

YAPI ÜRÜNLERİNDEKİ RADONUN YAPI BİYOLOJİSİ AÇISINDAN İRDELENMESİ

AYŞE BALANLI¹, S. MÜJDEM VURAL², GÖKÇE TUNA TAYGUN³

ÖZET

Doğadaki radyumun radyoaktif bozunumu ile ortaya çıkan radon, yapı içi havasını toprak ve kayalardan sızarak ve su, doğal gaz ya da yapı ürünlerinden yayılarak kirletmektedir. Akciğer kanserine neden olabilen yapı içindeki radon kirliliği bir yapı biyolojisi konusudur. Yapı biyolojisi açısından ve “sağlık sorunu oluşumu ile yapı ve çevresi arasındaki ilişki” modeli kullanılarak irdelendiğinde sorunun;

- Yapının dış ve iç çevresindeki olumsuzluk etkeni: Radon içeren yapı ürünleri,
- Etkene bağlı olumsuzluk: Yapı içi havasında radon yoğunluğu,
- Olumsuzluğa bağlı sağlığı bozan etken: Radon solunması,
- Oluşan sağlık sorunu: Kanser

adımları açıklanarak çözülebileceği düşünülmektedir.

Konunun irdelenmesi ile, riskler göz önüne alınarak radondan korunmak için;

- Radon içermeyen yapı ürünü kullanmak
 - Yapıyı yeterli düzeyde havalandırmak
- gerektiği ortaya konmuştur.

¹ Doç. Dr. Y.T.Ü., Mimarlık Fakültesi, Yıldız, İstanbul

² Araş. Gör. Dr. Y.T.Ü., Mimarlık Fakültesi, Yıldız, İstanbul

³ Araş. Gör. Y.T.Ü., Mimarlık Fakültesi, Yıldız, İstanbul

1. GİRİŞ

Yapı, kullanıcıların gereksinimlerini dış ve içindeki fiziksel ve sosyal çevrelerinin özellikleri ile karşılar. Bunlar:

- Yapı dışındaki fiziksel çevre; doğal ve yapma,
- Sosyal dış ve iç çevre; gruplar, normlar, sosyalleşme süreci,
- Yapı içindeki fiziksel çevre; boyutsal ve biçimsel, görsel özellikleridir [1].

Atmosferik özellikler; hava bileşimi, sıcaklık, nem, basınç, hava devinimi ve elektroiklimsel oluşumları kapsar. Bu özellikler içinde kullanıcının sağlığını önemli boyutlarda etkileyen, hava bileşiminin kirlenici içererek bozulmasıdır. Yapı içi hava kirliliği olarak nitelenen bu olumsuzluğa; yapı dışındaki hava, kullanıcı eylemleri ve yapı ürünleri neden olur [2].

Yapı ürünleri havayı ortama saldıkları gazlar ya da parçacıklarla kirlendirir.

Gazlar içindeki radon (Rn) kansere yol açması nedeni ile en önemli yapı içi hava kirlenitilerinden biri sayılmaktadır.

Amerikan Genel Cerrahi Birliğı (The U.S. Surgeon General), radonun akciğer kanserine yakalanmada sigaradan sonra ikinci sırada yer alan etken olduğunu; Çevresel Koruma Örgütü (EPA-Environmental Protection Agency), Amerika’da yılda 7.000-10.000 kişinin radondan kaynaklanan akciğer kanserinden öldüğünü belirtmektedir [3].

Pek çok ülkede kanser gibi ölümcül bir hastalığa neden olabilen yapı içindeki radonun denetlenmesine ve etkisizleştirilmesine ilişkin çalışmalar sürerken Türkiye’de sorun önemli boyutlarda irdelenmemektedir.

Bu çalışmada yapı ürünlerindeki radon ile insan sağlığı ilişkisi kurulacak, sorun yapı biyolojisinin irdelenme modeli ile ele alınacaktır. Böylece tasarımcıların ürün seçimlerinde yardımcı olabileceğı ve radonun önlenmesi ya da denetlenmesinin sağlanabileceğı düşünülmektedir.

2. YAPI BİYOLOJİSİNDE SAĞLIK SORUNU OLUŞUMU İLE YAPI VE ÇEVRESİ ARASINDAKİ İLİŞKİ

“Yapı biyolojisi, insan ile yapı ve çevresi arasındaki ilişkileri kurarak yaşamı etkileyecek olumsuzlukları gidermeye çalışan, yapının oluşum ve kullanımını insan sağlığı açısından yönlendiren ve kararları üreten ve denetleyen bir bilim dalıdır” [4].

“Yapı ve çevresinin neden olduğu sağlık sorunlarının oluşumu, geliştirilen bir irdeleme ve ilişkiler modeli ile açıklanabilir. Bu modelde işleyiş;

- Yapının dış ve iç çevresindeki olumsuzluk etkeninin,
 - Etkene bağlı olumsuzluğun,
 - Olumsuzluğa bağlı sağlığı bozan etkenin,
 - Oluşan sağlık sorununun belirlenmesi
- adımları ile olmaktadır [1, 2].

3. RADON VE YAPI BİYOLOJİSİ

Radon, doğal radyasyon kaynaklarından olan 4,5 milyar yıl yarı ömre (atom çekirdeklerinin yarısının bozunumu, tepkimenin başlaması için geçen zaman) sahip uranyum-238 ailesindendir. Uranyumun bozunması ile oluşan, yarı ömrü 1.600 yıl olan ve alfa ışını yayan radyum 226'nın radyoaktif bozunumu sonucunda da ortaya radon çıkar [5, 6, 7].

Soy gazlar grubunda yer alan radon ağır (hidrojenden yüz kez), kokusuz, tatsız, yanıcı olmayan kimyasal bir elementtir [8, 9, 10, 11]. Kimyasal olarak durağandır ve diğer elementler ile tepkimeye girmez [12].

Atom numarası 86, yoğunluğu 9,73 gr/litre, en kararlı izotopu 222'dir. Radon-222'nin yarı ömrü 3,8 gündür, -61,8°C'de sıvılaşır ve -71,0°C'de donar [3, 9].

Radyum 226'nın bozunma ürünü olan radon-222 diğer maddelerle kimyasal bir bağ oluşturmadığından kaya ve toprak gibi çok ince gözenekleri bulunan ortamlardan geçerek yapı içine girer [8].

Radon yapı içine; yapının çevresindeki toprak, kayaçlar, su kaynakları dışında doğal gaz ve yapı ürünleri ile de girer. Yapı içine giren radon miktarı;

- Kaya ve toprakta bulunan radon yoğunluğuna,
 - Toprağın gözeneklilik ve geçirgenliğine,
 - Toprakla yapı arasındaki basınç farkına
- bağlıdır.

3.1. Yapının Dış ve İç Çevresindeki Olumsuzluk Etkeni: Radon İçeren Yapı Ürünleri

Taş, kum, çimento, beton, tuğla, alçı gibi hammaddesi topraktan elde edilen yapı ürünleri değişik oranlarda radyum (^{226}Ra) içerebilir ve bozunarak radon kaynağı oluşturabilir [6].

Doğal taşlar içinde granit, alçı türlerinden fosfoalçı, radyum içeren agregalardan yapılmış betonlarda radon yoğunluğu fazla olabilir ve etkisi yıllarca sürebilir. Örneğin, Philadelphia'da, 1920'lerde yapılmış bazı

konutlarda radyum içeren kum ile üretilmiş beton, sıva ve stükoların bugün bile yüksek oranda radon yaydığı görülmüştür [10].

Yapı ürünlerinin ^{226}Ra yoğunlukları ülkelere ve hammaddenin çıkarıldığı bölgeye bağlıdır. Bu nedenle de aynı ürünlerin radon değerleri değişiklik gösterebilir (Tablo 1). Ürünlerden çıkan radon miktarı, “radon oluşum katsayısı” ile belirtilir. En yüksek radon oluşum katsayısı betonundur [13]. Tablo 2’de bazı yapı ürünlerinin radon oluşum katsayıları görülmektedir.

Yapı ürünlerinden radonun çıkışı, ürünün nemi, yoğunluğu, gerecin yapısı ve karıştırıldığı ya da bileşim oluşturduğu maddelerin nitelikleri ile ilişkilidir [5].

Her zaman tek başına çok önemli bir sorun oluşturmayabilen yapı ürünü kaynaklı radon, diğer ürünlerden ve dışarıdan başka yollarla yapı içine giren radonun düzeyine dikkate alınması gereken bir katkıda bulunur [11].

Yapı içinde ürünlerden kaynaklanan radon düzeyi;

- Ürünün içerdiği radon yoğunluğuna,
- Kullanılan ürün miktarına,
- Mekanın hacmine ve
- Havalandırma sayısına

bağlıdır.

Yapı ürünlerinden kaynaklanan “yapı içi radon miktarı ($R_{nyü}$)”

$$R_{nyü} = \frac{F_1 \times A_1 \times v}{V} + \frac{F_2 \times A_2 \times v}{V} + \dots + \frac{F_n \times A_n \times v}{V}$$

formülü ile hesaplanabilmektedir [14].

Burada;

F: Ürünün içerdiği radon

A: Ürünün alanı (m^2)

v: Havalandırma sayısı (s)

V: Mekanın hacmi (m^3) dir.

Görüldüğü gibi, ürün kaynaklı radon miktarı, radon içeren ürünlerin çıkardıkları radon miktarlarının toplamına eşittir.

Tablo 1- Yapı ürünlerinde ²²⁶Ra yoğunlukları [5]

Yapı ürünü	Ülke	²²⁶ Ra'nın ortalama radyoaktivite yoğunluğu (Bq */kg)
Tuğla	Almanya	96,2
	İsveç	96,2
	Rusya	55,5
	İngiltere	51,8
Beton	Almanya	66,6
Ağır beton	İsveç	48,1
Alüminatlı killi şist içermeyen beton		55,5
Alüminatlı killi şist içeren beton		1.494,8
Ağır beton	Rusya	33,3
Hafif beton		74
Beton	İngiltere	74
Çimento	İngiltere	44,4
	İsveç	55,5
	Rusya	44,4
Alçıtaşı	Almanya	<18,5
	İsveç	3,3
	İngiltere	22,2
Alçı	Rusya	9,3
Fosfoalçı	Almanya	18,5-55,5
	İngiltere	777
	Amerika	1.480
Granit	Almanya	96,2
	Rusya	111
	İngiltere	88,8
Ponza taşı	Almanya	111
Tüf	Rusya	96,2
Kireçtaşı ve Mermer	Almanya	<18,5
Kaya agregası	İsveç	48,1
	İngiltere	51,8
Çakıl ve Kum	Almanya	<14,8
Doğal kum	Rusya	23,3
Ahşap	İsveç	-
Kaya ve Silis yünü	İsveç	14,8
	İngiltere	Önemsenmeyecek düzeyde
Hafif agregası	İsveç	144,3
Uçucu küller (kömür, çimento ve kül karışımı)	Almanya	210,9
	İngiltere	7,4-136,9

* Becquerel (Bq) radyoaktivite birimidir. Saniyede bir parçalanma veren radyoaktif madde miktarı ya da bu maddenin radyoaktivitesi olarak tanımlanır [15].

Tablo 2- Yapı ürünlerinin radon oluşum katsayıları [13]

Yapı ürünü	Radon oluşum katsayısı
Beton	0,1-0,4
Tuğla	0,02-0,1
Alçıtaşı	0,03-0,2
Çimento	0,02-0,05
Uçucu küller	0,002-0,02

3.2. Etkene Bağlı Olumsuzluk: Yapı İçi Havasında Radon Yoğunluğu

İç havada yapı ürünlerinden kaynaklanan radon düzeyi genelde ürünün içerdiği radon miktarı ile ilişkilidir. Ancak yapı içindeki radon yoğunluğunda, yapının tasarım ve üretimi, kullanıcıların yaşam alışkanlıkları, yapının iç ve dış arasındaki sıcaklık farkı etkili olur [16]. Saat, gün ve mevsime göre değişiklik gösteren radon yoğunluğu ölçmelerinin uzun dönemli yapılması daha güvenilir verilerin elde edilmesini sağlar [8].

Yapı içindeki radonun kabul edilebilirlik düzeyi konusunda kurumlar değişik değerler vermektedir (Tablo 3).

EPA'nın belirlediği radon düzeyinde bile akciğer kanseri riskinin olduğu ileri sürülmekte [11], değerin 37-55,5 Bq/m³ sınırlarına çekilmesi tartışılmaktadır.

3.3. Olumsuzluğa Bağlı Sağlığı Bozan Etken: Radon Solunması

Radonun bozunması ile polonyum, bizmut gibi radyoaktif izotoplar ve kurşun ortaya çıkar [9]. Radon gibi durağan olmayan bizmut ve özellikle polonyum 218 ve 214, toz parçacıklarına, diğer yüzeylere ve solunduğunda akciğerlere yerleşirken [6] kansere neden olabilen alfa ışınımı yayar ve dokuları etkiler [17].

Bazı bilimsel araştırmalar, daha sık soluk alıp verdikleri ve hücrelerinin daha hızlı bölünmesi nedeniyle çocukların radondan daha çok etkilendiğini göstermektedir [17].

Yapı içindeki radon düzeyindeki yükseklik, bir insanın bir yılda binlerce kez göğüs röntgeni çektirmesi ile alabileceği dozun radyasyon etkisine yol açabilmektedir [11]. Örneğin 3.700 Bq/m³ yılda 10.000 kez göğüs röntgeni çektirmeye eşdeğerdir [12].

Tablo 3- Yapı içindeki radonun sınır değerleri [13, 18]

Kurum	Var olan yapılarda aşılması durumunda iyileştirmeye başlama düzeyi Bq/m³	Yeni yapılar için sınır Bq/m³
EPA (Çevresel Koruma Örgütü)	148	148
ICRP (Uluslararası Radyasyon Korunması Örgütü)	200	200
WHO (Dünya Sağlık Örgütü)	370	111
Fennos Candian (Danimarka, Finlandiya, İzlanda, Norveç, İsveç)	400	96,4
ASHRAE (Amerikan Isıtma, Soğutma ve Havalandırma Mühendisleri Birliği)		37
TAEK (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu)	400	400

3.4. Oluşan Sağlık Sorunu: Kanser

WHO ve EPA, radonu kanserojen madde olarak A sınıfı (class A) kapsamına almıştır.

Sigara içenler, içmeyenlere göre daha çok radon nedenli akciğer kanseri olma riskine sahiptir (Tablo 4) [10, 19].

Tablo 5’de yaşam boyu radon gazı etkisinde kalma sonucu akciğer kanserine bağlı ve Tablo 6’da ise yapı içinde geçirilen süreye ve etkilenim yılına göre akciğer kanseri ölüm oranları verilmiştir.

Tablo 4- Radon gazından kansere yakalanma riskleri [19]

Radon Yoğunluğu Bq/m³	Yaşam boyu radon gazından etkilenen 1000 kişi içinde kansere yakalanma riski	
	Sigara Kullanan	Sigara Kullanmayan
740	135	8
370	71	4
296	57	3
148	29	2
74	15	1
48,1	9	<1
14,8	3	<1

Tablo 5- Yaşam boyu radon gazı etkisinde kalma sonucu akciğer kanserine bağlı ölüm oranları [20]

Yaklaşık radon yoğunluğu (Bq/m³)	Akciğer kanserine bağlı ölümler (1000) kişi
7.400	440-770
3.700	270-630
1.480	120-380
740	60-210
370	30-120
148	13-50
74	7-30
37	3-13
7,4	1-3

Tablo 6- Zamanının %80'ini yapı içinde geçirenler için radon düzeyi ile ölüm riski [13]

Yapı içi radon düzeyi (Bq/m³)	Etkilenim süresi (Yıl)	Akciğer kanseri ölümleri (100 kişide)
148	70	1-5
740	70	6-21
7.400	70	44-77
7.400	10	14-42

4. SONUÇ

Yapı içine, yapının çevresindeki topraktan, kayalardan, su kaynaklarından; doğal gaz ve yapı ürünleri ile girebilen radon, bulunduğu akciğer kanserine neden olmaktadır. Bu oluşumda “yapı içi hava niteliği risk süreci”nin irdelenmesi gerekir. Bu süreç, kullanıcı (yaş, cinsiyet, biyolojik durum, alışkanlıklar) ve yapının (işlev, kullanılan ürün miktarı, büyüklükler, havalandırma koşulları vb.) tanımını içeren ön araştırma ve ardından risk değerlendirmesi (solunan yoğunluk, etkilenim süresi vb.) ni içermelidir [21].

Radon ve bozunma ürünlerinden korunmak için;

- Girişi engellemek,
- Girdikten sonra kirleticileri dışarı atmak ya da yoğunluğunu düşürmek gerekir [8].
- Radonun yapı içine girişini engellemek; radon içermeyen yapı ürünü kullanmakla,
- Radonu dışarı atmak ya da yoğunluğunu düşürmek; yapının gerektiği gibi havalandırılması ile olabilir.

KAYNAKLAR

1. Balanlı, A. ve Öztürk, A., (1995) “Yapının İç ve Dış Çevresinin Yapı Biyolojisi Açısından İrdelenmesi”, Sağlıklı Kentler ve İnşaat Mühendisliği Sempozyumu, ss. 45-55, İzmir.
2. Balanlı, A. ve Tuna Taygun, G., (2002), “Polivinil Klorürün Çevreye Etkilerinin Yapı Biyolojisi Açısından İrdelenmesi”, 1. Ulusal Yapı Malzemesi ve Kongresi ve Sergisi, ss. 403-413, İstanbul.
3. EPA (United States Environmental Protection Agency), (2000), *Radiation: Risks and Realities-Natural Radiation*, <http://www.epa.gov/radiation/rpage/rpage3.html>
4. Öztürk A. ve Balanlı, A., (1995) “Yapı Biyolojisi: Kavram ve Kapsam”, Sağlıklı Kentler ve İnşaat Mühendisliği Sempozyumu, ss. 135-140-55, İzmir.
5. Wadden, R. A. and Scheff, P. A., (1983), *Indoor Air Pollution/Characterization, Prediction, and Control*, John Wiley&Sons, Inc., USA.
6. Makofske, W. J. and Edelstein, M. R., (1988), *Radon and Environment*, Noyes Publications, USA.
7. Spengler, J. D. and J. M. Samet, (2000), *Indoor Air Quality Handbook*, Mc-Graw Hill, New York.
8. ASHRAE-Environmental Health Committe, (1998), *ASHRAE Temel El Kitabı (Fundamentals)*, Çevre Sağlığı, Bölüm 37, Çevirenler: Nejat Demircioğlu ve Macit Toksoy, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınları: 2, Ankara.
9. Field, R. W., (1999), “Radon Occurence and Health Risk”, http://radon.com/radon/radon_links.html
10. Bower, J., (1997), *The Healthy House: How to buy one, How to build one, How to cure a sick one*, the Healthy House Institute, India.
11. Baker-Laporte, P., Eliot, E. and Banta, J., (2001), *Prescriptions for A Healthy House, Second Edition*, New Society Publishers, Canada.
12. Dunford, R. E., (1994), *Your Health and the Indoor Environment*, Nu Dawn Publishing, USA.
13. Brookins, D. G., (1990), *The Indoor Radon Problem*, Columbia University Press, New York.
14. Cothorn, C. R. and Smith, Jr. J. E., (1987), *Environmental Radon*, Plenum Press, New York.
15. Çelebi, N., (1995), “Çevresel Örneklerde Uranyum, Radyum ve Radon Ölçüm Tekniklerinin Geliştirilmesi”, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
16. Kearfortt, K. J., Metzger, R. L. and Holbert, K. E., (1992), *Underground Air Returns as Active transportation Pathways for Radon Gas Entry into Homes*, Health Physics, 63: 665-673.
17. NIEHS (National Institute of Environmental Health Sciences), (2001), “Radon”, Ninth Report on Carcinogens, CAS No: 10043-92-2, USA.
18. TAEK (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu), (2000), *Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği*, Sayı: 23999, Madde 37, 24.03.2000, Ankara.
19. EPA (United States Environmental Protection Agency), (2003), “Radon Risk Comparison Charts”, <http://www.epa.gov/radon/riskcht.html>
20. EPA (United States Environmental Protection Agency), (1988), *Radon Reduction Techniques for Detached Houses*, EPA/625/5-87/019, North Carolina.
21. Vural, S. M., (2004), “Yapı İçi Hava Niteliği Risk Süreci Modeli Belirlenmesi”, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.