

KARAEKMAS YERLEŞKESİ MERKEZ KÜTÜPHANESİ RADON ÖLÇÜMLERİ

Mehmet Ertan KÜRKCÜOĞLU^{*,}, Bülent HANER^{**}, Alaattin YILMAZ^{***}, İhsan TOROĞLU^{****}**

*Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Isparta, TÜRKİYE e-mail: mekurk@fef.sdu.edu.tr

**Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak Meslek Yüksekokulu, Teknik Programlar Bölümü, Zonguldak, TÜRKİYE

***Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Zonguldak, TÜRKİYE

****Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, TÜRKİYE

Alınış: 10 Mart 2009, Kabul: 4 Ekim 2009

Özet: Bina içindeki doğal radyoaktivitenin başlıca sorumlusu radondur. Radon solunması yoluyla radyasyona maruz kalan kişilerin aldığı dozların hesaplanabilmesi için bina içi radon konsantrasyonunun belirlenmesi önemlidir. Bu çalışmada, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Merkez Kütüphanesi'nin 12 ayrı noktasına CR-39 pasif nükleer iz detektörleri yerleştirilerek 2008 yılı yaz mevsimine ait radon konsantrasyonları ölçülmüştür. Merkez Kütüphanedeki ortalama radon konsantrasyonunun 67.1 Bq/m^3 olduğu bulunmuştur. Zemin kattaki yeni çalışma salonunda TAEK'in kapalı mekanlar için belirlediği 400 Bq/m^3 lük alt sınır değerinden daha yüksek bir konsantrasyon saptanmış, kullanıcılar ve özellikle de kütüphane çalışanları açısından riskli olabilecek bu durum karşısında alınması gereken koruyucu önlemler bildirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Radon, bina içi radon konsantrasyonu, CR-39.

RADON MEASUREMENTS OF KARAEKMAS CAMPUS CENTRAL LIBRARY

Abstract: Radon is the major part of the natural indoor radioactivity. It is important to determine the indoor radon concentration for calculating the exposed radiation doses due to radon inhalation. In this study, the radon concentrations were measured in 2008 summer term at Zonguldak Karaelmas University Central Library by using CR-39 passive nuclear track detectors which were located on 12 different points in the library. It was found that, the average radon concentration on the Central Library was 67.1 Bq/m^3 . It was recorded that a radon concentration value at the new study room on the ground-floor was higher than 400 Bq/m^3 , TAEK's lower limit value for indoors. This may be a health risk for the library users and especially for the staff. Therefore, necessary precautions that must be taken have been stated.

Key words: Radon, indoor radon concentration, CR-39.

GİRİŞ

Canlılar yaşamları süresince çevrelerindeki radyasyona maruz kalırlar. Radyasyon, madde üzerinde ve aynı zamanda canlı hücrelerinde meydana getirdiği etkilere göre; iyonlaştırıcı radyasyon (X-ışınları, gama ışınları, alfa, beta radyasyonları, kozmik ışınlar, nötronlar v.b.) ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon (ultraviyole, kızılötesi, radyo dalgaları, mikrodalgalar v.b.) olmak üzere sınıflandırılabilir. Radyasyon kaynakları ise kozmik ışınlar, yer kabuğunda bulunan radyonüklidler, su ve kimi gıdalar gibi doğal veya tamamen yapay olabilmektedir. Dünya genelinde yapay radyasyon kaynaklarından alınan doz toplam maruz kalınan dozun yaklaşık %15 ini, doğal radyasyon kaynaklarından alınan doz ise % 85 ini oluşturmaktadır (dünya genelinde doğal radyasyon nedeniyle kişi başı yıllık maruz kalınan doz 2.4 mSv (mili Sievert) civarındadır) (TAEK 2008a). Doğal radyasyon kaynaklarından dolayı canlı organizmaların maruz kaldığı radyasyon dozları içerisinde radonun payı ise % 49 ile ilk sırada gelmektedir (TAEK 2008a). Gerek doğal gerekse yapay kaynaklardan dolayı, canlıların maruz kaldığı radyasyona ilave olarak alacağı her doz, alınan ek doz miktarına göre farklı derecelerde sağlık riskleri oluşturabilir. Binalarda radonun solunmasıyla alınan dozların diğer doğal kaynaklardan alınan dozlardan daha fazla olması (ÇELEBİ vd. 2003), bina içi ortamlarda radon gazının birikerek yüksek yoğunluklara ulaşabilmesi (GÜLTEKİN vd. 2003) ve bu ek radyasyona maruz kalan risk altındaki insanların risk düzeylerinin incelenebilmesi amacıyla bina içi radon konsantrasyonunun bilinmesi önem taşımaktadır.

Radonun reaktivitesi zayıftır ve dokulardaki çözünürlüğü de düşüktür. Akciğerlere alınan radonun bir kısmı solunum ile dışarı atılabilir. Böyle olmakla birlikte, radon ve bozunma ürünleri akciğer ve üst solunum yolu organlarında önemli tehlikeler oluşturabilmektedir (DEĞERLİER 2007a). Radonun bozunma ürünleri havadaki toz ve diğer parçacıklara tutunarak solunum yoluyla kolayca alınabilirler ve üst solunum yollarına tutunan bu ürünler kararlı hale gelene dek radyasyon salınımı yaparak bozunmaya devam ederler. Bu parçacıkların bozunma suresi boyunca ortaya çıkan enerji akciğer dokusunda önemli hasarlara neden olabilir. Dahası akciğer kanseri bakımından radon gazının atmosferi kirleten tüm unsurlar içerisinde en tehlikelilerden biri olduğu da bildirilmektedir (GÜLTEKİN vd. 2003). Araştırmalar uzun süre radyasyona maruz kalmanın akciğer kanserine yakalanma riskini arttığını göstermiştir (PLANINIC 2002). Dünya genelinde radon nedeniyle kişi başına alınan yıllık doz ortalaması 1.3 mSv seviyesindedir (IAEA 1996). Radyasyonun canlılarda oluşturduğu biyolojik etkiler; maruz kalınan toplam doz, bu dozu alma süresi, radyasyona maruz kalan organ veya bölge gibi başlıca unsurlarla birlikte diğer birçok faktöre de bağlıdır (FİŞNE 2002). Yüksek seviyelerdeki radon gazının, özellikle madencilik alanında çalışanlar için önemli sağlık riskleri oluşturabileceği çeşitli çalışmalarda vurgulanmıştır (HEWSON & RALPH 1994, SINGH 2001, FİŞNE vd. 2005, BALDIK vd. 2006). Bununla birlikte, evlerde ve işyerlerinde sağlık açısından tehlikeli seviyelere ulaşma olasılığı bulunan bina içi radon konsantrasyonlarının da belirlenmesi gereklidir.

Yerküredeki toprak ve kayalar farklı seviyelerde uranyum ve radyum içermektedir (DURRANI & ILIC 1997a, GÜLTEKİN vd. 2003). Böylelikle radon gazı ve bozunma ürünleri (bu radyoaktif elementlerin katmanlar arasındaki boşluklardan hava vasıtasıyla ve radyoaktif maddelerle temas halinde bulunan yer altı sularının yüzeye çıkışı esnasında su ile taşınması sonucu) atmosfere yayılmaktadır. Bir binanın kurulu olduğu

bölgenin altında bulunan uranyum içerikli toprak ve kaya yapısı genellikle bina içindeki radonun başlıca kaynağıdır. Uranyum içeren pek çok farklı tür kaya mevcuttur, fakat bunun önemli bir radon kaynağı sayılabilmesi için uranyum konsantrasyonunun 50 ppm değerinden yüksek olması gerekir (DURRANI & ILIC 1997a). Radonun kapalı bir mekana giriş mekanizmaları arasında; toprak içerisindeki radon gazının binanın temelindeki boşluklardan ve çatlaklardan bina içine sızması, toprak gazının bina civarında birikerek basınç ve sıcaklık farklılıkları nedeniyle açık pencere ve kapılardan bina içine girmesi, bina içindeki kullanma suyu vasıtasıyla ortama radon taşınması ve bina yapımında kullanılan malzemeler nedeniyle radon dış solumasının oluşması sayılabilir (GÜLTEKİN vd. 2003).

Bina içindeki radon kaynaklarından en önemlilerinden birisi de bina yapımında kullanılan malzemedir. Tüm bina malzemeleri ^{238}U içerir ve sonuç olarak bunlar da potansiyel radon yayımlayıcıları (DURRANI & ILIC 1997b) olup bazı malzemeler daha yüksek ^{238}U ve ^{226}Ra konsantrasyonuna sahiptirler. Bu hem doğal hem de yapay malzemeler için geçerlidir. Gama-Işını ölçümleri ile, bina duvarlarının önemli bir radon yayımlama potansiyeline sahip olduklarını gösterilmiştir (DURRANI & ILIC 1997b). Ayrıca, binanın tasarımı, binanın kullanım şekli (havalandırma biçimi ve hava dolaşım sıklığı) ve topraktaki radon hareketini etkileyen parametreler gibi çeşitli faktörlerin de kapalı bir ortamdaki radon konsantrasyonu üzerinde etkili olduğu bildirilmiştir (ÇELEBİ vd. 2003).

Genelde insanlar zamanlarının büyük bir kısmını kapalı alanlarda geçirdiğinden maruz kalınan radon seviyesinin ölçülmesi önemlidir. Ülkemizde kapalı ortamlarda radon ölçümlerinin yapıldığı ve insanların bu tür kapalı ortamlarda maruz kaldığı radyasyonun belirlendiği çalışmalar Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) tarafından 1984 yılından beri yürütülmektedir (TAEK 2008b). Ölçülen radon gazı konsantrasyon seviyelerinin belirlenmiş limit değerlerini aşması durumunda, gazın bina içine giriş mekanizmalarının ortaya çıkarılarak uygun koruyucu önlemlerin alınması tavsiye edilmektedir (TAEK 2008a). Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Merkez Kütüphanesi'nin 2008 yılı yaz mevsimine ait ortalama radon konsantrasyonunun belirlendiği bu çalışmada, radon ve maruz kalınan dozların sınır değerleri hakkında kısa bir bilgi verildikten sonra CR-39 detektörleri ile radon konsantrasyonunun ölçüm tekniği tanıtılmakta, üçüncü bölümde ise kütüphane havasındaki radon konsantrasyonlarına ait elde edilen ölçüm sonuçları sergilenmekte ve çalışanlar ile kullanıcıların maruz kaldığı dozlar açısından sonuçlar tartışılarak alınabilecek koruyucu önlemler değerlendirilmektedir.

MATERYAL ve METOT

Radon

Yeryüzünde 100 ton civarında olduğu bildirilen radon doğada az bulunan radyoaktif bir gazdır (SAÇ & CAMGÖZ 2005). Renksiz, kokusuz, tatsız, 86 atom numarası ile periyodik cetvelin soy gazlar sınıfının en ağır elementi olan radon, doğada varolan üç temel radyoaktif bozunma serisinin tek gaz ürünüdür (Uranyum-238, Toryum-232 ve Uranyum-235 bozunma serileri için sırasıyla ^{222}Rn (emanon), ^{220}Rn (toron) ve ^{219}Rn (aktinon) izotoplarına sahiptir). ^{220}Rn ve ^{219}Rn radyoizotoplarının yarı ömürleri çok

kısa olduğundan (sırasıyla 55.6 sn ve 3.96 sn), bu gazların ortam havasına karışarak oluşturabilecekleri konsantrasyonlar düşüktür (EVANS 1968). Dolayısı ile radon, büyük çoğunlukla kaya, toprak ve sudaki doğal uranyumun radyoaktif bozunma serisindeki 1600 yıl yarı ömürlü ve bir alfa yayımlayıcısı olan radyumun (^{226}Ra) bozunması sonucu etkili olmaktadır (ÇELEBİ 1995). ^{222}Rn izotopunun yarı ömrü 3.82 gün olmasına rağmen radon gazı kısa yarı ömürlü dört radyoaktif izotopa (Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214) bozunabilmektedir (EVANS 1968). Yerkabuğundan taşınarak gelen ve yapı malzemelerinin bileşiminde mevcut olan radon ve radonun bozunma ürünleri bina içindeki radyasyonun ana kaynağıdır (ÇELEBİ vd. 2003, GÜLTEKİN vd. 2003, DURRANI & ILIC 1997a, DURRANI & ILIC 1997b).

Radyasyon Birimleri ve Sınır Değerler

Radyasyon çalışmalarında; aktivite, ışınlanma, soğrulmuş doz ve eşdeğer doz kavramları için kullanılan özel birimler Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonu (ICRU) tarafından 1971 yılından sonra Uluslararası Birimler Sistemi'ne (SI sistemine) göre yeniden tanımlanmıştır (AKYILDIRIM 2005a). Kimi kaynaklarda eski birimlerin kullanımına rastlamak mümkündür. Tablo 1'de eski ve yeni radyasyon birimleri ile dönüşüm faktörleri gösterilmektedir.

Tablo 1. Eski ve yeni radyasyon birimleri ile dönüşümleri.

	SI Sistemine göre Birim ve Sembolü	Eski Sisteme göre Birim ve Sembolü	Dönüştürme Bağıntısı
Aktivite	Becquerel (Bq)	Curie (Ci)	$1 \text{ Bq} = 2.703 \times 10^{-11} \text{ Ci}$
Işınlanma	Röntgen (R)	Röntgen (R)	$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$
Soğrulmuş Doz	Gray (Gy)	Rad (rad)	$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$
Eşdeğer Doz	Sievert (Sv)	Rem (rem)	$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$

Radyoaktif bir madde bozunma mekanizması sonucunda çevreye radyasyon yayacağından, bu maddenin belli bir zaman aralığındaki bozunma miktarının yani aktivitesinin bilinmesi önemlidir. Aktivite birimi olan Becquerel (Bq) bir saniyedeki bozunma sayısını gösterir. Radyoaktivite ölçümlerinde, sıvılar için hacim başına Becquerel (Bq/L), katılar için kütle başına Becquerel (Bq/kg) birimleri kullanılmaktadır. Havadaki radyasyon konsantrasyonu ise Bq/m^3 ile ifade edilmektedir.

Kapalı ortamlarda bulunabilecek radon gazı konsantrasyonunun sınır değerleri için ülkeler ve uluslararası kuruluşların kabul ettiği çeşitli seviyeler mevcuttur. Kimi devletlerin herhangi bir koruyucu sınırlandırmaları bulunmamakla birlikte, bazı ülkeler tavsiye edilen üst limit seviyelerini, bazıları da tavsiye edilen limit seviyeleri ile birlikte zorunlu (müdahale) üst limit seviyelerini de belirlemişlerdir (DURRANI & ILIC 1997c). Bu limit seviyelerinin üzerinde bir değer tespit edildiğinde, radon konsantrasyonunu düşürücü önlemlerin alınması yoluna gidilmelidir.

Uluslararası Atom Enerji Ajansı Temel Güvenlik Standartları (IAEA-BSS) tarafından, meskenlerde radon için belirlenen düzeyler $200\text{-}600 \text{ Bq/m}^3$ olarak bildirilmiştir. Bu değerler, Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP) ve Dünya Sağlık

Örgütü (WHO) tarafından da kabul edilmektedir. Avrupa Birliği ise, 800 Bq/m³'lük bir limiti benimsemiştir (DURRANI & ILIC 1997c). Türkiye'deki kapalı ortamlarda radon konsantrasyonunun sınır değeri ise (TAEK Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği'nde 2004 yılında yapılan değişiklik ile) 400 Bq/m³ olarak belirlenmiştir (RESMÎ GAZETE 2004). İş yerleri için saptanan radon müdahale seviyeleri ise genelde daha yüksektir (ICRP 500-1500 Bq/m³ seviyelerini ve TAEK ise 1000 Bq/m³ limit değerini baz almaktadır).

Radon Konsantrasyonunun Ölçülmesi

Radon gazının varlığı ve konsantrasyonunun ölçülmesi özel teknikler kullanılarak belirlenmektedir. Radon ölçümleri, aktif ve pasif yöntemler olmak üzere iki kategoride incelenebilir (DURRANI & ILIC 1997d). Aktif ölçüm tekniği, alınan numunedeki radon konsantrasyonunun bir radyasyon sayıcısı ile anlık olarak ölçülmesi prensibine dayanmaktadır (AKYILDIRIM 2005b, ÖZKORUCUKLU vd. 2006). Çevresel örnekler için toplam alfa ve beta radyoaktivite sayımları gibi farklı amaçlı pek çok radyoaktivite ölçümlerinin yapılabildiği bu teknikte (DEĞERLİER 2007b, DURRANI & ILIC 1997d), topraktan, sulardan veya havadan alınan numuneler içerisindeki radon gazı (veya radon ürünleri) genellikle cihazın elektronik aktif kısmında dedekte edilmektedir. Ancak, numune almaya dayanan ve çoğunlukla kısa-sürelili ölçümler için kullanılan bu teknik, bina içindeki atmosferik radon yoğunluklarının belirlenmesinde çok tercih edilen bir yöntem değildir. Çünkü, nem, basınç, hava sıcaklığı gibi dış parametrelerden oldukça fazla etkilenebilen radon konsantrasyonu kısa zaman dilimleri içerisinde önemli değişimler gösterebilir (KORHONEN vd. 2000).

Pasif ölçüm tekniğinde ise, radon konsantrasyonu ölçülecek ortamda uzun süreli bırakılan nükleer iz detektörlerinden yararlanılmaktadır. Radon ölçümlerinde bir ortalama değer belirleyebilmek için genellikle pasif ölçüm tekniğinin kullanılması uygundur. Uzun süreli gerçekleştirilen bu tür ölçümler günlük, aylık, mevsimlik veya yıllık olarak yapılabilir. Pasif ölçüm tekniğinde kullanılan nükleer iz detektörleri selüloz asetat, polikarbonat veya allil diglikol karbonat gibi plastik maddelerden yapılmış film tabakalarından oluşturulmuştur. Ölçme, plastik plakalara çarpan alfa parçacıklarının bıraktığı gözle görülmeyen izlerin kimyasal iz kazıma (etching) yöntemi ile netleştirilerek bir mikroskopla sayılması esasına dayanmaktadır. Pasif ölçüm tekniğinin bina içi ortamlarda, mağaralarda, madenlerde ve tünellerde radon gazı konsantrasyonunun belirlenmesinde kullanılabileceği bildirilmektedir (URBAN & PIESCH 1981, GÜLTEKİN vd. 2003, DURRANI & ILIC 1997e, FİŞNE vd. 2005, AYTEKİN vd. 2006, BALDIK vd. 2006, EREEŞ vd. 2006).

Bu çalışmadaki radon konsantrasyon ölçümleri, ticari adı CR-39 olan "allil diglikol karbonat" plastik plakalarından yapılmış RSFS tipi pasif nükleer iz detektörleri (RADOSYS 2008a) ile gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde kullanılan CR-39 plakaları, elektrostatik korumaya sahip bir plastik kabın (radon difüzyon kabının) kapağına yerleştirilmiştir. Kabın ağzı, radon ürünlerini filtre ederek yalnız radon gazını geçirecek bir kapakla kapatılmıştır. Şekil 1'de radon gazı ölçümlerinde kullanılan difüzyon kabının bir resmi verilmiştir.



Şekil 1. RSFS tipi pasif nükleer iz detektörünü içeren difüzyon kabı.

Bu kap içerisine giren radon gazı, radyoaktif bozunma sonucu alfa parçacıkları yayımlamakta ve bu alfa parçacıkları detektör ile etkileşerek plakalarda iz bırakmaktadır. Oluşan izlerin sayısı, bu kap içindeki radon konsantrasyonu ile orantılıdır (BALDIK 2005). Bu yöntemde kullanılan nükleer iz detektörleri için üretici firmanın verdiği teknik özellikler Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. RSFS tipi nükleer iz detektörlerinin teknik özellikleri (RADOSYS 2008a kaynağından uyarlanmıştır).

Tip	Kapalı; Kutu: Radosys-RSF
Detektör konumu	1 çip, Kapak kısmına sabitlenmiştir
Materyal	Geçirgen plastik
Filtre	Hava-boşluğu
Boyutlar (difüzyon kabı)	ø60mm x 30mm
Boyutlar (çip alanı)	100mm ²
Detektör ile birlikte sunulanlar	Detektör çipi için hazırlanmış tanımlama etiketi 3 katlı folyodan yapılmış radon geçirmez torba
Seçenek	İsteğe bağlı tasarlanmış etiketler
Uygulama	Kapalı ortam radon testi

Belli bir süre boyunca ölçüm yapılacak ortamda radon gazına maruz bırakılan detektörler (RSF tipi detektörler için tavsiye edilen ölçüm süresi 20 gün ile 6 ay arasındadır), tekrar hava almaması için alimünyum folyo içine sarılarak toplanmakta ve radon ölçüm laboratuvarlarında detektörlerin kalibrasyon işleminin takiben kayıt ettikleri radyasyonun sayım işlemi yapılmaktadır. Sayım işleminden önce, alfa taneciklerinin film üzerinde bıraktığı izlerin görünür hale gelebilmesi için difüzyon kabı açılarak CR-39 plakaları iz kazıma ünitesi (Şekil 2) içindeki bazik bir çözelti içerisinde belli bir süre bekletilmektedir. Daha sonra temizlenen detektörler sayma işlemine hazır hale gelmektedir.



Şekil 2. İz kazıma ünitesi (RADOSYS 2000).

Plakalar üzerindeki iz sayısını belirlenebilmesi için görüntü işleme seti RadoMeter 2000 ünitesi kullanılmaktadır. (Şekil 3). RadoMeter 2000 ünitesi, mikroskoptan görüntüyü alan 100× büyütme bir CCD kamera ve kameradan elde edilen bu görüntüyü dijital hale çeviren bir PC'den oluşmaktadır. Analiz için Linux işletim sistemi altında çalışan ve iz kazıma işlemi yapılmış bir detektör üzerindeki iz yoğunluğu ile radon konsantrasyonunu doğrudan verebilen Radosys adlı bir yazılım kullanılmaktadır. Her bir detektör için işlem süresi ortalama 60 sn. olup detektör yüzeyleri otomatik olarak taranmaktadır. Tek ve üst üste geçmiş izler, 150 iz/mm² ye kadar algılanabilmektedir. Alfa izleri için taranan detektör alanı yaklaşık 47 mm² dir (RADOSYS 2008b).



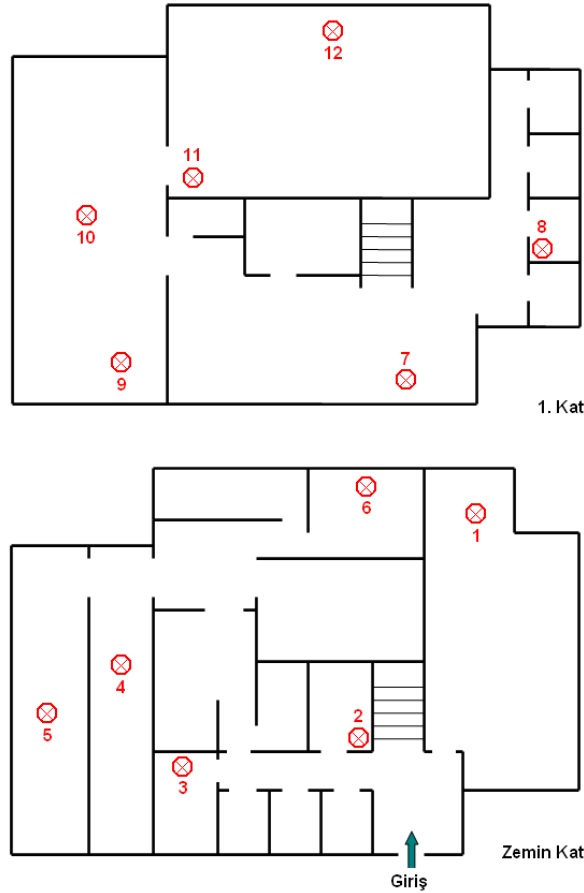
Şekil 3. Radon detektörleri üzerindeki alfa izlerinin analizinde kullanılan RadoMeter 2000 ünitesi (RADOSYS 2008b).

BULGULAR

Z.K.Ü. kampüsü Merkezi Kütüphanesi 2 katlı olup yaklaşık 713 m² lik kapalı alana sahiptir. Kütüphanede her kata 6 detektör olmak üzere, 12 detektör önceden belirlenmiş noktalara yerleştirilerek (bakınız Tablo 3 ve Şekil 4) 02.07.2008 ile 02.09.2008 tarihleri arasında 61 gün süreyle radon gazına maruz bırakılmıştır. Detektörler yerleştirilirken difüzyon kabı içerisindeki filmin zemine paralel olacak şekilde, yerden 1 ile 2 m arasında bir yükseklikte sabitlenmesine dikkat edilmiştir. Toplanan detektörler TAEK Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (SANAEM) radon ölçüm laboratuvarlarında %25 NaOH çözeltisinde, 90 °C sıcaklıkta 4 saat süreyle kimyasal iz kazıma işlemine tabi tutulmuştur. Temizlenip kurutulan CR-39 filmleri bilgisayara bağlı optik okuma sistemiyle otomatik olarak taranmış ve film üzerindeki izler sayılmıştır.

Tablo 3. Pasif iz detektörlerinin kütüphanede konumlandırıldığı yerler ve bu noktalarda ölçülen radon konsantrasyonları.

Detektör No	Konumlandırıldığı Yer	Süre (gün)	Rn (Bq/m ³)
1	Zemin Kat Dergi Odası (Eski İnternet Salonu)	61	34.7
2	Zemin Kat Çay Ocağı	61	24.0
3	Zemin Kat Dökümantasyon Daire Başkanlığı	61	37.4
4	Zemin Kat İnternet Salonu (Eski Dergi Salonu)	61	39.4
5	Zemin Kat Çalışma salonu (Eski Kitap Deposu)	61	417.2
6	Zemin Kat Malzeme Deposu	61	82.8
7	Üst Kat 1 Nolu Salon Girişi (Sekreterlik)	61	24.0
8	Üst Kat 2 Nolu Büro	61	37.4
9	Üst Kat 1 Nolu Okuma Salonu (1. istasyon)	61	20.2
10	Üst Kat 1 Nolu Okuma Salonu (2. istasyon)	61	29.4
11	Üst Kat 2 Nolu Okuma Salonu (1. istasyon)	61	30.3
12	Üst Kat 2 Nolu Okuma Salonu (2. istasyon)	61	28.0
ORTALAMA			67.1



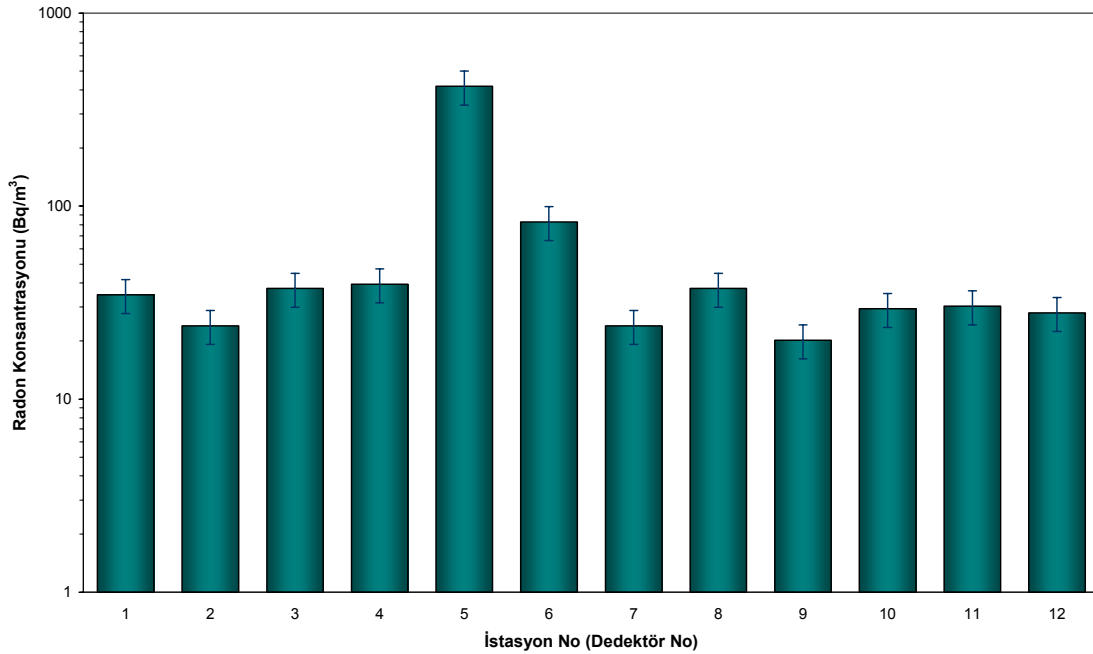
Şekil 4. Merkezi Kütüphanenin krokisi ve CR-39 detektörlerinin yerleştirildiği noktalar (krokide numaralandırılan detektörlerin hangi birime ait olduğu Tablo 3'te aynı detektör numaraları ile belirtilmektedir).

Radon konsantrasyonu hesaplamalarında kullanılan kalibrasyon faktörü için 45.74 (kBq/m³)/(iz/saat) değeri alınmıştır. Böylelikle bu 12 ölçüm noktasındaki radon konsantrasyonları,

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

denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır (Tablo 3). Bu eşitlikte d iz yoğunluğunu, s ise saat cinsinden detektörün ölçüm yaptığı süreyi göstermektedir.

2008 yılı yaz dönemi için kütüphanedeki ortalama radon konsantrasyonu 67 Bq/m³ civarında olmakla birlikte, konsantrasyon yoğunluğu 24 ile 417.2 Bq/m³ değerleri arasında farklılıklar göstermektedir (Tablo 3 ve Şekil 5).



Şekil 5. ZKÜ Merkez Kampüs Kütüphanesi 2008 yaz dönemi radon konsantrasyonları (Ölçüm sonuçları %20 lik hata oranlarıyla birlikte sunulmaktadır. Radon konsantrasyonu eksenini okuma kolaylığı sağlamak için logaritmik ölçekte verilmektedir. Detektörlerin konulduğu yerler Tablo 3 ve Şekil 4’te gösterilmektedir).

TARTIŞMA VE SONUÇ

Kütüphane içerisinde yapılan ölçüm sonuçları, uzun süre havalandırılmamış veya sık kullanılmayan yerlerdeki radon konsantrasyonlarının iyi havalandırılan ortamlara göre daha yüksek değerlerde olduğunu göstermektedir. 5 nolu detektörün bulunduğu eski kitap deposunda gözlemlenen 417.2 Bq/m³ lük radon konsantrasyonu, ICRP ve TAEK’in işyerleri için öngördüğü radon düzeylerinden düşük olmakla birlikte, ICRP nin meskenler için belirlediği alt limit değeri olan 200 Bq/m³ seviyesini ve TAEK Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği’nde bildirilen 400 Bq/m³ lük sınır değerini

aşmaktadır. Diğer ölçüm noktalarından elde edilen değerler ise herhangi bir tehlike göstermemektedir. İkinci en yüksek konsantrasyon, yine havalandırmanın yeterli olmadığı 6 nolu detektörün yerleştirildiği zemin kattaki malzeme deposunda 82.8 Bq/m³ lük bir değerde gözlemlenmiştir.

Kütüphane içerisinde yapılan düzenleme ile Kasım 2008 tarihi itibarı ile çalışma salonuna dönüştürülen bu 5 nolu detektörün bulunduğu salonun kullanıcılar ve çalışanlar açısından bir sağlık riski oluşturmaması için en kolay alınacak önlem, ortamın uygun kapasitedeki (örneğin ~3000 m³/h'lik) bir aspiratör veya vantilatör ile havalandırılmasıdır. Depo olarak kullanılan odaların da mümkün olduğunca havalandırılması yerinde olacaktır. Ayrıca, zeminde bulunan odaların tabanlarına şap veya beton dökülerek topraktan yalıtılması, varsa zemin kat duvarlarındaki çatlakların kapatılması da tavsiye edilebilir.

TEŞEKKÜR

TAEK SANAEM ile işbirliği yapılarak gerçekleştirilen bu çalışma Zonguldak Karaelmas Üniversitesi 2006-70-01-01 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- AKYILDIRIM H, 2005a. Isparta ilinde radon yoğunluğunun ölçülmesi ve haritalandırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 39s.
- AKYILDIRIM H, 2005b. Isparta ilinde radon yoğunluğunun ölçülmesi ve haritalandırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 26-38s.
- AYTEKİN H, BALDIK R, ÇELEBİ N, ATAKSOR B, TAŞDELEN M, KOPUZ G, 2006. Radon measurements in the caves of Zonguldak (Turkey), *Radiation Protection Dosimetry*, 118, 117-122.
- BALDIK R, 2005. Gökgöl ve Cehennemazğı mağraları ile Amasra Taşkömürü İşletmesi'nde radon-222 ölçümü. Yüksek Lisans tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, s.56.
- BALDIK R, AYTEKİN H, ÇELEBİ N, ATAKSOR B, TAŞDELEN M, 2006. Radon concentration measurements in the AMASRA coal mine, Turkey, *Radiation Protection Dosimetry*, 118(1), 122-125.
- ÇELEBİ N, 1995. Çevresel örneklerde uranyum, radyum ve radon ölçüm tekniklerinin geliştirilmesi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, 95s.
- ÇELEBİ N, TAŞDELEN M, ÖZÇINAR 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
- DEĞERLİER M, 2007a. Adana ili ve çevresinin çevresel doğal radyoaktivitesinin saptanması ve doğal radyasyonların yıllık etkin doz eşdeğerinin bulunması. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, 39-40.

- DEĞERLİER M, 2007b. Adana ili ve çevresinin çevresel doğal radyoaktivitesinin saptanması ve doğal radyasyonların yıllık etkin doz eşdeğerinin bulunması. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, s. 74-77.
- DURRANI & ILIC 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 & ILIC 1997b. *Radon measurements by etched track detectors: applications in radiation, earth sciences and environment*, editors Saeed A. Durrani and Radomir Ilic, World Scientific, Singapore, pp. 159-160.
- DURRANI & ILIC 1997c. *Radon measurements by etched track detectors: applications in radiation, earth sciences and environment*, editors Saeed A. Durrani and Radomir Ilic, World Scientific, Singapore, pp. 152-153.
- DURRANI & ILIC 1997d. *Radon measurements by etched track detectors: applications in radiation, earth sciences and environment*, editors Saeed A. Durrani and Radomir Ilic, World Scientific, Singapore, pp. 51-75.
- DURRANI & ILIC 1997e. *Radon measurements by etched track detectors: applications in radiation, earth sciences and environment*, editors Saeed A. Durrani and Radomir Ilic, World Scientific, Singapore, pp. 261-280.
- EREEŞ FS, AKÖZCAN S, PARLAK Y, ÇAM S, 2006. Assesment of Dose Rates Around Manisa (Turkey), *Radiation Measurements*, 41, 598-601.
- EVANS RD, 1968. Engineers' guide to the elementary behavior of radon daughters, *Health Physics*, 38, 1173-1197.
- FİŞNE A, OKTEN G, CELEBI N, 2005. Radon concentration measurements in bituminous coal mines, *Radiation Protection Dosimetry*, 113(2), 173-177.
- FİŞNE A, 2002. Yer altı madenlerinde radon gazı konsantrasyon seviyelerinin belirlenmesi ve işçi sağlığı üzerine etkilerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 22-24s.
- GÜLTEKİN Y, ÇAM S, EREEŞ FS, 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/222.pdf
- HEWSON GS, RALPH MI, 1994. An investigation into radiation exposure in underground non-uranium mines in Western Australia, *Journal of Radiological Protection*, 14 (4), 359-370.
- IAEA, 1996. International Atomic Energy Agency, Radiation Safety, IAEA Division of Public Information, 96-00725 IAEA/PI/A47E.
- KORHONEN P, KOKOTTI H, KALLIOKOSKI P, 2000. Behaviour of radon progenies and particle levels during room depressurisation, *Atmospheric Environment*, 34, 2373-2378.
- ÖZKORUCUKLU S, AKYILDIRIM H, ÇAPALI V, 2006. Ispatra ilinde radon yoğunluk ölçümleri, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10 (3), 317-322.

- PLANINIC J, FAJ D, VUKOVIC B, FAJ Z, RADOLIC V, SUVELJAK B, 2002. Radon exposure and lung cancer. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 256 (2), 349-352.
- RADOSYS, 2000 User's Manuel (revised at 07/25/01), (4) 16.
- RADOSYS, 2008a. <http://www.radosys.com/rsfs.html>
- RADOSYS, 2008b. <http://www.radosys.com/radometer.html>
- RESMİ GAZETE, 2004. (24.03.2000 tarihli ve 23999 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Radyasyon Güvenliği Yönetmeliğinin, 29 Eylül 2004 tarih ve 25598 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Radyasyon Güvenliği Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik ile değişik 37. maddesi).
- SAÇ MM, CAMGÖZ B, 2005. İzmir'de sismik aktiviteler ile radon konsantrasyonları arasındaki korelasyonun incelenmesi, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7 (3), 47-54.
- SINGH AK, VARMA NK, AHMAD I, SHAY N, SINGH RP, 2001. Environmental health hazards in coal mines with special reference to radioactivity and its control – a review, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 31, 63-67.
- TAEK, 2008a. http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/dogalrad.html#radon
- TAEK, 2008b . http://www.taek.gov.tr/bilgi/bilgi_maddeler/analiz_kapaliortam.html
- URBAN M, PIESCH E, 1981. Low-level environmental radon dosimetry with a passive track etch dedector device, *Radiation Protection Dosimetry*, 1, 97-109.