



# Bina İçi Radon Konsantrasyonlarının Belirlenmesi

Osman GÜNAY<sup>1\*</sup>, Serpil AKÖZCAN<sup>2</sup>, Feride KULALI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Okan Üniversitesi SHMYO İSTANBUL  
<sup>2</sup>Kırklareli Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi KIRKLARELİ  
<sup>3</sup>Üsküdar Üniversitesi SHMYO İSTANBUL  
\*osman.gunay@okan.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 11 Temmuz 2018 ve Kabul Tarihi 27 Ağustos 2018)

(DOI: 10.31590/ ejosat.442702)

## Öz

Tüm canlılar hayatları süresince iç ve dış doğal radyasyona maruz kalmaktadır. Doğal radyasyon, genellikle kozmik ışınlardan ve karasal radyasyon kaynaklarından oluşmaktadır. Karasal doğal radyasyon kaynaklarını oluşturan ana radyonüklidler uranyum, toryum ve potasyumdur. Radon, tüm dünya yüzeyinde toprak, kayalar ve suda bulunan uranyumun bozunumuyla doğal olarak oluşan radyoaktif bir gazdır. İnsanların radyasyona maruz kalmasına en yüksek katkı konutlardaki radon konsantrasyonundan gelmektedir.

Bu çalışmada, İstanbul il merkezinde bulunan bir hastanenin farklı katlarında ölçülen radon gazı konsantrasyonlarının sonuçları sunulmuştur. Kısa süreli kapalı radon ölçümleri, sürekli aktif radon detektörü (AlphaGUARD) kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlar, kapalı ortam radon konsantrasyonlarının 19'dan 53 Bq m<sup>-3</sup>'e kadar değiştiğini göstermektedir. Ayrıca, çalışmada, ortalama kapalı doz konsantrasyonu ve yıllık etkin doz oranı belirlenmiştir. Bina içerisinde günde ortalama 6 saat kalan bir kişinin radondan dolayı alacağı yıllık radyasyon dozunun 0.150 mSv ile 0.402 mSv arasında değiştiği bulunmuştur. Bununla birlikte, çalışma bölgesinde, ortalama kapalı doz konsantrasyonunun yanı sıra yıllık etkin doz oranının da Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) tarafından önerilen sınır seviyesinin altında olduğu bulunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Radon, AlphaGUARD, Radyoaktivite

## Determination of indoor radon concentrations

### Abstract

All living beings are continuously exposed to the natural external and internal sources of radiation during their lifetime. Natural radiation is usually composed of cosmic rays and terrestrial radiation sources. The main radionuclides that make up terrestrial natural radiation sources are uranium, thorium and potassium. Radon is a radioactive gas that is formed naturally by the decay of Uranium which is found in soil, rocks and water all over the earth. The highest contribution to radiation exposure of the people is due to radon which may concentrate in dwellings.

In this study, the results of radon gas concentrations measured in different floors inside a hospital located in Istanbul city center were presented. The short term indoor radon measurements were performed using a continuous active radon detector (AlphaGUARD). The results show that the indoor radon concentrations varied from 19 to 53 Bq m<sup>-3</sup>. Furthermore, in the study, the average indoor radon concentration as well as the annual effective dose rate were determined. The annual radiation dose for a person who stayed in the building for an average of 6 hours per a day was found vary from 0.150 mSv to 0.402 mSv. However, in the study region, the average indoor radon concentration as well as the annual effective dose rate are found to be below the action level recommended by Turkey Atomic Energy Agency (TAEK)

**Key words:** Radon, AlphaGUARD, Radioactivity, dose

## 1. Giriş

Tüm canlılar hayatları boyunca çevrelerinden gelen radyasyona maruz kalmaktadırlar (Aközcan, 2014; Akkurt vd., 2015; Çetin vd., 2016; Günay, 2018; Kara vd., 2017a; Mavi ve Akkurt, 2010; Seçkiner vd., 2017; Uyanık vd., 2010). Bu radyasyon iyonlaştırıcı (gama ışınları, X-ışınları, beta radyasyonları, alfa, kozmik ışınlar v.b.) ve iyonlaştırıcı olmayan

(kızılötesi, ultraviyole, mikrodalgalar, radyo dalgaları v.b.) olmak üzere iki ayrı sınıfta incelenebilir. Radyasyon kaynakları ise doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Doğal radyasyon kaynakları, yer kabuğunda var olan radyonüklidler, kozmik ışınlar, bazı gıdalar olup bunlar, insanın ömrü boyunca aldığı radyasyon dozunun yaklaşık %85 ini teşkil etmektedir. Yapay radyasyon kaynakları ise alınan toplam dozun yaklaşık %15 idir. (Akkurt, 2009; Demir vd., 2017; Günay vd., 2018a; Kara vd.,

2017b; Uyanık vd., 2013; Akkurt vd., 2006; Kara vd., 2016a; Uyanık vd., 2015; Akkurtvd., 2010; Kara U vd., 2016b)

Canlıların maruz kaldığı doğal radyasyon içerisinde ise radon payı yaklaşık %54 dür (Özkorucuklu vd. 2006). Radon gazı topraktan çıkarak atmosfere yayılmaktadır. Atmosfere yayılması esnasında binaların çatlaklarından bina içerisine girebilmektedir. Radon gazı ve bozunum ürünleri, toprak arasında bulunan boşluklardan havayla ve temas halindeki yer altı sularından toprak yüzeyine çıkışı esnasında atmosfere doğru yayılır. Binaların kurulmuş olduğu toprağın veya kayaçların altındaki uranyum içeren toprak veya kayaçlar bina içerisine giren radon gazının temel kaynağıdır. Yerkürenin içerisindeki kayaçlarda ve toprakta farklı konsantrasyonlarda radyum ve uranyum ihtiva etmektedir (Durrani ve Ilic1997a; Gültekin vd. 2003).Uranyum kaynağının risk teşkil etmesi için uranyum konsantrasyonun belirli bir miktardan (50 ppm) daha fazla olması gerekmektedir.

Radon gazının binaların içerisine giriş mekanizması ise, toprakta var olan radon gazının bina temelinde bulunan çatlaklardan içeriye doğru sızması, radon gazının binaların çevresinde birikip, sıcaklık-basınç farkıyla kapı ve pencerelerden binaya girmesi, binadaki kullanım suyunun içerisinde radon gazı çözünerek binaya girmesi ve binanın yapıldığı malzemelerde bulunan radyoaktif elementlerden bina içerisine girmesi olarak belirtilmektedir. (Gültekin vd. 2003).

Binaların içerisindeki radon kaynaklarından bir tanesi de binanın yapımı esnasında kullanılan inşaat malzemeleridir. Bu malzemelerin büyük bölümü uranyum içermektedir. Bu uranyum potansiyel olarak radon gazı yayımcısıdır. (Durrani ve Ilic 1997b)

Bina içerisindeki radon konsantrasyonlarını etkileyen en önemli faktörlerden bir tanesi de, binanın içerisindeki hava dolanım biçimi ile havalandırma sıklığı ve süresidir. Yeterli havalandırmaya sahip olmayan binaların içerisinde biriken radon gazı konsantrasyonunun daha fazla olduğu bazı çalışmalarda bildirilmiştir(Çelebi vd. 2003).

İnsanlar yaşamlarının büyük bölümünü bina içerisinde geçirdiklerinden dolayı, bina içerisindeki radon gazının yoğunluğunun bilinmesi insan sağlığı açısından oldukça önemlidir. Hem işyerlerinde hem de evlerde sağlık bakımından tehlikeli düzeylere ulaşma ihtimali olan bina içi radon konsantrasyonlarının belirlenmesi oldukça önemlidir.

Dünya genelinde doğal radyasyon kaynaklarına bakıldığında; kozmik ışınlardan gelen radyasyon miktarı 0.39 mSv/yıl, gama radyasyonundan gelen katlı 0.46 mSv/yıl, vücut içi radyasyon ışınlamalarından gelen 0.25 mSv/yıl iken radondan kaynaklanan vücuda alınan radyasyon dozu kişi başına ortalama 1.3 mSv/yıl olmaktadır (Kürkçüoğlu ve Bayraktar, 2012). Radyasyon sebebiyle canlı vücudunda oluşan biyolojik etkiler, alınan toplam doza, dozun alınma süresine, radyasyondan etkilenen organa vb birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir(Fişne 2002).

UNSCEAR ve ICRP raporlarına göre radon gazı ve bozunum ürünlerinin vücut içerisine solunması sonucunda akciğere ve üst solunum yollarına hasar verdiği ayrıca akciğer kanserine sebep olduğu bildirilmektedir.

Radonun bozunması sonucunda açığa çıkan ürünler ve radon havada bulunan toz veya diğer parçacıklara tutunarak veya tutunmadan nefes alma sırasında kolaylıkla vücuda girebilmektedir. Vücuda giren bu ürünler kararlı duruma gelinceye kadar bozunmaya devam ederler. Böylelikle açığa çıkan enerji akciğer dokusuna zarar verebilir. Akciğer kanserinin oluşmasındaki en önemli nedenlerden bir tanesi de radon gazıdır.

Hem toprakta, hem de bina içerisinde radon gazı konsantrasyonlarının ölçülmesine yönelik yapılan çok sayıda çalışma vardır (Kulalı and Akkurtı ,2015; Kulalı vd. 2014; Günay vd. 2018b).

Bu çalışma, bir hastane binası içerisinde bodrum-1 ve bodrum-2 katlarındaki radon konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1 Radon

Radon gazı, 1900 yılında F.E. Dorn tarafından bulunmuş olup atom numarası 86 dir. Soy gaz ailesine mensup olan radon gazı, tatsız, kokusuz ve renksizdir. Hidrojen gazından 100 kat, havadan ise 7.5 kat daha ağır olup özkütlesi 9.73 g/l dir. Donma noktası - 71 °C ve kaynama noktası ise-61.8°C olduğu için hem 0 °C da hem de oda sıcaklığında gaz halindedir. Radon gazı soğuk suda daha iyi çözünbilmekte olduğundan sıcaklık arttıkça çözünürlüğü azalmaktadır.

Radon gazının 36 tane radyoaktif izotopu bulunmaktadır. Bunların kütle numaraları ise 193 ile 128 arasında değişmektedir. Şu ana kadar doğada herhangi bir kararlı izotopu bulunamamıştır. Bu 36 izotopu içerisinde 3 tanesi doğal radyoaktif bozunma serisinin içerisinde. Bunlar, <sup>222</sup>Rn (Radon), <sup>220</sup>Rn (Toron), <sup>219</sup>Rn (Aktinon) olup kütle numaraları sırasıyla 222, 220 ve 219 dur. Bunlar radyoaktif bozunma serilerinden geldikleri için birçok araştırmaya konu olmuşlardır.

<sup>219</sup>Rn un yerkabuğunda oldukça az miktarda,yaklaşık % 0.07 bollukla bulunmaktadır. <sup>220</sup>Rn nin ise yarı ömrünü 55.5 s ile oldukça kısadır. <sup>222</sup>Rn hem doğadaki miktarı oldukça bol olması ve hem yarı ömrünün 3.82 ile diğerlerinden uzun olması sebebiyle radon olarak adlandırılmıştır.

Doğada 4 tane radyoaktif bozunma serisi vardır. Bunlar uranyum serisi, aktinyum serisi, neptünyum serisi ve toryum serisidir. <sup>222</sup>Rn, uranyum bozunma serisinden, <sup>226</sup>Ra bozunumundan meydana gelmektedir. Ömrü diğer izotoplarına göre uzun ve miktarı daha bol olduğu için toprak içerisindeki gazda ve atmosferdeki yoğunluğu fazladır.

Atmosferde bulunan radon gazının önemli bir kısmı yer altında bulunan kayaçlardan ve topraktan meydana gelmiştir. Toprakta bulunan radonun belirli bir bölümü topraktan ayrılarak, toprak arasındaki boşluğa geçebilir (Günay vd., 2018b). Buna emanasyon katsayısı denir. Emanasyon katsayısı etkileyen üç nemli faktör vardır. Bunlar, nem, sıcaklık ve tanecik boyutu dur. Nemli ortamların emanasyon katsayısı daha fazladır. Sıcaklık arttıkça emanasyon kesri artmaktadır. Tanecik boyutu ve şeklinin emanasyon kesrine etkisi taneciğin yüzey alanı ve taneciğin boyutlarına bağlıdır. Yüzey alanının hacme oranı büyük olan taneciklerin emanasyon kesri daha büyüktür. Radon tanecikler arasındaki boşluğa girdikten sonra atmosfere doğru hareketi radon göçü olarak tanımlanmaktadır. Radon göçünü etkilen faktör ayısı oldukça fazladır (Durrani ve Ilic, 1997a). Bunlardan başlıcaları radon bozunma hızı, gözeneklerde bulunan akışkanlar ve açık hava basıncıdır.

### 2.2 Radon Ölçüm Yöntemleri

Radon gazının ölçümü, radon gazından çıkan alfa parçacıklarının sayımına dayanmaktadır. Radon ölçüm yöntemleri genellikle üç ana başlık altında toplanmaktadır. Bu

ölçüm yöntemleri anlık, integral ve sürekli ölçüm olarak literatüre geçmiştir.

Anlık ölçüm yöntemlerinde bozunum ürünü olan alfa parçacığının çok kısa bir zaman diliminde deteksiyonuna dayanmaktadır. Bu yöntemde genellikle Lucas hücresi kullanılır.

Integral ölçüm yönteminde ise radon gazı belirli bir süre toplanarak ölçümler yapılır. Bu yöntemde 10 gün ile 180 gün arasında değişen oldukça uzun zaman almaktadır. Bu yöntemin en büyük dezavantajı kısa süreli bilgilere ulaşmanın oldukça zor olmasıdır. Bu yöntemde genellikle nükleer iz kazıma detektörleri kullanılır.

Sürekli radon ölçümlerinde, elektronik detektörler kullanılmaktadır. Bu yöntemde sürekli olarak hiç ara vermeden kısa periyotlarla (10 dakika gibi) ölçümler yapılır ve yapılan ölçümler elektronik olarak kayıt edilebilir. Bunun için üretilmiş çok sayıda elektronik cihaz vardır. Bunlardan başlıcaları, Barasol detektörü, Clipperton dedektörü ve AlphaGUARD cihazıdır (Şekil-1).

AlphaGUARD, iyonizasyon odasına sahip olan, anodu ile katodu arasında 750 volt bulunan, çelikten imal edilmiş bir cihazdır. Cihazın toplam hacmi 620 cm<sup>3</sup> olup etkili hacmi ise 560 cm<sup>3</sup> dür. Detektörün bataryası yaklaşık 10 gün ölçüm yapmaktadır. Fakat güç kaynağına bağlanırsa bu süre oldukça uzatılabilmektedir.

AlphaGUARD cihazıyla 6 Bqm<sup>-3</sup> ile 2.10<sup>6</sup> Bqm<sup>-3</sup> aralığında ölçüm yapılabilir. Bununla beraber hata payı %3 olması sebebiyle avantajlı bir cihazdır. AlphaGUARD cihazı çeşitli aparatlar kullanılarak havada, toprakta ve suda ölçüm yapılabilir. Bununla beraber cihaz, sıcaklığı, açık hava basıncını ve ortamdaki nemi de ölçmektedir.



Şekil 1. AlphaGUARD Cihazı.

## 2.3 Çalışma Bölgesi ve Ölçüm Sistemi

Bu çalışmada bina içi radon gözü ölçümleri bir hastanede yapılmıştır. Bina içerisinde yapılan radon gazı ölçümleri genellikle binanın en alt katlarında yapılmaktadır. Çünkü zemine yakın olan katlarda topraktan sızan radon gazı konsantrasyonları daha yüksektir. Bu düşünceyle ölçümler, hastanenin zeminle bağlantısı olan bodrum-2 katında ve bodrum-1 katında yapılmıştır.

Ölçümler, Bodrum-2 katında, malzeme ana deposu, biyomedikal odası, muhasebe, satın alma, kurumsal iletişim odaları, asansör önü koridor, muhasebe önü koridor ve otopark da, Bodrum-1 katında ise, PET-BT kontrol odası, PET-BT bekleme odası, Radyasyon Onkolojisi kontrol odası, Radyasyon onkolojisi koridor, Teknik ofis, Elektrik odası önü koridor, Sedyeye asansörü koridor ve otoparkta yapılmıştır.

Ölçüm cihazı olarak, AlphaGUARD radon monitörü kullanılmıştır. Her bir ölçüm noktasında her 10 dakikada bir ölçüm alınmıştır. Bir saat boyunca 6 ölçüm yapıp ortalaması alınarak ölçüm noktasının radon konsantrasyonu hesaplanmıştır. Ayrıca AlphaGUARD cihazında bulunan sensörler vasıtasıyla ölçüm noktasındaki sıcaklık, nem ve basınç sonuçları elde edilmiştir.

## 3. Araştırma Bulguları

Bu çalışmada elde edilen radon konsantrasyonları, sıcaklık, nem ve basınç sonuçları Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1’de kodlanan ölçüm noktaları aşağıdaki gibidir:

Bodrum-1 Kat için;

B1-1: PET-BT kontrol odası

B1-2: PET-BT bekleme odası

B1-3: Radyasyon onkoloji odası

B1-4: Radyasyon onkoloji koridoru

B1-5: Elektrik odası önü koridor

B1-6: Bodrum-1 otoparkı

B1-7: Teknik ofis

B1-8: Sedyeye asansörü önü koridor

Bodrum-2 kat için;

B2-1: Malzeme ana deposu

B2-2: Biyomedikal odası

B2-3: Muhasebe odası

B2-4: Spor salonu önü koridor

B2-5: Satın alma odası

B2-6: Bodrum-2 otoparkı

B2-7: Kurumsal iletişim odası

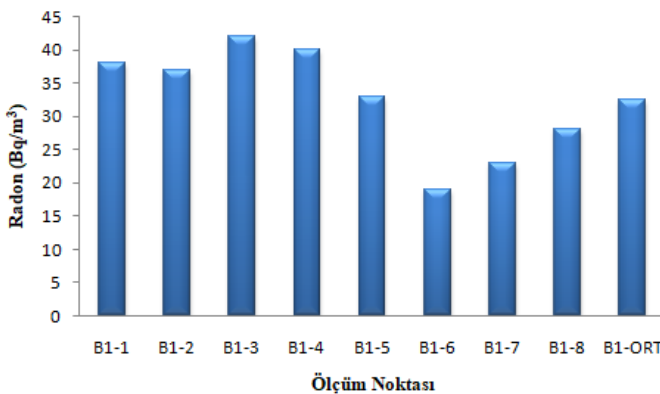
B2-8: Sedyeye asansörü koridor.

Tablo 1. Ölçüm noktalarına göre radon konsantrasyonları, sıcaklık, nisbi nem ve basınç sonuçları

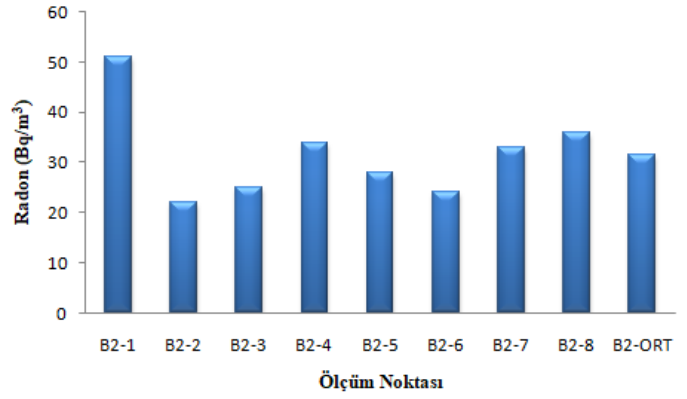
Ölçüm Yeri	Ölçüm Noktası	Radon (Bq/m <sup>3</sup> )	Sıcaklık (°C)	Nem (%)	Basınç (hPa)
BODRUM-1 KAT	B1-1	38±12	23	58	1014
	B1-2	37±13	23	59	1015
	B1-3	42±14	23	58	1015
	B1-4	40±13	23	58	1015
	B1-5	33±11	23	60	1015
	B1-6	19±8	23	60	1015
	B1-7	23±9	23	59	1015
	B1-8	28±11	23	60	1015
	<b>B1-ORT</b>	<b>32.5±11</b>	<b>23.0</b>	<b>59.0</b>	<b>1014.9</b>
BODRUM-2 KAT	B2-1	51±15	24	57	1015
	B2-2	22±9	23	59	1015
	B2-3	25±9	24	58	1015
	B2-4	34±12	23	58	1015
	B2-5	28±10	23	58	1015
	B2-6	24±9	23	58	1015
	B2-7	33±10	23	59	1015
	B2-8	36±12	24	58	1015
	<b>B2-ORT</b>	<b>31.6±10</b>	<b>23.4</b>	<b>58.1</b>	<b>1015.0</b>

Bodrum-1 katında en düşük radon konsantrasyonu 19±8 Bqm<sup>-3</sup> ile otoparkta (B1-6), en yüksek radon konsantrasyonu ise 42±14 Bqm<sup>-3</sup> ile radyasyon onkoloji odasında (B1-3) bulunmuştur. Bodrum-1 katında ortalama radon konsantrasyonu 32.5±11 Bqm<sup>-3</sup> olarak bulunmuştur (Şekil-2). Bu kattaki tüm ölçüm noktalarındaki hava sıcaklığı 23 °C dir. Nispi nem ise bu kat için %58 ile %60 arasında değişmektedir. Nispi nemin ortalaması ise %59 olarak hesaplanmıştır. Açık hava basıncı ise bodrum-1 katı için 1014 hPa ile 1015 hPa arasında değişmektedir.

Bodrum-2 katı için en düşük radon konsantrasyonu 22±9 Bqm<sup>-3</sup> olarak biyomedikal odasında (B2-2) hesaplanmıştır. En yüksek radon konsantrasyonu ise 51±15 Bqm<sup>-3</sup> malzeme ana deposunda (B2-1) bulunmuştur (Şekil-3). Bodrum-2 katındaki ölçüm noktalarındaki hava sıcaklığı 23 °C ile 24°C arasında değişmektedir. Bu kattaki nispi nem ise %57 ile %59 arasında değişmektedir. Bu katta ölçülen açık hava basıncı ise her noktada aynı olup değeri 1015 hPa dir.



Şekil 2. Ölçüm noktalarına göre bodrum-1 katı için radon konsantrasyonları



Şekil 3. Ölçüm noktalarına göre bodrum-2 katı için radon konsantrasyonları

Hesaplanan ortalama radon konsantrasyon değerleri kullanılarak, kişinin maruz kalacağı radondan kaynaklanan radyasyon dozu, yıllık etkin doz eşdeğeri olarak tanımlanmaktadır (YEDE). Yıllık etkin doz eşdeğeri ise aşağıdaki bağlantıdan hesaplanmaktadır.

$$YEDE = C_{Rd} \times F \times EEC \times t$$

Burada,

$C_{Rd}$ : Radon konsantrasyonu (Bqm<sup>-3</sup>)

F: Radon ile bozunma ürünleri arasındaki denge faktörüdür ve bu çalışmada 0.4 olarak alınmıştır.

EEC: Doz çevirme katsayısı (equilibrium equivalent concentration) dir.  $9 \times 10^{-9}$  (Sv/saat)/(Bqm<sup>-3</sup>) olarak alınmıştır.

t: Bina içerisinde bir yılda ortalama olarak geçirdikleri zaman (saat) dir. Örneğin bir kişi binada günde 6 saat geçiriyorsa bir yılda toplam 2190 saat geçireceği için bağlantıda 2190 alınmalıdır.

Kişinin bina içerisinde bulunma süresi farklılık göstereceği için, bu çalışmada bina içerisinde ortalama olarak günde 3 saat, 6 saat, 12 saat ve 24 saat kalma durumunda 1 yıl boyunca radondan kaynaklanan alacağı radyasyon dozu hesaplanmış ve tablo-2 de gösterilmiştir.

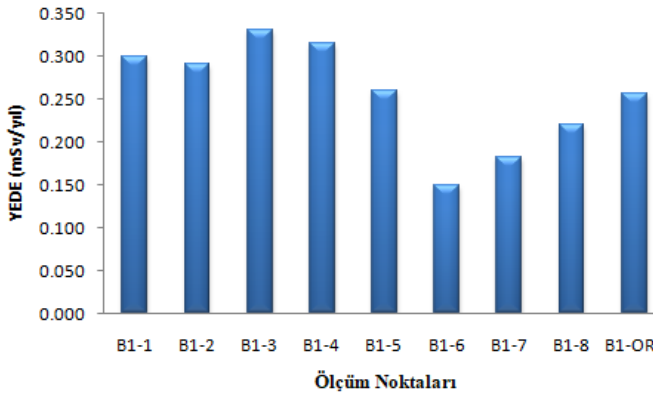
Tablo 2. Ölçüm noktalarına göre ve bina içerisinde günlük bulunma sürelerine (3 saat, 6 saat, 12 saat, 24 saat) göre, yıllık etkin doz eşdeğeri



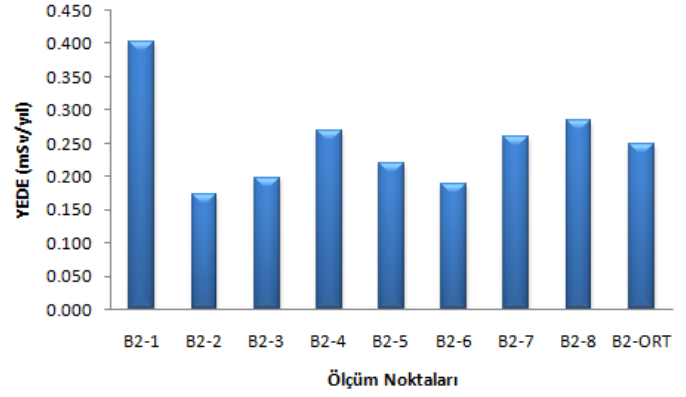
Ölçüm Yeri	Ölçüm Noktası	3 saat YEDE (mSv/yıl)	6 saat YEDE (mSv/yıl)	12 saat YEDE (mSv/yıl)	24 saat YEDE (mSv/yıl)
BODRUM-1 KAT	B1-1	0.150	0.300	0.599	1.198
	B1-2	0.146	0.292	0.583	1.167
	B1-3	0.166	0.331	0.662	1.325
	B1-4	0.158	0.315	0.631	1.261
	B1-5	0.130	0.260	0.520	1.041
	B1-6	0.075	0.150	0.300	0.599
	B1-7	0.091	0.181	0.363	0.725
	B1-8	0.110	0.221	0.442	0.883
	<b>B1-ORT</b>	<b>0.128</b>	<b>0.256</b>	<b>0.512</b>	<b>1.025</b>
BODRUM-2 KAT	B2-1	0.201	0.402	0.804	1.608
	B2-2	0.087	0.173	0.347	0.694
	B2-3	0.099	0.197	0.394	0.788
	B2-4	0.134	0.268	0.536	1.072
	B2-5	0.110	0.221	0.442	0.883
	B2-6	0.095	0.189	0.378	0.757
	B2-7	0.130	0.260	0.520	1.041
	B2-8	0.142	0.284	0.568	1.135
	<b>B2-ORT</b>	<b>0.125</b>	<b>0.249</b>	<b>0.499</b>	<b>0.997</b>

Bina içerisinde günde ortalama 6 saat kalan kişinin radondan dolayı alacağı yıllık radyasyon dozu Bodrum-1 katında bulunduğu yere göre 0.150 mSv ile 0.331 mSv arasında değişmektedir. Bodrum-1 katı için günde 6 saat bina içerisinde bulunan kişinin ortalama alacağı radyasyon dozu ise 0.256 mSv'dir (Şekil-4).

Bodrum-2 katı için ise günde ortalama 6 saat bina içerisinde bulunan bir kişinin radondan kaynaklanan alacağı radyasyon dozu ise 0.173 mSv ile 0.402mSv arasında değişmekte olup, ortalama ise 0.249 mSvdir (Şekil-5).



Şekil 4. Bodrum-1 katında, ölçüm noktalarına göre ve bina içerisinde günlük 6 saat bulunan kişilerin alacakları yıllık etkin doz eşdeğerleri



Şekil 5. Bodrum-2 katında, ölçüm noktalarına göre ve bina içerisinde günlük 6 saat bulunan kişilerin alacakları yıllık etkin doz eşdeğerleri

Bu çalışmadaki radon konsantrasyon değerleri  $19 \pm 8 \text{ Bqm}^{-3}$  ile  $51 \pm 15 \text{ Bqm}^{-3}$  arasında değişmiştir. Bodrum-1 katında ortalama radon konsantrasyonu  $32.5 \pm 11 \text{ Bqm}^{-3}$ , bodrum-2 katında ise ortalama  $31.6 \pm 10 \text{ Bqm}^{-3}$  olarak bulunmuştur.

Polonya'daki üç ayrı hastanede yapılan çalışmada radon konsantrasyonları, bodrum katı için sırasıyla ortalama 25.3, 45.5 ve  $32.3 \text{ Bqm}^{-3}$ , zemin katları için sırasıyla 19.7, 24.9 ve  $18.6 \text{ Bqm}^{-3}$  olarak bulunmuştur (Mnich vd. 2004). Polonya'daki çalışmanın sonuçları ile sunulan bu çalışmanın sonucu birbirlerine yakındır.

#### 4.Sonuç

Dünya sağlık örgütünün (WHO) izin verdiği yıllık ortalama bina içi radon konsantrasyonu  $100 \text{ Bqm}^{-3}$  ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'nun izin verdiği bina içi radon konsantrasyonu evlerde  $400 \text{ Bqm}^{-3}$ , işyerlerinde ise  $1000 \text{ Bqm}^{-3}$ 'dür.

Bu çalışmada elde edilen en yüksek radon konsantrasyonu ise  $51 \text{ Bqm}^{-3}$ 'dür. Bodrum-1 katındaki ortalama radon konsantrasyonu ile bodrum-2 katındaki ortalama radon konsantrasyonları birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır. Buda topraktan binaya doğru radon akışının oldukça az olduğunun bir göstergesi olabilir. Elde edilen radon konsantrasyonlarının büyük bölümünün bina yapı malzemelerinden kaynaklandığını gösterebilir. Bu çalışmadaki diğer parametreler (sıcaklık, nem ve basınç) genellikle birbirlerine çok yakın değerler olduğu için radon konsantrasyonlarına etkisi belirlenememiştir. Bundan sonraki yapılacak çalışmalarda uzun süreli radon ölçümü yapılarak atmosferik verilerle radon çıkışı arasındaki bağlantı kurulabilir.

Çalışma bölgesi olan söz konusu hastanede radondan kaynaklı radyasyon seviyesi, hem Dünya Sağlık Örgütü'nün hemde Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'nun izin verdiği limitlerin altındadır.

#### Kaynaklar

Aközcan S., 2014, Annual effective dose of naturally occurring radionuclides in soil and sediment, Toxicological and Environmental Chemistry <http://dx.doi.org/10.1080/02772248.2014.939177>

Akkurt İ., Uyanık N.A., Günoğlu K., 2015, "Radiation Dose Estimation: An In Vitro Measurement For Isparta-Turkey" Ijcesen 1-1(2015)1-4 Doi: 10.22399/Ijcesen.194376

- Akkurt İ., 2009, "Effective atomic and electron numbers of some steels at different energies" *Ann. Nucl. En.* 36-11,12(2009)1702-1705 DOI: 10.1016/j.anucene.2009.09.005
- Akkurt, I., Basyigit, C., Kilincarslan, S., Mavi, B., & Akkurt, A., 2006, Radiation shielding of concretes containing different aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 28(2), 153-157. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2005.09.006>
- Akkurt I., Akyıldırım H., Mavi B., Kilincarslan S., Basyigit C., 2010, "Photon attenuation coefficients of concrete includes barite in different rate" *Ann. Nucl. Energy.* 37-7(2010)910-914 DOI: 10.1016/j.anucene.2010.04.001
- Çelebi N, Taşdelen M, Özçınar B, Kopuz G, 2003. YTÜ Şevket Sabancı Kütüphanesi radon konsantrasyon ölçümleri, VII. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, 15-17 Ekim 2003, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, bildiri tam metni [http://88.255.58.195/internet\\_tarama/dosyalar/cd/4115/pdf/3\\_3.pdf](http://88.255.58.195/internet_tarama/dosyalar/cd/4115/pdf/3_3.pdf)
- Çetin B., Öner F. and Akkurt I., 2016, Determination of Natural Radioactivity and Associated Radiological Hazard in Excavation Field in Turkey (Oluz Höyük), *Acta Physica Polonica A Vol A Vol 130 (2016)*, DOI:10.12693/APhysPolA.130.475
- Demir N., Kıvrak A., Üstün M., Cesur A., Boztosun I., 2017, "Experimental Study for the Energy Levels of Europium by the Clinic LINAC" *IJCESEN* 3-1(2017)47-49
- Durrani, S.A., Ilic, R. 1997a. Radon measurements by etched track detectors: applications in radiation, earth sciences and environment, editors Saeed A. Durrani and Radomir Ilic, *World Scientific*, Singapore, p. 163.
- Durrani, S.A., Ilic, R. 1997b. Radon Measurements by Etched Track Detectors: Applications in Radiation, Earth Sciences and Environment. Editors: Saeed A. Durrani and Radomir Ilic, *World Scientific*, Singapore, 387p.
- Fişne A, 2002. Yer altı madenlerinde radon gazı konsantrasyon seviyelerinin belirlenmesi ve işçi sağlığı üzerine etkilerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 22-24s.
- ICRP, 1990. Publication 60. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, in ICRP Publication 60. Pergamon Press Annals of ICRP, Oxford, UK.
- Günay O., 2018 , Determination of Natural Radioactivity and Radiological Effects in some Soil Samples in Beykoz-Istanbul, *European Journal of Science and Technology* No. 12, pp. 9-14, April 2018 ISSN:2148-2683
- Günay, O., Saç, M.M., İçhedef, M. Taşköprü, C., 2018a, Natural radioactivity analysis of soil samples from Ganos fault (GF), *Int. J. Environ. Sci. Technol.* Print ISSN: 1735-1472, Online ISSN, 1735-2630
- Günay, O., Saç, M.M., İçhedef, M. Taşköprü, C., 2018b, Soil gas radon concentrations along the Ganos Fault (GF)", *Arabian Journal of Geoscience* 11:213. Print ISSN: 1866-7538, <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3542-2>
- Kara U., Yıldız M., Akkurt I., 2017a, " Investigation of Radiation Exposure Dose from Nuclear Medicine Procedures (Tc-99m MAG-3)" *ACTA PHYSICA POLONICA A Vol. 132, No.3, p 883-885.* DOI: 10.12693/APhysPolA.132.883
- Kara U., Kaya A., Tekin H.O., Akkurt I., 2017b, "Adult Patient Radiation Doses with Multislice Computed Tomography Exam: MSCT Standard Protocols" *ACTA PHYSICA POLONICA A Vol. 132, No.3, p 1126-1127.* DOI: 10.12693/APhysPolA.132.1126
- Kara U., Kara Y., Akkurt I., 2016a, "A Study on Radiation in Operating Room in Suleyman Demirel University" *ACTA PHYSICA POLONICA A Vol. 129, No.1, p 401-403.* DOI: 10.12693/APhysPolA.129.401
- Kara U., Tekin H.O., Akkurt I., 2016b, " Computed Tomography Routine Examinations and the Related Risk of Cancer" *ACTA PHYSICA POLONICA A Vol. 129, No.1, p 409-4011.* DOI: 10.12693/APhysPolA.129.409
- Kürkçüoğlu M.A. ve Bayraktar G., 2012, Süleyman Demirel Üniversitesi'nde Bina içi Radon Konsantrasyonlarının Nükleer İz Dedektörleri Kullanılarak Belirlenmesi, *SDÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 16-2(2012)167-183
- Kulalı F, Akkurt İ ,2015, Investigation of radon concentrations in Pamukkale-Turkey. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.128.B-445>
- Kulalı F., Tsvetkova T., Akkurt İ., Suiatin B., Nevinsky I., 2014, Simultaneous Measurement of Groundwater Radon in a Large Area: First Results, *Journal of Scientific Research & Reports* 3(18): 2415-2421, 2014; Article no. JSRR.2014.18.004 SCIEDOMAIN international
- Mavi B., Akkurt I., 2010, "Natural radioactivity and radiation hazards in some building materials used in Isparta, Turkey" *Rad. Phys. Chem.* 79-9(2010)933-9doi: 10.1016/j.radphyschem.2010.03.019
- Mnich Z., Karpinska M., Kapala J., Kozak K., Mazur J., Birula A., Antonowicz K., 2004, Radon concentration in hospital buildings erected during the last 40 years in Białystok, Poland *Journal of Environmental Radioactivity* 75 (2004) 225–232
- Özkorucuklu S., Akyıldırım H, Çapalı V., 2006, Isparta İlinde Radon Yoğunluk Ölçümleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(3).
- Seçkiner S., Akkurt, I., Günoglu K., 2017, Determination of 40K concentration in gravel samples from Konyaaltı Beach, Antalya. *Acta Phys. Pol. A.*, Vol 132 (3-II), 1095-1097, doi: 10.12693/APhysPolA.132.1095.
- TAEA, 2010, Environmental Radioactivity Monitoring in Turkey, Technique Report, Ankara 9-14.

Uyanık N.A., Akkurt I., Uyanık O., 2010, A ground radiometric study of uranium, thorium and potassium in Isparta, Turkey, *Ann. of Geophys.* 53, 5-6(2010)25-30 DOI: <https://doi.org/10.4401/ag-4726>

Uyanık N.A., Uyanık O., Akkurt I., 2013, Micro-zoning of the natural radioactivity levels and seismic velocities of potential residential areas in volcanic fields: The case of Isparta (Turkey), *Journal of Applied Geophysics*, Volume 98, 2013, Pages 191-204, ISSN 0926-9851, <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2013.08.020>.

Uyanık N. A., Öncü Z., Uyanık O. , Bozcu M., Akkurt İ., Günoğlu K. And Yağmurlu F., 2015, Distribution of Natural Radioactivity from 40K Radioelement in Volcanics of Sandıklı-Şuhut (Afyon) Area, *Acta Physica Polonica A* 128 (2015) B438-440. DOI: 10.12693/APhysPolA.128.B-438

UNSCEAR, 2000, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and Biological Effects of Ionizing Radiation. United Nations, New York.

Yeğin G., Çam S., Ereeş F.S., 2003, Manisa ili bina içi radon konsantrasyonu tayinleri, VII. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, 15-17 Ekim 2003, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, bildiri tam metni [http://88.255.58.195/internet\\_tarama/dosyalar/cd/4115/pdf/22.pdf](http://88.255.58.195/internet_tarama/dosyalar/cd/4115/pdf/22.pdf)