

Süleyman Demirel Üniversitesi'nde Bina İçi Radon Konsantrasyonlarının Nükleer İz Dedektörleri Kullanılarak Belirlenmesi

Mehmet Ertan KÜRKCÜOĞLU* ve Gökhan BAYRAKTAR
Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü / ISPARTA
Alınış Tarihi: 15.03.2012, Kabul Tarihi: 13.06.2012

Özet: Kapalı ortamlarda zamanla birikebilen radon gazı alfa parçacıkları yayımlar ve doğal radyoaktivitenin yarısından doğrudan sorumludur. Yüksek seviyede radon ihtiva eden ortamlarda radon ve radon ürünlerinin solunması, akciğerde kanser oluşumuyla bağdaştırıldığından radon konsantrasyonlarının kapalı mekanlar için belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada, 10 bin dekarlık alana sahip Süleyman Demirel Üniversitesi'nde üçü doğu yerleşkesi, ikisi batı yerleşkesinde olmak üzere toplam beş binadaki (Ziraat Fakültesi, Hukuk Fakültesi, Atatürk Spor Salonu, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi ile Bilgi İşlem Merkezi'ndeki) atmosferik radon düzeyleri 92 ölçüm noktasına yerleştirilen CR-39 nükleer iz dedektörleri ile ölçülmüştür. Bu ölçümler yaklaşık 8 haftalık bir süre boyunca, 2010 yılı Mayıs ile Temmuz ayları arasında yapılmıştır. Dedektörlerin analizleri sonucunda; Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Ziraat Fakültesi, Hukuk Fakültesi, Atatürk Spor Salonu ve Bilgi İşlem Merkezi'ndeki bina içi ortalama radon konsantrasyonlarının sırasıyla 259 Bq/m³, 279 Bq/m³, 265 Bq/m³, 324 Bq/m³ ve 173 Bq/m³ olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu birimleri kullanan personel ve öğrencilerin radon nedeniyle alacakları tahmini doz miktarları hesaplanmış ve yıllık etkin doz eşdeğerlerinin, yine aynı sırayla 2,7 mSv, 2,9 mSv, 2,8 mSv, 3,4 mSv ve 1,8 mSv düzeyinde olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Süleyman Demirel Üniversitesi, radon ölçümü, bina içi radon, CR-39 nükleer iz dedektörü, etkin doz.

Determination of Indoor Radon Concentrations at Süleyman Demirel University by using Nuclear Track Detectors

Abstract: Radon gas, which can accumulate indoors in time, emits alpha particles and is directly responsible for the half of the natural radioactivity. Determination of indoor radon concentrations is very important since inhalation of radon and radon daughters in the dwellings with high radon levels has been related with the risk of lung cancer. In this study, indoor radon levels were measured at five buildings (three of which located in the east campus, while the other two are located in the west campus) at the University of Süleyman Demirel, which has been established on an area of approximately 10 thousands decares. The measurements were performed in the Faculty of Agriculture, Faculty of Law, Atatürk Sports Hall, School of Engineering and Architecture, Information Processing Centre by using CR-39 nuclear etched track detectors at 92 measurement points for a period of approximately 8 weeks between May and July 2010. The analyses of the detectors revealed that, the average indoor radon concentrations of Engineering and Architecture School, Faculty of Agriculture, Faculty of Law, Atatürk Sports Hall, and the Information Processing Center were 259 Bq/m³, 279 Bq/m³, 265 Bq/m³, 324 Bq/m³ and 173 Bq/m³ respectively. Furthermore, the doses taken by staff and the students due to radon were calculated. It is found that, the annual effective dose equivalents in those five buildings were 2.7 mSv, 2.9 mSv, 2.8 mSv, 3.4 mSv and 1.8 mSv with the same order.

Key Words: Süleyman Demirel University, radon measurement, indoor radon, CR-39 nuclear track detector, effective dose.

*ertankurkuoglu@sdu.edu.tr

Canlılar, uzaydan gelen kozmik ışınların ve yerkürede doğal olarak bulunan radyoizotopların yayınladığı radyasyonların etkisinde yaşamak zorundadır. İçme suları, gıda maddeleri, barınma için kullandığımız yapı malzemeleri ve bulunduğumuz bölgenin toprağı (yaşadığımız coğrafyada bulunan doğal radyoizotopların çeşidine ve konsantrasyonuna bağlı olarak) az veya çok miktarda radyoaktif madde ihtiva etmektedir. İnsanların doğal kaynaklar nedeniyle maruz kaldığı radyasyon miktarı, alınan toplam dozun büyük bir kısmını (%82-%88) oluşturmaktadır. Doğal radyasyon kaynaklarının dağılımına bakıldığında ise; kozmik ışınların 0,39mSv/yıl, gama radyasyonunun 0,46mSv/yıl, radon'un 1,30mSv/yıl, yiyecek ve vücut içi ışınlamaların ise 0,25mSv/yıl düzeyinde doğal radyoaktiviteye katkı verdikleri söylenebilir. Yüksek dozdeki radyasyon canlı organizmalara zarar verebileceğinden doğal radyoaktivitenin başlıca sorumlusu olan radon ve bozunma ürünleri nedeniyle maruz kalacağımız radyasyon seviyesinin belirlenmesi önemlidir ve dünya çapında yoğun olarak çalışılmaktadır.

En ağır soy gaz ve 86 Atom numarası ile periyodik cetvelin 8A grubu elementi olan radon, 5,49 MeV enerjili alfa-parçacığı yayınlayan tek radyoaktif gazdır ve yarılanma ömrü 3,82 gündür. Radon, renksiz ve kokusuz bir gazdır, -71 °C'de donarken 1 atm basınçtaki kaynama noktası -62 °C dir. Radon, hidrojenden 100 kat ve havadan yedi buçuk kat kadar daha ağırdır (NCRP, 1988). Yerküredeki kayalarda değişen düzeylerde uranyum ve radyum bulunmaktadır. Bu doğal radyoaktif elementlerin bozunması sonucu oluşan radon ve radon ürünleri, kaya katmanları arasında sürekli olarak üretilmekte ve çeşitli mekanizmalarla atmosfere yayılmaktadır (Durrani ve Ilic, 1997). Doğal bozunma sürecinin bir parçası olarak ortaya çıkan radon, topraktan havaya geçtiği zaman rüzgarların etkisi ile atmosfere karışır. Toprakten gelen toplam radyum emanasyonunun yılda 2 milyar Curie civarında olduğu bildirilmektedir (George, 2007). Dünyanın hemen her yerinde az ya da çok miktarda radon bulunmaktadır. Radon konsantrasyonlarının; toprak gazında 18-180 kBq/m³, bina içi atmosferinde 11-300 Bq/m³, okyanuslar üzerindeki hava tabakasında 0,02-0,2 Bq/m³, mağaralarda 0,37-11 kBq/m³ ve havalandırması olmayan uranyum madenlerinde 37-3700 kBq/m³ aralığında değiştiği bildirilmektedir (NCRP, 1988).

İyonlaştırıcı tipte bir radyasyon canlı dokularla etkileştiğinde, biyolojik yapılara radyasyon enerjisi aktarılır ve bunun sonucunda dokularda; ölüm, nesilden nesile geçen genetik değişiklikler ya da kanser gibi daha sonra ortaya çıkan etkiler biçiminde zararlar gözlemlenebilmektedir. Radyasyonun hücre üzerinde meydana getirdiği en belirgin etkilerden biri hücre büyümesini baskılamasıdır. Radyasyon dozu ile meydana gelen biyolojik değişiklikler arasındaki ilişkileri inceleyen araştırmalar, yüksek düzeyde radyasyon dozunun kansere neden olabileceğini bildirmiştir. Yapılan hayvan deneyleri radyasyonun genetik bozukluklara yol açtığını kesinleştirmiştir. Canlı yapılarda görülen değişiklikler,

radyasyonun cinsine, miktarına ve süresine göre onarılabilen veya kalıcı tipte olabilir. Genellikle, düşük dozdeki iyonlaştırıcı radyasyonun etkilerinin önemli olmadığı yönünde doğru olmayan bir düşünce mevcuttur. Düşük dozların etkileri, iyonlaştırıcı radyasyonların yüksek doz etkileri baz alınarak belirlenmeye çalışılmaktadır.

Kimyasal olarak pasif bir gaz olan radonun dokulardaki çözünürlüğü düşüktür. Akciğerlere alınan radonun bir kısmı solunum yoluyla dışarı atılabilir fakat kimyasal bakımdan aktif halde bulunan ve radyoaktif olan radon ürünleri havadaki toz zerreciklerine yapışarak solunumla akciğer bronşlarına yerleşip bozunmaya devam edebilirler. Bu süreçte ortaya çıkan radyasyon, hücrelerin DNA yapılarını değiştirebilir ve akciğer kanserine neden olabilir (UNSCEAR, 1988). A.B.D. Çevre Koruma Ajansı (EPA: Environmental Protection Agency) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO: World Health Organisation) tarafından "A sınıfı kanserojen madde" olarak derecelendirilen radon gazı, akciğer kanserine neden olan en tehlikeli maddeler listesinde sigaradan sonra ikinci sırada yer almaktadır. EPA, Amerika Birleşik Devletleri'nde akciğer kanserinden bir yılda ölenlerin yaklaşık % 13 ünün ölümünün radon gazı solunması nedeniyle meydana geldiğini bildirmektedir (EPA, 2009). Radondan kaynaklanan sağlık risklerinin belirlenmesinde yaş, cinsiyet ve tütün ürünlerinin kullanımı gibi faktörlerin de etkili olduğu rapor edilmiştir (EPA, 2003). Havadan daha ağır olan radon gazı ve dolayısıyla radonun bozunma ürünleri, zamanımızın büyük bir kısmını geçirdiğimiz kapalı mekanların içerisinde birikerek tehlikeli düzeylere ulaşabilir. Binalar, dışarıdan gelen radyasyonun bir kısmının bina içine girişine engel olsa bile bina malzemelerinde ve binanın konumlandığı zeminde bulunan radyonüklidlerden dolayı, genellikle bina içi radyasyon düzeyi dış ortama göre daha yüksektir. Doğal ya da yapay kaynaklardan dolayı, canlıların maruz kaldığı radyasyona ek olarak alacağı her doz, alınan ek doz düzeyine göre farklı seviyelerde sağlık riskleri meydana getirebilir. WHO, radonun solunmasıyla oluşan akciğer kanseri vakalarının, tüm akciğer kanseri vakaları arasında (yaşanılan yerdeki radon düzeyine bağlı olarak) %6 ile %15'lik bir yer tuttuğunu bildirmektedir (WHO, 2005).

Toprakta, sulara ya da havada bulunan doğal radyoizotopların belirlenmesi amacıyla yapılan radyolojik çalışmalar literatürde geniş bir yer tutmaktadır. Bu araştırmaların önemli bir kısmı, radon ölçümlerine yönelik çalışmalardır. Sadece Kuzey Amerika'da yılda bir milyon civarında bina içi radon gazı ölçümü yapılmaktadır (George, 2007). Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP: International Commission on Radiological Protection) ve Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi (UNSCEAR: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), atmosferdeki ²²²Rn (radon) ve ²²⁰Rn (toron) konsantrasyonlarının 40 Bq/m³ ten yüksek olduğu bölgelere (diğer bazı kriterlerin de sağlanması koşuluyla)

HLNRA (High Level Natural Radiation Area) yani yüksek seviyeli doğal radyasyon alanı tanımlamasını getirmiştir (Durrani ve Ilic, 1997). Dünya genelindeki bina içi atmosferik radon seviyesi ortalaması 39 Bq/m^3 tür (WHO, 2005). Yirmi sekiz Avrupa ülkesinde yapılan ölçüm sonuçlarının değerlendirildiği bir çalışmada; en yüksek radon seviyeleri 144 Bq/m^3 ile Sırbistan Karadağ ve 140 Bq/m^3 ile Çek Cumhuriyeti'nde ölçülürken en düşük radon yoğunlukları, 20 Bq/m^3 ile İngiltere'de ve 19 Bq/m^3 ile Kıbrıs'ta görülmüştür (Dubois, 2005). Ülkemizde Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) 1984 yılında evlerde radon yoğunluklarını belirlemeye yönelik çalışmaları başlatmıştır. Yirmi yedi ilde 2004 yılına kadar tamamlanmış ölçümlerin değerlendirildiği bir çalışmada, ülkemizdeki ortalama bina içi atmosferik radon seviyesinin $35 \pm 12 \text{ Bq/m}^3$ olduğu rapor edilmiştir (Köksal vd., 2004). 2004 yılından sonra yapılan radyolojik ölçümlerden faydalanılarak 58 ildeki bina içi atmosferik radon düzeylerinin karşılaştırmalı olarak incelendiği bir çalışmada, ülke ortalamasının $75 \pm 34 \text{ Bq/m}^3$ civarında olduğu tespit edilmiştir (Kürkçüoğlu vd., 2011). Türkiye'de iş yerlerindeki radon düzeylerinin ölçümüne yönelik çalışmalar ise yok denecek kadar azdır. Bununla birlikte, 75 Bq/m^3 lük radon seviyesi Avrupa ülkelerindeki ortalamalar ile kıyaslandığında, Türkiye'nin bina içi atmosferik radon yoğunluğu bakımından ortalarda yer aldığı söylenebilir.

Isparta ilinde bina içi atmosferik radon konsantrasyonu ölçümlerine yönelik yapılan sınırlı sayıdaki araştırma, Isparta'daki atmosferik radon yoğunluğunun ülkemizdeki diğer illere kıyasla oldukça yüksek ve dünya ortalamasından yaklaşık 4-5 kat daha fazla bir seviyede olduğuna işaret etmektedir (Uluğ vd., 2004; Akyıldırım, 2005; Karakılıç vd., 2009; Kürkçüoğlu vd., 2010A; Kürkçüoğlu vd., 2010B; Kürkçüoğlu vd., 2010C). Süleyman Demirel Üniversitesi'nde bina içi radon konsantrasyonlarının ölçülmesi ve bu birimleri kullanan personel ve öğrencilerin radon gazı nedeniyle alacağı ortalama radyasyon dozunun hesaplanması amacıyla hazırlanan bu çalışmanın izleyen bölümünde, radon ölçümlerinde kullanılan yöntem tanıtılmaktadır. Daha sonra, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgi İşlem Merkezi, Ziraat Fakültesi, Atatürk Spor Salonu ile Hukuk Fakültesi için ölçüm sonuçları ve hesaplamalar değerlendirilerek elde edilen bulgular tartışılmaktadır.

Materyal ve Metot

Radon Ölçüm Teknikleri

Üç doğal radyoizotopa sahip olan radon, alfa-parçacığı yayınlarken bozunur ve radon ürünlerini oluşturur. Bozunma sürecinde yayınlanan radyasyonun dedekte edilmesiyle gerçekleştirilen radon konsantrasyonu ölçümlerine en çok sağlık fiziği ve yer bilimleri alanlarındaki çalışmalarda rastlanmaktadır. Aktif veya pasif ölçüm tekniklerinin kullanıldığı farklı dedekte etme yöntemleriyle laboratuarda ve/veya sahada (yerinde) radon konsantrasyonu ölçümleri yapılmaktadır (Durrani ve Ilic, 1997; Bayraktar, 2011). Laboratuardaki teknikler, radyoaktivitenin belirlenmesi ve ölçülmesi için kullanılan

genel tekniklere dayanır. Buradaki temel farklılık, radyoaktif gaz olan radonun bu tekniklere adapte edilmesidir. Oldukça farklı uygulama alanları olması nedeniyle radon ölçümleri için bilim adamları, mühendisler ve mucitlerin hayal gücüne bağlı olarak 300 den fazla ölçüm tekniği kombinasyonu geliştirilmiştir. Bunlardan belki de en sıra dışı cihaz, radon ihtiva eden numunenin bir Be filtre ile çevrelenmiş bir hücre içine konarak bozunma sonucu yayınlanan alfa-parçacıklarının berilyum ile bir nükleer reaksiyona girmesi ve reaksiyon sonrasında üretilen nötronların bir dış nötron sayacı tarafından sayılması esasına dayanmaktadır. Reaksiyon sonucu oluşan nötron miktarıyla, bozulan radon miktarı ve numunedeki radon konsantrasyonu hesaplanmıştır (Durrani ve Iliç, 1997). Pratikte saha ölçümleri için kullanılan teknikler laboratuarda da kullanılabilir. Yerinde (sahada) yürütülen radon konsantrasyonu ölçümleri, dedektörlerin ölçüm yapılacak yerlere yerleştirilerek yeterince uzun bir zaman burada bırakılarak daha sonra sonuçların belirlenmesi esasına dayanır. Ölçümler sürekli veya aralıklı moda, pasif veya aktif yöntemler kullanılarak yapılabilir. Radon konsantrasyonları doğal koşullar altında ölçüldüğünde, yani radon gazı dedeksiyon hacmine difüzyon yoluyla kendiliğinden girdiğinde ölçüm pasif olarak yapılmış olur. Ölçüm yapılacak gaz numunenin, cihazın dedeksiyon birimine pompalanarak taşınmasını gerektiren ölçümler ise aktif ölçüm olarak değerlendirilir.

Pasif cihazlar

Radyasyon ölçümü yapması beklenen kabın içerisine bir sensör yerleştirilir. Bu kab radonun kabın içine girmesine izin verecek açıklığa sahip ve detektörü korumaktadır. Aynı zamanda alfa parçacıklarının sensör üzerinde oluşturdukları izlerin korunması için uygun bir hacim oluşturmaktadır. Radon ve radon ürünlerinin yayınladıkları alfa parçacıklarının menzili havada 5 cm civarında olduğundan, detektörün önünde buna uygun bir boşluk bırakılması verimli bir ölçüm yapılması için yeterlidir. Radonun iki izotopu genellikle birlikte bulunur. Bu iki izotopun bağıl oranı uranyum ve toryum miktarına göre değişmektedir. Eğer ayırıcı bir mekanizma uygulanmıyorsa ölçüm teorik olarak her iki izotopun yoğunluğudur. Radon yoğunluğu ölçümleri için kullanılacak pasif ölçüm cihazlarından bazıları; katı-hal nükleer iz dedektörleri, dielektrik dedektörleri, termoluminesans fosforlar, katı-hal elektronik dedektörler ve minik elektrometreler olarak sıralanabilir (Durrani ve Iliç, 1997).

Aktif Cihazlar

Aktif ölçümler, pasif ölçüm tekniğinin aksine radon gazının doğal yolla cihaza girmesi esasına dayanmaz. Aktif cihazların içine, genellikle incelenmek istenen bölgedeki hava pompalanarak numune alınır veya ölçüm yapılacak sıvıdan numune konulur. Genellikle radonu ya da radon ürünlerini algılayan kısım elektronik bir cihazdır. Pasif cihazların çoğu, bir pompa veya fan kullanılarak aktif bir ölçüm cihazına çevrilebilir. Aktif ölçüm için kullanılan diğer bir yöntem örnek toplama metodudur. İçerisindeki radonun miktarı ölçülecek olan katı sıvı veya gaz numune

doğal ortamından alınarak özel kaplar içerisinde laboratuara getirilir. Pek çok farklı türde toplama tekniği bulunmakla birlikte önemli olan numunenin içeriğinin bozulmamasıdır (Durrani ve Iliç, 1997).

Kısa Ve Uzun Dönem Ölçümleri

Elde edilmek istenen veriye göre (çalışmanın amacına göre) kısa dönem veya uzun dönem ölçümleri tercih edilir. Örneğin bir meskenin radon seviyesi derhal belirlenmek isteniyorsa kısa dönem ölçümler tercih edilir. Bu tür ölçümlerin, kişilerin karşı karşıya oldukları sağlık risklerinin en kötü senaryoya göre belirlenebilmesi için evin bodrum katında ve kış döneminde yapılması, yani radon ölçümlerinin en yüksek çıkması beklenen konum ve zamanda yapılması önerilmektedir. Pek çok çalışmada ise radonun mevsimsel değişimlerinin araştırılabilmesi ve diğer çevresel faktörlerle (nem, sıcaklık, basınç v.b.) ilişkisinin ortaya çıkarılabilmesi için uzun dönem ölçümleri tercih edilir. Uzun dönemli ölçümler kullanıldığında, spesifik ölçüm noktalarının iyi belirlenmesi halinde bir bölgenin radyasyon haritasının çıkarılması da mümkündür. Ölçümlerin haftalar, aylar hatta mevsimler mertebesinde yapılması için alfa iz dedektörleri oldukça kullanışlıdır. Uzun dönemli ölçümlerin mi yoksa kısa dönemli ölçümlerin mi daha güvenilir bir veri sağlayacağı hala kesinleştirilmemiş bir tartışma konusu olmakla birlikte ölçümün amacına göre karar verilmesinin daha doğru olacağı söylenebilir (Durrani ve Iliç, 1997).

Kullanılan Yöntem

Bu çalışmada, Süleyman Demirel Üniversitesi binalarında uzun dönem ölçümleri için CR-39 katı-hal nükleer iz dedektörleri kullanılmıştır. Ölçüm yapılacak ortamda belirli bir süre boyunca bırakılan CR-39 nükleer iz dedektörleri ile yapılan radon konsantrasyonu ölçümleri, pasif ölçüm tekniğinin bir uygulamasıdır. Genellikle, selüloz asetat, polikarbonat veya alil diğlikol karbonat gibi plastik maddelerden yapılmış film tabakalarından oluşturulabilen nükleer iz dedektörleri ile radon düzeyinin ölçülmesi işlemi, plastik plakalara çarpan alfa parçacıklarının bıraktığı gözle görülmeyen izlerin, kimyasal iz kazıma (etching) yöntemi ile netleştirilerek bir mikroskopla sayılması sonucunda gerçekleştirilmektedir. Pasif ölçüm tekniği, kapalı mekanlarda bir ortalama değer tespit edebilmek için radon ölçümlerinde kolaylıkla kullanılabilen oldukça uygun bir yöntemdir. Aktif ölçüm tekniğinin aksine, bu teknoloji radon aktivite konsantrasyonlarının pek çok ölçüm noktasında eş zamanlı olarak belirlenebilmesi imkanını sağlamaktadır. Bu tekniğin maliyeti aktif ölçüm tekniğini kullanan dedektörlere göre çok daha uygundur. Bu ölçüm tekniğinde, ölçüm noktalarına yerleştirilecek iz dedektörleri ortamdaki radondan kaynaklanan alfa emisyonunu ölçerken çalışmak için herhangi bir güç kaynağına veya kimyasal enerjiye ihtiyaç duymaz. Dolayısıyla ucuz olan bu sistem ölçüm yapılacak mekana uzun dönem ölçümler için bırakıldığında, herhangi bir masraf çıkarmadan bu süre boyunca kullanılabilir. Ayrıca pahalı ölçüm sistemlerinde olduğu gibi güvenlik kaygıları da gerektirmez (Radosys, 2000).

Bu çalışmada kullanılan CR-39 plakaları, radon türlerini filtre ederek sadece radon gazını geçirecek bir biçimde tasarlanmış bir difüzyon kabı içine yerleştirilmiştir (Şekil 1). Bu kap içerisine sızan radon gazı, bozunma sürecinde alfa-parçacıkları yayınlamakta ve bu alfa-parçacıkları, dedektör ile etkileşmesi sonucu dedektör plakaları üzerinde iz bırakmaktadır. Plakalar üzerindeki iz yoğunluğu, ölçüm noktasındaki atmosferik radon seviyesi ile orantılıdır.

Radon konsantrasyonu ölçülecek mekanlardaki ölçüm noktalarına yerleştirilen CR-39 dedektörleri ile genellikle, 20 gün ile 60 gün arasında bir süre boyunca ölçüm yapılmaktadır. Ölçüm periyodu sonunda toplanan difüzyon kapları, hava geçirmeyen özel folyolara sarılarak dedektörlerin daha fazla radyasyon kayıt etmesi engellenir. Laboratuara getirilen dedektörler için kalibrasyon işlemi yapıldıktan sonra, dedektörlerin ölçüm süresi boyunca kayıt ettikleri radyasyonun sayım işlemi gerçekleştirilmektedir. Sayım işleminden önce, alfa taneciklerinin film üzerinde bıraktığı izlerin görünür hale gelebilmesi için CR-39 çipleri dedektör tutucularına yerleştirilerek iz kazıma işlemi için topluca Radobath banyo ünitesine yerleştirilmektedir. İz kazıma işlemi için Radobath haznesi içerisine %75 saf su ve %25 NaOH içeren bir çözelti konulmaktadır. Çözelti içerisine yerleştirilen plakalar 4 saat boyunca 90°C de iz kazıma işlemine maruz bırakılmaktadır. İz kazıma işlemi tamamlandıktan sonra dedektör plakaları üzerinde görünür hale gelen alfa parçacıklarına ait izler, RadoMeter 2000 ünitesi kullanılarak okunmaktadır. Bu ünite, bir ışık mikroskobundan görüntüyü alan 100× büyütmeli bir CCD kamera ve buna bağlı bir bilgisayardan oluşmaktadır. Dijital hale getirilen görüntülerin analizi ise Linux işletim sistemi altında çalışan bir yazılım vasıtasıyla yapılmaktadır. CR-39 nükleer iz dedektörlerine, iz kazıma işleminin yapıldığı Radobath iz kazıma ünitesine ve görüntü işleme setine ait teknik özellikler ve daha detaylı bilgi literatürde mevcuttur (Radosys, 2000; Karakılıç vd., 2009; Kürkcüoğlu vd., 2009; Kürkcüoğlu vd., 2010C; Radosys, 2010; Bayraktar, 2011; Karadem, 2011).



Şekil 1. İçerisinde CR-39 nükleer iz dedektörünün bulunduğu difüzyon kabı

Böylece, CR-39 dedektörlerinin ölçüm süresi boyunca kayıt ettikleri iz yoğunlukları, her bir dedektör için belirlenmekte ve elde edilen veriler RadoMeter 2000 ünitesindeki PC'de toplanmaktadır. Bu iz sayısı ölçümlerinden faydalanılarak, atmosferik radon konsantrasyonu

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

bağıntısı ile hesaplanır. Bu denklemdeki, yoğunluk (d), plaka yüzeyi üzerindeki iz sayısından elde edilmektedir, s , dedektörlerin radona maruz kalma süresini saat cinsinden göstermektedir. Eşitlik 1'de kullanılan kf , kalibrasyon faktörünün değeridir. Böylelikle, ortalama radon aktivitesi Bq/m^3 cinsinden saptanabilmektedir. Birimdeki atmosferik radon konsantrasyonu için elde edilen ortalama değerden hareketle bu mekanları kullanan kişilerin maruz kalacakları radon kaynaklı radyasyon dozu, yani alınan yıllık etkin doz eşdeğeri (YEDE),

$$\text{YEDE} = \text{RAC} \times F \times \text{EEC} \times \text{BMF} \times 8760 \text{ (saat/yıl)} \quad (2)$$

formülü ile hesaplanır. Eşitlik 2'deki denge eşdeğer radon konsantrasyonu EEC faktörü (equilibrium equivalent concentration), $9,0 \times 10^{-9}$ (Sv/saat) (Bq/m^3) değerinde alınmaktadır (Değerler ve Çelebi, 2008). Kişilerin mekanı kullanma miktarının bir ölçüsü olan BMF ise bina içi meşguliyet faktörü olarak adlandırılmaktadır. Bu bağıntıdaki F , radon ile bozunma ürünleri arasındaki denge faktörüdür ve 0,4 alınmıştır. Daha önce bazı okullarda yapılmış bina içi ölçümleri incelendiğinde, doz hesaplamalarında kullanılan denge faktörlerinin genellikle 0,4 alındığı görülmektedir (Papaefthymiou ve Georgiou, 2007; Abel-Ghany, 2008; Rahman vd., 2009; Venoso vd., 2009).

Bulgular

Üniversitenin doğu kampüsünde bulunan Ziraat Fakültesi binasındaki, Hukuk Fakültesi binasındaki, Atatürk Spor Salonu'ndaki ve batı kampüsünde yer alan Bilgi İşlem Merkezi binası ile Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi binasındaki atmosferik radon düzeyleri, Mayıs 2010 ile Temmuz 2010 tarihleri arasındaki yaklaşık 2 aylık bir süre boyunca, söz konusu binaların farklı katlarına yerleştirilen 92 adet CR-39 nükleer iz dedektörü ile ölçülmüştür. Radon düzeylerinin sağlıklı bir biçimde belirlenebilmesi amacıyla dedektörler bina içerisine ve katlara olabildiğince homojen bir biçimde dağıtılmaya çalışılmış, mümkün olduğunca solunum seviyesine konumlandırılmasına dikkat edilen dedektörlerin kalorifer, ısıtıcı, bilgisayar, TV vb. elektronik cihazların yakınına konulmasından kaçınılmıştır. Kapı ve pencere yakınındaki hava akımlarının daha yoğun olduğu noktalar tercih edilmemiştir. Ayrıca, ölçümlerin güvenilirliğinin sağlanabilmesi bakımından ölçüm alınan her bir oda (ofis, derslik, laboratuvar, okuma odası, teknisyen odası, seminer odası, fotokopi odası, sekreterlik, çay odası, malzeme odası vb.) için birbirinden yeterince uzakta bir çift dedektör kullanılmasına dikkat edilmiştir.

Ölçüm periyodunun sonunda toplanan dedektörlerin kayıt ettiği alfa izlerinin sayımı ve CR-39'ların kalibrasyon işlemi TAEK'e bağlı SANAEM (Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi) Sağlık Fiziki Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Süleyman Demirel Üniversitesi'ndeki 5 birime yerleştirilen dedektörlerin bina içindeki konumları, ölçüm noktalarında ölçülen radon konsantrasyonları ve bu mekanları kullananlar maruz kalacakları yıllık etkin doz eşdeğerleri tablolanarak izleyen bölümlerde her bir birim için ayrı ayrı verilmekte, ölçüm yapılan odalardaki ortalama radon düzeyleri ve maruz kalınacak yıllık radyasyon dozlarına ait hesaplama sonuçları grafiklerle sunulmaktadır.

Mühendislik Ve Mimarlık Fakültesi Ölçümleri

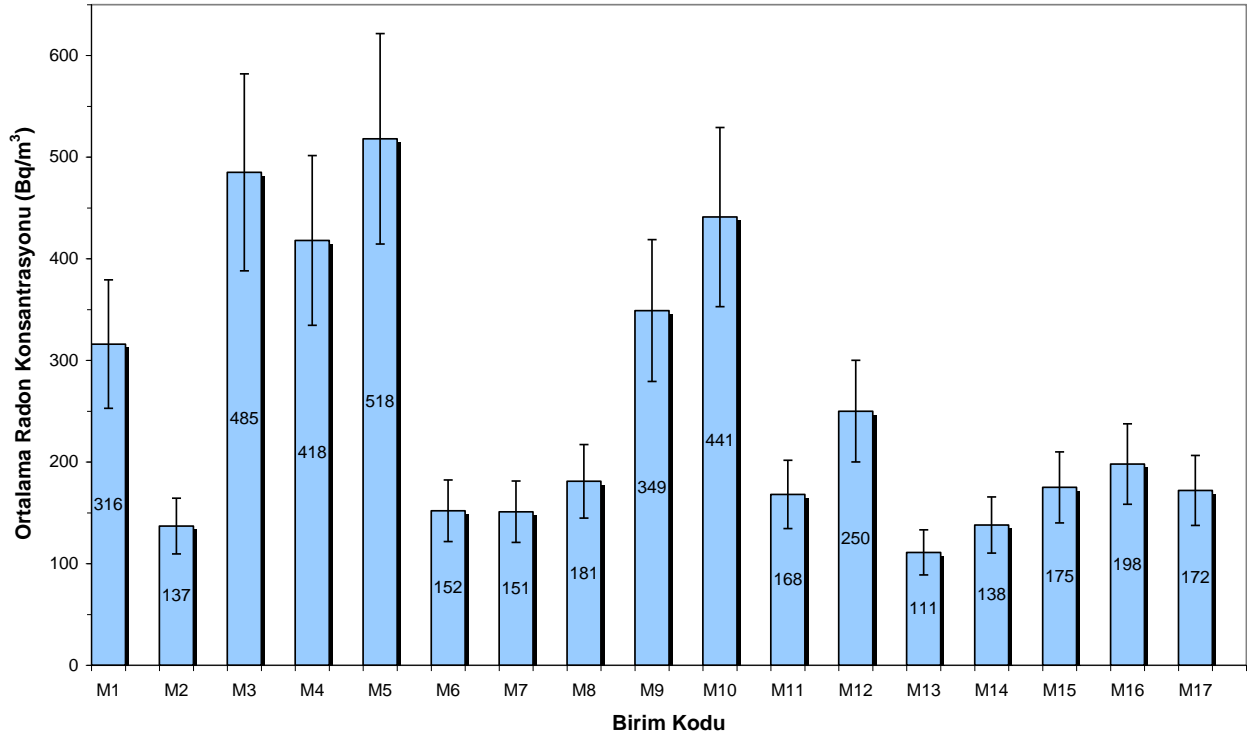
Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi üniversitenin batı kampüsünde bulunmaktadır. Bilgisayar Mühendisliği, Çevre Mühendisliği, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, Endüstri Mühendisliği, Gıda Mühendisliği, İnşaat Mühendisliği, Jeofizik Mühendisliği, Jeoloji Mühendisliği Maden Mühendisliği, Makina Mühendisliği, Mimarlık, Tekstil Mühendisliği ile Şehir ve Bölge Planlama bölümleri olmak üzere toplamda 12 bölüme sahiptir. Betonarme tipteki fakülte binasında, 200 civarındaki akademik ve 50 civarındaki idari personel çalışmakta, 5850 lisans öğrencisi bulunmaktadır. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi'nde 18 Mayıs 2010 ile 12 Temmuz 2010 tarihleri arasında 8 haftalık bir süre boyunca, 36 adet CR-39 nükleer iz dedektörü kullanılarak 18 odada yapılan atmosferik radon ölçümlerine ait bilgiler Çizelge 1'de sunulmaktadır. Dedektörler, ölçüm süresi boyunca Çizelge 1'de yerleri belirtilen ölçüm noktalarına bırakılmış ve oda atmosferindeki radon gazının bozunması sonucu oluşan alfa emisyonlarını kayıt etmiştir. Ölçüm periyodu tamamlandığında toplanan dedektörler, fazladan alfa radyasyonu kayıt etmemeleri için kendi özel hava geçirmez kılıfları içine yerleştirilerek dedeksiyon işlemi tamamlanmıştır. Dedektörlerin analizi aşamasında, CR-39'ların kayıt ettiği alfa iz yoğunluklarına ait okumalarla birlikte $42,95$ (kBq/m^3)/(iz/saat) değerindeki kalibrasyon faktörünün Eşitlik 1'de kullanılmasıyla, atmosferik radon konsantrasyonu değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 1). Ölçüm yapılan noktalardaki radon seviyelerinin 99 Bq/m^3 ile 527 Bq/m^3 değerleri arasında değiştiği ve ortalama yoğunluğun $\pm 136 \text{ Bq/m}^3$ lük bir standart sapma ile 259 Bq/m^3 düzeyinde olduğu saptanmıştır. Elde edilen bu ortalama TAEK'in iş yerleri için belirlediği 1000 Bq/m^3 lük müdahale limitinden (Resmi Gazete, 2004) küçük olmakla beraber dünya ve Türkiye bina içi ortalamalarından oldukça yüksektir. Özellikle 300 Bq/m^3 lük düzeyin üzerinde radon gazı yoğunluğuna sahip 6 odada (Şekil 2) havalandırma koşullarının iyileştirilmesi tavsiye edilebilir. Binadaki radon düzeylerinin yüksekliğe göre davranışı incelendiğinde, beklenildiği gibi en yüksek radon yoğunluğuna 375 Bq/m^3 lük ortalama ile 1. katta rastlanılmış yükseklik arttıkça radon konsantrasyonlarının düştüğü gözlemlenmiştir (2. kat için ortalama 247 Bq/m^3 ve 3. kat için 159 Bq/m^3 tür). Jeoloji Mühendisliği 3. Katında bulunan çay ocağına yerleştirilen iki dedektör birden kaybolduğu için bu birim değerlendirmeye alınmamıştır.

Fakülte personeli ve öğrencilerin alacakları yıllık etkin doz eşdeğerleri, elde edilen radon yoğunlukları kullanılarak ve bina içerisinde günde 8 saat zaman geçirildiği varsayılarak Eşitlik 2 ile hesaplanmıştır (Çizelge 1). Buna göre, ölçüm yapılan noktalarda maruz kalınacak yıllık etkin doz eşdeğerlerinin 1 ile 5,5 mSv/yıl değerleri arasında değiştiği ve binada radon gazı nedeniyle, yılda ortalama 2,7 mSv düzeyinde bir dozun alınacağı bulunmuştur. Ayrıca, ölçüm yapılan her bir odadaki ortalama radon yoğunluğu (Şekil 2) verisi

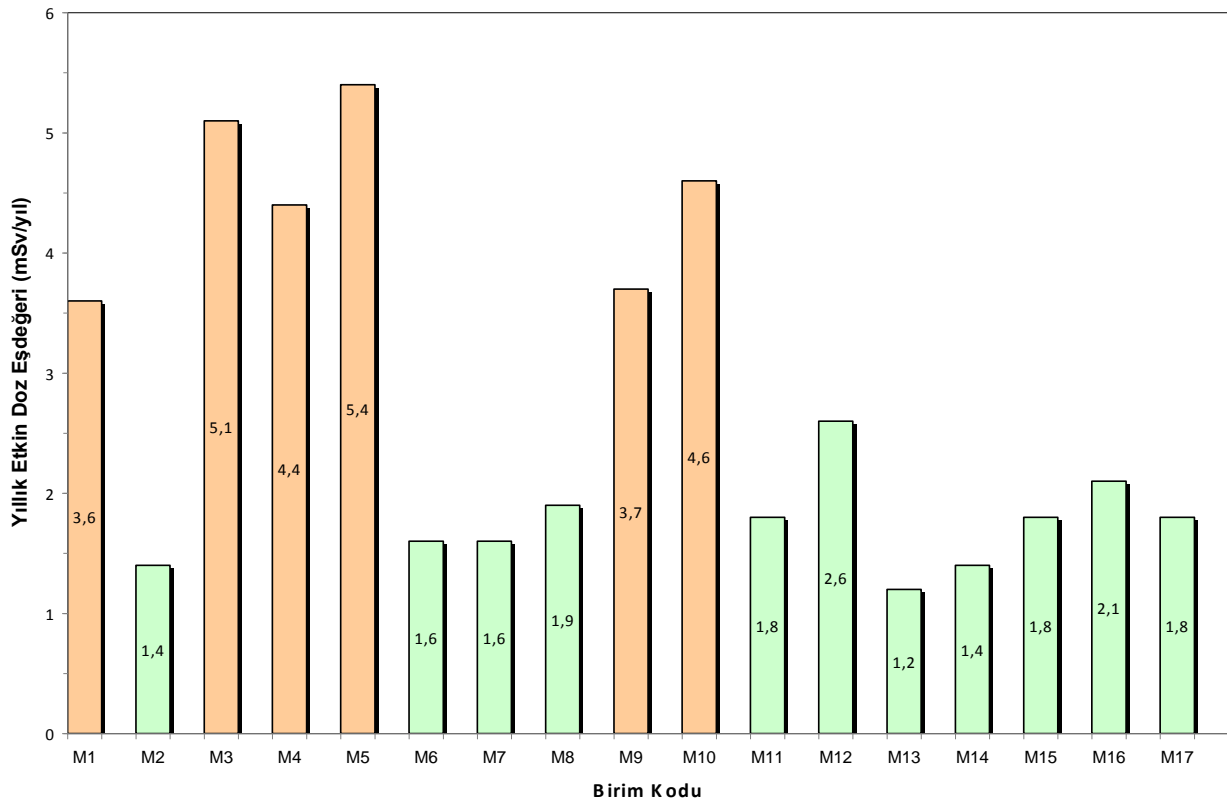
kullanılarak ölçüm yapılan 17 birim için maruz kalınacak yıllık etkin doz düzeyleri Şekil 3 ile verilmektedir. ICRP'nin "Ev ve İşyerlerinde ²²²Rn'ye Karşı Korunma" hakkında yayınladığı 65 nolu raporda, radon kaynaklı alınacak yıllık etkin doz için müdahale limitlerinin 3-10 mSv olarak belirlendiği (ICRP, 1993) göz önüne alındığında, binadaki her üç odadan birinde ICRP'nin 3mSv'lik alt limitini aşan düzeyde dozlara maruz kalındığı söylenebilir.

Çizelge 1. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi'nde kullanılan 18 çift CR-39 dedektörünün konumlandırıldığı yerler ve bu noktalarda ölçülen radon yoğunlukları ile maruz kalınacak yıllık etkin doz eşdeğerleri (Dedektörlerin konumları, oda zemininden ne kadar yükseğe yerleştirildiğiyle gösterilmiştir)

Birim Kodu	Dedektör Çiftlerinin Konumlandırıldığı Yer	Oda Alanı (m ²)	Zeminden Yüksekliği (m)	RAC (Bq/m ³)	YEDE (mSv/yıl)
M1	Tekstil Müh. 1. Kat, Bölüm Kitaplığı	24	1,5	345	3,6
			1,0	286	3,0
M2	Tekstil Müh. 1. Kat, Teknisyen Odası	12	1,5	146	1,5
			1,5	127	1,3
M3	Elektronik Haberleşme Müh. 1. Kat, Seminer Odası	45	1,5	488	5,1
			1,0	483	5,1
M4	Elektronik Haberleşme Müh. 1. Kat, Bölüm Sekreterliği	15	1,0	382	4,0
			1,0	454	4,8
M5	Elektronik Haberleşme Müh. 1. Kat, Ofis (M. Merdan)	15	1,0	509	5,3
			1,0	527	5,5
M6	Mimarlık 2. Kat, Ofis (S. Tola)	15	1,0	131	1,4
			1,0	172	1,8
M7	Mimarlık 2. Kat, Bölüm Sekreterliği	15	1,5	150	1,6
			1,0	153	1,6
M8	Maden Müh. 2. Kat, Bölüm Sekreterliği	18	1,0	182	1,9
			1,5	180	1,9
M9	Makina Müh. 2. Kat, Ofis (C. Kayacan)	18	1,0	375	3,9
			1,5	322	3,4
M10	Makina Müh. 2. Kat, Ofis (O. İpek)	18	1,5	443	4,7
			1,0	438	4,6
M11	Şehir ve Bölge Planlama 2. Kat, Bölüm Sekreterliği	15	1,0	-	-
			1,0	168	1,8
M12	Makina Müh. 2. Kat, Bölüm Sekreterliği	18	1,0	243	2,6
			1,0	257	2,7
M13	Jeofizik Müh. 3. Kat, Bölüm Sekreterliği	15	1,0	123	1,3
			1,0	99	1,0
M14	Jeofizik Müh. 3. Kat, Ofis (Y. Kalyoncuoğlu)	15	1,5	124	1,3
			1,5	152	1,6
M15	Dekanlık 3. Kat, Çay Ocağı	3	1,5	200	2,1
			1,5	149	1,6
M16	Dekanlık 3.Kat, Fakülte Sekreterliği	50	0,9	208	2,2
			1,5	188	2,0
M17	Dekanlık 3. Kat, Fotokopi Odası	20	1,0	178	1,9
			1,0	165	1,7



Şekil 2. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi için ortalama atmosferik radon gazı düzeyleri (dedektörlerin konulduğu birimler Çizelge 1'deki numaralandırmaya uygun olarak belirtilmektedir, sonuçlar üretici tarafından öngörülen $\pm\%20$ hata payı ile verilmiştir)



Şekil 3. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi'ndeki ölçüm yapılan yerlerde maruz kalınacak yıllık etkin dozlar (ICRP'nin alt limitini aşan dozlar pembe ve aşmayan dozlar yeşil ile gösterilmiştir)

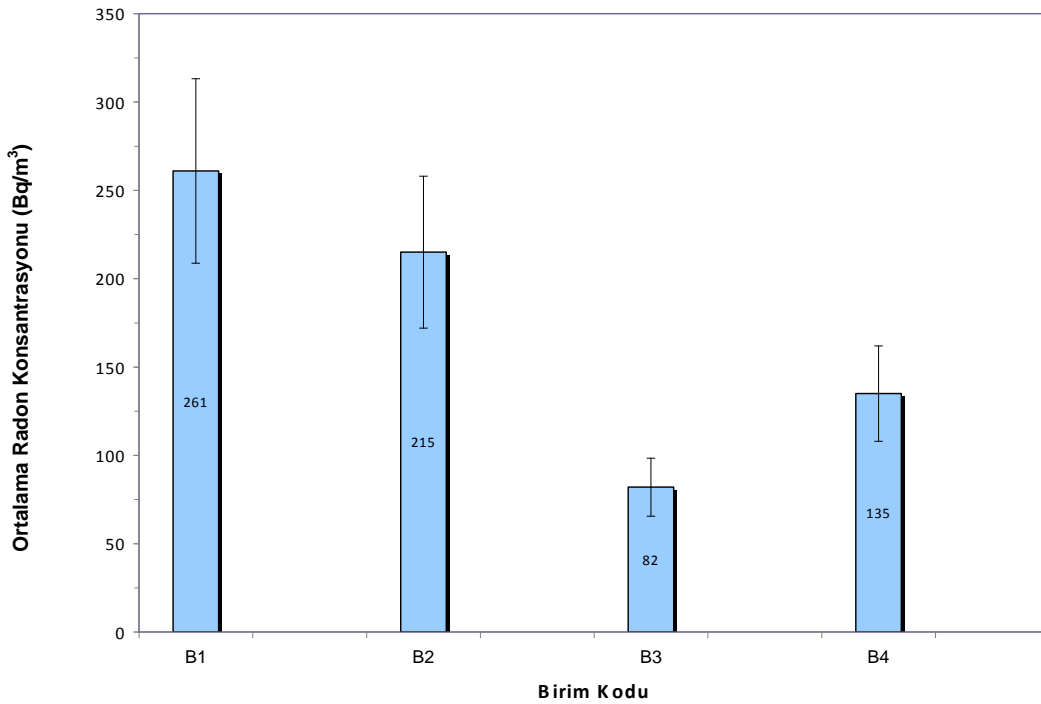
Bilgi İşlem Merkezi Ölçümleri

Üniversitenin batı kampüsünde yer alan, tek kat üzerine kurulu olan Bilgi İşlem Merkezi'nde 35 idari ve akademik personel çalışmaktadır. 8 adet CR-39 dedektörü, 17 Mayıs 2010 ile 12 Temmuz 2010 tarihleri arasında Bilgi İşlem Merkezi'ndeki 4 odaya çiftler halinde konularak birimdeki radon yoğunlukları ölçülmüştür. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi'ndeki ölçümlerde olduğu gibi, nükleer iz dedektörlerinin kayıt ettikleri alfa iz yoğunluklarının Eşitlik 1'de kullanılmasıyla ölçüm noktalarındaki radon seviyeleri belirlenmiştir (Çizelge 2). Binadaki radon düzeylerinin, 78 Bq/m^3 ile 334 Bq/m^3 arasında değerler aldığı ve ortalama radon

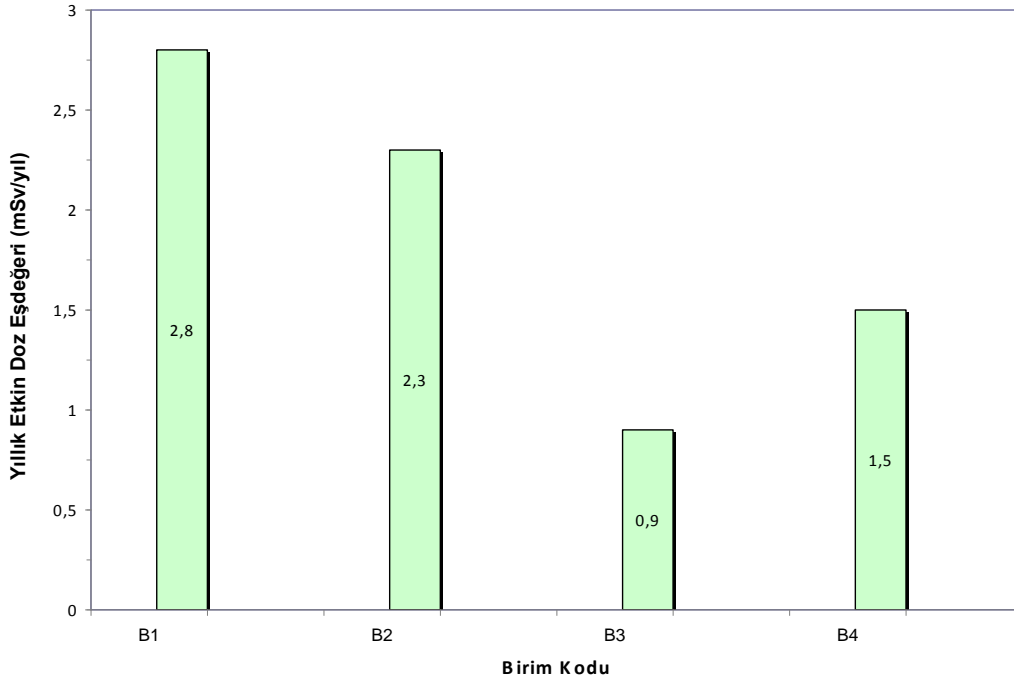
konsantrasyonunun $173 \pm 86 \text{ Bq/m}^3$ olduğu bulunmuştur. Yaz mevsimine ait ölçümlerden elde edilen ortalamalar, her bir oda için Şekil 4 ile verilmiştir. Birimlerde 300 Bq/m^3 ün üzerinde herhangi bir ortalamaya rastlanmamış, sadece yardım masası ve başkanlık odasındaki radon düzeylerinin 200 Bq/m^3 ü aştığı görülmüştür. Ortalama radon yoğunlukları dikkate alınarak çalışanlar için hesaplanan maruz kalınacak yıllık etkin dozlar Şekil 5 ile gösterilmiştir. Merkez'de alınacak yıllık etkin doz eşdeğerlerinin aritmetik ortalaması $1,8 \text{ mSv}$ düzeyinde bulunmuştur. Gerek birimdeki ortalama radon düzeyi gerekse çalışanların maruz kalacakları yıllık dozlar TAEK ve ICRP'nin öngördüğü sınırların altındadır.

Çizelge 2. Bilgi İşlem Merkezi ölçümlerinde kullanılan CR-39 dedektörlerinin konumlandığı yerler, kayıt edilen atmosferik radon konsantrasyonları ve bu konsantrasyonlara karşılık gelen yıllık etkin doz eşdeğerleri

Birim Kodu	Dedektör Çiftlerinin Konumlandırıldığı Yer	Oda Alanı (m ²)	Zeminden Yüksekliği (m)	RAC (Bq/m ³)	YEDE (mSv/yıl)
B1	Yardım Masası (121)	14	1,2	334	3,5
			1,0	187	2,0
B2	Başkanlık Odası	49	1,0	184	1,9
			1,0	245	2,6
B3	Yazılım Öğrenci Odası (117)	20	1,3	78	0,8
			1,0	86	0,9
B4	Yazılım Uzmanı Odası	40	1,0	122	1,3
			1,0	148	1,6



Şekil 4. Bilgi İşlem Merkezi için dedektörlerin kayıt ettikleri radon seviyelerine ait ortalamalar



Şekil 5. Bilgi İşlem Merkezi'ndeki ölçüm yapılan odalarda maruz kalınacak yıllık etkin doz değerleri

Ziraat Fakültesi Ölçümleri

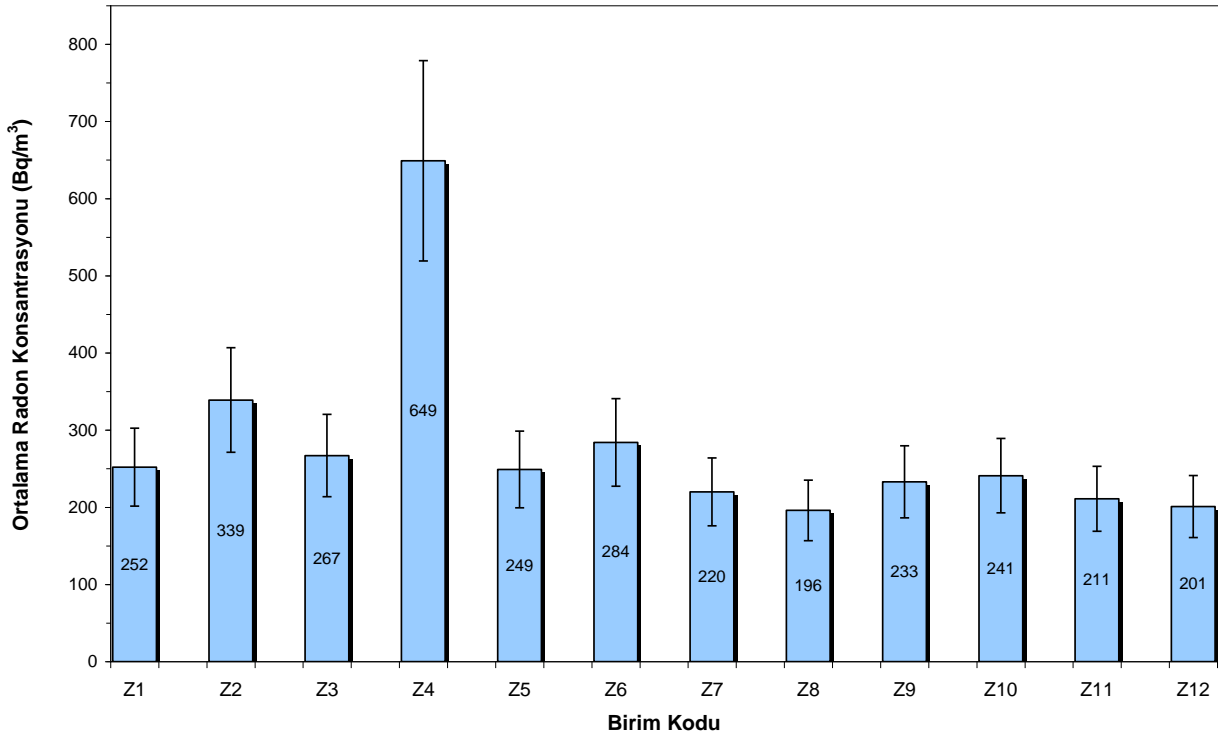
Doğu kampüsünde bulunan Ziraat Fakültesi'nde; Bahçe Bitkileri, Tarla Bitkileri, Bitki Koruma, Zootečni, Tarım Ekonomisi, Tarımsal Bioteknoloji, Tarımsal Yapılar ve Sulama, Tarımsal Mekanizasyon ve Toprak Bilimi ve Bitki besleme programı olmak üzere toplam 9 adet program bulunmaktadır. 2005 yılında yapılan fakülte binası 3 katlı (bodrum kat hariç) betonarme tipte bir yapıdır. İlahiyat Fakültesi ile aynı binayı paylaşan Ziraat Fakültesi, 100 ü aşkın akademik ve 30 civarındaki idari personeli ile 1000 e yakın öğrenciye sahiptir. 24 adet dedektör Ziraat Fakültesi'ndeki 12 odaya 17 Mayıs 2010 ile 12 Temmuz 2010 tarihleri arasında yaklaşık 8 haftalık bir süre boyunca konumlandırılarak radon gazına maruz bırakılmıştır. Bu süre sonunda toplanan CR-39 dedektörlerinin kayıt ettiği atmosferik radon konsantrasyonları Eşitlik 1 ile hesaplanmıştır. Çizelge 3'den de görüldüğü gibi, fakülte binasındaki radon seviyelerinin 193 Bq/m^3 ile 677 Bq/m^3 arasında değiştiği ve ortalama yoğunluğun $279 \pm 123 \text{ Bq/m}^3$ düzeyinde olduğu bulunmuştur. Her ne kadar 24 ölçüm noktasının hiçbirinde TAEK'in iş yerleri için kabul ettiği müdahale seviyesini aşan bir konsantrasyona rastlanmamış olsa da, binaya konan dedektörlerin %83 ü 200 Bq/m^3 ün üzerinde radon düzeyleri tespit etmiştir. Bununla birlikte, geriye

kalan dedektörlerin de 190 Bq/m^3 ten büyük radon yoğunlukları kayıt etmiş olması, Ziraat Fakültesi'ndeki bina içi radon yoğunluğunun farklı konumlarda artış göstermekle birlikte en az 200 Bq/m^3 düzeyinde olduğu izlenimini vermektedir.

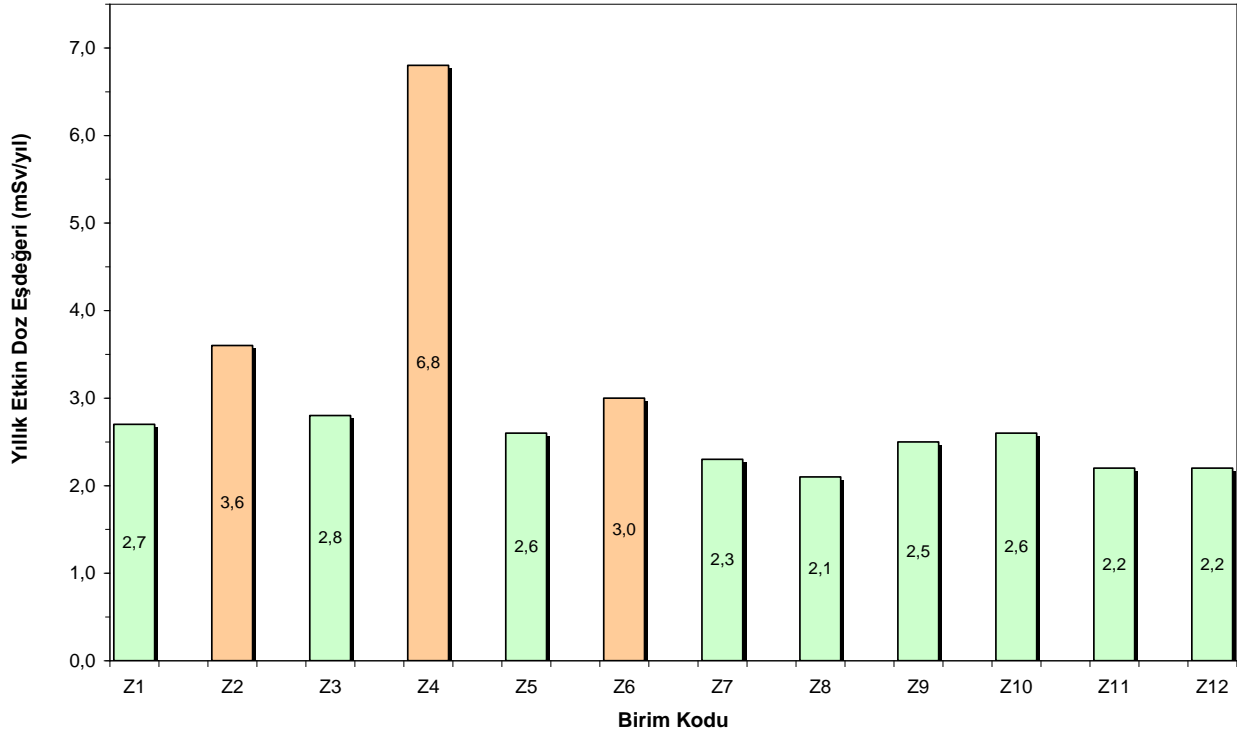
Radon seviyelerinin yüksekliğe göre değişimine bakıldığında, bodrumda 377 Bq/m^3 olan ortalama yoğunluğun yükseklik arttıkça azaldığı, 1. katta 237 Bq/m^3 değerine ve 2. katta 222 Bq/m^3 e düştüğü görülmüştür. Ölçüm yapılan 12 odaya ait ortalama atmosferik radon konsantrasyonları Şekil 6 ile verilmektedir. 4 metre kare kullanım alanına sahip, bodrum katta bulunan steril odadaki 650 Bq/m^3 lük radon yoğunluğu özellikle dikkat çekicidir. Bina içerisinde günde ortalama 8 saat zaman geçirildiği kabulünden yola çıkılarak ölçülen radon düzeylerinin Eşitlik 2'de kullanılmasıyla fakülte personeli ve öğrencileri için maruz kalınacak yıllık etkin doz eşdeğerleri hesaplanmıştır (Çizelge 3). Fakülte'deki doz düzeyleri 2 ile $7,1 \text{ mSv/yıl}$ arasında değişmekte olup binadaki yıllık etkin doz eşdeğeri ortalaması $2,9 \text{ mSv/yıl}$ ile ICRP'nin alt müdahale limitine oldukça yakındır. Ayrıca, 12 oda için alınacak yıllık doz düzeyleri Şekil 7 ile verilmektedir. Bu birimlerin dörtte birinde 3 mSv/yıl lık düzeyin üzerinde etkin dozlara maruz kalınacağı görülmektedir.

Çizelge 3. Ziraat Fakültesi'ndeki nükleer iz dedektörlerinin analizlerinden elde edilen atmosferik radon konsantrasyonları ve yıllık etkin doz eşdeğerleri bu dedektörlere ait konum bilgileri ile verilmektedir

Birim Kodu	Dedektör Çiftlerinin Konumlandırıldığı Yer	Oda Alanı (m ²)	Zeminden Yüksekliği (m)	RAC (Bq/m ³)	YEDE (mSv/yıl)
Z1	Bodrum Kat Toprak Böl. Mikrobiyoloji Lab.	30	1,5	219	2,3
			1,5	285	3,0
Z2	Bodrum Kat Toprak Böl. Lab.	45	1,5	360	3,8
			1,5	319	3,3
Z3	Bodrum Kat Bitki Besleme Böl. Lab.	35	1,5	222	2,3
			1,5	311	3,3
Z4	Bodrum Kat Steril Oda	4	1,5	622	6,5
			1,5	677	7,1
Z5	1. Kat 142 Nolu Ofis	20	1,5	229	2,4
			1,0	270	2,8
Z6	1. Kat 149 Nolu Ofis	20	1,0	316	3,3
			1,0	253	2,7
Z7	1. Kat 109 Nolu Ofis	15	1,5	197	2,1
			1,0	243	2,5
Z8	1. Kat 161 Nolu Ofis	30	1,0	200	2,1
			1,5	193	2,0
Z9	2. Kat 92 Nolu Ofis	15	1,0	272	2,9
			1,6	195	2,0
Z10	2. Kat 87 Nolu Ofis	15	1,0	243	2,6
			1,6	240	2,5
Z11	2. Kat Dekanlık Çay Ocağı	25	1,0	213	2,2
			1,0	208	2,2
Z12	2. Kat 180 Nolu Ofis	15	1,0	195	2,1
			1,0	208	2,2



Şekil 6. Ziraat Fakültesi ölçümlerinden elde edilen ortalama atmosferik radon gazı seviyeleri



Şekil 7. Ziraat Fakültesi'ndeki ölçüm yapılan odalarda alınacak yıllık etkin dozlar

Atatürk Kapalı Spor Salonu Ölçümleri

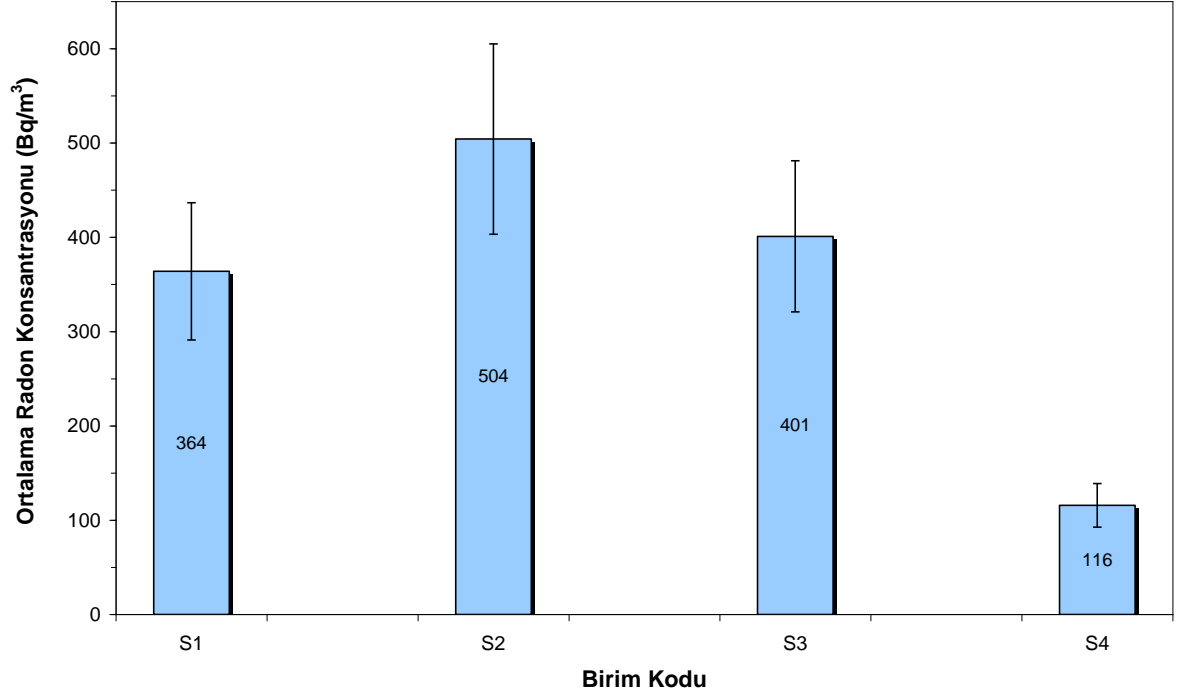
2500 kişi kapasiteli 21500 m² lik alana sahip Atatürk Kapalı Spor Salonu 2008 yılında yapılmış ve doğu kampüsünde yer almaktadır. 18 Mayıs 2010 ile 12 Temmuz 2010 tarihleri arasında 8 adet CR-39 nükleer iz dedektörü kullanılarak 4 birimde yapılan ölçümlere ait bilgiler Çizelge 4 ile verilmektedir. Binadaki radon seviyelerinin, 108 Bq/m³ ile 504 Bq/m³ arasında değerler aldığı ve ortalamanın 324±152 Bq/m³ düzeyinde olduğu saptanmıştır. Bodrum kattaki tüm ölçüm noktalarında 300 Bq/m³ ün üzerinde radon yoğunlukları kayıt edilmiş (kat ortalaması 407 Bq/m³), 1. kattaki ölçüm noktalarında ise radon düzeylerinin 100 Bq/m³ seviyelerine düştüğü görülmüştür (kat ortalaması 116 Bq/m³). Bu durum,

zeminden bodrum kattaki odalara radon gazı sızdığı veya bodrum katındaki havalandırmanın çok yetersiz olduğu gibi ihtimalleri akla getirmektedir.

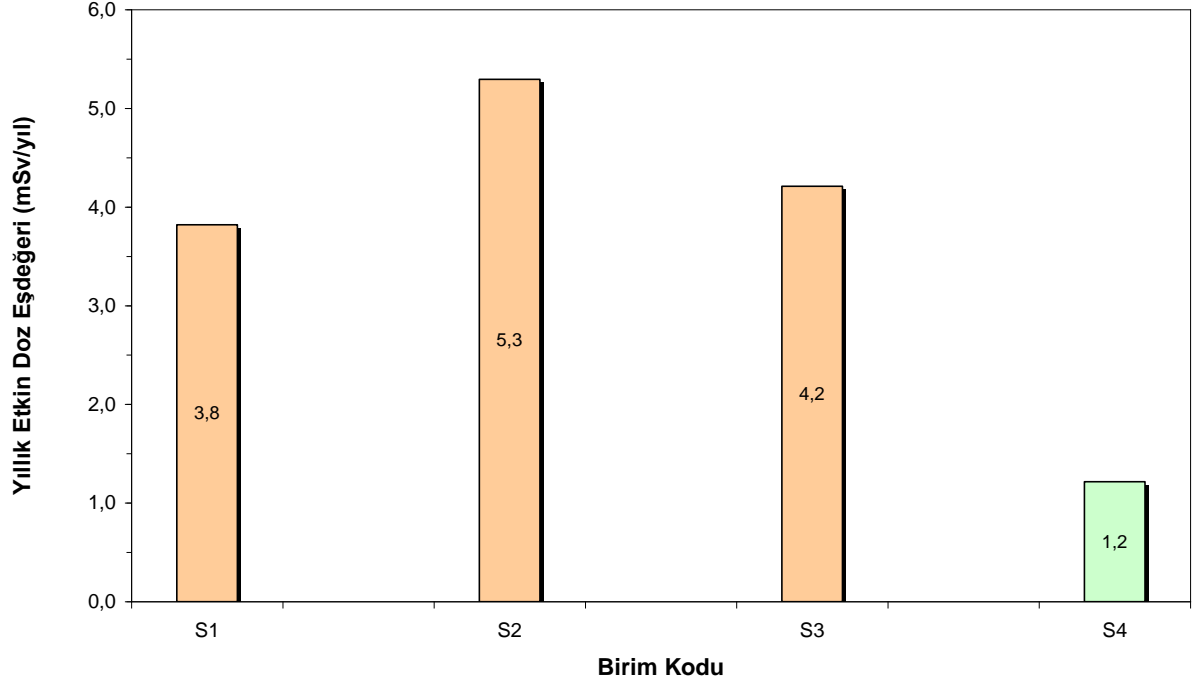
Ölçüm yapılan her bir oda için atmosferik radon seviyelerine ait ortalama değerler Şekil 8'de verilmiş ve bu ortalamalar kullanılarak Eşitlik 2 ile hesaplanan maruz kalınacak ortalama etkin doz eşdeğerleri Şekil 9'da gösterilmiştir. Spor salonunda alınacak dozlar 1,1 mSv/yıl ile 5,3 mSv/yıl arasında değişmektedir. Birimdeki yıllık etkin doz eşdeğerinin ortalaması 3,4 mSv düzeyinde bulunmuştur. Bu seviye, TAEK ve ICRP'nin zorunlu müdahale sınırlarının altında kalmakla birlikte bodrum kattaki radon yoğunluğunun düşürülmesi için önlem alınması yerinde olacaktır.

Çizelge 4. Atatürk Spor Salonu'na yerleştirilen CR-39 dedektörlerinin konumları, ölçüm noktalarında 2010 yılı yaz mevsimi için belirlenen atmosferik radon düzeyleri ve bu düzeylere karşılık gelen alınacak yıllık doz miktarları

Birim Kodu	Dedektör Çiftlerinin Konumlandırıldığı Yer	Oda Alanı (m ²)	Zeminden Yüksekliği (m)	RAC (Bq/m ³)	YEDE (mSv/yıl)
S1	Bodrum Kat Spor Malzeme Odası (B-65)	25	1,5	400	4,2
			1,5	328	3,4
S2	Bodrum Kat Futbol Tk. Malzeme Odası (B-16)	20	1,5	504	5,3
			1,0	-	-
S3	Bodrum Kat Hentbol Tk. Malzeme Odası (B-19)	15	1,5	372	3,9
			1,5	430	4,5
S4	1. Kat Vitamin Bar	250	1,0	123	1,3
			1,7	108	1,1



Şekil 8. Spor Salonu'nda ölçüm yapılan yerlerdeki ortalama atmosferik radon konsantrasyonları



Şekil 9. Atatürk Spor Salonu için belirlenen yıllık etkin doz eşdeğerleri

Hukuk Fakültesi Ölçümleri

Hukuk Fakültesi 2009 yılında kurulmuştur. Doğu kampüsünde bulunan 2000 yılında yapılmış betonarme tipteki üç katlı İktisat Fakültesi binasında hizmet veren fakültede, Anayasa Hukuku, Ceza ve Ceza Muhakemesi Hukuku, Genel Kamu Hukuku, Hukuk Felsefesi ve Sosyolojisi, Hukuk Tarihi, İdare Hukuku, İş ve Sosyal Güvenlik Hukuku, Mali Hukuk, Medeni Hukuk, Medeni Usul ve İcra İflas Hukuku, Milletlerarası Hukuk, Milletlerarası Özel Hukuk ve Ticaret Hukuku olmak üzere toplam 12 anabilim dalı vardır. Hukuk Fakültesi'nde 20 ye yakın akademik ve idari personel ile 200 ü aşkın öğrenciye eğitim verilmektedir. CR-39 nükleer iz dedektörleri, 18 Mayıs 2010 ile 12 Temmuz 2010 tarihleri arasında 8 haftalık bir süre boyunca 16 ölçüm noktasına yerleştirilerek radon gazına maruz bırakılmıştır. Çizelge 5'de konumları belirtilen ölçüm noktalarından toplanan dedektörlerin kayıt ettiği radon seviyelerinin hesaplanması için diğer ölçümlerde kullanılan yöntem tekrarlanmıştır. Tamamı ölçüm yapılan odaların zemininden 1m yüksekliğe konulan dedektörlerin kayıt ettikleri atmosferik radon konsantrasyonları ve bu ölçüm noktalarında maruz kalınacak yıllık dozlar Çizelge 5'de sunulmaktadır. Ölçüm noktalarındaki 2010 yılı yaz mevsimine ait radon yoğunluklarının 155 Bq/m³ ile 607 Bq/m³ değerleri arasında değiştiği ve ortalama konsantrasyonun 265±131 Bq/m³ seviyesinde, TAEK'in iş yerleri için öngördüğü müdahale düzeyinin altında

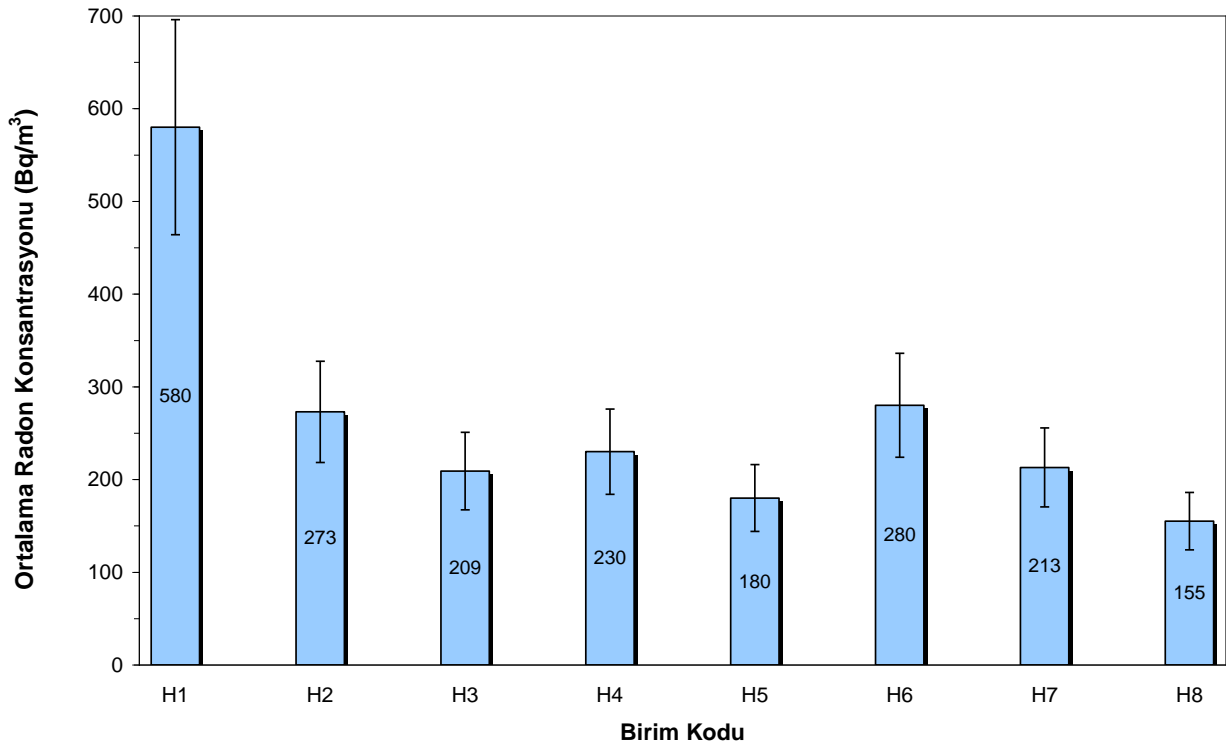
olduğu bulunmuştur. Ancak, üniversitede ölçüm yapılan birimlerin genelinde olduğu gibi, Hukuk Fakültesi'nde de ölçüm noktalarının çoğunda 200 Bq/m³ lük düzeyin üzerinde radon gazı yoğunluğu tespit edilmiştir. Binadaki radon düzeylerinin, beklentiye uygun olarak yükseklik arttıkça azaldığı görülmektedir. En yüksek radon yoğunluğuna 580 Bq/m³ lük ortalama ile zemin katta rastlanılmış, ortalamanın 1. katta 238 Bq/m³ e ve 2. katta 207 Bq/m³ değerine düştüğü tespit edilmiştir. Ölçüm yapılan her bir odadaki ortalama radon yoğunluğu ise Şekil 10 ile verilmektedir.

Maruz kalınacak yıllık etkin doz eşdeğerleri Eşitlik 2 yardımıyla hesaplanmıştır (Çizelge 5). Doz düzeylerinin 1,6 ile 6,4 mSv/yıl değerleri arasında değiştiği ve fakülte genelinde, 2,8 mSv/yıl düzeyinde bir doz alınacağı bulunmuştur. Ayrıca, 8 birimdeki ortalama doz düzeyleri belirlenmiştir (Şekil 11). ICRP'nin müdahale limitleri açısından bakıldığında, binadaki her dört odadan birinde 3mSv/y lık alt limitin aşılmasına neden olacak düzeyde radon varlığından söz edilebilir. Alınacak yıllık doz düzeyleri zemine yakın yerlerde dikkat çekici bir biçimde artma eğilimi göstermektedir.

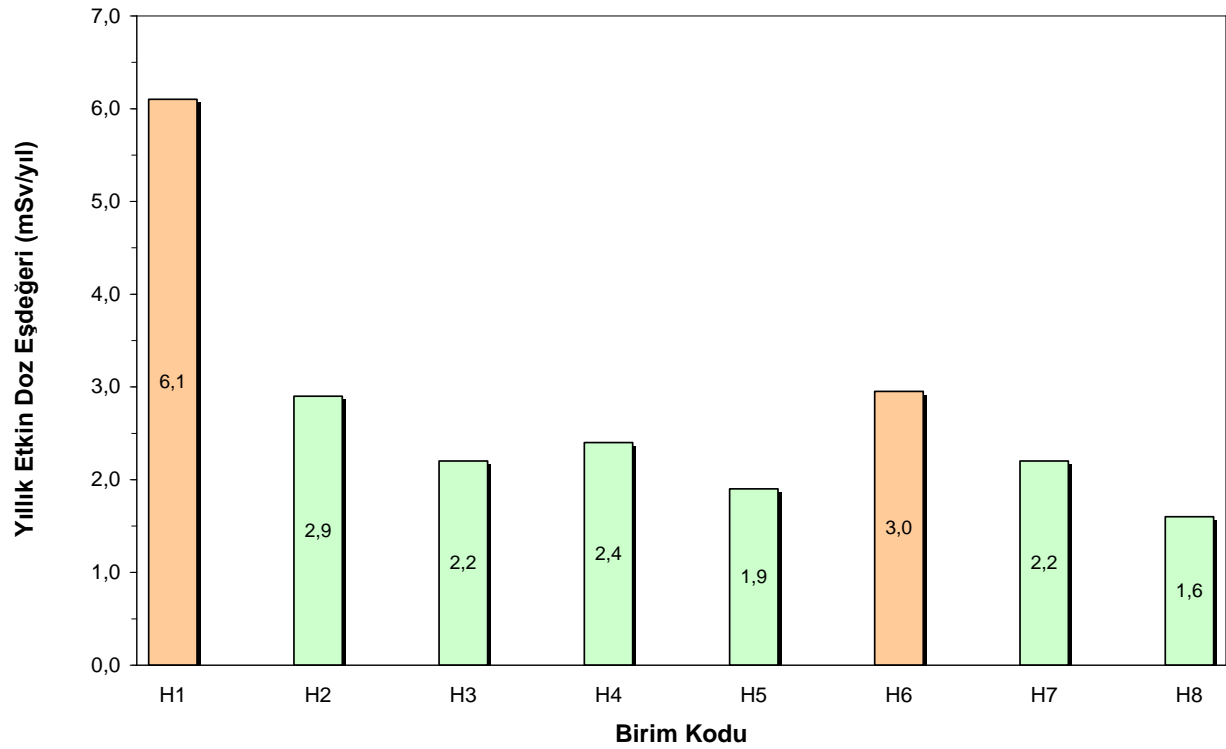
Bu çalışmada yapılan bina içi atmosferik radon konsantrasyonu ölçümlerinin ve alınacak yıllık etkin doz eşdeğeri hesaplamalarının genel bir değerlendirmesi, daha önce CR-39 dedektörleri kullanılarak Süleyman Demirel Üniversitesi'ndeki diğer birimlerde yapılmış benzer çalışmalara ait sonuçlarla birlikte Çizelge 6'da karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Buna göre, üniversite binalarındaki ortalama radon düzeylerinin 173 Bq/m³ ile 324 Bq/m³ arasında değiştiği görülmektedir.

Çizelge 5. Hukuk Fakültesi'ne yerleştirilen dedektörlerin konumları, nükleer iz dedektörlerinin bu noktalarda kayıt ettiği atmosferik radon seviyeleri ve hesaplanan yıllık doz düzeyleri

Birim Kodu	Dedektör Çiftlerinin Konumlandırıldığı Yer	Oda Alanı (m ²)	Zeminden Yüksekliği (m)	RAC (Bq/m ³)	YEDE (mSv/yıl)
H1	Zemin Kat A-030 Nolu Ofis (Teknisyen Odası)	20	1,0	552	5,8
			1,0	607	6,4
H2	1.Kat A-106 Nolu Ofis	20	1,0	254	2,7
			1,0	293	3,1
H3	1.Kat A-116 Nolu Ofis	15	1,0	226	2,4
			1,0	192	2,0
H4	1.Kat A-142 Nolu Ofis (Sağlık Yönetimi Böl. Başkanlığı)	40	1,0	232	2,4
			1,0	229	2,4
H5	2. Kat C-206 Nolu Ofis (Hukuk Fakültesi Sekreterliği)	50	1,0	182	1,9
			1,0	177	1,9
H6	2. Kat C-204 Nolu Ofis	15	1,0	252	2,7
			1,0	308	3,2
H7	2. Kat C-210 Nolu Ofis (Öğrenci İşleri)	15	1,0	204	2,1
			1,0	222	2,3
H8	2. Kat C-219 Nolu Ofis (Dekan Sekreterliği)	15	1,0	155	1,6
			1,0	155	1,6



Şekil 10. Hukuk Fakültesi için ölçüm yapılan birimlerdeki 2010 yılı yaz mevsimi ortalama radon gazı düzeyleri



Şekil 11. Hukuk Fakültesi'nde maruz kalınan etkin dozlar

Çizelge 6. S.D.Ü. birimlerindeki ortalama radon düzeyleri ve maruz kalınacak yıllık doz eşdeğerleri

BİRİM	RAC (Bq/m ³)	YEDE (mSv/yıl)	KAYNAK
Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi	259	2,7	bu çalışma
Bilgi İşlem Merkezi	173	1,8	bu çalışma
Ziraat Fakültesi	279	2,9	bu çalışma
Atatürk Kapalı Spor Salonu	324	3,4	bu çalışma
Hukuk Fakültesi	265	2,8	bu çalışma
Prof. Dr. Hasan Gürbüz Bilgi Merkezi	188	1,97	(Karakılıç vd., 2009)
Diş Hekimliği Fakültesi	217	2,28	(Kürkçüoğlu vd., 2010A)

Tartışma ve Sonuç

Ülkemizde her yıl yaklaşık yüz elli bin kişiye kanser teşhisi konduğu ve en yüksek ölüm oranının akciğer kanserinden kaynaklandığı göz önüne alındığında, zamanımızın çoğunu içerisinde geçirdiğimiz kapalı mekanlardaki radon düzeylerinin belirlenmesinin insan sağlığı bakımından çok önemli olduğu tartışılmaz bir gerçektir. Daha önce yapılmış az sayıdaki radyolojik ölçüme göre, Isparta ilindeki radon seviyesinin, dünya ortalamasından çok daha yüksek bir düzeyde bulunması bu çalışmanın temel motivasyon unsuru olmuştur. Çalışmamız kapsamında, Süleyman Demirel Üniversitesi'nde bulunan Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgi İşlem Merkezi, Ziraat Fakültesi, Atatürk Kapalı Spor Salonu ve Hukuk Fakültesi'nde CR-39 nükleer iz dedektörleri ile 2010 yılı Mayıs ile Temmuz ayları arasında yaklaşık 8 haftalık bir süre boyunca bina içi atmosferik radon yoğunluğu ölçümleri yapılmıştır. Her ne kadar bu birimlere ait ortalama radon konsantrasyonları (Çizelge 6), TAEK ve ICRP'nin kabul ettiği müdahale seviyelerinin (sırasıyla 1000 Bq/m³ ve 500-1500 Bq/m³ lük limitlerin) altında da kalsa, ölçüm noktalarının büyük bir kısmında dünya genelinde görülen bina içi radon düzeylerini aşan konsantrasyonlara rastlanmıştır. Süleyman Demirel Üniversitesi yerleşkelerinde yapılan daha önceki ölçümlerle birlikte bir değerlendirme yapıldığında, üniversite genelinde bina içi atmosferik radon yoğunluğunun 250 Bq/m³ civarında bir ortalama ile dünya ortalamasının 6 katından daha fazla bir düzeyde seyrettiği söylenebilir. Birleşik Krallık Ulusal Radyolojik Korunma Kurulu, NRPB (National Radiological Protection Board UK) evlerdeki bina içi radon ölçümlerinin %1'inin 200 Bq/m³ seviyesini geçtiği bölgeleri, radonun etkisinde kalmış alan (radon affected area) olarak nitelendirmektedir (Denman ve Phillips, 1998). Ölçüm alınan 45 odanın 29'unda (%64'ünde) 200 Bq/m³ değerinden daha yüksek ortalamalar tespit edilen bu çalışmayla, üniversitedeki bina içi radon düzeylerinin dikkate alınması gerektiği açıkça ortaya konmakta ve kanser riskinin azaltılabilmesi bakımından koruyucu tedbirlerin önemi vurgulanmaktadır. Yüksek radon yoğunluğunun düşürülmesi amacıyla kapalı mekanlarda radon gazının zamanla birikimini engellemek için bu mekanların düzenli bir biçimde yeterince havalandırılması ve binaların toprak ile bağlantısının sağlandığı noktalar

olan bodrum katlarının radon gazının bina içine girişini önleyecek şekilde yalıtılması, alınabilecek en pratik iki önlem olarak tavsiye edilebilir.

Çalışmamızda ayrıca, ölçüm yapılan birimler için elde edilen ortalama radon yoğunluklarından yararlanılarak bu binaları kullanan personel ve öğrencilerin alacakları eşdeğer doz miktarları hesaplanmıştır. Yıllık etkin doz ortalamaları; Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgi İşlem Merkezi, Ziraat Fakültesi, Atatürk Kapalı Spor Salonu ve Hukuk Fakültesi için sırasıyla 2,7 mSv, 1,8 mSv, 2,9 mSv, 3,4 mSv ve 2,8 mSv olarak bulunmuştur. Bina içi meşguliyet faktörünün günde 8 saat üzerinden alındığı bu hesaplamalar, Bilgi İşlem Merkezi haricindeki birimlerde ICRP'nin alt müdahale limiti olan 3mSv/y düzeyinde dozlara maruz kalılabileceğini göstermektedir.

Teşekkür

G. Bayraktar'ın yüksek lisans tezi kapsamında gerçekleştirilen bu çalışma, Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Başkanlığı tarafından 2150-YL-10 nolu proje ile desteklenmiştir. Yazarlar, Süleyman Demirel Üniversitesi'ne ve detektör analizleri için TAEK SANAEM Sağlık Fiziği Birimi elemanlarına teşekkür eder.

Kaynaklar

- Abel-Ghany, H.A. 2008. Exposure of School Children to Alpha Particles. Iranian Journal of Radiation Research, 6(3), 113-120.
- Akyıldırım, H. 2005. Isparta İlinde Radon Yoğunluğunun Ölçülmesi ve Haritalandırılması. Yüksek Lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 99s.
- Bayraktar, G. 2011. Süleyman Demirel Üniversitesi'nde Bina İçi Radon Konsantrasyonlarının Nükleer İz Dedektörleri Kullanılarak Belirlenmesi. Yüksek Lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 91s.

- Değerlier, M., Çelebi, N. 2008. Indoor Radon concentrations in Adana, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 131(2), 259-264.
- Denman, A. R., Phillips, P. S. 1998. Workplace Radon in Northamptonshire. *Environmental Management and Health*, 9(5), 194-199.
- Dubois, G., 2005. An Overview of Radon Surveys in Europe. Office for Official Publications of the European Communities, EUR 21892 EN, Luxembourg, 168pp.
- Durrani, A.S., Ilic, R. 1997. Radon Measurements by Etched Track Detectors: Applications in Radiation. Earth Sciences and Enviroment, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, England, 387p.
- 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: 8.03.2009).
- EPA, 2009. Citizen's Guide to Radon, EPA Document 402-K09-001. <http://www.epa.gov/Radon/healthrisks.html> (Erişim Tarihi: 8.03.2009).
- George, A. C. 2007. World History of Radon Research and Measurement from the Early 1900's to Today. Natural Radiation Environment Conference VIII (NRE VIII) in Buzios, Brasil, reprinted in November 2007 Radon Bulletin of the CRCPD.
- ICRP, 1993. Annual Report of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication. Ann ICRP Oxford:Pergamon; No:65.
- Karadem, A., 2011. CR-39 Dedektörleri ile Mağaralarda Radon Konsantrasyonu Ölçümleri. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 97s.
- Karakılıç, V., Bayraktar, G., Kürkçüoğlu, M.E., Haner, B., Yılmaz, A. 2009. S.D.Ü. Bilgi Merkezi'nde Radon Ölçümleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13(3), 201-207.
- Köksal, E.M., Çelebi, N., Ataksor, B., Uluğ, A., Taşdelen, M., Kopuz, G., Akar, B., Karabulut, M.T. 2004. A Survey of ²²²Rn Concentrations in Dwellings of Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 259(2), 213-216.
- Kürkçüoğlu, M.E., Haner, B., Yılmaz, A., Toroğlu, İ. 2009. Karaelmas Yerleşkesi Merkez Kütüphanesi Radon Ölçümleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Dergisi (e-dergi), 4(2), 177-188.
- Kürkçüoğlu, I., Karakılıç, V., Kürkçüoğlu, M.E. 2010A. Assessment of Atmospheric Radon Exposure of the Dental Faculty Staff in Isparta in Turkey. 34th Annual Conference of the European Prosthodontic Association and 1st Conference of the Association of Prosthetic, Dentistry of Kosovo, 23-25 September, Prishtina-Kosovo, p85.
- Kürkçüoğlu, M.E., Karakılıç, V., Cof, G., Tozun, F. 2010B. Isparta İl Merkezindeki İş Yerlerinde Atmosferik Radon Ölçümleri. Türk Fizik Derneği 27. Uluslararası Fizik Kongresi, 14-17 Eylül, İstanbul-Türkiye, 757s
- Kürkçüoğlu, I., Karakılıç, V., Kürkçüoğlu, M.E. 2010C. Isparta İlinde Yüksek Florlu Su Kaynaklarını Kullanan İki Bölgede Atmosferik Radon Düzeylerinin İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1(2), 49-61.
- Kürkçüoğlu, M.E., Karakılıç, V., Cof, G., Tozun, F. 2011. Türkiye Bina İçi Atmosferik Radon Risk Haritası. Türk Fizik Derneği 28. Uluslararası Fizik Kongresi, 6-9 Eylül, Bodrum-Türkiye, 875-876.
- NCRP, 1988. Report. Measurements of Radon and Radon Daughters in Air, 97, p174.
- Papaefthymiou, H., Georgiou, C.D. 2007. Indoor Radon Levels in Primary Schools of Patras. Greece. *Radiation Protection Dosimetry*, 124(2), 172-176.
- Radosys, 2000. User's Manual (revised at 07/25/01).
- Radosys, 2010. <http://www.radosys.com/products.html> (Erişim Tarihi: 25.03.2010).
- Rahman, S.U., Matiullah and Anwar, J. 2009. Assessment of the Dose Received by Students and Staff in Schools in the Rawalpindi Region of Pakistan due to Indoor Radon. *Journal of Radiological Protection*. 29, 273-277.
- Resmi 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).

- Uluğ, A., Karabulut, M.T., Çelebi, N. 2004. Radon Measurement with CR-39 Track Detectors at Specific Locations in Turkey. Nuclear Technology and Radiation Protection, 19(1), 46-49.
- UNSCLEAR, 1988. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation.
- Venoso G., De Cicco, F., Flores, B., Gialanella, L., Pugliese, M., Roca, V., Sabbarese, C. 2009. Radon Concentrations in Schools of the Neapolitan Area. Radiation Measurements, 44, 127–130.
- WHO, 2005. Radon and Cancer. World Health Organization Fact Sheet, No: 91.