ömre sahip radyoaktif elementlerin ve bozunma ürünlerinin toprak, kayalar, yapı malzemeleri, gıda maddeleri, su ve hava gibi çevresel ortamlardaki varlığı insanların bu radyasyon kaynaklarından etkilenmelerine neden olmaktadır. Doğal kaynaklardan alınan dozun en önemli bileşeni ise Radon'dur. Amerikan Akciğer Derneği ve Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre Radon, sigaradan sonraki en büyük akciğer kanseri sebebidir.

## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Çalışmanın temel amacı, binalardaki Radon olgusu ve/veya fenomeni hakkında genel bir bilgi sunmaktır. Bu amaç doğrultusunda konuyla ilgili ulaşılabilen kaynaklar tarandıktan sonra, Radon'un önemi, bozunma ve yayılım şekli, bulunduğu yerler, insan sağlığına olan olası olumsuz etkileri ve alınabilecek önlemler ve bir bütün olarak irdelenmiştir. Çalışma konuyla yakından ilgili benzer çalışmalara katkı sağlayacağı veya kaynak olması açısından önem arz

etmektedir. Diğer taraftan çalışma, kamuoyunun Radon'a karşı daha duyarlı olmasını sağlamak amacıyla özel öneriler sunulmaktadır.

### 3. RADONUN BULUNDUĞU YERLER (RADON AREAS)

#### 3.1. Toprakta ve Kayaçlarda Radon (Radon in Rocks and Soil)

Radon, Uranyum doğal radyoaktif serisinin bir üyesidir ve bu serinin önemli üyeleri arasında Toryum ve Radyum elementleri de yer almaktadır. Radon elementi (Şekil 2), Radyumun alfa bozunması yapması sonucu oluşmaktadır. Uranyum ve Toryum yer kabuğunu meydana getiren kayaçlarda ve toprakta çok yaygın olarak bulunmaktadır. Yapılan araştırmalar metamorfik ve volkanik kayaçların radyoaktif madde içeriğinin tortul kayaçlardan fazla olduğunu göstermiştir. Radon, yüksek oranda silis içeren granit gibi volkanik kayaçlarda da yüksek yoğunluklarda bulunur. Yerkabuğunun alkali içeriğinin fazla olduğu bölgeler ve silis miktarı az olan fakat Demir, Magnezyum, Alüminyum içeriği çok olan kayaçlar da az miktarda Uranyum içerirler.



Şekil 2. Uranyum yatakları  
(Figure 2. Uranium beds)

Kayaçlarda bulunan bu Uranyum'un bozunması sonucunda zincirin bir parçası olan Radyum difüzyona uğrayarak daha üst katmanlardaki toprağa karışır. Uzun ömürlü olan Radyum da toprak içinde sürekli bozunup Radon atomlarının toprak parçacıkları ve mineralleri arasında serbest kalmasını sağlar. Topraktaki ve havaya sızan Radon gazı miktarı toprak özelliklerine ve basınca bağlıdır [1, 2, 3 ve 4].

#### 3.2. Havada Radon (Radon in Air)

Açık havadaki Radon gazının başlıca kaynağı yer kabuğunda bulunan Radyum izotopudur. Radyum'un bozunmasıyla açığa çıkan Radon topraktaki gözeneklerden atmosfere difüzyon yoluyla karışır ve atmosferik Radon yoğunluğunu artırır. Bu hareketi etkileyen temel etkenler şunlardır:

- Materyallerden kaynaklanan Radon yayılımı,
- Toprak ve hava arasındaki basınç farkı,
- Toprağın suya doyma seviyesi,
- Kayaç ve toprağın gözenekli yapısı ve
- Radyum'un yoğunluğudur.

Atmosfer basıncının düşük olması durumunda, toprak içerisindeki hava basıncı da düşüktür ve derinden yüzeye yönelen Radon miktarı artar. Yağmurlu ya da yağışlı havalarda yüzeydeki toprak nem oranı artar ve toprak gözenekleri kapanır. Alttan yüzeye yönelmiş Radon toprağın üst gözeneklerinde tutulur ve Radon'un aşağıdan yukarıya difüzyon yoluyla geçişi zorlaşır. Sonuçta toprak yüzeyindeki Radon

yoğunluğunda azalma olur. Sıcaklığın yükselmesi toprağın kurumasını sağlayacağından gözenekler artar ve böylece Radon'un topraktan kaçıışı kolaylaşır. Radon yoğunluğunun mevsimsel bazı incelemeleri yapıldığında günün öğle saatlerinde minimum, gece yarısı ise maksimum seviyelere ulaştığı görülmüştür [4].

### 3.3. Sularda Radon (Radon in Water)

Yer altı Uranyum yataklarının keşfinde yapılan çalışmalar genellikle kuyu, kaynak ve jeotermal sularında Radon yoğunluğu ölçülerek gerçekleştirilir. Bunun sebebi; bu suların kaynağının, yer altı, akarsular sistemi olması ve bu akarsu sisteminin de kollarının Uranyum yataklarından geçme ihtimalinin yüksek olmasıdır. Eğer suların bir kolu Uranyum yatağından geçiyorsa yatağı yıkayan sularında Uranyum ve Radyum çözünür ve Radon gazı çıkışı gözlenir. Bu nedenle, termal sularının çıkış noktalarında Radon gazı yoğunluğu artar. Termal suların sıcak olmaları, geçtikleri yerlerde daha fazla minerali, dolayısıyla Uranyum tuzunu çözebilmeleri ve yerin daha derin noktalarından yeryüzüne çıkmasından dolayı termal sularda Radon miktarının daha fazla olduğu beklenmektedir. Evlerde kullanılan musluk suları da tüm arındırma işlemlerine rağmen belirli bir miktar Radon içermektedir. Bu miktar, ev suyunun alındığı kaynağa ve ne kadar arıtıldığına bağlıdır [5].

### 3.4. Binalarda Radon (Radon in Buildings)

Kapalı mekanlarda Radon'a maruz kalmaları önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Binalardaki Radon kaynağının büyük bir kısmı binanın temelindeki toprak ve kayalardır. Radon, binalara, altındaki toprak ya da kayalardan girer, toprak boyunca yükselir ve binanın altında hapsolür. Hapsolan bu gazlar basınç oluşturur. Evlerdeki hava basıncı genelde topraktaki basınçtan daha düşüktür. Binanın altındaki bu yüksek basınç nedeni ile gazlar yerden ve duvarlardan daha çok çatlak ve boşluklardan bina içlerine sızarlar. Özellikle bodrum katlarda ve madenlerde Radon gazı yoğun olarak birikebilir. Radon duyu organları ile algılanamayan bir gaz olduğundan bu birikimi kontrol altında tutmak için evlerde, düşük maliyetlerle kullanılacak test kitleri kullanmak faydalı olacaktır (Şekil 3).



Şekil 3. Evlerde kullanılacak basit radon test kitleri  
(Figure 3. Basic radon test kits for home use)

Daha az düzeyde olmak üzere Radon, evlere kullanılan kuyu suyu ile de girebilir. Radon gazı başlıca zararlı etkilerini solunduğu zaman gösterir. Radon içeren suyu içmekle mide kanseri olma olasılığı,

soluyarak akciğer kanseri olma olasılığına göre çok azdır. Ancak sudaki Radon düş alırken havaya karışabilir ve solunabilir. Radon, binaya, binanın çevresindeki toprak, kayalar, kayalar ve su kaynakları dışında doğalgaz ve yapı ürünleri ile de girer.

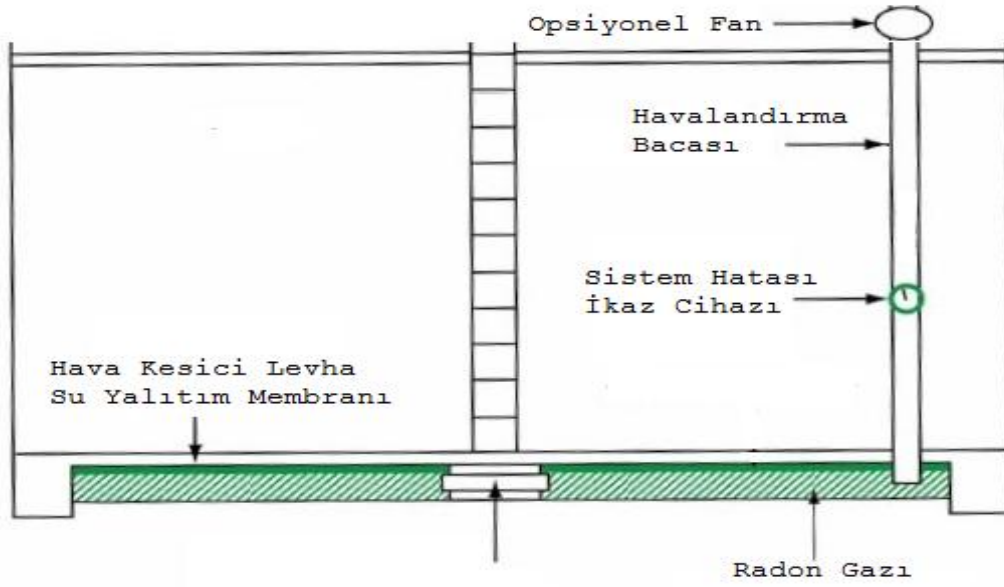
Topraktan havaya sızan Radon önemli bir kapalı ortam kirletici faktör olarak belirlemektedir. Normal atmosferde hava olaylarına bağlı olarak düşük konsantrasyonlara ulaşır. Ancak kapalı ortamlarda veya radyoaktif su kaynaklarından oluşan kapalı havuz sistemlerinde yüksek konsantrasyona ulaşabilir. Taş ve topraktan üretilen yapı malzemeleri düşük oranda radyoaktivite içerebilirler [3]. Bazı yapı malzemelerinin radyoaktivite konsantrasyonları aşağıda sunulmuştur (Tablo 1).

Tablo 1. Bazı yapı malzemelerinin radyoaktivite konsantrasyonları  
(Table 1. Radioactive concentrations of some construction materials)

| Malzeme Cinsi          | Konsantrasyon (Bq/kg) |
|------------------------|-----------------------|
| Ağaç                   | 1,1                   |
| Doğal Alçı             | 2,9                   |
| Portland Çimentosu     | 45                    |
| Beton                  | 98                    |
| Deniz Kumu             | 7                     |
| Nehir Kumu             | 44                    |
| Kum Tuğla              | 82                    |
| Granit                 | 180                   |
| Kırmızı Tuğla          | 78                    |
| Alçı Taşı              | 26                    |
| Kireç Lime             | 33                    |
| Kireç Taşı             | 3                     |
| Kalsiyum Silikat       | 2140                  |
| Şapsist                | 496                   |
| Uranyum Madeni Atıklar | 4625                  |

Binaların yapıldığı arazide bulunan doğal Uranyumun miktarı ve Uranyum'dan oluşan Radon'un bina tabanında bulunan aralıklardan binaya sızması, binadaki yapı malzemesinden kaynaklanan radonun havaya karışması maruziyeti etkileyen önemli etkenlerdendir.

Sağlam çimentolu duvarlardan Radon gazının yayılımında başlıca mekanizma difüzyondur. Örneğin kullanılan çimento karışımıyla bağlantılı olarak Radon gazı miktarı değişmektedir. Evin içerisine sızan Radon gazı evin içinde kalma eğilimindedir. Çünkü Radon gazı havadan ağırdır ve yerden genellikle 50 cm. yüksekliğe kadar yayılır. Ayrıca özel bir mekanizma söz konusu değilse evin içerisindeki basınç, dışarıdaki basınçtan biraz daha düşüktür. Bu nedenle kapalı ortamdaki hava binada kalır. Ancak yapım sırasında doğal havalandırma veya Radon yalıtım mekanizmalarının (Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6) kurulması ve yeterince havalandırma ile bu durum önlenmektedir.



Şekil 4. Basit bir radon yalıtımı  
(Figure 4. A simple radon insulation)

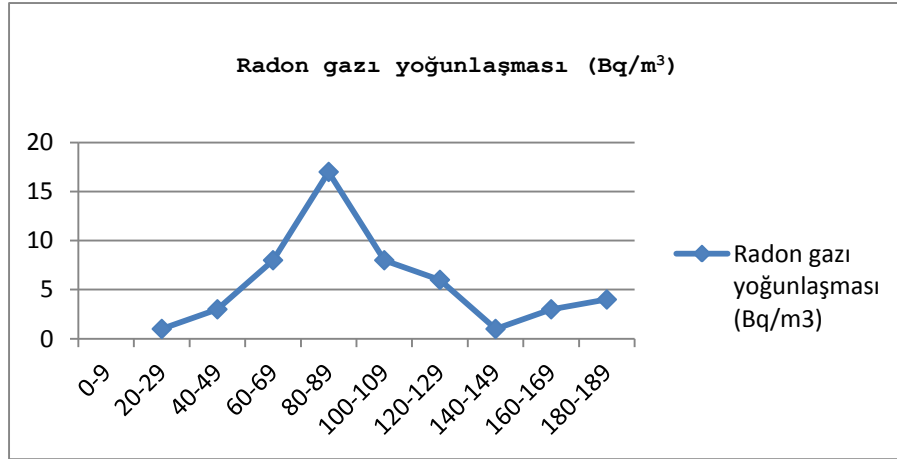


Şekil 5. Radon Yalıtım Mekanizmalarının Kurulumu  
(Figure 5. Application of Radon Insulation Mecahanisms)

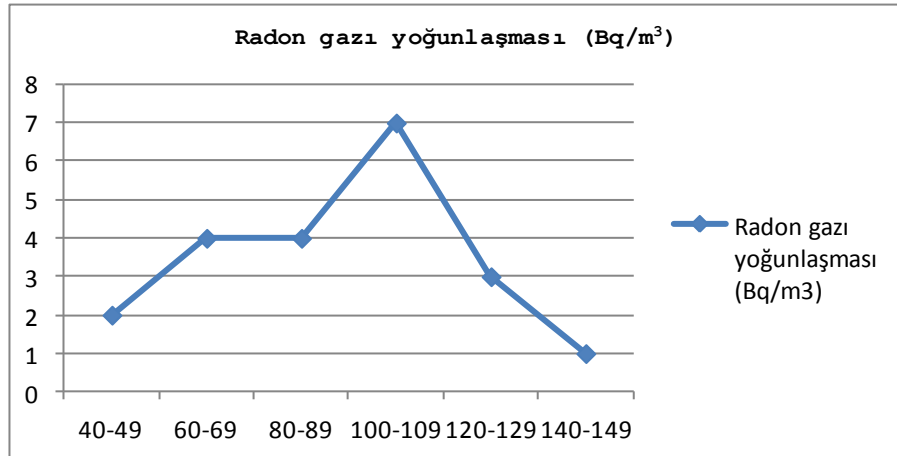


Şekil 6. Dış ve İç Opsiyonel Fanlar  
(Figure 6. Exterior and Interior Optional Fans)

Özellikle soğuk havalarda evlerin ısıtılması sonucu evdeki basınç az ve dışarıdaki basınç fazla olur ve bu nedenle içerdeki Radon oranı yükselir. Aynı durum rüzgarlı havalar için de geçerli olduğu için Radon oranı içeride artar. Yaz aylarında ise iyi havalandırılmış iş yeri evlerde dışarısı ile basınç farkı olmayacağı için ortamdaki Radon miktarının azalması beklenir (Şekil 7 ve 8).

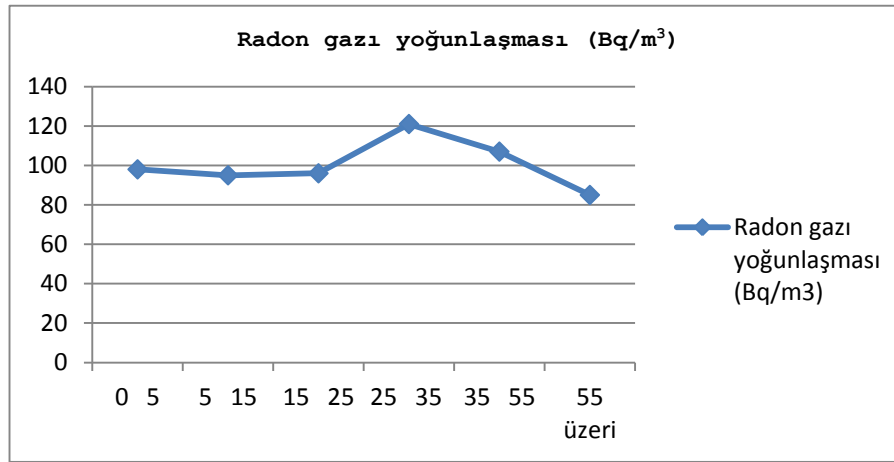


Şekil 7. Radon konsantrasyonu-hane sayısı ilişkisi (Yaz) [4]  
(Figure 7. Radon concentration-house amount relation (Summer) [4])



Şekil 8. Radon konsantrasyonu-hane sayısı ilişkisi (Kış) [4]  
(Figure 8. Radon concentration-house amount relation (Winter) [4])

Taş, kum, çimento, beton, tuğla, alçı gibi hammaddesi topraktan elde edilen yapı ürünleri değişik oranlarda Radyum içerebilir ve bozunarak Radon kaynağı oluşturabilir. Doğal taşlar içerisinde Granit, alçı ürünlerinden Fosfo-alçı ve Radyum içeren agregalardan yapılmış betonlarda radon yoğunluğu fazla olabilir. Etkisi ise yıllarca sürebilir (Şekil 9).



Şekil 9. Bina yaşı ve radon yoğunlaşması ilişkisi [4]  
(Figure 9. Building age and radon concentration relation [4])

Yapı ürünlerinin Radyum yoğunlukları, ülkelere ve hammaddenin çıkarıldığı bölgeye bağlıdır. Bu nedenle de aynı ürünlerin Radon değerleri değişiklik gösterebilir. Ürünlerden çıkan Radon miktarı, "Radon Oluşum Katsayısı" ile belirtilir. En yüksek Radon oluşum katsayısı betondur. Yapı ürünlerinden Radon'un çıkışı ürünün nemi yoğunluğu gerecin yapısı ve karıştırıldığı ya da bileşim oluşturduğu maddelerin nitelikleri ile de ilişkilidir. Bunun yanında Radon konsantrasyonu, iç mekan basıncını etkilediklerinden ötürü nem ve sıcaklık ile de ilişkilidir [6].

Her zaman tek başına çok önemli bir sorun oluşturmayabilen yapı ürünleri kaynaklı Radon, diğer ürünlerden ve dışarıdan başka yollarla yapı içerisine giren Radon'un düzeyine dikkate alınması gereken bir katkıda bulunur.

Ülkemizde Radon gazı üzerine yapılmış bilimsel çalışmalar istenilen düzeyde olmamakla birlikte, yapılan bazı çalışmalarda elde edilen veriler Tablo 2 ve 3'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Türkiye genelinde radon üzerine yapılan bir çalışma [6]  
(Table 2. A study about radon at Turkey [6])

| Şehirler      | Konut Sayısı | Bq/m <sup>3</sup> |        |         |         |         |
|---------------|--------------|-------------------|--------|---------|---------|---------|
|               |              | 1-50              | 51-100 | 101-200 | 201-300 | 301-400 |
| İstanbul      | 524          | 267               | 234    | 23      | -       | -       |
| Bursa         | 50           | 34                | 15     | 1       | -       | -       |
| Eskişehir     | 50           | 12                | 37     | 1       | -       | -       |
| Adana         | 25           | 3                 | 22     | -       | -       | -       |
| Mersin        | 97           | 87                | 10     | -       | -       | -       |
| Kahramanmaraş | 45           | 45                | -      | -       | -       | -       |
| Adıyaman      | 43           | 42                | 1      | -       | -       | -       |
| Şanlıurfa     | 24           | 2                 | 19     | 3       | -       | -       |
| Elazığ        | 19           | 5                 | 12     | 2       | -       | -       |
| Erzurum       | 23           | 8                 | 11     | 4       | -       | -       |
| Kocaeli       | 81           | 78                | -      | 3       | -       | -       |
| Afyon         | 25           | 4                 | 19     | 2       | -       | -       |
| Balıkesir     | 30           | 24                | 6      | -       | -       | -       |
| Gaziantep     | 27           | 18                | 8      | 1       | -       | -       |
| Çanakkale     | 47           | -                 | 7      | 30      | 7       | 3       |
| Yatağan       | 13           | -                 | 9      | 4       | -       | -       |



| Tablo 2'nin devamı |    |    |   |    |   |   |
|--------------------|----|----|---|----|---|---|
| Antalya            | 23 | 19 | 4 | -  | - | - |
| Sakarya            | 27 | 13 | 9 | 2  | 1 | 2 |
| Gölcük             | 27 | 16 | 5 | 5  | - | 1 |
| Bolu               | 18 | 9  | 4 | 2  | 2 | 1 |
| Düzce              | 18 | 12 | - | 5  | 1 | - |
| Kırklareli         | 14 | -  | 2 | 12 | - | - |
| Malatya            | 27 | 18 | 9 | -  | - | - |

Tablo 3. Isparta ilinde radon üzerine yapılan bir çalışma [4]  
(Table 3. A study about radon at Isparta / Turkey [4])

| Yerleşim Birimi               | Ortalama Radon Yoğunluğu (Bq/m <sup>3</sup> ) |
|-------------------------------|---|
| Süleyman Demirel Üniversitesi | 372   |
| Isparta İl Merkezi            | 118   |
| Yedişehitler Mahallesi        | 134   |
| Muzaffer Türkeş Mahallesi     | 196   |
| Işıkkent-Batıkent             | 172   |
| Yalvaç İlçesi                 | 92  |
| Davraz Mahallesi              | 359   |
| Halıkent Mahallesi            | 44  |
| Piri Mehmet Mahallesi         | 190   |
| Gökçay Mesireliği             | 27  |

#### 4. RADON-SAĞLIK İLİŞKİSİ (RADON-HEALTH RELATION)

Radon gazının teneffüs edilmesi, solunum yetmezliği, baş ağrısı, öksürük gibi akut etkilere neden olmaz. Radyoaktif bozunmaya uğrayan Radon gazı, teneffüs edildiğinde akciğerler tarafından tutulabilecek parçacıklara dönüşür. Radon ve izotopları havadaki tozlara ve su damlacıklarına tutunarak radyoaktif aerosoller oluşturmakta ve solunum yoluyla akciğerlere alınmaktadır. Bu yüzden Radon ve bozunma ürünlerinin solunması önemli bir sağlık riski oluşturmaktadır. Bu parçacıkların bozunması devam ettiğinde ortaya çıkan enerji, akciğer dokusunda hasara, dolayısıyla, zaman içerisinde kansere sebep olur. Solunum sisteminde ortaya çıkan bozunma sonucunda, bronşsal epiteldeki radyasyon dozu artmakta, bozunma ürünleri kararlı hale gelinceye kadar bozunma devam etmekte ve bu sürecin her aşamasında radyasyona maruz kalınmaktadır. Solunum sistemindeki radyasyon dozu; solunmuş havadaki Radon ve bozunma ürünleri yoğunluğuna, toz içerisindeki parçacıkların büyüklüğüne ve fizyolojik parametrelere bağlıdır. Radon'un sağlık açısından tehlikeli oluşu ve sürekli olarak maruz kalınması nedeniyle değerlerinin denetim altında bulunması gerekmektedir [7].

Akciğer kanseri riski özellikle sigara içenlerde çok daha fazladır. Radon ile sigara "sinerjistik" etki gösterirler; yani ikisine birden maruz kalındığında olacak zarar ikisinin ayrı ayrı meydana getireceği zarardan çok daha büyüktür. Tüm diğer radyoaktif maddelere olduğu gibi Radon'a da çocuklar yetişkinlere oranla daha hassastır.

WHO ve EPA radonu kanserojen madde olarak A sınıfı kapsamına almıştır. Epidemiyolojik çalışmalar, yüksek seviyede Radon ve bozunma ürünleri, dolayısıyla radyasyona maruz kalmış bireylerde akciğer kanseri oranlarının da yüksek olduğunu göstermiştir. İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi (NRPB), İngiltere'deki yıllık toplam 41,000 akciğer kanserinden en az 2500'ünü; ABD Halk Sağlığı Servisi ise yıllık akciğer kanseri vakalarının, sigara içmeyenlerden 5,000, sigara içenlerden ise 15,000'ini; Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP) ise toplam akciğer kanserlerinin %10'unu doğrudan

Radon'a başlamaktadırlar. Yine Uluslararası ve çok merkezli bir çalışmada Radon gazının akciğer kanserlerinin %9'undan sorumlu olduğu yayınlanmıştır [7, 8, 9 ve 10]. Aşağıda ülkeler bazında evlerde ortalama radon yoğunlaşma değerleri sunulmuştur (Tablo 4).

Tablo 4. Ülkeler bazında evlerde ortalama radon yoğunlaşması  
(Table 4. Average radon concentrations of countries)

| Ülke            | Ortalama Konsantrasyon (Bq/m <sup>3</sup> ) |
|-----------------|---|
| ABD             | 46  |
| Almanya         | 50  |
| Arjantin        | 37  |
| Avusturalya     | 11  |
| Belçika         | 48  |
| Cezayir         | 30  |
| Çek Cumhuriyeti | 140   |
| Çin             | 24  |
| Danimarka       | 53  |
| Ermenistan      | 104   |
| Finlandiya      | 120   |
| Fransa          | 62  |
| Hindistan       | 57  |
| Hollanda        | 23  |
| İngiltere       | 20  |
| İran            | 82  |
| İspanya         | 86  |
| İsveç           | 108   |
| İsviçre         | 70  |
| İtalya          | 75  |
| Japonya         | 16  |
| Kanada          | 34  |
| Macaristan      | 107   |
| Mısır           | 9   |
| Norveç          | 73  |
| Polonya         | 41  |
| Portekiz        | 62  |
| Romanya         | 45  |
| Slovakya        | 87  |
| Suriye          | 44  |
| Tayland         | 23  |
| TÜRKİYE         | 52  |
| Yunanistan      | 73  |

Radon miktarı ölçüm cihazları ile saptanabilir. Her ülke ve uluslararası örgütler örneğin, Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu evlerde müsaade edilebilir seviyede olması gereken miktarı belirlemiştir.

İngiltere'de NRPB (The National Radiological Protection Board) Radon miktarını dışarıda ortalama 4 Bq/m<sup>3</sup>, evlerde ortalama 20 Bq/m<sup>3</sup> olarak belirlemiş ve eğer radon miktarı evlerde 200 Bq/m<sup>3</sup> üzerine çıkar ise müdahale edilmesi gerektiğini (Action Level) ifade etmiştir. ABD Çevre Koruması Ajansı (EPA)'da benzer bir limit koymuştur. EPA'ya göre izin verilebilecek maksimum limit 148 Bq/m<sup>3</sup>'tür. Aşağıda ülkeler bazında radon yoğunlaşma limitleri sunulmuştur (Tablo 5).

Tablo 5. Ülkeler bazında radon yoğunlaşması limitleri  
(Table 5. Limit radon concentrations of countries)

| Ülke        | Limit Konsantrasyon (~Bq/m <sup>3</sup> ) |
|-------------|---|
| ABD         | 150                                       |
| Almanya     | 250                                       |
| Avusturalya | 200                                       |
| Çin         | 200                                       |
| Danimarka   | 400                                       |
| Fransa      | 400                                       |
| Hindistan   | 150                                       |
| İngiltere   | 200                                       |
| İrlanda     | 200                                       |
| İsveç       | 200                                       |
| Kanada      | 800                                       |
| Luxemburg   | 250                                       |
| Norveç      | 200                                       |
| Rusya       | 200                                       |
| TÜRKİYE     | 400                                       |
| AB Ülkeleri | 400                                       |
| ICRP        | 400                                       |
| WHO         | 100                                       |

Radona maruz kalma Uluslararası Radyasyon Korunması Komitesi tarafından sınırlandırılarak, limit değerler tavsiye edilmiştir. Birçok ülke Radon seviyelerini gösteren Radon haritaları üzerinde çalışmalarda bulunmaktadır. Uluslararası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartları (IAEA-BSS) çerçevesinde evlerde Radon için tavsiye edilen düzeyler 200-600 Bq/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir [7, 8, 9, 10, 11 ve 12]. Ülkemizde ise, TAEK Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği'nde evler için limit değer en çok 400 Bq/m<sup>3</sup>'tür[13].

##### 5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND SUGGESTIONS)

Saat, gün ve mevsime göre değişiklik gösteren Radon yoğunluğu ölçmelerin uzun dönemli yapılması daha güvenilir verilerin elde edilmesini sağlar. Yapı içindeki Radon'un kabul edilebilirlik düzeyi konusunda kurumlar değişik değerler ileri sürmektedirler. Bu değerler Tablo 5'de görüleceği üzere 200 ile 400 Bq/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Özellikle gelişmiş ülkelerde yapılan konuyla ilgili çalışmalar radyasyon limit değerlerinin daha aşağıya çekilmesi önerilmektedir. Ülkemizde kabul gören değer 400 Bq/m<sup>3</sup>'tür. Radonun limit değerlerinin 150 Bq/m<sup>3</sup>'nin altına düşürülmesi gerekliliği sürekli tartışılan konudur. Ülkemizin kabul ettiği değer çok yüksek olduğundan canlı sağlığı ve binalarda huzur kriterlerinin iyileştirilmesi amacıyla ülkemiz için verilen limit değerinin ivedilikle düşürülmesi gerekmektedir.

Amerikan Akciğer Derneği'ne göre; Radon, sigaradan sonra en büyük ikinci akciğer kanseri nedenidir. EPA'nın belirlediği 148 Bq/m<sup>3</sup> Radon düzeyinde dahi akciğer kanseri riskinin olduğu ileri sürülmektedir. Değerin 35-55 Bq/m<sup>3</sup> sınırlarına çekilmesine çalışılmaktadır.

Canlı sağlığını ve dolayısıyla yaşam alanlarının istenmeyen bu tür radyoaktif kirleticilere karşı korumak ve kullanıcısıyla uyumlu ve dengeli biyoharmolojik yapıları elde edebilmek için alınması gereken önlemlerden bazıları şunlardır. Buna göre;

- İmara açılacak alanların Radon haritalarının çıkarılması ve seviyelerinin belirlenmesi,

- Bina temelinde Radon'un sızamayacağı özellikte olan hava geçirmez özel malzemelerle (poliüreten+hava kesici özel levha veya astar bitüm emülsiyon (400 gr/m<sup>2</sup>) üzerine +4 mm SBS elastomer su yalıtım membranı, vs) kaplanması,
- Bina çatlaklarının penetrasyonlu derz dolgularla (Şekil 10) doldurulması-kaplanması ve toprağa yakın katların sürekli doğal havalandırılmasının sağlanması, her 10 yılda bir bu çatlakların gözden geçirilmesi ve yenilenmesi,



Şekil 10. Çatlakların Penetrasyonlu Dolgularla Tamiri  
(Şekil 10. Repairing Cracks by Penetrated Backfills)

- Yüksek radyoaktifiteli malzemelerin yapı malzemesi olarak kullanılmaması,
- Bina bodrum perde duvarların ve döşemelerin toprakla yalıtımın (10 cm çakıl dolgu + 10 cm grobeton) yapılması,
- Özellikle binalarda yaklaşık 0,20 m/sn hava akımının sağlanması,
- Binaların dumansız hava sahası olarak görülmesi ve korunmasıdır.

#### NOT (NOTICE)

Bu makale, 28-30 Eylül 2011 tarihleri arasında Elazığ Fırat Üniversitesinde "International Participated Construction Congress" IPCC11'de sözlü sunum olarak sunulmuştur.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Ekinci, C.E., (2007). Biyoharmoloji. Elazığ, Üniversite Kitapevi
2. Ekinci, C.E., (2005). Bordo Kitap: Yapı ve Tasarımcının İnşaat El Kitabı, IV. Baskı,
3. Güler, Ç. ve Çobanoğlu, Z., (1997). Radon Kirliliği. Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No:44, 9-11
4. Akyıldırım, H., (2005). Isparta İli Radon Yoğunluğunun Ölçülmesi ve Haritalandırılması Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
5. Akkurt, A., (2006). Afyon Jeotermal Sularında Radon Aktivitesi Tayini Afyon: Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
6. Kulalı, F., (2009). Topraktaki Radon Konsantrasyonunun Ölçülmesi ve Deprem İlişkisinin Karşılaştırılması Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
7. Darby, S., Hill, D., and Auvinen, A., (2005). Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. BMJ 330(7485):223,
8. Epa Protection Against, (1993). Radon-222 at Home and Work. ICRP Publication 65, Adopted by the Commission

9. US EPA - <http://www.epa.gov/radon/pubs/citguide>
10. US EPA - <http://www.epa.gov/iaq/radon/>
11. UK National Radiation protection Board <http://www.nrpb.org>
12. Swiss Public Health Department <http://www.ch-radon.ch>
13. US National Radon Safety Board <http://www.nrsb.org/>
14. ALCA [http://www.lungusa.org/air/radon\\_factsheet99.html](http://www.lungusa.org/air/radon_factsheet99.html)
15. (24/03/2000 tarihli ve 2399 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği'nin 29/09/2004 tarih ve 25598 sayılı Resmi Gazete'de Yayınlanan Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği'nde değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik ile Değişiklik 37. Maddesi)
16. Görsel Kaynaklar; US EPA - What Home Buyers Sellers Should Know About Radon, EPA 402-V-02-003