

## Radon Measurements at S.D.U. Information Center

Vahap KARAKILIÇ<sup>1</sup>, Gökhan BAYRAKTAR<sup>1</sup>, Mehmet Ertan KÜRKCÜOĞLU<sup>1\*</sup>,  
Bülent HANER<sup>2</sup>, Alaattin YILMAZ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel University, Faculty of Arts and Science, Department of Physics / ISPARTA

<sup>2</sup>Zonguldak Karaelmas University, Zonguldak Vocational School, Department of Technical Programs / ZONGULDAK

<sup>3</sup>Zonguldak Karaelmas University, Faculty of Arts and Science, Department of Physics / ZONGULDAK

Received:29.04.02009, Accepted:12.10.2009

**Abstract:** Radon is the only alpha emitting radioactive gas. Inhalation of radon and radon daughters may cause serious health risks. Thus, it is crucial to determine indoor radon concentrations. In this study, radon level measurements have been presented for Prof. Dr. Hasan Gürbüz Information Center, which has 8000 square meters closed area, in Süleyman Demirel University. Measurements were performed by using passive nuclear etched track detectors. For this purpose, CR-39 detectors were placed into 20 measurement points in the Information Center for a 67 days period between December 2008 and February 2009. It was found that the average radon concentration of the center was 188 Bq/m<sup>3</sup>. Furthermore, in three measurement points high radiation levels were recorded, which were higher than the 500 Bq/m<sup>3</sup> that is the lower limit value of ICRP (International Commission on Radiological Protection) for the work places. As a result, annual equivalent dose values for library users, full-time and part-time staff have been calculated as 0,49 mSv/y, 1,97 mSv/y and 0,98 mSv/y respectively. Necessary precautions that might be taken for the locations with high radon levels were also considered.

**Key Words:** Indoor Radon Concentration, Passive Nuclear Etched Track Detectors, Effective Dose

## S.D.Ü. Bilgi Merkezi'nde Radon Ölçümleri

**Özet:** Alfa yayımlayan tek radyoaktif gaz radondur. Radonun ve bozunma ürünlerinin solunması ciddi sağlık riskleri oluşturabilmektedir. Bu nedenle bina içi radon konsantrasyonlarının belirlenmesi gereklidir. Bu çalışmada, 8000 metrekare kapalı alana sahip olan Süleyman Demirel Üniversitesi Prof. Dr. Hasan Gürbüz Bilgi Merkezi için pasif nükleer iz detektörleri kullanılarak elde edilen radon düzeylerine ait ölçümler sunulmaktadır. Bu amaçla CR-39 detektörleri, Bilgi Merkezi'ndeki 20 ölçüm noktasına Aralık 2008 ile Şubat 2009 tarihleri arasında 67 gün süreyle yerleştirilmiştir. Bu merkezdeki ortalama radon konsantrasyonunun 188 Bq/m<sup>3</sup> olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte ölçüm yapılan 3 noktada, ICRP'nin (Uluslararası Radyasyondan Koruma Komitesi'nin) iş yerleri için kabul ettiği alt limit seviyesi olan 500 Bq/m<sup>3</sup> lük değerden yüksek radyasyon değerleri kaydedilmiştir. Sonuç olarak, kütüphane kullanıcılarının, tam ve yarı zamanlı çalışanların sırasıyla 0,49 mSv/yıl, 1,97 mSv/yıl ve 0,98 mSv/yıl değerinde eşdeğer dozlara maruz kalacakları bulunmuş, ayrıca yüksek seviyelerde ölçüm kaydedilen yerlerde alınabilecek önlemler üzerinde durulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Bina içi Radon Konsantrasyonu, Pasif Nükleer İz Detektörleri, Etkin Doz

## Giriş

Günümüzde yaygın olarak radon biçiminde nitelenen <sup>222</sup>Rn (emanon) radyoizotopu için ilk defa 1900 yılında Radium-226'nın saldıgı gaza atfen "radium emanasyonu" tanımlaması kullanılmıştır (George, 2007). Radon en ağır soy gazdır, <sup>228</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>235</sup>U bozunma serilerinden gelen üç doğal radyoizotopa sahiptir. <sup>219</sup>Rn (aktinon), aktinyum serisinin, <sup>220</sup>Rn (toron), toryum serisinin ve <sup>222</sup>Rn ise uranyum bozunma serisinin bir ürünüdür. İnsanların radyasyona maruz kalmaları açısından değerlendirildiğinde, bu üç radyoizotop içerisinde en tehlikelisi <sup>222</sup>Rn dir. Yarılanma ömrü 3,82 gün olan radon 5,48 MeV enerjili bir radyoaktif gazdır. (Yaprak vd., 2003). Radon gazının ana kaynağı yer küredir ve dünya yüzeyinde yaklaşık 100 ton radon bulunduğu bildirilmektedir (Saç ve Camgöz, 2005). Atmosferdeki radon temel olarak dünya yüzeyindeki <sup>226</sup>Ra'nın bozunması sonucu oluşur. Topraktaki bozunmadan kaynaklanan radyasyonun yaklaşık olarak yılda 2 milyar Curie ve yeraltı sularındaki potansiyelin

yıllık 500 milyon Curie civarında olduğu tahmin edilmektedir (George, 2007).

1950'lere dek radonun akciğer kanserine neden olduğu görüşü hakimken 1951 yılında Rochester üniversitesindeki araştırmacılar akciğer kanseri tehlikesinin daha çok radon ürünlerinin yayımladığı alfa radyasyonuna maruz kalınmasından kaynaklanabileceği görüşünü öne sürmüşlerdir. 1988'den itibaren Amerika'da yürütülen epidemiyolojik çalışmalar herhangi bir şüphe bırakmaksızın radon bozunma ürünlerinin akciğer kanserine neden olduğunu ortaya koymuştur (George, 2007). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve U.S.A. Çevre Koruma Ajansı (EPA) radon gazını, A sınıfı kanserojen madde olarak sınıflandırmıştır (Vural, 2004). İngiltere Milli Radyasyondan Korunma Komitesi'nin (NRPB'nin), İngiltere'deki yıllık toplam 41000 akciğer kanserinden en az 2500'ünü radona bağladığı bildirilmektedir (Değerlier, 2007).

\*m.ertan.kurcuoglu@gmail.com

Ortam havasında bulunan radon kimyasal olarak pasif bir gazdır. Uranyum zincirindeki radonun bozunmasıyla oluşan radon ürünleri  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$  radyasyonu yayımlayarak kararlı olan  $^{206}\text{Pb}$  ya kadar bozunur. Kimyasal bakımdan aktif olan radon ürünleri havadaki toz zerreciklerine yapışma eğilimindedir. Radon ve radon ürünlerinin solunması, baş ağrısı veya solunum yetmezliği gibi rahatsızlıklar oluşturmamakla birlikte bu radyoaktif parçacıklar akciğer bronşlarına yerleşerek bozunmaya devam edebilirler. Bu durumda, bozunma sırasında yayımlanan radyasyon canlı dokuları iyonize ederek yaşayan hücrelerin DNA yapılarını değiştirebilir ve kansere yol açabilir (UNSCEAR, 1988). İnsanların cinsiyeti, yaşı ve sigara kullanımı gibi çeşitli faktörlerin radona maruz kalınmasıyla oluşabilecek sağlık riskleri üzerinde etkili olduğu bildirilmektedir (EPA, 2003).

Radon nedeniyle karşı karşıya olduğumuz sağlık risklerinin belirlenebilmesi ve mümkün olabilecek önlemlerin alınabilmesi için yaşadığımız çevredeki radon seviyelerinin bilinmesi gereklidir. Radon gazı, tünel, maden ocağı, mağara, mesken ve iş yeri gibi kapalı alanlarda birikerek yüksek yoğunluklara ulaşabilir. Genelde insanlar zamanlarının büyük bir kısmını kapalı mekanlarda geçirdikleri için yüksek seviyede radon gazına maruz kalmaları önemli bir problem olarak ortaya çıkabilir (TAEK, 2009). Radon bina içine yapı malzemelerinden, binadaki zemin çatlaklarından, duvar çatlaklarından, musluk sularından ve boru çevre boşluğundan girebilmektedir (Akyıldırım, 2005). Kapalı ortamlardaki radon varlığı özel olarak tasarlanmış, aktif veya pasif ölçüm tekniğine dayalı cihazlarla saptanabilmektedir. Maliyeti oldukça düşük ve uzun süreli ölçümler için ortalama bir değer elde etmede çok kullanışlı olan pasif nükleer iz detektörleri ile yapılan çalışmalar literatürde büyük bir yer tutmaktadır (Jönsson, 1997 ve içindeki kaynaklar; Tso ve Leung, 2000; Iyogi vd., 2002; Hafez vd., 2003; George, 2007 ve içindeki kaynaklar; Amin ve Eissa, 2008; Espinosa vd., 2008; Hadler vd., 2008; Hamid Khan ve Chowdhury, 2008; Rahman vd., 2008). Radon gazı seviyesinin belirlenmesine yönelik bu tür çalışmalar için literatürde, nükleer yakıt dönüşüm tesislerinin bulunduğu yerleşim birimlerindeki meskenlerden (Iyogi vd., 2002) Mısır piramitlerine (Hafez vd., 2003) kadar uzanan geniş bir spektrumda değişik amaçlı araştırmalara rastlamak mümkündür. Özellikle Avrupa ülkeleri ve Amerika, radon seviyelerinin belirlenmesi konusundaki çalışmaları sürekli olarak güncelleyerek haritalandırmaktadır. Amerika'daki bina içi ölçümlerinin büyük bir kısmı kısa dönemli aktif cihazlarla gerçekleştirilmesine rağmen Avrupa ve diğer ülkelerde genellikle alfa iz detektörlerinin kullanıldığı uzun dönem ölçümleri tercih edilmektedir. Sadece Amerika'da yılda 1 milyon civarında bina içi radon yoğunluğu ölçümünün yapıldığı bildirilmektedir (George, 2007).

1980'lerin ortasından itibaren Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'nun (TAEK'in) başlattığı Türkiye radon haritasının (Uluğ ve Çelebi, 2004) çıkarılması projesinin ardından ülkemizde yürütülen çalışmalar son 20 yılda ivme kazanmıştır. Özellikle pasif ölçüm tekniğinin ülkemizdeki yaygın bir uygulaması olan, CR-39 alfa iz

detektörlerinin kullanıldığı radon konsantrasyonu ölçümleri için meskenlerde (Kumbur vd., 1997; Selçuk vd., 1998; Gültekin vd., 2003; Uluğ vd., 2004a; Kam vd., 2005; Yazar vd., 2006; Damla vd., 2008; Değerlier ve Çelebi, 2008), mağaralarda (Aytekin vd., 2006), madenlerde (Yener ve Küçüktaş, 1998; Fişne vd., 2004; Fişne vd., 2005; Baldık vd., 2006; Haner vd., 2008; Kürkçüoğlu vd., 2008; Baldık vd., 2009), fay hatlarında (Yaprak vd., 2003; Saç ve Camgöz 2005; Uluğ vd., 2004b), termik santrallerde (Aytekin vd., 2008) ve kütüphanelerde (Çelebi vd., 2003; Kürkçüoğlu vd., 2009) yapılmış çalışmalara rastlamak mümkündür.

Dünya Sağlık Örgütü'nün dünyadaki toplam akciğer kanseri vakalarının %15 ini radona bağladığı ve günlük hayatta farkında olmadan soluduğumuz radon gazının belli bir dozu aşması halinde sigaradan sonra en kanser yapıcı madde olduğu göz önüne alındığında, bilim insanlarının bu konu üzerinde hassasiyetle durması ve yapılan çalışmaların çokluğu anlaşılabilir.

Süleyman Demirel Üniversitesi Bilgi Merkezi'ndeki radon konsantrasyonlarının belirlendiği bu çalışmanın izleyen bölümünde ölçümde kullanılan CR-39 pasif nükleer iz detektörleri hakkında kısaca bilgi verilerek analiz yöntemi anlatılmaktadır. Daha sonra elde edilen bulgularla birlikte Bilgi Merkezi'nde çalışanlar ve kullanıcıların maruz kalacakları yıllık etkin doz eşdeğerleri hesaplanmakta ve sağlık riskleri tartışılarak alınması gereken önlemler sonuç bölümünde tavsiye edilmektedir.

## Materyal ve Metot

Renksiz, tatsız ve kokusuz olan radon gazının yoğunluğu özel olarak tasarlanan cihazlar ile ölçülebilmektedir. Bu çalışmada radon yoğunluğunu ölçmek için kimyasal olarak "allil diglikol karbonat" olarak bilinen plastik tabakalardan yapılmış RSFS tipi pasif nükleer iz detektörleri kullanılmıştır (RADOSYS, 2009). Ticari adı CR-39 olan bu plakalar, elektrostatik korumaya sahip radon ürünlerini filtre ederek yalnız radon gazını geçiren bir plastik kap içerisine konulmuştur (Şekil 1).

Radon gazının yoğunluğu zamanla değişim gösterebildiğinden, konsantrasyonu belirlenecek kapalı mekanın farklı noktalarına uzun süreliğine bırakılan detektörler, bu noktalarda eş zamanlı ölçüm yaparak ilgilenilen binadaki ortalama radon gazı seviyesi için anlık ölçümlere göre daha sağlıklı bir sonucun elde edilmesine imkan sağlamaktadır (Kürkçüoğlu vd., 2009).

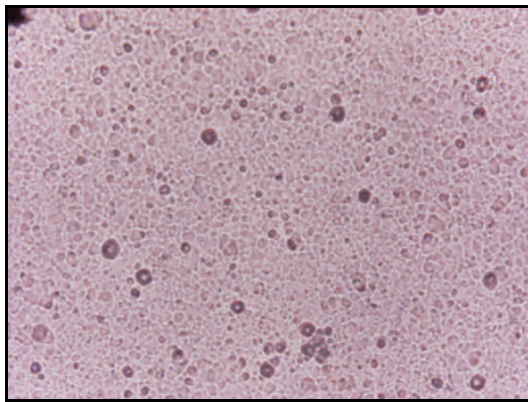


Şekil 1. CR-39 detektörünün yerleştirildiği elektrostatik korumalı difüzyon kabı.

Bilgi Merkezi'ndeki farklı 20 ölçüm noktasına 3 Aralık 2008 tarihinde yerleştirilen detektörler 8 Şubat 2009 tarihine kadar kütüphane içerisinde doğal olarak bulunan radon gazına maruz bırakılmıştır. Bu süre sonunda toplanan detektörler hava almaması için alüminyum folyolar içerisine konularak, folyoların ağzı kapatılmıştır. SANAEM (Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi) Sağlık Fiziki laboratuvarında analiz işlemi için detektör kaplarından çıkarılan film plakaları slaytlara yerleştirilmekte ve plakalar üzerindeki alfa izlerinin belirginleştirilebilmesi için kimyasal iz kazıma işlemi uygulanmaktadır. Bu amaçla kullanılan Radobath haznesi içerisinde %75 saf su ve %25 NaOH içeren bir çözelti hazırlanmaktadır. PH değeri 12,6 olan bu bazik çözelti içerisine yerleştirilen plakalar 90°C de 4 saat boyunca iz kazıma işlemine tabii tutulmaktadır (Kürkçüoğlu vd., 2009). Bu işlem sonunda Radobath haznesine saf su ile asetik asit eklenerek plakalar nötralize edilmekte ve kurumaya bırakılmaktadır. Plakalarda belirgin hale gelen izler (Şekil 2) optik bir sistem olan Radosys ünitesine slayttan çıkarılmadan sisteme verilmektedir. Her slaytta 12 plaka hücresi bulunmaktadır. 1 cm<sup>2</sup> yüzey alanına sahip plakaların yalnızca 46,8 mm<sup>2</sup> lik alanı Radosys sistemi tarafından taranmaktadır (RADOSYS, 2000). Bu tarama işlemi ışık mikroskobuna bağlı bir CCD kamera ile yapılmaktadır. Kameranın elde ettiği görüntü bilgisayara gönderilerek dijital hale getirilmekte ve Radometer 2000 yazılımı kullanılarak iz sayılarının yoğunlukları her bir tabaka için belirlendikten sonra sisteme kayıt edilmektedir (Radosys, 2009). Elde edilen iz sayısı ölçümlerinden yararlanılarak, radon konsantrasyonu

$$\text{Radon konsantrasyonu} = \frac{d \times kf \times 1000}{s} \quad (1)$$

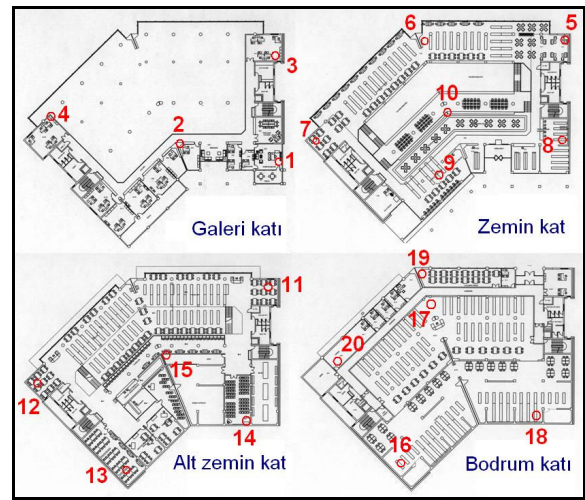
bağıntısı ile hesaplanır (Kürkçüoğlu vd., 2009). Bu denklemdeki, yoğunluk (d), optik sistem tarafından taranan plaka yüzeyi üzerindeki iz sayısından elde edilmektedir, s, saat cinsinden detektörlerin radona maruz kalma süresini göstermektedir. Eşitlik 1'de kullanılan kf, kalibrasyon faktörünün değeri 45,74 (kBq/m<sup>3</sup>)/(iz/saat) olup üretici firma tarafından sağlanmaktadır.



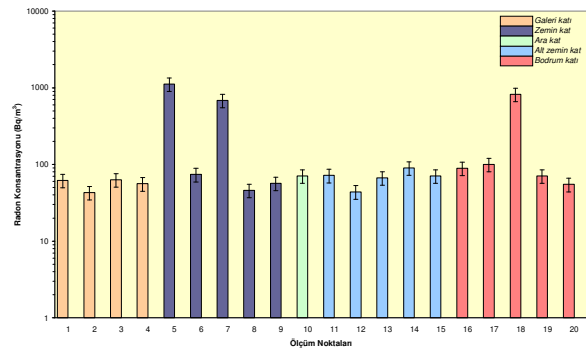
Şekil 2. Allil diglikol karbonat plakanın kimyasal iz kazıma işleminden sonraki hali.

## Bulgular

Süleyman Demirel Üniversitesi Bilgi Merkezi 4 katlı olup, 8000 m<sup>2</sup> lik kapalı alana ve 950 kişilik oturma kapasitesine sahiptir. Birimde 35'i tam zamanlı ve 45'i yarı zamanlı olmak üzere 80 çalışan hizmet vermektedir. Bilgi merkezinden günlük yaklaşık 1100 kullanıcı faydalanmaktadır. Süleyman Demirel Üniversitesi Prof. Dr. Hasan Gürbüz Bilgi Merkezi'ndeki radon gazı seviyelerinin ölçülmesi amacı ile 03.12.2008 tarihinden itibaren 67 gün süreyle bu birimdeki 20 ayrı ölçüm noktasına yerleştirilen CR-39 detektörlerinin konumları Şekil 3'deki krokide gösterilmektedir. SANAEM Sağlık Fiziki Birimi'nde analizi yapılan detektörlerin, Bilgi Merkezi kış dönemi radon yoğunlukları için 43Bq/m<sup>3</sup> ile 1121Bq/m<sup>3</sup> arasında değerler kayıt ettiği ve ortalama radon konsantrasyonunun 188Bq/m<sup>3</sup> olduğu bulunmuştur (Çizelge 1 ve Şekil 4).



Şekil 3. Bilgi Merkezi'nde radon yoğunluğunun ölçüldüğü yerler (Kroki üzerinde numaralandırılmış ölçüm noktalarına karşılık gelen oda isimleri aynı numaralandırma ile Çizelge 1'de verilmektedir).



Şekil 4. Bilgi Merkezi kış dönemi radon seviyeleri (Ölçüm sonuçları, SANAEM Sağlık Fiziki biriminin öngördüğü ± %20 lik hata oranlarıyla birlikte sunulmaktadır. Radon konsantrasyonu eksenini okuma kolaylığı sağlamak için logaritmik ölçekte verilmektedir. Detektörlerin konulduğu yerler Çizelge 1 ve Şekil 3'te gösterilmektedir).



**Çizelge 1.** SDÜ Bilgi Merkezi'ne ait birimlerin radon seviyeleri.

Ölçüm Noktası	Konulandırıldığı Yer	Radon Konsantrasyonu (Bq/m <sup>3</sup> )
1	Galeri Katı Daire Başkanlığı	62
2	Galeri Katı Şube Müdürlüğü	43
3	Galeri Katı Demirbaş Odası	63
4	Galeri Katı Katalog Odası	56
5	Zemin Kat Okuma Salonu 1	1121
6	Zemin Kat Kitap Koleksiyonu (A-F)	74
7	Zemin Kat Okuma Salonu 2	687
8	Zemin Kat Ödünç Verme	46
9	Zemin Kat Referans Koleksiyonu (M/A-Z)	57
10	Ara Kat Bilgisayar Terminali	71
11	Alt Zemin Kat Okuma Salonu 1	72
12	Alt Zemin Kat Okuma Salonu 2	44
13	Alt Zemin Kat Çalışma Salonu	67
14	Alt Zemin Kat Konferans Salonu	90
15	Alt Zemin Kat Multimedya Odası	71
16	Bodrum Kat Kitap Koleksiyonu (P)	89
17	Bodrum Kat Kitap Koleksiyonu (Q-Z)	100
18	Bodrum Kat Özel Koleksiyon	824
19	Bodrum Kat 24 Saat Çalışma Salonu	71
20	Bodrum Kat Cilt Odası	55
Ortalama Konsantrasyon		188

İşyerleri ve meskenlerdeki kabul edilebilecek radon gazı yoğunluğunun limit değerleri için ülkeler ve ilgili uluslararası kuruluşlar çeşitli seviyeler belirlemiştir. Tavsiye edilen limit seviyesi ve müdahale edilmesi gereken üst limit seviyesi ICRP'ye göre sırasıyla, evler için 200-600 Bq/m<sup>3</sup> ve işyerleri için 500-1500 Bq/m<sup>3</sup> değerlerinde olup (ICRP, 1993) ülkemizde ise TAEK'in sınır değerleri, meskenler için 400 Bq/m<sup>3</sup> ve işyerlerinde 1000 Bq/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir (TAEK, 2000). Bir kütüphanenin iş yeri olarak değerlendirilmesinin ne ölçüde uygun olacağını tartışmasına girilmeksizin Bilgi Merkezi'ndeki ölçümler sınır değerleri açısından incelendiğinde; bodrum kat özel koleksiyonun bulunduğu oda ile zemin kat 1 ve 2 numaralı okuma salonlarında sırasıyla 824 Bq/m<sup>3</sup>, 1121 Bq/m<sup>3</sup> ve 687 Bq/m<sup>3</sup> lük yüksek konsantrasyonların tespit edildiği görülmektedir. Bu üç ölçüm noktasındaki radon yoğunlukları ICRP'nin işyerleri için belirlediği alt limit değerini aşmakta ve hatta 5 no'lu detektörün yerleştirildiği zemin kat 1 no'lu okuma salonundaki konsantrasyon TAEK'in 1000 Bq/m<sup>3</sup> lük sınır değerinin üzerine çıkmaktadır.

5, 7 ve 18. ölçüm noktalarında elde edilen, ortalamanın çok üzerindeki bu konsantrasyonlar bir kenara bırakıldığında, birimde ölçüm yapılan diğer 17 istasyon için genel olarak radon yoğunluklarının 50 ile 100 Bq/m<sup>3</sup> arası değerlerde olduğu ve Bilgi Merkezi'ndeki radon konsantrasyonunun kat yüksekliği ile

$$RAC = 86,2 - 7,8K \quad (2)$$

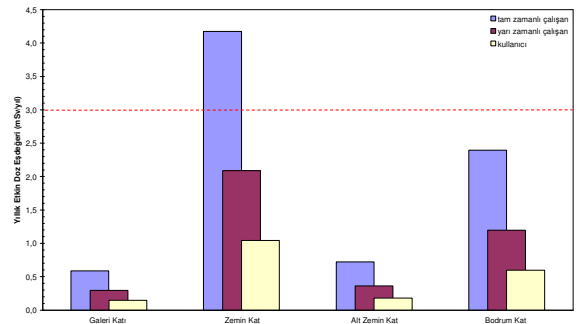
şeklinde doğrusal bir bağıntı ile değiştiği yaklaşımla yapılabilir. Burada ve RAC, Bq/m<sup>3</sup> cinsinden radon konsantrasyonunu ve K, bodrum kat seviyesi için 1

değerinden başlayarak galeri katı için 4 değeri ile son bulan kat seviyesi çarpanını göstermektedir.

Yıllık etkin doz eşdeğeri, insanların farklı radyasyon kaynaklarından yayımlanan ışınlarla maruz kalmak suretiyle bir yıl süresince alacağı radyasyon dozu olarak tanımlanmaktadır. Bilgi Merkezi çalışanları ve kullanıcıların maruz kaldıkları alfa radyasyonunun belirlenmesi için ölçümlerin aritmetik ortalaması olan 188Bq/m<sup>3</sup> lük radon konsantrasyonundan yola çıkılarak yıllık etkin doz hesaplamaları UNSCEAR, 1993 ve UNSCEAR, 2000'de verilen modellere göre yapılmıştır. Yıllık etkin doz eşdeğerleri, (YEDE);

$$YEDE = RAC \times F \times EEC \times BMF \times 8760 \text{ (saat/yıl)} \quad (3)$$

formülü ile hesaplanmıştır. Bu bağıntıda RAC, Bq/m<sup>3</sup> cinsinden radon konsantrasyonunu, F ise radon ile bozunma ürünleri arasındaki denge faktörünü göstermektedir ve 0,4 değerinde alınmıştır (Değerler ve Çelebi, 2008). Eşitlik 3'deki EEC faktörü  $9,0 \times 10^{-9}$  (Sv/saat) (Bq/m<sup>3</sup>) değerinde olup (UNSCEAR, 1993), kütüphanedeki tam zamanlı çalışanların günde ortalama 8 saat boyunca, yarı zamanlı çalışanların 4 saat boyunca ve kullanıcıların 2 saat boyunca bina içinde buldukları varsayılarak elde edilen bina içi meşguliyet faktörü (BMF) değerleri yıllık etkin doz eşdeğerleri hesaplamalarında kullanılmıştır. Buna göre yıllık etkin doz miktarları; Bilgi Merkezi'nde tam zamanlı çalışanlar için, 1,97 mSv/yıl, yarı zamanlı çalışanlar için, 0,98 mSv/yıl ve kütüphane kullanıcıları için 0,49 mSv/yıl olarak bulunmuştur. Ayrıca (Eşitlik 3'deki radon konsantrasyonu değeri için kat ortalamaları göz önüne alınarak hesaplanan) kullanıcıların ve çalışanların her bir katta alacakları yıllık doz değerleri Şekil 5 ile gösterilmektedir.



**Şekil 5.** Katlara göre radon nedeniyle alınan yıllık ortalama dozlar (ICRP'nin alt müdahale seviyesi olan 3mSv/yıl'lık dozun zemin katta tam zamanlı çalışanlar için aşıldığı görülmektedir. Bu duruma 5 ve 7 nolu ölçüm noktalarında tespit edilen yüksek radon konsantrasyonları neden olmaktadır).

Uluslararası Radyasyondan Koruma Komitesi'nin radon ve radon ürünlerinin solunmasının insan sağlığı üzerine etkilerini inceleyerek "Evde ve İşyerlerinde <sup>222</sup>Rn'ye Karşı Korunma" konusunda yayınladığı 65 nolu rapora göre, radona maruz kalma sınırlandırılmış ve yıllık etkin

doz için 3–10 mSv aralığının müdahale seviyesi olarak kabul edilmesi uygun görülmüştür (ICRP, 1993).

## Tartışma ve Sonuç

TAEK'in meskenlerde yürütmekte olduğu radon seviyesi tarama çalışmalarına göre Isparta'nın, Türkiye'deki incelenen diğer iller içerisinde en yüksek konsantrasyona sahip üç şehirden birisi olduğu bilinmektedir. Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Prof. Dr. Hasan Gürbüz Bilgi Merkezi'ndeki radon seviyesinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Birimdeki 20 salona yerleştirilen CR-39 detektörleri ile 3 Aralık 2008 ve 8 Şubat 2009 tarihleri arasında bina içi radon konsantrasyonları ölçülmüştür.

Betonarme tarzda inşaa edilmiş Bilgi Merkezi'ndeki ortalama radon konsantrasyonunun kış dönemi için 188 Bq/m<sup>3</sup> olduğu saptanmıştır. Bu değer, ICRP ve TAEK'in öngördüğü sınır değerlerinden daha küçüktür. Otomatik havalandırma sistemine ve çift camlı pvc pencerelere sahip olan Bilgi Merkezi'nin ölçüm yapılan birimlerindeki radon yoğunluklarından hareketle çalışanlar ve kullanıcıların alacakları yıllık etkin doz eşdeğerleri hesaplanmıştır. Kütüphane genelinde; kullanıcıların 0,49 mSv/yıl, yarı zamanlı çalışanların 0,98 mSv/yıl ve tam zamanlı çalışanların ise 1,97 mSv/yıl değerinde doza maruz kaldıkları belirlenmiştir. ICRP-65 raporunda maruz kalınan yıllık etkin dozun 3-10 mSv arasında sınırlandırıldığı göz önüne alındığında SDÜ Prof. Dr. Hasan Gürbüz Bilgi Merkezi için hesaplanan yıllık etkin doz değerlerinin bu sınırlar altında kaldığı söylenebilir.

Bununla birlikte, kütüphanede bodrum kat özel koleksiyonun bulunduğu odada 824 Bq/m<sup>3</sup>, zemin kat 1 numaralı okuma salonunda 1121 Bq/m<sup>3</sup> ve zemin kat 2 numaralı okuma salonunda 687 Bq/m<sup>3</sup> değerindeki yüksek radon yoğunluklarının gözlenmesi dikkat çekicidir. Bu salonlardaki yüksek radon konsantrasyonlarının nedenleri araştırılmalı, kullanıcılar ve çalışanlar açısından bir sağlık riski oluşturmaması için radon seviyesini düşürücü önlemler ivedilikle alınmalıdır. Havalandırması yetersiz olan kapalı ortamlarda radon gazı birikimi nedeniyle konsantrasyon artmaktadır. Dolayısıyla Bilgi Merkezi'ndeki havalandırmanın yanısıra bu 3 salonun havalandırmasına ayrıca özen gösterilmeli, havalandırma süresi ve gerekiyorsa havalandırma miktarı artırılmalıdır. Bu salonların duvarları incelenmeli, radonun duvarlardan sızabileceği açıklıklar kapatılmalıdır. Bununla birlikte, toprakla teması bulunan zeminlerin izolasyonunun kontrol edilerek gerekiyorsa iyileştirilmesi de tavsiye edilebilir. Süleyman Demirel Üniversitesi'nin üzerinde bulunduğu yörenin zemin ve temel etüdü raporları incelendiğinde; bölgede kumtaşı ve şeylerden oluşan formasyonlar, radyolarit, kireçtaşı, bazalt, split, kiltası, siltaşı, tüf üyesi, volkanit üyesi, pomza, yamaç molozu, ile çakıl, kum ve çamur birikintilerinden meydana gelmiş alüvyonlar gibi birimler olduğu görülmektedir. Kampüse doğru gelindikçe alüvyon miktarının artması ve Bilgi Merkezi'nin hemen yakınında Gölcük volkanitleri olarak

tanımlanan Gölcük Formasyonu'nun bulunması ile bölgenin radyolojik davranışı arasındaki ilişki araştırılmalıdır. Gerekli önlemler alındıktan sonra, kütüphanede yeni ölçümler yapılarak yüksek konsantrasyona sahip salonlardaki iyileşme kontrol edilmelidir.

Yüksek radon seviyesine sahip olan bu üç salon dışında, SDÜ Prof. Dr. Hasan Gürbüz Bilgi Merkezi içerisinde radon yoğunluğunun yükseklikle doğrusal bir biçimde azalma eğiliminde olduğu ortaya konmuştur.

## Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan CR-39 detektörleri Zonguldak Karaelmas Üniversitesi 2006-70-01-01 nolu projesinden sağlanmıştır. Yazarlar, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi'ne ve detektör analizleri için TAEK SANAEM Sağlık Fiziği Birimi elemanlarına teşekkür eder.

## Kaynaklar

- Akyıldırım, H. 2005. Isparta İlinde Radon Yoğunluğunun Ölçülmesi ve Haritalandırılması. Yüksek Lisans Tezi, SDÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 53s.
- Amin, R.M., Eissa, M.F. 2008. Radon Level and Radon Effective Dose Rate Determination Using SSNTDs in Sannur Cave Eastern Desert of Egypt. Environ Monit Assess, 143, 59-65.
- Aytekin, H., Baldık, R., Çelebi, N., Ataksor, B., Taşdelen, M., Kopuz, G. 2006. Radon Measurements in the Caves of Zonguldak (Turkey). Radiation Protection Dosimetry, 118, 117-122.
- Aytekin, H., Bayata, S., Baldık, R., Çelebi, N. 2008. Radon Measurement in the Çatalağzı Thermal Power Plant, Turkey. Radiation Protection Dosimetry, 128 (2), 251-253.
- Baldık, R., Aytekin, H., Çelebi, N. 2009. Radon Fluctuations in the Armutçuk Coal Mine, Turkey. Fresenius Environmental Bulletin, 18 (1), 87-91.
- Baldık, R., Aytekin, H., Çelebi, N., Ataksor, B., Taşdelen, M. 2006. Radon Concentration Measurements in the Amasra Coal Mine, Turkey, Radiation Protection Dosimetry, 118(1), 122-125.
- 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/33.pdf](http://88.255.58.195/internet_tarama/dosyalar/cd/4115/pdf/33.pdf) (Erişim tarihi: 29.03.2009).

- Damla, N., Çevik, U., Kobya, A.İ., Ataksor, B., Işık, Ü. 2008. Environmental Monitoring and Assessment. <http://www.springerlink.com/content/r73737871n273ngk/> (Erişim tarihi: 22.04.2009).
- Değerlier, M. 2007. Adana İli ve Çevresinin Çevresel Doğal Radyoaktivitesinin Saptanması ve Doğal Radyasyonların Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Bulunması. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 40s.
- Değerlier, M., Çelebi, N. 2008. Indoor Radon Concentrations in Adana, Turkey, Radiation Protection Dosimetry, 131(2), 259-264.
- EPA 2003. EPA Assessment of Risks from Radon in Homes, EPA Document EPA 402-R-03-003 <http://www.epa.gov/radon/pdfs/402-r-03-003.pdf> (Erişim tarihi: 17.08.2009).
- Espinosa, G., Golarri, J.I., Bogard, J., Gaso, I., Ponciano, G., Mena, M., Segovia, N. 2008. Indoor Radon Measurements in Mexico City, Radiation Measurements 43, 431-434.
- Fişne, A., Otken, G., Çelebi, N. 2004. Türkiye Taş Kömürü Kurumu (TTK) Yeraltı Maden Ocaklarında Radon Gazı Yayılımının İncelenmesi. Türkiye 14. Kömür Kongresi Bildirileri Kitabı, 02-04 Haziran 2004, Zonguldak, 193-201.
- Fişne, A., Otken, G., Çelebi, N. 2005. Radon Concentration Measurements in Bituminous Coal Mines, Radiation Protection Dosimetry, 113(2), 173-177.
- George, A.C. 2007. World History of Radon Research and Measurement from the Early 1900's to Today. [http://www.crcpd.org/radon/Radon\\_Bulletin/November07RB.pdf](http://www.crcpd.org/radon/Radon_Bulletin/November07RB.pdf) (Erişim tarihi: 29.03.2009).
- Gültekin, Y., Çam, S., Ereeş, F.S. 2003. Manisa İli Bina İçi 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/222.pdf](http://88.255.58.195/internet_tarama/dosyalar/cd/4115/pdf/222.pdf) (Erişim tarihi: 29.03.2009).
- Hadler, J.C., Neman, R.S., Iunes, P.J., Pereira, O.L.S., Paulo, S.R. 2008. Indoor Radon and Radon Progeny Survey at Campinas-Brazil Using CR-39: Final Results. Radiation Measurements, 43, 440-444.
- Hafez, A.F., Bishara, A.A., Kotb, M.A., Hussein, A.S. 2003. Regular Radon Activity Concentration and Effective Dose Measurements inside the Great Pyramid with Passive Nuclear Track Detectors, Health Physics, 85(2), 210-215.
- Hamid Khan, M.A., Chowdhury, M.S. 2008. Radon Measurements in Some Areas in Bangladesh. Radiation Measurements 43, 410-413.
- Haner, B., Yılmaz, A., Kürkçüoğlu, M.E. 2008, Batı Karadeniz Bölgesi Karbonifer Penceresinde Bulunan Ocaklardaki Radon Konsantrasyonlarının Diğer Ortam Parametreleri Açısından İncelenmesi, Türk Fizik Derneği 25. Uluslar arası Fizik Kongresi, 25-29 Ağustos 2008, Bodrum, Özet Kitabı, 540.
- ICRP, 1993. Annual Report of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication, No.65, Ann. ICRP (Oxford:Pergamon).
- Iyogi, T., Ueda, S., Hisamatsu, S., Kondo, K., Haruta, H., Katagiri, H., Kurabayashi, M., Nakamura, Y., Tsuji, N. 2002. Environmental Gamma-Ray Dose Rate in Aomori Prefecture, Japan, Health Physics, 82(4), 521-526.
- Jönsson, G. 1997. Indoor Radon Surveys. Pp. 157-176. In. S.A. Durani, and R. Ilic (Editors). Radon Measurements by Etched Track Detectors: Applications in Radiation, Earth Sciences and Environment. World Scientific, Singapore, 387 pp.
- Kam, E., Yarar, Y., Çelebi, N., Karahan, G., Özüağ, C. 2005. Tekirdağ İli Gama Işınlama Dozlarının ve Ev- İçi Radon Konsantrasyonlarının Belirlenmesi, Türk Fizik Derneği, 22. Fizik Kongresi, 14-17 Eylül 2004, Bodrum, Özet Kitabı, 143.
- Kumbur, H., Zeren, O., Köksal, M., Özçınar, B. 1997. İçel'de Evlerde Radon Düzeylerinin Araştırılması, Ekoloji, 25, 25-31. <http://www.ekoloji.org.tr/resimler/25-8.pdf> (Erişim tarihi: 29.03.09).
- Kürkçüoğlu, M.E., Haner, B., Yılmaz, A. 2008. Batı Karadeniz Taşkömürü Ocaklarında Kış Mevsimi Radon Konsantrasyonu Ölçümleri, Türk Fizik Derneği 25. Uluslar arası Fizik Kongresi, 25-29 Ağustos 2008, Bodrum, Özet Kitabı, 541.
- Kürkçüoğlu, M.E., Haner, B., Yılmaz, A., Toroğlu, İ. 2009. Karaelmas Yerleşkesi Merkez Kütüphanesi Radon Ölçümleri, SDÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi (E-Dergi), 4(2), 177-188.
- Rahman, S.U., Anwar, J., and Matiullah. 2008. Measurement of Indoor Radon Concentration Levels in Islamabad, Pakistan, Radiation Measurements 43, 401-404.

- RADOSYS, 2000 User's Manuel (revised at 07/25/01).
- RADOSYS, 2009. Komple Radon Ölçüm Seti ve Dedektörler. <http://www.radosys.com/products.html> (Erişim tarihi: 17.08.2009).
- Saç, M.M., Camgöz, B. 2005. İzmir'de Sismik Aktiviteler ile Radon Konsantrasyonları Arasındaki Korelasyonun İncelenmesi, DEÜ Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, 7 (3), 47-54.
- Selçuk, A.B., Yavuz, H., Köksal, E.M., Özçınar, B. 1998. Radon Concentration in Elazığ Houses and Factories Radiation Protection Dosimetry, 77 (3), 211-212.
- TAEK, 2009. Doğal Radyasyon Kaynakları. [http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi\\_maddeler/doga\\_lrad.html](http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/doga_lrad.html) (Erişim tarihi:29.03.09).
- TAEK, 2000. Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği. Resmi Gazete, No: 23999.
- Tso, M.Y., Leung, J. K. 2000. Population Dose Due To Natural Radiation in Hong Kong, Health Physics, 78(5), 555-558.
- Uluğ, A., Çelebi, N. 2004. Evimizdeki Görünmeyen Tehlike Radon Gazı: Türkiye Değerleri ve Diğer Ülkelerle Karşılaştırılması Türk Fizik Derneği, 22. Fizik Kongresi, 14-17 Eylül 2004, Bodrum, Özet Kitabı, 383.
- Uluğ, A., Karabulut, M.T., Çelebi, N. 2004a. Radon Measurement with CR-39 Track Detectors at Specific Locations in Turkey. Nuclear Technology and Radiation Protection, 19 (1) 46-49.
- Uluğ, A., Kılıç, D., Çelebi, N. 2004b. Batı Anadolu Fay Hattında Yer Alan Burdur İlinin Ev İçi Radon Ölçümleri, Türk Fizik Derneği, 22. Fizik Kongresi, 14-17 Eylül 2004, Bodrum, Özet Kitabı, 376.
- UNSCEAR, 1988. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation.
- UNSCEAR Report, 1993. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radioation Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiations. (New York: United Nations Publications.
- UNSCEAR Report, 2000. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radioation Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiations. (New York: United Nations Publications.
- Vural, S.M. 2004. Yapı İçi Hava Niteliği Risk Süreci Modeli Belirlenmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 22s.
- Yaprak, G., Candan, O., Gür, F., Batmaz, İ., Camgöz, B. 2003. Aktif Gediz Grabeninde Yeralan Alaşehir/Manisa Yöresinde Tektonik Aktiviteye Dayalı Radon Anomalilerinin İncelenmesi, VIII. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, 15-17 Ekim 2003, Kayseri [http://kutuphane.taek.gov.tr/internet\\_tarama/dosyalar/cd/4115/pdf/202.pdf](http://kutuphane.taek.gov.tr/internet_tarama/dosyalar/cd/4115/pdf/202.pdf) (Erişim tarihi: 29.03.09).
- Yarar, Y., Günaydi, T., Çelebi, N. 2006. Determination of Radon Concentrations of the Dikili Geothermal Area in Western Turkey, Radiation Protection Dosimetry, 118(1), 78-81.
- Yener, G., Küçüktaş, E. 1998. Concentrations of Radon and Decay Products in Various Underground Mines in Western Turkey and Total Effective Dose Equivalents, Analyst, 123, 31-34.